

ÉTUDES ET
RECHERCHES
EN TRANSPORTS



CAISSE DE MÉTRO DE TYPE GRAND GABARIT PHASE II

ANDRÉ G. FONTAINE

TECHNOLOGIE
ET INSTRUMENTATION



CANQ
TR
BSM
CO
103
V.2

Québec 

Canada 

262192

**CAISSE DE MÉTRO
DE TYPE GRAND GABARIT**

ÉTUDE CONCEPTUELLE

Phase II

No de rapport, Transports Québec: RTQ-90-18

No de rapport, Transports Canada TP10937F

préparé dans le cadre de l'entente Canada-Québec
sur le développement des transports
Volet recherche et développement

Préparé par Bombardier inc.

Doc-Can-Man

CANQ
TR
BSM
CO.
103
V.2

**Cette publication est éditée par la
Direction des communications du
ministère des Transports du Québec.
Pour se la procurer, téléphoner au
(418) 643-6864 ou écrire à:**

**Ministère des Transports du Québec
Direction des communications
700, boul. Saint-Cyrille Est
18^e étage
Québec (Québec) G1R 5H1**

**Dépôt légal, 1^{er} trimestre 1992
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN 2-550-26160-7**



Titre et sous-titre du rapport Caisse de métro de type grand gabarit Conception et fabrication du prototype Phase II	N° du rapport Transports Québec RTQ-90-18			
	Rapport d'étape <input type="checkbox"/>	An	Mois	Jour
	Rapport final <input checked="" type="checkbox"/>	9	10	11 12
	N° du contrat			
Auteur(s) du rapport André G. Fontaine	Date du début d'étude		Date de fin d'étude	
	8 8 1 5	9 0 0 6	3 0	
	Coût de l'étude 2 780 000 \$			

Etude ou recherche réalisée par (nom et adresse de l'organisme) Bombardier inc. Division du transport en commun 1350 rue Nobel BOUCHERVILLE (Québec) J4B 1A1	Etude ou recherche financée par (nom et adresse de l'organisme) Ministère des Transports du Québec 834 000 \$ Transports Canada 834 000 \$ Bombardier inc. 1 112 000 \$
--	---

But de l'étude, recherche et renseignements supplémentaires

Le but du projet consistait à faire la conception, les analyses structurales, la création d'outillage spécialisé pour la fabrication et l'assemblage du prototype d'une caisse de métro grand gabarit

Résumé du rapport

Ce rapport résume le travail accompli au cours de la phase II du projet. Il relate les différentes étapes qui ont permis d'en arriver à la fabrication du chaudron d'une caisse de voiture de métro de type grand gabarit faite principalement en acier inoxydable. Il est aussi question des essais sur banc qui ont permis de tirer des conclusions afin de diminuer le poids et d'augmenter la rigidité de la caisse en torsion, améliorations qui pourront être apportées lors d'une éventuelle fabrication en série.

Le rapport se divise en sept sections. Dans l'introduction il est question des objectifs, de la nature des travaux effectués et de l'organisation générale.

La section 2 concerne spécifiquement la conception de la caisse, faite notamment par CAO. Dans la section sur l'analyse structurale on explique les buts et la méthode employée.

La section 4 présente l'outillage. Les sections suivantes traitent de la fabrication et de l'assemblage ainsi que des essais structuraux sur banc.

Finalement en conclusion, en plus des améliorations qui pourront être apportées à la caisse comme telle, on souligne l'importance de projets de ce genre qui contribuent à développer l'expertise technique afin que l'industrie québécoise soit en mesure de compétitionner sur le marché international.

Nbre de pages	Nbre de photos	Nbre de figures 19	Nbre de tableaux 9	Nbre de références bibliographiques 2	Langue du document <input checked="" type="checkbox"/> Français <input type="checkbox"/> Anglais	Autre (spécifier)
Mots-clés Caisse, métro, grand gabarit prototype, chaudron, éléments finis, acier inoxydable				Autorisation de diffusion <input checked="" type="checkbox"/> Diffusion autorisée <input type="checkbox"/> Diffusion interdite		
				Signature du directeur général <i>Yves G. Gauthier</i>		Date 19.2.10.21.21

1. Transport Canada Publication No. TP 10937F		2. Project No. 6854		3. Recipient's Catalogue No.	
4. Title and Subtitle Wide-body type Metro car Prototype design and fabrication, Phase II				5. Publication Date November 1990	
				6. Performing Organization Document No. RTQ-90-18	
7. Author(s) André G. Fontaine				8. Transport Canada File No. D1465-505	
9. Performing Organization Name and Address Bombardier Inc. Mass Transit Division 1350 Nobel Street Boucherville, Quebec J4B 1A1				10. DSS File No. N/A	
				11. DSS or Transport Canada Contract No. N/A	
12. Sponsoring Agency Name and Address Transportation Development Centre (TDC) 200 René Lévesque Blvd. West West Tower, Suite 601 Montreal, Quebec H2Z 1X4				13. Type of Publication and Period Covered Final	
				14. Project Officer C.A. Versailles	
15. Supplementary Notes (Funding programs, titles of related publications, etc.) The purpose of the study was to design and structurally analyse a prototype wide-body Metro car, and to create specialized tooling for its fabrication and assembly.					
16. Abstract <p>This report summarizes the work done in Phase II of the project. It describes the various stages leading to the fabrication of the body of a wide-body Metro car made primarily of stainless steel. It also describes the bench tests whose results will lead to a reduction in the car's weight and to an increase in the car's strength under torsion when assembly-line production begins.</p> <p>The report is divided into seven sections. The introduction spells out objectives, the nature of the work done and its overall organization.</p> <p>Section 2 deals specifically with the design of the car, which relied heavily on CAD. The section on structural analysis explains the purpose of the analysis and the method used.</p> <p>Section 4 deals with tooling. The following sections cover fabrication, assembly and structural bench tests.</p> <p>In conclusion, after recommending improvements that can be made to the car itself, we stress the importance of projects of this type to the development of a technical expertise that will enable Quebec industry to compete in the international market.</p>					
17. Key Words Car, Metro, wide body, prototype, body, finite element, stainless steel.			18. Distribution Statement Limited number of copies available from the Transportation Development Centre.		
19. Security Classification (of this publication) Unclassified	20. Security Classification (of this page) Unclassified	21. Declassification (date) --	22. No. of Pages --	23. Price --	

AVERTISSEMENT

«Les opinions et les vues exprimées dans ce rapport sont celles du contractant et ne reflètent pas nécessairement celles du ministère des Transports du Canada ou du ministère des Transports du Québec.»

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 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 de 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.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

Suite à l'étude du marché nord-américain et dans le but d'élargir sa position concurrentielle sur les marchés national et international, la Division du transport en commun de Bombardier avec le support des gouvernements du Québec et du Canada a décidé de lancer un projet de développement de caisse de métro grand gabarit.

Les principaux objectifs du projet, divisé en deux phases, sont de maîtriser les technologies de conception, de fabrication et d'essais des caisses de type grand gabarit et de contribuer au développement des fournisseurs locaux. Une étude conceptuelle a permis de fixer les paramètres de conception de la caisse qui ont par la suite servi de guide pour concevoir et qualifier la caisse.

CONCEPTION DE LA CAISSE

Les objectifs de conception sont de développer une caisse de métro grand gabarit en acier inoxydable répondant adéquatement aux exigences les plus sévères du marché tout en optimisant son poids et en s'assurant de sa polyvalence.

Pour la conception de la caisse prototype, la méthode trois dimensions en modèle solide est celle qui a été utilisée. Elle a permis d'étudier les pièces au fur et à mesure qu'elles étaient dessinées pour ainsi réduire au minimum les erreurs en ce qui concerne les facteurs de poids, d'interface et d'assemblage.

ANALYSE STRUCTURALE

L'analyse structurale a pour but de vérifier si la caisse peut résister aux charges telles qu'établies dans l'étude conceptuelle et d'identifier les composants de la structure qui sont surdimensionnés ou trop sollicités.

Le premier type d'analyse soit les analyses statiques ont été effectuées à l'aide du programme d'éléments finis "ANSYS" et les résultats ont démontré que les niveaux des contraintes calculés pour la caisse étaient en général acceptables.

Le deuxième type, les analyses de fatigue, faites conformément aux critères de l'AAR pour les voitures de marchandise, nous ont permis d'établir que les joints les plus sollicités pourront résister pour une vie minimum de 30 ans.

Et enfin le troisième type, l'analyse modale, a permis de vérifier la rigidité de la caisse à l'aide d'un modèle simplifié utilisant une méthode numérique. Les résultats de cette analyse permettent de syntoniser les suspensions des bogies pour ainsi maximiser le niveau de confort vibratoire dans la caisse.

OUTILLAGE

L'outillage prend ici toute son importance puisque, dans le cadre de ce projet de développement, nous avons choisi de concevoir et de fabriquer des mannequins d'assemblage répondant à nos besoins pour des caisses de métro grand gabarit de différentes dimensions. Les mannequins et pièces d'outillage ont, pour la plupart, été conçus et fabriqués par Bombardier. Toutes les pièces d'outillage ont été essayées et parfois modifiées suite aux commentaires obtenus des ouvriers impliqués dans l'assemblage de la caisse.

FABRICATION ET ASSEMBLAGE

Les matériaux de base de la caisse sont l'acier inoxydable et le HSLA 80. Les principales étapes suivies pour la fabrication et l'assemblage de la caisse sont la production des pièces primaires, l'assemblage des pièces primaires pour former les sous-ensembles et le montage final de la caisse qui consiste à joindre entre eux par soudure les grands sous-ensembles.

ESSAIS STRUCTURAUX

Les essais structuraux servent à démontrer si la structure de la caisse rencontre les requis de chargement. Les résultats de ces essais servent aussi à optimiser la structure de la caisse. La réalisation de ces essais par Bombardier a été possible suite au montage de notre propre banc d'essais.

Les résultats des essais structuraux ont révélé quels étaient les endroits les plus sollicités et nous ont permis d'apporter les modifications nécessaires au design de la caisse.

CONCLUSION

Les principaux objectifs de ce projet de développement ont été rencontrés. Ces objectifs étaient de concevoir, fabriquer et tester une caisse métro grand gabarit faite d'acier inoxydable, de spécialiser des fournisseurs locaux de même que d'acquérir la technologie de développement de caisse en acier inoxydable. Au cours de ce projet, il a également été possible de développer et d'utiliser, pour la caisse prototype, des mannequins d'assemblage polyvalents; ces mannequins peuvent aussi être utilisés pour des caisses de métro de différentes dimensions. De plus, nous avons développé notre propre banc d'essais qui a, par la suite, été utilisé pour qualifier la caisse prototype.

Pour ce qui est de l'expertise technique, ce projet nous a permis de vérifier le niveau de précision des modèles d'analyse par éléments finis de manière à pouvoir réduire le temps requis pour valider, par ces analyses, nos futurs concepts de caisse. Ce projet nous a également permis d'acquérir les connaissances nécessaires pour effectuer les essais structuraux requis pour qualifier une caisse. L'acquisition de cette expertise rend possible la conception de caisses par la Division du transport en commun.

Il faut particulièrement souligner l'importance de tels projets de développement qui favorisent la compétitivité de l'entreprise et les retombées futures comme la création d'emplois et la fourniture de matériel et de services.

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES UTILISÉS

AAR	Association of American Railroads
A/C	Air climatisé
CAO	Conception assistée par ordinateur
HSLA	High Strength Low Allow
m	mètres
m m	millimètres
N	Newton
psi	livres par pouce carré
AW0	Poids de la voiture à vide, sans bogie
AW1	AW0 plus le poids des passagers assis
AW2	AW1 plus le poids des passagers debout (4 passagers/m ²)
AW3	AW2 plus le poids des passagers debout (8 passagers/m ²)
W	Poids des équipements attachés à la caisse, inclus dans AW0
daN	DecaNewton
kg	kilogrammes
M.S.	Marge de sécurité

TABLE DES MATIÈRES

AVERTISSEMENT	vii
AVANT-PROPOS	ix
SOMMAIRE	xi
LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES	xv
LISTE DES FIGURES	xxi
LISTE DES TABLEAUX	xxiii
SECTION 1 - INTRODUCTION	1
1.1 Définition du projet	2
1.1.1 Objectifs primaires	2
1.1.2 Objectifs secondaires	2
1.2 Nature des travaux effectués	3
1.2.1 Étude conceptuelle	3
1.2.2 Ingénierie	3
1.2.3 Fabrication et assemblage	4
1.2.4 Essais structuraux	4
1.3 Organisation générale	5
1.3.1 Secteurs d'activité	5
1.3.2 Cheminements suivis	6
SECTION 2 - CONCEPTION DE LA CAISSE	9
2.1 Introduction	9
2.1.1 Évolution des concepts de caisse	9
2.1.2 Méthode retenue pour la conception (CAO)	11
2.1.3 Philosophie de conception	12

2.2	Objectifs et paramètres de conception	14
2.2.1	Objectifs de conception	14
2.2.2	Paramètres de conception	18
2.3	Conception de la caisse	24
2.3.1	Description générale	24
2.3.2	Description des sous-ensembles	25
2.3.3	Ensemble caisse	27
SECTION 3 - ANALYSE STRUCTURALE		29
3.1	Introduction	29
3.1.1	Buts	29
3.1.2	Méthode	29
3.2	Requis	33
3.3	Analyses statiques	33
3.3.1	Propriétés mécaniques	34
3.3.2	Résultats de l'analyse statique	34
3.4	Analyse de fatigue	40
3.4.1	Contraintes minimales et maximales	41
3.4.2	Limites d'endurance permises (Se)	41
3.5	Analyse modale	42
3.6	Optimisation globale du design	43
SECTION 4 - OUTILLAGE		45
4.1	Introduction	45
4.2	Types d'outillage	45
4.2.1	Pièces primaires	45

4.2.2	Sous-ensembles secondaires	46
4.2.3	Sous-ensembles primaires	50
4.2.4	Ensemble caisse	50
4.3	Conception et fabrication	50
4.4	Essais et optimisation	50
SECTION 5	- FABRICATION ET ASSEMBLAGE	51
5.1	Approvisionnement	51
5.1.1	Introduction	51
5.1.2	Difficultés d'approvisionnement	52
5.2	Pièces primaires	52
5.3	Sous-ensembles primaires	54
5.4	Assemblage de la caisse	54
SECTION 6	- ESSAIS STRUCTURAUX	59
6.1	But des essais	59
6.2	Équipement utilisé	59
6.2.1	Banc d'essais	59
6.2.2	Instrumentation	61
6.3	Types d'essais	61
6.4	Position des gauges	63
6.5	Sommaire des résultats	63
6.5.1	Essais: chargement vertical	63
6.5.2	Essais: chargement simulant une collision	63
6.5.3	Essais: torsion	66
6.6	Optimisation de la caisse	66
6.7	Résultats des analyses / Résultats des essais	68
SECTION 7	- CONCLUSION	69

LISTE DES FIGURES

FIGURE 2.1	Premier concept de caisse (1836)	10
FIGURE 2.2	Voiture remorquée par câbles (1850)	10
FIGURE 2.3	Voiture remorquée par locomotive	10
FIGURE 2.4	Profil de la caisse prototype	20
FIGURE 2.5	Caisse assemblée	28
FIGURE 3.1	Modèle utilisé pour effectuer les analyses statiques	31
FIGURE 3.2	Modèle utilisé pour l'analyse modale	32
FIGURE 3.3	1er mode de vibration	32
FIGURE 3.4	Repères	38
FIGURE 3.5	Repères	39
FIGURE 4.1	Soudeuse par points	47
FIGURE 4.2	Mannequin pour module de face	48
FIGURE 4.3	Mannequin pour poutre de bout	49
FIGURE 5.1	Nomenclature du chaudron (pièces primaires)	53
FIGURE 5.2	Châssis de bout	55
FIGURE 5.3	Assemblage d'une des faces	56
FIGURE 5.4	Caisse prototype	57
FIGURE 6.1	Banc d'essais	60
FIGURE 6.2	Instrumentation	62

LISTE DES TABLEAUX

Phase I		6
Phase II		7
Conception - Phase II		13
Tableau 3.1	Sommaire des résultats de l'analyse statique	35
Tableau 3.2	Sommaire des résultats de l'analyse statique	36
Tableau 3.3	Sommaire des résultats de l'analyse statique	37
Tableau 3.4	Sommaire des résultats de l'analyse statique	40
Tableau 6.1	Position et nombre de jauges	64
Tableau 6.2	Types de chargement, endroits et marges de sécurité	67

SECTION 1

INTRODUCTION

L'examen des besoins des diverses régies de transport des grandes villes du monde et plus particulièrement celles d'Amérique montre bien l'évolution de la voiture de métro durant les dernières décennies. Par exemple, les voitures de métro de type court et pourtant reconnues comme efficaces ont été de moins en moins en demande à partir des années soixante. Pour des raisons d'efficacité, des voitures de métro plus longues sont apparues. Présentement, à l'exception des villes ayant déjà une infrastructure limitant l'utilisation de voitures longues, plusieurs régies de transport d'Amérique du Nord utilisent ce genre de voitures: Atlanta, Baltimore, Cleveland, Los Angeles, Miami, San Francisco, Toronto et Washington. Montréal et Chicago ont des voitures courtes (petit gabarit) alors que New York utilise les deux types de voitures.

À cause de la plus grande capacité et donc des coûts réduits par passager, toutes les villes devant mettre en place une nouvelle infrastructure le font en fonction de voitures de métro longues. De plus, lorsqu'une ville commande des voitures, elle le fait avec ses propres requis que ce soit pour la forme des ouvertures ou les charges à supporter, etc. Les fabricants doivent donc, à chaque commande de nouvelles voitures, reprendre en majeure partie les travaux de conception, de design et de fabrication.

Considérant l'importance de ce type de marché et pour maintenir son leadership au chapitre du matériel roulant guidé tout en continuant à tenir compte des évolutions européennes et japonaises, la Division du transport en commun de Bombardier, avec la collaboration du ministère des Transports du Québec et le Centre de développement des Transports (CDT) de Transports Canada, a décidé de lancer un projet de développement de caisse de métro grand gabarit.

Ce rapport décrit l'ensemble des activités qui ont été réalisées durant ce projet.

1.1 DÉFINITION DU PROJET

Le projet a débuté en janvier 1987 pour se terminer à l'été 1990. Les objectifs du projet sont répartis en deux groupes.

1.1.1 Objectifs primaires

Les objectifs primaires sont:

- Développer un design propre à Bombardier pour une caisse de métro grand gabarit.
- Développer un caisse capable de satisfaire le concept de "design éprouvé" avec l'aide la construction d'un prototype et d'essais, et ainsi pénétrer le marché nord-américain.
- Contribuer au développement de fournisseurs locaux pour le matériel spécialisé.

1.1.2 Objectifs secondaires (définis durant le projet)

Les objectifs secondaires sont de:

- Développer un outillage d'assemblage polyvalent de manière à pouvoir fabriquer des caisses de métro de dimensions variées sans avoir à refaire l'outillage.
- Prévoir quels seront les requis des années 90 en explorant les techniques d'analyses de collision.
- Développer un banc d'essais pour vérifier la structure de la caisse.

1.2 NATURE DES TRAVAUX EFFECTUÉS

Les travaux effectués durant le projet peuvent être groupés en quatre catégories qui sont:

- L'étude conceptuelle (phase I);
- Les travaux d'ingénierie (phase II);
- La fabrication et l'assemblage de la caisse (phase II);
- Les essais structuraux (phase II).

1.2.1 Étude conceptuelle

L'étude conceptuelle, faite en phase I du projet, a permis d'évaluer les requis des différentes régies de transport d'Amérique du Nord. Ces requis ont servi à établir les paramètres de conception de la caisse. Il est à noter qu'il a été décidé, durant la phase I du projet, d'orienter la conception de manière à rencontrer les requis les plus sévères soit ceux de la régie de transport de la ville de New York. Cette approche permet de couvrir toute la gamme possible des voitures grand gabarit.

Pour plus de détails concernant l'étude conceptuelle, voir la référence 1.

1.2.2 Ingénierie

Les travaux d'ingénierie consistent surtout à produire les dessins et à effectuer les analyses structurales. Une fois terminés, les dessins sont acheminés au groupe production qui décide si les pièces seront fabriquées à l'usine ou par des fournisseurs extérieurs. Les analyses structurales permettent de vérifier les niveaux des contraintes et d'optimiser la caisse.

1.2.3 Fabrication et assemblage

À partir des dessins, les divers mannequins sont conçus en vue du découpage, du perçage, du pliage et de la jointure des pièces ou groupes de pièces (sous-ensembles).

La première étape consiste donc à fabriquer (ou à faire fabriquer) les pièces unitaires qui seront ensuite jointes pour former les sous-ensembles qui, à leurs tours, seront joints par groupe jusqu'à ce que la caisse soit assemblée. La soudure à l'arc et la soudure par résistance ("spot weld") sont utilisées pour joindre les pièces et les divers sous-ensembles.

1.2.4 Essais structuraux

Cette dernière étape comprend le montage du banc d'essais, l'installation de la caisse sur le banc, l'installation de l'instrumentation de mesure des contraintes et les essais eux-mêmes. Selon les résultats des essais, il est possible qu'il y ait des modifications structurales (habituellement mineures) pour réduire les contraintes en certains endroits.

1.3 ORGANISATION GÉNÉRALE

1.3.1 Secteurs d'activité

Le tableau suivant illustre à l'aide d'un diagramme quels sont les secteurs qui ont été impliqués et leurs champs d'activité.

**Ingénierie
Recherche & Développement**

Direction et gestion du projet
Étude conceptuelle
Conception et analyses
Essais structuraux

Méthodes

Conception de l'outillage
Fabrication de l'outillage
Rédaction des procédures
de fabrication

Fabrication

Pièces primaires
Sous-ensembles
Assemblage général

**Assurance-qualité et
essais**

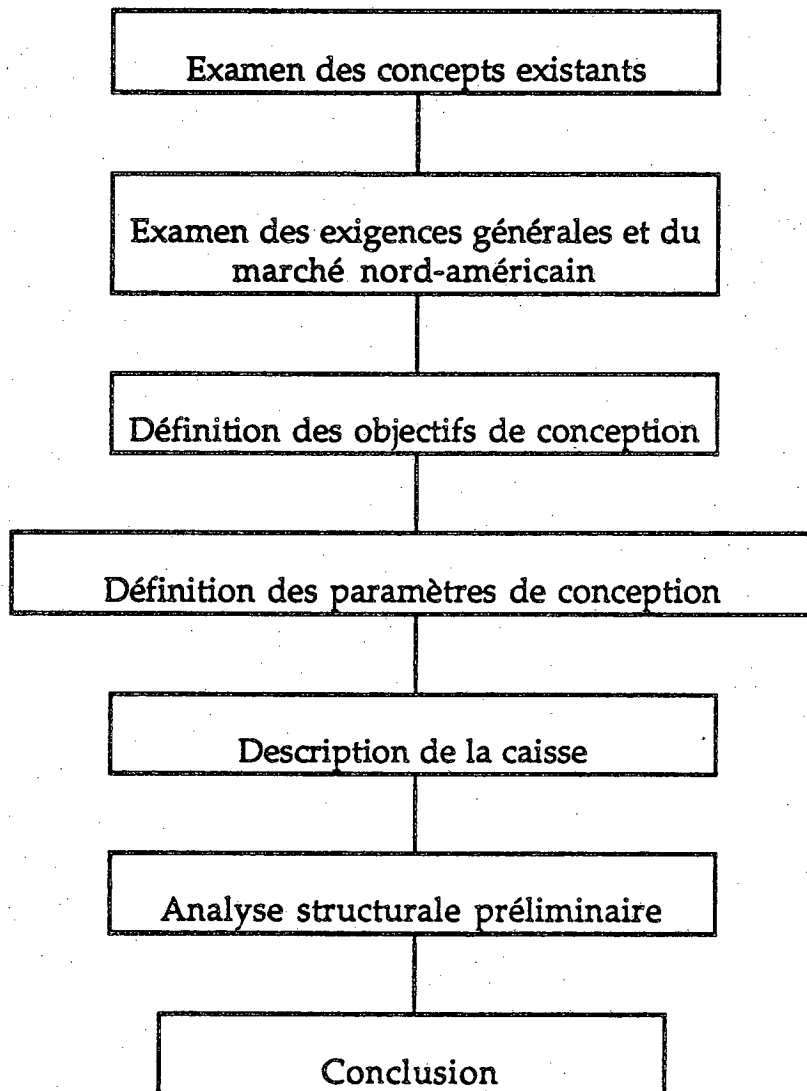
Qualité du produit
Préparation du banc d'essais
Assistance durant les essais

Finances

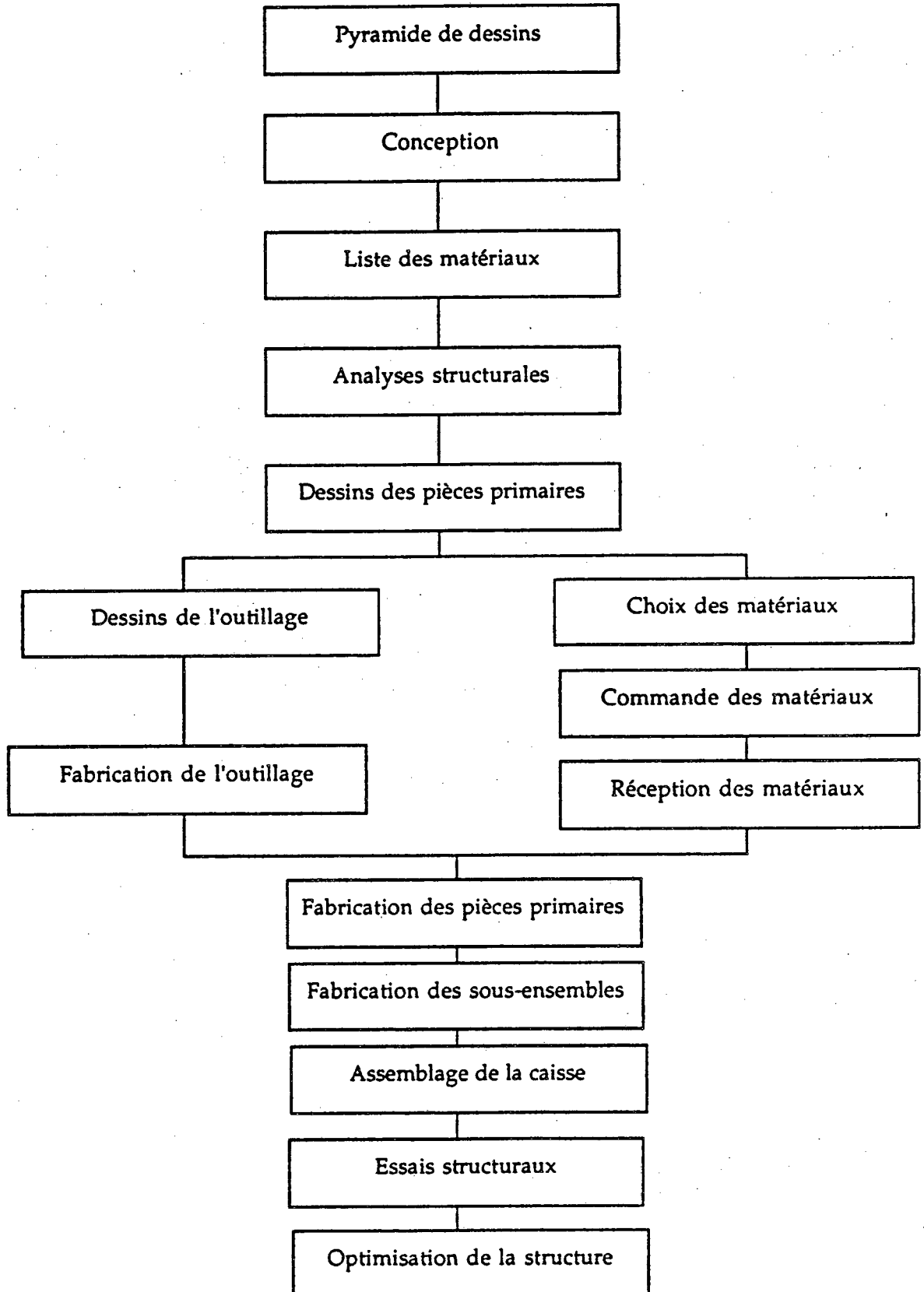
Facturation
Budgets

1.3.2 Cheminevements suivis

PHASE I



PHASE II



SECTION 2

CONCEPTION DE LA CAISSE

2.1 INTRODUCTION

2.1.1 Évolution des concepts de caisse

Les premières voitures guidées sur rail et spécialement conçues pour le transport des passagers ont fait leur apparition au début du 19^e siècle. Ces voitures étaient remorquées par deux chevaux et pouvaient contenir 18 passagers assis. La caisse (compartiment passagers) était faite de trois modules reliés entre eux par des poutres. L'ensemble reposait sur un châssis supporté par quatre roues de grandes dimensions tel qu'illustré à la figure 2.1 de la page suivante.

La deuxième génération de voitures (figure 2.2) beaucoup plus spacieuses et remorquées par câbles étaient construites de manière à ce que le plancher supporte l'ensemble des charges verticales. Les murs (faces) et le toit (pavillon) étaient en bois et contribuaient peu à la résistance structurale.

Les voitures de la génération suivante étaient remorquées par de petites locomotives à vapeur (figure 2.3). Et là encore, les caisses étaient conçues suivant les mêmes principes, c'est-à-dire que la structure du plancher supportait la plus grande partie des charges. Ce n'est que vers le milieu du 20^e siècle que les faces (côtés) de la caisse furent utilisées pour prendre une partie des charges structurales.

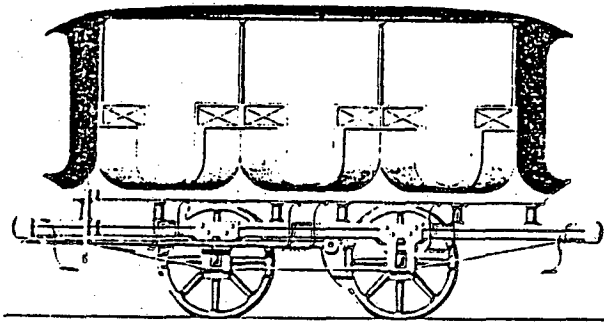


Figure 2.1 PREMIER CONCEPT DE CAISSE (1836)

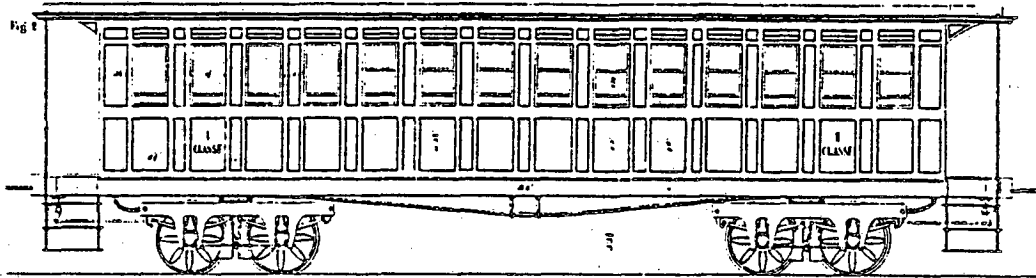


Figure 2.2 VOITURE REMORQUEE PAR CABLES (1850)

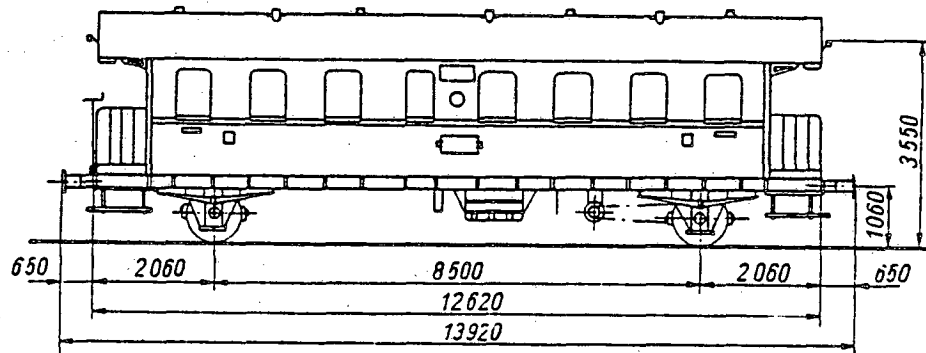


Figure 2.3 VOITURE REMORQUEE PAR LOCOMOTIVE

Actuellement, en ce qui nous concerne, la rigidité structurale de la caisse prototype est assurée presque entièrement par les faces qui constituent les premiers sous-ensembles, en vue de l'assemblage final de la caisse. Les sous-châssis de bout, les bouts et le pavillon qui est déposé d'une pièce et joint aux faces, contribuent également à la rigidité. Le plancher, contrairement aux voitures plus anciennes, est monté en dernier lieu et n'est pas supporté par une poutre centrale.

L'utilisation des faces pour prendre la majorité des efforts représente présentement le "state of the art" et se rapproche beaucoup des concepts appelés "monocoque" où chacune des pièces de la caisse contribue à la résistance structurale (ex.: l'automobile).

2.1.2 Méthode retenue pour la conception

Les méthodes les plus utilisées pour la conception sont:

- la table à dessin,
- la conception 2D sur ordinateur (Autocad),
- la conception 3D en modèle solide sur ordinateur.

La méthode tridimensionnelle en modèle solide (logiciel EUCLID-IS) a été retenue car son logiciel permet, au fur et à mesure que les pièces sont dessinées, de calculer le poids, le centre de gravité, les moments d'inertie de section et de masse. De plus, ce logiciel permet de regarder une pièce sous n'importe quel angle, d'en faire une coupe et de voir ainsi l'intérieur même de la pièce. Ce logiciel permet aussi de vérifier s'il y aura interférence entre des pièces qui sont rapprochées ou qui doivent être jointes. Il a donc été choisi à cause des facteurs cités plus haut qui, additionnés ensemble, augmentent la rapidité d'exécution des travaux.

2.1.3 Philosophie de conception

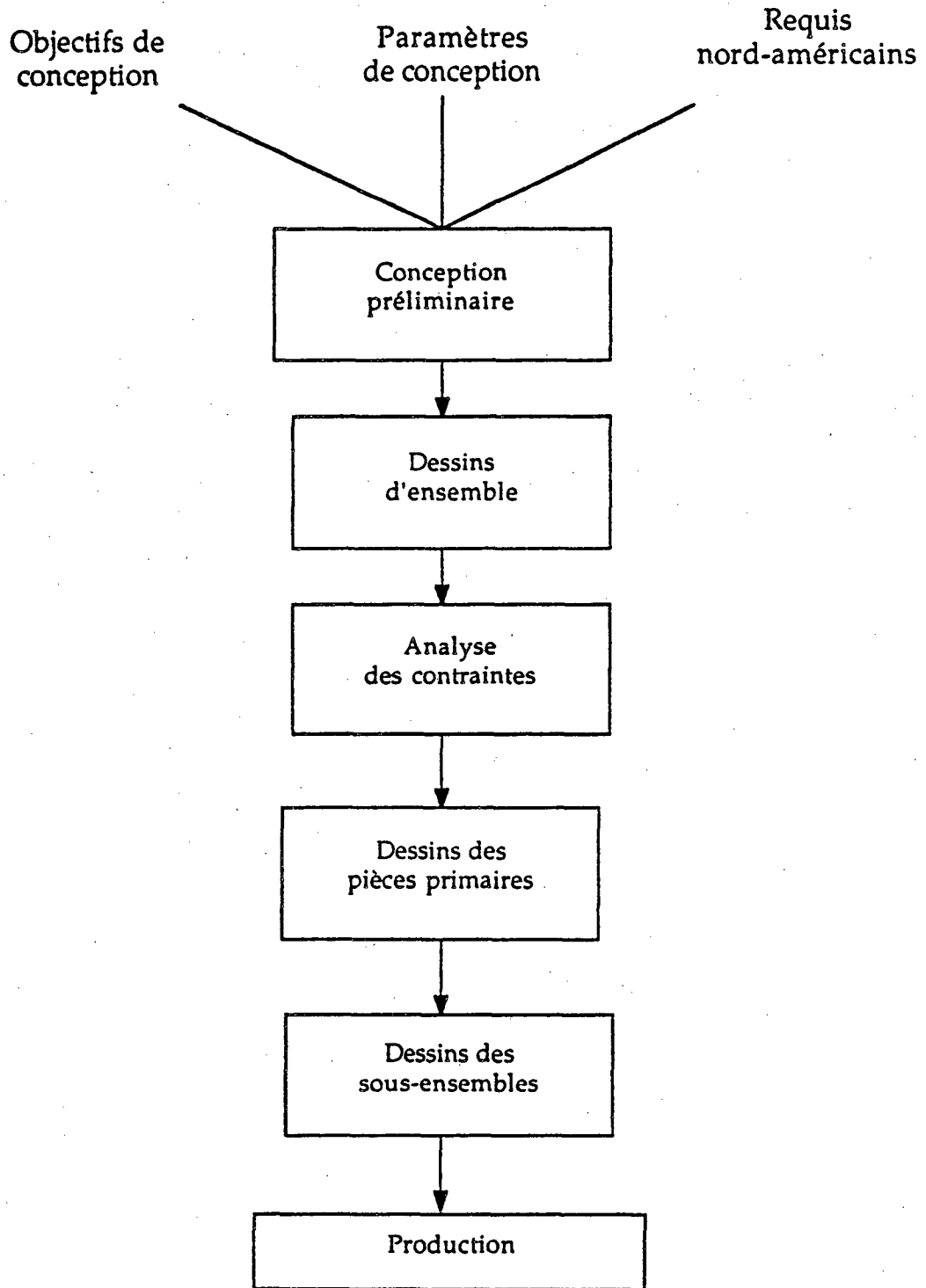
2.1.3.1 INTERFACE AVEC LE GROUPE DE PRODUCTION

Dans le but de s'assurer que les pièces de la caisse seront faciles à fabriquer et que la caisse sera aisée à assembler, nous avons, dès le départ de la phase II, impliqué le personnel de l'usine de La Pocatière. Chaque dessin produit a été examiné et commenté par le personnel d'outillage de manière à simplifier la fabrication et ainsi minimiser les coûts de production.

2.1.3.2 POLYVALENCE DU DESIGN

Suite à l'étude du marché nord-américain, nous avons orienté le design des éléments de la caisse de façon à répondre aux demandes variées des diverses régions de transport. La caisse est donc conçue de manière à ce que sa longueur puisse varier entre 19,80 m et 22,86 m. Son design lui permet aussi de résister aux chargements structuraux les plus sévères pour les voitures de métro grand gabarit.

CHEMINEMENT SUIVI
CONCEPTION - PHASE II



2.2 OBJECTIFS ET PARAMÈTRES DE CONCEPTION

2.2.1 Objectifs de conception

Les principaux objectifs de conception ont consisté à développer une caisse de métro grand gabarit, faite d'acier inoxydable, qui sera en mesure de répondre adéquatement aux exigences du marché. Le poids de la caisse devra être réduit à son minimum. La caisse devra être polyvalente, c'est-à-dire qu'elle devra résulter en un produit utilisant des sous-ensembles modulaires (portes, fenêtres, loges de conduite, sous-châssis, structures de bout, etc.). La structure de la caisse, tout en optimisant les aspects susmentionnés, doit être conçue pour répondre adéquatement aux cas de chargement en compression les plus sévères, requis pour les métros grand gabarit. La symétrie des faces, du pavillon et l'ajustement possible de la longueur et de la largeur ont guidé la conception de l'outillage d'assemblage. Un tel outillage rend possible la fabrication d'une famille de caisses et contribue à maintenir les coûts de fabrication à un niveau minimum.

2.2.1.1 POIDS

Le poids de la caisse est un paramètre important qui influence les coûts d'énergie inhérents à la propulsion et au freinage de la voiture et qui peut affecter l'entretien des organes de roulements et des rails.

Dans le but d'obtenir une caisse d'un poids minimum, le poids de ses éléments est calculé au fur et à mesure qu'ils sont ajoutés à la caisse. Les résultats des analyses de contrainte permettent, lorsqu'il y a lieu, l'optimisation des pièces structurales afin de minimiser leurs poids.

2.2.1.2 SYMÉTRIE DES FACES

La facilité de construction d'une caisse est maximisée lorsque la symétrie de la caisse est complète, c'est-à-dire que les deux moitiés de la caisse (suivant l'axe longitudinal) sont identiques. Cette symétrie s'applique également aux loges de conduite.

Ainsi, lors de la fabrication, un seul gabarit sera utilisé pour la construction des deux faces, incluant les portions réservées aux loges de conduite facilitant l'assemblage et minimisant les coûts de fabrication.

2.2.1.3 AJUSTEMENT DE LA LARGEUR

L'étude des concepts existants et des exigences du marché montre que la largeur des caisses de métro grand gabarit varie entre 3,05 et 3,20 m. Pour être en mesure de répondre à la plupart des exigences concernant les largeurs, la caisse a été conçue de façon à ce qu'elle puisse être fabriquée dans une telle gamme de largeurs. L'ajustement de la largeur se fait en variant la longueur des traverses et la largeur du revêtement du pavillon et du plancher. L'outillage doit permettre cette variation de la largeur afin de réduire les coûts de fabrication.

2.2.1.4 AJUSTEMENT DE LA LONGUEUR

Suite à l'examen des concepts existants et des exigences du marché, il appert que la longueur des caisses de métro grand gabarit varie entre 20 et 23 m. Afin de pouvoir répondre aux exigences du marché, la conception de la caisse et des interfaces de ses sous-ensembles a dû permettre l'ajustement de la longueur. L'outillage permet d'effectuer ces variations de longueurs et réduit donc les coûts de fabrication.

L'ajustement de la longueur de la caisse s'effectue en variant la longueur de celle-ci entre les deux traverses de pivot. Les faces, le pavillon et le sous-châssis central sont affectés par un tel changement.

2.2.1.5 LOGE DE CONDUITE

Il existe trois types de voitures, c'est-à-dire des voitures sans loge de conduite, des voitures à une loge de conduite et enfin des voitures à deux loges de conduite.

Les exigences varient d'une administration cliente à une autre. Cependant, les voitures de métro grand gabarit sont généralement attachées par groupe de deux ou trois et, dans ce dernier cas, une voiture sans loge de conduite est utilisée entre deux voitures avec loges de conduite.

La caisse peut donc, de par sa symétrie, être fabriquée avec ou sans loge de conduite et cela sans affecter les coûts de fabrication (outillage et assemblage).

2.2.1.6 INTERFACE CAISSE/BOGIE

Deux types d'interface caisse/bogie sont utilisés dans l'industrie; l'un est constitué de barres de traction sur la traverse de pivot alors que, pour l'autre, il s'agit d'un pivot central et d'une variante appelée "center plate".

La conception de la caisse s'est faite autour du type d'interface appelé pivot central. Ce type est de plus en plus utilisé et sa complexité au niveau structural permet d'adapter, s'il y a lieu, l'interface en vue d'une liaison du bogie à la caisse par des barres de traction sans entraîner de modifications majeures.

2.2.1.7 INTERFACE AVEC LES ÉQUIPEMENTS

Il s'agit du sous-châssis, du pavillon et des faces intérieures de la caisse.

a) Sous-châssis

Pour la conception du sous-châssis de caisse, nous avons choisi le cas le plus sévère pour la structure, c'est-à-dire celui où tous les équipements requis pour le fonctionnement sont attachés aux traverses de plancher d'une seule voiture au lieu de deux (cas de "married pair"). Cette configuration inclut tous les équipements nécessaires au fonctionnement indépendant d'une voiture. L'aménagement des équipements suivants a été pris en considération lors de la conception:

- compresseur/système d'air climatisé,
- réservoir d'air,
- boîte de batterie,
- résistances (système de freinage),
- convertisseur,
- contrôle de propulsion.

Afin de pouvoir attacher les équipements aux points désirés, les traverses de plancher sont localisées en fonction de la position et des points d'attache des équipements ci-haut mentionnés.

b) Pavillon

Le type et l'emplacement des unités d'air climatisé ont été considérés lors de la conception de la structure du pavillon. Deux types de systèmes de climatisation pouvaient être retenus. Le premier à unité séparée se compose d'un compresseur situé sous la caisse et d'un évaporateur situé dans le pavillon. Le deuxième à unité monobloc amovible comprend un évaporateur et un compresseur intégré qui s'installe sur le pavillon.

L'unité monobloc nécessite une ouverture importante dans la structure du pavillon et a été retenue pour cette raison.

c) Faces intérieures

Pour la fixation des sièges, deux types d'interface ont été étudiés. Le premier type, composé de supports fixés à la structure des faces et au plancher, est celui qui est le plus utilisé dans l'industrie. Le second, requis dans quelques nouvelles spécifications techniques, nécessite des sièges entièrement supportés en porte-à-faux à la structure des faces; pour cette raison, ce type d'interface a été retenu. De plus, en opposition au premier (avec supports), il réduit le nombre de points de fixation et offre un meilleur accès en-dessous des sièges pour l'entretien.

2.2.2 Paramètres de conception

Les paragraphes suivants résument les principaux paramètres de conception de la caisse prototype.

2.2.2.1 DIMENSIONS PRINCIPALES

	Caisse prototype (m)
• Longueur hors-tout aux faces des attelages	20,422
• Hauteur au-dessus du rail	
- du toit	3,696
- du plancher	1,178
- du centre de l'attelage	0,765
• Largeur	
- au niveau de la ceinture de la caisse	2,972
- au niveau du plancher	3,048
- au niveau du voussoir	2,743
• Distance entre les centres des bogies	14,326

•	Rayon minimum du rail	
-	horizontal/cour	38,100
-	horizontal/ligne	38,100
-	vertical	609,600
•	Dimensions des portes	
-	hauteur libre, porte de côté	1,905
-	hauteur libre, porte de bout	1,962
-	largeur libre, porte de côté	1,270
-	largeur libre, porte de bout	0,838
•	Dimensions des fenêtres	
-	hauteur libre, fenêtre de côté	0,864
-	hauteur libre, fenêtre de bout	à déterminer
-	largeur libre	à déterminer

2.2.2.2 GABARIT STATIQUE

La figure de la page suivante illustre le contour choisi pour la caisse prototype. Ce type de contour avec faces galbées est pour ainsi dire devenu un requis en Amérique du Nord. La forme arrondie des faces implique des coûts supplémentaires, mais en contrepartie, elle augmente les dégagements au niveau des coins supérieurs dans les courbes et tunnels. Par ailleurs, ces faces galbées confèrent une certaine élégance à la caisse.

2.2.2.3 CHARGES À SUPPORTER

1) Charges verticales (kg)

AW0:	Masse de la voiture à vide, sans bogie	20,400
AW1:	AW0 plus la masse des passagers assis	24,300
AW2:	AW1 plus la masse des passagers debout (4 passagers/m ²)	34,100

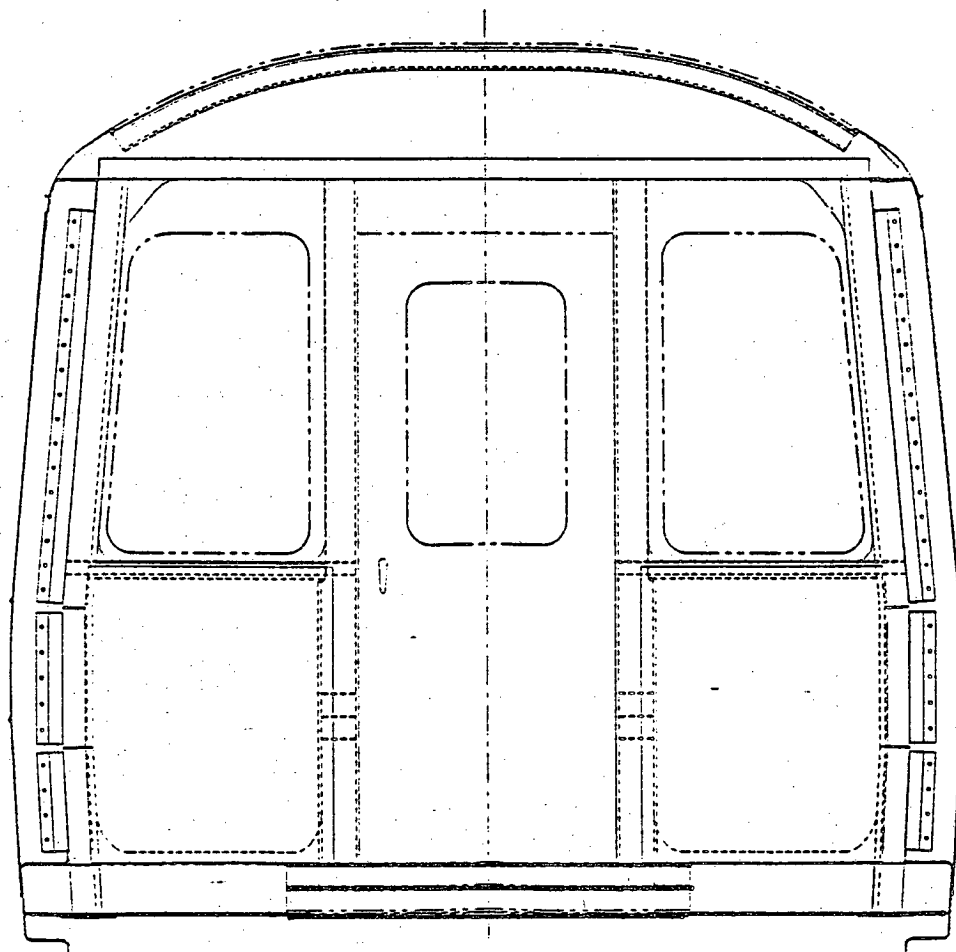


Figure 2.4 PROFIL DE LA CAISSE PROTOTYPE

AW3:	AW1 plus la masse des passagers debout (8 passagers/m ²)	43 800
W:	Masse des équipements attachés à la caisse	5 000
	Masse des deux bogies pour fins d'analyse	13 600

2) Chargements de compression

Ces chargements reflètent les exigences les plus sévères pour ce type d'application. Toutes les charges suivantes ont été appliquées simultanément, sauf:

- Verticalement (kg)
 - Charge due au poids de la caisse en service (AW0 ou AW3) x 2 40 000 ou 86 000
- Longitudinalement (daN)
 - À la poutre antichevauchement 222 500
 - À l'attelage 133 500
- Longitudinalement x 2 19 600

3) Charges aux poteaux de collision

(daN)

- Charge ultime de cisaillement au plancher (axes longitudinal et transversal) 133 500
- Charge longitudinale à la limite élastique (0,457 m) au-dessus du plancher 56 100

4) Charges aux poteaux de coin

(daN)

- Charge ultime de cisaillement au plancher (axe longitudinal ou transversal) 4

- Charge horizontale à la limite élastique (0,457 m) au-dessus du plancher (axe longitudinal ou transversal) 18 700

5) Charges combinées en opération

Toutes les charges suivantes ont été appliquées simultanément:

- Verticalement:
 - Poids + surcharge 1,3 x (AW0 ou AW3)
 - Équipement $(\pm 0,3) \times W$
- Longitudinalement:
 - À l'attelage 22 300 daN
 - En accélération/freinage $\pm 0,25 \times (AW0 \text{ ou } AW3)$
 - Avec équipements $\pm W$
- Latéralement:
 - Force centrifuge telle que le véhicule repose sur ses quatre roues extérieures en courbe
 - Équipements $\pm ,5W$

Les contraintes acceptées pour la caisse, dans ce cas, ne doivent pas excéder 50% de la limite élastique du matériau alors que, pour la traverse de pivot, elles ne doivent pas dépasser 40%.

6) Charges à l'interface caisse/bogie à la limite élastique (daN)

- Charge horizontale à la hauteur de l'essieu 66 820
- Charge latérale dans l'axe d'un essieu 11 140

7) Charges de levage

- Levage du bogie par la caisse AW0 + poids du bogie

Les contraintes dans les pièces du sous-châssis supportant le bogie ne doivent pas excéder 50% de la limite élastique et 75% pour les autres composants.

- Levage diagonal de la caisse sans bogie à 60% de la limite élastique AW0
- Levage à la poutre antichevauchement à la limite élastique 44 500 daN

8) Chargement statique sur le pavillon

Le pavillon a été conçu de façon à supporter sans déformation permanente trois travailleurs de 113 kg chacun et espacés de 0,76 m.

9) Résistance en cas de collision

La caisse a été conçue pour avoir une capacité maximale d'absorption d'énergie en cas de collision. Elle répond donc à la condition suivante:

- Lors d'une collision sur une voie droite, alors que les poutres antichevauchement sont engagées l'une dans l'autre, la déformation de la structure s'effectue progressivement à partir du bout.

2.2.2.4 MATÉRIAUX

Pour la structure de la caisse, deux types de matériaux ont été utilisés. Le tableau ci-dessous montre pour quelles parties de la caisse ces matériaux ont été utilisés.

Matériaux	Composants de la caisse
Acier inoxydable 301L	Sous-ensembles entiers: <ul style="list-style-type: none"> • du pavillon • des faces • du sous-châssis central Structures de bout: <ul style="list-style-type: none"> • tôles de revêtement • poutres antitélescopage
Acier à haute résistance HSLA 80	Structures de bout: <ul style="list-style-type: none"> • sous-châssis de bout • poteaux de coin et poteaux de collision

2.3 CONCEPTION DE LA CAISSE

2.3.1 Description générale

La caisse de type monocoque permet, de par sa structure, l'utilisation de tous les composants pour soutenir les charges. Les charges sont le poids de la caisse et de ses équipements, et la charge des passagers. Cette utilisation efficace de chaque composant donne à la caisse un poids minimum.

Les composants de la caisse sont en acier inoxydable sauf les structures de bout qui sont en acier à haute résistance. Ces aciers ont été choisis en fonction de leur haute résistance mécanique et de leur résistance à la corrosion. De plus, ils sont facilement soudables et compatibles avec l'acier inoxydable. L'assemblage des divers éléments de la caisse se fera principalement par soudage. Aux endroits inaccessibles, la liaison des pièces se fera par boulons.

La caisse est composée de six sous-ensembles principaux: le pavillon, les deux faces, les deux structures de bout et le sous-châssis central. L'arrangement général de la caisse est présenté à la figure 2.5 qui est jointe à la fin de la section 2. Les interfaces entre chaque composant ont été conçues pour permettre un ajustement facile de la longueur et de la largeur de la caisse. Il est essentiel que ces ajustements soient faciles non seulement pour répondre à l'objectif de longueur et de largeur ajustables de la caisse, mais aussi pour assurer un meilleur contrôle des tolérances de la fabrication.

2.3.2 Description des sous-ensembles

2.3.2.1 PAVILLON

Le pavillon se compose de traverses, de tôles cannelées en sa partie centrale et de tôles unies sur les côtés. Chacune des extrémités du pavillon est ouverte pour recevoir les unités monoblocs de climatisation. La résistance structurale de ces ouvertures est assurée par des raidisseurs et des renforts de tôle qui bordent l'ouverture. Les traverses en forme de "Z" seront formées par étirage. Advenant le cas où l'ajustement de la largeur soit nécessaire, il sera réalisé en variant la longueur des traverses et la largeur du revêtement.

2.3.2.2 FACES

Les faces sont composées des pièces suivantes:

- brancards (partie inférieure de la face),
- voussoirs (partie supérieure de la face),
- montants principaux aux portes et fenêtres,
- revêtements plats dans la partie supérieure,
- revêtements cannelés dans la partie inférieure,
- raidisseurs et plaques de renforcement.

Les brancards, les voussoirs et les montants ont des formes roulées. Le procédé d'étirage a aussi été utilisé pour réaliser la courbure des montants.

Les montants et les raidisseurs longitudinaux au-dessous des fenêtres ont été conçus afin de permettre que les sièges soient supportés par un pied ou qu'ils soient en porte-à-faux.

2.3.2.3 STRUCTURE DE BOUT

La structure de bout est constituée de deux groupes de composants. Le premier est composé de deux poteaux de collision, de deux poteaux de coin, d'une poutre anti-télescopage au niveau du pavillon et de tôles unies qui, pour des besoins esthétiques, pourront être recouvertes de panneaux de fibre de verre. Le deuxième groupe est constitué de la traverse de pivot, de deux brancards intérieurs, d'une poutre de traction, des traverses du plancher, des tôles du sous-châssis, d'une traverse de bout et d'une poutre antichevauchement.

La structure de bout de la caisse protège l'habitacle des passagers advenant une collision. En cas de collision au niveau du plancher, ce groupe de composants absorbera l'impact et transmettra les charges aux faces et au pavillon. Les chargements statiques et dynamiques résultant des mouvements verticaux, latéraux et longitudinaux de la caisse seront, quant à eux, transmis au bogie.

2.3.2.4 SOUS-CHÂSSIS CENTRAL

Le sous-châssis central situé entre les structures de bout est constitué des traverses du plancher et des tôles du sous-châssis. Il recevra les panneaux du plancher et les feuilles d'isolant. Les traverses supporteront le poids des passagers et celui des équipements suspendus sous la caisse.

Pour plus de simplicité, les traverses seront identiques et toutes placées à la même hauteur. Selon la position des points d'attache des équipements, elles pourront être déplacées pour en accommoder le montage contribuant ainsi à la polyvalence du design.

2.3.3 Caisse

La figure de la page suivante montre la caisse assemblée avec les noms de chacune de ses pièces principales. Sur cette figure, le revêtement est partiel afin de mieux illustrer la structure de caisse. Les feuilles d'acier qui recouvrent l'ossature servent aussi de pièces structurales.

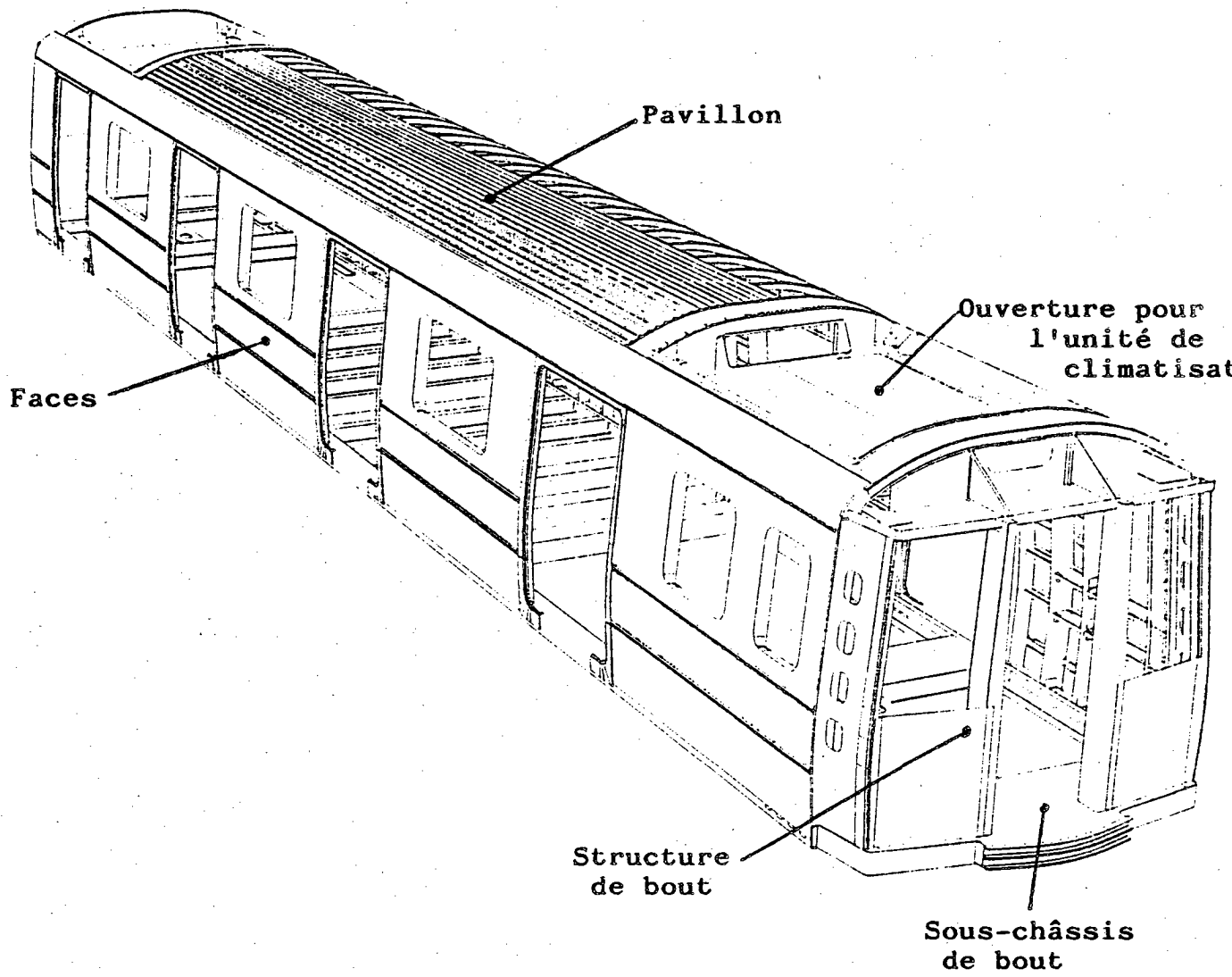


Figure 2.5 CAISSE ASSEMBLEE

SECTION 3

ANALYSE STRUCTURALE

3.1 INTRODUCTION

3.1.1 Buts

L'analyse structurale permet de vérifier si la structure de la caisse résistera adéquatement à toutes les charges conformément aux principaux critères de chargement présentés à la section 2.2.2.3. Elle sert également à repérer les composants de la structure qui sont trop sollicités et ceux qui sont surdimensionnés. Ces derniers peuvent alors être modifiés, diminuant d'autant le poids de la caisse.

3.1.2 Méthode

L'analyse structurale débute lorsque la conception préliminaire de la caisse est très avancée. Les analyses continuent jusqu'à la fin des essais structuraux, où s'effectue la validation du modèle mathématique utilisé pour les calculs.

Les analyses se divisent en trois groupes:

- les analyses statiques,
- les analyses de fatigue,
- l'analyse modale.

Ces analyses servent de guide pour valider notre concept et ont été reprises lorsque l'ingénierie de détails a été complétée pour permettre de simuler le comportement de la caisse durant les essais de compression.

a) ANALYSE STATIQUE

L'analyse statique a été effectuée en utilisant le programme d'éléments finis "ANSYS" de "Swanson Analysis System". Ce logiciel est très utilisé et est reconnu par les diverses régies de transport ferroviaire d'Amérique et même par quelques régies d'Europe. Le modèle d'analyse simulait une demi-caisse et était constitué d'un assemblage d'éléments finis, de poutres, de barres et de plaques. Il est présenté à la figure 3.1.

b) ANALYSE DE FATIGUE

L'analyse de fatigue se base sur les critères de l'AAR pour les voitures de marchandises.

Les résultats de l'analyse statique, pour le chargement vertical à charge maximale, ont été utilisés pour calculer la vie en fatigue de la caisse.

c) ANALYSE MODALE

La rigidité de la caisse a été vérifiée par analyse modale sur un modèle simplifié de la caisse. Pour cette analyse, le programme "ANSYS" et une version modifiée du modèle de l'analyse statique ont été utilisés (figures 3.2 et 3.3).

Les résultats provenant de ces calculs n'assurent pas à 100% que la caisse pourra résister adéquatement aux divers chargements. Les essais structuraux sont essentiels pour homologuer le design de la caisse.

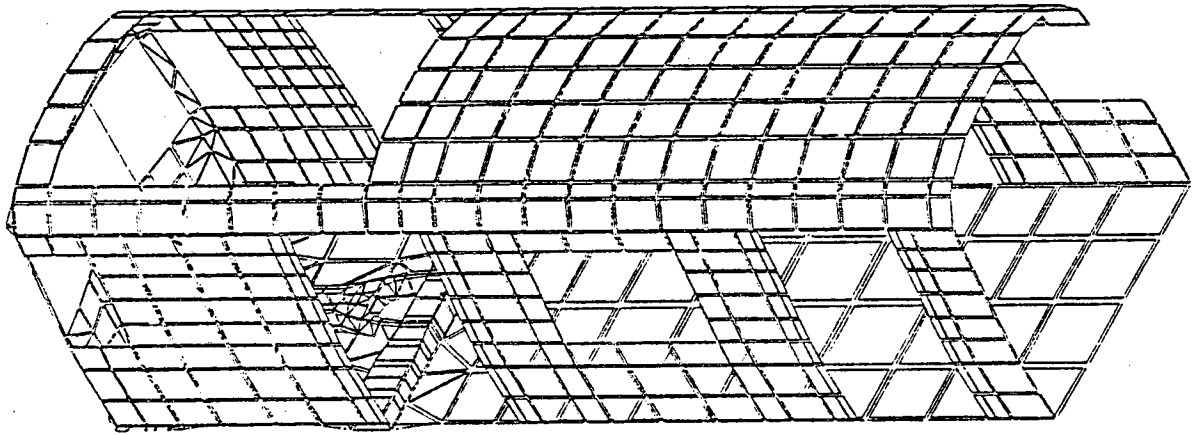


Figure 3.1 MODÈLE UTILISÉ POUR EFFECTUER LES ANALYSES

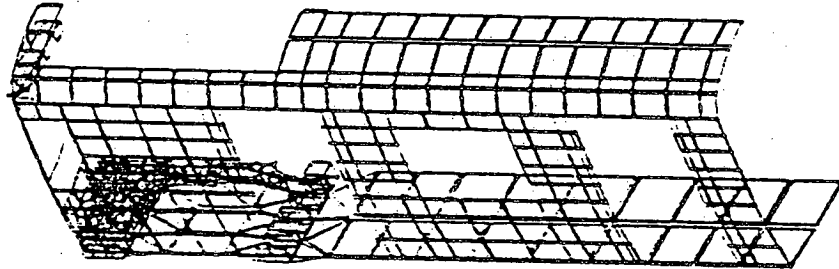


Figure 3.2 MODELE UTILISE POUR L'ANALYSE MODALE

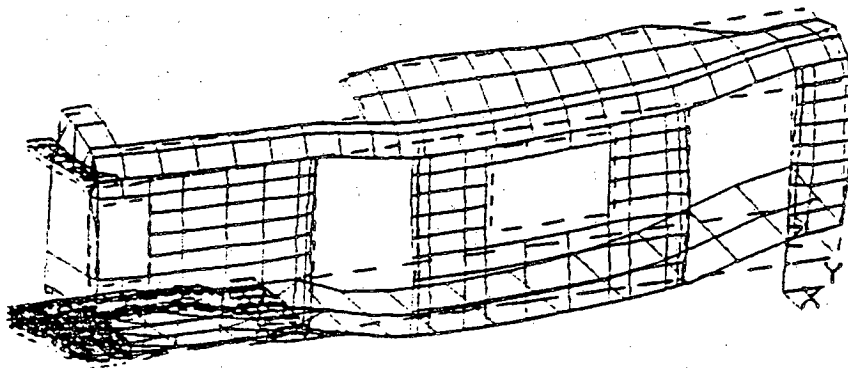


Figure 3.3 1er MODE DE VIBRATION

3.2 REQUIS

Les requis de chargement ont été précédemment définis (section 2). Généralement, ils comprennent les chargements verticaux, latéraux et longitudinaux ainsi que les charges de torsion qui surviennent lorsque les voitures roulent sur une section de voie vrillée ou, plus particulièrement lors de certaines opérations d'entretien, lorsqu'un seul coin de la voiture est soulevé.

Les types de charges rencontrés sont:

- | | |
|--------------------------------|---|
| a) les charges statiques | poids de la caisse
poids des équipements
charges de collision |
| b) les charges quasi-statiques | poids des passagers
torsion |
| c) les charges dynamiques | oscillations de la caisse ou de ses parties dues au roulement sur les rails |

Les types b) et c) ont été retenus pour les analyses de fatigue.

La caisse doit survivre, sans défaillance structurale, à tous ces types de chargement pour une période pouvant s'étendre jusqu'à 30 ans.

3.3 ANALYSES STATIQUES

Les résultats des analyses doivent démontrer que les niveaux des contraintes calculés pour la caisse ne dépassent pas 40% de la limite ultime du matériau ou 50% de la limite de flambage pour les membrures soumises à des charges de compression.

3.3.1 Propriétés mécaniques

	Capacité ultime (min.)	Limite élastique (min.)
Acier inoxydable 301L	840 N/mm ² (121 800 psi)	520 N/mm ² (75 400 psi)
Acier HSLA 80	660 N/mm ² (95 700 psi)	590 N/mm ² (85 500 psi)

3.3.2 Résultats

Les résultats de cette analyse, pour chacun des principaux sous-ensembles de la caisse, sont exposés dans les tableaux 3.1 à 3.4; s'y trouvent aussi:

- le composant le plus sollicité,
- les contraintes calculées,
- les marges de sécurité.

Tableau 3.1

Sommaire des résultats de l'analyse statique

Sous-ensemble:		Faces		
Critère de chargement le plus critique:		Charges combinées en opération		
Composant le plus sollicité:		Région de la porte de côté, au bout de la caisse		
Composants	Repères Fig. 3.4 & 3.5	Contraintes calculées	N/mm ² permises	Marges de sécurité
Montant de la porte	1	- 182,00	- 223,00	+ 0,22
Voussoir	2	- 307,00	- 260,00	- 0,15
Brancard	3	- 238,00	- 245,00	+ 0,03
Traverse de pivot	8	- 262,00	- 230,00	- 0,12
Poteau de collision	6	- 203,00	- 187,00	- 0,08
Tôle de revêtement	5	- 145,00	- 158,00	+ 0,08

Tableau 3.1 (suite)

Sommaire des résultats de l'analyse statique

Sous-ensemble:		Faces		
Critère de chargement le plus critique:		Charges combinées en opération		
Composants les plus sollicités:		Montants de fenêtres, raidisseurs et tôles de revêtement		
Composants	Repères Fig. 3.4	Contraintes calculées	N/mm ² permises	Marges de sécurité
Raidisseur longitudinal	4	+ 138,00	+ 260,00	+ 0,88
Tôle de revêtement	5	+ 56,00 ¹	+ 76,00 ¹	+ 0,36

Tableau 3.2

Sommaire des résultats de l'analyse statique

Sous-ensemble:		Structure de bout		
Critère de chargement le plus critique:		Charges aux poteaux de collision		
Composant le plus sollicité:		Poteaux de collision		
Composants	Repères Fig. 3.4	Contraintes calculées	N/mm ² permises	Marges de sécurité
Poteaux de collision	6	- 446,00	- 511,00	+ 0,14

¹ Contrainte maximale en cisaillement

Tableau 3.3

Sommaire des résultats de l'analyse statique

Sous-ensemble:	Structure de bout
Critère de chargement le plus critique:	Charges de compression
Composants les plus sollicités:	Poutre de traction, traverse de pivot, poutre antichevauchement, traverse de bout

Composants	Repères Fig. 3.5	Contraintes calculées	N/mm ² permises	Marges de sécurité
Charges de compression à l'attelage				
Poutre de traction	7	+ 672,00	+ 590,00	- 0,12
Traverse de pivot	8	+ 442,00	+ 590,00	+ 0,33
Charges de compression à la poutre antichevauchement				
Poutre antichevauchement	9	- 603,00	+ 590,00	- 0,02
Traverse de bout:				
• plaque supérieure	10	- 402,00	- 590,00	+ 0,46
• plaque inférieure	11	- 584,00	- 590,00	+ 0,01

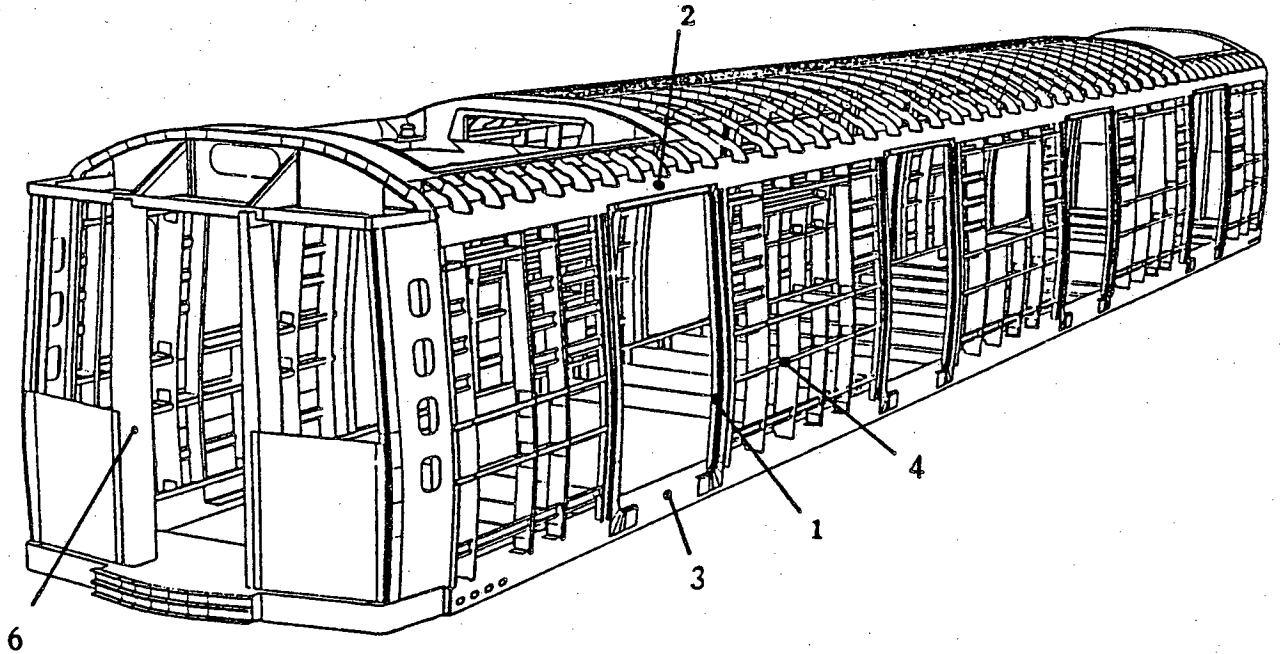
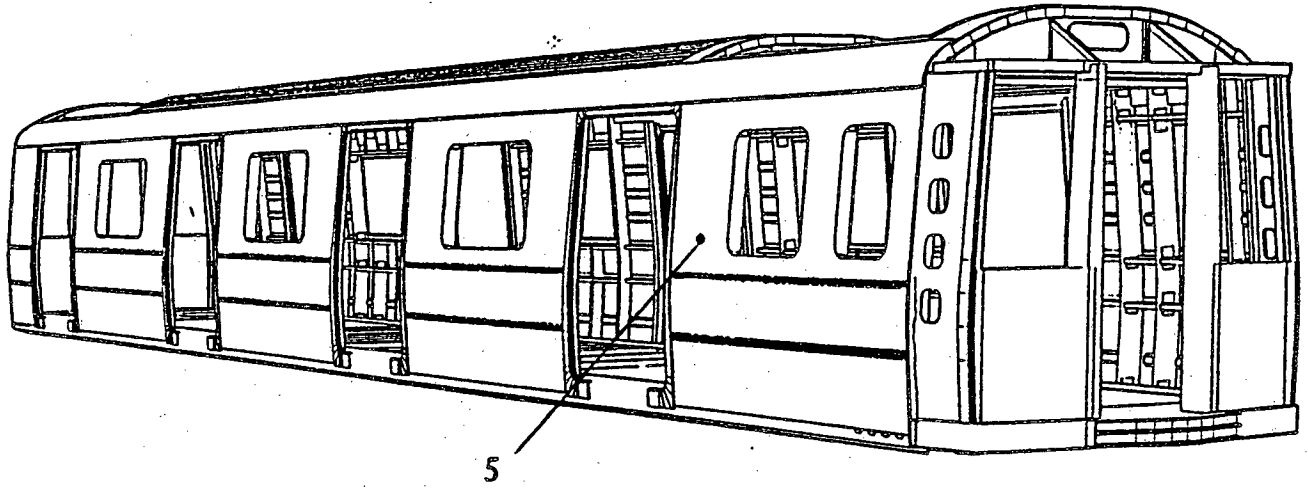


Figure 3.4 REPERES

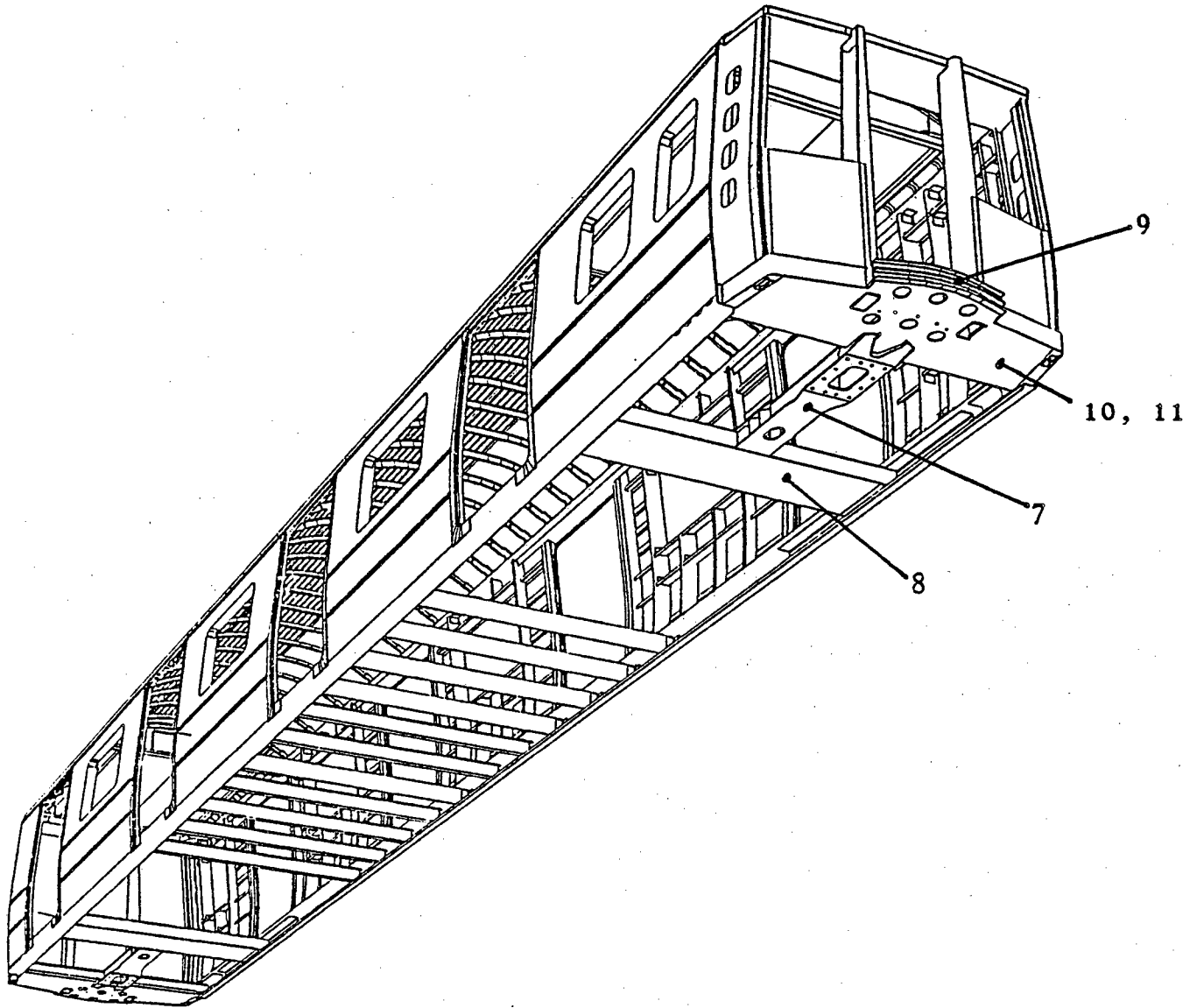


Figure 3.5 REPERES

Tableau 3.4

Sommaire des résultats de l'analyse statique

Sous-ensemble:	Structure de bout du sous-châssis
Charge verticale à AW3 critique:	Charges combinées en opération
Composant le plus sollicité:	Traverse de pivot

Composants	Repères Fig. 3.5	Contraintes calculées	N/mm ² permises	Marges de sécurité
Traverse de pivot	8	- 229,00	- 235,00	+ 0,03

3.4 ANALYSE DE FATIGUE

L'analyse de fatigue a été effectuée suivant les directives de l'AAR pour les voitures de marchandises. En utilisant les classifications énoncées par l'AAR, les divers composants de la caisse ont été divisés en deux principaux groupes. Ils sont définis à partir des types de soudure utilisés pour lier les composants. Ainsi, les composants liés par des soudures par points, en bouchon ou en entaille, forment le premier groupe; le deuxième englobe les soudures sur chanfreins et les soudures d'angle.

3.4.1 Contraintes maximum et minimum

Pour fins de calculs en fatigue, les contraintes maximum et minimum ont été calculées à partir des résultats de l'analyse statique sous le chargement vertical AW3. Elles correspondent respectivement à 115% et 85% de la contrainte existante sous le chargement AW3. Les valeurs pour les composants les plus sollicités de la caisse sont résumées ci-dessous.

Composants	Contraintes (N/mm ²)	
	maximales	minimales
1) brancard région de porte	+ 104,00	+ 77,00
2) traverses de pivot	+ 214,00	+ 158,00

3.4.2 Limite d'endurance permise (Se)

La limite d'endurance permise correspond à la contrainte maximale qui produit une rupture en fatigue pour une durée de vie équivalente à deux millions de cycles.

$$S_e = \sqrt[b]{1 - mR}$$

où : b = la limite d'endurance lorsque la valeur de R = 0; la valeur de "b" varie selon les classifications de détails et les propriétés des matériaux.

m = la pente du diagramme de "Goodman".

$$R = \sqrt{\frac{\text{contrainte minimale}}{\text{contrainte maximale}}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,85}{1,15}} = + 0,74 \text{ pour tous les composants de la caisse}$$

Les limites d'endurance permises sont résumées ci-dessous:

Composants	b N/mm ²	m -	Se N/mm ²
1) brancard	47,00	0,96	+ 162,00
2) traverses de pivot	85,00	1,0	+ 327,00

Marges de sécurité (M.S.)

$$\text{Pour le brancard:} \quad \text{M.S.} = \sqrt{(162,104) - 1} = + 0,55$$

$$\text{Pour la traverse de pivot:} \quad \text{M.S.} = \sqrt{(327,214) - 1} = + 0,52$$

3.5 ANALYSE MODALE

Grâce à l'analyse modale, il est possible de vérifier la fréquence de flexion verticale de la caisse de manière à pouvoir durant les phases subséquentes à la conception, syntoniser les suspensions des bogies pour obtenir un niveau de confort maximum. Pour la caisse prototype, un modèle par éléments finis d'une face du véhicule à quatre portes a été généré. L'analyse modale a déterminé la fréquence naturelle d'un tel véhicule à AW0 à moins de 8 Hz. Ceci indique que la rigidité des faces devra être améliorée pour augmenter la fréquence naturelle de flexion verticale de la caisse (réf. 2). Toutefois, puisque les contraintes et déflexions calculées en fonction des charges verticales semblent correctes, l'attente des résultats des mesures de fréquences s'impose avant d'effectuer quelques modifications.

3.6 OPTIMISATION GLOBALE DU DESIGN

L'optimisation du design de la caisse se fait pour trois principales raisons:

- "Ajuster" les niveaux des contraintes jusqu'à l'obtention de marges de sécurité adéquates sans être trop élevées.
- Réduire les coûts de production:
 - a) en augmentant l'accessibilité,
 - b) en réduisant le nombre de pièces,
 - c) en diminuant la complexité des pièces.
- Réduire le poids de la caisse à son minimum.

Dans le cas des projets de développement, cet exercice est fait au minimum deux fois soit, une fois la conception terminée et à la fin des essais structuraux. Dans le cas d'un contrat, les contraintes de temps limitent souvent le nombre de "boucles" d'optimisation.

Pour la caisse prototype, nous avons, suite à la conception, modifié les parties suivantes:

- la traverse de pivot,
- la poutre de traction,
- la jonction entre la poutre de traction et la traverse de bout,
- la poutre antichevauchement,
- la plaque antitéléscopage,
- les poteaux de collision des coins,
- le voussoir,
- la largeur et la hauteur des portes,
- les attaches de traverse du pavillon,
- les ouvertures du pavillon recevant les unités monoblocs de climatisation.

L'ensemble de ces changements nous a permis de gagner environ 400 kg soit 5% du poids de la caisse.

SECTION 4

OUTILLAGE

4.1 INTRODUCTION

Dans le but de répondre aux besoins changeants des différentes régions qui, de plus en plus, veulent des voitures fabriquées suivant leurs normes, il faut avoir des pièces d'outillage d'une grande polyvalence. Ces outillages polyvalents peuvent, suite à des ajustements mineurs, servir à fabriquer et à assembler des pièces ou des sous-ensembles de différentes dimensions.

Dans le cadre de ce projet de développement, nous avons choisi de concevoir et de fabriquer des pièces d'outillage afin de pouvoir assembler des caisses de métro de dimensions diverses tant en longueur (19,80 m à 22,86 m) qu'en largeur et même en hauteur. Cette approche permettra de réduire les coûts de production et augmentera la productivité.

4.2 TYPES D'OUTILLAGE

4.2.1 Pièces primaires

Le premier type d'outillage sert à préparer les pièces primaires (ex.: traverses, poteaux, plaques, etc.). Les outils généralement utilisés pour ce faire se classent en quatre catégories:

- Les machines à couper
 - scies à ruban
 - oxycoupeuses
 - coupeuses au plasma
- Les machines à percer
 - perceuses
 - poinçonneuses
- Les machines à former
 - poinçons et matrices
 - rouleaux
- Les machines à plier
 - rouleaux
 - presses hydrauliques

Les outils sont choisis en fonction du matériau et de la forme finale requise pour chacune des pièces primaires.

4.2.2 Sous-ensembles

Le deuxième type d'outillage comprend les mannequins d'assemblage et les machines à souder. Ces pièces d'outillage sont utilisées pour joindre les pièces primaires et ainsi former les sous-ensembles.

À la figure 4.1 de la page suivante, est présentée une soudeuse par points conçue spécialement pour joindre les poteaux de face au voussoir et au brancard.

La figure 4.2 montre le schéma d'un mannequin qui est utilisé pour assembler les modules composant les faces de la caisse.

La figure 4.3 représente une photo du mannequin utilisé pour la fabrication de la poutre de bout.

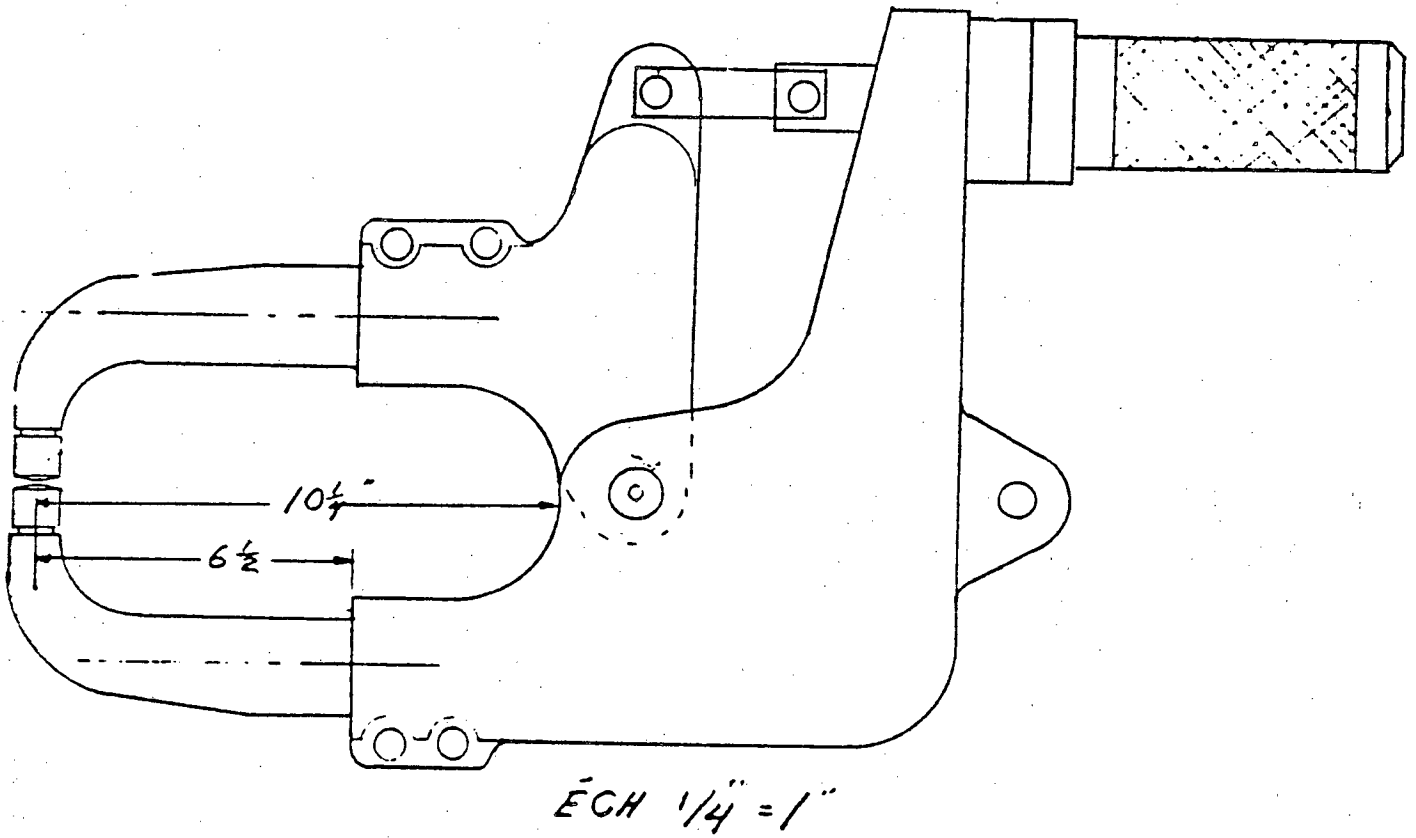
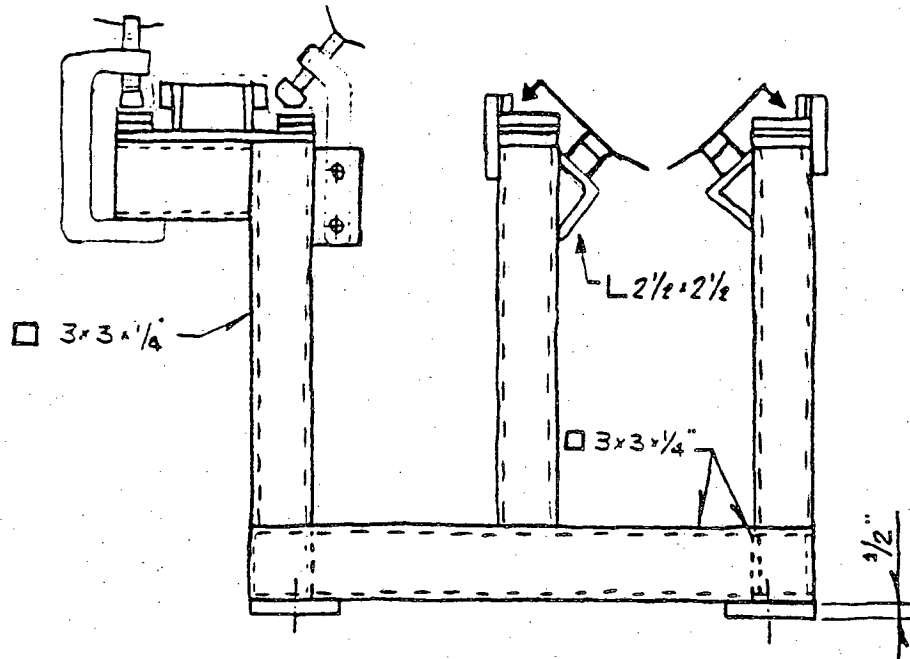


Figure 4.1 SOUDEUSE PAR POINTS

MODULE INTERCHANGEABLE (face droite)



SECTION "A-A"

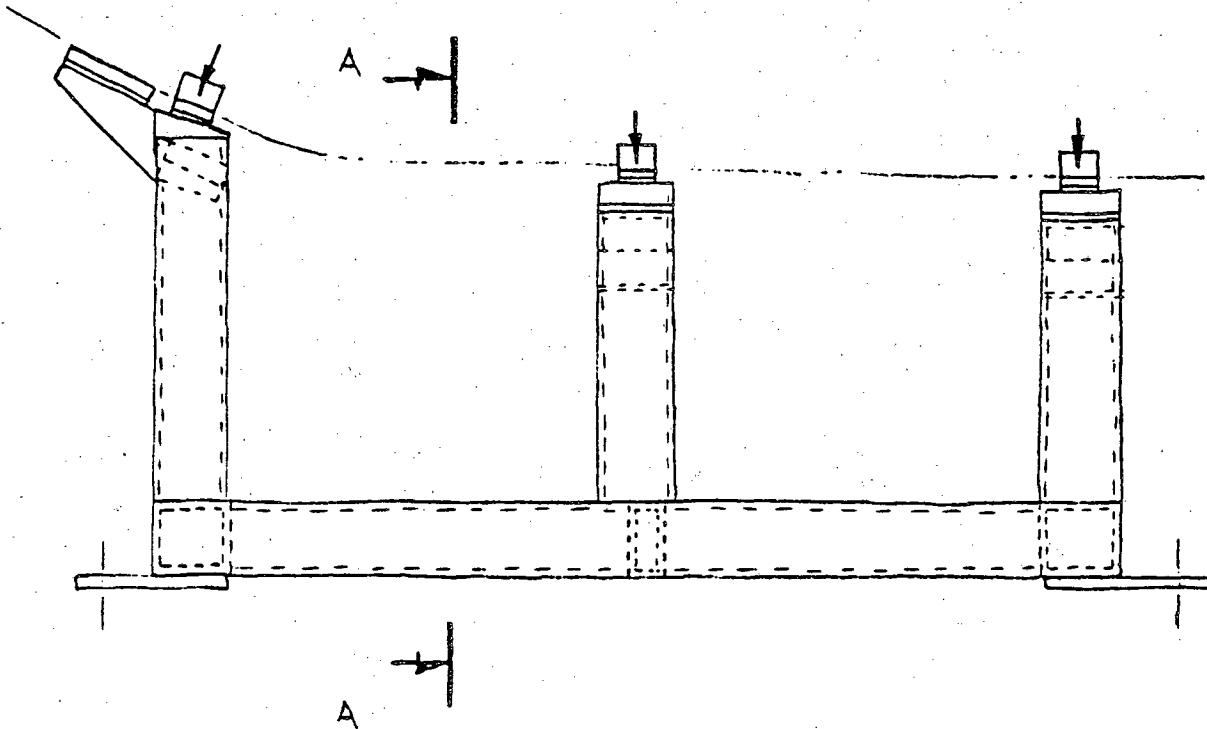


Figure 4.2 MANNEQUIN POUR MODULE DE FACE

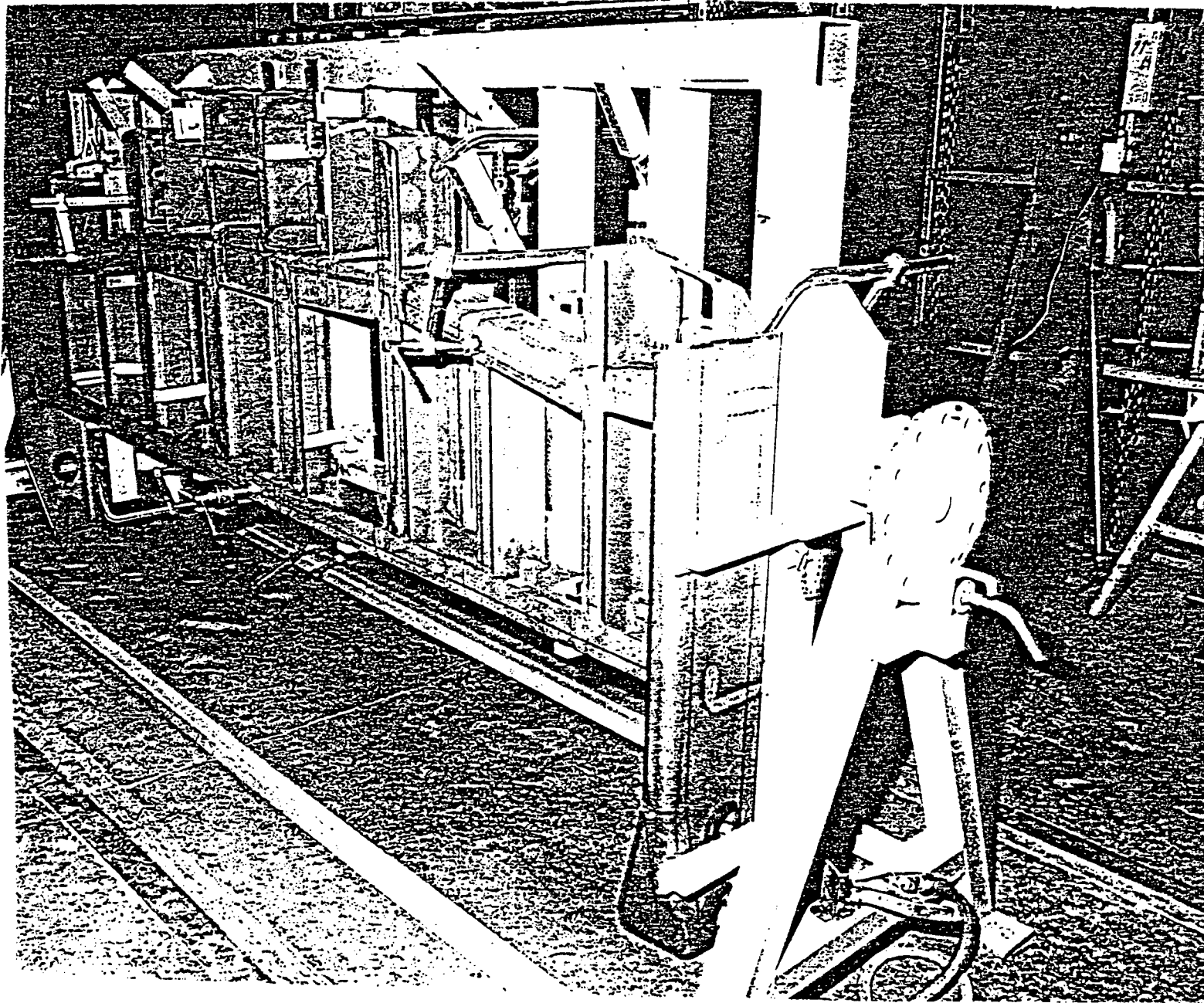


Figure 4.3 MANNEQUIN POUR LA FABRICATION DE LA POUTRE DE BOUT

4.2.3 Sous-ensembles primaires

Les sous-ensembles primaires comprennent le pavillon, les faces, les structures de plancher et de bout et le sous-plancher. C'est surtout pour ce groupe de sous-ensembles que l'outillage doit être le plus polyvalent possible, puisque les changements de géométrie requis par les clients (position des portes et fenêtres) les concernent.

4.2.4 Ensemble caisse

La jonction des sous-ensembles primaires ne nécessite pas de mannequin puisque les deux faces sont jointes aux sous-châssis de bout eux-mêmes retenus par des bancs.

4.3 CONCEPTION ET FABRICATION

La grande majorité des mannequins et pièces d'outillage est conçue et fabriquée à l'usine de La Pocatière. Toutefois, il arrive que certains outils, comme les poinçons et matrices ou encore les pièces d'outillage comportant des pièces motorisées, soient conçus et fabriqués par des fournisseurs spécialisés.

Quant aux pièces d'outillage qui servent à rouler ou à étirer, elles sont habituellement toutes conçues et fabriquées par des fournisseurs spécialisés dans la production de pièces roulées ou étirées.

4.4 ESSAIS ET OPTIMISATION

Toutes les pièces sont essayées et sujettes à de légères modifications pour en augmenter l'efficacité. Généralement, ces modifications sont faites suite aux commentaires et suggestions des ouvriers.

SECTION 5

FABRICATION ET ASSEMBLAGE

5.1 APPROVISIONNEMENT

5.1.1 Introduction

Les matériaux de base utilisés pour la caisse prototype sont l'acier inoxydable 301L et le HSLA 80. Ce dernier sert surtout à la fabrication des sous-châssis de bout de caisse. L'acier inoxydable, disponible en plusieurs épaisseurs, est travaillé chez les fournisseurs spécialisés dans le roulage, l'étirage et le pliage à froid.

Les diverses commandes se réalisent à partir d'un dessin qui fait état de la forme et des dimensions des pièces, de même que de documents indiquant le nombre de pièces, le prix, les délais de livraison, etc.

Pour la caisse prototype, les fournisseurs ont été:

IPSCO	Saskatoon, Saskatchewan	HSLA 80
ALTAS STEEL	Tracy, Québec	Acier inoxydable 301L
CMRM	Toronto, Ontario	Pièces roulées à froid
CYRIL BATH	Caroline du Sud, États-Unis	Pièces étirées et pliées à froid

5.1.2 Difficultés d'approvisionnement

La principale difficulté a été d'obtenir de petites quantités pour plusieurs épaisseurs de métal. Habituellement, les fournisseurs d'acier sont intéressés si la quantité demandée est égale ou supérieure à ce qu'ils produisent dans une coulée soit de 20 à 50 tonnes.

Ces quantités dépassent de beaucoup nos besoins pour le projet, puisque la quantité d'acier HSLA utilisée pour une caisse est d'environ quatre tonnes en incluant les pertes dues au découpage.

Pour l'acier inoxydable, notre fournisseur, Atlas Steel, utilise un procédé de coulage en continu ce qui a permis de réduire les quantités à 5000 lb minimum pour chacune des épaisseurs.

5.2 PIÈCES PRIMAIRES

Les pièces primaires peuvent être divisées en deux groupes soit celles fabriquées par Bombardier et celles obtenues chez des fournisseurs spécialisés. Les feuilles d'acier inoxydable qui sont roulées, pliées et étirées à froid le sont donc chez des fournisseurs spécialisés en la matière. Parmi ces pièces, notons: les brancards, voussoirs, traverses de plancher, traverses de pavillon et poteaux des faces. Toutes les autres pièces sont fabriquées à notre usine de La Pocatière.

La figure 5.1 détaille les principales pièces primaires qui composent la caisse. Ne se retrouvent pas sur cette figure, les tôles recouvrant les faces et le pavillon.

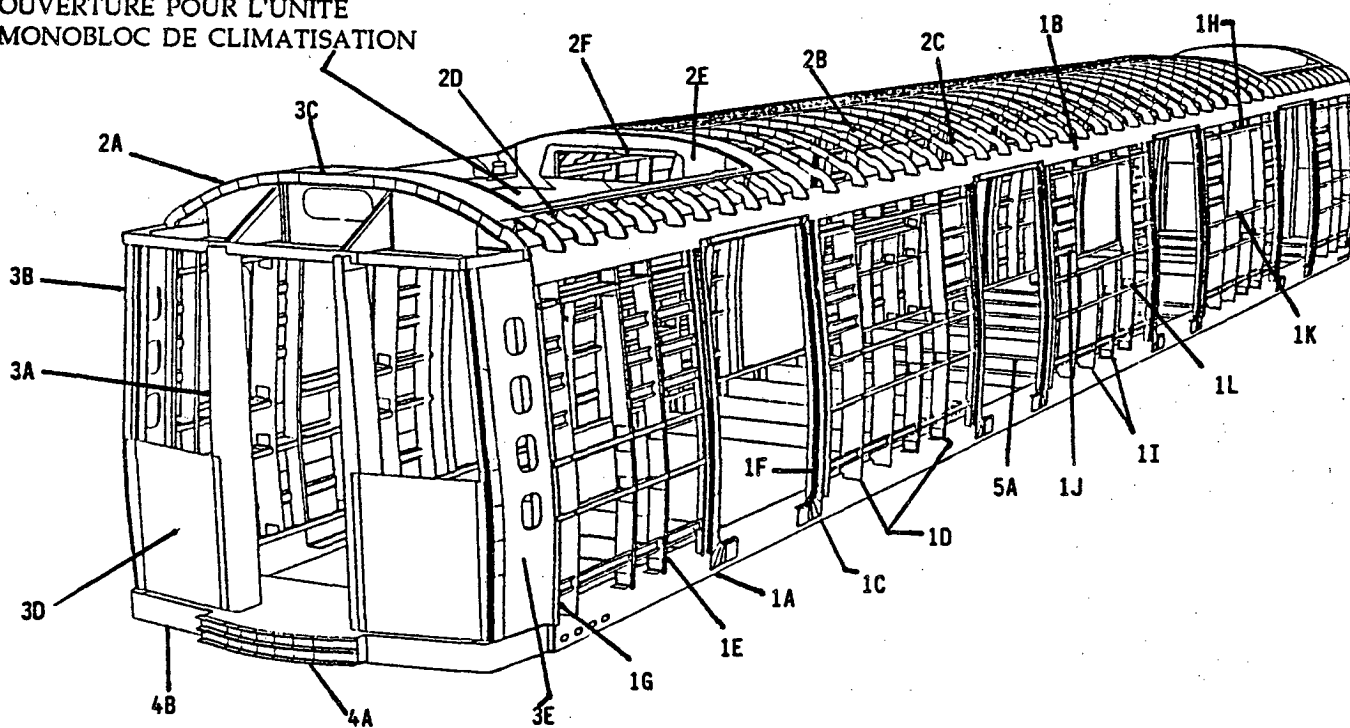
1. STRUCTURE DE FACE

A	BRANCARD
B	VOUSSOIR
C	GARNITURE DE PORTE
D)	MONTANT DE FENÊTRE
E)	MONTANT INTERMÉDIAIRE
F)	MONTANT DE PORTE
G)	DEMI-MONTANT SUPÉRIEUR
H)	DEMI-MONTANT INFÉRIEUR
D	RAIDISSEUR DE TÔLE DE REVÊTEMENT
J)	RAIDISSEUR DE FENÊTRE
K)	RAIDISSEUR DE CEINTURE

2. STRUCTURE DE PAVILLON

A)	TRaverse DE BOUT
B)	TRaverse INTERMÉDIAIRE
C)	ATTACHE DE TRaverse
D)	LONGERON
E)	CLOISON DE BOUT
F)	CONDUIT DE VENTILATION

OUVERTURE POUR L'UNITÉ
MONOBLOC DE CLIMATISATION



3. STRUCTURE DE BOUT

A	POTEAU DE COLLISION
B)	POTEAU DE COIN
C	STRUCTURE ANTITÉLÉSCOPAGE
D)	PANNEAU DE CISAILLEMENT AVANT
E)	PANNEAU DE CISAILLEMENT LATÉRAL

4. STRUCTURE SOUS-CHÂSSIS

A	POUTRE ANTICHEVAUchement
B)	TRaverse DE BOUT

5. STRUCTURE SOUS-CHÂSSIS CENTRAL

A	TRaverse
---	----------

Figure 5.1

NOMENCLATURE DU CHAUDRON
(pièces primaires)

5.3 SOUS-ENSEMBLES PRIMAIRES

Les pièces primaires qui sont jointes par soudure à d'autres pièces sont assemblées pour former les sous-ensembles primaires qui sont:

- les faces,
- le pavillon,
- les sous-châssis et les structures de bout,
- le sous-châssis central (traverses seulement).

Les figures 5.2 et 5.3 montrent respectivement le châssis de bout de la caisse et l'assemblage d'une des faces.

5.4 ASSEMBLAGE DE LA CAISSE

Cette activité consiste à lier les sous-ensembles énumérés au paragraphe précédent, par soudure par points ou par soudure à l'arc.

L'assemblage de la caisse a été grandement simplifié grâce à la CAO en modèle solide: il a été possible d'éviter tout problème d'interface entre les sous-ensembles principaux ce qui n'est pas toujours le cas lorsque les dessins sont faits en deux dimensions (table à dessin, logiciel/dessin 2D). De plus, le poids calculé par l'ordinateur (logiciel Euclid) était à un peu plus de 1% supérieur au poids réel de la caisse. Ce logiciel de conception est donc un outil important pour évaluer le poids durant la phase conception.

La caisse prototype complète est illustrée à l'aide d'un dessin à la figure 5.4 jointe à la page 5.7.

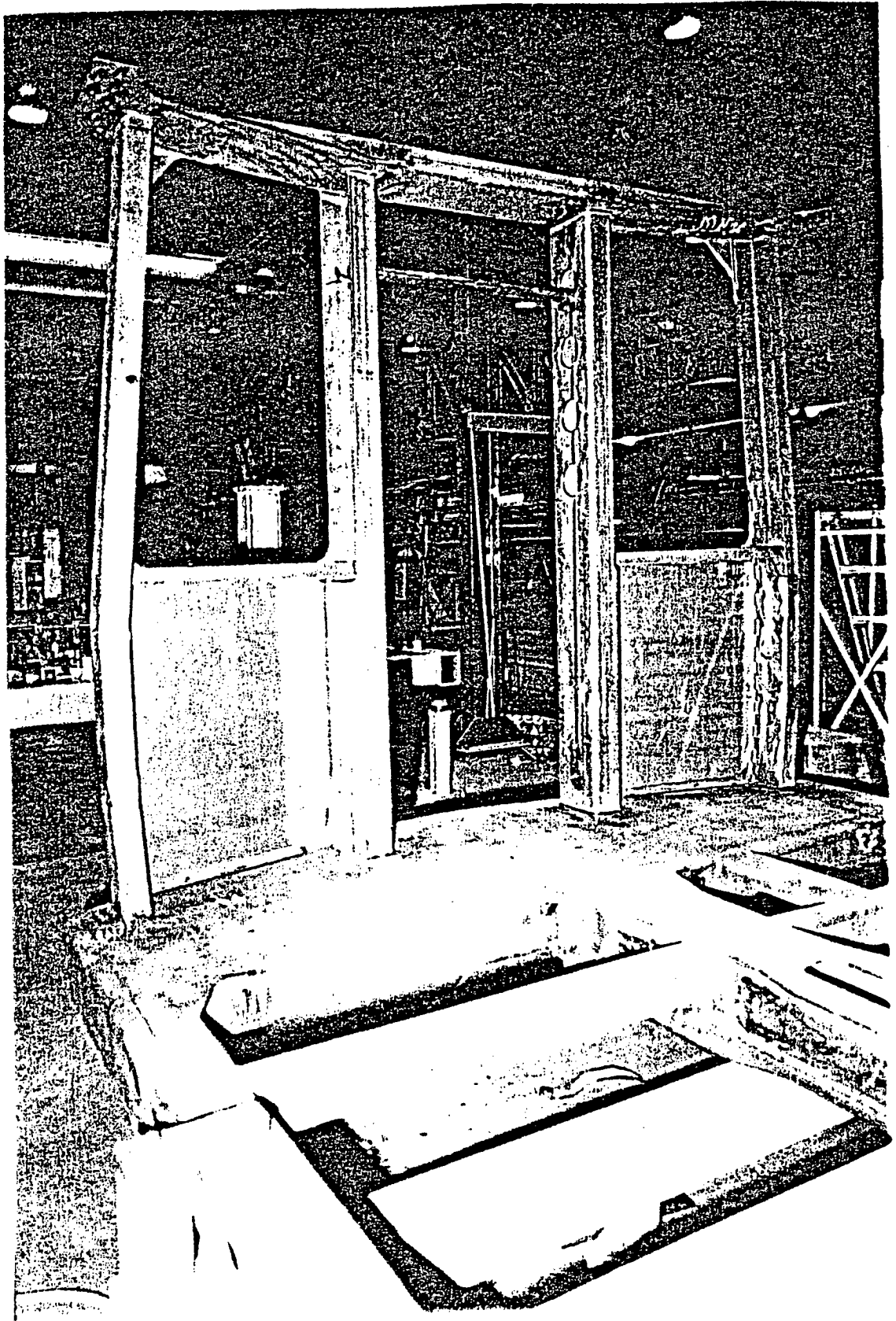


Figure 5.2 CHASSIS DE BOUT

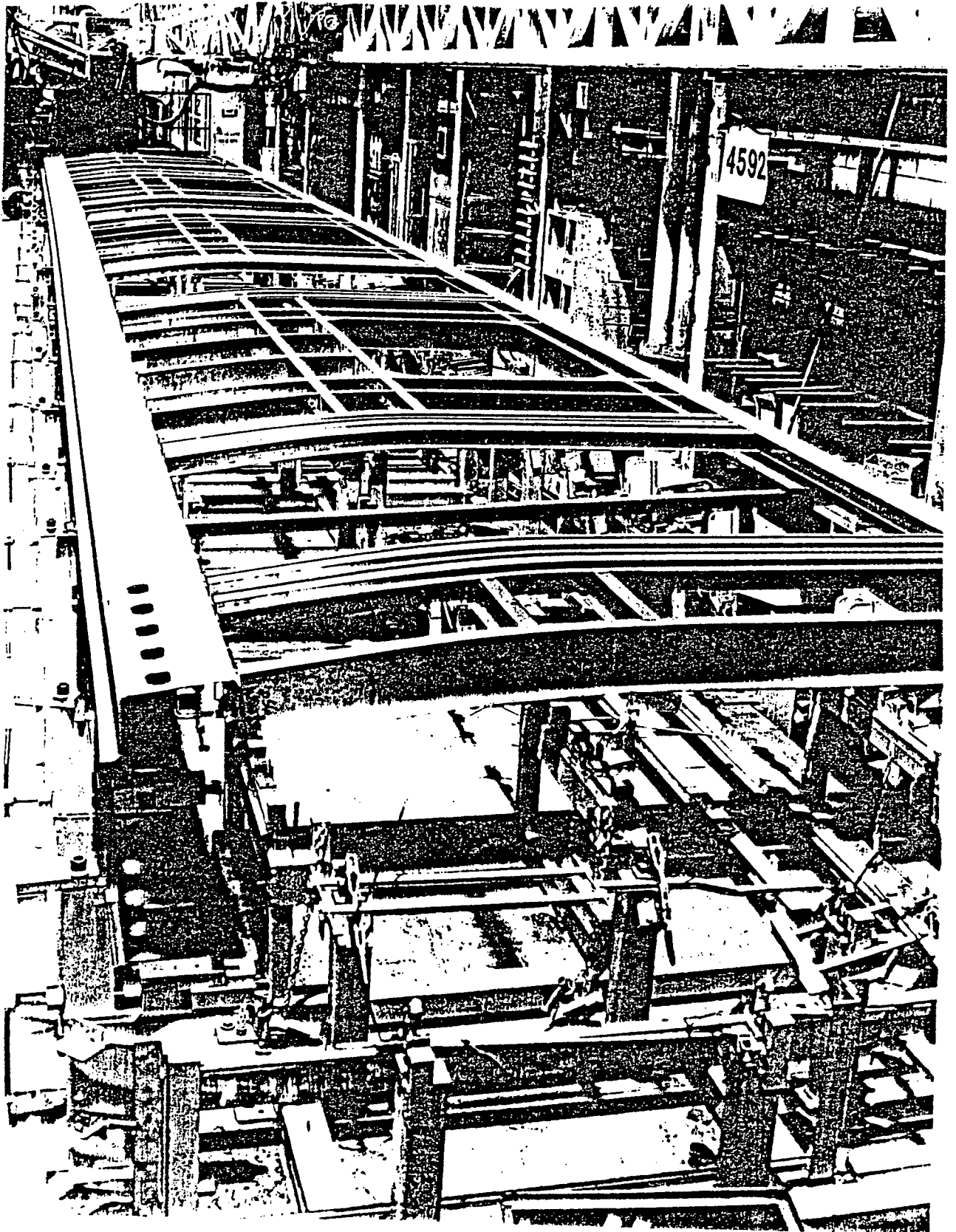


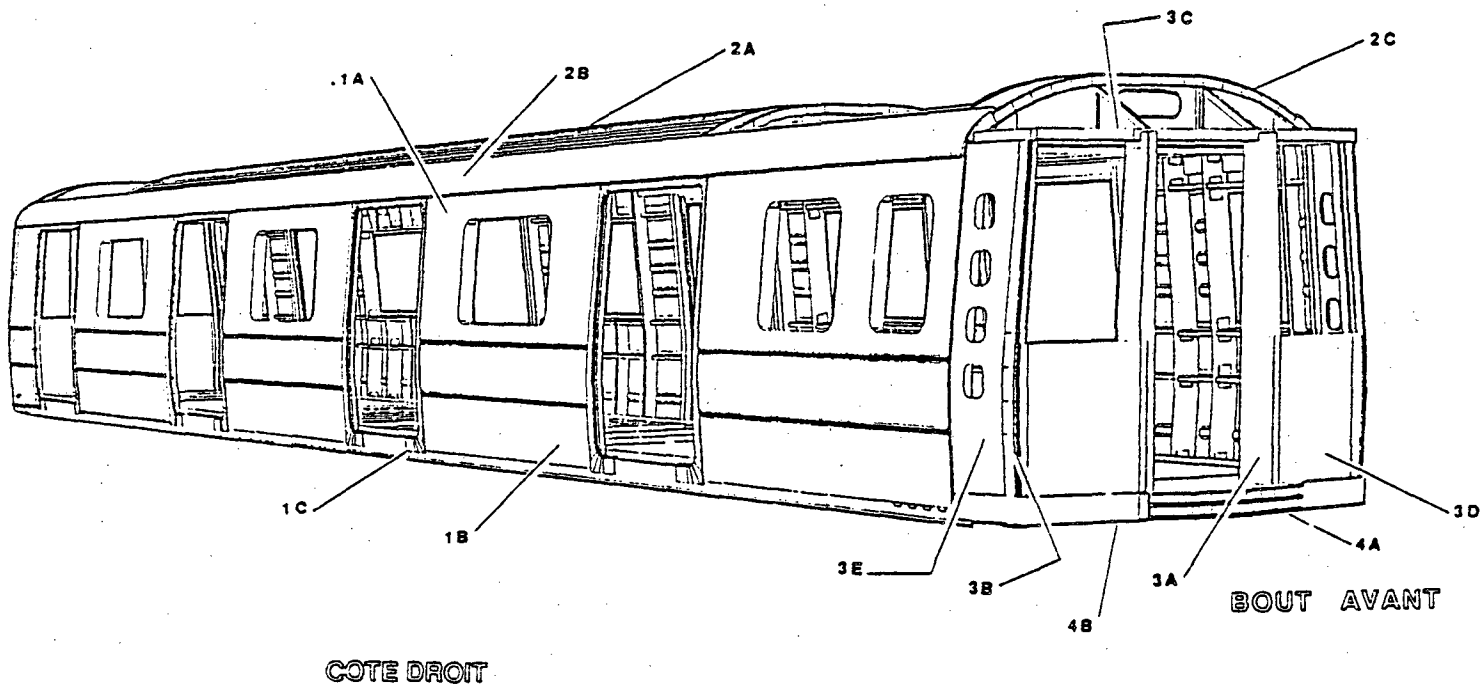
Figure 5.3 ASSEMBLAGE DE LA CAISSE

1. STRUCTURE DE FACE

- A) TÔLE DE REVÊTEMENT SUPÉRIEURE
- B) TÔLE DE REVÊTEMENT INFÉRIEURE
- C) GARNITURE DE PORTE

2. STRUCTURE DE PAVILLON

- A) TÔLE ONDULÉE
- B) TÔLE DE COIN
- C) TRAVERSE DE BOUT



3. STRUCTURE DE BOUT

- A) POTEAU DE COLLISION
- B) POTEAU DE COIN
- C) STRUCTURE ANTITÉLESCOPAGE
- D) PANNEAU DE CISAILLEMENT AVANT
- E) PANNEAU DE CISAILLEMENT LATÉRAL

4. STRUCTURE SOUS-CHÂSSIS

- A) POUTRE ANTICHEVAUchement
- B) TRAVERSE DE BOUT

Figure 5.4

CAISSE PROTOTYPE

SECTION 6

ESSAIS STRUCTURAUX

6.1 BUT DES ESSAIS

Le but des essais a été de démontrer que la structure de la caisse répond adéquatement aux requis de chargement tels que ceux définis dans la phase I du projet. De plus, les résultats des essais ont fait ressortir les zones où les niveaux des contraintes étaient trop faibles. Cette information servira à optimiser la structure ce qui résultera en une caisse conforme aux requis et de poids minimum.

Dans le cadre de ce projet de développement et avec le support financier des gouvernements provincial et fédéral, nous avons décidé de concevoir notre banc d'essais de manière à réduire les coûts et le temps requis pour exécuter les essais. L'instrumentation fournie par Intertechnology de Montréal a aussi été mise en place pour l'acquisition de données.

6.2 ÉQUIPEMENT UTILISÉ

6.2.1 Banc d'essais

Le banc d'essais est fait de longues poutres formant un cadre dans lequel la caisse est installée. Ces poutres sont conçues de manière à être beaucoup plus robustes que la caisse, de façon à réduire, au minimum, les déplacements de la structure de support qui risqueraient autrement de fausser la lecture des déplacements de la caisse relativement au banc d'essais.

La figure 6.1 de la page suivante montre la disposition des éléments structuraux du banc d'essais. À remarquer le vérin hydraulique principal nécessaire aux essais de compression.

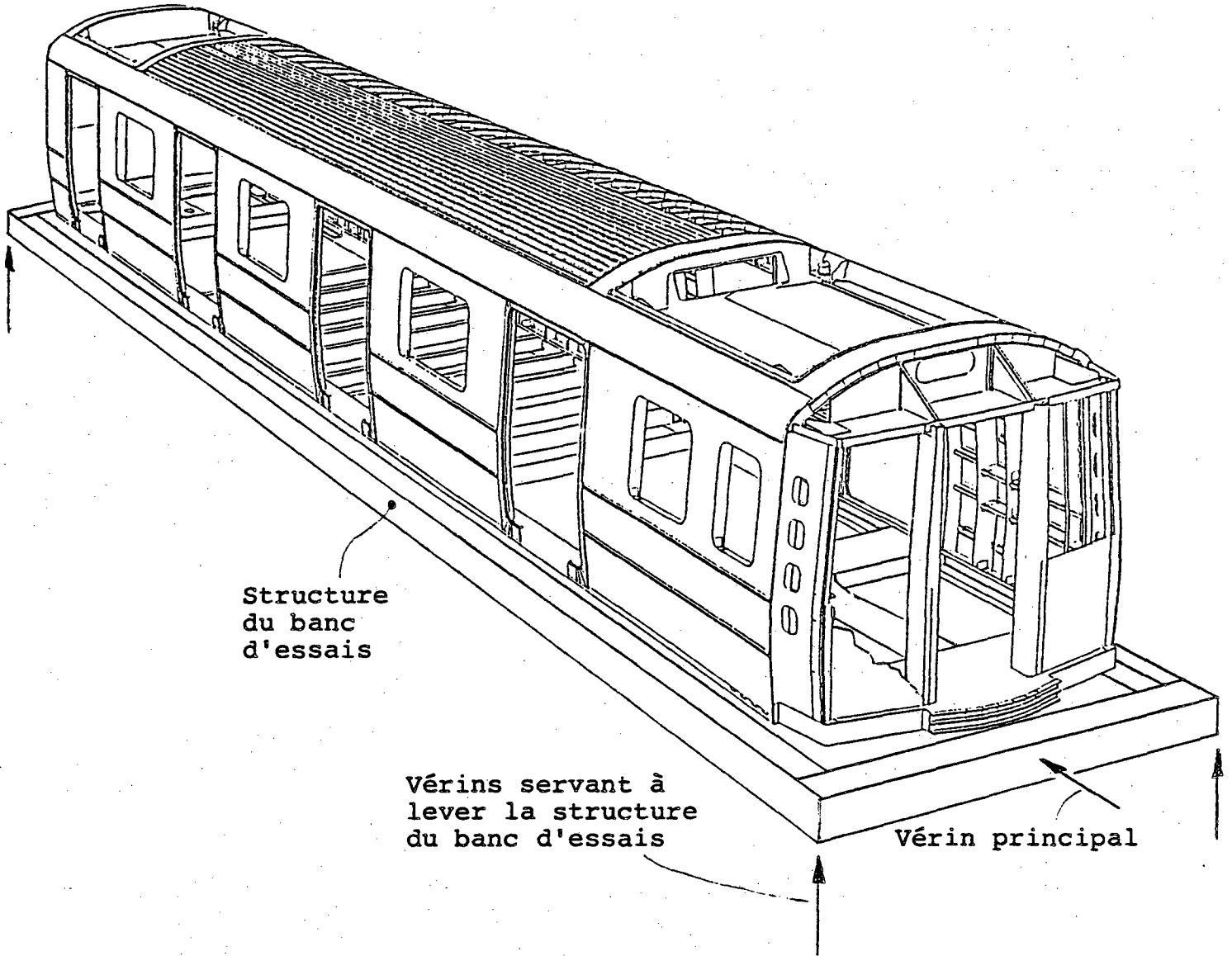


Figure 6.1 BANC D'ESSAIS

6.2.2 Instrumentation

Les composants nécessaires pour mesurer et enregistrer les niveaux des contraintes et les déplacements sont:

- les jauges des contraintes,
- les capteurs de déplacements,
- les câbles (un par jauge ou capteur),
- les boîtes de réception de signaux,
- l'ordinateur principal,
- l'ordinateur de présentation des données,
- l'imprimante et la table traçante.

Il est possible, grâce aux données accumulées dans les ordinateurs suite aux essais comportant jusqu'à cinq étapes de chargement (250 jauges x 5), de tracer des graphiques qui permettent rapidement de voir s'il y a déformation permanente.

La figure 6.2 de la page suivante montre un schéma de l'instrumentation utilisée pour les essais.

6.3 TYPES D'ESSAIS

Pour simuler les diverses conditions de chargement, il y a trois types d'essais à effectuer. Le premier représente les cas de chargement les plus fréquents soit les chargements verticaux qui résultent surtout de la variation du nombre de passagers et qui sont simulés à l'aide de lingots de plomb.

Le deuxième correspond aux cas de chargement vérifiant la résistance structurale en cas de collision. Il s'agit donc d'appliquer, à l'aide de vérins hydrauliques, des charges longitudinales et verticales pour vérifier le mieux possible la capacité de la caisse à résister à des charges pouvant être rencontrées dans les cas de collision.

Le troisième type sert à étudier quel sera le comportement structural de la caisse dans le cas du levage d'un bout de caisse par un seul coin, comme cela se fait en Amérique du Nord dans les ateliers d'entretien.

CAISSE PROTOTYPE

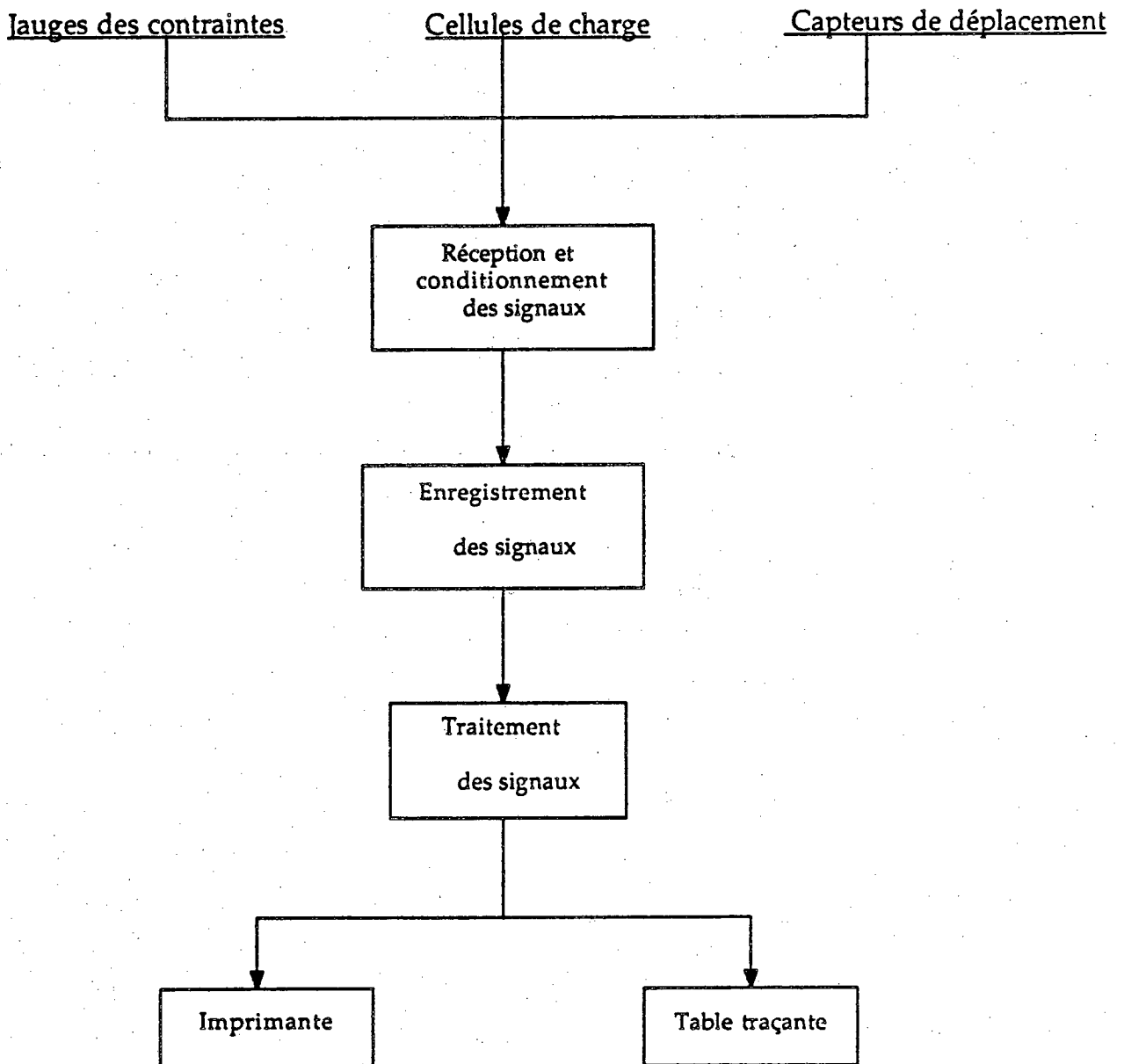


Figure 6.2 INSTRUMENTATION

6.4 POSITION DES JAUGES

Les diverses positions des jauges ont été déterminées à partir des résultats des analyses de contrainte et aussi suivant notre expérience obtenue durant des essais antérieurs. Le tableau 6.1 inclut, pour les divers endroits identifiés, la position et le nombre de jauges tandis que la figure 6.3 illustre la position des principales jauges.

6.5 SOMMAIRE DES RÉSULTATS

6.5.1 Essais: chargement vertical

Les essais en chargement vertical de la caisse doivent simuler le double du chargement maximal d'un véhicule sans qu'aucune pièce de la caisse prototype n'excède 80% de la valeur du point d'écoulement.

Les résultats de ces essais ont montré que les endroits les plus sollicités sont:

- les traverse de pivot,
- les poteaux des portes,
- les cadres de portes.

6.5.2 Essais: chargement simulant une collision

Ce type d'essais se divise en quatre parties:

- Chargement vertical à la poutre antichevauchement;
- Chargement longitudinal à la poutre antichevauchement;
- Chargement longitudinal à l'attelage;
- Chargement longitudinal aux poteaux de collision.

Les résultats de ces essais ont révélé que les marges de sécurité les plus faibles se retrouvaient dans les garnitures des portes. Toutefois, toutes les marges sont égales ou supérieures à zéro.

TABLEAU 6.1

Position	Nombre de jauges		Sous-total
Châssis de bout			
Poteaux de collision	6		
Poteaux des coins	6		
Traverses	27		
Traverse de bout	21		
Panneaux de cisaillement	8		
Sous-châssis	10		
Autres	3		
			81
Faces			
	Droite	Gauche	
Poteaux de portes	8	11	
Poteaux de fenêtres	5	11	
Brancards	3	12	
Tôles de revêtement	16	13	
Garniture des portes	80	16	
Fenêtres	16	2	
Voussoirs	18	3	
			146 68
Pavillon			
Tôle ondulée	3		
Traverses	10		
Traverses (unité A/C)	30		
			43
Plancher			
Traverses	4		
			4
Total			342

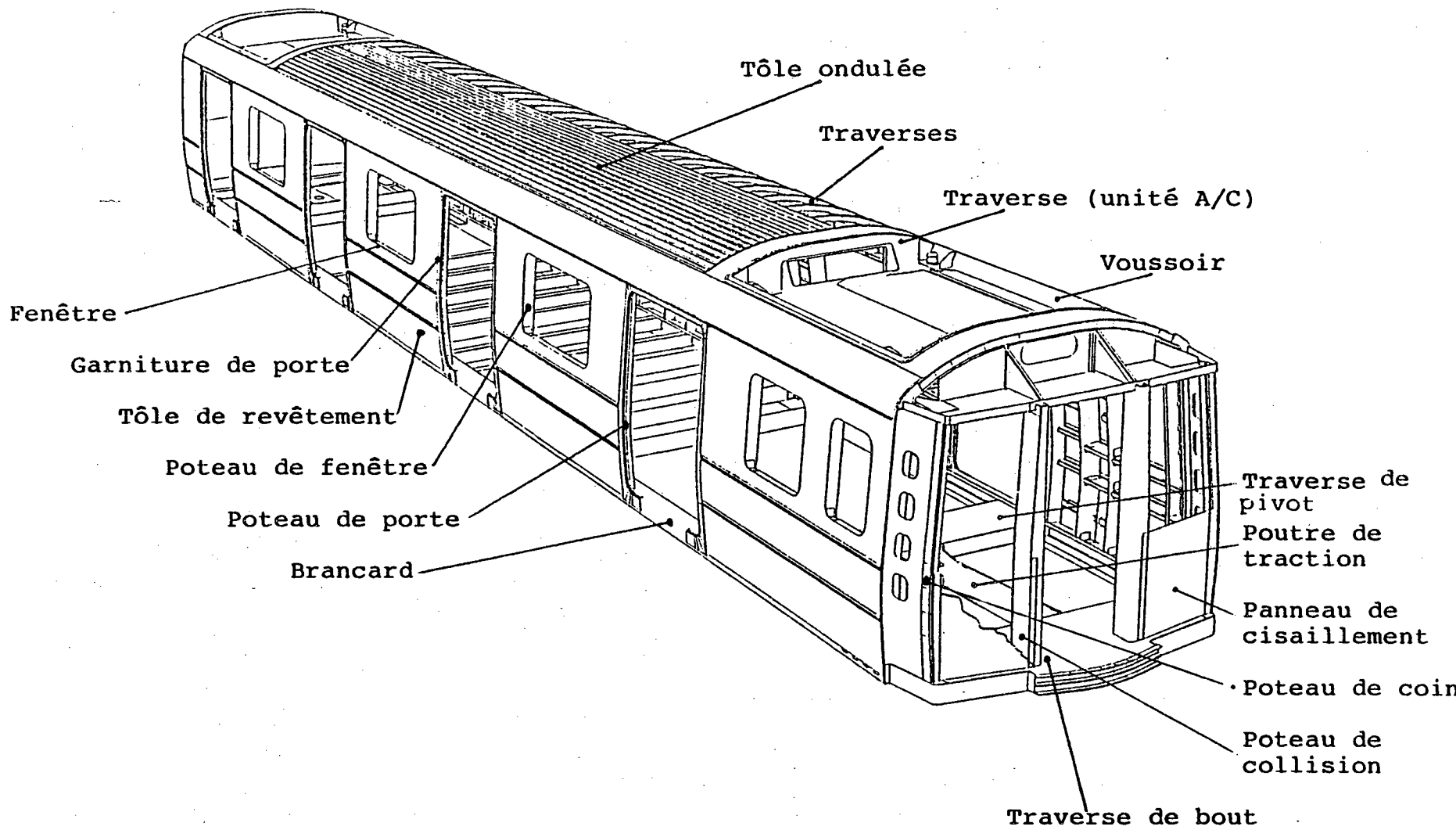


Figure 6.3

PRINCIPALES POSITIONS DES JAUGES

6.5.3 Essais: torsion

Ces essais ont démontré que la caisse est très souple en torsion. Il faudra donc modifier les raidisseurs de face pour éviter le voilement des tôles des faces. Durant ces essais, toutes les contraintes sont demeurées à des niveaux plutôt faibles.

Le tableau 6.2 présente une liste des marges de sécurité les plus faibles ainsi que les endroits où elles s'appliquent.

L'examen des résultats montre que les contraintes maximales mesurées sont en majorité acceptables pour les différents cas de chargement. Toutefois, les essais ont démontré que la déflexion en torsion de la caisse est trop large. De plus, les faibles niveaux de contraintes mesurées dans la structure de bout indiquent généralement un surdimensionnement des pièces.

En résumé, la caisse peut être allégée et sa rigidité augmentée sans que les niveaux des contraintes n'excèdent les valeurs permises.

6.6 OPTIMISATION DE LA CAISSE

Pour réduire le poids et augmenter la rigidité de la caisse, les modifications suivantes devront être effectuées:

- Réduire l'épaisseur du brancard;
- Réduire l'épaisseur des poteaux des fenêtres;
- Changer la forme et les points d'attache des renforts des tôles des faces;
- Augmenter l'épaisseur des poteaux des portes;
- Diminuer l'épaisseur des plaques de la poutre de bout;
- Diminuer l'épaisseur des traverses de plancher;
- Rapprocher les poteaux et raidisseurs entourant les fenêtres;
- Augmenter la surface des plaques de connexion au bas des portes.

TABLEAU 6.2

<u>TYPES DE CHARGEMENT</u>	<u>ENDROITS</u>	<u>MARGES DE SÉCURITÉ</u> (moins élevées)
Vertical	Traverse	,62
	Garniture de porte	,11
	Poteau de porte	,81
	Tôle de face (fenêtre)	-,03
	Pavillon (près de l'unité A/C)	,60
Vertical: poutre antiveauchement	Garniture de porte (en bas)	,02
	Poteau de coin	,68
	Plaque antitélescopage	,11
	Traverse de pivot	,57
Compression: attelage	Traverse de bout	,43
	Traverse de pivot	,36
	Brancard	,19
Compression: poutre antiveauchement	Poteau de collision	1,12
	Poutre de traction	1,10
	Traverse de pivot	,08
	Brancard (bas de porte)	-,25 (effet local)
Compression: poteaux de collision	Poteau de collision	,31
	Tôle de face	,3
	Poteau de coin	,57
	Traverse de pavillon (près de l'unité A/C)	,71
Torsion	Traverse de pavillon (près de l'unité A/C)	,82

Le modèle d'analyse de contraintes, ayant été validé à l'aide des valeurs mesurées, sera utilisé pour vérifier l'effet de ces changements avant même de les implanter. Ces changements nous permettront de réduire le poids de la caisse d'environ 5%.

6.7 RÉSULTATS DES ANALYSES / RÉSULTATS DES ESSAIS

Ce projet nous a permis d'évaluer la précision des modèles mathématiques des analyses de contrainte en comparant les résultats des analyses aux résultats obtenus durant les essais. La plus grande majorité des résultats des analyses se compare aux résultats des essais. Toutefois, les modèles d'éléments finis sont imprécis pour évaluer l'effet des raccordements entre les diverses pièces composant la caisse. Nous avons donc à considérer, pour de prochaines analyses, cette particularité des modèles d'analyse.

CONCLUSION

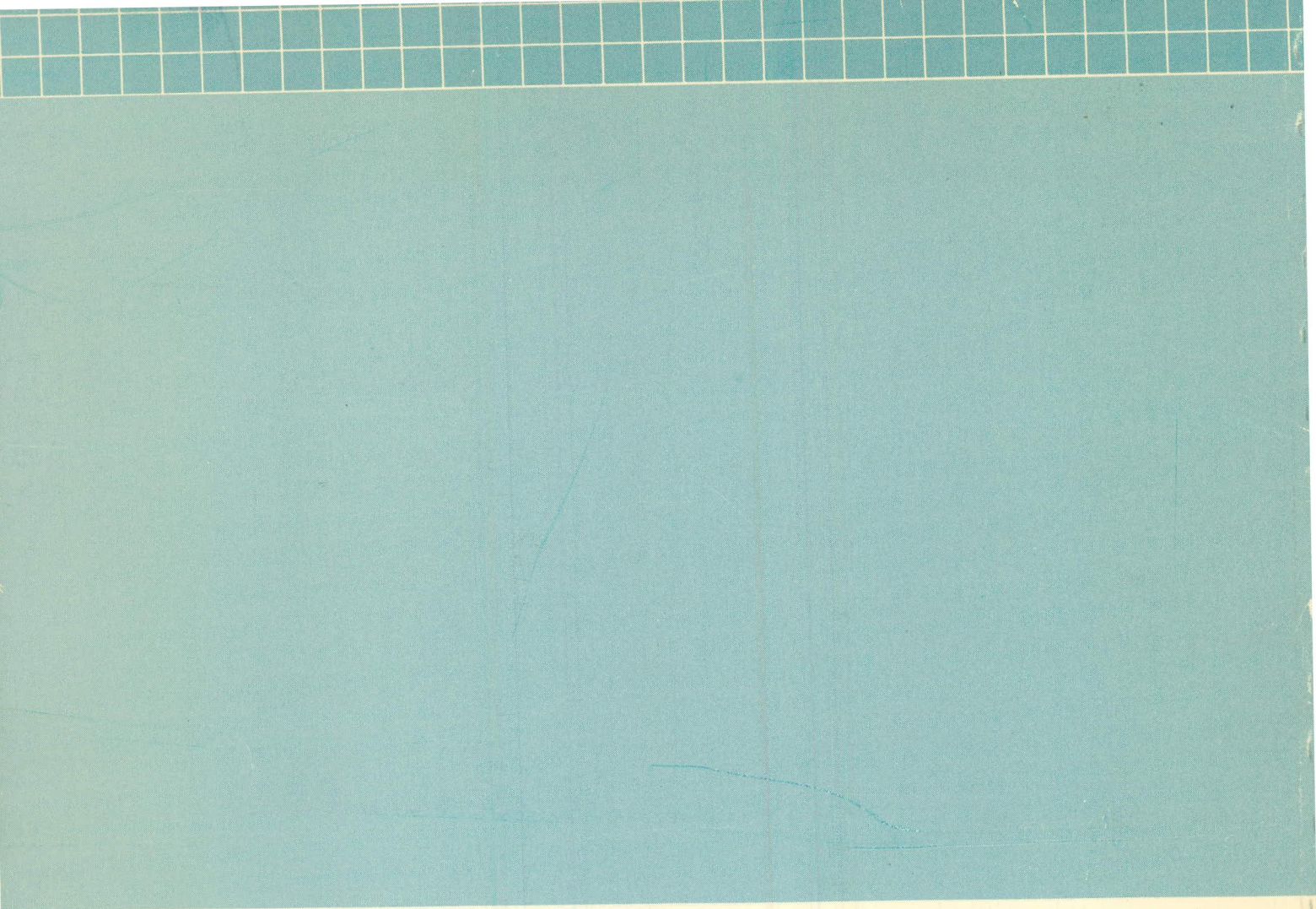
Au terme de ce projet de développement, les principaux objectifs du projet ont été rencontrés. Ces objectifs étaient de concevoir, fabriquer et tester une caisse métro grand gabarit faite d'acier inoxydable, de spécialiser des fournisseurs locaux de même que d'acquérir la technologie de développement de caisse en acier inoxydable. Au cours de ce projet, il a également été possible de développer et d'utiliser, pour la caisse prototype, des mannequins d'assemblage polyvalents; ces mannequins peuvent aussi être utilisés pour des caisses de métro de différentes dimensions. De plus, nous avons développé notre propre banc d'essais qui a, par la suite, été utilisé pour qualifier la caisse prototype.

Ce projet a eu une durée plus longue que prévue (environ 6 mois) parce que nous avons dû raffiner le concept original et absorber les délais causés par les divers problèmes d'approvisionnement et de mise au point de l'outillage et du banc d'essais. Cependant, ce projet nous a permis de vérifier le niveau de précision des modèles d'analyse par éléments finis, de manière à pouvoir réduire le temps requis pour valider, par ces analyses, nos futurs concepts de caisse. Ce projet nous a également permis d'acquérir les connaissances nécessaires pour effectuer les essais structuraux requis pour qualifier une caisse.

Il faut particulièrement souligner l'importance de tels projets de développement qui non seulement peuvent faire la différence en ce qui regarde la compétitivité de notre entreprise mais aussi en ce qui concerne les retombées futures comme la création d'emplois et la fourniture de matériel et de services. Le soutien des gouvernements rend donc possible, pour ce genre de technologie, l'obtention de nouveaux contrats.

RÉFÉRENCE

- 1- Fontaine, André G., Caisse de métro de type grand gabarit, Étude conceptuelle, No de rapport, Transports Québec: RTQ-88-05, No de rapport, Transports Canada TP9056F
2. Koffman, J.L. "Coach Body Bending Oscillations" Modern Railways, July 1971



Bibliothèque du Ministère des Transports



QTR A 019 903



Gouvernement du Québec
**Ministère
des Transports**

