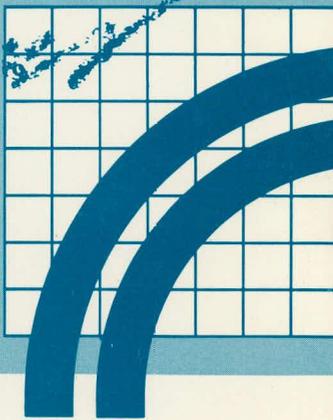


**ÉTUDES ET
RECHERCHES
EN TRANSPORTS**



**BOGIE MÉCANO-SOUDÉ
DESTINÉ AU TRANSPORT INTERURBAIN
RAPPORT FINAL
PHASE II**

ANDRÉ G. FONTAINE



**TECHNOLOGIE
ET INSTRUMENTATION**

CANQ
TR
208
V.2

Québec  **Canada** 

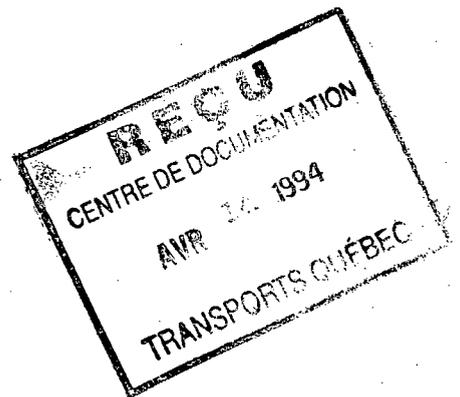
**BOGIE MÉCANO-SOUDÉ
DESTINÉ AU TRANSPORT
INTERURBAIN**

RAPPORT FINAL PHASE II: PROTOTYPE

PRÉPARÉ DANS LE CADRE DE L'ENTENTE AUXILIAIRE CANADA-QUÉBEC
SUR LE DÉVELOPPEMENT DES TRANSPORTS 1985-1990
VOLET RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

Avril 1991

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION
700, BOUL. RENÉ-LEVESQUE EST,
21^e ÉTAGE
QUÉBEC (QUÉBEC) - CANADA
G1R 5H1



DDP-CEU-MON

CANQ
TR
208
V. 2



Titre et sous-titre du rapport Bogie mécano-soudé destiné au transport interurbain				N° du rapport Transports Québec RTQ-91-08		
				Rapport d'étape <input type="checkbox"/>	An Mois Jour	
				Rapport final <input checked="" type="checkbox"/>	91-04-15	
				N° du contrat (RRDD-AA-CCXX)		
Auteur(s) du rapport André G. Fontaine			Date du début d'étude		Date de fin d'étude	
Chargé de projet			Coût de l'étude 3 200 000 \$			
Etude ou recherche réalisée par (nom et adresse de l'organisme) Bombardier inc. 1101, rue Parent Saint-Bruno (Québec) J3V 6E6			Etude ou recherche financée par (nom et adresse de l'organisme) Ministère des Transports du Québec 960 000 \$ Transports Canada 960 000 \$ Bombardier inc. 1 280 000 \$			
But de l'étude, recherche et renseignements supplémentaires <p>Le but de cette publication est de décrire sommairement les travaux entourant la réalisation du projet de développement d'un bogie, en passant par les étapes d'ingénierie, de fabrication et d'essais.</p>						
Résumé du rapport <p>Ce rapport résume le travail accompli au cours de la phase II du projet. Les travaux d'ingénierie ont essentiellement consisté à rendre en détail, sur dessins, l'information nécessaire à la fabrication des diverses pièces du bogie.</p> <p>Les principales activités reliées à la fabrication et à l'assemblage des bogies ont été: l'approvisionnement en matériel, la conception et la fabrication de l'outillage, la rédaction des cahiers de montage, l'élaboration des procédures de soudage et de tests, la fabrication et l'assemblage des pièces unitaires, la réalisation du recuit de détentionnement, l'usinage et la peinture des châssis, et le montage final des composantes sur les bogies.</p> <p>Enfin, les essais se sont divisés en deux groupes. Les essais de structure, avaient pour but de vérifier la bonne tenue des éléments en simulant, grâce aux essais de fatigue, l'effet des divers chargements rencontrés sur une période de 30 ans de service. Les essais sur voie, du second groupe, ont servi à vérifier le comportement des bogies sur les voies et, encore une fois, la bonne tenue des composantes du bogie.</p>						
Nbre de pages	Nbre de photos	Nbre de figures	Nbre de tableaux	Nbre de références bibliographiques	Langue du document <input checked="" type="checkbox"/> Français <input type="checkbox"/> Anglais	Autre (spécifier)
Mots-clés Bogie; Éléments finis; Haute vitesse; Interface roue-rail; Interurbain; Mécano-soudé; Prototype; Système d'inclinaison; Trains de banlieue				Autorisation de diffusion <input checked="" type="checkbox"/> Diffusion autorisée <input type="checkbox"/> Diffusion interdite		
				Signature du directeur général <i>Yvan Tremblay</i>		
				Date 92-02-9		

AVANT-PROPOS

ENTENTE AUXILIAIRE CANADA-QUÉBEC SUR LE DÉVELOPPEMENT DES TRANSPORTS

Le gouvernement du Canada et le gouvernement du Québec concluaient, le 14 décembre 1984, une entente de développement économique et régional dans laquelle les transports étaient reconnus comme l'une des priorités.

Découlant de cette entente sur le développement économique et régional, une entente auxiliaire sur le développement des transports fut conclue le 8 juillet 1985. Cette entente auxiliaire, qui doit prendre fin le 31 mars 1990, a pour but de favoriser la coordination des efforts du gouvernement du Canada et du gouvernement du Québec dans le domaine des transports, et ce afin d'appuyer le développement économique et régional en facilitant la circulation des personnes et des biens autant à l'intérieur qu'entre les différentes régions du Québec et du Canada de même qu'à l'étranger.

Parmi les cinq volets prévus dans l'entente auxiliaire, se retrouve un programme de recherche et développement dont l'objectif est d'augmenter et d'accélérer l'effort de recherche et de développement dans le domaine des transports au Québec en visant la préservation et l'amélioration des capacités manufacturières de ce secteur, de même que l'augmentation de la productivité du système de transport afin de s'assurer qu'il bénéficie des progrès techniques et soit compétitif.

Ce programme comporte quatre secteurs principaux:

- la technologie des systèmes de transport routier;
- la technologie des systèmes de transport ferroviaire;
- les applications de la micro-informatique et de la micro-électronique en transport;
- l'intermodalité des transports.

La présente publication, préparée en vertu de ce programme, est le rapport final d'un projet que le ministère des Transports du Canada et le ministère des Transports du Québec ont financé conjointement.

RAPPORT FINAL

PROJET BOGIE PROTOTYPE

TABLE DES MATIÈRES

AVERTISSEMENT

AVANT-PROPOS

SOMMAIRE

Liste des abréviations utilisées

Liste des figures

Liste des tableaux

SECTION 1 INTRODUCTION

- 1.1 Définition du projet
- 1.2 Nature des travaux effectués
 - 1.2.1 Étude conceptuelle
 - 1.2.2 Ingénierie
 - 1.2.3 Fabrication et assemblage des bogies
 - 1.2.4 Essais
- 1.3 Organisation générale
 - 1.3.1 Secteurs d'activité
 - 1.3.2 Cheminements suivis

SECTION 2 CONCEPTION DU BOGIE

- 2.1 Introduction
 - 2.1.1 Évolution des bogies
 - 2.1.2 Besoins actuels
 - 2.1.3 Examen des bogies existants
 - 2.1.4 Définition des objectifs généraux

- 2.2 Critères de conception
 - 2.2.1 Dimensions générales
 - 2.2.2 Types de suspension
 - 2.2.3 Capacité de charge
 - 2.2.4 Équipement du bogie
 - 2.2.5 Choix de l'acier
- 2.3 Description de la conception
 - 2.3.1 Description générale
 - 2.3.2 Châssis
 - 2.3.3 Traverse de charge
 - 2.3.4 Suspension primaire
 - 2.3.5 Suspension secondaire
 - 2.3.6 Lissoirs
 - 2.3.7 Liaison caisse-bogie
- 2.4 Caractéristiques d'entretien
 - 2.4.1 Inspection
 - 2.4.2 Ajustement de la hauteur de plancher
 - 2.4.3 Entretien du bogie
- 2.5 Identification du bogie

SECTION 3 ANALYSE DES SUSPENSIONS

- 3.1 Introduction
- 3.2 Caractéristiques
- 3.3 Analyses statiques
 - 3.3.1 Déflexion de la suspension verticale
 - 3.3.2 Coefficient de souplesse
 - 3.3.3 Déchargement des roues
 - 3.3.4 Résistance à la rotation du bogie
 - 3.3.5 Gabarit

- 3.4 Analyses dynamiques
 - 3.4.1 Fréquences naturelles
 - 3.4.2 Stabilité latérale
 - 3.4.3 Performance en courbe
 - 3.4.4 Confort

SECTION 4 ANALYSE STRUCTURALE

- 4.1 Introduction
 - 4.1.1 But
 - 4.1.2 Types d'analyses
- 4.2 Charges à supporter et contraintes permises
- 4.3 Analyse statique
 - 4.3.1 Buts
 - 4.3.2 Analyses
 - 4.3.3 Cas de chargement
- 4.4 Analyses de fatigue
 - 4.4.1 Buts
 - 4.4.2 Chargement dynamique
 - 4.4.3 Sommaire des résultats
- 4.5 Discussion

SECTION 5 FABRICATION ET ASSEMBLAGE

- 5.1 Introduction
- 5.2 Fabrication
- 5.3 Montage des composants
- 5.4 Installation des bogies sous une caisse

SECTION 6 **ESSAIS STRUCTURAUX**

- 6.1 Introduction
- 6.2 Description des essais
- 6.3 Types de chargement
 - 6.3.1 Charges statiques
 - 6.3.2 Charges dynamiques
- 6.4 Instrumentation
- 6.5 Essais
 - 6.5.1 Essai de déchargement de roue
 - 6.5.2 Vernis craquelant
 - 6.5.3 Essai de chargement statique
 - 6.5.4 Essai de fatigue
 - 6.5.5 Essai en surcharge

SECTION 7 **ESSAIS SUR VOIE**

- 7.1 Introduction
- 7.2 Description des essais
 - 7.2.1 Description générale
 - 7.2.2 Horaire
 - 7.2.3 Traitement et présentation des résultats
- 7.3 Stabilité
- 7.4 Confort vibratoire
 - 7.4.1 Introduction
 - 7.4.2 Résultats et discussion

SECTION 8 **ESSAIS PROLONGÉS EN SERVICE**

- 8.1 Objectifs des essais
- 8.2 Déroulement des essais
- 8.3 Résultats
 - 8.3.1 Essais d'évaluation du confort
 - 8.3.2 Inspection des bogies
 - 8.3.3 Entretien des bogies
- 8.4 Discussion des résultats

SECTION 9 **CONCLUSION**

LISTE DES ABRÉVIATIONS

g	grammes
Hz	hertz
h	heures
kg	kilogrammes
km	kilomètres
km/h	kilomètres/heure
kN	kiloNewton
L/V	lateral/vertical
m	mètres
mm	millimètres
MN/n	MegaNewton/mètre
MPa	MegaPascal
N/D	non disponible
po	pouces
po/s	pouces/seconde

LISTE DES TABLEAUX

- 2.1 Comparaison des charges sur bogie
- 3.1 Fréquences naturelles (Hz)
- 3.2 Performance en courbe
- 6.1 Essais structuraux - Chargement dynamique
- 7.1 Description des suspensions testées
- 8.1 Niveau de confort - Résultats en heures selon LRC (ISO 2631/1)
- 8.2 Résultats des essais de confort - Amfleet I no 21029 avec B-55H
- 8.3 Comparaison des résultats
- 8.4 Essais prolongés en service - Inspection des bogies

SOMMAIRE

INTRODUCTION

Le projet de développement d'un bogie, commencé en 1987, a eu comme principaux objectifs de développer un concept de bogie répondant aux besoins de transport urbain et interurbain; de concevoir un bogie performant, robuste et facile d'entretien, de même que de développer une main-d'oeuvre qualifiée en sous-traitance, tout en élargissant la position concurrentielle des produits québécois.

Les travaux effectués lors de ce projet ont été l'étude conceptuelle, les activités d'ingénierie, la fabrication et l'assemblage des prototypes et les essais.

CONCEPTION DU BOGIE

La conception du bogie doit se faire en tenant compte des besoins actuels concernant les requis de vitesse et de confort. Le bogie conçu et produit est donc, non seulement robuste, fiable et facile d'entretien, mais, en plus, il procure un grand confort de roulement.

La définition des objectifs généraux de conception s'est faite une fois que l'identification des exigences nord-américaines concernant les bogies haute vitesse fût réalisée et après que l'étude des différents modèles existants dans le monde fût approfondie.

Ainsi, il a été établi que le bogie devait être compatible à une voiture de train de banlieue à simple niveau, et être équipé d'une suspension secondaire à ressorts hélicoïdaux. Par conséquent, le bogie se compose d'un châssis mécano-soudé à roulements extérieurs qui repose, par l'intermédiaire des ressorts hélicoïdaux de la suspension primaire, sur deux essieux. Les essieux sont équipés de disques de frein et de roulements coniques.

La caisse repose sur deux groupes de ressorts hélicoïdaux de la suspension secondaire qui sont situés aux extrémités de la traverse de charge mécano-soudée qui, elle, s'appuie sur les lisseurs du châssis. Les deux barres de traction relient la caisse à la traverse de charge. Les lisseurs et le pivot central, situés entre le châssis et la traverse, assurent la rotation du châssis par rapport à la caisse.

La conception du bogie réduit au minimum les opérations de montage et démontage des éléments mécaniques et rend le puits d'accès inutile pour l'inspection et pour lesdites opérations.

ANALYSE DES SUSPENSIONS

Différentes études ont été effectuées afin d'évaluer le comportement statique et dynamique des éléments de suspension du bogie.

Les analyses statiques ont permis d'établir l'adéquation des rigidités choisies aux conditions typiques d'opération pour une voiture grande ligne.

Les analyses dynamiques ont servi à prouver que les éléments de suspension assureront un guidage stable, réduiront les efforts roue-rail et filtreront les défauts de voie.

ANALYSES STRUCTURALES

L'analyse structurale comprend les analyses de fatigue et les analyses statiques. Grâce à ces analyses, il est possible de s'assurer que les composants structuraux du bogie résisteront aux fissures et ce, pour une période de 30 ans de service.

Les analyses statiques ont également servi à optimiser le poids du bogie en plus de fournir des informations nécessaires aux analyses de fatigue.

Les analyses de fatigue ont apporté des données pertinentes quant à la localisation des endroits les plus sollicités soit où les variations de niveaux de contrainte sont très importantes.

FABRICATION ET ASSEMBLAGE

La fabrication d'un châssis se fait en découpant les pièces unitaires, qui servent à assembler le châssis et la traverse du bogie, dans les plaques d'acier. Lorsque les pièces unitaires sont fabriquées, elles sont soudées ensemble pour former un sous-ensemble du châssis. Les sous-ensembles sont à leur tour liés par soudure.

Lorsqu'enfin le châssis et la traverse sont assemblés, ils subissent un recuit de détentionnement et un grenailage. Après quoi, ils sont usinés et peints.

ESSAIS STRUCTURAUX

Les essais structuraux du châssis du bogie ont été réalisés au Centre de recherche industrielle du Québec afin de démontrer que le bogie concorde avec les critères de conception.

Le banc d'essai du CRIQ a servi à réaliser la simulation des charges verticale, latérale et longitudinale.

ESSAIS SUR VOIE

Les essais sur voie ont permis de vérifier la stabilité du bogie B-55H et de choisir les éléments de suspension procurant les meilleures performances.

Les essais de confort vibratoire, évaluant la capacité des suspensions du bogie à filtrer les perturbations originant de la voie et des organes de roulement, ont révélé que les amortisseurs primaires sont nécessaires et que la suspension primaire la plus souple procure le meilleur niveau de confort vibratoire.

ESSAIS PROLONGÉS EN SERVICE

Les essais prolongés en service commercial ont démontré que le bogie B-55H est stable et confortable. De plus, il a été démontré que le bogie est très facile à entretenir comparativement aux autres bogies utilisés actuellement en Amérique du Nord. Durant l'année 1990, les bogies ont parcouru près de 200000 km.

CONCLUSION

La revue des activités de l'ensemble du projet montre bien que tous les objectifs du projet ont été rencontrés. De plus, le bogie qui a été développé et testé, a été comparé, en opération, à d'autres types de bogies utilisés aux États-Unis. Les résultats de ces tests comparatifs confirment la supériorité du bogie B-55H des points de vue stabilité à haute vitesse, confort vibratoire et facilité d'entretien.

La Division du transport en commun de Bombardier tient, ici, à souligner le support des gouvernements provincial et fédéral, dans la mise au point d'un produit pouvant répondre adéquatement aux besoins du marché pour les prochaines décennies.

1. INTRODUCTION

1.1 Définition du projet

Le présent rapport décrit sommairement les travaux entourant la réalisation du projet de développement d'un bogie.

Le projet a débuté en 1987 avec une étude conceptuelle (phase I) et s'est poursuivi jusqu'en 1990 en passant par les étapes d'ingénierie, de fabrication et d'essais (phase II).

Les principaux objectifs du projet ont été de:

- Développer un concept de bogie répondant aux besoins du transport interurbain et de banlieue;
- Concevoir un bogie performant, facile à entretenir et robuste correspondant à la demande;
- Développer une main-d'oeuvre qualifiée chez des fournisseurs locaux et accroître le potentiel d'exportation des produits québécois;
- Élargir la position concurrentielle des produits québécois.

1.2 Nature des travaux effectués

Les travaux effectués durant ce projet comprennent l'étude conceptuelle, les activités d'ingénierie, la fabrication des prototypes et les essais.

1.2.1 Étude conceptuelle

Dans son ensemble, l'étude conceptuelle a consisté à préciser quels seraient les paramètres qui permettraient au bogie de rencontrer pleinement les objectifs du projet. Les principaux points considérés pour ce faire ont été:

- L'examen des bogies existants,
- L'examen des requis nord-américains,
- La définition des objectifs de conception,
- La proposition d'un concept,
- Les analyses dynamiques et structurales préliminaires.

Suite aux analyses structurales préliminaires et avant que ne débutent les travaux d'ingénierie de détail, le concept du bogie a dû être réorienté.

1.2.2 Ingénierie

Les travaux d'ingénierie consistent, essentiellement, à rendre en détail sur dessins, l'information nécessaire à la fabrication des diverses pièces du bogie; les étapes suivies ont été:

- Préparer les devis techniques et les dessins des pièces achetées;
- Rencontrer les fournisseurs;
- Préparer les dessins des pièces fabriquées par Bombardier;
- Effectuer les analyses relatives aux suspensions;
- Procéder aux analyses structurales;
- Réaliser les analyses de fiabilité, sécurité et facilité d'entretien;
- Élaborer les procédures d'essais.

1.2.3 Fabrication et assemblage des bogies

Les principales activités reliées à la fabrication et à l'assemblage des bogies sont:

- Approvisionnement de matériel,
- Conception et fabrication de l'outillage,
- Rédaction des cahiers de montage,
- Élaboration des procédures de soudage et de tests,
- Fabrication et assemblage des pièces unitaires,
- Réalisation du recuit de détentionnement,
- Usinage et peinture des châssis,
- Montage final des composants sur les bogies.

1.2.4 Essais

Les essais se divisent en deux groupes. Les essais de structure, du premier groupe, ont pour but de vérifier la bonne tenue des éléments en simulant, grâce aux essais de fatigue, l'effet des divers chargements rencontrés sur une période de 30 ans de service. Les essais sur voie (deuxième groupe) servent à vérifier le comportement des bogies sur les voies et la bonne tenue des composants du bogie.

- Essais structuraux:
 - montage du banc d'essai,
 - essais statiques en surcharge,
 - essais de fatigue,
 - essais destructifs,
 - rapport d'essais.

- Essais sur voie:
 - essais de dégagement caisse-bogie,
 - essais de mesure du coefficient de souplesse,
 - essais de stabilité à haute vitesse,
 - essais de confort vibratoire,
 - essais en service commercial,
 - rapport d'essais.

1.3 ORGANISATION GÉNÉRALE

1.3.1 Secteurs d'activité

Le tableau suivant illustre les divers secteurs impliqués ainsi que leurs champs d'activité respectifs.

Ingénierie Recherche & Développement	Direction et gestion du projet Étude conceptuelle Conception et analyses Essais structuraux Essais sur voie
Achats	Approvisionnement Suivi des fournisseurs
Méthodes de fabrication	Conception de l'outillage Fabrication de l'outillage Rédaction des procédures de fabrication
Fabrication	Pièces primaires Sous-ensembles Assemblage général
Assurance qualité et essais	Contrôle dimensionnel Qualité du produit Assistance durant les essais
Finances	Facturation Budgets

1.3.2 Cheminements suivis

PHASE I

Examen des bogies existants

Examen des requis nord-américains

Définition des objectifs de conception

Étude et définition du bogie

Étude des suspensions

Analyses structurales

PHASE II

Conception du bogie

Rencontre avec les fournisseurs

Analyses des suspensions

Analyses structurales

Fabrication d'un prototype

Essais structuraux

Fabrication et assemblage de deux bogies

Mise sous caisse des bogies

Essais de performance

Essais prolongés en service commercial

2. CONCEPTION DU BOGIE

2.1 Introduction

2.1.1 Évolution des bogies

Même si le premier système roue-rail fit son apparition durant le 16^e siècle, il fallut attendre au 18^e siècle avant de voir apparaître les premiers bogies. Comme pour le premier système roue-rail, les premiers bogies apparurent suite aux besoins de transporter des charges toujours plus grandes tout en réduisant la résistance au roulement.

Au cours du 20^e siècle, les choses évoluèrent rapidement puisque des requis de performance vinrent s'ajouter aux critères de conception tels que: la rapidité, le confort vibratoire et la fiabilité. Ces différents critères ont amené les concepteurs, surtout européens, à renouveler sans cesse leur approche face à la conception des bogies.

2.1.2 Besoins actuels

Les vitesses maximales atteintes en Amérique du Nord sont moins élevées que celles atteintes en Europe. Plusieurs raisons expliquent ce fait.

Entre autres, les voies de moindre qualité nécessitent une plus grande robustesse des pièces structurales composant le bogie, et les grandes distances à parcourir, d'un point à un autre, font que les bogies ne sont pas toujours entretenus au moment propice.

En conséquence, pour combler les exigences nord-américaines, il a fallu concevoir et produire un bogie robuste alliant grand confort de roulement, fiabilité et simplicité.

2.1.3 Examen des bogies existants

Suite à une révision des exigences générales concernant les bogies nord-américains, il a été décidé, avant d'amorcer la conception, de faire un examen approfondi des bogies haute vitesse utilisés ailleurs dans le monde. Les points qui ont reçu une attention particulière sont:

- la performance
- la complexité
- la facilité d'entretien
- la fiabilité
- le coût des composants
- le poids

Le tableau de la page suivante identifie les bogies haute vitesse qui ont été examinés.

Cet examen a été fait sur les bogies suivants classifiés par pays:

Pays	Voitures	Bogies	Particularités
Canada	LRC	LRC Dofasco	Système d'inclinaison
France	TGV Corail Turbo-train	Y-226 Y-32 Y-224	Bogie moteur
U.S.A.	Amcoach Metroliner	P-III GSI	Bogie articulé Bogie moteur
Japon	Sinkansen	DT-200	Bogie moteur
Angleterre	H.S.T.	BT-10	
Allemagne	G.M. Coach Deutz	Minden	
Russie	ER-200	ER-200	Bogie moteur
Italie	Eurofima	Y-270 S	
Suisse	Metroliner	SIG	Bogie moteur

Les principaux paramètres étudiés sur ces bogies sont:

- la configuration du châssis,
- le diamètre des roues,
- la suspension primaire,
- la suspension secondaire,
- la liaison caisse-bogie,
- les composants de freinage.

L'étude de ces paramètres donne les résultats suivants:

- **Châssis**

Sur douze bogies, dix sont à roulements extérieurs et seulement deux châssis sur douze sont de type coulé. L'utilisation de châssis à roulements extérieurs offre des avantages importants au niveau de la performance surtout pour le contrôle du lacet, la tenue en roulis et la syntonisation optimale des fréquences.

La technologie mécano-soudée permet de réduire le poids et évite au constructeur du bogie d'avoir à travailler, obligatoirement, à partir d'une fonderie pour obtenir les éléments structuraux du bogie (châssis et traverse).

L'empattement du bogie a peu d'effets sur la stabilité à haute vitesse comparativement aux paramètres de guidage des boîtes de roulements et aux dispositifs antilacet. Les valeurs se situant entre 2,54 m et 2,66 m sont les plus fréquentes.

- **Diamètre de roues**

Dans onze cas sur douze, des roues d'environ 914 mm de diamètre sont utilisées. Ceci s'explique du fait que la roue de plus grand diamètre s'use moins vite puisque, pour une même vitesse, elle réduit le nombre de rotations des organes de roulement. Aussi, la roue de 914 mm de diamètre supporte mieux les charges et résiste mieux, en général, aux contraintes thermiques causées par les freins à sabot.

- **Suspension primaire**

En ce qui concerne la suspension primaire verticale, tous les bogies étudiés sont équipés de ressorts hélicoïdaux, à l'exception du LRC et du bogie Pionner P-III. Les ressorts hélicoïdaux sont plus faciles à fabriquer, peu coûteux et fiables. Le guidage des boîtes de roulements s'effectue de diverses manières et, pour ce faire, le caoutchouc est très utilisé.

- **Suspension secondaire**

Les suspensions pneumatiques sont tout aussi utilisées que les suspensions à ressorts hélicoïdaux. Toutefois, jusqu'au début des années 80, l'utilisation des suspensions pneumatiques était presque uniquement destinée aux voitures de métro utilisées en Europe.

Les suspensions pneumatiques sont plus coûteuses et demandent plus d'entretien que les suspensions à ressorts, mais en revanche, elles procurent un plus haut niveau de confort vibratoire en plus de garder constante la hauteur du plancher de la voiture.

Utilisée en parallèle avec la suspension secondaire, une barre antiroulis permet d'augmenter la rigidité en roulis de la voiture. Sur les douze bogies étudiés, quatre utilisent ce dispositif qui autorise une suspension secondaire plus souple pour obtenir un meilleur confort vibratoire.

- **Liaison caisse-bogie**

De tous les bogies étudiés, les bogies nord-américains (LRC, GSI, P-III) et le bogie russe (ER-200) sont les seuls à être équipés de bielles extérieures pour leur liaison caisse-bogie. Les autres bogies sont liés à la caisse par un pivot.

- **Freinage**

Sur les bogies évalués, quatre modes de freinage sont utilisés. Les bogies sont équipés de freins à disques, à sabots, à patins magnétiques ou encore utilisent le freinage régénérateur. Ce dernier mode de freinage n'est cependant utilisé que sur les bogies motorisés. Les freins à disque et à sabot sont donc ceux qui sont le plus fréquemment utilisés.

2.1.4 Définition des objectifs généraux

Suite à l'examen des bogies haute vitesse et après avoir identifié les exigences en Amérique du Nord, il a été possible de définir les objectifs généraux de conception du bogie.

2.2 Critères de conception

Lorsque la phase I du projet fut terminée, il est apparu qu'il fallait, suite aux résultats des analyses de contrainte sur voie et suite à l'identification du type de voiture qui serait utilisée pour les essais, changer la configuration de la liaison caisse-bogie.

2.2.2 Types de suspension

- **Suspension primaire**

Tel qu'établi durant la phase I, le bogie est muni d'une suspension primaire constituée des principaux éléments suivants:

- ressorts hélicoïdaux: pour supporter la charge verticale;
- bielle à articulation caoutchoutée: pour servir de liaison entre l'essieu et le châssis du bogie et pour contrôler les mouvements de l'essieu dans le plan horizontal;
- amortisseurs de la suspension primaire: pour contrôler le mode de tangage du châssis du bogie.

- **Suspension secondaire**

Les exigences de fiabilité pour une application nord-américaine ne permettaient pas l'utilisation de ressorts pneumatiques pour la suspension secondaire du bogie. Seuls les ressorts hélicoïdaux étaient conformes à leurs requis.

2.2.3 Capacité de charge

Le critère de la capacité de charge est important dans la définition d'un bogie. Pour s'assurer un bon potentiel de marché, la capacité de charge du châssis de bogie doit satisfaire le plus de types de voitures possibles.

Le tableau 2.1 de la page suivante présente les charges maximales qui sont appliquées sur un bogie pour un ensemble de voitures qui, en Amérique du Nord, sont ou en service ou en voie de développement.

Il se dégage de ce tableau que les voitures à double niveau requièrent des capacités beaucoup plus grandes que celles conférées aux voitures à simple niveau. Une conception de bogie pouvant satisfaire les deux types de voitures ne permettrait pas d'obtenir un bogie performant avec un poids optimal pour les voitures à simple niveau.

Compte tenu de cette différence, la capacité de charge du bogie a été fixée à 245 kN (55 000 lb), de façon à satisfaire toute la gamme des voitures à simple niveau.

Tableau 2.1 Comparaison des charges sur bogies

	LRC	Horizon	Amfleet I	"Push-Pull" Banlieue	Viewliner	2 niveaux Superliner	2 niveaux Banlieue
Nb de passagers	80	84	84	118	35	84	166
Poids/passagers (kN)	0,80	0,80	0,80	0,69	0,89	0,89	0,69
Poids eau et divers (kN)	11,12	5,56	11,12	5,87	8,90	26,69	8,90
Poids caisse (kN)							
- vide	298,0	320,3	342,5	302,5	422,6	467,2	422,6
- VCN	373,2	393,1	418,6	389,7	462,6	568,7	546,0
VCE	389,2	410,0	435,5	430,4	470,6	587,3	672,1
Poids par bogie (kN)							
- VCN	187	197	209	195	231	284	273
- VCE	195	205	218	215	235	294	336

Notes: VCN: Voiture en charge normale
VCE: Voiture en charge exceptionnelle

2.2.4 Équipement du bogie

Afin d'être en mesure d'effectuer les essais sur voie, le bogie a été développé pour être compatible avec les voitures Horizon d'Amtrak. Ceci signifie que certains équipements installés sur le bogie se trouvent déjà déterminés. Voici ces équipements:

- le sous-ensemble roue-essieu incluant les roulements, l'essieu, les disques de freinage et les roues;
- les équipements de freinage incluant les unités pneumatiques pour les freins à sabot et à disque, la timonerie du frein de stationnement et les garnitures de frein;
- les détecteurs de signaux de vitesse installés sur les boîtes de roulements des essieux.

2.2.5 Choix de l'acier

Les critères de sélection de l'acier utilisé pour le bogie ont été déterminés de façon à assurer la compatibilité des caractéristiques de l'acier aux méthodes manufacturières. De plus, les conditions climatiques extrêmes rencontrées sur le continent nord-américain ont dû être prises en considération puisque la température affecte certaines caractéristiques de l'acier.

Les critères de sélection établis pour l'acier du bogie sont les suivants:

- Limite élastique: 345 MPa (50 ksi) minimum,
- Limite ultime: 483 MPa (70 ksi) minimum,
- Carbone équivalent de 0,4%,
- Résilience élevée à basse température,
- Soudage aisé (sans préchauffage),
- Usinage facile,
- Constance des caractéristiques mécaniques lors du recuit de détentionnement,
- Rayon de pliage faible.

Parmi ces critères de sélection, celui concernant la résilience à basse température, est des plus importants. Car la caractéristique de résilience assure la constance des propriétés mécaniques de l'acier à basse température et réduit la vitesse de propagation des micro-fissures.

2.3 Description de la conception

La conceptualisation des éléments a été faite en tenant compte des critères de conception, tels qu'établis à la section précédente et des objectifs de simplicité, de robustesse, de fiabilité, de performance et de facilité d'entretien.

2.3.1 Description générale

Le bogie est constitué d'un châssis mécano-soudé à roulements extérieurs reposant, par l'intermédiaire des ressorts hélicoïdaux de la suspension primaire, sur les deux essieux. Chacun des essieux est muni de deux disques de frein et les roulements sont du type conique.

En raison du design du bogie, la caisse repose sur deux groupes de ressorts hélicoïdaux (suspension secondaire) situés aux extrémités de la traverse de charge mécano-soudée. Quant à la traverse de charge, elle s'appuie sur les lisseurs du châssis. Elle est reliée à la caisse par deux barres de traction, localisées à ses extrémités, qui l'empêchent de pivoter par rapport à la caisse. Le pivot central et les lisseurs, situés entre le châssis et la traverse, assurent la rotation du châssis du bogie par rapport à la caisse.

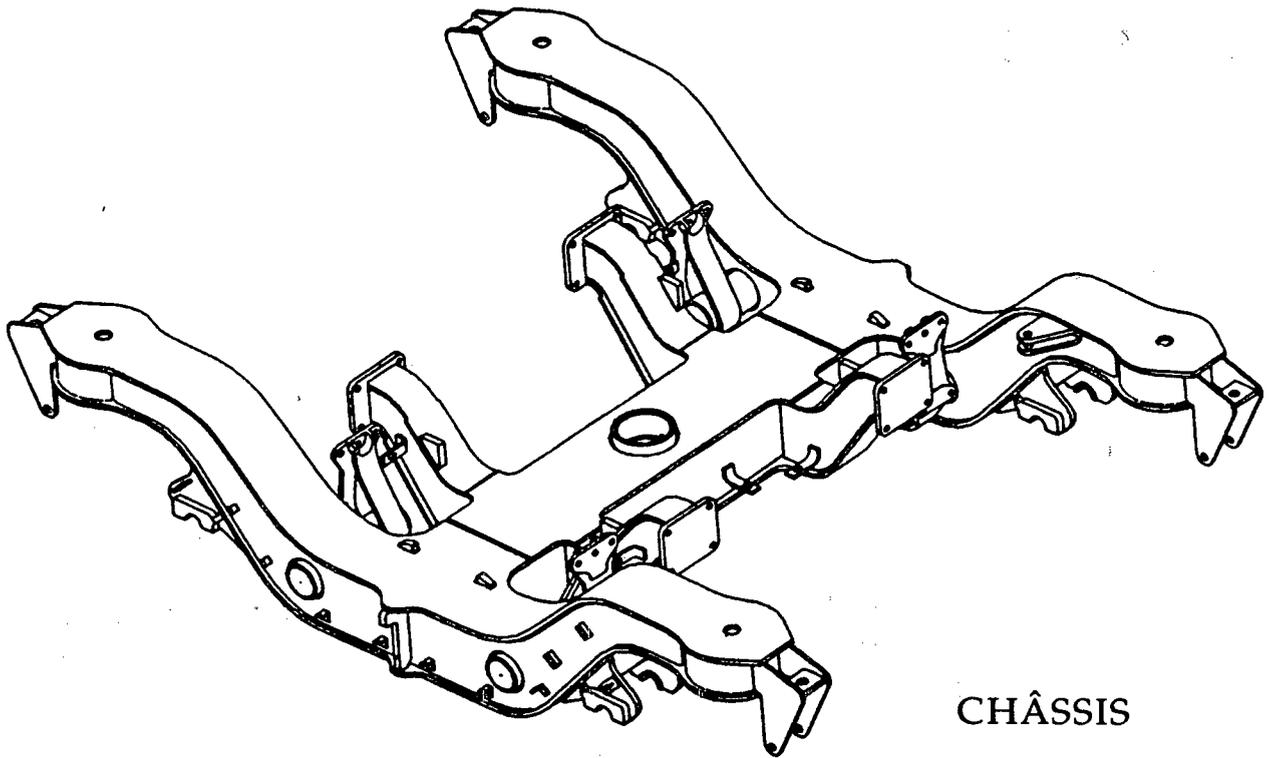
2.3.2 Châssis (figure 2.1)

Le châssis de type mécano-soudé comprend deux longerons supportant la charge principale et une traverse qui, elle, relie les deux longerons. Ces éléments sont montés en forme de caisson à l'aide de plaques soudées. Les semelles sont faites de plaques de 16 mm d'épaisseur tandis que les âmes sont de 11 mm d'épaisseur. La section principale du longeron mesure 279 mm par 241 mm et le dégagement entre le dessus du rail et le dessous du longeron est de 267 mm.

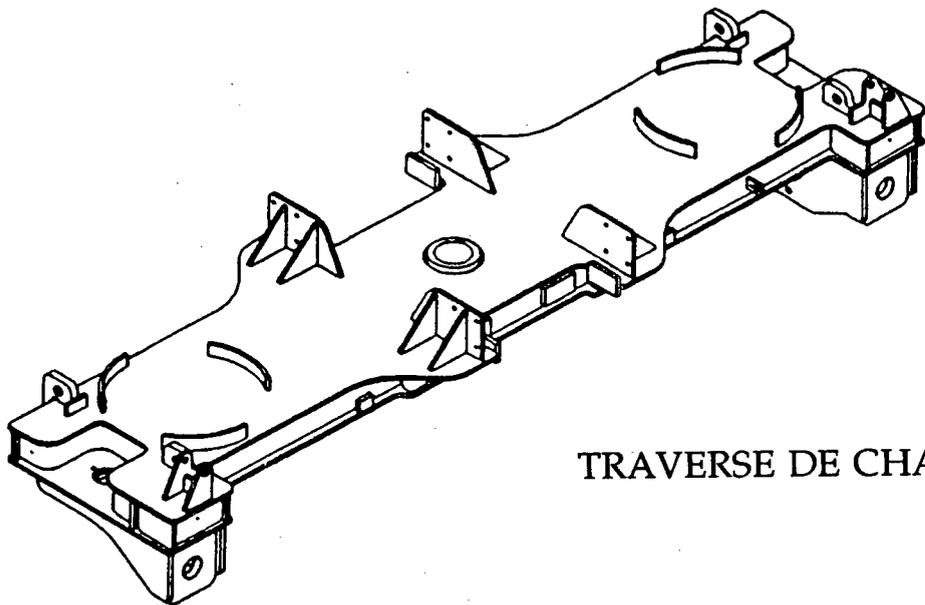
Aux éléments structuraux sont soudés des supports qui servent à recevoir les équipements tels que les unités de freinage (sabot et disque), les amortisseurs de la suspension primaire, le câblage et la tuyauterie.

Sur le dessus du châssis se trouvent le réceptacle du pivot de la traverse de charge ainsi que les blocs de localisation des lisseurs.

Les longerons sont munis de crochets de levage conçus pour engager en tout temps des butées boulonnées sous la traverse de charge.



CHÂSSIS



TRAVERSE DE CHARGE

FIGURE 2.1

2.3.3 Traverse de charge (figure 2.1)

Une boîte rectangulaire constitue, dans son ensemble, la traverse de charge; elle mesure 124 mm par 521 mm par 2 965 mm de longueur. Des plaques de 16 mm et de 11 mm sont utilisées pour la fabrication de la boîte principale. Pour la fabrication des différents supports, ce sont des plaques de 25 mm qui sont employées.

Sous la traverse de charge sont soudées deux plaques d'acier inoxydable qui servent de surface de pression aux lissoirs situés entre la traverse et le châssis.

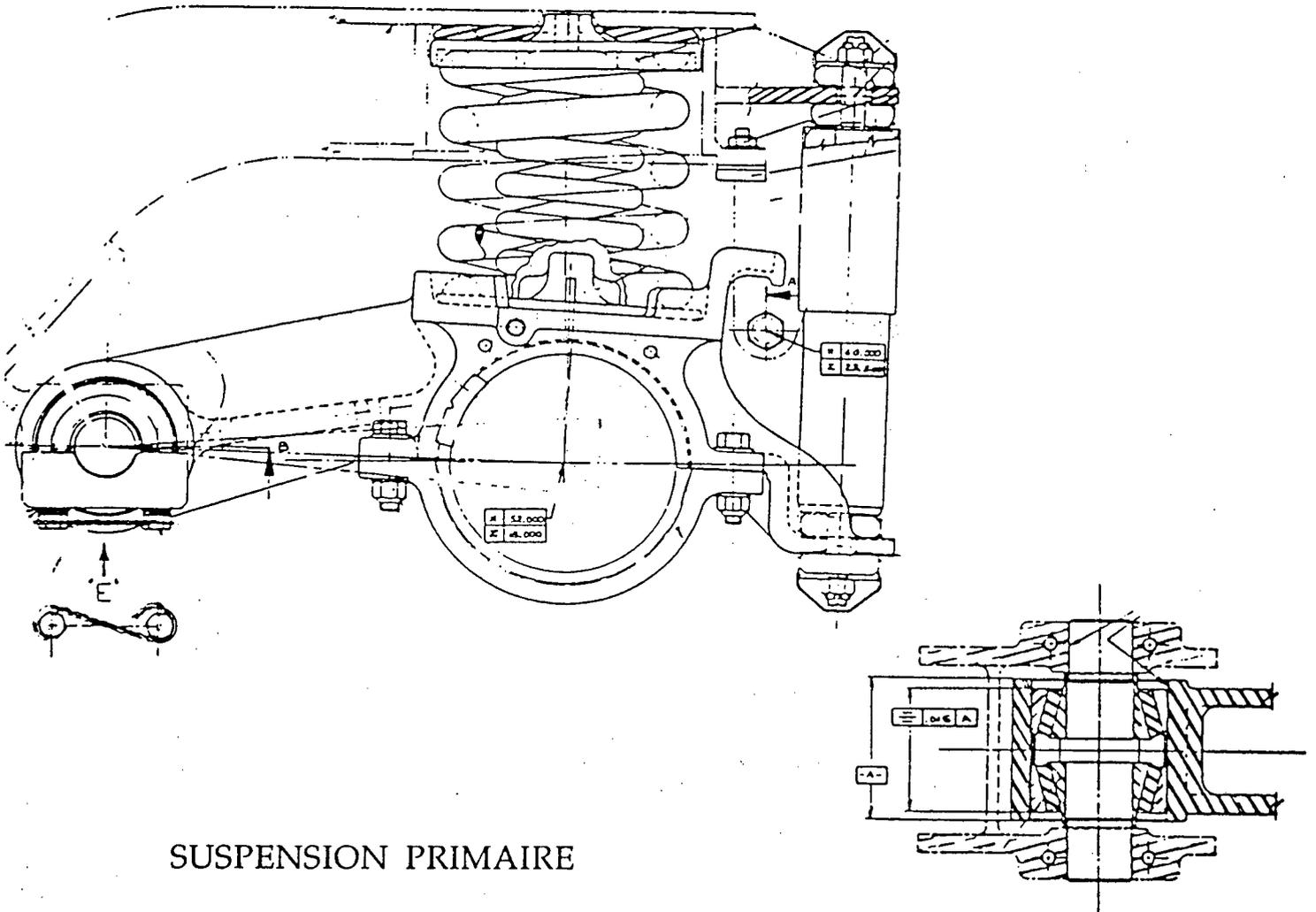
2.3.4 Suspension primaire (figure 2.2)

La suspension primaire verticale se compose de ressorts hélicoïdaux, d'amortisseurs hydrauliques verticaux et de butées de fin de course.

Les ressorts hélicoïdaux partagés en quatre groupes sont localisés aux quatre coins du châssis. Les ressorts s'appuient sur une bielle qui sert de boîtier au roulement et de lien mécanique entre le châssis et l'essieu.

Une rotule de caoutchouc, incorporée à la jonction de la bielle au châssis, permet la rotation de la bielle dans le plan vertical, tout en limitant les mouvements longitudinaux et les déplacements angulaires latéraux de l'essieu par rapport au châssis.

Cette configuration de la suspension primaire permet l'obtention de rigidités optimales dans les axes vertical, latéral et longitudinal. Les caractéristiques requises de la suspension primaire dans le plan horizontal n'affectent pas la caractéristique verticale de la suspension.



SUSPENSION PRIMAIRE

FIGURE 2.2

L'amortisseur hydraulique vertical est fixé par ses extrémités à la bielle de suspension et au châssis du bogie.

Les butées de fin de course, situées sur la bielle et le châssis, limitent les débattements verticaux de la suspension.

Un couvercle, placé sous le roulement et boulonné à la bielle, permet de lever l'essieu assemblé lorsque le bogie doit être soulevé.

2.3.5 Suspension secondaire (figure 2.3)

La suspension secondaire verticale comprend deux groupes de ressorts hélicoïdaux, chacun muni sur le dessus d'un coussin isolant en polyuréthane. La caisse est supportée par ces ressorts qui, eux, reposent sur la traverse de charge.

La suspension latérale est assurée par les mêmes ressorts qui travaillent en cisaillement.

Les oscillations de la caisse sont amorties, grâce à deux amortisseurs verticaux et deux amortisseurs latéraux. Des butées progressives limitent les mouvements latéraux de la caisse, et des butées de fin de course, installées au centre des ressorts hélicoïdaux, limitent l'affaissement vertical de la caisse en cas de bris des ressorts.

Des élingues, au nombre de quatre, sont installées aux extrémités de la traverse de charge et sont reliées au sous-châssis de la caisse. Elles assurent la liaison entre le bogie et la caisse lors du levage de celle-ci.

2.3.6 Lissoirs (figure 2.3)

Le poids de la caisse repose, par l'intermédiaire de la traverse de charge, sur deux lissoirs, eux-mêmes assis sur les longerons du châssis du bogie. Les lissoirs permettent de transférer les charges verticales au châssis et permettent aussi, à haute vitesse, de contrôler efficacement le lacet du bogie.

Un lissoir est composé d'une surface de friction et d'un coussin en polyuréthane fixé de part et d'autre d'un bloc d'aluminium.

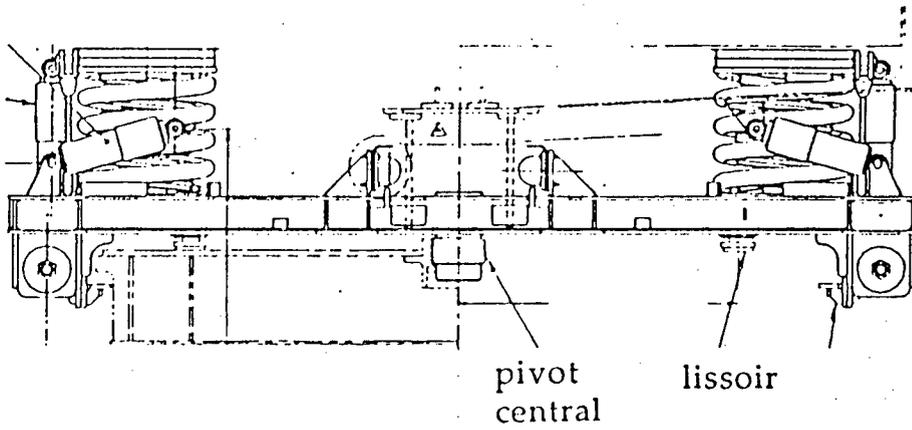
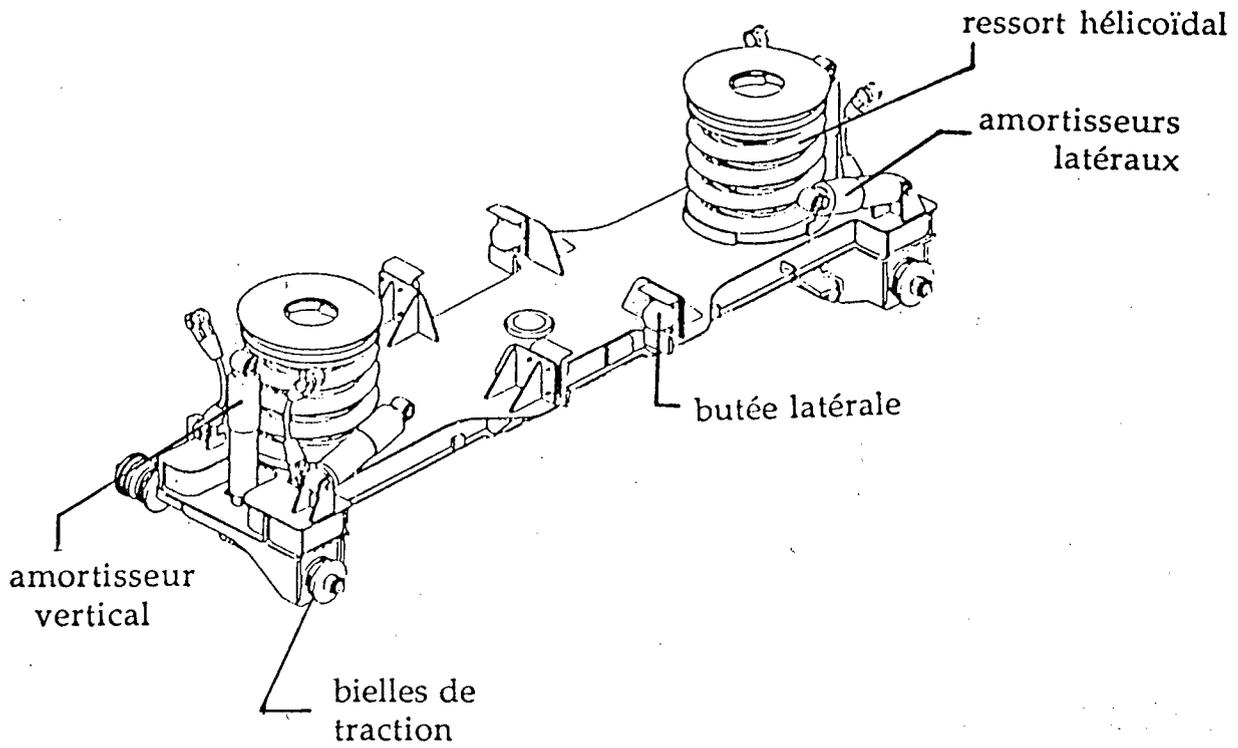
La surface de friction est faite d'un matériau composite constitué d'une base en nylon imprégné de téflon. Les caractéristiques de la surface de friction ont été sélectionnées pour assurer au bogie, à haute vitesse, la stabilité et pour lui permettre de négocier aisément les courbes. Ce composite glisse sur une surface en acier inoxydable installée sous la traverse de charge.

Quant au coussin de polyuréthane, il est utilisé pour compenser les défauts de planéité des surfaces d'appui de la traverse et du châssis.

2.3.7 Liaison caisse-bogie (figure 2.3)

La liaison horizontale du bogie avec la caisse est assurée par deux bielles de traction situées aux extrémités de la traverse de charge. En cas de collision de la voiture, des butoirs fixés au sous-châssis de la caisse retiennent le bogie sous la voiture.

Chacune des extrémités de la bielle de traction est munie de coussins de caoutchouc. La bielle de traction est installée le plus bas possible afin de minimiser la transmissibilité des mouvements de tangage du châssis de bogie à la caisse.



SUSPENSION SECONDAIRE

FIGURE 2.3

Les barres de traction ont été conçues de sorte qu'elles puissent être fixées aux poteaux d'ancrage de la voiture Horizon qui servira aux essais sur voie.

2.4 Caractéristiques d'entretien

Un des objectifs de conception concernait l'obtention d'un bogie facile d'entretien. Les aspects de l'inspection et de l'ajustement de la hauteur du plancher ont été particulièrement visés.

2.4.1 Inspection

L'inspection visuelle de routine du bogie a été facilitée du fait qu'un grand nombre d'éléments du bogie sont accessibles ou visibles sans nécessiter de puits d'accès ou sans qu'il faille entrer sous la voiture.

Les éléments suivants peuvent être inspectés visuellement en circulant le long de la voiture:

- sabots de frein,
- ressorts et amortisseurs,
- lisseurs,
- bielles de traction,
- éléments de caoutchouc,
- crochets de levage,
- butées de fin de course,
- capteurs et senseurs.

L'inspection visuelle de l'usure des plaquettes du frein à disque et du disque lui-même ne peut se faire qu'en entrant sous la voiture.

2.4.2 Ajustement de la hauteur du plancher

L'ajustement de la hauteur du plancher de la voiture est nécessaire afin de compenser pour la réduction de diamètre des roues causée par l'usure et le reprofilage.

Pour ce bogie, cet ajustement s'effectue simplement. Il suffit de remplacer le lisseur d'épaisseur nominale par un lisseur plus épais. Cette opération ne requiert aucun démontage des éléments mécaniques, ce qui la rend d'autant plus simple et rapide d'exécution.

Pour couvrir la plage d'usure permise des roues, les lisseurs sont fournis en trois épaisseurs:

- épaisseur nominale,
- épaisseur nominale + 13 mm,
- épaisseur nominale + 25 mm.

2.4.3 Entretien du bogie

L'entretien du bogie est facilité par une conception minimisant le montage et le démontage des éléments mécaniques rendant ainsi le puits d'accès inutile.

- **Remplacement d'un essieu**

Les opérations requises au remplacement d'un essieu sont les suivantes:

- Déboulonner les couvercles des deux essieux;
- Lever la caisse (bout du bogie entretenu seulement);
- Remplacer les essieux;
- Boulonner les couvercles en bout d'essieu.

Le remplacement d'un essieu pour ce bogie est d'autant plus simple qu'il n'est pas nécessaire de manoeuvrer les éléments de suspension primaire (ressorts, amortisseurs et butées) ni les capteurs de la boîte de roulements.

- **Découplage du châssis**

Lorsqu'il est nécessaire d'effectuer des travaux d'entretien sur les équipements du châssis du bogie, il est possible de découpler le châssis de la traverse de charge, celle-ci restant solidaire de la caisse.

Voici les opérations nécessaires à cet entretien:

- Défaire les connexions électriques et pneumatiques de même que les courroies de mise à la masse;
- Démonter les crochets de levage sous la traverse de charge;
- Lever la caisse (bout entretenu seulement).

Le couplage s'effectue en réalisant les mêmes opérations dans l'ordre inverse.

L'avantage de ce concept est que le puits d'accès n'est plus requis. Ceci élimine les travaux faits dans les puits d'accès où les conditions de travail sont plus difficiles à cause du manque d'espace, d'éclairage et de la fonte de la neige en hiver.

- **Découplage du bogie**

Pour découpler le bogie de la caisse, les étapes à suivre sont:

- Défaire les connexions électriques et pneumatiques de même que les courroies de mise à la masse;
- Démonter les élingues de levage ainsi que les amortisseurs verticaux et latéraux de la suspension secondaire;
- Démonter les bielles de traction;
- Lever la caisse (bout du bogie entretenu seulement).

La mise sur bogie de la caisse s'effectue évidemment en procédant, dans l'ordre inverse, aux opérations de découplage.

Toutes ces opérations peuvent être réalisées en travaillant le long de la voiture.

2.5 Identification du bogie

Le bogie nouvellement conçu a l'appellation suivante: B-55H

L'identification est composé de trois éléments où:

B : Fait référence à Bombardier.

55 : Double chiffre qui indique la capacité (en milliers de livres) que le bogie peut supporter, soit: 55 000 livres. Cette capacité correspond à la charge maximale pour laquelle le bogie a été conçu.

H : Lettre qui indique le type de suspension secondaire. Les différentes versions seraient identifiées comme suit:

- H : Ressorts Hélicoïdaux
- P : Suspension Pneumatique
- MH : Bogie Motorisé à suspension à ressorts Hélicoïdaux
- MP : Bogie Motorisé à suspension Pneumatique

3. ANALYSE DES SUSPENSIONS

3.1 Introduction

Plusieurs facteurs, reliés au comportement dynamique d'un véhicule ferroviaire, doivent être considérés lors du développement d'un bogie. Les critères de design des suspensions deviennent particulièrement importants lorsqu'il s'agit d'un véhicule pour passagers devant circuler à des vitesses élevées.

Les éléments de suspension doivent assurer un comportement adéquat de la voiture et de ses bogies sous différentes conditions de chargement. Ils doivent éliminer toute possibilité de déraillement ou d'instabilité dynamique (hunting) dans la plage d'opération haute vitesse, assurer un comportement adéquat lors des passages en courbe et finalement, offrir un haut niveau de confort vibratoire.

Cette section décrit sommairement les différentes analyses effectuées pour évaluer le comportement statique et dynamique des éléments de suspension du bogie.

Il est à noter que deux versions de suspensions primaires ont été évaluées: la suspension primaire, dite suspension rigide conçue pour une voiture de banlieue et la suspension primaire, dite suspension souple destinée à une voiture grande ligne. Tous les calculs ont cependant été effectués pour la voiture grande ligne compte tenu des exigences plus sévères pour ce type d'application.

3.2 Caractéristiques

La suspension du bogie B-55H a été conçue pour une voiture grande ligne du type Amfleet III Horizon.

Les masses et caractéristiques des éléments de suspension sont données ci-après:

Caisse

- Conditions de charge

Caisse vide	32 650 kg
Caisse en ordre de marche	33 220 kg
Caisse en charge normale (84 passagers)	40 080 kg
Caisse en charge exceptionnelle	41 800 kg

Bogie

- Masse

Masse suspendue	3 320 kg
Masse non-suspendue	3 950 kg
Masse totale sans frein de stationnement	7 528 kg

- Rigidités des suspensions (par bogie en MN/m)

		Version rigide	Version souple
Primaire	verticale	3,94	2,22
	latérale	21,4	21,4
	longitudinale	78,8	78,8
Secondaire	verticale	0,84	
	latérale	0,40	

- Dimensions

Empattement	2 642 mm
Distance transverse entre les ressorts	
secondaire	2 083 mm
primaire	2 007 mm

3.3 Analyses statiques

Les analyses statiques des suspensions ont eu pour but de vérifier si les rigidités choisies étaient adéquates pour les conditions typiques d'opération pour une voiture grande ligne.

Les aspects suivants constituent l'essentiel de ces analyses.

3.3.1 Déflexion de la suspension verticale

Ce critère permet de vérifier si la suspension verticale du bogie limite adéquatement l'affaissement du plancher de la voiture en fonction du chargement prévu.

Pour une variation de charge utile prévue de 6 860 kg, l'affaissement de plancher est de 61 mm soit légèrement en deçà de 64 mm, le maximum visé.

3.3.2 Coefficient de souplesse

Le coefficient de souplesse définit la sensibilité de la voiture au roulis.

Ce coefficient est le ratio de l'angle de roulis (relatif à la voie) de la caisse sur l'angle du dévers de la voie.

Pour le bogie B-55H, le coefficient de souplesse est de 0,23 et 0,30 pour les suspensions primaires rigide et souple respectivement dans le cas d'une voiture à vide.

Ces valeurs se comparent avantageusement à celles des voitures nord-américaines. Ce coefficient, relativement faible, garantit un bon contrôle du roulis de la voiture ce qui a pour effet de minimiser les accélérations latérales ressenties par les passagers dans les courbes.

3.3.3 Déchargement des roues

Le déchargement des roues est essentiellement fonction de la rigidité de la suspension primaire verticale du bogie. Ce critère est normalement imposé afin de prévenir tout déraillement du bogie sur des voies comportant des sections sévèrement vrillées.

Les calculs montrent que, pour un vrillage équivalent à un soulèvement de 25 mm d'une roue, les taux de déchargement sont respectivement de 22% et 12% pour le bogie équipé des suspensions primaires rigide et souple.

Ces valeurs sont calculées en utilisant le poids d'une caisse grande ligne d'Amtrak.

3.3.4 Résistance à la rotation du bogie

Le critère de Koffman est utilisé pour vérifier si la valeur du couple nécessaire pour tourner le bogie sous la caisse est suffisamment faible pour éviter de dérailler dans les courbes.

Les lisseurs du bogie ont été conçus pour obtenir une valeur du critère de 0,04, soit 50% de la limite maximale permise. Il a été montré, qu'en utilisant une faible valeur, l'usure des bourrelets des roues est minimisée.

3.3.5 Gabarit

Le dernier aspect à être vérifié a été la compatibilité du bogie et de la caisse avec le gabarit de la voie.

Le gabarit qui a été utilisé pour cette vérification a été celui de la régie Amtrak. Il limite les dimensions maximales des voitures, les dégagements minimaux à respecter au-dessus des voies et les débattements extrêmes causés par les accélérations latérales.

La figure 3.1 montre le gabarit de la régie Amtrak.

3.4 Analyses dynamiques

Les analyses dynamiques ont pour but de vérifier si les éléments de suspension pourront bien remplir leurs fonctions en régime dynamique.

Ces fonctions peuvent s'énumérer comme suit:

- assurer un guidage stable, tant en ligne droite qu'en courbe;
- réduire les efforts roue-rail (l'usure) en courbe;
- filtrer les défauts de voie afin de protéger les équipements et assurer un bon confort vibratoire aux passagers.

Les résultats des analyses dynamiques concernant ces différentes fonctions sont présentés tout au long des paragraphes suivants.

3.4.1 Fréquences naturelles

Avant d'analyser les principales fonctions des éléments de suspension, il est important d'identifier les fréquences naturelles présentes dans l'ensemble bogies et caisse.

Le tableau 3.1 donne les fréquences naturelles pour les suspensions primaires souple et rigide.

Tableau 3.1
Fréquences naturelles (Hz)

Mode	Suspension primaire rigide		Suspension primaire souple	
	Bogie	Caisse	Bogie	Caisse
Pompage	6,3	1,0	4,8	0,9
Tangage	11,6	1,2	8,2	1,2
Lacet	-	1,0	-	1,0
Roulis (centre bas)	-	-	-	-
Flexion de caisse	-	8,5	-	8,5

Note: Ces fréquences ont été évaluées pour la caisse en condition ordre de marche

En principe, les rigidités de la suspension primaire doivent être ajustées de façon à éviter de coupler le tangage du bogie avec le mode de flexion de la caisse. Dans le cas de la version souple, la fréquence de tangage a été alignée sur le mode de flexion de la caisse. Les amortisseurs de la suspension primaire ont été conçus pour neutraliser le tangage du bogie et, par conséquent, réduire l'excitation du mode de flexion de la caisse.

3.4.2 Stabilité latérale

À cause des effets de l'interaction roue-rail, il existe, pour tout véhicule ferroviaire, une vitesse à laquelle certains modes de vibrations sont caractérisés par des mouvements de grande amplitude. Ces mouvements, en plus d'être une source d'inconfort, peuvent engendrer des bris de composants du véhicule et même présenter une condition d'opération marginale du point de vue de la sécurité. Ainsi, la vitesse critique d'un véhicule est un critère important et doit être sérieusement considérée lors de la conception d'un bogie.

Les travaux qui ont été effectués pour évaluer la vitesse critique du bogie sont présentés dans ce qui suit.

- **Fréquence cinématique**

Il est important au début de l'analyse d'évaluer la fréquence cinématique du bogie. Cette évaluation permet d'établir une base de vérification des calculs sur ordinateur et des résultats d'essais sur voie.

À cause de la conicité de la bande de roulement des roues, les bogies circulent sur les voies en décrivant un mouvement sinusoïdal de longueur d'onde fixe.

La valeur de cette longueur d'onde dépend des rigidités transversales et longitudinales de la suspension primaire. L'examen des conditions limites permet d'obtenir des expressions mathématiques qui servent à évaluer les fréquences cinématiques d'un essieu libre et d'un bogie, dit bogie rigide.

La figure 3.2 illustre l'évaluation des fréquences cinématiques du bogie B-55H (bogie rigide).

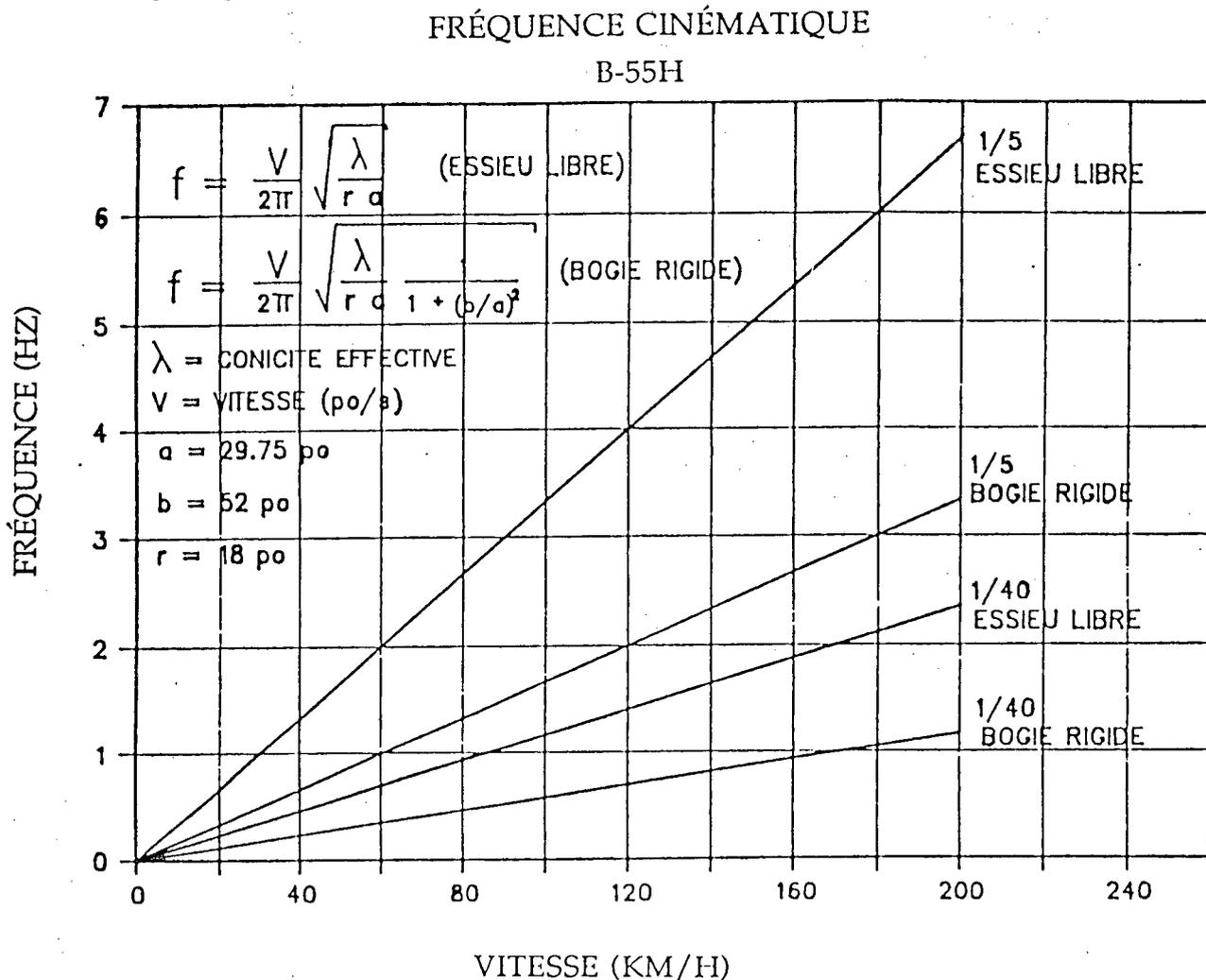


FIGURE 3.2

L'intérêt de ce graphique tient du fait que, lors des premiers essais sur voie, il a été facile d'évaluer l'effet de la suspension primaire.

- **Vitesse critique**

Les travaux d'évaluation de la vitesse critique ont été effectués à l'aide du programme S.L.V.C.

Ce modèle simulant la voiture et ses bogies comprend 17 degrés de liberté. Ce modèle simule tous les modes susceptibles d'être excités par le mouvement cinématique des bogies.

Les figures 3.3 et 3.4 présentent les résultats de l'analyse détaillée. La fréquence et le coefficient d'amortissement pour chacun des modes sont présentés pour des vitesses allant de 0 @ 400 km/h.

Il est à remarquer que la fréquence et l'amortissement des modes d'oscillations de la caisse sont constants et non reliés à la vitesse d'opération. Les modes d'oscillations des bogies ont des fréquences qui changent en fonction de la fréquence cinématique et des coefficients d'amortissement qui varient avec la vitesse. La vitesse critique est atteinte lorsque le coefficient d'amortissement d'un mode d'essieu ou de bogie est près d'être nul.

Les analyses montrent que, pour des roues neuves (conicité de 1/40) la vitesse critique est de l'ordre de 330 km/h et que pour des roues usées (conicité de 1/5), elle se situe aux environs de 280 km/h.

B-55H + HORIZON / AW1 / 1/40 / PRIMAIRE SOUPLE

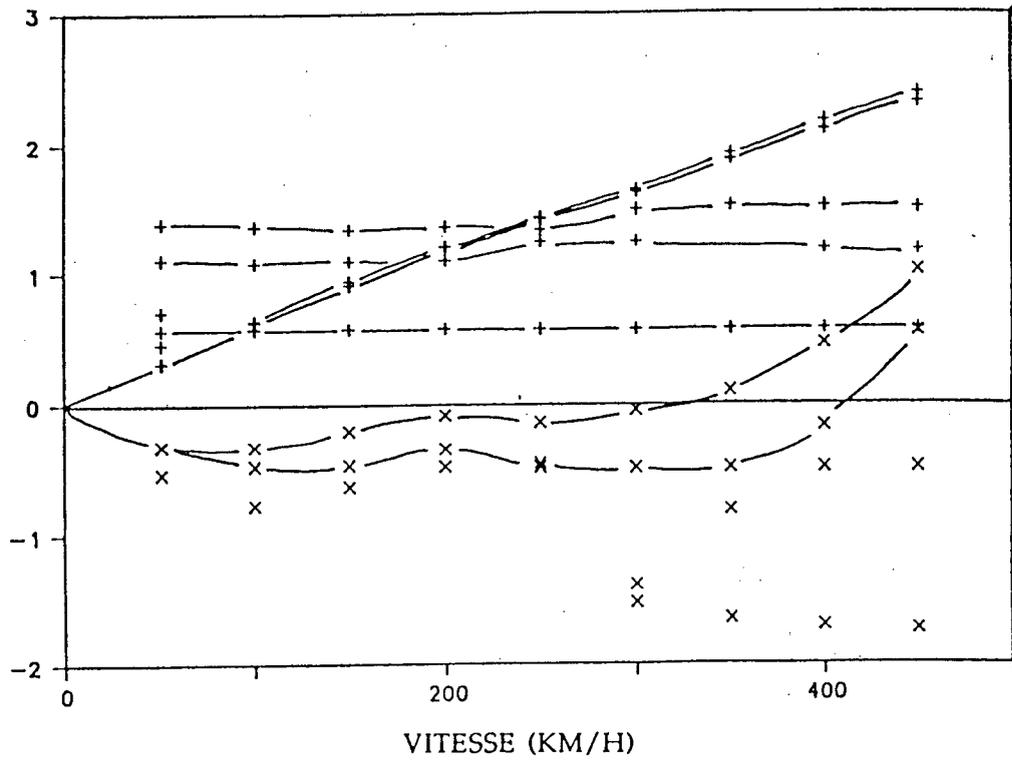


FIGURE 3.3

B-55H + HORIZON / AW1 / 1/5 / PRIMAIRE SOUPLE

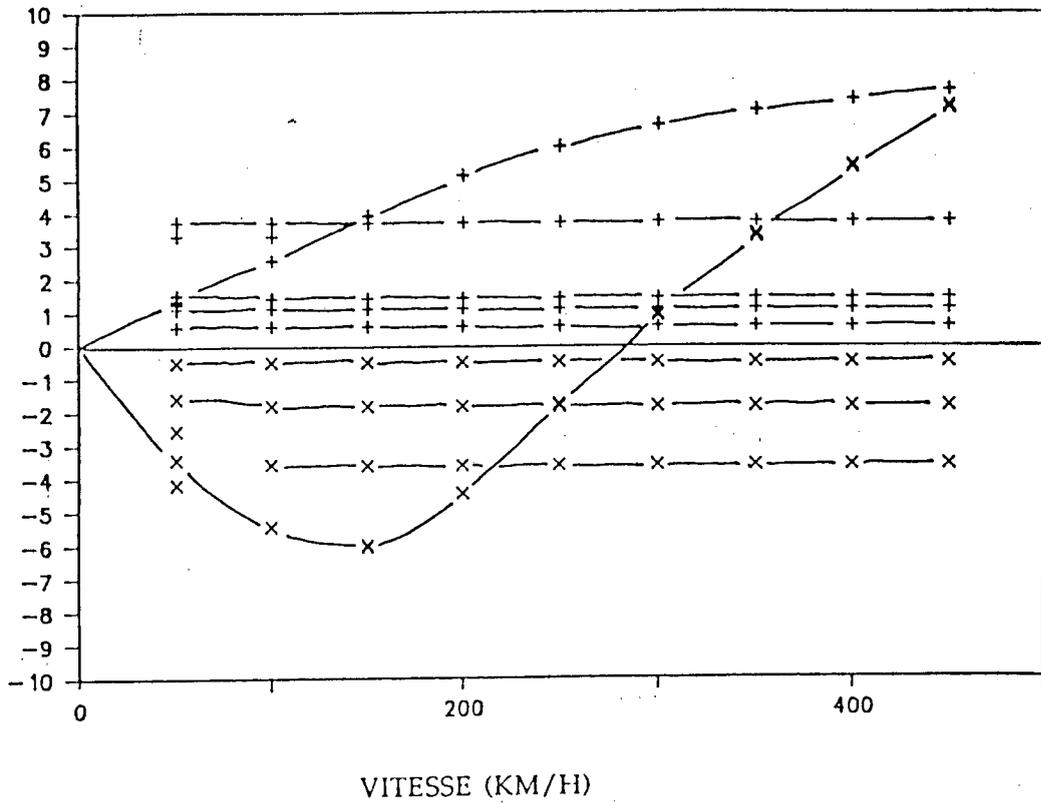


FIGURE 3.4

3.4.3 Performance en courbe

L'évaluation des forces générées en courbe a été faite à l'aide du programme d'analyse de performance du bogie en courbe.

Ce programme solutionne un ensemble d'équations représentant les forces agissant à l'interface roue-rail, en fonction des caractéristiques géométriques des zones de contact existantes entre les roues et les rails.

Le principal résultat obtenu du programme a été le rapport L/V évalué à la roue extérieure du premier essieu lorsque le bogie est dans une courbe. Ce rapport L/V doit en tout temps être inférieur au critère de Nadal qui, dans ce cas, a pour valeur 0,66 avec un coefficient de friction maximal de 0,5. Ce critère représente une limite conservatrice.

Le tableau suivant présente un sommaire des analyses.

Tableau 3.2

Performance en courbe

Degré de courbe	Rayon de courbe (m)	Insuffisance du dévers (mm)	Rapport L/V (roue extérieure avant)
1°	1 746	0	0,06
		159	0
2°	873	0	0,13
		159	0,07
3°	582	0	0,20
		159	0,15
4°	435	0	0,23
		159	0,20
5°	350	0	0,26
		159	0,24

Ces résultats indiquent que le bogie sera sécuritaire pour toutes les courbes rencontrées en opération.

3.4.4 Confort

L'évaluation du confort d'une voiture consiste essentiellement à estimer le taux de transmissibilité des étages de suspensions du bogie.

L'évaluation du confort de la voiture a été effectuée à l'aide d'un programme analysant la réponse en fréquence de la voiture en fonction d'une excitation aux roues.

Ce modèle, qui comprend 10 degrés de liberté, analyse plus particulièrement la relation existant entre la hauteur de la liaison caisse-bogie et la transmissibilité des vibrations verticales au centre de la caisse.

Les résultats des calculs sont présentés à la figure 3.5.

Ces résultats illustrent la réponse en fréquence (sur bande de tiers d'octave) au centre de la voiture Horizon à une vitesse de 200 km/h sur une voie de classe 6 (rail soudé).

Les cotes de confort obtenues selon la norme ISO 2631/1 (limite de confort réduit) est d'environ huit heures pour les suspensions primaires rigide et souple.

Cette simulation montre qu'il n'y a pas d'effet de couplage de fréquences entre les suspensions du bogie et la caisse.

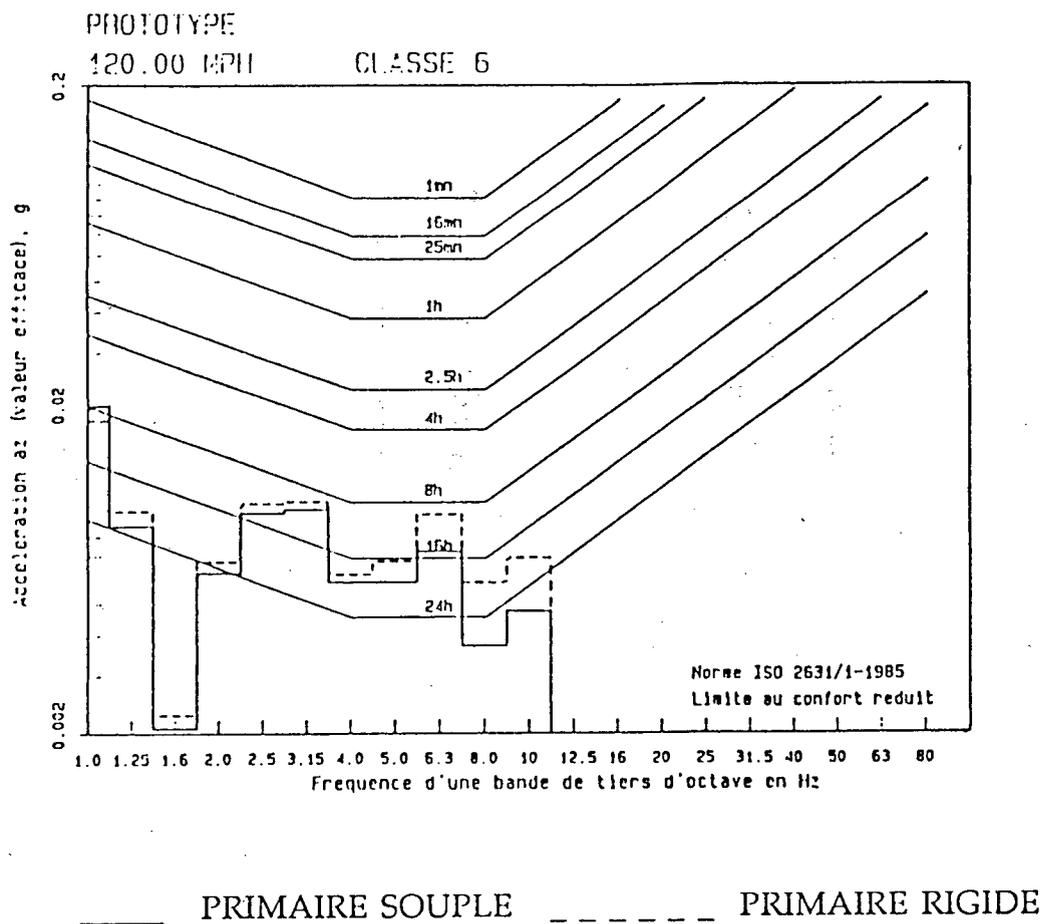


FIGURE 3.5

4. ANALYSE STRUCTURALE

4.1 Introduction

4.1.1 But

L'analyse structurale avait pour principal but de vérifier et ce, pour une période d'opération de 30 ans, la résistance aux fissures des composants structuraux du bogie. Les résultats de l'étude ont permis de localiser les régions les plus sollicitées qui, par la suite, ont servi de points de repère pour l'installation des jauges de contrainte.

4.1.2 Types d'analyses

Les types d'analyses qui ont été effectués dans le cadre de ce projet sont les analyses statiques et les analyses de fatigue.

Les analyses statiques ont été faites par la méthode des éléments finis et ont essentiellement servi à localiser les régions critiques. Les résultats des analyses statiques ont été utilisés pour effectuer les analyses de fatigue.

4.2 Charges à supporter et contraintes permises

Le bogie prototype a été conçu pour supporter une charge maximale verticale de 245 kN. Le matériau choisi, pour la traverse et le châssis, est un acier à haute résilience et facile à souder. Sa limite d'élasticité est de 290 MPa.

Pour les analyses statiques, le facteur de sécurité a été fixé à 1,5, ce qui a impliqué que les niveaux de contrainte maximaux, dus aux surcharges, n'excédaient pas:

$$\frac{290}{1.5} = 193 \text{ MPa}$$

Concernant la liaison longitudinale caisse-bogie, des calculs ont été faits pour simuler un cas de collision. Les calculs ont été effectués avec la limite ultime du matériau utilisé pour la liaison; celle-ci est de 434 MPa.

Pour les analyses de fatigue simulant, elles, l'effet des charges dynamiques, les contraintes maximales admissibles ont toujours été inférieures à la valeur maximale permise dépendant du type des joints soudés et de la direction des contraintes.

4.3 Analyse statique

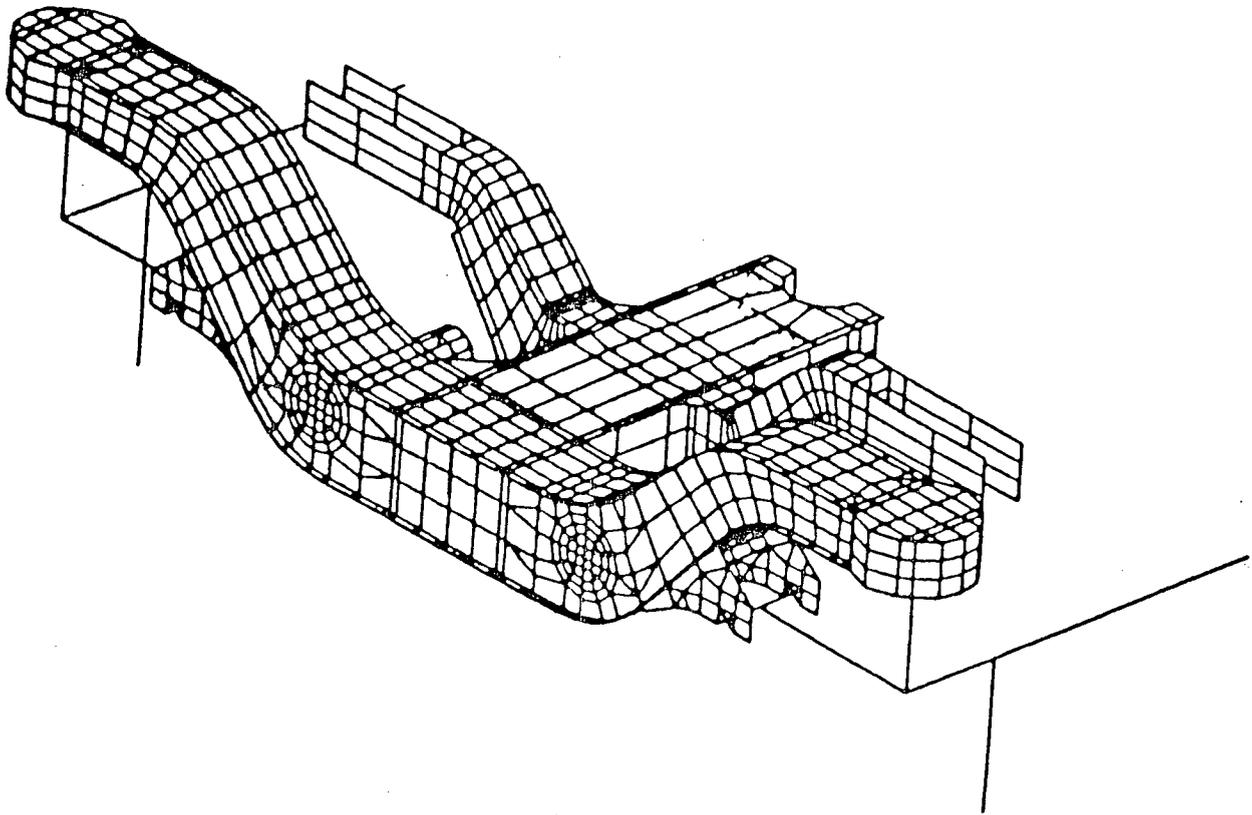
4.3.1 Buts

En plus de valider les éléments structuraux du bogie, l'analyse statique a servi à:

- Fournir les informations nécessaires aux analyses de fatigue;
- Optimiser le poids du bogie;
- Identifier les endroits les plus sollicités.

4.3.2 Analyses

Le programme ANSYS a été utilisé pour effectuer le calcul par éléments finis. La symétrie du châssis a permis l'analyse d'un demi-châssis, ce qui a considérablement réduit le temps de calcul sur l'ordinateur. La figure 4.1 montre une vue isométrique du châssis maillé, utilisé pour les analyses.



MODÈLE UTILISÉ POUR LES ANALYSES STATIQUES
(DEMI-CHÂSSIS)

FIGURE 4.1

4.3.3 Cas de chargement

Les cas de chargement suivants ont été simulés:

- Vertical,
- Effort de freinage,
- Latéral,
- Vrillage de la voie,
- Longitudinal.

Ces divers cas ont été étudiés seuls ou combinés pour simuler de la façon la plus exacte possible, les conditions normales d'opération.

4.4 Analyses de fatigue

4.4.1 Buts

Essentiellement, le but des analyses de fatigue a été de vérifier si les niveaux de contrainte alternée (surtout aux joints soudés) permettront une opération de 30 ans sans apparition de fissure.

De plus, ces analyses ont été effectuées afin d'identifier les régions susceptibles de fissurer c'est-à-dire, les régions où les variations de niveaux de contrainte sont très importantes.

4.4.2 Chargement dynamique

Les simulations de chargement dynamique s'avèrent nécessaires à l'identification des variations de niveaux de contrainte qui sont les plus élevés. Les résultats ont servi aux calculs de fatigue. Les hypothèses de variations de charge utilisées pour les analyses de fatigue sont:

Charge verticale	:	variation de $\pm 30\%$
Charge latérale	:	variation de $\pm 30\%$
Charge longitudinale	:	variation de $\pm 40\%$

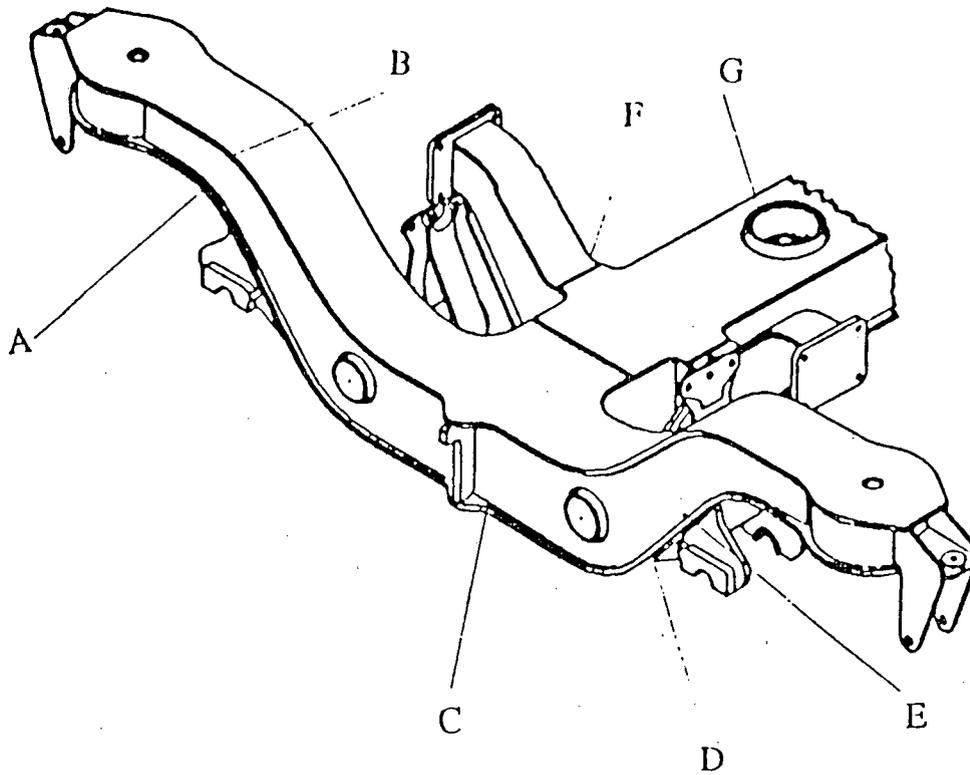
4.4.3 Sommaire des résultats

Les figures 4.2 et 4.3 montrent les endroits où les marges de sécurité sont les plus faibles. Les marges de sécurité en fatigue sont directement reliées à la durée de vie du châssis.

4.5 Discussion

L'examen de l'ensemble des résultats des analyses de contrainte révèle que les marges de sécurité sont, dans la majorité des cas, au-dessus des valeurs cibles du début de la conception. En ce qui concerne les marges inférieures à ces valeurs, il a fallu, lors des essais structuraux, les surveiller tout particulièrement.

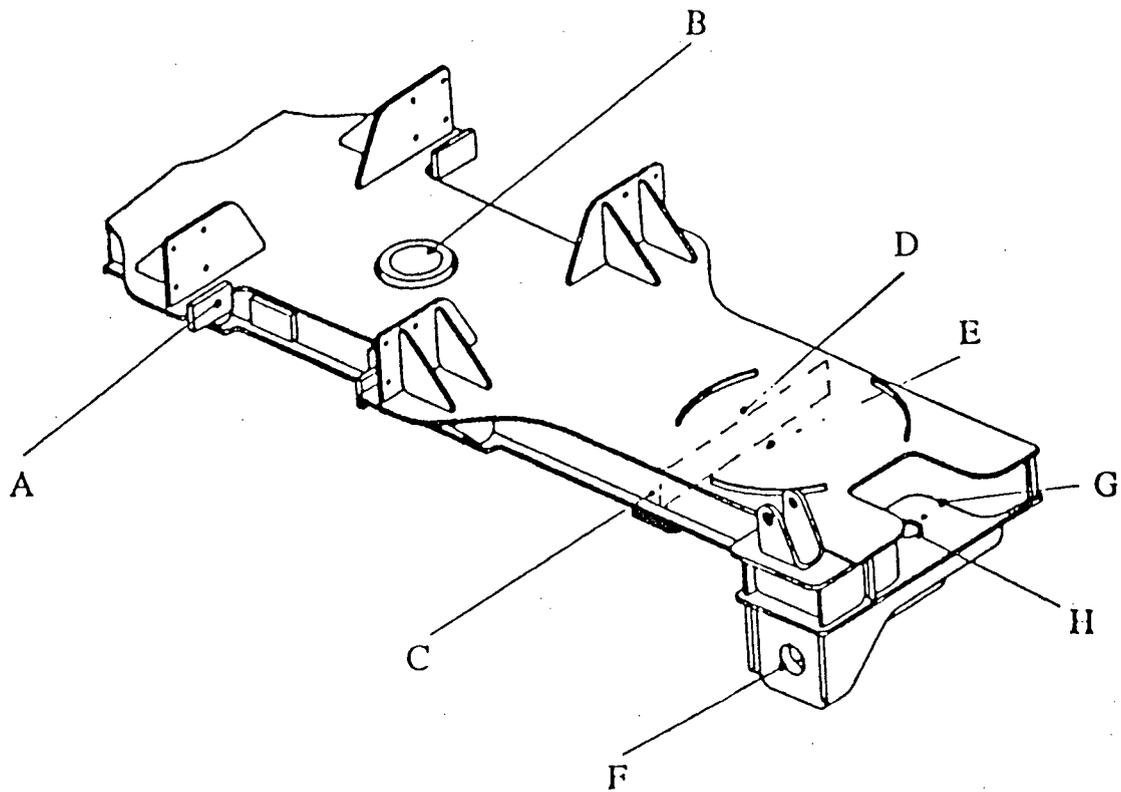
Même si certaines marges sont inférieures aux valeurs cibles, il reste qu'elles sont supérieures à zéro; ce qui signifie que la conception du châssis est adéquate. Toutefois, il n'est pas possible d'alléger le châssis compte tenu des faibles marges obtenues lors des analyses.



SOMMAIRE DE L'ANALYSE: BOGIE

RÉGION	MARGES DE SÉCURITÉ (STATIQUE)	MARGES DE SÉCURITÉ (FATIGUE)
A	1,26	0,51
B	2,6	0,44
C	2	1,08
D	1,24	0,12
E	3,75	1,23
F	> 5,00	0,19
G	1,39 (ult.)	> 5,00

FIGURE 4.2



SOMMAIRE DE L'ANALYSE: TRAVERSE

RÉGION	MARGES DE SÉCURITÉ (STATIQUE)	MARGES DE SÉCURITÉ (FATIGUE)
A	0,4	
B	3	1,3
C	2,9	0,2
D	1,2	0,05
E	3,3	1,3
F	0,28 (ult.)	
G	> 5,00	0,04
H	3,3	

FIGURE 4.3

5. FABRICATION ET ASSEMBLAGE

5.1 Introduction

Avant d'amorcer les étapes de fabrication et d'assemblage des composants du bogie, les activités suivantes ont été effectuées:

- Approvisionnement en matériel brut,
- Achat et réception des composants du bogie,
- Plan du contrôle de qualité,
- Liste de l'outillage de fabrication des pièces primaires,
- Liste de l'outillage nécessaire à l'assemblage des sous-ensembles,
- Liste de l'outillage d'assemblage,
- Gammes de fabrication,
- Procédures de soudage.

Les diverses pièces d'outillage ont été conçues à partir de l'information contenue dans les dessins décrivant les différentes pièces du bogie.

5.2 Fabrication

La fabrication d'un châssis consiste à découper dans des plaques d'acier les pièces unitaires qui servent à assembler le châssis et la traverse du bogie. Ces pièces sont, par la suite, selon le cas, fraisées, pliées et percées. Une fois les pièces unitaires fabriquées, elles sont placées dans un mannequin afin d'être soudées ensemble pour former un sous-ensemble de châssis. Les sous-ensembles ainsi obtenus sont alors placés dans un mannequin d'un autre type pour être liés par soudure.

Une fois le châssis et la traverse complètement assemblés, ils sont soumis à un recuit de détentionnement de manière à réduire significativement (90 - 95%) les niveaux de contrainte résiduelle. Finalement, le châssis et la traverse subissent un grenailage qui sert aussi de sablage, puis ils sont usinés et peints.

5.3 Montage des composants

Les activités de montage des composants du bogie débutent dès que le châssis et la traverse sont assemblés. Les principaux composants qui sont montés sur le bogie sont:

- **Ensemble essieu**
 - roues
 - essieux
 - disques de frein
 - roulements
 - couvercles en bout d'essieu

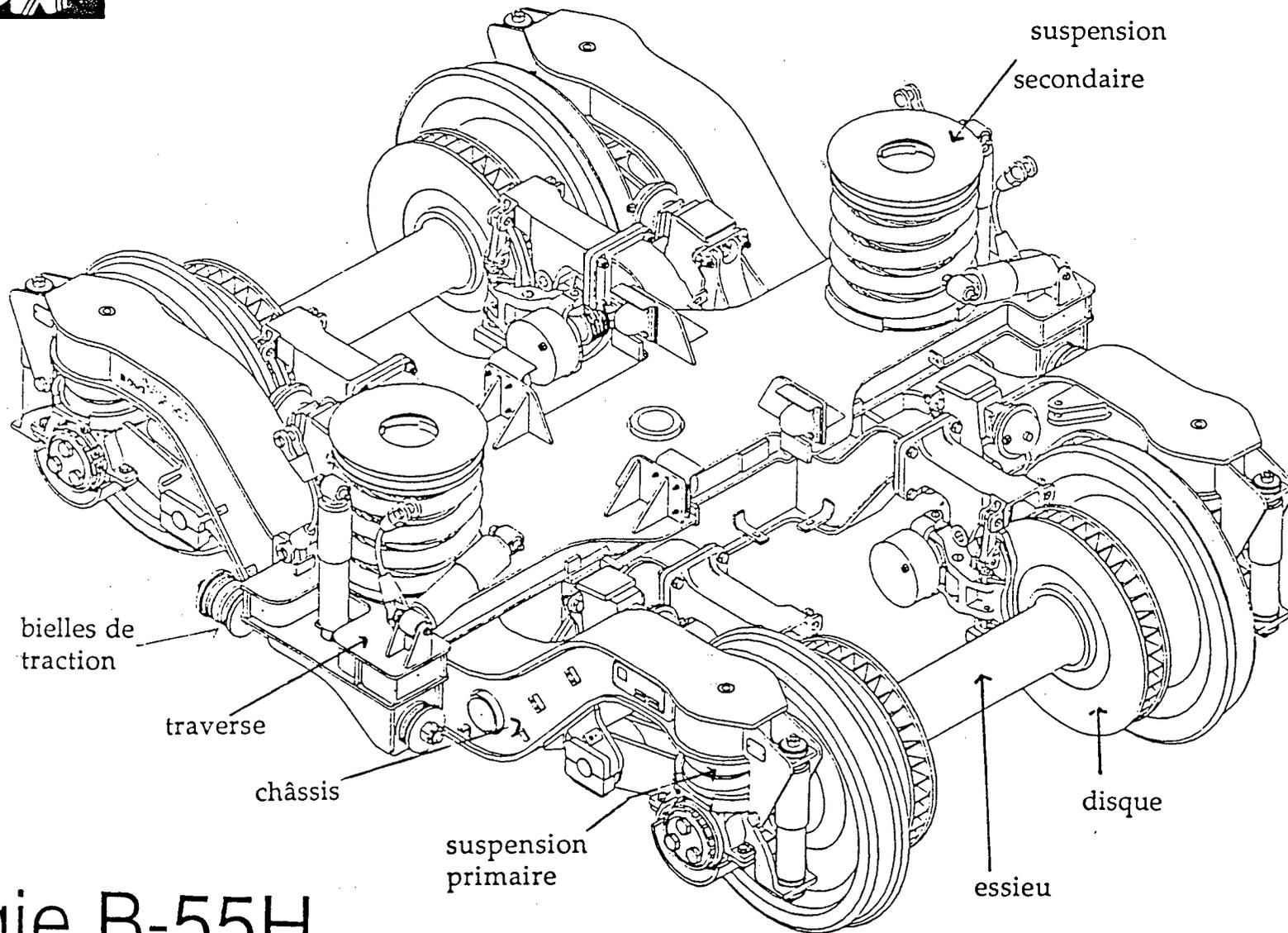
- **Ensemble suspension primaire**
 - bras de suspension
 - couvercle de retenue
 - détecteur de vitesse
 - détecteur du patinage des roues
 - articulation caoutchoutée
 - axe du bras de suspension
 - ressorts hélicoïdaux
 - amortisseurs hydrauliques
 - plaques d'interface des ressorts
 - courroie de mise à la masse

- **Ensemble suspension secondaire**
 - ressorts hélicoïdaux
 - coussins d'interface
 - plaques d'interface et butées basses
 - amortisseurs hydrauliques verticaux
 - amortisseurs hydrauliques latéraux
 - butées latérales
 - butées hautes de la traverse du bogie
 - lissoirs
 - bielles de traction
 - câbles de sécurité
 - courroies de mise à la masse

- **Ensemble freinage**
 - actuateurs de freins à sabot
 - sabots
 - actuateurs de freins à disque
 - semelle de frein à disque
 - sous-ensemble frein de stationnement

- **Ensemble câblage et tuyauterie**
 - tuyauterie pour freinage pneumatique
 - câblage pour détecteur de vitesse
 - câblage pour détecteur de patinage des roues

La figure 5.1 de la page suivante identifie les différents ensembles.



Bogie B-55H

5.4 Installation des bogies sous une caisse

Les activités reliées à l'installation des bogies sous une caisse comprennent la mise d'une caisse sur un bogie, l'ajustement de la hauteur du plancher et du niveau de la caisse et les essais de dégagement caisse-bogie.

6. ESSAIS STRUCTURAUX

6.1 Introduction

Les essais structuraux du châssis de bogie ont été réalisés au Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ), à la demande de Bombardier, Division du transport en commun. Ces tests de qualification sur la structure du bogie se sont échelonnés de novembre 1988 à août 1989.

L'objectif de cette série de tests a été de démontrer qu'en tout point, le bogie concordait aux critères de conception.

6.2 Description des essais

Les essais se sont déroulés comme suit:

- Conception et fabrication du banc d'essai;
- Installation de cinq jauges de contrainte et de quatre capteurs de déplacement pour les essais de déchargement de roue;
- Réalisation des essais de déchargement de roue;
- Application du vernis craquelant;
- Chargement statique, avec vernis craquelant, en neuf étapes pour mieux localiser les régions critiques;
- Installation de jauges de contrainte aux endroits critiques;

- Essais de chargement statique en 40 étapes;
- Essai de fatigue:
 - 2 millions de cycles sous des charges latérale, verticale et longitudinale combinées;
 - 1 million de cycles sous des charges latérale et verticale combinées;
 - 1 million de cycles sous des charges verticale et latérale croissantes.
- Inspection du châssis selon la technique des particules magnétiques;
- Essai de charge verticale de 2 g; force de 580 kN appliquée verticalement.

Le bogie prototype se composait d'un châssis, d'une traverse, de bras de suspension pour la suspension primaire, de deux essieux, de lisseurs et du coussinet du pivot central.

Le banc d'essai, illustré aux figures 6.1 et 6.2 a été conçu et monté au CRIQ de Montréal. La structure de chargement est essentiellement composée d'arches boulonnées à un plancher rigide et de cylindres de chargement. Les cylindres de chargement servent à simuler les charges verticale, latérale et longitudinale.

6.3 Types de chargement

6.3.1 Charges statiques

Pour les essais statiques, la charge verticale présente appliquée a été de 320 kN. Ceci représente 30% de plus que la charge maximale pour laquelle le bogie a été conçu.

Les charges latérale, longitudinale et de freinage ont aussi été appliquées suivant diverses combinaisons.

Suite aux essais de fatigue, une surcharge statique de 580 kN a été appliquée dans le but de vérifier le comportement du châssis aux endroits les plus sollicités.

6.3.2 Charges dynamiques

Les charges dynamiques appliquées sur le châssis du bogie se doivent de représenter les conditions qui seront rencontrées durant la vie du bogie.

Ces charges dites charges variables sont donc appliquées de manière à reproduire le mieux possible les phénomènes de chargement quasi aléatoire rencontrés en service. L'application des charges est décrite au paragraphe 6.5.4.

6.4 Instrumentation

Les essais ont été réalisés à l'aide de l'instrumentation suivante:

- Mesure de déformations:
 - jauges de contrainte.
- Mesure de déplacements:
 - capteurs de déplacement mesurant les déplacements des cylindres de chargement et du bogie.
- Mesure de charge:
 - cellules de charge: utilisées pour mesurer les poussées exercées par les cylindres de chargement.
- Acquisition des données (système du CRIQ):
 - l'acquisition des données s'est faite à l'aide de deux systèmes Megadac 2200c (Optim Electronics);
 - le logiciel utilisé, sur deux ordinateurs du modèle Compaq 286, a été Optim 2000 V.6.0 (Optim Electronics)

6.5 Essais

6.5.1 Essai de déchargement de roue

Les essais de déchargement de roue ont pour but de vérifier le comportement du bogie sur des sections de voie vrillée. Cet aspect très important est directement relié à la tendance au déraillement du bogie dans les entrées et sorties de courbe où les voies sont vrillées (spirales d'entrée et de sortie).

Les résultats de cet essai n'ont pas été concluants et nous avons dû arrêter l'essai, faute de temps. Cet essai a cependant été repris lors de la mise des bogies sous caisse et les résultats trouvés étaient comparables aux valeurs calculées durant l'étape conception.

6.5.2 Vernis craquelant

Suite à l'application et au séchage du vernis craquelant, une charge statique a été appliquée en tension puis en compression tel que décrit dans la procédure d'essai.

Ceci a permis d'évaluer le seuil de sensibilité (apparition des fissures à environ 430 microstrains soit 88 MPa). Les craquelures qui sont apparues ont permis de localiser les zones de contrainte élevées de même que leurs orientations. Cette information a été utilisée pour installer les jauges extensométriques.

6.5.3 Essai de chargement statique

Pour l'essai de chargement statique, tous les cylindres de chargement ont été installés sur la structure et le bogie. Un total de 10 rosettes et de 50 jauges de contrainte uni-axiales ont été placées aux endroits déterminés précédemment.

Les jauges de contrainte ont été reliées à l'ordinateur via le système d'acquisition des données. L'ordinateur a servi à transformer les mesures d'allongement en contraintes mécaniques.

L'essai comportait 40 étapes. Ces étapes ont permis d'appliquer différentes combinaisons de charge et d'y rattacher les niveaux de contrainte.

6.5.4 Essai de fatigue

L'essai de fatigue comportait deux parties: la première a servi à évaluer si le design de la structure du bogie pouvait résister adéquatement à trois millions de cycles; la deuxième a eu pour but de trouver le point le plus faible du châssis et de prédire par calculs de dommage cumulatif, la vie du châssis de bogie.

Les inspections effectuées après la première série d'essais (3 millions de cycles) n'ont pas révélé l'apparition de fissures et ont prouvé que le châssis était conforme aux critères de conception.

La deuxième partie des essais, où les charges dynamiques ont été augmentées de 20% à chaque 200 000 cycles, a été arrêtée à un million de cycles sans avoir pu trouver de fissures sur le châssis et la traverse (voir figure 6.3).

Pour les charges verticales, ces essais prouvent donc que la structure des bogies B-55H est bien conçue et qu'elle pourra résister correctement durant une période de 30 ans. Les principales marges de sécurité statiques et en fatigue résultant des essais sont indiquées sur la figure 6.4.

6.5.5 Essai en surcharge

La dernière étape des essais a consisté à appliquer une charge statique équivalente à 200% de la charge pour laquelle le bogie a été conçu. La contrainte maximale mesurée a été de 231 MPa soit environ 65% de la limite élastique du matériau.

Les résultats de cet essai prouvent que le châssis du bogie peut prendre des charges plus élevées que la valeur pour laquelle il a été conçu.

ESSAIS STRUCTURAUX

CHARGEMENT DYNAMIQUE

Nombre de cycles (millions)			Charge verticale		
0	@	3.0	245 kN	±	30%
3.0	@	3.2	289 kN	±	30%
3.2	@	3.4	289 kN	±	33%
3.4	@	3.6	289 kN	±	36%
3.6	@	3.8	289 kN	±	40%
3.8	@	4.0	289 kN	±	44%

TABLEAU 6.1

MARGES DE SÉCURITÉ (STATIQUE - FATIGUE)

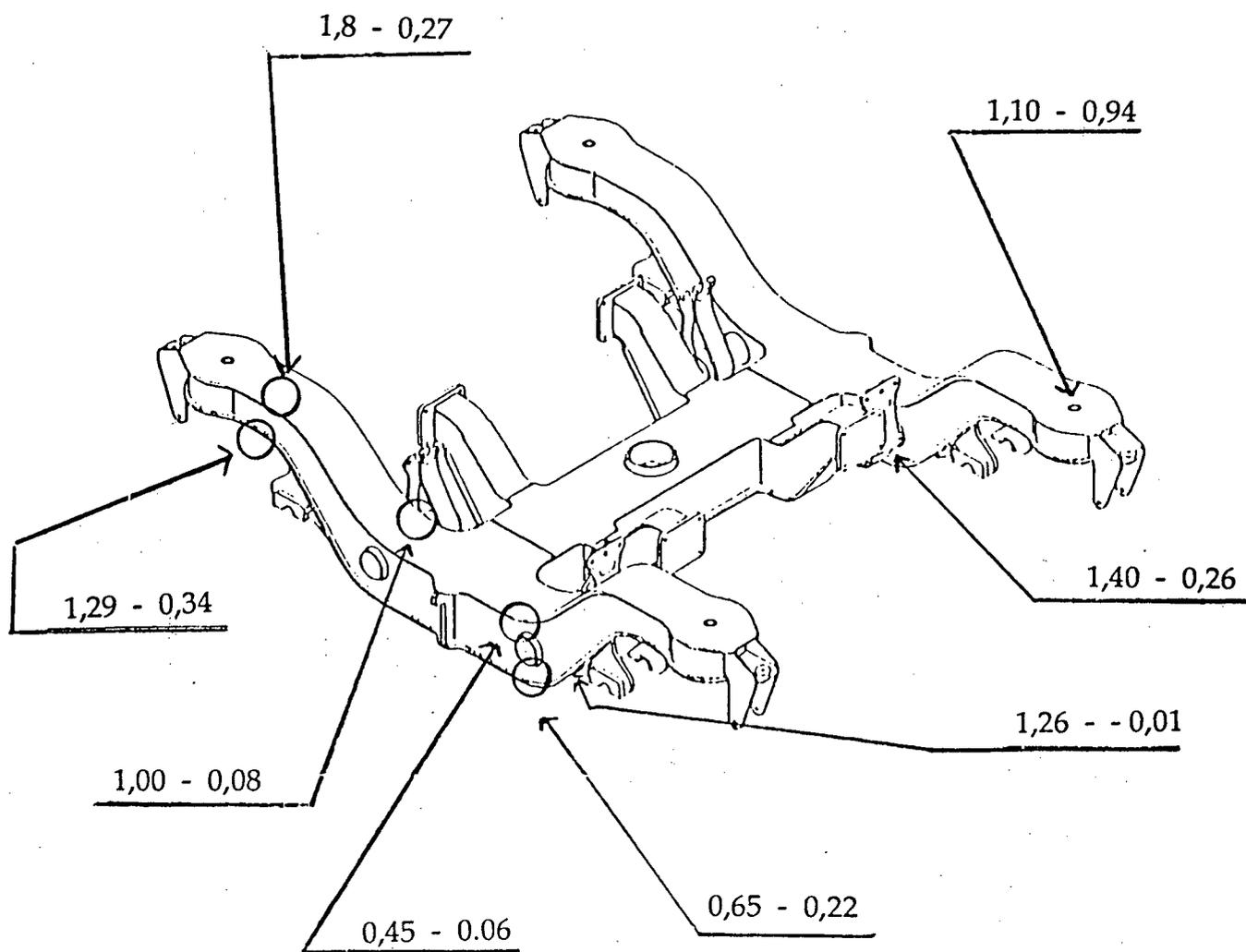


FIGURE 6.3

7. ESSAIS SUR VOIE

7.1 Introduction

Les essais sur voie des bogies prototypes B-55H ont eu lieu en janvier et février 1990 entre Wilmington, DA. et Washington, D.C. sur les voies du corridor nord-est du réseau d'Amtrak. Ces essais ont été effectués dans le cadre d'une entente avec la régie Amtrak.

Cette section contient des informations générales relatives au déroulement des essais ainsi que les résultats de ces essais.

Ces essais ont été effectués dans le but de:

- Vérifier la stabilité du bogie;
- Choisir les éléments de suspension procurant le meilleur confort;
- Vérifier la bonne tenue des composants du bogie.

7.2 Description des essais

7.2.1 Description générale

Les essais ont été réalisés sur une rame constituée d'une locomotive AEM-7, de trois voitures Amfleet I équipées de bogies P-III et de la voiture d'essai Horizon, équipée de bogies B-55H (voiture de queue).

Deux conditions de chargement de la voiture d'essai ont été testées soit:

Voiture en ordre de marche = 49 170 kg

Voiture en charge normale = 56 000 kg

Différentes configurations de suspensions ont été évaluées. Le tableau suivant décrit les configurations testées.

ESSAI NO.	DATE	CHARGE- MENT	RIGIDITÉ Suspension primaire			TARAGE Amortisseurs primaires		TARAGE Amortisseurs secondaires	
			SOUPLE	RIGIDE	ELIGO	ÉLEVÉ	FAIBLE	ÉLEVÉ	FAIBLE
1	17-01-90	AW1	✓			✓		✓	
2	18-01-90	AW1	✓			✓		✓	
3	19-01-90	AW1	✓			✓		✓	
4	20-01-90	AW1			✓			✓	
5	22-01-90	AW1			✓	✓		✓	
6	23-01-90	AW1		✓		✓		✓	
7	24-01-90	AW3		✓		✓		✓	
8	29-01-90	AW3	✓			✓		✓	
9	30-01-90	AW3	✓			✓		✓	
10	31-01-90	AW3	✓				✓		✓
11	01-02-90	AW1	✓			✓		✓	

TABLEAU 7.1 - DESCRIPTION DES SUSPENSIONS TESTÉES

L'essai numéro 1 a été effectué lors du transfert de la voiture de Wilmington à Washington. La vitesse maximale atteinte a été de 120 km/h.

L'essai numéro 2 a servi à évaluer la stabilité dynamique des bogies. La vitesse maximale atteinte a été de 180 km/h.

Les essais 3 à 10 ont permis de comparer les différentes configurations de suspensions pour des vitesses allant jusqu'à 180 km/h.

L'essai numéro 11 a été consacré à l'évaluation comparative du confort des voitures Horizon et Amfleet I équipées respectivement des bogies B-55H et P-III.

7.2.2 Horaire

Les essais ont toujours eu lieu de nuit entre 20 heures et 4 heures. La rame quittait la gare centrale de Washington vers 20 heures pour arriver au centre d'entretien de Wilmington vers 00:00 heure. La rame était alors tournée dans un Y de façon à ce qu'elle fasse le trajet de retour dans la même orientation (locomotive devant, voiture d'essai derrière).

7.2.3 Traitement et présentation des résultats

Les signaux des différents accéléromètres installés sur les bogies et dans la caisse ont été enregistrés sur bandes magnétiques. Par la suite, chaque signal a été transposé dans le domaine fréquentiel à l'aide d'un analyseur de Fourier (FFT: Fast Fourier Transform). Les réponses en fréquence obtenues ont été présentées sur des spectres de fréquence à bandes fines, ou à bandes d'un tiers d'octave, selon qu'il s'agissait d'un signal associé à un critère de confort ou pas. La figure 7.1 représente les divers instruments.

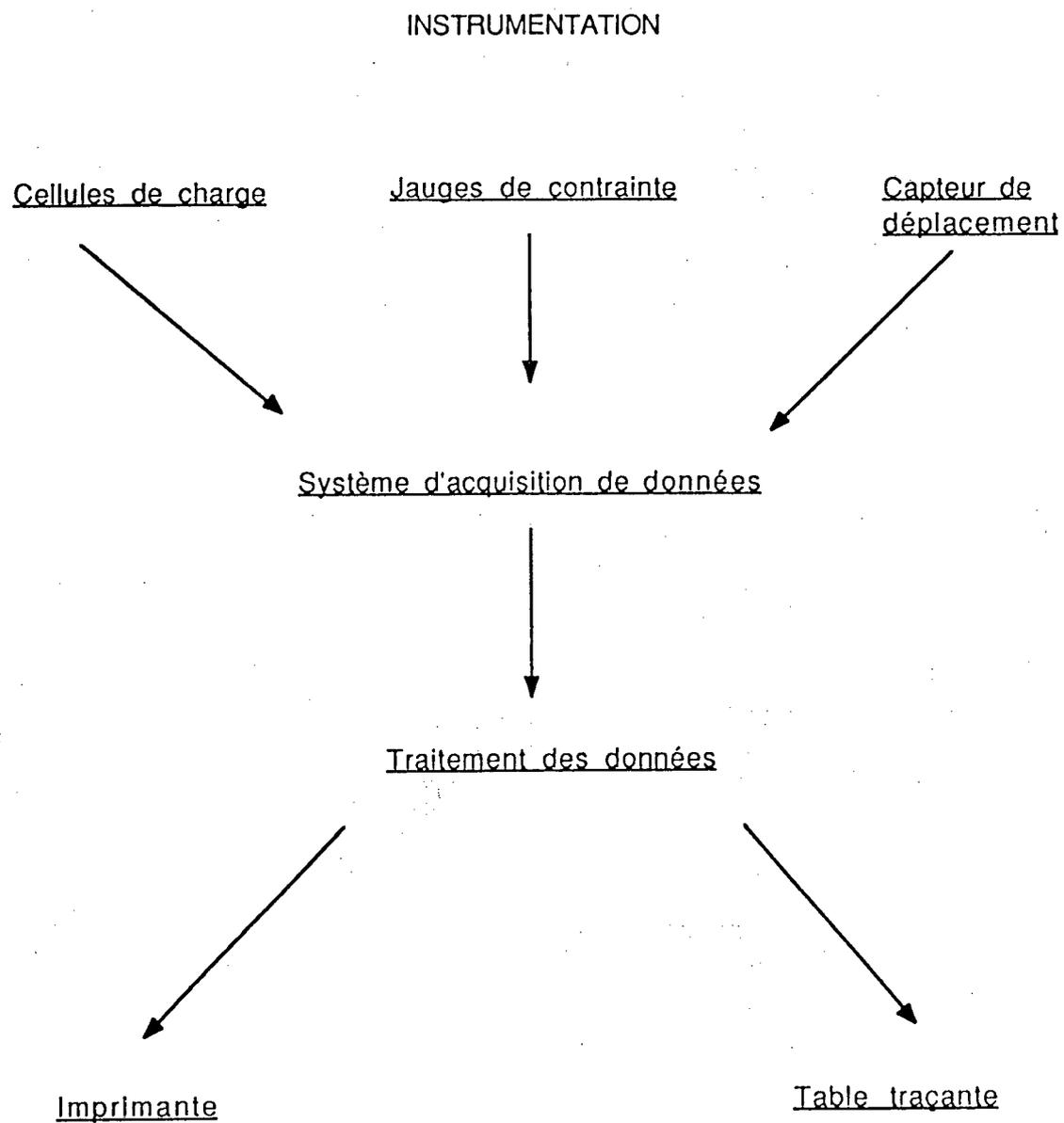


FIGURE 7.1

7.3 Stabilité

L'objectif des essais de stabilité a été de vérifier la tenue des bogies à haute vitesse. Il a fallu préalablement s'assurer qu'il n'y avait aucun signe d'instabilité dynamique (hunting). Une fois cela établi, il a été possible de mesurer les fréquences cinématiques des bogies.

Pour ce faire, deux caméras vidéo ont été fixées sous la caisse et orientées chacune vers une roue pour chacun des bogies. Les images en temps réel des caméras ont été contrôlées tout au long des essais et aucun signe d'instabilité n'a pu être observé. Les prédictions obtenues du modèle mathématique simulant la stabilité indiquaient une fréquence cinématique d'environ 1,1 Hz à 180 km/h alors que les valeurs mesurées étaient de 1,13 Hz sur le bogie avant (bout A) et de 1,3 Hz sur le bout arrière (bout B).

7.4 Confort vibratoire

7.4.1 Introduction

Les essais de confort vibratoire ont permis d'évaluer la capacité des suspensions du bogie à filtrer les perturbations provenant de la voie et des organes de roulement du bogie.

La méthode utilisée pour évaluer le niveau de confort vibratoire correspond à la norme ISO 2631/1. Les cotes de confort ont été établies selon les niveaux "Limite de Confort Réduit" (LCR) de la norme.

8. ESSAIS PROLONGÉS EN SERVICE

8.1 Objectifs des essais

Le principal objectif des essais a été de démontrer la fiabilité et le bon fonctionnement du bogie à l'aide d'essais prolongés en service commercial.

En outre, il était important de bien évaluer si les différentes caractéristiques facilitant l'inspection et l'entretien du bogie étaient appropriées à l'équipement et aux pratiques en vigueur dans les ateliers d'entretien d'Amtrak.

8.2 Déroulement des essais

Voiture Horizon no 54052

Suite aux essais de qualification de janvier et février 1990, la voiture no 54052 munie des bogies B-55H a été affectée au service d'Amtrak dans le secteur centre-ouest des États-Unis (figure 8.1). L'entretien de la voiture s'est effectué à l'atelier de Chicago.

Du 12 février jusqu'au 30 septembre 1990, la voiture a fait partie de trains desservant un grand nombre de destinations en partance de Chicago. Les destinations étaient les suivantes:

- Milwaukee
- Grand Rapids
- Indianapolis
- New Orleans
- Détroit
- St-Louis
- Kansas City

Cette période d'opération en service commercial a permis d'accumuler 132 514 kilomètres portant le total à 136 520 kilomètres en incluant les essais de qualification du début de l'année.

Cette distance a été parcourue à une vitesse maximale de 150 km/h sur des voies de qualité moyenne.

Même si les bogies n'ont pu accumuler beaucoup de kilomètres à haute vitesse, l'état des voies, caractérisées par des défauts d'alignement relativement sévères, a permis de bien éprouver la résistance mécanique des composants.

Voiture Amfleet I no 21029 (figure 8.2)

Après huit mois d'opération sous la voiture Horizon no 54052, les bogies ont été installés sous la voiture Amfleet I no 21029.

Cette installation s'est effectuée aux ateliers d'entretien d'Amtrak à Wilmington du 1^{er} au 9 octobre 1990. Des essais sur voie, entre Wilmington et Washington sur le corridor nord-est, ont été faits les 1^{er}, 10, 11 et 12 octobre. Ces essais ont permis d'évaluer la performance des bogies sous la voiture Horizon après 136 520 kilomètres et de prouver leur compatibilité et leur bonne tenue sous la caisse Amfleet I.

Suite à ces essais, la voiture Amfleet I no 21029, équipée des nouveaux bogies, entra en service commercial sur le corridor nord-est entre Washington et Boston. Sur ce tronçon, les voies sont d'excellente qualité et la vitesse maximale d'opération des trains est de 200 km/h tandis que la vitesse normale se situe aux alentours de 175 km/h.

Durant les essais, les bogies ont parcouru 1 287 kilomètres alors que, durant la période d'opération en service commercial, du 15 octobre au 31 décembre, une distance de 46 080 kilomètres a été parcourue.

ESSAIS EN SERVICE COMMERCIAL
BOGIE B-55H

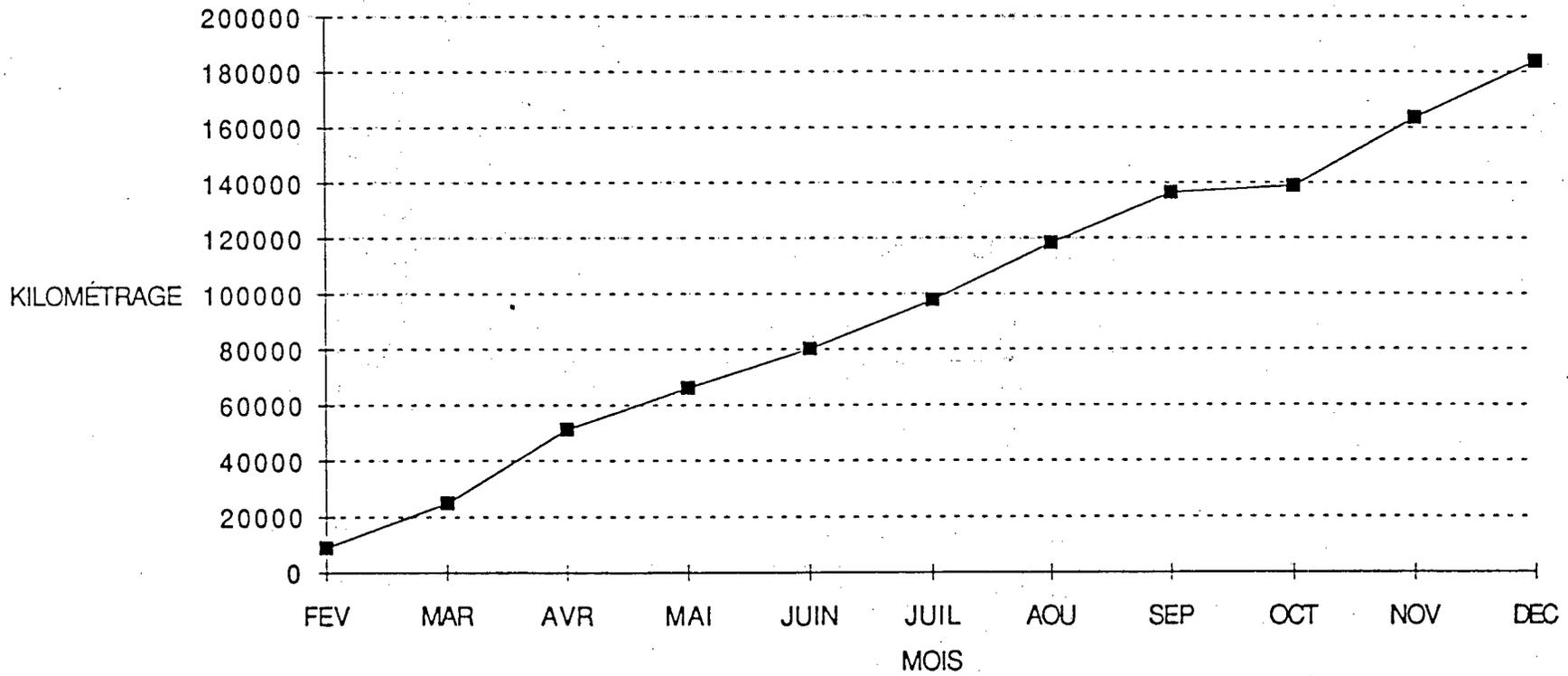


FIGURE 8.3

Le kilométrage total accumulé par les bogies, depuis leur sortie d'usine durant l'année 1990, est de 183 890 kilomètres. La figure 8.3 établit où en était le kilométrage dans le temps au cours des essais prolongés en service.

8.3 Résultats

8.3.1 Essais d'évaluation du confort

a) Essais en service (23 août 1990)

Le 23 août 1990, des essais d'évaluation du confort en service ont été effectués sur la voiture Horizon no 54052 équipée des bogies B-55H. À cette date, les bogies avaient parcouru environ 110 000 kilomètres.

Les mesures du niveau de confort ont été prises entre Chicago et Grand-Rapids. La voiture Horizon no 54052 ainsi qu'une autre voiture Horizon équipée de bogies GSI et une voiture Amfleet I munie de bogies P-III composaient le train.

Les niveaux de confort mesurés se résument comme suit:

Tableau 8.1

Niveau de confort
Résultats en heures selon
LCR (ISO 2631/1)

Voiture	Bogie	Vertical	Latéral
Horizon	B-55H	22 h	9 h
Horizon	GSI	14 h	9 h
Amfleet	P-III	9 h	5 h

Les mesures ont été prises au niveau du plancher des voitures et ont été enregistrées consécutivement.

Les résultats ont révélé que la performance des bogies B-55H était stable même après 110 000 kilomètres.

b) **Essais de vérification (1^{er} octobre 1990)**

Avant d'enlever les bogies sous la voiture Horizon no. 54052, la régie Amtrak a effectué un essai dans des conditions identiques aux conditions des essais de janvier 1990. Le but de cet essai était d'évaluer le niveau de confort de la voiture no 54052 une fois que les bogies auraient parcouru 136 520 kilomètres.

c) **Essais des bogies avec la voiture Amfleet I**

Une fois les bogies installés sous la voiture Amfleet I no 21029, trois essais ont été effectués à 180 km/h entre Washington et Wilmington pour vérifier la compatibilité des bogies et la qualité du confort.

Les résultats des essais présentés aux tableaux 8.2 et 8.3 indiquent que les bogies B-55H fournissent un niveau de confort avantageusement comparable à celui d'une voiture Amfleet équipée de bogies Pionner III. En effet, les résultats obtenus en vertical sont supérieurs à ceux obtenus avec une voiture standard tandis que les résultats en latéral sont légèrement inférieurs. Ceci est principalement dû à la position des butées latérales sur le bogie B-55H comparativement à celles des bogies P-III.

Le tableau 8.3 compare aussi les niveaux de confort obtenus lors des différents essais effectués à 180 km/h sur le corridor nord-est avec les voitures Horizon et Amfleet I.

Tableau 8.2

Résultats des essais de confort
Amfleet I no 21029 avec B-55H
Résultats en heures selon LCR de ISO 2631/1

Position de mesure	100 km/h			145 km/h			180 km/h		
	Test no1	Test no2	Test no3	Test no1	Test no2	Test no3	Test no1	Test no2	Test no3
Vertical centre de caisse	16	-	10	24	-	24	10	16	15
Vertical bout A	24	-	17	24	-	19	16	18	19
Latéral bout A	18	-	13	16	-	13	3	4.5	8
Longitudinal bout A	24	-	24	24	-	24	24	24	24

Tableau 8.3

Comparaison des résultats
Essais entre Washington et Wilmington à 180 km/h
Résultats en heures selon ISO 2631/1

Voiture	Horizon # 54052	Horizon #54052	Amfleet I # 21029	Amfleet I # 21103
Bogie	B-55H	B-55H	B-55H	P-III
Date d'essai	Janv. 1990	1er oct. 1990	11 oct. 1990	11 oct. 1990
Kilométrage	3 465	136 700	137 000	N/A
Vertical centre de caisse	11,5	8	16	13
Vertical bout A	> 24	20	18	4
Latéral bout A	6,5	4	4,5	7
Longitudinal bout A	N/D	N/D	24	24

8.3.2 Inspection des bogies

Durant la période des essais, huit inspections des bogies ont été faites. Ces inspections consistaient essentiellement à vérifier visuellement l'état des composants des bogies.

Date des inspections

<u>Date</u>	<u>Kilométrage</u>	<u>Description</u>
9 février 1990	4 007	Avant expédition de la voiture Horizon à Chicago
21 février 1990	6 027	Inspection visuelle Amtrak - Chicago
12 avril 1990	35 061	Inspection visuelle Amtrak - Chicago
2 mai 1990	52 160	Inspection visuelle Amtrak - Chicago
20 juin 1990	75 610	Inspection visuelle avec vérification de l'usure des lisseurs Amtrak - Chicago
23 août 1990	113 172	Inspection visuelle et évaluation du confort Amtrak - Chicago et ligne Chicago - Grand Rapids
1 ^{er} octobre 1990	136 521	Inspection complète des bogies avec remplacement de certaines pièces Amtrak - Wilmington
11 décembre 1990	171 120	Inspection visuelle voiture Amfleet no 21029 Amtrak - Washington

Ces inspections ont permis d'identifier les quelques points devant être améliorés. Le tableau 8.4 résume l'ensemble des observations et modifications qui ont été apportées aux composants du bogie durant la période des essais.

Tableau 8.4 Essais prolongés en service

Bogie B55-H - Inspection des bogies

COMPOSANT	OBSERVATION	KILOMÉTRAGE	ACTION PRISE	RAISON ET CONSÉQUENCE
1- Roue	20 juin 1990 Plat de roue observé	75 610	Usinage des roues par Amtrak le 30 septembre 1990	Phénomène normal et fréquent. Affecte le confort seulement.
2- Disque de frein	2 mai 1990 Usure non uniforme d'un disque	52 160	Aucune. Résorption du phénomène	
3- Roulement	-			
4- Articulation (susp. primaire)	-			
5- Ressort et appui (susp. primaire)	-			
6- Amortisseurs (susp. primaire)	20 juin 1990 Amortisseur no 8 suintement d'huile	75 610	Amortisseurs nos 2 et 8 remplacés le 1er octobre 1990	Suintement anormal. Mauvaise qualité des pièces. Sans incidence, sauf sur la qualité du confort légèrement dégradée.
	1er octobre 1990 Amortisseurs nos 2 et 8 suintement d'huile	136 520		
7- Lissoirs	-			
8- Barre de traction	1er octobre 1990 Écrou d'une des barres impossible à enlever	136 520	1er octobre 1990 Barre de traction et écrou remplacés	Le support de barre de traction de la caisse s'égoutte sur l'écrou de la barre favorisant ainsi la formation de rouille. Affecte l'entretien seulement.
9- Manchon de pivot	-			
10- Actuateur Frein à sabot	-			

Tableau 8.4 Essais prolongés en service

Bogie B55-H - Inspection des bogies

COMPOSANT	OBSERVATION	KILOMÉTRAGE	ACTION PRISE	RAISON ET CONSÉQUENCE
11- Sabots de frein	1er octobre 1990 Sabots usés	136 520	1er octobre 1990 Sabots changés	Usure normale.
12- Actuateur Frein à disque	-			
13- Plaquettes frein à disque	1er octobre 1990 Plaquettes usées de façon anormale	136 520	1er octobre 1990 Plaquettes remplacées	Mauvais alignement des plaquettes. Chanfrein du disque trop généreux. Conception à améliorer.
14- Conduites pneumatiques	12 avril 1990 Frottement entre conduites	35 061	12 avril 1990 Conduites remises en place	Mauvaise installation lors de la mise sur bogie.
15- Câblage électrique	-			
16- Capteur signal vitesse	-			
17- Joints boulonnés	-			
18- Ressort Susp. secondaire	-			
19- Coussin d'appui susp. secondaire	1er octobre 1990 Un appui fissuré	136 520	Pièce de rechange commandée	Bris anormal. Conception à améliorer. Sans conséquence sur l'opération du bogie.
20- Amortisseurs verticaux (susp. secondaire)	-			

Tableau 8.4 Essais prolongés en service

Bogie B55-H - Inspection des bogies

COMPOSANT	OBSERVATION	KILOMÉTRAGE	ACTION PRISE	RAISON ET CONSÉQUENCE
21- Amortisseurs latéraux (susp. secondaire)	-			
22- Élingues de levage	1er octobre 1990 Une élingue défectueuse	136 520	1er octobre 1990 Pièce changée	Défaut anormal. Mauvaise qualité de l'assemblage. Sans conséquence sur l'opération du bogie (y compris le levage).
23- Butées latérales	-			
24- Courroies de mise à la masse	20 juin 1990 Majorité des courroies endommagées	75 610	1er octobre 1990 Courroies remplacées	Défaut anormal. Conception à améliorer.
25- Timonerie du frein de stationnement	-			

8.3.3 Entretien des bogies

Les caractéristiques de facilité d'entretien du bogie ont été démontrées lors de l'installation du bogie sous les caisses Horizon et Amfleet et lors du changement des éléments de suspension aux premiers essais de qualification (étape 5). Les figures 8.4 et 8.5 illustrent quelques-unes des opérations effectuées pour l'entretien du bogie.

De plus, la simplicité de la méthode d'ajustement de la hauteur du plancher a pu être démontrée lors de l'inspection des lisseurs le 20 juin 1990 à Chicago. En effet, au cours de cette inspection, il a été montré que des lisseurs plus épais pouvaient être insérés entre la traverse de charge et le châssis en soulevant la voiture de seulement 100 mm pour avoir accès, sans outil, au lisseur à remplacer.

Par ailleurs, les visites des centres d'entretien d'Amtrak à Wilmington, à Washington et à Chicago ont démontré que les caractéristiques d'entretien du bogie B-55H sont avantageuses par rapport à celles des bogies actuellement en service dans le réseau.

8.4 Discussion des résultats

Au 30 décembre 1990, les bogies avaient parcouru une distance totale de 184 000 kilomètres. De ce total, 178 700 kilomètres ont été parcourus durant des essais prolongés en service commercial sous les voitures Horizon et Amfleet I.

Pendant les onze mois des essais en service commercial, les bogies n'ont pas exigé d'entretien. Exception faite cependant des sabots et plaquettes de frein qui ont été changés après 136 500 kilomètres. Lors des travaux de manutention et des inspections, les caractéristiques aidant à faciliter et à réduire l'entretien ont été démontrées.

9. CONCLUSION

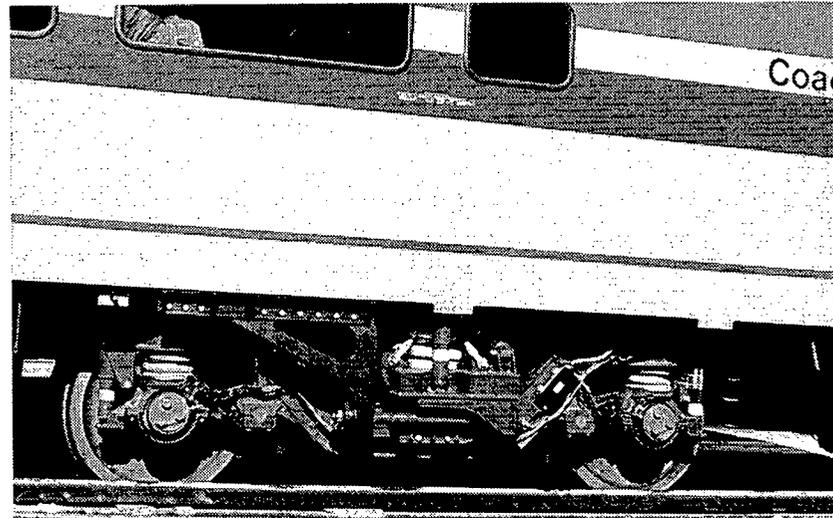
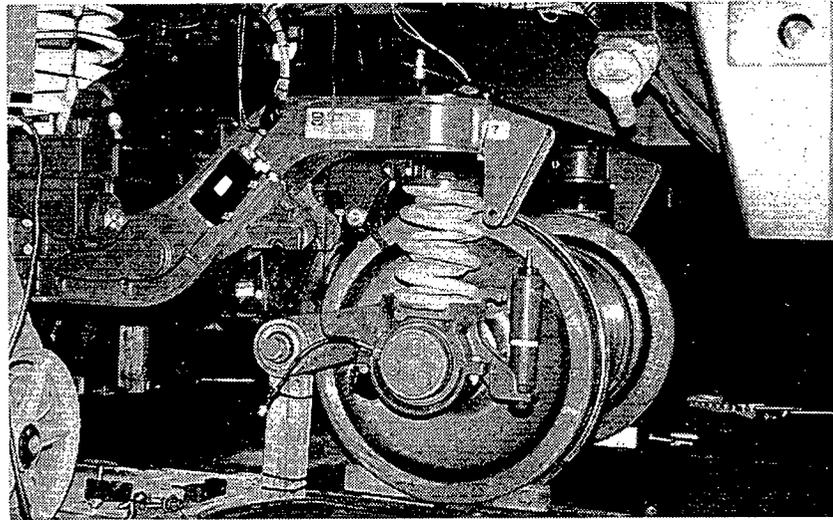
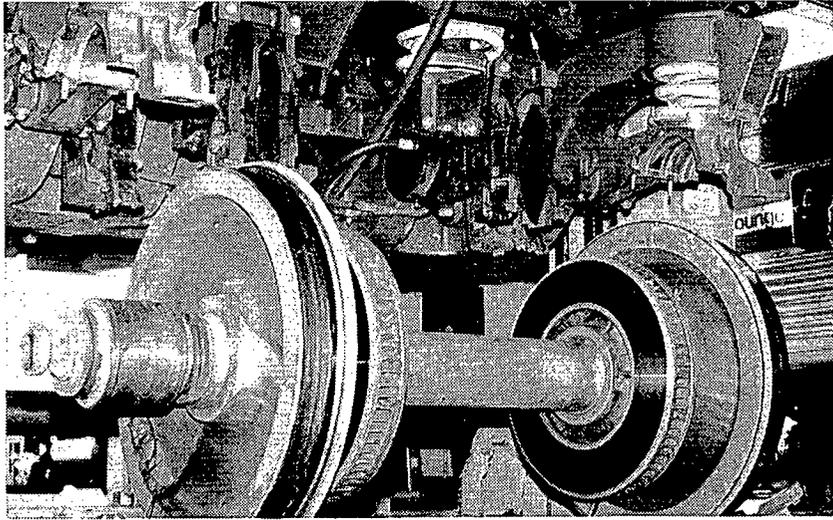
Les points importants à souligner, au terme de ce projet, concernent surtout les objectifs, les retombées et l'expertise technique.

Ce projet a permis à la Division du transport en commun de Bombardier de développer un concept de bogie qui rencontre les objectifs définis au début du projet, c'est-à-dire qu'il remplit pleinement les exigences requises pour les applications interurbaines et de banlieues en Amérique du Nord. De plus, les résultats des essais montrent que le bogie surpasse, des points de vue comportement sur voie et facilité d'entretien, les bogies actuellement utilisés en Amérique du Nord.

Pour ce qui est des retombées économiques, le potentiel de vente du bogie semble excellent à moyen et long terme. Le développement des fournisseurs locaux de pièces du bogie demeure toutefois difficile. Les efforts déployés pour développer un fournisseur local de pièces coulées ont été interrompus suite à la récente décision de ce fournisseur de ne plus fournir ce type de pièces à cause du faible volume.

En ce qui concerne l'expertise technique, ce projet a permis d'approfondir davantage les connaissances techniques reliées à la conception et à la fabrication des bogies et a aussi permis d'utiliser la CAO en modèle solide pour faciliter la conception du bogie.

Enfin, il importe de souligner la participation des gouvernements qui a rendu possible la réalisation de ce projet. Le produit qui émerge de ce projet favorisera, dans le futur, l'obtention de nouveaux contrats avec les retombées économiques qui s'y rattachent.





Gouvernement du Québec
**Ministère
des Transports**

9

MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 057 142

93-04