

FK

# **INSTRUCTION TECHNIQUE**

CONCERNANT LA CONSTRUCTION ET L'EXPLOITATION DE LIGNES  
DE TRANSPORT PUBLIC DE VOYAGEURS AU MOYEN DE TRAINS  
ENTIEREMENT AUTOMATIQUES , A PROPULSION ELECTRIQUE, A  
FAIBLE GABARIT ET ROULANT SUR PNEUMATIQUES

**SYSTEME VAL**

**Edition n 6**

**FEVRIER 1988**

## PREAMBULE

La première ligne de métro type VAL mise en service à LILLE en 1983 a été conçue et étudiée sur la base d'une Instruction Technique Provisoire parue en Septembre 1973 et modifiée en Juillet 1976. A cette époque le VAL était encore un matériel en cours d'étude et de développement, dont bien des caractéristiques restaient imprécises. C'est pourquoi l'Instruction Technique Provisoire ne pouvait qu'être prudente sur bien des points.

Depuis la mise en service de la première ligne de LILLE, en Mai 1983, le système a fait preuve de sa fiabilité en service commercial et bien d'autres projets ont été mis à l'étude ou sont en voie de réalisation (lignes 1bis et 2 de Lille, Toulouse, Strasbourg, ...).

Dans le souci de réduire les coûts d'investissement notamment pour les sections en viaduc dont le dimensionnement est directement fonction des efforts à reprendre, et pour uniformiser les règles applicables aux différents projets, il est apparu nécessaire de reprendre la rédaction de l'Instruction Technique Provisoire, à la lumière de l'expérience acquise, et de rédiger un document qui, après approbation par le Ministère des Transports n'aura plus le caractère de "provisoire", ce qui n'exclut pas bien entendu des mises à jour ultérieures, au fur et à mesure de l'évolution du matériel roulant ou des techniques de calculs des ouvrages d'art.

Sous l'égide du Syndicat Mixte des Transports en Commun de l'Agglomération Toulousaine, et avec l'appui du Ministre des Transports il a été constitué une Commission chargée de la rédaction de cette Instruction Technique et formée des personnes suivantes :

MM. CHAUSSIN - SETRA - Rapporteur de la Commission,  
BOILEAU - Direction Départementale de l'Equipement de la Haute-  
Garonne,  
NEUSY - Communauté Urbaine de Lille,  
CASTELLAN - Communauté Urbaine de Lille,  
LEVY - Société d'Etudes Techniques et Economiques (SETEC),  
RYCKAERT - Société d'Etudes Techniques et Economiques (SETEC),  
Représentant le Syndicat Mixte des Transports en commun  
de l'Agglomération Toulousaine,  
de la MENARDIERE - SOFRETU,  
LOUBAT - Société MATRA TRANSPORT,  
BRAUNWALD - Société MATRA TRANSPORT, Secrétaire de la Commission.

L'Instruction Technique se compose de :

- REGLES GENERALES

- Annexe 1 : Textes et règlements applicables,
- Annexe 2 : Caractéristiques du matériel roulant, du tracé, de la voie et performances du système,
- Annexe 3 : Caractéristiques des évènements élémentaires intervenant dans le dimensionnement de l'infrastructure,
- Annexe 4-1 : Charges à prendre en compte pour la vérification de la voie,
- Annexe 4-2 : Charges à prendre en compte pour la vérification des viaducs.

## **REGLES GENERALES**

SOMMAIRE

Titre I - Objet et composition de l'Instruction Technique

Titre II - Conditions générales d'établissement de l'Infrastructure en ligne

Chapitre 1 - Gabarits et revanches

Chapitre 2 - Ouvrages de génie civil

Chapitre 3 - Voie de roulement et de guidage

Titre III - Conditions générales de construction du matériel roulant

Titre IV - Exploitation technique

Chapitre 1 - Dispositions de sécurité concernant la circulation des trains, la signalisation et les aiguillages

Chapitre 2 - Dispositions de sécurité concernant les véhicules des trains

Chapitre 3 - Dispositions de sécurité concernant les stations

TITRE I

OBJET ET COMPOSITION DE L'INSTRUCTION TECHNIQUE

CHAPITRE UNIQUE

ARTICLE 1 - OBJET DE L'INSTRUCTION TECHNIQUE

La présente Instruction Technique s'applique à la construction et à l'exploitation de lignes de transport public de voyageurs au moyen de trains entièrement automatiques à propulsion électrique, à faible gabarit et roulant sur pneumatiques (système VAL).

Elle abroge l'Instruction Technique Provisoire du 28 septembre 1973 modifiée en juillet 1976 (lettre n° T 461 de Monsieur le Secrétaire d'Etat aux Transports en date du 30 juillet 1976).

ARTICLE 2 - COMPOSITION DE L'INSTRUCTION TECHNIQUE

La présente Instruction se compose de :

- REGLES GENERALES
- Annexe 1 : textes et règlements applicables
- Annexe 2 : caractéristiques du matériel roulant, du tracé, de la voie et performances du système
- Annexe 3 : caractéristiques et évènements élémentaires intervenant dans le dimensionnement de l'infrastructure
- Annexe 4.1 : charges à prendre en compte pour la vérification de la voie
- Annexe 4.2 : charges à prendre en compte pour la vérification des viaducs

TITRE IICONDITIONS GENERALES D'ETABLISSEMENT DE L'INFRASTRUCTURE EN LIGNECHAPITRE IGABARIT ET REVANCHESARTICLE 3 - DEFINITION DES GABARITS D'ENCOMBREMENT DES VEHICULES DES TRAINS3.1 - Gabarit statique du matériel roulant

Ce gabarit est la ligne enveloppe des positions extrêmes susceptibles d'être prises par les différents points du matériel roulant à l'arrêt, compte tenu des déports géométriques résultant de l'inscription du matériel roulant dans une courbe en plan et des tolérances de fabrication du matériel roulant.

Ce gabarit ne tient pas compte des jeux de construction, usure, avarie, dégonflement de pneus, des défauts de la voie, etc...

3.2 - Gabarit cinématique du matériel roulant

Ce gabarit d'encombrement cinématique est la ligne enveloppe des positions extrêmes susceptibles d'être prises par les différents points du matériel roulant, compte tenu :

- des déports géométriques de la déformation des pneumatiques résultant de l'inscription du matériel dans une courbe en plan ou en profil, et de la déformation des pneumatiques.
- des jeux de construction et d'usure du matériel.

- des déplacements résultant de l'inclinaison latérale des parties suspendues sous l'influence de la force centrifuge non compensée ou d'un excès de dévers.
- du dégonflement des pneumatiques des roues porteuses et de guidage.
- de l'effacement complet, par suite de leur avarie éventuelle, des dispositifs élastiques de support de la caisse.
- de l'effet du vent (pour les ouvrages à ciel ouvert) dont la pression sera limitée à 1 500 Pa conformément aux dispositions de l'article 16 de la présente instruction.
- du dévers de la voie là où il existe.

### 3.3 - Gabarit cinématique du matériel roulant en station

En station le gabarit cinématique du matériel roulant est défini, en tenant compte :

- de la vitesse réduite des rames,
- de l'existence d'un rail de guidage central limitant les débattements latéraux de la caisse,
- du fait que la station étant en alignement droit, il n'y a ni surlargeur (effets de "corne" et de "ventre"), ni de dévers.

### ARTICLE 4 - DISTANCES MINIMALES AUX MURS D'IMMEUBLES PRÉEXISTANTS N'APPARTENANT PAS AUX INSTALLATIONS DE LA LIGNE

La distance minimale entre un immeuble préexistant n'appartenant pas à la ligne et le gabarit d'encombrement cinématique des véhicules est de 2 m.

Toutefois, une distance minimale de 4 m doit être réservée entre le gabarit cinématique des véhicules et les ouvertures sur des pièces à usage d'habitation ou de bureau.

Le Maire peut, soit autoriser que les distances minimales visées ci-dessus soient diminuées, soit imposer qu'elles soient augmentées.

ARTICLE 5 - DISTANCES MINIMALES ENTRE LES GABARITS D'ENCOMBREMENT DES VEHICULES  
AINSI QU'ENTRE CES GABARITS ET LES OBSTACLES FIXES APPARTENANT OU  
NON A LA LIGNE

Les distances minimales ci-après doivent être réservées :

- 1) 0,15 m entre les gabarits d'encombrement cinématique des véhicules des trains circulant sur deux voies adjacentes.
- 2) 0,15 m entre ces gabarits cinématiques et les obstacles fixes appartenant à la ligne, à l'exception des quais des stations, des portes palières en station, et des équipements indissociablement liés à la voie (passerelle de circulation, détecteurs, balises, etc...).
- 3) 0,10 m entre ces gabarits cinématiques et les équipements indissociablement liés à la voie (passerelle de circulation, détecteurs, balises, etc...).
- 4) 0,05 m entre ces gabarits cinématiques et les obstacles ponctuels et provisoires (cintres). L'adoption de cette distance minimale de 0,05 :
  - pourra entraîner des modifications des règles d'exploitation sur le tronçon concerné et éventuellement des dispositions appropriées pour respecter cette distance.
  - nécessitera avant l'exploitation commerciale le passage d'un train d'essai pour vérifier l'existence effective de cette distance minimale.
- 5) 0,03 m entre le gabarit cinématique en station et le bord du quai.
- 6) Entre gabarit d'encombrement cinématique des véhicules et les obstacles fixes n'appartenant pas à la superstructure de la ligne (arbres, pylônes, etc...), les distances à réservier seront établies en accord avec les autorités compétentes et soumises à l'accord préalable du service de contrôle sans pouvoir descendre au-dessous de 0,40 m.

ARTICLE 6 - CIRCULATION DES PIETONS6.1 - Généralités

Pour permettre d'une part l'évacuation des voyageurs en cas d'arrêt prolongé entre stations et d'autre part l'accès aux ouvrages du personnel de la société d'exploitation en dehors des heures de service, il sera prévu un cheminement piéton, accessible seulement après coupure du courant de traction.

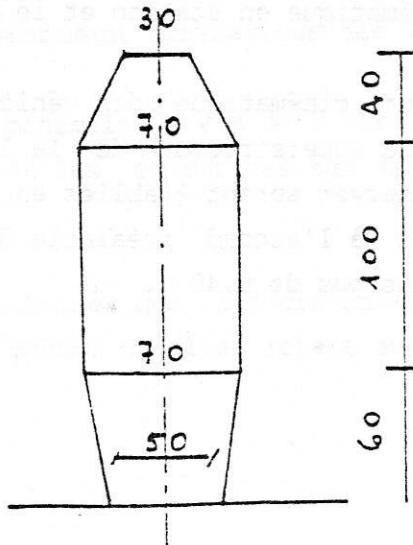
Ce cheminement, utilisable sur la longueur de la rame arrêtée, est aménagé latéralement à la voie ou en position centrale entre les deux voies. Hors de l'emprise d'une rame, le cheminement peut également se faire sur ou entre les pistes de roulement. Dans les structures en élévation (viaduc) le vide éventuel entre pistes et traverses devra être comblé par un caillebotis capable d'une charge uniformément répartie de  $500 \text{ daN/m}^2$ .

La circulation des piétons, qu'ils appartiennent ou non à la société exploitante, est interdite dans les ouvrages pendant les périodes d'exploitation.

Néanmoins, en cas de cheminement latéral, les agents de la société d'exploitation pourront être autorisés à circuler pendant l'exploitation sur ce cheminement, pour raison de service et dans des conditions de sécurité à préciser dans le règlement d'exploitation, à condition que la circulation des rames soit interrompue sur la voie adjacente.

6.2 - Cheminement latéral6.2.1 - Caractéristiques normales

- largeur minimum au niveau du plan de circulation des piétons : 0,50 m,
- piste de circulation des piétons horizontale, en section transversale,
- bord du plan de circulation des piétons, côté voie, à 10 cm au minimum du gabarit cinématique du matériel roulant, dans la mesure où ce bord est implanté par rapport à la voie,
- gabarit piéton conforme au schéma ci-après.

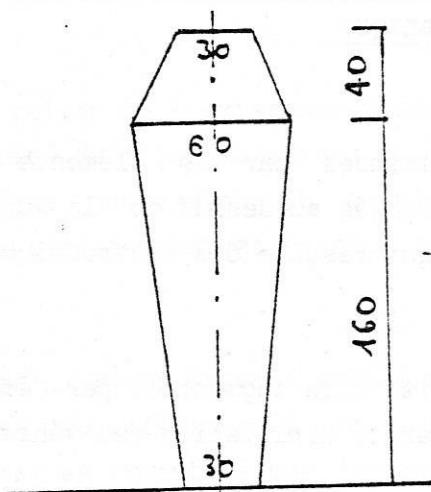


Le gabarit piéton pourra être tangent au parement intérieur de l'ouvrage et au gabarit statique du matériel roulant. Il devra être libre de tout obstacle continu. Un porte-à-faux maximal de 10 cm en pied du gabarit piéton sera toléré par rapport au bord de l'ouvrage de cheminement latéral.

#### 6.2.2 - Caractéristiques réduites

Sur de courtes distances, ou en des points particuliers de la ligne, des caractéristiques réduites pourront être admises, en accord avec la Commission de Sécurité, sans toutefois descendre en-dessous des valeurs suivantes :

- largeur minimum au niveau du plan de circulation des piétons : 0.40 m,
- gabarit piéton "minimum" conforme au schéma ci-après :



#### 6.2.3 - Hauteur du plan de circulation des piétons

Le plancher du véhicule est normalement à 25 cm au-dessus du plan de circulation des piétons. Cette distance peut être modifiée en accord avec la Commission de Sécurité, dans la mesure où le projet prévoit un dispositif, fixe ou non, permettant un accès facile et sans danger au cheminement piéton à partir du véhicule.

### 6.3 - Cheminement Central

Les caractéristiques d'un cheminement central, et notamment largeur et hauteur, doivent être définies en accord avec la Commission de Sécurité et par analogie avec les caractéristiques du cheminement latéral, telles que définies au § 6.2 ci-dessus.

### 6.4 - Charges d'exploitation

Le cheminement piéton sera dimensionné pour les charges d'exploitation suivantes : 500 daN/m<sup>2</sup> sur toute la surface du cheminement ou 300 daN/ml supposés concentrés sur l'arête du bord côté voie.

## ARTICLE 7 - HAUTEUR MINIMALE AU-DESSUS DES VOIES DIVERSES TRAVERSEES OUVERTES A LA CIRCULATION PUBLIQUE

Sous les obstacles fixes constitués par les éléments de la structure de la ligne, la hauteur minimale dégagée au-dessus de la surface de circulation de la voie traversée est celle qui résulte des instructions en vigueur appliquée à chaque catégorie de voie.

Cette hauteur pourra toutefois être augmentée par décision du Ministre des Transports, en vue de faciliter la circulation des véhicules de hauteur exceptionnelle.

Il ne sera, en principe, pas réalisé de passages à niveau. Dans les cas exceptionnels où il en serait projeté, les conditions de leur réalisation et de leur exploitation devront être établies en accord avec la Commission de Sécurité.

La signalisation nécessaire pour assurer la sécurité de la circulation publique sera réalisée conformément aux règles définies par l'instruction interministérielle en vigueur sur la signalisation routière.

Sur les itinéraires désignés par le Ministre des Transports, lorsque la hauteur libre sous la structure de la ligne sera inférieure à 6 m, l'ouvrage devra être encadré, soit de portiques d'une hauteur libre inférieure de 0,40 m à celle de l'ouvrage et suffisamment résistants pour que l'attention du conducteur soit alertée en cas de choc, soit de tout dispositif agréé par le Ministre des Transports permettant de détecter et de détourner sur un autre itinéraire les véhicules routiers hors gabarit.

En ce qui concerne les autres voies, la signalisation éventuellement nécessaire pour assurer la sécurité de la circulation publique (fluviale, etc...) sera réalisée conformément aux règles appliquées par le gestionnaire de la voie traversée.

#### ARTICLE 8 - MESURES DE SECURITE A PRENDRE LORSQUE LE TRACE D'UNE LIGNE EST VOISIN D'UNE VOIE ROUTIERE

Dans tous les cas où, en raison de l'existence d'une voie publique au voisinage d'une ligne, la sécurité de l'installation ou de l'exploitation de ladite ligne est susceptible d'être compromise, des mesures particulières de protection, d'alarme et de sécurité devront être soumises à l'accord de la Commission de Sécurité.

Il en sera notamment ainsi lorsque la voie se trouvera à un niveau voisin de celui de la voie routière ou inférieure à ce niveau et que les limites des plateformes des voies voisines seront à une distance horizontale inférieure à 10 m.

Les ouvrages en chantier, pendant la phase de construction ou de réparation, et les ouvrages en cours de construction doivent être munis d'un dispositif de sécurité suffisamment résistant et suffisamment étendu pour empêcher les véhicules de circuler dans les zones de chantier.

ARTICLE 9 - TRAVERSEE DES TERRAINS9.1 - Terrains du domaine public

Le maître de l'ouvrage et le propriétaire du domaine public, Etat, Département ou commune intéressés par l'usage des terrains devront conclure une convention pour l'occupation du domaine public. Cette convention définira les relations financières et techniques entre les contractants.

9.2 - Terrains du domaine privé

Le maître d'ouvrage devra justifier d'un droit de propriété privative sur toutes les emprises intéressées par le métro. Dans le cas d'ouvrage en souterrain, cette propriété peut être limitée au tréfonds des immeubles entre des cotes de niveau définies. Dans les ouvrages aériens, le maître d'ouvrage se rendra propriétaire des terrains surplombés nécessaires à ses ouvrages permanents. Il rétablira, au besoin par des voies à créer, les circulations et les accès des parcelles partagées.

ARTICLE 10 - CLOTURES ET PROTECTIONS ANTI-VANDALISME

Obligation pourra être faite au Maître d'Ouvrage de clôturer les emprises dont il dispose lorsque la nécessité en sera reconnue par la Commission de Sécurité.

Ces dispositifs seront installés sur les rives d'ouvrages accessibles au public et situés à un niveau voisin ou supérieur des voies du VAL. Un dispositif de 2,50 m de hauteur minimum au-dessus des trottoirs sera installé sur les rives des ouvrages dans les zones concernées.

CHAPITRE IIOUVRAGES DE GENIE CIVILARTICLE 11 - EXECUTION DES OUVRAGES

Les matériaux utilisés dans la construction des ouvrages d'art et des bâtiments ainsi que la mise en oeuvre de ces matériaux et l'exécution des ouvrages, en général, devront satisfaire au cahier des clauses techniques générales applicable aux marchés publics de travaux relevant des services de l'équipement, désigné ci-après par CCTG, et aux circulaires, directives, instructions, etc... qui le modifient ou le complètent et dont la liste est donnée en annexe 1.

S'il est prévu de faire usage de matériaux autres que ceux visés aux textes ci-avant, les conditions d'emploi de ces matériaux seront soumises à l'agrément préalable du Maître d'Ouvrage.

Sauf dérogation prévue dans les marchés, l'ordre de priorité des documents de référence est le suivant :

- CCTG et textes ministériels,
- DTU,
- Normes AFNOR,
- Etc...

ARTICLE 12 - CONCEPTION, CALCULS ET EPREUVES DES OUVRAGES

Les ouvrages en charpente métallique, en béton armé, en béton précontraint ou de construction mixte acier-béton devront satisfaire aux règlements et textes en vigueur définis en annexe 1 et aux dispositions particulières au VAL définies dans les annexes 2, 3 et 4.

### ARTICLE 13 - CHARGES D'EXPLOITATION

La charge d'exploitation à introduire dans les calculs est constituée par des convois de véhicules-types chargés tels que définis dans l'annexe 2.

La position, la longueur et la composition des convois formés avec le véhicule-type seront choisies dans chaque cas parmi les configurations possibles dans tous les cas d'exploitation, normale ou dégradée, de manière à les introduire dans les combinaisons les plus défavorables dans les différents éléments de l'ouvrage vis-à-vis de l'effet recherché et établis suivant les prescriptions de l'annexe 4.

On tiendra compte des efforts dynamiques dus aux chocs des charges en majorant les efforts verticaux résultant des masses des essieux du véhicule-type adopté dans les calculs. Le coefficient de majoration applicable à une pièce du tablier, à une poutre ou à une travée de poutre, est défini dans l'annexe 4.

### ARTICLE 14 - FORCE CENTRIFUGE ET AUTRES FORCES DE GUIDAGE

#### Force centrifuge

Quand un ouvrage supportera une voie en courbe, on tiendra compte des efforts résultant de la force centrifuge et du dévers de la voie. Les efforts correspondants ne seront pas frappés du coefficient de majoration dynamique.

#### Autre forces de guidage

Les autres forces de guidage des véhicules seront supposées s'exercer selon une direction perpendiculaire au rail de guidage.

Les valeurs de la force centrifuge et des forces de guidage sont définies dans l'annexe 4.

ARTICLE 15 - FORCES LONGITUDINALES (FREINAGE ET DEMARRAGE)

Les charges d'exploitation sont susceptibles de développer des efforts longitudinaux de freinage et de démarrage qui sont supposés agir au niveau de la surface de roulement des véhicules.

Ces efforts, dont il convient de tenir compte tant pour les tabliers que pour leurs appuis, sont fixés en fonction des caractéristiques des véhicules.

Dans les calculs où interviennent les efforts longitudinaux, ni ces efforts, ni les valeurs des charges ne sont susceptibles de majorations pour effets dynamiques.

Les valeurs de ces forces longitudinales sont définies dans l'annexe 2.

ARTICLE 16 - PRESSION DU VENT - CHARGE DE NEIGE - EFFET DE LA TEMPERATURE -  
CHARGES DIVERSES16.1 - Actions du vent sur les ponts et viaducs

Les directions du vent à considérer sont :

- la direction horizontale, normale à l'axe de la voie (vent transversal),
- la direction parallèle à l'axe de la voie (vent longitudinal).

La pression maximale exercée sur une surface plane normale à la direction du vent, ou pression nominale, est censée atteindre 2 000 Pa sans convoi.

On admettra :

- que la pression nominale d'un vent transversal ou d'un vent longitudinal peut atteindre 1 500 Pa, les trains étant supposés arrêtés. La pression maximale applicable aux trains en marche étant celle au-delà de laquelle la circulation des trains est interrompue, conformément aux dispositions de l'article 45 de la présente instruction technique ; cette pression est définie dans l'annexe 2.
- que la pression qui s'exerce sur une surface plane inclinée d'un angle  $\alpha$  sur la direction du vent est égale à la pression nominale multipliée par  $\sin \alpha$ .

Chaque véhicule sera assimilé à un écran rectangulaire dont la hauteur, pour un vent transversal ou longitudinal, et la largeur, pour un vent longitudinal, seront respectivement égales aux dimensions correspondantes du maître-couple, la longueur de cet écran étant déterminée dans chaque cas de manière à réaliser les effets les plus défavorables (cf. annexe 2).

Avec l'accord du service du contrôle, la surface dudit écran pourra être corrigée par un facteur multiplicatif, dit coefficient de forme, déterminé après des essais probants, la position de la résultante des efforts étant modifiée parallèlement s'il y a lieu.

Le service du contrôle pourra, compte tenu des conditions locales, modifier les pressions et les orientations indiquées ci-dessus.

#### 16.2 - Actions de la neige sur les ponts et viaducs

Pour les ponts et viaducs, on appliquera les dispositions précisées en annexe 4.2.

#### 16.3 - Actions du vent et de la neige sur les ouvrages autres que ponts et viaducs

Pour ces ouvrages, on appliquera les dispositions du document technique unifié dit règles NV 65/67 et ses modifications ultérieures pour ce qui concerne le vent et le fascicule 61 titre IV pour ce qui concerne la neige.

#### 16.4 - Actions de la température

Toutes les fois que l'ossature de l'ouvrage ne sera pas conçue pour lui permettre de se contracter ou de se dilater librement, il sera tenu compte de l'influence des variations de température. La valeur admise dans les calculs de l'écart maximal de la température, par rapport à la température qui correspond à une contrainte nulle sous l'effet thermique exclusivement, sera justifiée.

Dans tous les cas, on prendra en compte les effets du gradient thermique.

#### 16.5 - Actions des équipements de plate-forme

Le cahier des charges du Maître de l'Ouvrage précisera dans chaque cas les masses des équipements à prendre en compte, tels que rails de guidage et supports d'isolateur, pistes de roulement, lignes de transmission et leur support, passerelles de service, câbles et supports, longrines.

Ces masses permanentes d'équipements de plate-forme seront susceptibles de varier dans les calculs de  $\pm 10\%$  avec un minimum de  $\pm 150$  kg par mètre linéaire d'ouvrage.

Enfin, une réserve, dont la valeur est fixée en annexe 2, sera prise en compte pour équipements futurs.

ARTICLE 17 - COMBINAISONS DES ACTIONS A PRENDRE EN CONSIDERATION DANS LES CALCULS

Ces combinaisons seront celles ressortant des directives communes de 1979 (circulaire n° 79-25 du 19 mars 1979).

Toutefois, certains des coefficients de pondération fixés par ces textes pourront être modifiés pour tenir compte des conditions de compatibilité des actions en causes dans les lignes de transport visées, c'est-à-dire de leurs possibilités effectives de concomitance avec une probabilité non négligeable dans le cas de ces lignes.

De nouvelles combinaisons seront s'il y a lieu introduites dans le même but. Ces modifications, qui pourront être fonction de la nature des matériaux, seront soumises à l'accord du Ministre des Transports par le Maître de l'Ouvrage.

Les différentes combinaisons d'actions et les coefficients de pondération correspondants sont définies dans l'annexe 4.

ARTICLE 18 - FONDATIONS - PILES - GEOMETRIE DE L'OUVRAGE ET DE LA VOIE

18.1 - Fondations

Les fondations des piles supportant l'ouvrage doivent être établies de façon que les tassements prévisibles soient, compte tenu de la présence éventuelle d'un dispositif de réglage de la voie, compatibles avec les prescriptions de l'article 19 ci-après.

18.2 - Piles

Les piles situées à proximité d'une voie routière devront pouvoir résister aux chocs des véhicules. Le calcul devra prouver leur résistance (le viaduc étant supposé vide de toute voiture et le vent nul) sous l'action des forces définies dans les textes visés à l'annexe 1.

### 18.3 - Géométrie des ouvrages

Les profils en long et en travers, ainsi que la surface de la voie, devront être établis de façon qu'en aucun cas et qu'à aucune vitesse de circulation autorisée ne soient provoqués des chocs, des trépidations, des vibrations ou des accélérations susceptibles d'entraîner des avaries aux ouvrages, à la voie ou aux véhicules.

### ARTICLE 19 - DEFORMATIONS DU TABLIER DES PONTS ET VIADUCS

La conception et la réalisation des structures devront conduire aux résultats suivants :

- le profil en long théorique sera obtenu avec une surcharge égale à la moitié des charges d'exploitation,
- variations maximum des flèches sous application des charges les plus défavorables inférieures au 1/800 de la portée de la travée considérée,
- le déplacement relatif de 2 tabliers séparés par un joint ne devra pas dépasser, sous l'effet des efforts généraux et du vent, ainsi que des variations de température, les valeurs suivantes :
  - . 0,005 m (5 mm) dans le sens transversal,
  - . 0,150 m (150 mm) dans le sens longitudinal,
  - . 0,003 m (3 mm) dans le sens vertical.

### ARTICLE 20 - PRISE EN CONSIDERATION DES NOUVEAUX TEXTES OFFICIELS

Les conditions dans lesquelles seront pris en considération le cas échéant de nouveaux textes applicables aux marchés publics de travaux relevant des services de l'équipement, abrogeant, précisant ou modifiant les textes visés aux articles 11 et 12 seront arrêtées par le Ministre des Transports, après examen de la portée effective de ces textes nouveaux, pour les lignes en cause, avec le Maître de l'Ouvrage.

ARTICLE 21 - EPREUVES

En principe, tout pont devra être soumis à des épreuves avant sa mise en service.

Si les exigences du trafic rendent nécessaire la mise en service, totale ou partielle, d'un ouvrage avant qu'il ait été procédé aux épreuves, celles-ci devront avoir lieu ultérieurement dans le plus bref délai possible.

Les travées de moins de 100 m qui, appartenant à une même ligne ou à une même section de ligne à mettre en service, font partie d'une série du même type exécutée par le même constructeur, pourront, dans une proportion qui ne doit pas dépasser quatre sur cinq, lorsque la plus grande d'entre elles aura subi avec succès les épreuves d'essai, être dispensées de ces épreuves.

Lorsque plusieurs travées sont identiques et exécutées par le même constructeur, les épreuves pourront néanmoins porter que sur une travée sur vingt.

Le Maître de l'Ouvrage qui désignera celles des travées susvisées à soumettre aux épreuves, pourra cependant révoquer toute dispense de celles-ci.

Dans tous les cas où les épreuves auront été ajournées, ou supprimées, il devra être procédé aussitôt après la mise en service de l'ouvrage à une ou plusieurs visites détaillées, dont il sera dressé procès-verbal, le service du contrôle étant appelé à les suivre.

ARTICLE 22 - COMPOSITION DES TRAINS D'EPREUVE

Les épreuves seront faites au moyen de véhicules chargés avec la charge prise en compte dans les calculs.

La composition des trains d'épreuves sera conforme à celle définie à l'article 13 ci-dessus pour le calcul des ouvrages, étant entendu que les deux voies seront chargées simultanément ou séparément de manière à réaliser les conditions les plus défavorables.

On mesurera, au cours des épreuves, la flèche maximale au milieu de chaque travée. Immédiatement après l'épreuve, une inspection générale de l'ouvrage et de ses appuis sera faite et consignée dans le procès-verbal.

Toutes dispositions seront prises pour pouvoir suivre, au cours de la vie de l'ouvrage, l'évolution de ses déformations permanentes.

Au procès-verbal sera annexé un tableau comparatif des flèches (ou contre-flèches) calculées et des flèches (ou contre-flèches) observées.

#### ARTICLE 23 - DISPOSITIONS DE SECURITE EN INTERSTATION

Toutes dispositions devront être prises en accord avec la Commission de Sécurité pour :

- éviter les accidents qui pourraient résulter de l'imprudence des personnes étrangères au service de l'exploitation, dans le cadre des consignes d'évacuation en interstation,
- permettre l'éclairage éventuel des tunnels,
- permettre l'installation d'une liaison téléphonique avec le Poste de Contrôle et de Commande (PCC) à partir des stations,
- permettre d'interrompre l'alimentation en courant de traction depuis le PCC,
- que les discontinuités éventuelles de la voie, conséquence de l'utilisation d'ouvrages à structure légère, soient détectées et signalées au PCC par un dispositif approprié.

#### ARTICLE 24 - MESURES POUR FACILITER L'ENTRETIEN ET LA SURVEILLANCE DES OUVRAGES DE GENIE CIVIL

Les dimensions, dispositions et aménagements des installations fixes devront être conçus de façon que leur surveillance et leur entretien puissent être effectués aussi aisément que possible.

ARTICLE 25 - PRECAUTIONS CONTRE LES INTEMPERIES ET CONTRE L'INCENDIE

L'écoulement et l'évacuation des eaux au droit et aux abords des appuis, ainsi que des stations, doivent être convenablement assurés.

L'utilisation de matériaux combustibles n'est autorisée que là où leur destruction par combustion n'engagerait pas la résistance des ouvrages et la sécurité des personnes.

Toutes les dispositions doivent être prises afin d'assurer la protection des installations fixes contre la foudre et contre les risques d'incendie.

Les mesures visées aux deux alinéas précédents sont soumises à l'accord préalable de la Commission de Sécurité.

ARTICLE 26 - PROTECTION DES OUVRAGES CONTRE LES CORROSIONS

Les ouvrages devront être protégés contre la corrosion par les agents atmosphériques. Des dispositions spéciales pourront être prises pour éviter les risques de corrosion par des courants électriques vagabonds, sur avis de la Commission de Sécurité.

### CHAPITRE III

#### voie

#### ARTICLE 27 - QUALITE DES MATERIAUX - EXECUTION DE LA VOIE

Les matériaux utilisés dans la construction de la voie, ainsi que leur mise en oeuvre, devront satisfaire au cahier des clauses techniques générales applicable aux marchés publics de travaux relevant des services de l'Equipement, désigné ci-après par CCTG, et aux circulaires, directives, instructions, etc... qui le modifient ou le complètent et dont la liste est donnée en annexe 1.

S'il est prévu de faire usage de matériaux autres que ceux visés aux textes ci-avant, les conditions de leur emploi seront soumises à l'agrément préalable du Maître de l'Ouvrage.

Sauf dérogation prévue dans les marchés, l'ordre de priorité des documents de référence est le suivant :

- CCTG et textes ministériels,
- DTU,
- Normes AFNOR,
- Etc...

#### ARTICLE 28 - CONCEPTION - CALCUL

La voie (roulement et guidage), quel que soit le ou les matériaux utilisés, devra satisfaire aux règlements et textes en vigueur définis en annexe 1 et aux dispositions particulières du VAL, définies dans les annexes 2, 3 et 4.

ARTICLE 29 - ANCRAGE DE LA VOIE DANS L'OUVRAGE

L'annexe 2 donnera les efforts à prendre en compte, verticalement, transversalement et longitudinalement pour le calcul des ancrages des isolateurs (support de voie de guidage), du rail central (de guidage en station et en appareil de voie) et des pistes de roulement.

Ces efforts ne sont pas susceptibles de majoration pour effet dynamique.

ARTICLE 30 - EFFETS DU VENT ET DE LA TEMPERATURE

Ces effets sont intégrés dans les efforts à prendre en compte, tels que définis dans l'annexe 2.

ARTICLE 31 - COMBINAISONS DES ACTIONS A PRENDRE EN COMPTE DANS LES CALCULS

Ces combinaisons seront celles ressortant des directives communes de 1979 (circulaire n° 79-25 du 19 mars 1979).

Toutefois, certains des coefficients de pondération fixés par ces textes pourront être modifiés pour tenir compte des conditions de compatibilité des actions en cause dans les lignes de transport visées, c'est-à-dire de leurs possibilités effectives de concomittance avec une probabilité non négligeable dans le cas de ces lignes.

De nouvelles combinaisons seront s'il y a lieu introduites dans le même but. Ces modifications qui pourront être fonction de la nature des matériaux, seront soumises à l'accord du Ministre des Transports par le Maître de l'Ouvrage.

Les différentes combinaisons d'actions et les coefficients de pondération correspondants sont définis dans l'annexe 4.

ARTICLE 32 - PRISE EN CONSIDERATION DE NOUVEAUX TEXTES OFFICIELS

Les conditions dans lesquelles seront prises en considération le cas échéant de nouveaux textes applicables aux marchés publics de travaux relevant des services de l'Equipement, abrogeant, précisant ou modifiant les textes visés aux articles 27 et 28 seront arrêtées par le Ministre des Transports sur proposition du service du contrôle, après examen de la portée effective de ces textes nouveaux, pour les lignes en cause, avec le Maître de l'Ouvrage.

ARTICLE 33 - GEOMETRIE DE LA VOIE

Les profils en long et en travers, ainsi que la surface de la voie, devront être établis de façon qu'en aucun cas et qu'à aucune vitesse de circulation autorisée ne soient provoqués des chocs, des trépidations, des vibrations ou des accélérations susceptibles d'entraîner des avaries aux ouvrages, à la voie ou aux véhicules.

ARTICLE 34 - DISPOSITIONS DE SECURITE SUR LA VOIE

Toutes dispositions devront être prises, en accord avec la Commission de Sécurité pour :

- éviter les accidents qui pourraient résulter de l'imprudence des personnes étrangères au service de l'exploitation, dans le cadre des consignes d'évacuation en interstation,
- permettre d'interrompre l'alimentation en courant de traction depuis le PCC,
- permettre le fonctionnement en sécurité du système (cf. articles 36 et 44).

ARTICLE 35 - MESURES POUR FACILITER L'ENTRETIEN ET LA SURVEILLANCE

Les éléments constitutifs de la voie devront être conçus de façon que la surveillance, l'entretien et le renouvellement éventuel puissent être effectués aussi aisément que possible.

ARTICLE 36 - PRECAUTIONS CONTRE LES INTEMPERIES ET CONTRE L'INCENDIE

L'utilisation des matériaux combustibles ne sera autorisé que là où leur destruction par combustion n'engagerait pas la résistance de la voie et la sécurité des personnes.

Toutes les dispositions devront être prises pour assurer la protection de la voie contre la foudre et contre les risques d'incendie.

Toutes les dispositions devront être prises pour éviter la présence de neige ou de verglas sur les pistes de roulement ou sur les barres de guidage, afin d'assurer le fonctionnement en sécurité du système.

Les mesures visées aux trois alinéas précédents seront soumises à l'accord préalable de la Commission de Sécurité.

ARTICLE 37 - PROTECTION DE LA VOIE CONTRE LA CORROSION

Les barres de guidage pourront être protégées contre la corrosion. Des dispositions spéciales pourront être prises, sur avis de la Commission de Sécurité, pour :

- éviter les risques de corrosion de la voie par courants électriques vagabonds,
- éviter la formation d'arc électrique par suite du dépôt de poussières conductrices sur les isolateurs.

TITRE III

CONDITIONS GENERALES DE CONSTRUCTION DU MATERIEL ROULANT

CHAPITRE UNIQUE

ARTICLE 38 - CAHIER DES CHARGES

La conception, le calcul et la construction des véhicules, ainsi que les dispositions à prendre pour éviter les risques d'incendie font l'objet d'un cahier des charges qui est soumis à l'agrément préalable du Ministre des Transports.

ARTICLE 39 - QUALITE DES MATERIAUX

1) Les matériaux utilisés pour la construction des véhicules, y compris la suspension, doivent être de qualité éprouvée, leurs propriétés mécaniques étant en rapport avec les conditions de mise en oeuvre et d'emploi. Ces matériaux doivent, en principe, être incombustibles. S'il ne peut en être ainsi, ils seront ignifugés. Le traitement d'ignifugation sera obligatoirement appliqué aux tissus, aux matériaux de garnissage des sièges et aux matériaux non métalliques constituant le plancher et toute autre partie de la caisse des véhicules où l'emploi de matériaux non métalliques est nécessaire. Toutes les mesures seront prises suivant les derniers progrès de la technique pour éviter que les matériaux ne dégagent des produits toxiques en cas de combustion.

- 2) Les métaux utilisés doivent offrir aux diverses formes de corrosion, compte tenu de l'agressivité du milieu, et notamment la corrosion fissurante sous tension, une résistance propre ou résultant de procédés de protection d'efficacité reconnue satisfaisante, et être utilisée de façon à éviter la formation de couples galvaniques de contact. Les propriétés de ces métaux ne doivent pas être susceptibles de s'altérer au cours du temps.
- 3) Les alliages d'aluminium utilisés pour la construction des pièces résistantes des véhicules doivent faire l'objet de normes homologuées, leurs conditions d'élaboration parfaitement éprouvées leur assurant ainsi des propriétés bien définies.

Les pièces coulées en alliages d'aluminium ne peuvent être utilisées pour les organes sécuritaires, sauf si des techniques particulières précédées et suivies de contrôles et d'essais appropriés permettent d'établir que ces pièces présentent les qualités requises.

- 4) Les contraintes maximales prises en compte pour les calculs correspondent à un effort de compression longitudinale de 27000 daN sur le châssis, appliqué au niveau de l'attelage et multiplié par un coefficient de majoration dynamique de 1,3.

En ce qui concerne les organes dont la rupture mettrait en danger les voyageurs, toutes justifications seront fournies relativement aux phénomènes de fatigue, au caractère multiaxial des contraintes, aux sollicitations par choc (dans les conditions de température les plus défavorables dans chaque cas).

Avant la mise en service, la résistance mécanique des structures sera vérifiée par des essais statiques, dynamiques et de fatigue dans la mesure où la Commission de Sécurité estimera que les modifications apportées aux fabrications précédentes le justifient.

ARTICLE 40 - PRESCRIPTIONS GENERALES

- 1) Les trains de roues doivent être robustes et conçus pour assurer une parfaite sécurité de marché. En aucun cas, et à aucune vitesse de circulation autorisée, ils ne doivent provoquer des chocs, des trépidations, des vibrations ou des accélérations susceptibles d'entraîner des avaries à la voie, aux ouvrages ou aux véhicules.
- 2) La caisse des véhicules doit posséder sur la partie frontale de ses extrémités deux montants suffisamment résistants pour protéger efficacement, en cas de choc violent, le compartiment des voyageurs. Au niveau de la ceinture, la caisse offrira une résistance à la compression de 20500 daN.
- 3) Les organes de la suspension de chaque caisse doivent comporter des amortisseurs d'oscillations transversales qui doivent être réglés de façon à éviter les phénomènes de résonance, sous l'effet d'un vent transversal ou pour toute autre cause.

ARTICLE 41 - AMENAGEMENT DES CAISSES

Les règles ci-après doivent être observées :

- 1) Les caisses sont aménagées de façon à assurer le confort et la stabilité des voyageurs.
- 2) Les caisses sont munies du côté où se fait l'accès aux quais des stations d'au moins deux portes à l'usage des voyageurs.
- 3) Les portes sont coulissantes.
- 4) Les baies sont fixes et en cas de panne de la ventilation normale une aération suffisante doit être réalisée.

- 5) Les vitres des portes et des baies, ainsi que celles placées à l'intérieur des compartiments (cadres à inscriptions ou photographies, miroirs) sont en verre de sécurité ou en matière transparente offrant les mêmes garanties de sécurité que le verre dit "de sécurité".
- 6) La hauteur des portes d'accès des véhicules et la hauteur disponible à l'intérieur de ces derniers sont soumises à l'agrément préalable de la Commission de Sécurité.
- 7) Les sièges doivent être fixés solidement à la caisse et l'ensemble de leur monture doit être suffisamment rigide pour pouvoir résister efficacement à la poussée des voyageurs.
- 8) Dans le cas où des passagers peuvent voyager debout, les caisses doivent comporter des mains courantes ou des poignées de maintien convenablement orientées et réparties.
- 9) L'intérieur des caisses doit, en cas de panne de l'éclairage normal, être éclairé par un appareillage de secours fonctionnant automatiquement et qui doit être suffisant pour permettre la mise en oeuvre rapide des dispositifs de lutte contre l'incendie et d'évacuation des occupants.
- 10) La charge "normale" est déterminée en prenant la masse moyenne d'un passager égale à 70 kg et correspondant à la capacité nominale définie par le règlement d'exploitation.
- 11) La charge "exceptionnelle" pour la définition de la caisse est celle qui correspond à la présence de 104 voyageurs par voiture.

ARTICLE 42 - PROTECTION CONTRE LES RISQUES D'INCENDIE A BORD DES VEHICULES

Les véhicules seront conçus et réalisés de façon à protéger efficacement les voyageurs contre les risques d'incendie.

Pour cela, les dispositions suivantes seront respectées :

Les compartiments de voyageurs seront isolés des cellules dans lesquelles des incendies sont susceptibles de prendre naissance par des cloisons résistantes au feu. Les temps de résistance au feu de ces cloisons sera suffisant pour permettre aux voyageurs d'évacuer le véhicule sans danger et sera soumis à l'agrément préalable de la Commission de Sécurité.

Toutes précautions devront être prises pour éviter que les liaisons par gaines, câbles ou tuyauteries soient susceptibles de propager un incendie vers les compartiments voyageurs.

Les dispositifs de commande de freinage d'urgence et de secours devront conserver leur efficacité en cas d'incendie du véhicule, afin de permettre en toutes circonstances l'arrêt de ce dernier.

Les compartiments de voyageurs seront munis d'extincteurs dont le nombre, le type, l'emplacement et les conditions de fonctionnement seront soumis par l'exploitant à l'agrément préalable de la Commission de Sécurité.

TITRE IV

EXPLOITATION TECHNIQUE

CHAPITRE I

DISPOSITIONS DE SECURITE CONCERNANT LA CIRCULATION DES TRAINS,

LA SIGNALISATION ET LES AIGUILLAGES

ARTICLE 43 - COMPOSITION ET ESPACEMENT DES TRAINS

La composition des trains doit être telle que les charges d'exploitation réelles ne dépassent jamais celles prises en compte dans les calculs en vertu des articles 12, 28 et 29.

Les dispositions adoptées pour assurer par un double système de commande la sécurité dans la marche des trains, tant en ce qui concerne leur espacement que les manœuvres, sont soumises par l'exploitant à l'agrément de la Commission de Sécurité.

ARTICLE 44 - APPAREILS DE CHANGEMENT DE VOIE

Des mesures doivent être prises pour protéger, en toute sécurité, les appareils de changement de voie, notamment pour empêcher qu'un train ne s'engage sur ces appareils dans le cas où la sécurité ne serait pas assurée.

#### ARTICLE 45 - LIMITATION DE LA VITESSE DES TRAINS

L'exploitant soumet à l'agrément de la Commission de Sécurité :

- 1) les vitesses que les trains ne doivent pas dépasser suivant les caractéristiques de la voie, ainsi que selon la vitesse du vent pour les différentes zones de la ligne,
- 2) la valeur de la vitesse du vent au-delà de laquelle la circulation des trains est interrompue.

#### ARTICLE 46 - CONDUITE AUTOMATIQUE DES TRAINS

Les conditions selon lesquelles est assurée la conduite automatique des trains sont soumises, par l'exploitant, à l'agrément préalable de la Commission de Sécurité.

#### ARTICLE 47 - TELECOMMUNICATIONS

Les informations concernant la position et l'état du fonctionnement des rames en circulation sont regroupées dans le PCC visé à l'article 23, qui dispose de tous les moyens de commande à distance permettant d'assurer la gestion en sécurité du réseau.

Chaque train sera équipé d'installations permettant aux voyageurs d'entrer en liaison avec le PCC et à celui-ci de donner par haut-parleur toutes informations utiles aux voyageurs transportés.

Le PCC doit être relié en permanence au réseau téléphonique public.

CHAPITRE IIDISPOSITIONS DE SECURITE CONCERNANT LES VEHICULES DES TRAINSARTICLE 48 - DISPOSITIFS DE FREINAGE DES TRAINS

Tout train est muni, en plus du dispositif de freinage normal, d'un autre équipement capable en toute circonstance de provoquer son arrêt. Ces deux équipements peuvent utiliser des organes communs de freinage.

Chaque véhicule comporte :

- un signal d'alarme à la disposition des voyageurs permettant d'alerter le PCC en cas de nécessité,
- un moyen d'immobilisation capable de maintenir à l'arrêt le véhicule chargé sur la pente maximale de la ligne, même en cas de vent violent soufflant dans le sens de cette pente.

ARTICLE 49 - LIMITATION DE LA CHARGE

L'exploitant devra munir chaque véhicule d'un dispositif de détection de surcharge enclenchant une affinité de vitesse d'un coefficient inférieur ou égal à 0,9 lorsque la charge d'un véhicule dépasse celle dite "exceptionnelle" et définie à l'article 41.

ARTICLE 50 - DEFAILLANCE DES PNEUMATIQUES DES VEHICULES

Si les pneumatiques ne sont pas d'un type increvable, le guidage des véhicules doit continuer à être assuré en cas de dégonflement d'un ou plusieurs pneumatiques des roues de guidage.

Des dispositions sont prises par l'exploitant :

- pour que toute défaillance d'un ou plusieurs pneumatiques porteurs ou de guidage soit repérée avant injection en ligne,
- pour que toute défaillance en ligne d'un ou plusieurs pneumatiques porteurs ou de guidage provoque automatiquement le ralentissement de la rame intéressée,
- pour prévenir le PCC de cette défaillance.

#### ARTICLE 51 - DEFAILLANCE DE LA SUSPENSION DES CAISSES DES VEHICULES

Des dispositions seront prises pour que toute défaillance du système de suspension de la caisse des véhicules entraîne automatiquement le ralentissement du véhicule et déclenche une alarme au PCC.

#### ARTICLE 52 - MANOEUVRE DES PORTES DES VEHICULES

Un dispositif doit permettre de commander automatiquement l'ouverture et la fermeture des portes à l'usage des voyageurs d'un même côté du train. Ce dispositif doit être conçu de telle manière qu'en aucun cas son fonctionnement ne puisse présenter un danger pour les voyageurs.

Un train ne doit pouvoir partir d'une station que si, pour chaque véhicule, toutes les portes à l'usage des voyageurs sont fermées. Celles-ci demeurent bloquées durant la circulation entre stations.

Un signal sonore avertira les voyageurs de la fermeture imminente des portes.

#### ARTICLE 53 - INTERCIRCULATION DANS LES TRAINS

Toutes dispositions doivent être prises pour permettre d'assurer en toute sécurité la circulation entre les véhicules d'une rame de deux voitures, à l'arrêt et sur instruction du PCC, et en présence d'un agent d'exploitation.

ARTICLE 54 - EVACUATION EN CAS DE NECESSITE DES OCCUPANTS DES VEHICULES D'UN TRAIN IMMOBILISE ENTRE DEUX STATIONS

Toutes dispositions devront être prises pour assurer de jour comme de nuit la sécurité des voyageurs quittant une rame immobilisée sur la voie.

Ces dispositions seront soumises à l'agrément préalable du Ministre des Transports.

CHAPITRE IIIDISPOSITIONS DE SECURITE CONCERNANT LES STATIONSARTICLE 55 - DISPOSITIONS GENERALES

D'une façon générale, les stations devront satisfaire aux articles de l'arrêté ministériel du 20 février 1983 relatif aux règles de sécurité applicables aux locaux accessibles au public situés sur le domaine public du chemin de fer.

Toutes dispositions devront être prises, en accord avec la Commission de Sécurité, pour :

- que les quais soient fermés côté voie par des portes palières s'ouvrant automatiquement à l'arrêt des rames et dont la fermeture conditionne le départ des rames, et situées à 135 mm du gabarit statique en station,
- que la bordure du quai ne soit pas distante de plus de 0,20 m de la verticale des marche-pieds d'accès aux caisses des véhicules,
- éviter en toute circonstance une différence de potentiel électrique supérieure à 50 V entre les caisses des véhicules et les quais des stations,
- éviter les accidents qui pourraient résulter de l'imprudence des personnes étrangères au service de l'exploitation,
- assurer automatiquement, en cas de panne de l'éclairage normal, un éclairage de secours des quais, couloirs, passages souterrains, entrées et sorties des stations,
- assurer en cas de besoin une liaison téléphonique entre les stations et le PCC.

ARTICLE 56 - MESURES POUR FACILITER L'ENTRETIEN ET LA SURVEILLANCE DES STATIONS

Les dispositions et l'aménagement des stations devront être conçus de façon que leur surveillance et leur entretien puissent être effectués aussi facilement que possible.

ARTICLE 57 - PRECAUTIONS CONTRE LES INTEMPERIES

Le recueil, l'écoulement et l'évacuation des eaux au droit et aux abords des stations devront être convenablement assurés.

ARTICLE 58 PROTECTION CONTRE L'INCENDIE

L'utilisation de matériaux combustibles n'est autorisée que là où leur destruction par combustion n'engagerait pas la résistance des ouvrages et la sécurité des personnes.

Les stations devront recevoir tout l'équipement convenable pour que l'on puisse détecter et mener efficacement la lutte contre un incendie qui viendrait à se déclarer.

Les stations devront être munies de moyens d'évacuation (escaliers "normaux" et de secours) en nombre suffisant et disposés de façon à assurer la sécurité des personnes qui peuvent être présentes dans la station (y compris rame à quai) au moment où se déclencherait un incendie.

Les dispositions adoptées pour satisfaire aux conditions ci-dessus seront soumises à l'accord préalable du service du contrôle et de la Commission de Sécurité.

ARTICLE 59 - CHARGES D'EXPLOITATION

La charge d'exploitation à prendre en compte sur les quais et surfaces accessibles au public sera égale à 500 daN/m<sup>2</sup>.

**ANNEXES**

## PREAMBULE

Les annexes ci-après proposent un certain nombre de valeurs numériques. Ces valeurs résultent des caractéristiques du système et de son exploitation à la date d'établissement du présent document. Elles devront être réexaminées à l'origine de chaque projet en prenant en compte les modifications intervenues tant sur le matériel et les équipements associés que sur les conditions d'exploitation.

Le Maître d'Ouvrage pourra confier cette mission à une commission technique dont il est souhaitable qu'elle présente une certaine continuité avec la commission qui a été chargée de la rédaction du présent document.

L'attention du Maître d'Ouvrage est en particulier attirée sur les répercussions de ses choix sur la sécurité des ouvrages, notamment en ce qui concerne les valeurs représentant la masse et le vent.

## **ANNEXE 1**

**TEXTES ET REGLEMENTS APPLICABLES.**

## ANNEXE 1

### TEXTES DE REGLEMENTS APPLICABLES

#### (ouvrages d'art)

##### A. Textes généraux de références

- Circulaire n° 79-25 du 13 mars 1979 : instruction technique sur les directives communes de 1979 relatives au calcul des constructions (DC 79),
- Circulaire n° 71-145 du 13 décembre 1971 : instruction provisoire sur les directives communes relatives au calcul des constructions (DC 71),
- DTU PS 69 "règles parasismiques 1969" et annexes et addenda 1982.

##### B. Textes particuliers

- Fascicule 62 - titre 1er - section 1 du cahier des clauses techniques générales : règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites, dites règles BAEL 83. (Texte homogène avec DC 79).
- Fascicule 62 - titre 1er - section 2 du cahier des clauses techniques générales : règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton précontraint suivant la méthode des états limites, dites règles BPEL 83. (Texte homogène avec DC 79).
- Facsicule 61 - titre V du cahier des clauses techniques générales : conception et calcul des ponts et constructions métalliques en acier. (Texte homogène avec DC 71).

- Circulaire n° 81-63 du 28 juillet 1981 relative au règlement de ~~calme~~ des ponts mixtes acier-béton. (Texte homogène avec DC 71).
- Dossier pilote "Fond 72" du SETRA, à l'exception des spécifications relatives aux fondations sur pieux justifiées à partir d'essais pressiométriques, pour ce qui concerne les fondations des ouvrages. (Texte homogène avec DC 71).
- Règles de justification des fondations sur pieux à partir des résultats des essais pressiométriques, éditées par le SETRA et le LCPC en octobre 1985. (Texte homogène avec DC 79).
- Bulletin technique n° 4 du SETRA - édition 1974 - relatif aux appareils d'appui en élastomère fretté. (Texte homogène avec DC 71).

## **ANNEXE 2**

**CARACTERISTIQUES DU MATERIEL ROULANT , DU TRAÇÉ,  
DE LA VOIE ET PERFORMANCES DU SYSTÈME.**

## SOMMAIRE

### I - PRESENTATION ET CARACTERISTIQUES DU MATERIEL

#### 1.1. PRESENTATION

#### 1.2. CARACTERISTIQUES DU VEHICULE

##### 1.2.1. Géométrie du véhicule

##### 1.2.2. Hauteur des centres de gravités

##### 1.2.3. Motorisation

##### 1.2.4. Pneumatiques

#### 1.3. MASSES

### II - CARACTERISTIQUES DU TRACE ET DES VOIES

#### 2.1. DESCRIPTION DE LA VOIE

#### 2.2. VITESSES

#### 2.3. ACCELERATIONS - DECELERATIONS

#### 2.4. CONSIGNES D'EXPLOITATION

## I - PRÉSENTATION ET CARACTÉRISTIQUES DU MATERIEL

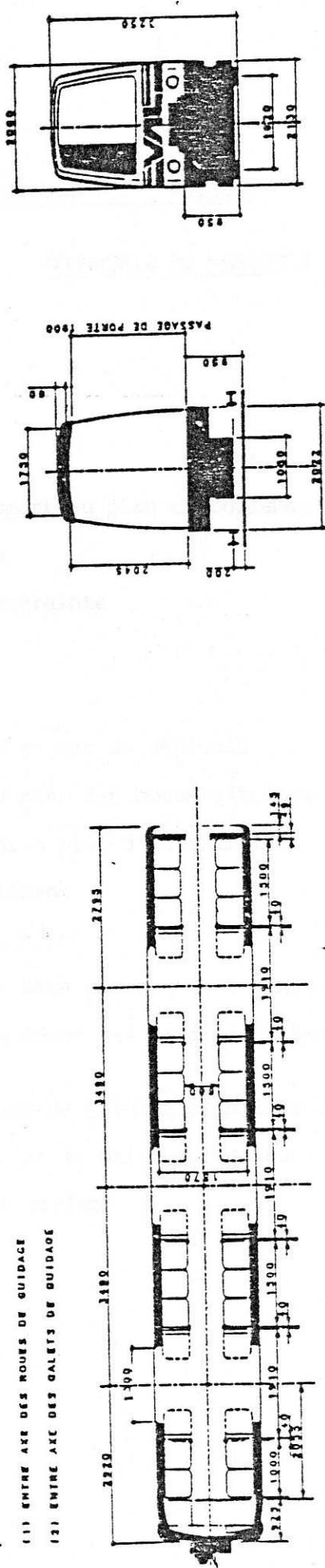
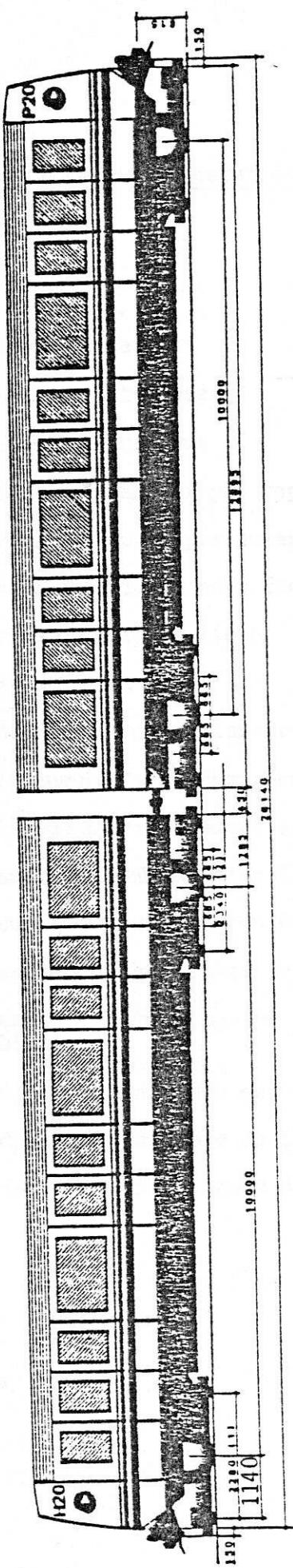
### 1.1. Présentation

Les rames "VAL" sont des ensembles constitués à partir d'éléments composés de deux voitures indissociables (une voiture pilotage automatique et une voiture hacheur), chaque élément étant entièrement autonome.

Les données de trafic peuvent amener à utiliser des rames constituées par ~~ac~~couplement de deux éléments de 26 m, ou plus afin d'assurer, avec une cadence de passage de l'ordre de la minute, le transport des flux de passagers estimés à long terme.

Chaque voiture bien que fonctionnellement différente est montée sur deux ~~es~~sieux équipés chacun d'un moteur et guidée latéralement par deux cadres de guidage solidaires des deux essieux. Chaque cadre de guidage est équipé de ~~qua~~tro roues de guidage horizontales pour le guidage en voie courante et de deux ~~es~~lets verticaux axés sur la voie pour le guidage en zone d'appareil de voie.

Chaque voiture est en outre équipée de deux têtes d'attelage permettant le ~~co~~plage en élément de deux voitures et l'accostage d'un élément soit par ~~un~~ rame suivieuse, soit par la rame précédente.



CAPACITE	ASSIS	DEBOUT	TOTAL
1	68	62	110
2	44	110	154
3	44	164	208

- 1- Strapontins utilisés . 3 passagers debout/m<sup>2</sup> : charge nominale

2- Strapontins relevés . 4 passagers debout/m<sup>2</sup>

3- Strapontins relevés . 6 passagers debout/m<sup>2</sup>

1.2. Géométrie et caractéristiques du véhiculeGEOMETRIE DU VEHICULE

- longueur caisse	12,695 m
- largeur extérieure	2,060 m
- hauteur hors tout	3,250 m
- hauteur plancher par rapport au plan de roulement	0,950 m
- voie des roues porteuses	1,620 m
- voie de guidage en précontrainte	2,130 m
- voie de guidage libre	2,145 m
- empattement	10,000 m
- distance entre glissoirs et axe du véhicule	0,250 m
- longueur d'un élément au plan des bouts extrêmes	25,840 m
- longueur d'un élément entre plan d'accouplement	26,140 m
- surface latérale d'un élément	71,40 m <sup>2</sup>
- surface frontale d'un élément	5,77 m <sup>2</sup>
- entre axe des galets les plus proches de 2 véhicules distincts	0,680 m
- entre axe des roues de guidage les plus proches de 2 véhicules distincts	0,740 m
- distance entre axe de roue de guidage et milieu d'essieu	1,140 m
- distance entre axe de galet et milieu d'essieu	1,170 m
- empattement des roues de guidage	2,280 m

HAUTEUR DES CENTRES DE GRAVITE PAR RAPPORT  
AU PLAN DE ROULEMENT

	Centre de Gravité Caisse (masse suspendue)	Centre Gravité Véhicule (ensemble)
A vide	1310 mm	1010 mm
2 x 22 passagers	1350 mm	1060 mm
2 x 62 passagers	1460 mm	1190 mm
2 x 104 passagers	1560 mm	1340 mm
2 x 131 passagers	1610 mm	1370 mm

Valeurs moyennes entre voiture hacheur et voiture pilotage automatique.

MOTORIZATION

Par élément de 26 m, 4 moteurs (1 par essieu) couplés 2 à 2 en série. (Valeurs utilisées pour le dimensionnement de la voie).

- Effort tangentiel de traction maximum, en charge normale, pneus mi-usés :

2420 daN/essieu  
9670 daN/élément (de 2 voitures).

Valeurs extrêmes :

. 9820 daN/élément en charge exceptionnelle pneus usés.  
. 9540 daN/élément en charge normale, pneus neufs.

- Effort tangentiel de traction (charge normale, pneus mi-usés) en cas de :

. panne de pilotage 9670 daN  
. panne de hacheur 11640 daN

avec 3400 daN sur l'essieu le plus sollicité.

- La motorisation permet de gravir des pentes à 7 % en charge exceptionnelle, demie motorisation avec une accélération résiduelle au démarrage de 0,1 m/s<sup>2</sup>.

Possibilité de pousser une rame inactive sur la ligne, les deux rames étant en charge exceptionnelle.

PNEUMATIQUES- Roue porteuse :

- Adhérence pneu/piste de roulement : maximum 0,85  
minimum 0,35 à 0,40

- Dérive : poussée transversale de 600 kg/d°

- Roue de guidage :

- Adhérence pneu/acier 0,5

1.3. Masses

Masses en kg - rame de 26 m

- véhicule hacheur vide	15600 ± 200
- véhicule pilote automatique vide	15400 ± 200
soit élément vide	31000 ± 400
- masse équivalente aux inerties tournantes (valeur ne dépendant que de la motorisation et du pont)	5960 ± 40
- masse supportée par les glissoirs par essieu à vide	5150
- masse du roulement	2600
- véhicule en charge "moyenne" (2 x 22 passagers)	34080 ± 400
- véhicule en charge "normale" (2 x 62 passagers)	39680 ± 400
- véhicule en charge "exceptionnelle" (2 x 104 passagers)	45560 ± 400
- véhicule en "surcharge exceptionnelle" (2 x 131 passagers)	49340 ± 400

La masse d'un passager est prise en moyenne à 70 kg.

II - CARACTERISTIQUES DE TRACE ET DES VOIES2.1. Description de la voie

La voie a pour rôle d'assurer le roulement et le guidage du véhicule ainsi que les supports et la fixation des équipements d'automatismes (tapis de transmission, balises, détecteurs de présence...) et de sécurité (rail de guidage en station, passerelle d'évacuation...) (voir fig. A.2 - 8 -).

a) Roulement

Il est réalisé essentiellement en béton ou en métal, reposant sur les ouvrages de génie civil par des appuis discrets ou continus. La surface est traitée de façon à garantir les caractéristiques d'adhérence nécessaires au véhicule en phases d'accélération et de freinage, ainsi que d'assurer la précision d'arrêt en station.

b) Guidage latéral

En partie courante, le guidage latéral est assuré à l'aide de deux profils métalliques qui servent également de barres d'alimentation électrique. Ces barres sont montées sur des appuis ponctuels isolants (isolateurs) et épaulées, s'il y a lieu, de joints de dilatation.

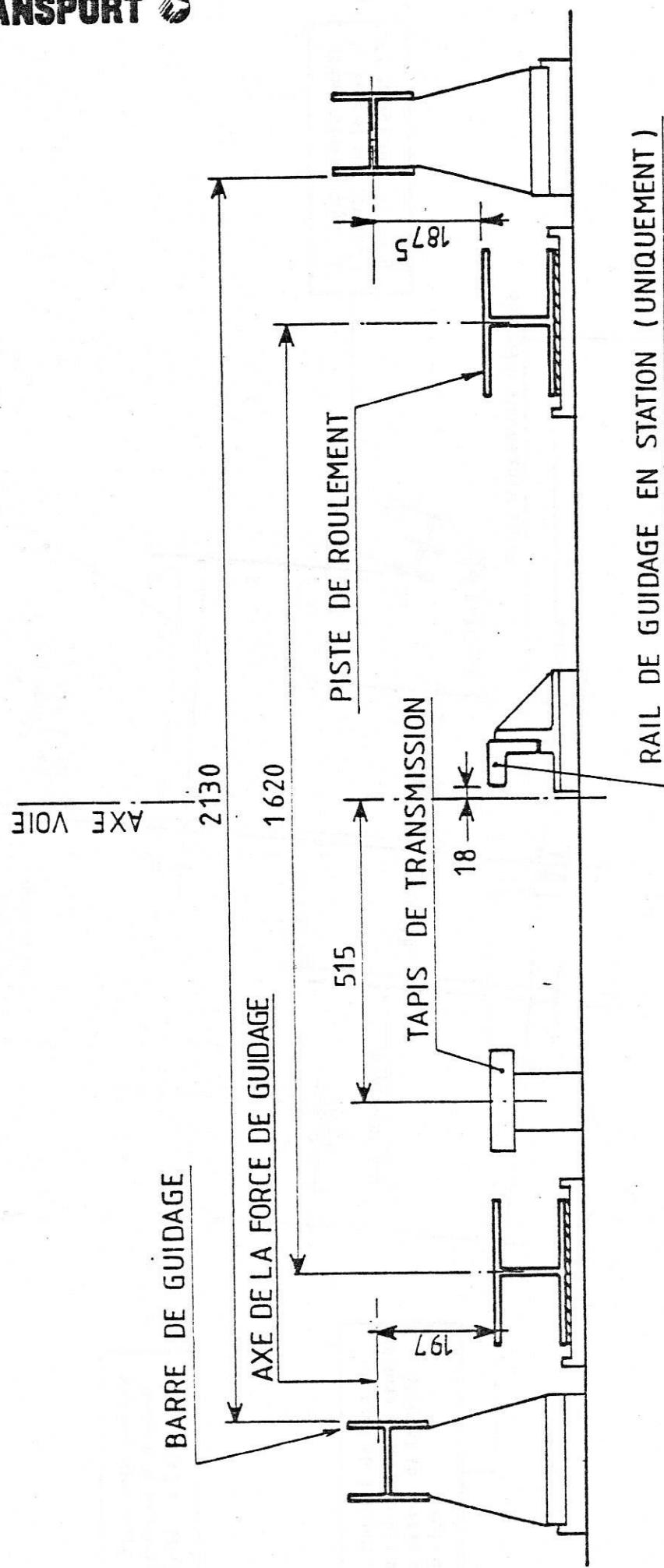
En zone d'aiguillage, le guidage du véhicule se fait par l'intermédiaire des galets, solidaires des cadres de guidage, dans une ornière centrale.

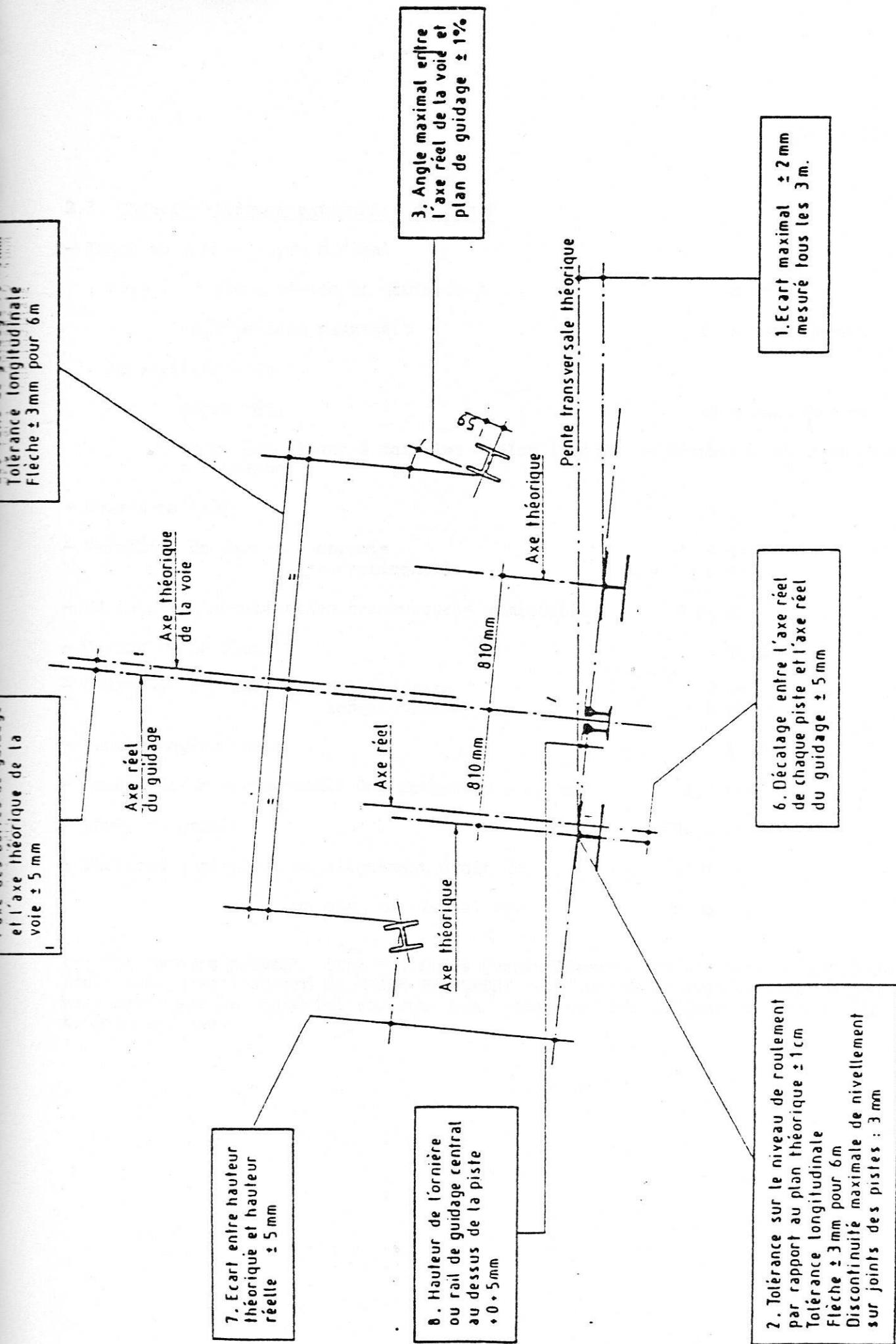
c) Appareils de voie

Les appareils de voie (branchement, communications simples et croisées...) sont constitués d'un guidage central (ornière) et d'une aiguille motorisée et télécommandée qui permet de sélectionner l'itinéraire.

2.2. Tolérances de voie

(voir fig. A.2 - 9 -).





2.3. Caractéristiques extrémales de tracé

## - Tracé en plan - rayon minimal

- . Voie : en ligne aérien et souterrain 150 m (\*)
- en zone sans passagers 40 m sans devers
- . Appareil de voie :
- Rayon réel 40 m sans devers
- Rayon équivalent à calculer selon l'angle de déviation et longueur des courbes.

## - Devers maximal

13 %

- Variation de devers : normale 4 %/s  
exceptionnelle 5 %/s- Variation d'accélération transversale admissible 0,65 m/s<sup>3</sup>

## - Gauche de la piste 9 mm/m

- Défaut de coplanéité : transversale 2 mm  
longitudinale 3 mm

## - Pente longitudinale 7 % (\*)

- Accélération transversale non compensée  $\gamma t_0 \max$  1,3 m/s<sup>2</sup>

## - Rayon en profil 1500 m (\*)

- Stations : réservé un alignement droit de 72 m (\*)  
un plan horizontal sur 63 m (\*)

(\*) Ces valeurs peuvent être modifiées éventuellement en des points particuliers mais avec l'accord de MATRA TRANSPORT vu l'incidence que ces valeurs peuvent avoir sur le matériel roulant, les gabarits, les conditions d'exploitation du système...

### III - PERFORMANCES DU SYSTEME

#### 3.1. Modes d'exploitation

3.1.1. L'exploitation envisagée sur le VAL utilise des rames de 26 m (2 voitures) ou 52 m (4 voitures), qui, à la cadence maximale de passage, permettent d'écouler les flux de passagers estimés à long terme.

Le niveau de chargement d'une rame de 26 m est caractérisé par :

<u>4 cas</u> : charge "moyenne"	2 x 22 passagers
"normale"	2 x 62 passagers
"exceptionnelle"	2 x 104 passagers
"surcharge exceptionnelle"	2 x 131 passagers

3.1.2. Afin de garantir la sécurité (non collision de deux rames), tout en maintenant une cadence d'une minute, la ligne est découpée en cantons fixes sur lesquels ne peuvent circuler qu'un véhicule à la fois ; ceci permet de définir les distances minimum entre deux rames dans le cas d'interstation courante et d'approche de station, en nominal et en cas de perturbations :

#### Interstation courante :

- Cas nominal : longueur minimale d'un canton dans le cas de l'exploitation nominale (60 km/h) :

+ 110 m (distance de freinage)  
+ 30 m (longueur de glissement)  
+ longueur d'un train (26 ou 52 m)

Soit environ : 200 m

- En cas de perturbation : dans le cas où une rame en panne s'est arrêtée en entrée de canton, la deuxième rame peut s'arrêter à 30 m de la précédente.
- Dans le cas où une première rame est en panne, arrêtée en entrée de canton et où la deuxième rame, suite au cumul de pannes extrême, dépasse le mode de vitesse programme, la distance de glissement peut être complètement utilisée.

En approche de station :

- . Cas nominal : 110 m (distance de freinage)
    - + 30 m (longueur de glissement)
    - + longueur d'un canton de station (30 m + longueur d'un train)

Soit 200 m environ.

- En cas de perturbation due à un arrêt prolongé d'une rame en station, la deuxième rame s'arrête avant la station soit à 30 m de la rame précédente (cette valeur est définie en fonction du programme de vitesse standard à 60 km/h, elle pourrait être réduite à condition de réduire la vitesse d'approche en station à une valeur inférieure à 10 m/s).
  - Dans le cas où la deuxième rame, du fait d'un cumul de pannes extrême, serait en dépassement du mode de vitesse programme les 30 m de distance de glissement peuvent être utilisés.

3.1.3. Une nouvelle génération d'automatismes est en cours de développement substituant aux cantons fixes définis au paragraphe 3.1.2. ci-dessus une distance de sécurité, appelée "canton mobile déformable", que chaque élément calcule en fonction de sa vitesse et pousse devant lui.

L'adoption de ces nouveaux automatismes pourra conduire à des modifications des caractéristiques d'exploitation et notamment d'espacement des rames.

Il est donc nécessaire, si cette solution est retenue pour un projet, d'envisager la rédaction d'une annexe particulière décrivant les différents modes de fonctionnement et les différences à prendre en compte dans les hypothèses de dimensionnement.

### 3.2. Vitesses

- vitesse de régime en alignement droit 60 km/h
  - vitesse maximale en alignement droit 80 km/h
  - vitesse maximale en courbe  $V_p = \sqrt{(\gamma t_c + dg) R}$

avec  $R$  : rayon de la courbe  
 $d$  : devers  
 $rt_0$  : accélération transversale non compensée.

Cette valeur  $V_p$  est limitée à 22,2 m/s.

Vitesse en cas de surcharge (plus de 104 passagers dans l'une des deux voitures) : vitesse réduite de 10 %.

- |   |                  |
|---|------------------|
| - vitesse par vent de vitesse supérieure à<br>136 km/h (37,8 m/s) | 18 km/h          |
| - vitesse limite en aiguillage                                    | 6 m/s            |
| - vitesse limite en conduite manuelle                             | 5 m/s $\pm$ 30 % |
| - vitesse en zone de garage atelier<br>limitée dans le garage à   | 6 m/s<br>0,8 m/s |

### 3.3. Accélérations - décélérations

- accélération maximale	$1,3 \text{ m/s}^2$
- accélération maximale en cas de panne	
à vide	<ul style="list-style-type: none"> <li>- panne pilotage <math>2,6 \text{ m/s}^2</math></li> <li>- panne hacheur <math>3,1 \text{ m/s}^2</math></li> </ul>
en charge	<ul style="list-style-type: none"> <li>- panne pilotage <math>1,8 \text{ m/s}^2</math></li> <li>- panne hacheur <math>2,1 \text{ m/s}^2</math></li> </ul>
- taux de variation d'accélération	$0,65 \text{ m/s}^3$
- taux admis pendant 1 s	$0,80 \text{ m/s}^3$
- décélération longitudinale :	
normale	$1,3 \text{ m/s}^2$
d'urgence	$\leq 2,4 \text{ m/s}^2$
d'urgence, moyenne garantie	$1,8 \text{ m/s}^2$
- accélérations transversales :	
normale non compensée en voie $\gamma t_0$	$: 1,3 \text{ m/s}^2$
en appareil de voie	$: 0,37 \text{ m/s}^2$
exceptionnelle en voie :	
Calculée dans le cas d'une survitesse en fonction de la masse, du vent et des conditions de tracé - valeur limitée à $3,6 \text{ m/s}^2$ .	
En appareil de voie :	$1,5 \text{ m/s}^2$
- taux de variation admissible	$0,65 \text{ m/s}^3$

### 3.4. Configurations extrêmes d'exploitation

#### - Vent extrême :

En cas de vent extrême, les conditions d'exploitation retenues sont les suivantes :

A partir de la première pointe de vent supérieure à 126 km/h (35 m/s), les rames sont mises à l'abri le plus rapidement possible (en tunnel ou en garage). Les rames sont à nouveau autorisées à circuler en aérien 1/4 d'heure après la dernière pointe de vent dépassant 126 km/h.

Pour le dimensionnement, on retiendra l'hypothèse qu'aucun véhicule ne roulera en vitesse nominale en aérien avec une vitesse de vent supérieure à 136 km/h (37,8 m/s).

Au cas où un véhicule serait encore en zone aérienne au-delà d'une vitesse de vent supérieure à 136 km/h, la vitesse est limitée à 18 km/h (5 m/s).

- Accostage normal / évacuation de rame / remorquage par train de travaux

- En cas de panne d'une rame entraînant l'arrêt et ne permettant pas au véhicule de repartir seul (même en mode de fonctionnement dégradé) dans les conditions de sécurité nominale, il est prévu que, sur décision du poste central de commande, la rame suivante, arrêtée dans son canton, rejoigne la rame en panne à vitesse réduite, l'accoste et l'emmène jusqu'en station où il y a évacuation de l'ensemble des passagers des deux rames.

Les deux rames sont ensuite retirées de l'exploitation en extrémité de ligne.

- Au cas où la panne ne peut pas être résolue par commutation d'équipement ou par accostage, l'intervention d'un agent d'exploitation est nécessaire pour assurer l'évacuation des passagers en ligne. Cette évacuation se fait par l'intermédiaire de passerelles piétons, le long de la rame puis descente des usagers sur la voie et cheminement sur la voie. La rame est alors ramenée en extrémité de ligne soit en conduite manuelle, soit remorquée par le train de travaux.

## **ANNEXE 3**

**CARACTERISTIQUE DES EVENEMENTS ELEMENTAIRES  
INTERVENANT DANS LE DIMENSIONNEMENT DE L'EXPLOITATION.**

SOMMAIRE

I - MASSES

II - VENT

III - FONCTIONNEMENT NORMAL

- 3.1. Accélération longitudinale maximale de  $1,3 \text{ m/s}^2$
- 3.2. Freinage normal
- 3.3. Accélération transversale non compensée
- 3.4. Freinage d'urgence
- 3.5. Arrêt en interstation

IV - EVENEMENTS LIES A LA TECHNOLOGIE DU VEHICULE

- 4.1. Dérive des pneus porteurs
- 4.2. Dérive des pneus de guidage
- 4.3. Rappel d'attelage
- 4.4. Mise en rotation de la caisse - frottement des glissoirs
- 4.5. Précontrainte des roues de guidage

V - INCIDENTS ET PANNEES VEHICULE ET SYSTEME

- 5.1. Dégonflement d'une roue porteuse
- 5.2. Dégonflement d'une roue de guidage
- 5.3. Blocage de roue(s) porteuse(s)
- 5.4. Blocage de roue de guidage
- 5.5. Traction permanente
- 5.6. Freinage d'urgence non limité

VI - PRISE EN COMPTE DE L'AMPLIFICATION DYNAMIQUE DES EFFORTS

## I - MASSES

### Hypothèses concernant la charge des véhicules à prendre en compte pour le dimensionnement des équipements.

La plupart des efforts appliqués à la voie dépendent de la charge de l'élément c'est pourquoi il est nécessaire de définir, pour chaque combinaison, la masse maximum à prendre en compte (voir méthodologie de calcul des efforts de voie et sur viaduc : annexe 4).

Pour ce faire, il peut être utilisé soit une répartition de la masse selon une loi normale dont la moyenne et l'écart type sont à définir selon les projets dans le cas du calcul des efforts de voie, soit des valeurs discrètes dans le cas du calcul des efforts sur viaduc.

Ces valeurs sont à estimer compte tenu des données de trafic locales prévues, de la connaissance du comportement des voyageurs et de la corrélation entre les lois estimées et les enquêtes réalisées sur les projets antérieurs.

$$M = N (m, \sigma)$$

avec  $m$  = masse à vide + aléas +  $n$  passagers

$$\sigma = n' \text{ passagers}$$

$n$  et  $n'$  étant à fixer pour chaque projet.

Remarque : Compte tenu de l'adaptation du parc de véhicule et de la cadence de passage au trafic des voyageurs, la loi de répartition de la masse d'un élément variera probablement peu d'un projet à l'autre.

## II - VENT

### Hypothèses concernant le vent à prendre en compte pour le dimensionnement des équipements.

Ces hypothèses sont bien entendu liées au lieu géographique d'implantation du projet.

Dans le cadre de l'application de la méthodologie de calcul des efforts appliqués à la voie, il est nécessaire de disposer d'une loi statistique de répartition.

La loi de répartition du vent est une loi log normale comme le confirme les relevés statistiques météorologiques.

Ces relevés statistiques indiquent le nombre de jours où il est apparu un vent supérieur à une vitesse donnée pour une période de référence fixée.

En fait, les pointes maximales apparaissent sur des durées très brèves et considérer qu'elles se produisent sur 24 heures, conduit à surestimer de façon importante la probabilité d'une combinaison faisant intervenir un niveau de vent élevé. C'est pourquoi il sera déterminé les probabilités des vents importants en considérant un majorant de leur durée réelle relevée sur les quelques jours où ils se sont produits et ce, pour chaque vitesse de vent jusqu'à celle correspondant à 24 heures d'apparition.

La loi log normale à considérer a pour paramètres :

$m$  = log (moyenne de la vitesse de la répartition statistique)

$\sigma$  = déterminé de façon que la loi obtenue recoupe les probabilités calculées pour les grandes valeurs de vent.

Pour les calculs sur viaduc des valeurs discrètes sont utilisées conformément à l'article 16.1 du texte général.

### III - FONCTIONNEMENT NORMAL

#### 3.1. Accélération longitudinale maximale de $1,3 \text{ m/s}^2$

On considère en première analyse que 1/6e du temps total est passé en accélération à  $1,3 \text{ m/s}^2$ , soit une durée moyenne de 10 mn/h.

Les zones d'accélération sont dans la majorité des cas imposées par le pilotage automatique (sortie de station, sortie de courbe, rampes, terminus...). Certaines zones correspondant à des réajustements de la vitesse réelle à la vitesse de programme ont une position aléatoire.

### 3.2. Freinage normal

On considère un freinage par minute d'une durée moyenne de 13 s pour une décelération normale de  $1,3 \text{ m/s}^2$ . De même que pour les zones d'accélération, les zones de freinage sont, pour la plupart des cas, imposées par le pilotage automatique (entrée de station, entrée de courbe, terminus...). Des zones aléatoires correspondent à des réajustements de la vitesse réelle à la vitesse de programme.

### 3.3. Accélération transversale non compensée

Accélération limitée à  $1,3 \text{ m/s}^2$  (ou à une valeur inférieure fixée par les données de programme), dont l'effet apparaît dans chaque courbe avec une probabilité 1.

### 3.4. Freinage d'urgence (FU)

Ce freinage peut se produire soit suite à un défaut sur la rame elle-même, soit en raison d'un incident sur la ligne survenu à une autre rame (anti-collision).

D'après le suivi d'exploitation, le taux de FU est de  $75 \cdot 10^{-3} / \text{h}$  pour une durée de 10 s par FU.

### 3.5. Arrêt en interstation

On suppose arbitrairement 1 arrêt à l'heure d'une durée moyenne de 7 s. Ces arrêts font suite soit à un freinage d'urgence, soit à un arrêt anti-collision en freinage normal.

## IV - EVENEMENTS LIES A LA TECHNOLOGIE DU VEHICULE

### 4.1. Dérive des pneus porteurs

Ce phénomène est dû au défaut d'alignement que peut prendre la roue porteuse par rapport à l'axe des pistes de roulement. En condition normale, ce phénomène est dû aux mises en travers de l'essieu sous les effets de couple (dissymétrie de freinage, d'adhérence...).

La valeur maximale de cet effort est prise en compte systématiquement.

Ce phénomène est toutefois amplifié lors de la crevaison d'une roue de guidage qui accentue la rotation du cadre de guidage, une valeur spécifique est donc utilisée dans ce cas.

#### 4.2. Dérive des pneus de guidage

Ce phénomène est identique à celui qui affecte les roues porteuses ; toutefois, la crevaison d'une roue porteuse n'affecte pas les roues de guidage puisqu'elle conduit à translater la roue de guidage et non à la faire pivoter.

#### 4.3. Rappel d'attelage

Les véhicules étant composés de deux voitures liées par un attelage, lorsque les deux voitures sont dans des courbes de rayons de courbure variables ou différents, la voiture de tête transmet un effort au cadre de guidage avant de la deuxième voiture : le rappel d'attelage.

L'effort correspondant est pris en compte systématiquement dans chaque zone courbe ; il est calculé sur la courbe à rayon variable la plus pénalisante.

#### 4.4. Mise en rotation de la caisse - frottement des glissoirs

La mise en rotation de la caisse apparaît également quand une rame se situe dans une courbe à rayon variable. En effet, l'inertie de la caisse amène de l'essieu avant sur l'essieu arrière d'une voiture un effort centrifuge (ou centripète) dû à l'insertion de la voiture dans une courbe où les essieux avant et arrière ne subissent pas le même effet de courbure. L'effort de mise en rotation de la caisse est pris systématiquement en compte dans les courbes.

#### 4.5. Précontraintes des roues de guidage

Afin d'assurer un meilleur guidage du véhicule dans les configurations courantes le véhicule est "serré" entre les deux barres de guidage. Cet effort de précontrainte peut être compensé partiellement ou totalement dans certaines configurations de charge (principalement sous efforts transversaux ou couples importants appliqués au cadre de guidage), il est pris en compte dans le calcul des efforts transversaux sur chaque roue de guidage.

V - INCIDENTS ET PANNES VEHICULE ET SYSTEME5.1. Dégonflement d'une roue porteuse

Selon Michelin, on peut s'attendre à un dégonflement environ tous les  $10^7$  km, ce qui donne - à une vitesse moyenne de 35 km/h - un taux de défaillance de  $3,5 \cdot 10^{-6}$  /h par pneu, soit  $1,4 \cdot 10^{-5}$  /h pour les 4 pneus dont le dégonflement se traduit par un couple dans le sens défavorable dans les calculs d'efforts transverses exceptionnels.

Pour une durée maximale d'environ 30 mn (un demi-tour) entre deux zones de détection, ceci donne une probabilité instantanée de  $0,7 \cdot 10^{-5}$ .

5.2. Dégonflement d'une roue de guidage

Les probabilités données pour le dégonflement d'une roue porteuse sont multipliées par 2, car on a 8 pneus de guidage par côté qui ont chacun sensiblement le même taux de dégonflement :  $10^{-7}$  /km.

On a donc un taux horaire de  $2,8 \cdot 10^{-5}$  /h, soit une probabilité instantanée de  $1,4 \cdot 10^{-5}$ .

5.3. Blocage de roue(s) porteuse(s)

Cet évènement fait suite soit à un incident sur le pont soit sur le différentiel soit sur la fixation d'une roue porteuse ; il se traduit par un blocage d'une roue ou des deux roues d'un même essieu.

Dans le premier cas, il se produit une décélération longitudinale estimée en fonction du coefficient de frottement maximum entre pneu et surface de roulement pour la roue bloquée et en fonction du coefficient normal pour les autres roues. Il s'ensuit un effort longitudinal exceptionnel sur la piste de roulement et un couple de rotation de l'essieu et de cadre de guidage dû à la différence des effets longitudinaux sur les deux roues du même essieu.

Ces efforts sont calculés en fonction de la masse du véhicule et du coefficient de frottement minimum pris en compte sur la roue bloquée.

. Dans le second cas, il se produit une décélération longitudinale obtenue considérant 2 roues bloquées, chaque piste de roulement reprenant l'effort longitudinal correspondant, calculé en fonction de la charge du véhicule du coefficient de frottement maximum entre pneu et surface de roulement.

Le taux de défaillance d'un tel évènement est de :

$3,4 \cdot 10^{-7} / \text{h}$  par pont soit  $13,6 \cdot 10^{-7} / \text{h}$  élément.

En supposant qu'une roue reste bloquée 30 s, ceci donne une probabilité instantanée de  $1,1 \cdot 10^{-8} / \text{élément}$ .

#### 5.4. Blocage de roue de guidage

Pour une roue de guidage, le blocage se situe au niveau de la fixation de la roue sur son axe, elle produit un effort longitudinal exceptionnel sur la barre de guidage et un couple sur le cadre de guidage. Les valeurs de ces efforts sont déterminées en fonction du coefficient d'adhérence entre pneu et surface de roulement, et de l'effort transversal déjà appliqué par la roue sur la barre de guidage.

Pour le blocage d'une roue de guidage, on prendra comme majorant de la probabilité d'occurrence d'un tel évènement, les valeurs applicables aux roues portées :

soit :  $27,2 \cdot 10^{-7} / \text{h}$  élément.

On supposera aussi que la durée de blocage est de 15 minutes.

On obtient alors une probabilité instantanée de  $6,80 \cdot 10^{-7}$  par élément.

#### 5.5 Traction permanente

Certaines pannes de pilotage ou de hacheur peuvent conduire à une non limitation de l'accélération de traction à  $1,3 \text{ m/s}^2$ .

Ces pannes concernent les circuits réalisant l'asservissement d'accélération, ceux de commande d'effort, ou sont dues à la panne d'un capteur au niveau du hacheur.

Ces pannes entraînent une surintensité moteur et donc un effort de traction plus important amenant une survitesse du véhicule par rapport à la vitesse de programme prévue. Après détection de cette survitesse par les systèmes sécuritaires, le freinage d'urgence est déclenché automatiquement. Cette survitesse se traduit par un effort longitudinal exceptionnel sur la voie et par une augmentation de l'accélération transversale en courbe.

## **ANNEXE 4.1**

**CHARGES A PRENDRE EN COMPTE POUR LA VERIFICATION  
DE LA VOIE.**

## S O M M A I R E

### 1 - MÉTHODE DE CALCUL DE LA VOIE - EFFORTS

- 1.1. Types d'efforts
- 1.2. Probabilités instantanées
- 1.3. Combinaisons des probabilités instantanées
- 1.4. Seuils de probabilité
- 1.5. Combinaisons selon la localisation
- 1.6. Coefficients de pondération
- 1.7. Coefficient de majoration dynamique
- 1.8. Vérification à la fatigue

### 2 - DETERMINATION DES EFFORTS

- 2.1. Efforts longitudinaux
- 2.2. Efforts transversaux
- 2.3. Efforts résultant de phénomènes climatiques
- 2.4. Efforts indirectement fonction de la masse du véhicule ou indépendants de la masse et des phénomènes climatiques
- 2.5. Efforts appliqués à la voie en fonction des efforts élémentaires

## 1 - MÉTHODE DE CALCUL DE LA VOIE - EFFORTS

### 1.1. Types d'efforts

Les efforts amenés par le véhicule sur la voie sont classés en trois catégories :

A - efforts directement fonction de la masse du véhicule : efforts centrifuges, efforts de freinage, blocage de roue porteuse, survitesse, etc....,

B - efforts résultant de phénomènes climatiques,

C - autres efforts :

. efforts indirectement fonction de la masse du véhicule : blocage de roue de guidage, crevaison de roue porteuse, etc....,

. efforts indépendants de la masse et des phénomènes climatiques : effort de dérive des pneumatiques, mise en rotation de la caisse, entraînement d'attelage, frottement des glissoirs, précontrainte des roues de guidage.

Dans chaque catégorie, on distingue les efforts transversaux, longitudinaux, verticaux : soit sur la piste, soit sur la barre de guidage.

Les efforts transversaux sur la barre de guidage sont de deux types :

- les efforts induits par un couple donnant lieu à des efforts opposés sur 2 roues d'un même bogie de guidage et,

- les efforts transversaux "purs" donnant lieu à des efforts positifs ou négatifs sur les deux roues d'un même côté d'un même bogie de guidage.

On désigne par :

$FL$  : l'effort longitudinal sur la piste de roulement,

$FL'$  : l'effort longitudinal sur le rail de guidage,

$FT$  : l'effort transversal sur la piste de roulement,

$FT'$  : l'effort transversal direct sur le rail de guidage,

$FT''$  : l'effort transversal sur le rail de guidage induit par un couple,

$RV$  : l'effort vertical sur la piste de roulement,

$FV'$  : l'effort vertical sur le rail de guidage.

## 1.2. Probabilités instantanées

Les différents évènements sont affectés d'une probabilité d'occurrence qui se traduit par :

- une probabilité instantanée qui représente la probabilité que le véhicule a de voir apparaître un évènement donné en une heure de fonctionnement,

ou

- une probabilité instantanée de dépassement d'une valeur d'un évènement donné: cas de la masse et du vent,

ou

- un taux d'occurrence estimé d'une défaillance du véhicule pour une période d'une heure soit  $\lambda \alpha$  par heure élément, et une durée de l'évènement correspondant, donnant lieu aux efforts considérés dans la combinaison correspondante,  $t \alpha$  en h.

Dans ce dernier cas, la probabilité instantanée est définie par :

$$p \alpha = \lambda \alpha t \alpha \quad \text{dans le cas où : } \lambda \alpha t \alpha \ll 1$$

### 1.3. Combinaisons des probabilités instantanées

- La règle de combinaison des probabilités d'évènements auxquels sont associées des probabilités instantanées, est obtenue directement par multiplication de ces probabilités instantanées.
- La règle de combinaison des probabilités de deux évènements et pour lesquels on connaît  $\lambda_\alpha$ ,  $t_\alpha$  et  $\lambda_\beta$ ,  $t_\beta$  et donnée par :

$$\lambda_\alpha \lambda_\beta (t_\alpha + t_\beta) \text{ par heure élément}$$

Pour trois évènements  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , on dépasse le seuil fixé de probabilité.

Pratiquement, cela exprime que l'occurrence de 3 évènements "rares et courts" (ou du moins pour lesquels le produit  $\lambda_\alpha t_\alpha$  est << 1) est pratiquement nulle.

- La règle de combinaison des probabilités de deux évènements  $\alpha$  et  $\beta$  auxquels sont associées des probabilités de dépassement d'une certaine valeur, est la suivante :

$$\text{soit } P_k = \frac{\text{Seuil fixé}}{\pi_i P_i}$$

- .  $P_i$  probabilité des autres évènements pris en compte dans la combinaison,
  - .  $P_k$  correspond à la probabilité combinée de deux évènements  $\alpha$  et  $\beta$  (dans notre cas : masse et vent).
- On prend  $P_\alpha$  minimum supérieur ou égal à  $P_k$  et on complète avec  $P_\beta$  tel que  $P_\alpha \times P_\beta = P_k$

Pour des valeurs moindres de  $P_\beta$ , le produit  $P_\alpha \times P_\beta$  sera inférieur à  $P_k$  et donc  $P_\alpha \cdot P_\beta \cdot \pi_i \cdot P_i$  inférieur au seuil, la combinaison n'étant alors pas à prendre en compte. Par contre, si  $P_\beta$  est plus grand, le produit  $P_\alpha P_\beta$  sera supérieur à  $P_k$  dont  $P_\alpha P_\beta \pi_i P_i$  supérieur au seuil, la combinaison est à envisager mais l'effort correspondant à  $P_\beta$  est alors plus faible que celui pour lequel nous avions  $P_\alpha P_\beta \pi_i P_i = \text{seuil}$ .

En utilisant cette méthode, on prend en compte pour chaque combinaison, les efforts maximums dans la limite du seuil fixé.

- On procède ensuite de la même façon en prenant  $P_8$

Les combinaisons correspondantes aux deux cas sont étudiées.

#### 1.4. Seuils de probabilité

Le seuil de base est un taux de défaillance sécurité par unité de temps ou une probabilité de défaillance sécurité pour une durée donnée, calculé à partir d'un objectif fixé exprimé en nombre d'accidentés par milliard de voyageurs transportés.

Ce seuil dépend donc de cette allocation et de données relatives à la ligne : nombre de personnes transportées, durée quotidienne de trafic, durée de fonctionnement journalière des équipements, vitesse moyenne, nombre de véhicules utilisés, nombre des tronçons, nombre de stations...

Une fois calculée, ce seuil est réparti entre les sources d'accidents possibles : automatismes, matériel roulant et voie (dossier de sécurité VAL note FN/32/3336/78. §7).

A ce seuil, correspondront les combinaisons dites "accidentelles", le seuil envisagé à Lille (10<sup>-9</sup> /h.élément) correspondant à, au plus, 1 évènement tous les 300 ans avec un niveau de confiance de 0,9994 (probabilité que l'évènement survienne au plus une fois en 300 ans), pour une ligne de métro d'environ 10 km de longueur.

Il sera étudié des combinaisons correspondantes à un évènement tous les 30 ans (durée de vie moyenne des différents équipements) : combinaisons dites "exceptionnelles" et des combinaisons correspondant à un évènement annuel : combinaisons dites "fondamentales".

Ces trois types de combinaisons étant des combinaisons d'état limite ultime.

#### 1.5. Combinations selon la localisation

Les évènements à introduire dans une combinaison seront d'abord déterminés dans une configuration "aérien en courbe".

Parmi ces évènements, ceux relatifs à la "courbe" ne seront plus pris en compte en alignement droit (aérien ou souterrain) et ceux relatifs à l'"aérien" ne seront plus pris en compte en souterrain (courbe ou alignement droit). De ce fait, les éléments de voie, dans les configurations "aérien droit", "souterrain droit", "souterrain courbe" et "aérien courbe" seront d'égale résistance vis-à-vis des efforts amenés par le véhicule.

Les combinaisons d'efforts envisagées correspondent à l'ensemble des deux essieux porteurs centraux et aux deux cadres de guidage associés.

#### 1.6. Coefficients de pondération

- Combinaisons d'état limite ultime fondamental :

Compte tenu du caractère borné des actions provenant du matériel roulant :

$$1,35 Q_f + W_f + T_f$$

Avec :

$Q_f$  : actions provoquées par le matériel roulant,

$W_f$  : action du vent, borné à 37,8 m/s (arrêt d'exploitation au-delà de cette valeur),

$T_f$  : effet de température.

Lorsque les intensités des efforts résultants de  $Q$  et  $W$  sont inversées, on appliquera la combinaison ci-dessous :

$$1,35 W_f + Q_f + T_f$$

Les sollicitations en résultant ne devront pas excéder la limite de la réversibilité.

- Combinaison d'état limite ultime exceptionnelle et accidentelle :

$$W + Q \text{ ou } T + W_f + Q_f$$

Les sollicitations en résultant pouvant être déterminées avec prise en compte d'adaptation plastique des matériaux pour les combinaisons accidentnelles ; si cette possibilité n'est pas utilisée, les combinaisons accidentnelles étant plus défavorables, elles seront seules prises en compte.

- Combinaison d'état limite de service :

$W_f + Q_f$  pour les niveaux d'efforts utilisés dans les combinaisons d'état limite ultime fondamentales.

Remarque : Les efforts provenant du poids propre des éléments de voie sont intégrés dans  $Q$  étant donné leur modicité.

### 1.7. Coefficients de majoration dynamique

Pour tenir compte du mode dynamique de l'application des efforts sur les éléments de voie, nous multiplions ces efforts par un coefficient de majoration dynamique.

- Efforts verticaux et longitudinaux : nous appliquons un coefficient de majoration dynamique égal à 1,3.
- Efforts transversaux : coefficient dynamique de :
  - 1,2 en viaduc,
  - 1,3 en tunnel pour tenir compte de l'effort de piston.

### 1.8. Vérification à la fatigue

La durée de vie des équipements importants de voie, dont le remplacement amène des travaux importants, est fixée à 30 ans.

Les dimensionnements des matériels correspondants doivent donc permettre le fonctionnement correct du système pendant cette durée compte tenu d'une maintenance à définir pour chaque élément.

Ceci conduit à faire une vérification à la fatigue des différents constituants que l'on peut classer en 3 catégories :

- Ouvrages de génie civil et constructions en béton armé ou métalliques dimensionnées suivant les règles générales applicables aux ouvrages et constructions (béton armé, construction métallique, béton précontraint...),
- Equipements traditionnels repris des systèmes classiques dans le domaine ferroviaire ou métro,
- Autres équipements.

Pour les ouvrages dimensionnés selon les règlements généraux de construction, les vérifications en fatigue seront faites selon ces règlements. Ces règlements conduisent à des dimensionnements assurant une durée de vie des ouvrages largement supérieure aux 30 ans demandés.

Pour les équipements traditionnels ferroviaires, s'il est démontré que l'utilisation qui en est faite est analogue à celle des systèmes actuellement en service, on considérera qu'ils respectent leur allocation de sécurité en résistance et en comportement en fatigue.

Pour les autres équipements, la sécurité en fatigue sera justifiée de façon théorique si cela est possible en considérant les valeurs régulièrement atteintes des efforts dans les conditions d'exploitation normales.

Sinon, la justification de la sécurité en fatigue sera faite expérimentalement par application des efforts générés dans les conditions d'exploitation normale et d'un nombre de cycles permettant de simuler les conditions d'exploitation ou de dépasser les seuils critiques correspondants aux différents matériaux testés (le nombre de cycles envisagé sera équivalent à ceux usuellement utilisés par des organismes officiels de transport type RATP ou SNCF).

Le dossier de sécurité du VAL affecte aux équipements de voie une allocation d'objectif d'accidents collectifs (déraillements ou collisions) dus à la rupture en fatigue d'éléments de voie, fixée dans le cadre des hypothèses de Lille à 0,005/an (soit une probabilité de rupture pour l'ensemble des équipements concernés de  $25.10^{-4}$ /an). Le niveau d'effort à prendre en compte dans le cadre de cette vérification est celui qui n'a qu'une probabilité de 0,3 d'être dépassé. Ce calcul pourra tenir compte de la répartition des voyageurs le long de la ligne.

Au cas où cet objectif ne peut être obtenu sans maintenance en ce qui concerne les contraintes répétitives, il doit être défini une méthode de contrôle et sa fréquence d'application pour déceler d'éventuels défauts.

## 2. DETERMINATION DES EFFORTS

### 2.1. Efforts longitudinaux

#### a) à l'arrêt

L'effort longitudinal sur la piste de roulement, dû à la composante horizontale de la gravité lors de l'arrêt du véhicule en pente, est calculé selon la formule :

$$FL = \frac{M \cdot IL \cdot 9,81}{10n} \text{ daN/essieu porteur}$$

Les calculs seront faits pour une pente longitudinale maximale avec :

M : Masse de la rame considérée,

IL : Pente longitudinale,

n : Nombre d'essieux porteurs.

#### b) accélération limitée à $\gamma n = 1,3 \text{ m/s}^2$

L'effort longitudinal sur la piste de roulement en phase d'accélération dépend de cette accélération et de la pente longitudinale de la voie, mais ne peut en aucun cas dépasser l'effort maximum de traction fourni par le moteur soit  $F_{max} = 9670 \text{ daN/élément}$ .

$$FL = \frac{M + Mi \times \gamma n}{10n} \text{ daN/essieu porteur}$$

Avec :

M : Masse de la rame considérée,

Mi : Masse équivalente aux inerties tournantes,

n : Nombre d'essieux porteurs.

c) traction permanente

L'effort de traction sur piste se produit dans le cas de panne de pilotage automatique, et atteint  $F_{max} = 11640$  daN/élément et vaut :

$$FL = 3400 \text{ daN sur l'essieu le plus sollicité}$$

d) freinage normal  $\gamma n = 1,3 \text{ m/s}^2$ 

$$FL = \frac{M + Mi}{10n} \times \gamma n \quad \text{daN/essieu porteur}$$

avec :

$M$  : Masse de la rame considérée,

$Mi$  : Masse équivalente aux inerties tournantes,

$n$  : Nombre d'essieux porteurs.

e) freinage d'urgence  $\gamma u = 2,4 \text{ m/s}^2$ 

$$FL = \frac{(M + Mi) \gamma u}{10n} \quad \text{daN/essieu porteur}$$

avec :

$M$  : Masse de la rame considérée,

$Mi$  : Masse équivalente aux inerties tournantes,

$n$  : Nombre d'essieux porteurs.

f) freinage d'urgence non limité par décélérostat

En cas de panne du décélérostat, l'effort maximum longitudinal de freinage sur piste est fonction des caractéristiques mécaniques des freins.

Ceux-ci peuvent donner un effort maximum de 5310 daN/essieu dans le cas d'une rame de 26 m. C'est cette valeur qui sera prise en compte dans les calculs.

Pour une rame de 52 m, la redondance des décélérostats permet de considérer que la décélération reste limitée à  $2,4 \text{ m/s}^2$  dans tous les cas.

g) bloage d'une roue porteuse

Le blocage d'une roue porteuse entraîne un effort longitudinal de freinage sur piste au droit de la roue bloquée.

$$FL = \mu \left[ \frac{M}{8} (g \cos \alpha + \gamma_c \sin \alpha) + \frac{M \gamma}{4} \cos \alpha \frac{(h-h')}{E} + FW \frac{h^W - h'}{E} + \mu \frac{M g}{8} \frac{h}{e} \frac{1}{2(1-\mu h/2e)} \right] \text{ daN}$$

roue 10 bloquée

- $\alpha$  = dévers.
- $\mu$  = coefficient de frottement à la roue bloquée
- $M$  = masse de l'élément de 26 m avec passagers
- $\gamma$  = accélération latérale non compensée par le dévers
- $\gamma_c$  = accélération centrifuge totale ( $V^2/R$ ) =  $\gamma + g \tan \alpha$
- $h$  = hauteur du centre de gravité pour la masse  $M$
- $h'$  = hauteur du plan de guidage
- $E$  = voie des roues porteuses (1,62 m)
- $e$  = empattement des roues porteuses (10 m)
- $FW$  = force due au vent
- $h^W$  = hauteur d'application du  $FW$

L'effort sur les roues non bloquées est :

$$FL = \frac{1}{40} [(M + M_i) |\gamma_a| \pm (1400 + 0,1 M + 75 V + C (V + W)^2)] \text{ daN/roue}$$

retardateur

- $M$  = masse d'un élément de 26 m
- $M_i$  = masse équivalente aux inerties tournantes pour 1 élément de 26 m
- $\gamma_a$  = accélération ou décélération
- $V$  = vitesse de la rame
- $W$  = vitesse du vent

## 2.2. Efforts transversaux

### a) à l'arrêt

L'effort transversal sur le rail de guidage dû à la composante horizontale de la gravité lors de l'arrêt du véhicule en dévers est calculé selon la formule :

$$FT' = \frac{M \cdot IT \cdot 9,81}{10n} \text{ daN/essieu de guidage}$$

Le calcul sera fait pour le dévers maximum avec :

IT : dévers en %

b) accélération centrifuge limitée à  $\gamma_n = 1,3 \text{ m/s}^2$

$$FT' = \frac{M \cdot \gamma_n}{10n} \text{ daN/essieu de guidage}$$

Remarque : lorsque le nombre de passagers dépasse 208 par élément, ou 104 dans l'une des voitures, la vitesse est réduite à 90 % de la vitesse de programme, dans ce cas les efforts centrifuges sont réduits par un facteur  $(0,9)^2 = 0,81$ .

### Aiguillage

En aiguillage, la vitesse est limitée à  $V = 6 \text{ m/s}$  en voie déviée.

$$\max = \frac{V^2}{R_{\text{req}}} = 0,53 \text{ m/s}^2$$

Avec :  $R_{\text{req}}$  = Rayon équivalent de l'appareil en voie,  
 $V$  = Vitesse programme du véhicule.

### c) Survitesse

Soit :  $W$  : Vitesse de vent,  
 $R$  : Rayon de la courbe,

$PT$  : Dévers,  
 $GC$  :  $9,81 \text{ m/s}^2$ ,  
 $C$  : Coefficient aérodynamique,

$N$  : Nombre d'éléments de la rame,

$M$  : Masse,

$MI$  : Masse équivalente aux inerties tournantes,

$GCT$  : Accélération latérale non compensée,

$VP$  : Vitesse programme =  $V \sqrt{(GCT + PT \times GC) R}$ ,

$ET$  : Effort de traction permanente,

$EA = C VP^2 \quad \text{en souterrain}$  }  
 $EA = C(VP-W)^2 \quad \text{en aérien}$  } Résistance aérodynamique

Avec :

$C = 4,0$  rames 26 m en aérien  
 $5,5$  rames 52 m en aérien

$C = 16,5$  rames de 26 m en traction souterrain  
 $9,9$  rames de 26 m en freinage souterrain

$C = 22,9$  rames de 52 m en traction souterrain  
 $13,7$  rames de 52 m en freinage souterrain

EP = - M.GG.PL

## Effet de pente

PL = pente > 0 si montée  
< 0 si descente

EF = 75.VP.N

## Résistance laminaire

ER = (1400 + 0,1 M) N

## Résistance au roulement

G2 = (EA + EP - EF - ER)/(M + MI)

G1 = G2 + ET/(M + MI)

$$\boxed{\text{Survitesse VM} = \sqrt{(1,1 \text{ VP} + 0,3 \text{ G1}/2,2)^2 + 0,6 \text{ G1.VP} + 0,45 \text{ G1} + 0,72 \text{ G2}}}$$

ET\* = 96 700 si VP  $\leq$  8,3 m/s ET en NewtonET\* = 800 800/(VP + 0,003) si 8,3 < VP  $\leq$  11,6 m/sET\* = 6 774 900/(VP - 1,45)<sup>2</sup> si VP > 11,6 m/s

Accélération centrifuge résultante :

$$\boxed{\gamma = \sqrt{\frac{V^2}{R}} - IT.9,81}$$

IT : devers en %.

Effort centrifuge par essieu de guidage :

$$\boxed{FT' = \frac{M \cdot \gamma}{10n}}$$

d) Freinage normal  $\gamma n = 1,3 \text{ m/s}^2$ 

La dissymétrie de freinage entre les deux roues porteuses d'un même essieu induit un couple donnant lieu à des efforts transversaux sur deux roues de guidage alternées.

\* Valeurs prises en charge normale, pneus mi-usés, variation de l'ordre de 20 % entre voiture vide et en surcharge exceptionnelle.

L'effort longitudinal de freinage est donné par :

$$FL = \frac{(M + M_i)}{10n} \cdot \gamma n$$

Avec :

$M$  : Masse de la rame considérée

$M_i$  : Masse équivalente aux inerties tournantes

$n$  : Nombre d'essieux porteurs.

ou encore en fonction des caractéristiques des freins :

$$FL = K_2 \cdot \rho_2 \cdot R_d \cdot \mu \cdot R_c$$

Avec :

$\rho_2$  : Rendement mécanique

$R_d$  : Rayon de friction sur disque

$\mu$  : Coefficient de frottement garniture/disque

$R_c$  : Rayon de la roue porteuse

$K_2$  : Coefficient d'amplification de la timonerie.

Le couple dû à la dissymétrie de freinage vaut :

$$C = (FL_{\text{max}} - FL_{\text{moy}}) \cdot \frac{e}{2}$$

Avec :

$e = 1,62 \text{ m}$  voie des roues porteuses, où  $FL_{\text{moy}}$  représente la valeur moyenne de l'effort longitudinal.

e) Freinage d'urgence  $\gamma_u = 2,4 \text{ m/s}^2$

Mêmes formules que d) avec  $\gamma_u = 2,4$ .

f) Freinage d'urgence non limité

$$FL_{\text{max}} = 5310 \text{ daN/essieu}$$

g) Blocage d'une roue porteuse

Lors du blocage d'une roue porteuse, l'effort longitudinal de freinage sur piste au droit de la roue bloquée et l'effort retardateur sur l'autre roue porteuse du même essieu, créent un couple résultant sur le cadre de guidage de valeur :

$$C = (FL_{\text{bloquée}} + FL_{\text{retardateur}}) \cdot \frac{e}{2}$$

Avec :

$e = 1,62 \text{ m}$  voie des roues porteuses.

On en déduit l'effort transversal par :

$$FT'' = \frac{C}{d}$$

$d$  : entraxe longitudinal des roues de guidage d'un même cadre.

h) Frottement des glissoirs

Le couple dû au frottement des glissoirs ne s'applique que lorsque le rayon de courbure varie.

Conservativement, on le considère toujours en courbe :

$$C = \frac{M - MG}{4} \cdot \frac{0,50}{2}$$

où :

0,09 représente le coefficient de frottement des glissoirs  
0,50 représente l'entredistance des glissoirs.

On en déduit l'effort transversal par  $FT'' = C/d$ .

2.3. Efforts résultants de phénomènes climatiquesa) Résistance aérodynamique

$$\begin{aligned} EA &= C \frac{V^2}{2} && \text{en souterrain} \\ EA &= C (V - W)^2 && \text{en aérien} \end{aligned}$$

Avec :

$$\begin{aligned} C &= 4 && \text{rames de 26 m en aérien} \\ &= 5,5 && \text{rames de 52 m en aérien} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= 16,5 && \text{rames de 26 m en traction en souterrain} \\ &= 9,9 && \text{rames de 26 m en freinage en souterrain} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= 22,9 && \text{rames de 52 m en traction en souterrain} \\ &= 13,7 && \text{rames de 52 m en freinage en souterrain} \end{aligned}$$

b) Efforts transversaux dus au vent

La loi de répartition de la vitesse du vent est modélisée par une loi log. normale.

Les efforts transversaux (en daN/essieu de guidage) dus au vent sont déduits de la formule :

$$FT' = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{10} \cdot \frac{1}{n} \rho \cdot S \cdot w^2 \quad \text{daN/essieu de guidage}$$

Avec :

$$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{masse volumique de l'air})$$

w : vitesse du vent exprimée en m/s

S : surface latérale totale de la rame considérée

n : nombre d'essieux.

Selon qu'on est en alignement droit ou en devers, la surface transversale S du véhicule offerte au vent est différente.

Il en est de même si l'on considère ou non le bandeau :

S Sans bandeau	: 71,4 $\text{m}^2$
S Avec bandeau et devers	: - $\text{m}^2$ ) Fonction du
S Avec bandeau et sans devers	: - $\text{m}^2$ ) bandeau

2.4. Efforts indirectement fonction de la masse du véhicule ou indépendants de la masse et des phénomènes climatiques

Blocage d'une roue de guidage

Le blocage d'une roue de guidage induit un effort longitudinal de frottement sur le rail de guidage, au droit de la roue bloquée.

On a :

$$FL' = 0,5 \cdot T'$$

où T' représente l'effort transversal sur la roue considérée, tenant compte du couple supplémentaire dû au blocage.

0.5 : valeur du coefficient d'adhérence pneumatique/barre de guidage.

$$T' = \frac{2 T}{2 - f} \quad \text{avec } f = 0,5 \times \frac{1,065}{1,14}$$

Où 1,065 représente le demi écartement des barres de guidage et 1,14 représente le demi entraxe des roues de guidage.

Dérive des roues de guidage

La dérive des roues de guidage crée des efforts verticaux sur le rail de guidage de valeur :

$$FV' = 0,18 \cdot T$$

Où T représente l'effort transversal sur la roue considérée.

Crevasion roue porteuse

La crevasion d'une roue porteuse se traduit sur l'essieu de guidage correspondant par un effort transversal de :

$$FT' = 390 \text{ daN/essieu de guidage}$$

A cet effort transversal sur le rail de guidage s'ajoute un effort vertical sur ce même rail dû à la dérive des pneus de guidage correspondant à la roue crevée :

$$FV' = 0,33 T$$

Effort normal de dérive des pneus porteurs

$$FT'' = 350 \text{ daN/roue de guidage}$$

Effort de dérive des pneus porteurs avec pneu de guidage crevé

La crevasion d'un pneu de guidage entraîne un couple sur l'essieu de guidage correspondant et se traduit sur les pneus porteurs par un accroissement de l'effort de dérive.

$$FT'' = 900 \text{ daN/roue de guidage}$$

Mise en rotation de la caisse

Pour la courbe la plus pénalisante, définie par un rayon de R et un devers IT, la longueur de clothoïde est L.

On en déduit la vitesse de programme :

$$VP = \sqrt{(GCT + PT \times GG) \cdot R}$$

Avec :

GCT : accélération latérale non compensée

PT : devers

$$GG = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Etant donné l'inertie du véhicule en charge I, on en déduit le couple de mise en rotation de la caisse par la formule :

$$C = \frac{I \cdot (VP)^2}{10 \cdot R \cdot L}$$

Avec :

VP : vitesse de programme

R : rayon de la courbe

L : longueur de la clothoïde

Ce couple se traduit par un effort transversal sur un essieu de guidage de :

$$FT' = \frac{C}{10}$$

Où 10 m représente l'empattement des essieux porteurs.

Même calcul en aiguillage et en survitesse en recalculant avec VP, R et L correspondants.

#### Entrainement d'attelage

Le pivotement d'attelage en courbe entraîne un couple sur l'essieu de guidage de :

$$C = 50 \text{ m daN} \quad \text{d'où } FT'' = 43 \text{ daN/essieu de guidage}$$

#### Précontrainte des roues de guidage

$$P = 320 \text{ daN/roue de guidage}$$

## 2.5. Calcul des efforts appliqués à la voie en fonction des efforts élémentaires

### a) Efforts sur la barre de guidage

Pour chaque combinaison, il est établi un catalogue des efforts élémentaires et des couples donnant lieu à des efforts transversaux. Compte tenu de ces efforts et de ces couples, ainsi que de la valeur de la précontrainte des roues de guidage, on détermine le nombre de roues en contact avec la barre et les efforts qui leur sont appliqués.

Connaissant les efforts transversaux sur la barre, nous en déduisons les efforts verticaux sur cette barre par les relations :

$$V' = 0,18 T \text{ ou } V' = 0,33 T \text{ (en cas de crevaison de roue porteuse).}$$

De même, les efforts longitudinaux, apportés par le véhicule sur la barre de guidage, se déduisent de l'effort transversal correspondant par la relation :  $FL' = 0,5 T$  (effort dû au blocage d'une roue de guidage).

### b) Efforts sur la piste de roulement

Pour les efforts verticaux sur les pistes de roulement, ils sont donnés par la formule :

$$RV = \frac{1}{4} \left[ \frac{M}{2} (g \cos \alpha + \gamma \sin \alpha + g \sin \alpha \tan \alpha) \pm \left( \frac{z}{E} W + M \gamma \cos \alpha \frac{(h - 197)}{E} \right) \right]$$

Avec :

$E$  : Voie des roues porteuses

$M$  : Masse du véhicule en charge

$\alpha$  : Devers

$\gamma$  : Accélération latérale non compensée

$W$  : Effort dû au vent.

et :

$h$  : Position du centre de gravité du véhicule en charge

$e$  : Empattement des roues porteuses

$z$  : Hauteur du point d'application de l'effort de vent par rapport au plan de guidage.

si  $\alpha$  est petit (devers maxi 13 % soit 0,129 rad)

$$\begin{aligned}\sin \alpha &\approx \alpha \\ \cos \alpha &\approx 1 \\ \operatorname{tg} \alpha &\approx \alpha\end{aligned}$$

d'où :

$$RV = \frac{1}{4} \left[ \frac{M}{2} (g + \gamma \alpha + g \alpha^2) \pm \left( \frac{z}{E} W + M \gamma \frac{(h - 197)}{E} \right) \right]$$

L'effort longitudinal sur piste s'en déduit par la relation :

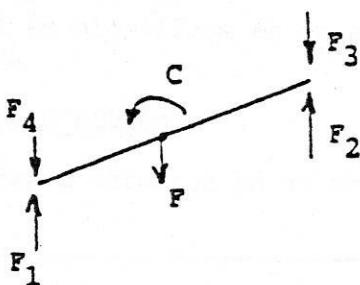
$$FL = RV \times \frac{\gamma}{g} + Mi \frac{\gamma}{8}$$

ou par  $FL = 0,85 RV$  dans le cas d'un blocage de roue porteuse.

Les efforts transversaux sur les pistes de roulement s'obtiennent en répartissant l'effort transversal sur le cadre de guidage au prorata des charges verticales appliquées aux deux roues de l'essieu considéré.

c) Calcul des efforts sur les roues de guidage connaissant les efforts transversaux et les couples appliqués sur les cadres de guidage.

1er cas : les quatres roues en contact avec les barres de guidage.



$$F_1 = F_p + \frac{1}{4} (F + C/d) \text{ max.}$$

$$F_2 = F_p + \frac{1}{4} (F - C/d)$$

$$F_3 = F_p + \frac{1}{4} (F - C/d)$$

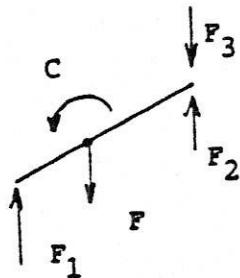
$$F_4 = F_p - \frac{1}{4} (F + C/d) \text{ min.}$$

4 roues en contact si  $F_4 > 0$

$$\text{donc si } \frac{1}{4} (F + C/d) \leq F_p$$

$F_p$  : effort de précontrainte des roues de guidage.

2ème cas : Trois roues de guidage en contact avec les barres de guidage



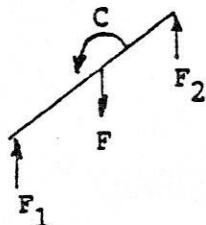
$$F_1 = \frac{1}{2} (F - C/d) \text{ max.}$$

$$F_2 = F_p + \frac{1}{4} (F - C/d)$$

$$F_3 = F_p - \frac{1}{4} (F - C/d)$$

3 roues en contact si  $\frac{1}{4} | F - C/d | \leq F_p \leq \frac{1}{4} (F + C/d)$

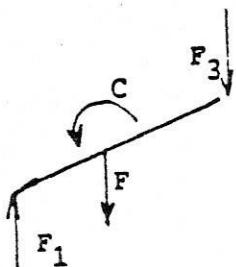
3ème cas : Deux roues de guidage en contact avec les barres de guidage



$$F_1 = \frac{1}{2} (F + C/d) \text{ max.}$$

$$F_2 = \frac{1}{2} (F - C/d) \text{ min.}$$

ou



$$F_1 = \frac{1}{2} (F + C/d)$$

$$F_3 = \frac{1}{2} (F - C/d)$$

2 roues en contact si  $F_p \leq \frac{1}{4} | F - C/d |$

## **ANNEXE 4.2**

**CHARGES A PRENDRE EN COMPTE POUR LA  
VERIFICATION DES VIADUCS.**

S O M M A I R E

0 - PREAMBULE

0.0. Avertissement

1 - MASSE DES EQUIPEMENTS

- 1.1. En section courante de voie
- 1.2. En station et en appareil de voie

2 - CHARGES D'EXPLOITATION

- 2.1. Géométrie des voitures
- 2.2. Définition des charges d'exploitation élémentaires

3 - EFFETS DU VENT

4 - EFFET DE LA TEMPERATURE

5 - EFFET DU SEISME

6 - COMBINAISONS D'ACTIONS A ENVISAGER

7 - ETUDE TRANSVERSALE DU TABLIER

8 - ECRANS ARCHITECTURAUX ET GARDE CORPS

9 - DEFORMATION DU TABLIER

10 - CONCEPTION DES OUVRAGES EN BETON PRECONTRAINTE

11 - CONCEPTION DES OUVRAGES METALLIQUES ET DES OUVRAGES MIXTES

## 0 - PREAMBULE

Cette annexe précise les différentes données de base concernant la vérification des viaducs devant supporter la circulation d'un réseau VAL. Les différentes valeurs indiquées ci-après devront faire l'objet d'une vérification avant leur application directe pour un projet. Ces vérifications devront porter notamment sur :

- les masses des équipements (voir paragraphe 1),
- la définition des charges d'exploitation élémentaires (voir en liaison avec les possibles évolutions du matériel roulant).

### 0.0. Avertissement

Les présentes règles sont applicables aux viaducs dont la portée maximale ne dépasse pas 60 m, dont la longueur totale ne dépasse pas 200 m\* et dont la distance plan de roulement/hourdis inférieur ne dépasse pas 3 m, et qui supportent deux voies de circulation VAL. Un dépassement de 10 % des valeurs ci-dessus pourra être toléré.

L'attention du projeteur est attirée sur le fait que pour des devers importants l'inclinaison des structures portantes sur l'horizontale doit être prise en compte dans la modélisation.

En cas de viaducs monovoie supportés par une fondation commune, les tabliers relèvent des règles afférentes au viaduc monovoie, et les fondations à celles des viaducs à deux voies de circulation.

\* Cette valeur est directement applicable en cas d'utilisation par le système de cantons fixes ou de cantons mobiles déformables tels que ces modes d'exploitation sont connus à la date de rédaction de la présente annexe. En cas d'évolution de ces deux modes d'exploitation, cette valeur pourra être à reconsidérer.

## 1 - MASSES DES EQUIPEMENTS

### 1.1. En section courante de voie

Le viaduc porte les équipements suivants, dont les masses sont exprimées en kg par ml (pour 2 voies) :

- rails de guidage et supports isolateurs : 160 kg/ml
- pistes de roulement et fixations : 300 kg/ml
- lignes de transmissions et supports : 50 kg/ml
- passerelles de service et câbles : 220 kg/ml.

A ces masses sont à ajouter celles :

- de la dalle en béton supportant la voie (éventuellement),
- des bandeaux de rives ou des garde-corps,
- d'une réserve d'équipement qui pourra atteindre  $100 \text{ kg/m}^2$  de viaduc (couvrant les effets de la neige).

Une fois établi le bilan de ces masses permanentes d'équipement, on prendra en compte dans les calculs, et de façon uniforme pour tout le viaduc la possibilité d'une variation de plus ou moins dix pour cent ( $\pm 10\%$ ) de la masse de ces équipements, sans que cette variation puisse être inférieure à 150 kg/ml.

### 1.2. En stations et en zone d'appareils de voie

En stations et en zone d'appareils de voie, la masse des équipements peut subir des modifications, les nouvelles valeurs à prendre en compte seront précisées par des documents d'interfaces.

## 2 - CHARGES D'EXPLOITATION

### 2.1. Géométrie des voitures

Le viaduc peut recevoir sur chacune des voies prévues un certain nombre de voitures. Ces voitures peuvent être soit en convois, soit isolées, soit les deux.

La géométrie d'une voiture est la suivante (cf. figure 1) :

- longueur d'une voiture : 13,00 m
- largeur d'une voiture : 2,06 m
- hauteur par rapport au plan de roulement : 3,25 m.

Chaque voiture comporte :

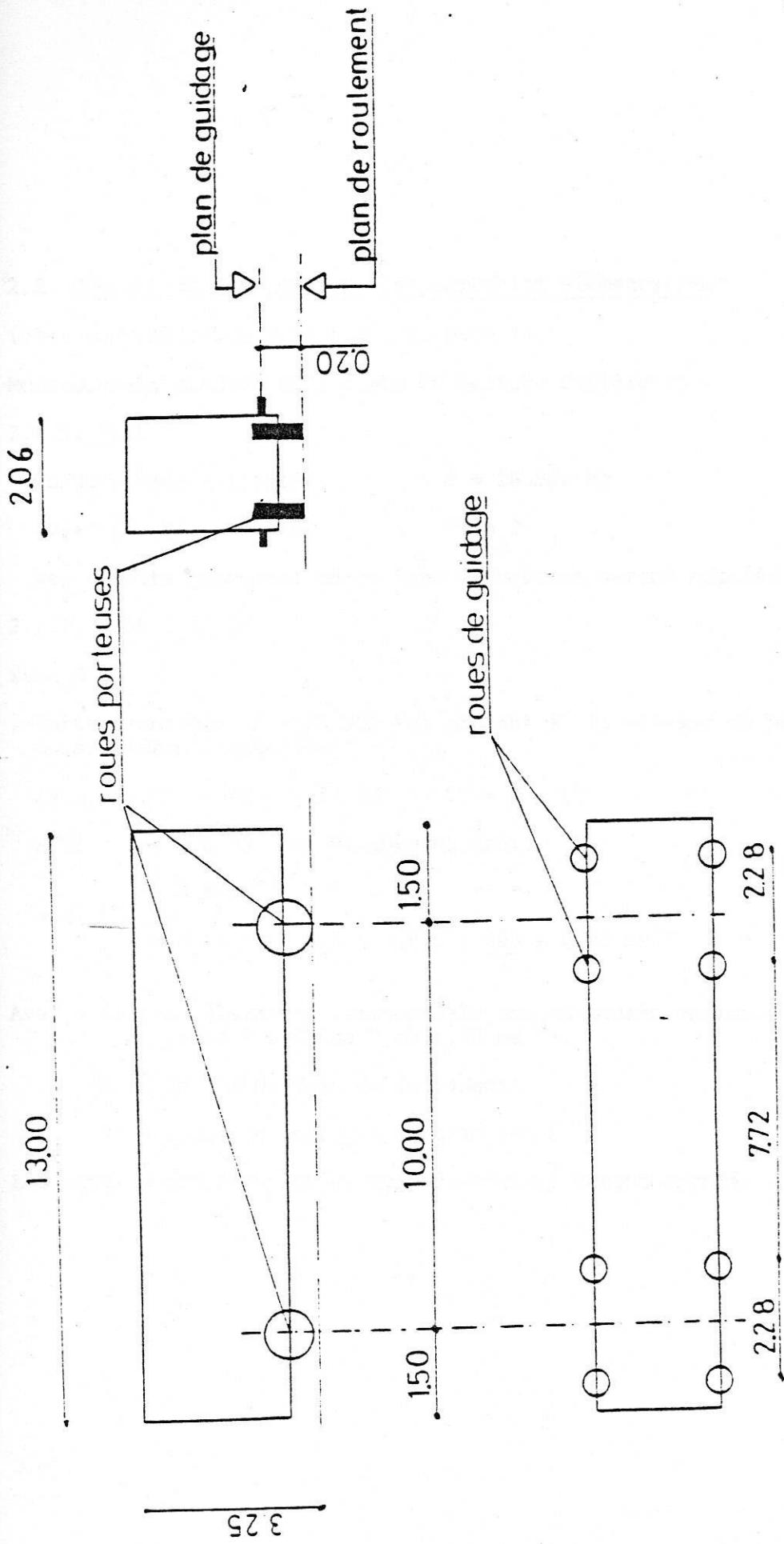
- 2 essieux porteurs, également chargés, dont chacun repose sur deux roues simples, distantes de 1,62 m,
- 2 bogies de guidage, chacun comportant 2 couples de roues d'axe perpendiculaire au plan de roulement.

La distance longitudinale entre :

- les deux essieux (et les deux axes des bogies) d'un même véhicule vaut 10,0 m,
- les deux roues de guidage d'un bogie vaut 2,28 m,
- les deux essieux (et les deux axes des bogies) de deux voitures différentes vaut au moins 1,57 m.

VOITURE VAL

géométrie



## 2.2. Définition des charges d'exploitation élémentaires

(voir convention de signes § 2.2. page 7).

Nous pouvons considérer 3 états de voiture différents :

### 2.2.1. Etat\_1

. Voiture vide à l'arrêt                     $M = 15\ 800\ kg$

$$FV = 155\ KN \quad FL = 0 \quad FT = 0$$

Les efforts provenant de ce type de voiture seront appelés  $Q_v$ .

### 2.2.2. Etat\_2 et 2'

Etat 2 :

. Voiture chargée ( $M = 23\ 000\ kg$ ) roulant à la vitesse de programme ; freinant ou accélérant normalement :

$$FV = 226\ KN \quad FL = \pm 34\ KN \quad FT = M \gamma tl$$

$$\gamma tl = \pm 0,5\ ms^{-2} \text{ en alignement droit.}$$

$$\gamma tl = \begin{cases} -0,5\ ms^{-2} \\ \text{ou} \\ \min(\gamma to + 0,5 + 9,8 d, \frac{490}{R} + 0,5) ms^{-2} \end{cases}$$

Avec  $\gamma to$  = accélération transversale non compensée maximale admise ( $\gamma to = 1,05\ ms^{-2}$  ou  $1,30\ ms^{-2}$ ).

$d$  = devers du plan de roulement.

$R$  = rayon de courbure en plan (en m).

Les efforts provenant de ce type de voiture seront appelés  $Q_n$ .

Estat 2' :

. Voiture chargée ( $M = 20\ 000$  kg) roulant à vitesse nominale :

$$FV = 196 \text{ KN} \quad FL = \pm 30 \text{ KN} \quad FT = m \gamma t_1$$

Les efforts provenant de ce type de voiture seront appelés  $Q'n$ .

### 2.2.3. Estat\_3

Deux configurations seront envisagées :

a) voiture chargée ( $M = 23\ 000$  kg) roulant en survitesse freinant en freinage d'urgence.

$$FV = 226 \text{ KN} \quad \begin{cases} FL = 113 \text{ KN} & N = 1 \\ FL = 105 \text{ KN} & N = 2 \\ FL = 62,5 \text{ KN} & N > 2 \end{cases} \quad FT = M \gamma t_2$$

b) voiture chargée ( $M = 25\ 000$  kg) roulant à vitesse affine freinant en freinage d'urgence.

$$FV = 245 \text{ KN} \quad FL = 67 \text{ KN} \quad FT = 0,8 M \gamma t_1$$

Avec  $N =$  nombre de voitures considérées sur une même voie.

(Le nombre maximum de véhicules à considérer sera pris égal à la longueur du viaduc exprimée en mètres et divisée par 13, arrondi à l'unité supérieure, et limité aux valeurs indiquées au § 6).

$$\begin{aligned} \gamma t_2 &= \pm 1,0 \text{ ms}^{-2} \text{ en alignement droit.} \\ \gamma t_2 &= -1,0 \text{ ms}^{-2} \\ &\quad \left. \begin{aligned} & \text{en courbe} \\ &= + f(R) \end{aligned} \right\} \end{aligned}$$

Avec  $R =$  rayon de la courbe considérée.

$$\begin{aligned} \text{. si } \gamma t_0 &= 1,05 \text{ ms}^{-2} \\ f(R) &= 3050 / (R + 650) \quad \text{si } R \leq 220 \text{ m} \\ f(R) &= \frac{540}{R} + 1 \quad \text{si } R \geq 220 \text{ m} \\ \\ \text{. si } \gamma t_0 &= 1,30 \text{ ms}^{-2} \\ f(R) &= 3250 / (R + 650) \quad \text{si } R \leq 200 \text{ m} \\ f(R) &= \frac{550}{R} + 1 \quad \text{si } R > 200 \text{ m} \end{aligned}$$

Les efforts provenant de ce type de voiture seront appelés  $Qes$ .

### 2.2.4. Estat\_4\_(exploitation\_CMD)

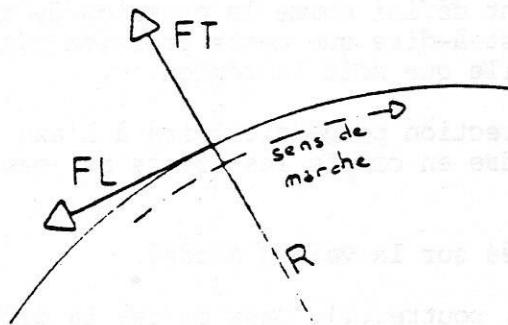
. Voiture chargée ( $M = 23\ 000$  kg) roulant à faible vitesse freinant en freinage d'urgence.

$$FV = 226 \text{ KN} ; \quad FL = 62,5 \text{ KN} ; \quad FT = 0$$

Les efforts provenant de ce type de voiture seront appelés  $QCMD$ .

2.2.5. Convention de signes et remarques

Vue du viaduc en plan

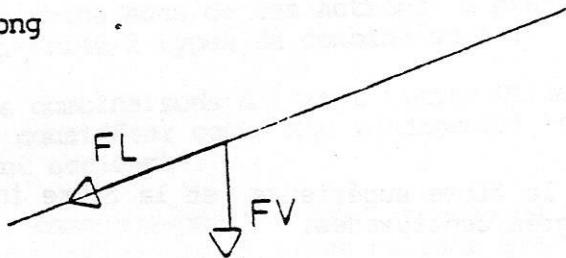


.  $F_V$  = effort vertical positif vers le bas

.  $F_L$  = effort longitudinal positif si accélération

.  $F_T$  = effort horizontal transversal positif si centrifuge

en long



NOTA : La valeur de  $F_T$  dans les raccordements progressifs (clothoïde) peut être prise comme variant linéairement entre la valeur prise dans le cercle et la valeur prise en alignement droit.

2.2.6. Coefficient de majoration dynamique

Seule la charge verticale ( $F_V$ ) est à majorer dynamiquement, le coefficient est donné par :

$L$  = longueur de l'élément considéré.

$G$  = charge permanente de l'élément.

$$1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 L} + \frac{0,6}{1 + \frac{4}{S} G}$$

$S$  = charge verticale d'exploitation maximum que l'on peut y disposer.

Nota : seul l'état 1 n'est pas possible de majoration dynamique.

3 - EFFETS DU VENT

- Trois pressions dynamiques différentes sont à considérer : 2 000 Pascals, 1 500 Pascals et  $P_n$ ,  $P_n$  étant défini comme la pression dynamique de base des règles NV65 adaptée, c'est-à-dire que cette pression devra toujours être supérieure à 600 Pascals quelle que soit la région.
- Le vent est supposé souffler dans une direction perpendiculaire à l'axe du viaduc, le calcul de ces effets peut prendre en compte les effets de masque suivants :
  - . D'une voiture par rapport à l'autre située sur la voie d'à côté.
  - . D'un éventuel élément du viaduc (bandeau, poutre...). Dans ce cas la diffusion du vent devra se faire en inclinant l'effort de 20 % par rapport à l'horizontale ou au plan de roulement suivant l'effet le plus défavorable.
- Le produit des coefficients à appliquer à la pression dynamique de base est supposé valoir 1 dans tous les cas.

4 - EFFET DE LA TEMPERATURE

La différence de température ( $\Delta \theta$ ) entre la fibre supérieure et la fibre inférieure est supposée valoir douze (12) degrés centigrades.

L'écart uniforme de température ( $\Delta T$ ) à prendre en compte par rapport à la température de construction est supposé valoir plus trente ( $+ 30^{\circ}\text{C}$ ) degrés centigrades et moins quarante ( $- 40^{\circ}\text{C}$ ) degrés centigrades.

5 - EFFET DU SEISME

Un séisme est supposé pouvoir engendrer, tant sur les masses permanentes que sur les masses roulantes, une accélération horizontale de direction arbitraire d'intensité  $k \times g$  et une accélération verticale d'intensité comprise entre  $- k \times g$  et  $+ k \times g$  ( $g$  accélération de la pesanteur).

Les valeurs de  $k$  sont définies dans le tableau suivant :

- zone de séisme faible :  $k = 0,05$
- zone de séisme moyenne :  $k = 0,1$
- zone de séisme forte :  $k = 0,15$

Le caractère de séismicité du site sera défini par le Maître d'Ouvrage.

6 - COMBINAISONS D'ACTIONS A ENVISAGER

Notation	(	w2000 : vent dont la pression dynamique est 2000 Pa
	(	w1500 : vent dont la pression dynamique est 1500 Pa
	(	Wn : vent normal selon NV65.

Notation	Qv	: Charges amenées par des véhicules dans l'état 1.
	Qn, Q'n	: Charges amenées par des véhicules dans l'état 2 ou 2'.
	Qes	: Charges amenées par des véhicules dans l'état 3.
	QCMD	: Charges amenées par des véhicules dans l'état 4 (en exploitation CMD).
	Qp	: Charges d'exploitation sur la passerelle piéton.

$\Delta \theta$  : écart de température entre les fibres extrêmes du viaduc.

$\Delta T$  : écart de température uniforme du viaduc.

Les combinaisons de ces actions à prendre en compte sont données ci-après. Il est précisé 2 types de combinaisons :

- des combinaisons à l'Etat Limite Ultime (ELU),  
(à considérer comme ELU fondamental même si elles font intervenir un évènement accidentel).
- des combinaisons à l'Etat Limite de Service (ELS), il est précisé pour chaque combinaison si elles doivent être considérées comme rares ou fréquentes.

Chaque élément du viaduc sera donc justifié sous la plus défavorable de ces 2 types de combinaisons.

Combinaison 1 :

Le viaduc est vide, on considère comme action de base soit le vent à 2 000 Pa, soit le gradient thermique.

- . ELU : 1,35 G max. + 1,0 G min. + 1,5 W 2000
- . ELS rare : G max. + G min. + W 2000
- . ELS rare : G max. + G min. +  $\Delta \theta$
- . ELS fréquente : G max. + G min. + 0,5  $\Delta \theta$

Combinaison 2 :

Le viaduc comporte un nombre quelconque de voitures arrêtées (Etat 1) sur chacune de ses voies et les passerelles piéton chargées à leur charge nominale sur la longueur la plus défavorable. L'action de base considérée est le vent de 1 500 Pa.

- . ELU : 1,35 G max. + G min. + 1,5 W 1500 + Qv + Qp
- . ELS rare : G max. + G min. + W 1500 + Qv + Qp

## Combinaison 3 :

Le viaduc comporte :

- Voie 1 (resp. 2) : entre 0 et 4 voitures dans l'état 3
- Voie 2 (resp. 1) : entre 0 et 4 voitures dans l'état 2

Les deux actions à considérer sont :

- les charges des véhicules,
- le vent normal adapté des règles NV65.

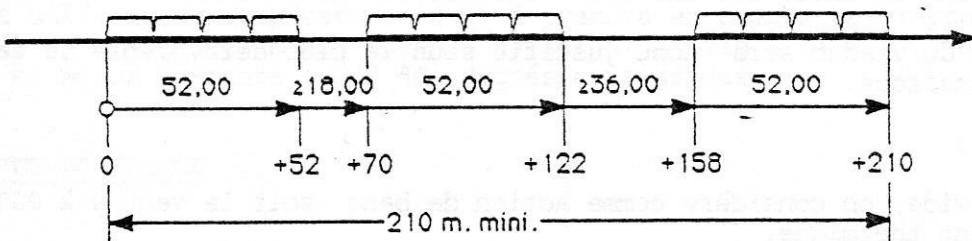
$$\begin{array}{ll}
 \cdot \text{ELU} & : 1,35 G \text{ max.} + G \text{ min.} + 1,35 (Q_{es} + Q_n) + 1,2 W_n + 0,8 T \\
 \cdot \text{ELU} & : 1,35 G \text{ max.} + G \text{ min.} + 1,5 \times 1,2 W_n + (Q_{es} + Q_n) + 0,8 T \\
 \cdot \text{ELS rare} & : G \text{ max.} + G \text{ min.} + (Q_{es} + Q_n) + W_n + 0,5 \Delta \theta + 0,6 T
 \end{array}$$

## Combinaison 3' :

Cette combinaison n'est à envisager que dans le cadre d'une exploitation en canton mobile déformable.

Le viaduc comporte :

- Voie 1 (resp. 2) : un convoi-type composé au plus de 3 rames indivisibles de 4 voitures dans l'état 4 et respectant les espacements schématisés ci-après :



CONVOI TYPE - EXPLOITATION C.M.D. 52 m

- Voie 2 (resp. 1) : entre 0 et 4 voitures dans l'état 2'.

L'action de base à considérer est la charge des véhicules.

$$\begin{array}{ll}
 \cdot \text{ELU} & : 1,35 G \text{ max.} + G \text{ min.} + 1,35 (Q_{CMD} + Q'n) + 0,8 T \\
 \cdot \text{ELS rare} & : G \text{ max.} + G \text{ min.} + (Q_{CMD} + Q'n) + 0,5 \Delta \theta + 0,6 T
 \end{array}$$

## Combinaison 4 :

Le viaduc comporte :

- Voie 1 : entre 0 et 4 voitures dans l'état 2'
- Voie 2 : entre 0 et 4 voitures dans l'état 2'

L'action de base à considérer est la charge des véhicules.

. ELS fréquente :  $G \text{ max.} + G \text{ min.} + Q'n$

Combinaison 5 :

Pour la vérification au séisme, la combinaison suivante devra être envisagée :

- Voie 1 : entre 0 et 4 voitures dans l'état 2
- Voie 2 : entre 0 et 4 voitures dans l'état 2

Les deux actions à considérer sont :

- l'action des voitures  $Qn$ ,
- les accélérations dues au séisme EQ (voir § 5).

. ELU :  $G \text{ max.} + G \text{ min.} + Qn + EQ$

Combinaison 6 :

Pour la vérification des piles, il devra être considéré en outre la combinaison suivante :

. ELU :  $G \text{ max.} + G \text{ min.} + QA$

Où  $QA$  représente les actions accidentelles sur les appuis comme défini dans l'annexe 8 paragraphe 3 du fascicule 62. Titre 1er - Section II.

#### Remarque générale

L'arrangement des véhicules sur le viaduc peut être quelconque, il doit donc être pris de la façon la plus défavorable vis-à-vis de l'effet recherché.

Pour l'application des combinaisons 3, 3' et 4 à l'étude des efforts horizontaux transversaux et des efforts verticaux communiqués à un appui commun à deux viaducs, le nombre de voitures à considérer sur chaque voie est limité à celui que chacune de ces combinaisons autorise à disposer sur un viaduc élémentaire.

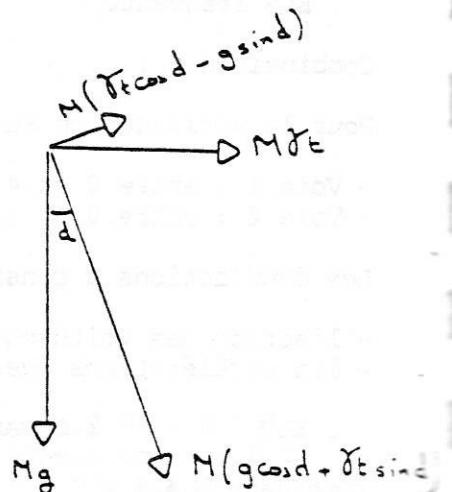
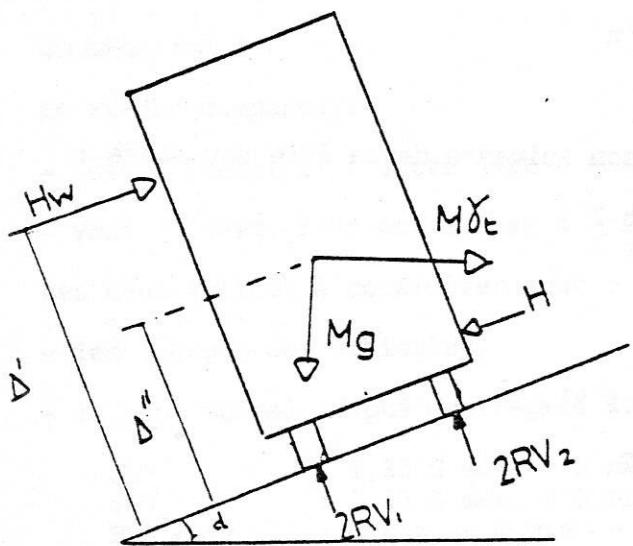
#### 7 - ETUDE TRANSVERSALE DU TABLIER

L'étude transversale du viaduc devra comporter la justification des sections sous l'action verticale des roues porteuses (voir page suivante).

Cette action devra être la somme des effets :

- de la masse de la voiture,
- des accélérations que peut subir la voiture suivant les combinaisons considérées,
- du dévers éventuel du plan de roulement,
- de l'action du vent sur les véhicules.

L'étude transversale devra également prendre en compte les efforts résultant de l'ancre des isolateurs, des pistes de roulement et des rails de guidage centraux en stations.

Décomposition des forces

avec  $\cos. d \approx 1$  et  $\sin. d \approx d$

On arrive à :

$$2 RV = \frac{M}{2} (g + \gamma_t \times d) - \left[ M(\gamma_t - gd) \left( \frac{\Delta'' - 0,2}{1,62} \right) + Hw \left( \frac{\Delta' - 0,2}{1,62} \right) \right]$$

NOTA :  $Hw$  et  $\gamma_t$  sont pris positif dans le sens indiqué sur la figure.

$\Delta'$  est fonction de l'effet de masque considéré.

$$\Delta'' = 1,60 \text{ m}$$

- Calcul de la réaction des roues porteuses

### 7.1. Ancrage des isolateurs

Les isolateurs sont fixés sur le viaduc. Leur mode de fixation dépend de la pose de voie. La méthode pour prendre en compte ces efforts, en sus des efforts généraux faisant l'objet des articles précédents, devra donc faire l'objet d'un document d'interfaces voie/viaduc.

### 7.2. Ancrage des rails centraux

Voir 7.1.

### 7.3. Ancrage des pistes de roulement

Voir 7.1.

## 8 - ECRANS ARCHITECTURAUX, GARDE-CORPS ET PASSERELLES DE CHEMINEMENT

### 8.1. Ecrans architecturaux

Ils doivent pouvoir résister simultanément :

- aux efforts engendrés par la passerelle d'évacuation ( $5 \text{ KN/m}^2$  sur une largeur de 0,50 m ou 300 daN/ml sur l'arête côté voie) ou à l'action du vent de 2 000 Pa,
- aux efforts engendrés par les chemins de câbles et les différents équipements définis sur les plans guides.

### 8.2. Garde-corps

Les garde-corps doivent pouvoir résister à une poussée horizontale de  $2 \text{ KN/ml}$ , appliquée à 1,10 m au-dessus de la passerelle.

## 9 - DEFORMATION DU TABLIER

La flèche du tablier, sous l'effet des charges variables d'exploitation de la combinaison 4 devra à toute époque rester inférieure au 1/800 de la portée de la travée considérée.

Toutefois, les travées dans lesquelles se trouverait un raccordement concave de profil en long de rayon inférieur à 2.500 mètres devront faire l'objet d'une étude particulière à soumettre pour accord à MATRA TRANSPORT.

Le déplacement relatif de deux tabliers séparés par un joint sous l'effet de la combinaison ELS 3, dans laquelle la totalité des variations de température sera prise en compte, ne doit pas dépasser :

- dans le sens transversal : cinq millimètres (5 mm),
- dans le sens longitudinal : cent cinquante millimètres (150 mm),
- dans le sens vertical : trois millimètres (3 mm).

#### 10 - CONCEPTION DES OUVRAGES EN BETON PRECONTRAINTE

Les ouvrages seront conçus, et vérifiés selon les prescriptions du fascicule 62, Titre 1er, Sections I et II (règles BAEL et BPEL 83). Les ouvrages devront de plus satisfaire aux exigences de la classe II.

#### 11 - CONCEPTION DES OUVRAGES METALLIQUES ET DES OUVRAGES MIXTES

Les ouvrages métalliques seront vérifiés selon les prescriptions du fascicule 61, Titre V du CCTG (22 juin 1977).

Les ouvrages mixtes seront vérifiés selon les prescriptions de la circulaire n° 81.63 du 28 juillet 1981.

Pour l'application de ces deux textes, il est précisé que les combinaisons à prendre en compte sont définies au paragraphe 6.

Pour la vérification à la fatigue des connecteurs, la combinaison à prendre en compte est la combinaison 4 du paragraphe 6.

La vérification à la fatigue des assemblages soudés et boulonnés sera menée selon les Recommandations éditées par la Convention Européenne de la Construction Métallique (C.E.C.M.). Le spectre de charge et la durée de vie requise à retenir pour le projet seront proposés par le maître d'ouvrage à l'agrément du Ministre des Transports.