

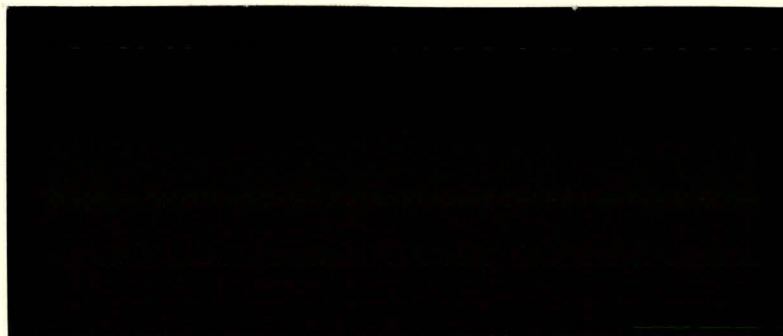
**ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE DES SENSEURS
ET SYSTÈMES DE SURVEILLANCE EN
MARCHE DES PNEUS DE CAMION**

Publication no RTQ-88-23

Mars 1988

CRIQ

CANQ
CRIQ
127



Le Centre de recherche industrielle du Québec est une société d'État dont la mission est de soutenir et stimuler le développement technologique des entreprises manufacturières du Québec.

Le CRIQ travaille donc en étroite collaboration avec les industriels pour les aider à réaliser leurs objectifs en leur offrant des services sur mesure:

- l'information,
- le développement de produits et de procédés de fabrication,
- l'assistance technique,
- l'aide au transfert de technologie.

Le personnel compétent et expérimenté du CRIQ de même que ses laboratoires et ateliers bien équipés tant à Québec qu'à Montréal sont à la disposition de tout industriel soucieux d'innover.

CRIQ

**CENTRE DE RECHERCHE
INDUSTRIELLE DU QUÉBEC**

333, rue Franquet
Case postale 9038
Sainte-Foy (Québec) Canada G1V 4C7
(418) 659-1550, télex: 051-31569
Télécopieur: (418) 652-2251

8475, rue Christophe-Colomb
B.P. 2000, Succursale Youville
Montréal (Québec) Canada H2P 2X1
(514) 383-1550, télex: 05-827887
Télécopieur: (514) 383-3250

365972

PT-65493

ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE DES SENSEURS
ET SYSTÈMES DE SURVEILLANCE EN
MARCHÉ DES PNEUS DE CAMION

Publication no RTQ-88-23

Mars 1988

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION
PLACE HAUTE-VILLE, 24^e ÉTAGE
700 EST, BOUL. ST-CYRILLE
QUÉBEC, QUÉBEC, G1R 5H1

CLIENT: MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC
Chargé de projet: Luc Lefebvre

Service de l'innovation et de la recherche
en technologie
1410, rue Stanley, 11^e étage
Montréal (Québec)
H3A 1P2

RESPONSABLE DU PROJET:


PAUL MICHAUD, ing.
Equip. et Syst. mécaniques

Sainte-Foy, le 31 mars 1988

CRIQ
CENTRE DE RECHERCHE
INDUSTRIELLE DU QUÉBEC

CANQ
CRIQ
127

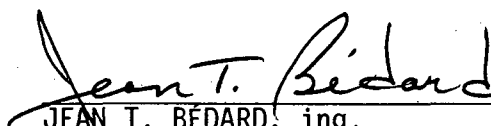
AVERTISSEMENT ET AVIS

Les opinions et les vues exprimées dans ce rapport sont celles de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement celles du ministère des Transports du Québec.

ÉQUIPE DE RECHERCHE

Les personnes suivantes ont participé à la réalisation de ce projet:


DANIEL AUGER
Équip. et Tech. de fabrication


JEAN T. BÉDARD, ing.
Équip. et Syst. mécaniques


DANIEL LANGLAIS, ing.
Automatisation

SOMMAIRE

Le rapport qui suit montre l'état de la technologie dans le domaine des senseurs et des systèmes de surveillance des pneus de véhicules routiers.

La recherche documentaire effectuée a permis de découvrir l'existence de systèmes capables de mesurer en marche avec précision la température et la pression des pneus, sans contact physique entre la roue et le châssis du véhicule et sans source d'énergie de la part des senseurs.

Un de ceux-ci, le "Michelin Monitoring System", doit faire son apparition sur des automobiles de série en 1989; son application pour mesurer la différence de charge entre les pneus jumelés des camions est également prévue dans un avenir rapproché.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
Avertissement et avis	iii
Équipe de recherche	iv
Sommaire	v
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 BUT DU PROJET	2
3.0 TRAVAUX EFFECTUÉS	2
3.1 Systèmes de surveillance	2
3.2 Composantes	3
3.3 Suspensions de camions	4
3.4 Étude quantitative des variations de pression et température	5
4.0 RÉSULTATS OBTENUS	5
4.1 Systèmes de surveillance	5
4.2 Composantes	8
4.2.1 Capteurs	9
4.2.2 Lien capteurs/moniteur	11
4.2.3 Moniteur	12
4.3 Suspensions de camions	13
4.4 Étude quantitative des variations de pression et température	13
5.0 CONCLUSION	14

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A: Systèmes de surveillance

ANNEXE B: Documentation sur les composantes de systèmes de surveillance des pneus

ANNEXE C: Suspensions de camions

ANNEXE D: Étude quantitative des variations de pression et température

ANNEXE E: Étude quantitative des variations de pression et température dans les pneus de véhicules routiers

1.0 INTRODUCTION

Le CRIQ a été impliqué il y a quelques années dans un projet de conception d'une balance dynamique pour mesurer la répartition des charges entre les pneus jumelés des essieux de camions.

Il a été conclu à la fin de ce projet que la charge sur les pneus varie de façon appréciable en fonction de leur position angulaire et que, par conséquent, l'utilisation d'une balance de type dynamique ne permet pas d'obtenir un diagnostic fiable.

Suite à ce projet, conscient que la performance, l'économie d'opération et la sécurité des camions lourds dépendent en large partie du rendement des pneus, le CRIQ a décidé de se tourner vers un système embarqué de surveillance de la pression et de la température des pneus de camions.

Une recherche documentaire sommaire a été effectuée, au début de l'année 1986, montrant l'existence de quelques systèmes de contrôle de la pression opérant en marche; un de ces systèmes, développé par des ingénieurs de Nissan au Japon, pouvait fournir une indication digitale, par palier, de l'état de la pression des pneus et fonctionnait en mode passif, c'est-à-dire sans source d'énergie de la part des senseurs situés dans le pneu et sans contact physique.

Cependant, pour rencontrer les objectifs de performance dans le cas d'essieux à pneus doubles, le système recherché devait donner une indication analogique, c'est-à-dire proportionnelle, non seulement de la pression mais aussi de la température des pneus.

Cette exigence additionnelle représentait un défi important dont la principale préoccupation était la recherche de senseurs appropriés.

Une recherche documentaire plus poussée était donc nécessaire avant d'entreprendre la conception proprement dite et c'est à cette fin que le Centre a sollicité l'aide du ministère des Transports du Québec. Au mois d'août 1987, une subvention était accordée dans le cadre du Programme d'aide à la recherche développement en transport du Ministère.

2.0 BUT DU RAPPORT

Le présent rapport fait le compte rendu de l'état des connaissances et des composantes disponibles dans le domaine des systèmes de surveillance en marche de la condition des pneus de véhicules routiers.

Tel que prévu au plan de travail, les principales activités ont été:

- 1- Recherche de brevets et d'articles techniques.
- 2- Recherche auprès des fournisseurs des composantes disponibles de mesure passive de pression et température, de transmission sans contact physique et d'acheminement de données.
- 3- Déterminer les suspensions de camions et de remorques les plus populaires au Canada et aux États-Unis.
- 4- Étude quantitative des variations de pression et de température en fonction de la charge et de la vitesse des pneus.

3.0 TRAVAUX EFFECTUÉS

Le projet a débuté à la fin du mois d'octobre 1987.

3.1 Systèmes de surveillance

La recherche sur les systèmes de surveillance a été centrée, dès le début du projet, sur le "Michelin Tire Monitoring System" (M.T.M.) développé par le fabricant français de pneumatique, dont certains articles techniques avaient été obtenus par le CRIQ lors de mises à jour périodiques du dossier.

C'est ainsi que, dès le mois de mars 1987, on était en communication avec Michelin pour obtenir le plus d'informations possible, tant du point de vue technique que commercial, sur ce système dont on découvrait qu'il correspondait en tout point à la fiche technique prévue par le CRIQ. Plusieurs articles ou informations techniques ont été obtenus sur le M.T.M. (voir à l'annexe A à la

fin du rapport la liste de ces informations ainsi qu'une copie de la documentation technique Michelin).

Par la suite, une recherche complète a été réalisée sur les systèmes de surveillance dont voici le compte rendu:

- Envoi de télex à sept (7) compagnies localisées en Allemagne, Angleterre, Japon et États-Unis.
- Interrogation des banques de données suivantes:
 - . INSPEL
 - . PROMPT PTS
 - . SAE (Society of Automotive Engineers)
 - . Magazine Index
 - . TRIS (Transportation Research Information Services)
 - . Japan Technology
 - . WPIL (World Patents Index Latest 1981+)

3.2 Composantes

La recherche au niveau des composantes pouvant être utilisées dans la conception de systèmes de surveillance n'a pas été faite de façon exhaustive, en raison de la découverte du système Michelin.

Cependant, certains travaux ont quand même été réalisés à l'intérieur du projet dans le but de mettre en évidence les tendances technologiques futures dans le domaine des senseurs et composantes périphériques.

Ainsi, des télex ont été envoyés à 11 fabricants de senseurs des États-Unis, du Japon et du Canada. De plus, les bases de données suivantes ont été interrogées:

- WPIL (World Patents Index Latest)
- Japan Technology
- TRIS (Transportation Research Information Services)
- Magazine Index
- SAE (Society of Automotive Engineers)
- PROMPT PTS
- INSPEC

Nous avons principalement porté notre attention sur les technologies qui peuvent être utilisées pour réaliser un système de surveillance de pression et température de pneus de camion en marche avec affichage des informations dans la cabine du conducteur.

On distingue trois éléments majeurs composant un tel système et sur lesquels nos recherches ont porté:

- 1- Les capteurs de pression et de température, sans source d'énergie (piles) sur la roue et le système de lecture des capteurs sans contact entre l'essieu et la roue.
- 2- Un système robuste et compact pour acheminer les signaux de chacun des capteurs vers la cabine du conducteur.
- 3- Un instrument permettant au conducteur de visualiser l'état des pneus.

Nous avons obtenu plusieurs articles techniques concernant les trois sujets précités. Nous avons également contacté plusieurs grands manufacturiers de capteurs de pression et de température. Cependant, aucun d'eux ne dispose de capteurs passifs fonctionnant sans source d'énergie et pouvant transmettre sans contact son information de la roue à l'essieu.

On trouvera à l'annexe B la bibliographie de la documentation obtenue.

3.3 Suspensions de camions

Les organismes et personnes contactés pour obtenir de l'information sur les types de suspensions de camions et de remorques utilisées au Canada et aux États-Unis ont été:

- ARTC (Association des routes et du transport du Canada), Ottawa; Ralph Campbell.
- Journal "L'Écho du transport", Ville St-Laurent; Éric Descarries, rédacteur-adjoint.
- Ministère des Transports du Québec, Québec; Maria Bradicich.
- Association du camionnage du Québec¹.
- International Truck Parts Association¹.
- Harcourt Brace Jovanovich, Toronto (éditeur).
- Sanford Evans Communications Ltd., Winnipeg (éditeur).
- Trucks Magazine inc..

De plus, nous avons interrogé différentes bases de données telles que:

- . SAE (Society of Automotive Engineers).
- . PROMPT PTS

¹ Contacts effectués par Mme Bradicich du MTQ, sans résultat.

- . Magazine Index
- . TRIS (Transportation Research Information Services)

La description de la documentation reçue se trouve à l'annexe C à la fin du rapport.

3.4 Étude quantitative des variations de pression et température

Une mise à jour des articles techniques traitant de la pression et de la température dans les pneus de véhicules routiers en fonction de divers paramètres a d'abord été effectuée. Le compte rendu de la documentation obtenue se trouve à l'annexe D.

L'étude quantitative des variations de pression et température a été réalisée à partir des articles les plus pertinents et se veut un résumé commenté des informations applicables aux systèmes de mesure de pneus.

Le rapport de l'étude se trouve à l'annexe E.

4.0 RÉSULTATS OBTENUS

4.1 Systèmes de surveillance

L'étude de la documentation sur les systèmes de surveillance en marche des pneus de véhicules routiers montre l'évolution spectaculaire qui s'est produite dans ce domaine, surtout depuis les 5 ou 6 dernières années.

Pour bien faire ressortir cette évolution, la documentation reçue sur ce sujet a été divisée en 3 phases ou générations; voir à l'annexe A la bibliographie de cette documentation.

1ère génération: Systèmes avec contact physique entre le pneu et le système de surveillance.

On retrouve généralement dans cette catégorie les plus anciennes (1963) tentatives de contrôler la pression dans les pneus de véhicules; cependant, l'objectif consiste plutôt à faire varier celle-ci à l'aide d'un compresseur à air et de tubulures appropriées pour des applications militaires ou aéronautiques.

Ces systèmes sont généralement compliqués et dispendieux à installer et ne sont répertoriés ici qu'à titre de référence.

2e génération: Système sans contact mais avec source d'énergie.

Dans cette catégorie, les senseurs possèdent leur source propre d'énergie, comme par exemple une mini pile électrique, localisée au niveau du pneu ou de la roue (réf.: A.3.3, TW-I) ou un générateur piézoélectrique avec émetteur radio (réf.: A.3.2).

Il n'y a cependant pas de contact direct entre le pneu et le châssis.

Un des systèmes bien connus dans cette catégorie est le Tire-Tele développé par Imperial Clevite et offert en option depuis 1987 sur les voitures Chevrolet Corvette.

Le prix de détail (prix au comptoir-pièces) est d'environ 150 \$ par roue pour les senseurs et de 175 \$ pour le récepteur incorporé au tableau de bord. Les senseurs possèdent une couleur propre et la position qu'ils occupent sur le véhicule ne doit pas changer; ils sont maintenus à la jante, à l'intérieur du pneu, au moyen d'une courroie métallique (voir figure 1).

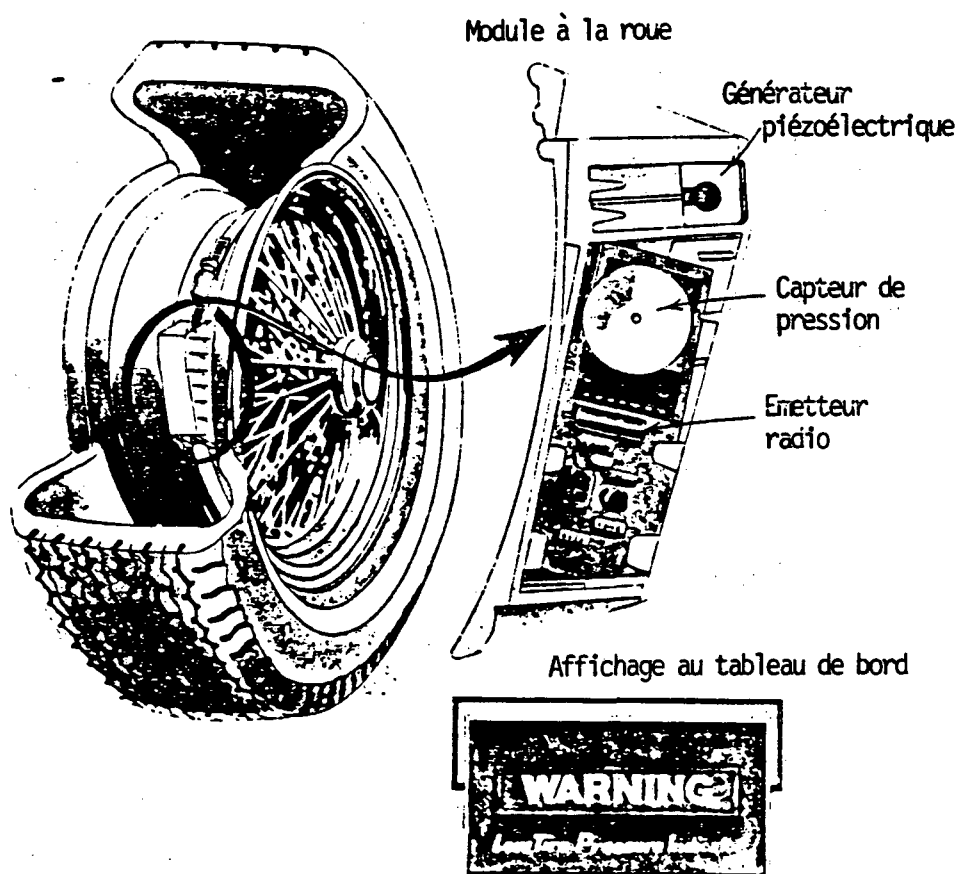


FIGURE 1
Système Tire-Tele / Corvette 1987

3e génération: Système sans contact ni source d'énergie.

On distingue trois sous-catégories selon la qualité de l'information disponible à l'opérateur, à savoir:

- Systèmes avec alarme dans le cas où la pression atteint un certain seuil inférieur prédéterminé: plusieurs compagnies bien connues dans l'industrie automobile se retrouvent dans cette catégorie, telles que Nissan, Toyota, Robert Bosch et B.F.Goodrich. La plupart des systèmes proposés utilisent un commutateur à pression dans le pneu avec couplage électromagnétique similaire à l'effet d'un transformateur entre la roue

et le châssis. Dans un autre système particulièrement intéressant, l'information est fournie par le changement de couleur du capuchon du moyeu de la roue (réf.: A.4.9).

- Système avec indication digitale de la pression dans les pneus: c'est-à-dire qui ne donne qu'une indication du niveau de pression, l'affichage sur le tableau de bord du véhicule étant divisé en plus ou moins de niveaux ou paliers selon la précision du système. Un seul système a été répertorié dans cette catégorie, soit le "TWD-III" de Nissan (réf.: A.5.1).
- Systèmes avec information analogique, c'est-à-dire proportionnelle de la pression et/ou de la température: les systèmes qui nous semblent les plus avancés à ce chapitre sont le M.T.M. de Michelin (voir description complète à la référence A.1 en annexe) qui, selon son fabricant, sera lancé sur le marché en 1989 et un autre développé par la compagnie allemande Robert Bosch et utilisé sur la voiture Porsche 959 de rallye; dans ce dernier cas, nous n'avons pas d'information précise quoique la documentation obtenue dans ce projet contienne une grande quantité de brevets de la compagnie Bosch, dont quelques-uns représentent des systèmes de surveillance de 3e génération (réf.: A.6).

4.2 Composantes

L'examen de la littérature recueillie met en évidence la forte influence de l'avancement technologique en électronique sur les développements dans le domaine automobile. On utilise déjà des systèmes à base de micro-processeurs associés à des capteurs de plus en plus nombreux pour améliorer les performances des véhicules et simplifier son opération.

On retrouve sur la plupart des véhicules d'aujourd'hui des systèmes sophistiqués qui contrôlent la combustion du moteur, les gaz d'échappement et l'économie d'essence. Pensons également à la gamme des dispositifs visant la commodité du conducteur, allant du verrouillage sans clef des portes à l'inspection du véhicule à chaque démarrage avec rapport verbal par un ordinateur de bord. On commence à voir apparaître des systèmes élémentaires de contrôle de la suspension et de la transmission et des systèmes de freinage anti-blocage.

On nous annonce déjà pour le futur immédiat des développements importants. Par exemple, chez Toyota, on parle de suspension contrôlée électroniquement tenant compte de la position du

volant, de la vitesse du véhicule, du régime du moteur, etc. Selon le mode de conduite sélectionné par le conducteur, on obtiendra une portée "sport" avec une suspension rigide, une portée "normale" avec une suspension plus douce ou une suspension s'ajustant de façon "automatique" selon les conditions détectées par les capteurs reliés au système.

Tous ces dispositifs demandent des capteurs de pression, température, débit, position et de vitesse de plus en plus nombreux et sophistiqués. Ainsi, on observe un grand déploiement d'efforts dirigés bien sûr vers l'application des micro-ordinateurs mais surtout vers le développement des capteurs nécessaires à la mesure de tous les paramètres sur lesquels les décisions se prennent. Les grands du monde de l'automobile sont à l'oeuvre. Notons principalement GM chez les américains, Toyota et Nissan chez les japonais, Michelin et Bosch chez les européens, Motorola, RCA et Philips chez les manufacturiers électroniques.

On met à contribution plusieurs technologies pour réaliser les capteurs mentionnés ci-haut, notamment les matériaux piézoélectriques et magnétostrictifs et les propriétés des fibres optiques. La technologie des circuits intégrés permet ensuite de réaliser des capteurs regroupant les qualités suivantes: faible dimension, grande robustesse, fiabilité de calibre militaire et faible coût de production.

Nous avons relevé dans les lignes qui suivent dans quelle mesure ces développements technologiques peuvent être utilisés dans le développement d'un système de mesure de pression et température de pneus de camions en marche. Nous considérons séparément les trois éléments majeurs composant un tel système, soit les capteurs, l'acheminement des données et l'instrument d'interprétation et d'affichage des données.

4.2.1 Capteurs

Les capteurs constituent les éléments essentiels dont dépendent les performances de tout le reste du système. C'est d'ailleurs l'absence de capteurs adéquats, tant au point de vue technique qu'économique, qui freine le développement de systèmes plus sophistiqués que ce que nous connaissons actuellement.

Contraintes

Pour être utilisable dans l'application qui nous concerne, le capteur doit rencontrer les caractéristiques suivantes:

- a) Comme il doit être incorporé dans la jante de la roue, le capteur doit être petit, léger et robuste et doit pouvoir supporter les rigueurs du climat (pluie, sel, température).
- b) Il doit être aussi fiable que les autres composantes du véhicule telles que essieu, pneu, système de direction, etc.
- c) Il doit être compensé pour ne répondre qu'au paramètre pour lequel il est dédié; par exemple, le capteur de pression ne doit pas être influencé par la température et vice-versa.
- d) Il doit finalement être bon marché en production.

Technologies disponibles

Nous avons effectué un survol des technologies disponibles pour réaliser de tels capteurs. Nous en présentons ici le résumé:

- effet piézoélectrique (cristaux de quartz, membranes de Kynar (de la compagnie Penwalt), céramiques spécialisées);
- effet piézorésistif (capteurs monolithiques);
- effet capacitif;
- fil de Wiegand;
- composés et élastomères thermorésistifs et magnétorésistifs;
- capteurs à fibre optique.

Si on considère que les capteurs de pression et température doivent être passifs, le couplage électromagnétique semble être une des solutions les plus viables. Les technologies piézoélectrique, piézorésistive et par effet capacitif se prêtent bien à la réalisation de circuits moyenne ou haute fréquence dont les caractéristiques seraient influencées par les variations de pressions ou de températures. Ces technologies sont déjà employées dans la réalisation de capteurs conventionnels et pourraient être adaptées pour répondre aux caractéristiques actuelles.

Les capteurs par fibres optiques ont commencé à faire leur apparition au début des années 1980 dans les laboratoires. Depuis, on a réalisé des capteurs sensibles à un nombre grandissant de paramètres physiques: température, pression, vitesse de rotation, champs électriques et magnétiques, niveau de liquide et débit. L'avantage de l'utilisation de la fibre optique réside dans son insensibilité aux interférences électromagnétiques.

(EMI), source de problèmes fréquents sur les véhicules, dans la faible dimension que peut prendre le capteur et dans sa résistance physique aux intempéries et aux abus. Elle est utilisée en modulation d'amplitude ou en modulation de phase. Dans le deuxième cas, on obtient des capteurs beaucoup plus sensibles et précis mais le premier cas présente l'avantage d'être plus économique et donne des résultats quand même très satisfaisants.

La fibre optique est vouée à un avenir très prometteur comme technologie universelle pour les capteurs. De plus, elle peut s'avérer avantageuse sur le plan économique particulièrement lorsqu'elle est faite de matière plastique. Cependant, il reste encore du travail à faire pour passer du laboratoire à l'application bon marché requise par l'automobile. Ses chances de succès dépendront en outre du développement qui s'opérera dans le champ des autres technologies.

Technologie des circuits intégrés

L'intégration des différentes composantes d'un capteur (élément sensible, électronique, périphérique) apporte un surplus de robustesse et de fiabilité et participe grandement à abaisser les coûts de production.

4.2.2 Lien capteurs/moniteur

Un système de surveillance de pneus dédié aux camions devrait être assez flexible pour être monté sur n'importe quel véhicule, quelque soit le nombre d'essieux. Un tel système deviendrait rapidement encombré par le nombre important de câbles provenant de chaque essieu et le nombre de connecteurs requis. Un système de communication multiplexé, c'est-à-dire où tous les signaux sont acheminés vers le moniteur sur un unique câble, résout ce problème.

Cette approche rencontre la tendance actuelle que l'on observe dans l'industrie automobile. Avec la prolifération d'instruments et de systèmes de contrôle incorporés aux véhicules, la quantité de fils arrivant au tableau de bord a augmenté énormément. On se dirige inévitablement vers l'apparition à court terme de réseaux de communication multiplexés qui ont l'avantage de réduire la dimension des faisceaux de fils à une seule paire de fils ou une fibre optique et de simplifier grandement le diagnostic en cas de panne.

Tous les grands manufacturiers d'automobiles et d'équipements électroniques sont à l'oeuvre dans ce domaine. Déjà en 1982, Toyota innovait sur son modèle Century avec un système de communication par fibre optique entre le tableau de bord et les éléments électriques des portières. Plus récemment, GM installait un système de communication multiplexé sur sa Cadillac Allanté 1987. Les compagnies Philips/Signetics, RCA ainsi que Motorola avec son "Generic Mux System" ont déjà réalisé des travaux dans ce sens.

Actuellement, les compagnies les plus actives dans le domaine sont outre GM, Intel/Bosch, Toyota, Nissan ainsi que Renault/Peugeot. La SAE s'est également mêlée de la partie en suggérant des normes pour ces systèmes.

4.2.3 Moniteur

Le dernier élément du système consiste en un instrument qui permet d'interpréter et d'afficher les résultats. Dans notre cas, ce pourrait être l'affichage graphique et/ou numérique de la valeur de pression et de température de chacun des pneus et la surveillance d'une condition dangereuse de pression ou de température des pneus auxquels cas une alarme avertirait le conducteur de la situation.

En utilisant un micro-ordinateur, cet appareil pourrait aussi calculer la charge supportée par chacun des pneus en se basant sur la valeur de pression, élévation de température et vitesse et en se référant à une charte préalablement établie ou en utilisant un algorithme de calcul connu.

On peut également penser à conserver l'histoire de la vie de chacun des pneus et faire l'analyse constante de son vécu pour prédire et prévenir les crevaisons.

Les récents développements couvrant les dispositifs d'affichage (LCD couleurs, Vacuum Fluorescent Displays, Touch Screen) permettent d'élaborer des arrangements graphiques qui rendent cette information plus facile à lire et plus évidente pour le conducteur qui ne peut accorder beaucoup d'attention à l'instrumentation de plus en plus complexe de son tableau de bord. On prévoit même à moyen terme de voir apparaître les affichages projetés dans le pare-brise similaire à ceux qui sont mis au point dans les chasseurs militaires, à condition évidemment que les prix deviennent plus abordables.

4.3 Suspensions de camions

Aucune statistique précise ne semble exister sur les types de suspension de camion et de remorque et sur leur répartition tant au Canada qu'aux États-Unis.

L'information la plus à date, selon les personnes consultées sur le sujet, est le rapport no 1 de l'ARTC (RTAC) sur l'Étude des poids et dimensions de camions, novembre 1984 (voir annexe C).

De ce rapport et des discussions avec les personnes ressources, on a cependant pu savoir que:

- 24% des suspensions de remorque sont de type à air;
- 76% sont de type mécanique dont le plus populaire est celui à 4 ressorts tandem tels que Rayco 21B ou similaires;
- pour les tracteurs, la suspension de type tandem à lames de ressort et poutrelle égalisatrice ("Leaf Supported Walking Beam") rencontre la majorité et la Hendrickson est la plus populaire dans cette catégorie.

4.4 Étude quantitative des variations de pression et température

La pression et la température d'un pneu dépendent de plusieurs facteurs. La vitesse du véhicule, la charge supportée, la pression initiale de gonflage et la température extérieure ont tous une grande importance; le type de pneus, sa position sur le véhicule, l'état de la chaussée, etc. ont une influence secondaire.

Il apparaît donc qu'il serait hasardeux de juger du bon état d'opération d'un pneu par la seule mesure de sa pression ou de sa température.

On peut penser à un système qui en plus de la pression et de la température prendrait en considération l'historique récent de la vitesse du véhicule et la température extérieure avant de porter un jugement sur l'état des pneus et la charge transportée. Un tel système devient rapidement très complexe et pas nécessairement très fiable et précis.

Une alternative plus prometteuse à court terme serait la comparaison continue de la température (et/ou de la pression) de pneus transportant des charges voisines comme c'est le cas pour les pneus d'un même groupe d'essieu. Les variations engendrées par la vitesse, la charge, le temps, etc. sont neutralisées et, si la température (et/ou pression) d'un pneu évolue différemment de celle des autres, le système détecte le défaut potentiel.

C'est un concept relativement simple qui pourrait également considérer une limite absolue de température et/ou pression.

5.0 CONCLUSION

Une recherche détaillée sur les techniques de surveillance des pneus de camions a été effectuée, conformément aux objectifs du projet.

L'étude de la documentation a mis en évidence l'existence de plusieurs systèmes dont, en particulier, le "Michelin Tire Monitoring System" (M.T.M.), développé par le fabricant de pneus Michelin de France, qui nous semble le plus avancé.

L'étude a de plus démontré que ce domaine est en pleine effervescence et laisse entrevoir des développements encore plus spectaculaires pour les prochaines années, tels que systèmes qui non seulement surveillent la pression et la température des pneus mais qui pourront, sans contact physique entre la roue et le châssis, gonfler ou dégonfler les pneus pour conduites de ville ou de route.

Pour ce qui est des camions, les systèmes de type M.T.M. mentionné plus haut sont tout désignés, à notre avis, pour mesurer la répartition des charges sur les pneus jumelés et leur apparition sur le marché est imminente. Cependant, de là à obtenir de façon suffisamment précise la charge par essieu, il y a un pas important qu'il sera difficile à franchir avec un système de mesure de pression et température.

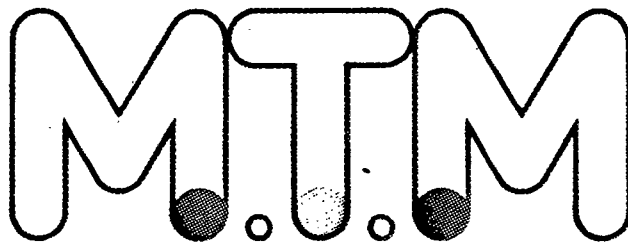
ANNEXE A

Systèmes de surveillance

DOCUMENTATION

A.1 "Michelin Tire Monitoring System" (M.T.M.)

- A.1.1 Dash display will tell tire pressure, in MACHINE DESIGN, février 26, 1987: 58.
- A.1.2 LEFAIVRE, M., MTM/Michelin, Télex à Paul Michaud, 30 mars 1987.
- A.1.3 MICHELIN, M.T.M. Système de surveillance des pneumatiques, Dépliant technique.
- A.1.4 MICHELIN, M.T.M. tyre monitoring system, Documentation technique, 1-4.
- A.1.5 PRÉVERAUD, J.F., Surveiller des pneumatiques en temps réel, in Bureaux d'études automatismes (31), janvier-février 1987: 23-25.
- A.1.6 Système de surveillance électronique des pneumatiques, in ACTION CANADA FRANCE, février 1987: 23.
- A.1.7 Technologie automobile: un système de surveillance électronique des pneumatiques, TRANSPORT ROUTIER DU QUÉBEC, mars 1987: 40.



A-3

SYSTÈME DE SURVEILLANCE DES PNEUMATIQUES

POURQUOI LE M.T.M.?

Le service que peut rendre un pneumatique est directement lié à sa pression d'utilisation.

C'est elle qui détermine non seulement le confort mais aussi le comportement de la voiture, la longévité du pneumatique, sa résistance au roulement et bien sûr la sécurité.

Les pneumatiques sont, le plus souvent, utilisés à une pression inférieure à la pression conseillée.

Ce sous-gonflage est en général le résultat d'une perte de pression lente due à une perforation :

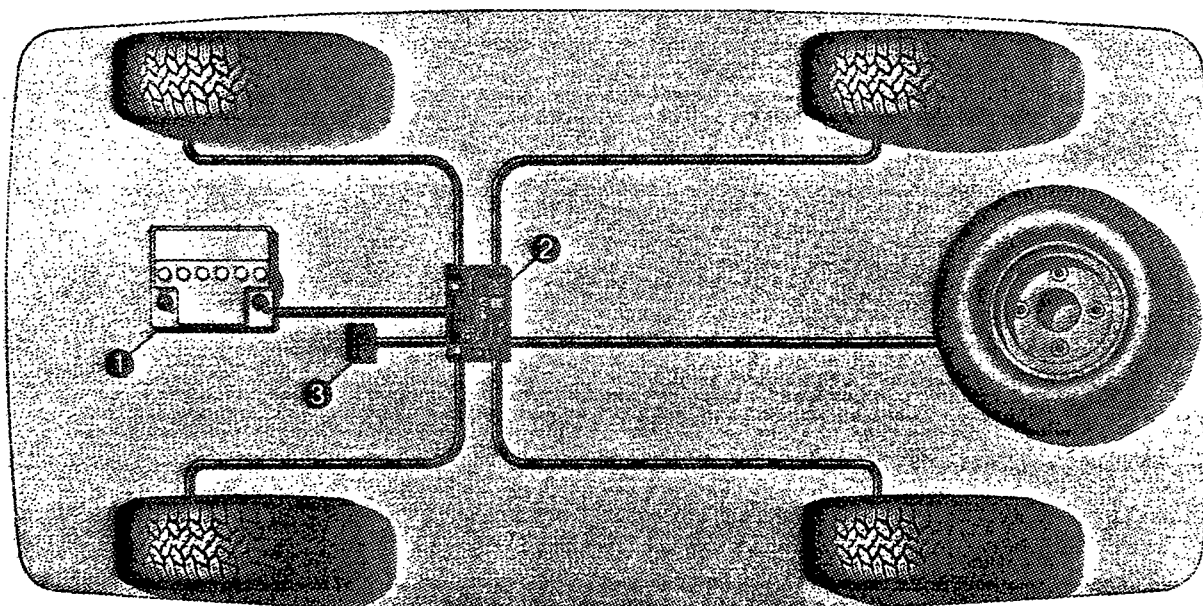
les pneus tubeless actuels ne perdent pas instantanément leur pression ; dans 75% des

cas, la mise à plat d'un pneu perforé demande au moins deux heures.

Ce laps de temps serait suffisant pour permettre à l'automobiliste - s'il était averti - de s'arrêter dans un parking ou une station service pour changer sa roue en toute sécurité.

Aujourd'hui, alors que les contrôles importants sont facilités par des alertes visuelles, rien, en ce qui concerne les pneumatiques, ne signale au conducteur qu'il doit vérifier leur pression, opération qui, par ailleurs, reste manuelle et fastidieuse.

Avec le M.T.M., Michelin a mis au point une solution d'avant-garde permettant de résoudre ce problème.



FONCTIONNEMENT

La batterie ① de la voiture fournit l'énergie nécessaire au fonctionnement d'un microprocesseur ②.

Le circuit pointillé rouge-bleu sert à la fois à envoyer de l'énergie vers les capteurs situés dans les roues et à transmettre au microprocesseur des informations codées.

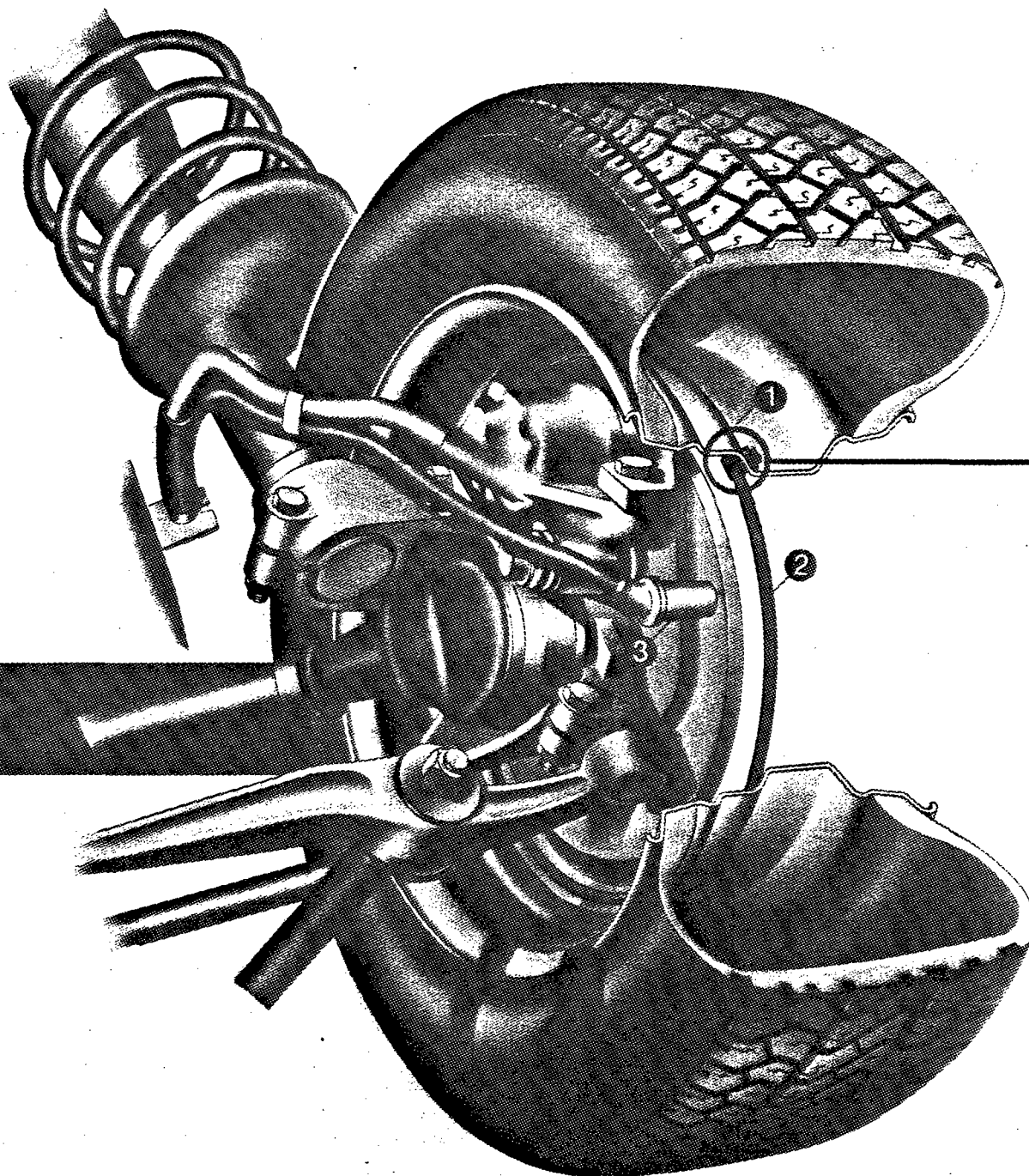
Un afficheur ③ installé au tableau de bord permet le contrôle des pneumatiques en roulage comme à l'arrêt.

MICHELIN

Le progrès en marche



MATÉRIEL FIXÉ SUR LA ROUE



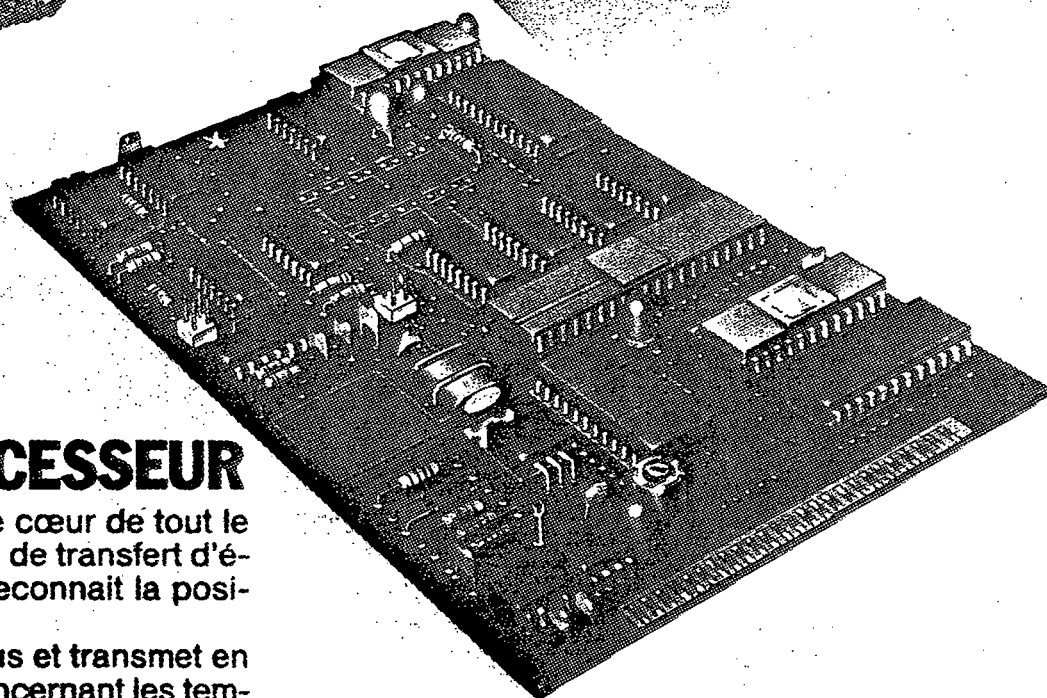
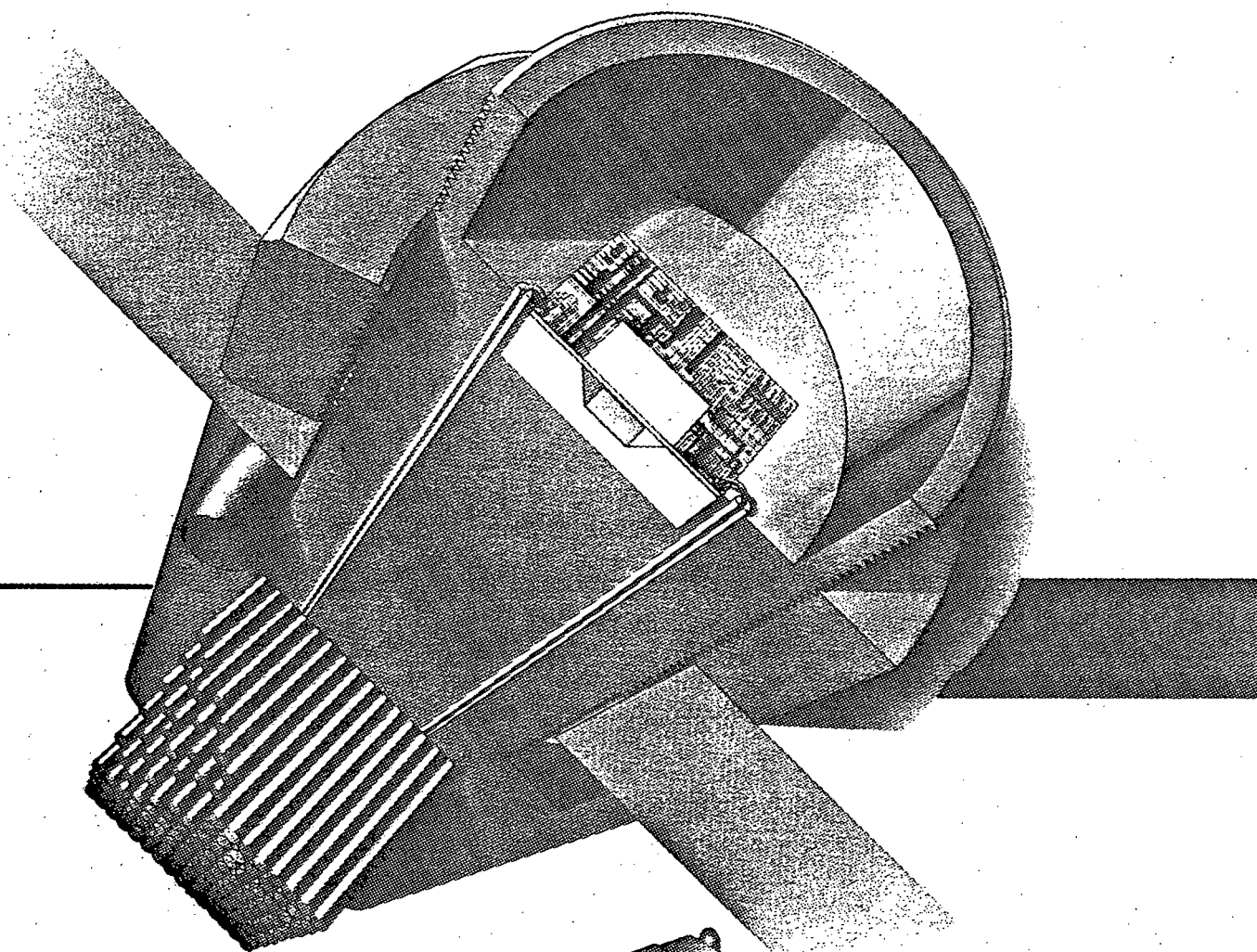
Deux microcapteurs dans un circuit intégré sont positionnés à l'intérieur de chaque jante ①.

Relié à une capacité et à une antenne circulaire ②, cet ensemble constitue l'unique matériel fixé sur la roue (poids: environ 100 grammes).

Côté voiture et à proximité de l'antenne circulaire, une deuxième antenne ③ assure deux

fonctions alternées:

- en phase émission, elle fournit l'énergie nécessaire, sous forme d'ondes électromagnétiques, au fonctionnement des microcapteurs;
- en phase réception, les informations codées sur la pression et la température du pneumatique sont transmises au microprocesseur.



LE MICROPROCESSEUR

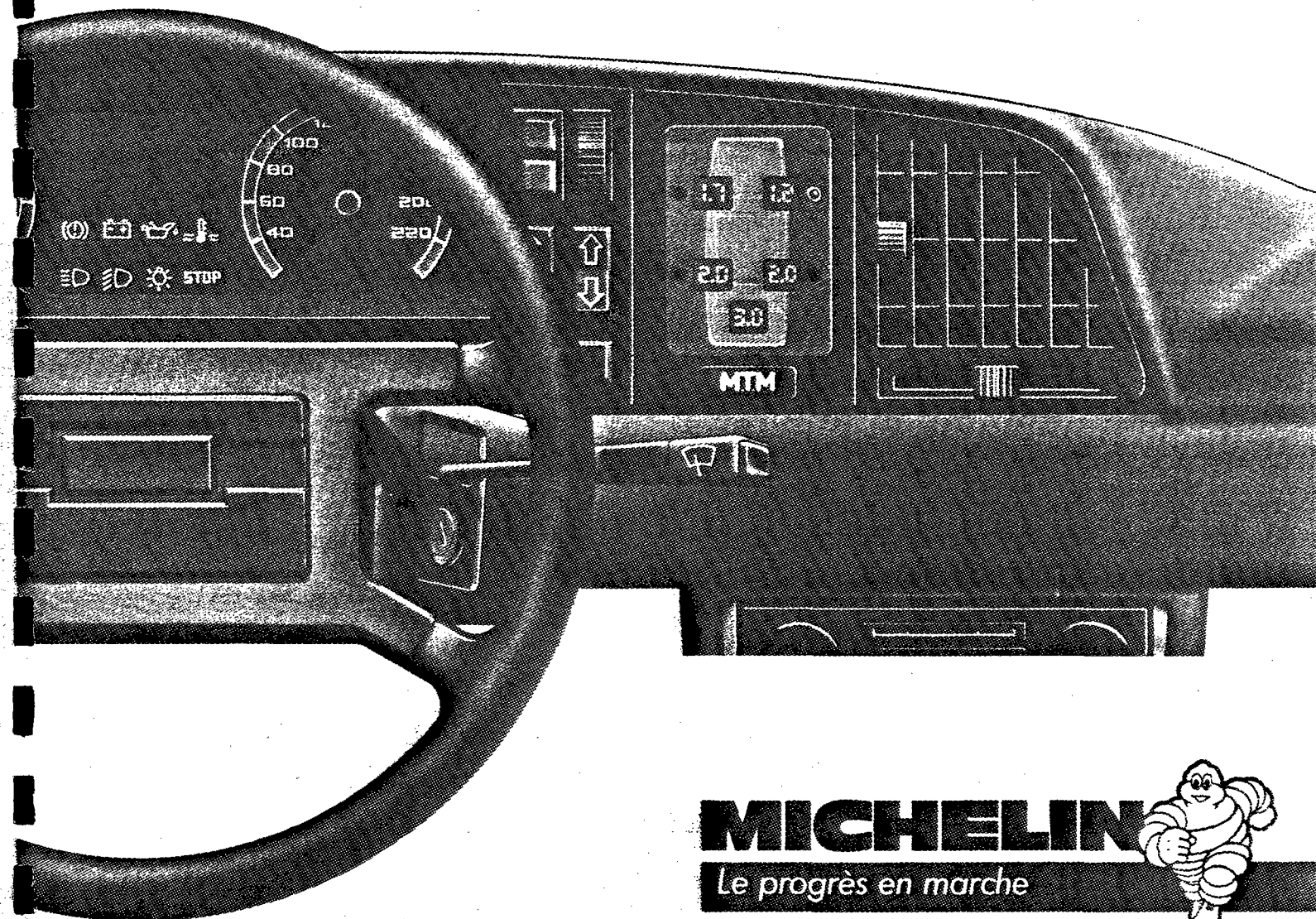
Le microprocesseur est le cœur de tout le système : il gère la séquence de transfert d'énergie et d'informations et reconnaît la position de chaque roue.

Il décode les signaux reçus et transmet en temps réel les indications concernant les températures et pressions de gonflage de chaque roue au dispositif d'affichage et d'alerte situé au tableau de bord.

MTM

A-6

AFFICHAGE



MICHELIN

Le progrès en marche



Ce microprocesseur offre de nombreuses possibilités d'exploitation des informations.

Citons par exemple :

- Contrôle immédiat des pressions de tous les pneus, y compris de celle de la roue de secours (systématiquement négligée aujourd'hui) par affichage direct au tableau de bord.
- Alerte, indiquant la position d'un pneumatique dont la température augmente de manière excessive.

Ceci peut être dû à une perte de pression ou à une pression mal adaptée aux conditions de roulage (charge - vitesse).

- Il est également possible de rappeler au conducteur que la roue de secours est montée à la place d'une roue normale. Cela peut être important lorsque l'on utilise une roue de secours spéciale, de dimension réduite pour laquelle une limitation de vitesse est à respecter.

DOCUMENTATION

A.2 Systèmes de surveillance / 1ère génération

(Note: par ordre chronologique)

- A.2.1 HORTA & LOPEZ, Apparatus and devices for automatic control and supervision of the pressure of the tires of vehicle wheels, Espagne, brevet U.S. 3,099,309 (juillet 1963).
- A.2.2 DAIMLER-BENZ, Tire pressure control device, Allemagne, brevet U.S. 3,101,111 (août 1963).
- A.2.3 SCOVILL MANUFACTURING, Tire pressure maintenance system, USA, brevet U.S. 3,276,503 (octobre 1966).
- A.2.4 ELECTRO-HYDRAULICS LTD., Tire deflating control means, Angleterre, brevet U.S. 3,361,180 (janvier 1968).
- A.2.5 YASUO TSURUTA, Procédé de réglage à distance de la pression d'un pneumatique et pneumatique correspondant, Japon, brevet français no 77 13806 (mai 1977).
- A.2.6 BOSCH, R., Installation pour régler la pression des pneus d'un véhicule automobile pendant la marche, Allemagne, brevet français no 82 02360 (février 1981).
- A.2.7 BOSCH, R., Soupape de commande de pression de pneu pour installation permettant de régler la pression des pneus d'un véhicule en marche, Allemagne, brevet français no 82 02689 (février 1982).
- A.2.8 BOSCH, R., Soupape pour installation permettant de varier la pression des pneus d'un véhicule automobile pendant la marche, Allemagne, brevet français no 82 11002 (juin 1982).
- A.2.9 YASUO TSURUTA, Procedimento e dispositivo per la regolazione automatica della pressione interna in un pneumatico, Japon, brevet italien no 1,060,697 (août 1982).
- A.2.10 BUDD, Tire pressure control in a vehicle, U.S.A., brevet U.S. 4,387,931 (juin 1983).
- A.2.11 BOSCH, R., Tire-pressure regulating system, Allemagne, brevet U.S. 4,421,151 (décembre 1983).

- A.2.12 BOSCH, R., Tire-pressure regulating system, RFA, brevet U.S. 4,437,504 (mars 1984).
- A.2.13 BUDD, Tire pressurization control system, U.S.A., brevet U.S. 4,441,539 (avril 1984).
- A.2.14 AM GENERAL CORP., Automatic tire inflation system retrofitting kit, U.S.A., brevet U.S. 4,470,506 (septembre 1984).

DOCUMENTATION

A.3 Systèmes de surveillance / 2e génération

(Note: par ordre chronologique)

- A.3.1 FORD MOTOR CO., Integral tire inflation valve and tire height sensor, U.S.A., brevet U.S. 4,196,414 (décembre 1978).
- A.3.2 Tire-Tele Monitoring System: Telemetry system keeps tabs on tire pressure, in MACHINE DESIGN, novembre 1983: 38.
- A.3.3 NISHIMURA, H., Nissan Motor, The development of two simple tire warning devices TW-I et TW-II, in SOCIETY ENGINEERS (840067), 1984: 1-5.
- A.3.4 BOSCH, R., Monitor for checking condition variables esp. vehicle type pressure, RFA, brevet allemand DE 3,445,854 A1 (décembre 1984).
- A.3.5 BOSCH, R., Alimentation en énergie électrique de circuits sur la roue pour un dispositif de surveillance des pneumatiques, RFA, brevet français no 85 10516 (juin 1985).
- A.3.6 The model PAM-15 wireless link measurement system for multiple thermocouple measurements, Doc. techn. de PHYSICAL MEASUREMENT DEVICES INC.

DOCUMENTATION

A.4 Systèmes de surveillance / 3e génération / Alarme

(Note: par ordre chronologique)

- A.4.1 B.F. GOODRICH CO., Tire inflation monitoring system, U.S.A., brevet U.S. 4,103,283 (juillet 1978).
- A.4.2 WALKER D., Bridgestone develops air pressure warning device, in RUBBER & PLASTICS NEWS, 11 décembre 1978: 25.
- A.4.3 Apparatus for sensing air-pressure drop in a tire, Toyota, Japon, brevet U.S. 4,177,671 (décembre 1979).
- A.4.4 KURASHIGE, T. ET AL., Low pressure warning device (LTPWD), in Society of automotive engineers (820458), 1982: 1-19.
- A.4.5 BOSCH, R., Pneumatically operable switch unit for monitoring tire pressure, RFA, brevet U.S. 4,435,625 (mars 1982).
- A.4.6 BOSCH, R., Installation de circuits pour la surveillance de la pression de pneumatiques pour véhicules auto, RFA, brevet français 83 09989 (septembre 1982).
- A.4.7 BOSCH, R., Tyre pressure monitoring switch, RFA, brevet allemand no DE 32 43 854 A1 (novembre 1982).
- A.4.8 BOSCH, R., Dispositif pour la surveillance d'au moins un point de référence sur un véhicule par rapport à la voie de circulation, RFA, brevet français no 84 06075 (avril 1983).
- A.4.9 NISHIMURA, H., Nissan Motor, The development of two simple tire warning devices (TW-I & TW-II), in Society of Automotive Engineers (84 0067), 1984: 1-5.

DOCUMENTATION

A.5 Systèmes de surveillance / 3e génération / Pression digitale

- A.5.1 NISHIMURA, H. & KATSUMATA, M., Nissan Motor Co., Development of digital tire pressure display device TW-II, in Society of Automotive Engineers (851237), 1985.

DOCUMENTATION

A.6 Systèmes de surveillance / 3e génération / Pression analogique

(Note: par ordre chronologique)

- A.6.1 BOSCH, R., Offenlegungsschrift, RFA, brevet allemand no DE 30 37 722 A1 (octobre 1980).
- A.6.2 BOSCH, R., Dispositif pour la surveillance continue de la pression de l'air dans un pneumatique de véhicule, RFA, brevet français no 80 27133 (décembre 1980).
- A.6.3 BOSCH, R., Circuitry monitoring vehicle type pressure, RFA, brevet allemand DE 34 13209 A1 (avril 1984).
- A.6.4 BOSCH R., Sensor for measuring physical magnitudes, RFA, brevet international W086/03831 (décembre 1984).
- A.6.5 Central tire deflation system C.T.D.S., Doc. techn. PM Labinal, France.

Voir aussi documentation Michelin tire monitoring system (M.T.M.) au début de l'annexe A.

ANNEXE B

Documentation sur les composantes de
systèmes de surveillance des pneus

Technologie sondes (sensors)

- 1- Nouvelles technologies pour les sondes, in La Revue Polytechnique, 1453 (8), 1984: 829-833.
- 2- Wiegand effect transducers, in Automotive Engineering, 94 (8), 1986: 89.
- 3- MINDEL, G.S., The Role of Advanced Industrial Materials in Transportation Vehicle Instrumentation. Symposium on the application of advanced materials for transportation vehicles, May 13, 1986, 23 p.
- 4- Technical Review, Automotive electronics Part 3: Sensors, in Vehicle Design, 5 (5), 1984: 599-604.
- 5- ALLAN, R., Nonvision Sensors, in Electronic Design, June 27, 1985: 103-115.
- 6- CASANOVA ALIG, R., Acoustic diffraction and the electrostrictive transducer, in Journal of Applied Physics, 46 (9), 1975: 3731-3737.
- 7- SOKALSKI, R.G. et al., A technique for Non-Contact Position Sensing, in Society of Automotive Engineers, Inc., February 27-March 2, 1984: 93-108.
- 8- DILLER, R.W., New Sensor Developments Leading to Sensor System Simplification, in Society of Automobile Engineers, Inc., October 1-4, 1984: 1-4.
- 9- IC sensors boost potential of measurement systems, in Transducer Technology, October, 1985:20-21.
- 10- IC-type pressure transducers offer conditioned, high-level linear outputs, in EDN, July 24, 1986: 199.
- 11- MARX, G.M., The First Production Automotive Capacitive Pressure Sensor, in Society of Automotive Engineers, Inc., February 27-March 3, 1978: 1-7.
- 12- KOBAYASHI, R., A piezoresistive integrated pressure sensor, in Sensors and Actuators, 4, 1983: 63-69.
- 13- SHCHAFER, H.J., Thermal Stress on a Piezoelectric Pressure Transducer in the Combustion Chamber of an SI-Engine, in Society of Automotive Engineers, Inc., February 25 - March 1, 1985: 21-27.

- 14- Documentation publicitaire:
 New KYNAR Piezo Film, Pennwalt
 Crystals filters oscillators, Quartz Products by Lap-Tech
 Croven Crystals

Multiplexage petit "LAN"

- 1- NAEGELE, T., The next big auto market: the multiplexed data bus, in Electronics, August 21, 1986: 81-82.
- 2- Here comes a better way to wire up an auto, in Electronics, August 21, 1986: 67-69.
- 3- HIMONO, Y., Optical Technical Paper Series, in Society of Automotive Engineers, Inc., February 27 - March 2, 1984: 1-6.
- 4- MITCHELL, R.L., A Small Area Network for Cars, in Society of Automotive Engineers, Inc., February 27 - March 2, 1984: 177-184.
- 8- MATSUZAKI, Y., Development of Multiplex Wiring System with Optical Data Link for Automotiles, in Society of Automotive Engineers, Inc., February 27 - March 2, 1984: 1-13.
- 9- TUSKA, J.W., Multiplex Wiring with Microcomputer Control, in Society of Automotive Engineers, Inc., February 27 - March 2, 1984: 1-6.

Capteurs fibre optique:

Survol général.

- 1- DAVIS, C.M., Fiber optic sensors: an overview in SPIE, 478, 1984: 12-18.
- 2- OVRÉN, C. et al., New opportunities with fibre-optic measurement, in Sensor Review, October, 1985: 199-205.
- 3- TEBO, A.R., Sensing with Optical Fibers: An Emerging Technology, in Systems Design, February, 1982: 39-45.
- 4- McMILLAN et al., Single-mode optical fibre sensors, in GEC Journal of Research, 2 (2), 1984: 119-124.
- 5- BAKER, P., Sensing the optical fibre's hidden talent, in Electrical Review, 212 (1), 1983: 25-29.

- 6- LAGAKOS, N. et al., Multimode optical fiber displacement sensor, in Applied Optics, 20 (2), 1981: 167-168.
- 7- VINARUB, E.I., Optical fibers make low-cost and reliable sensors, in Electronic Design, March 31, 1983: 188-189.
- 8- DAVIS, C.M., Fiber optic sensors: an overview, in Optical Engineering, 24 (2), 1985: 347-351.

Capteurs fibre optique:
Température.

- 9- MALHOTRA, P., Fibre optic system for temperature measurement, in Electrical Engineer, December, 1984:17-20.
- 10- CORKE, M. et al., Temperature sensing with single-mode optical fibres, in Sci. Instrum., 17, 1984: 988-993.
- 11- MOREY, W.W., Fiber optic temperature sensor, in ISA, 1983: 261-274.
- 12- GRATTAN, K.T.V., A fibre temperature sensor using fluorescent decay, in SPIE, 492, 1984: 535-542.
- 13- TAKEO, T. et al., An Optical Fiber Thermo-Sensor Using GaP, in Japanese Journal of Applied Physics, 24 (6), 1985: 728-731.
- 14- LACROIX, S. et al., Capteur de température interférométrique à fibre optique monomode, in Optics Communications, 51 (2), 1984: 65-67.
- 15- ROSS, J.N., The rotation of the polarization in low birefringence monomode optical fibres due to geometric effects, in Optical and Quantum Electronics, 16, 1984: 455-461.
- 16- JENS BUUS, A., Fiber-sensorer - et stort forskningsområde, in Elektronik, 4, 1983: 4-8.

Capteurs fibre optique:
Champs électriques et champs magnétiques.

- 17- HOLM, U. et al., Measurement system for magneto-optic sensor materials, in Sci. Instrum., 17, 1984.
- 18- GULYAEV, Y.V. et al., Fiber optical electric field sensor, in Sov. Phys. Tech. Phys., 29 (9), 1984: 1064-1065.

- 19- LENZ, J.E., Fiber Optic Magnetometer Design, in SPIE, 478, 1984: 86-90.

Tendances technologiques dans l'automobile

- 1- MIZUTANI, S. et al., The state of the art and future trends in automotive electronics, in Vehicle Design, 6 (6), 1985: 817-830.
- 2- LEUGNER, L., Electronic Controls: the New Wave of Technology, in Truck Fleet, October, 1986: 43-44.
- 3- DESCARRIES, E., L'électronique dans les camions: quoi de neuf?, in Electro du transport, Septembre, 1987.
- 4- COLENS, A., The design of semi-custom ICS for the automotive industry, in Vehicle Design, 6 (6), 1985: 703-710.
- 5- Superior world vehicles through electronics, in Society of Automotive Engineers, Inc., 94 (8), 1986: 57-59.
- 6- Vehicle network, protocol standard proposed, in Society of Automotive Engineers, Inc., 94 (8), 1986: 38-42.

ANNEXE C

Suspensions de camions

DOCUMENTATION

- 1- STERNBERG, E.R., White Motor CO., Heavy-duty truck suspensions, in Society of Automotive Engineers (SP-402), février 1976: 1-52.
- 2- ERWIN, R.D., A survey of the characteristics of equipment in the canadian trucking fleet, RTAC Study on Weights and Dimensions, Report on task 1, août 1984.

DOCUMENTATION EN ATTENTE

- 1- HUGHES J.G., Suspension & steering, Rio Hondo College.
- 2- Truck data book, Sandford Evans Communications ltd., Winnipeg, MB.

ANNEXE D

**Étude quantitative des variations de
pression et température**

(Note: par ordre du no S.A.E.)

- 1- 660758
STRIGLE, C.E. Tire Inflation Monitoring Devices for Commercial Vehicles, Society of Automotive Engineers, Inc., October (17-21), 1966: 1-5.
- 2- 720161
KIENLE, R.N., Material Properties Affecting Traction and Wear of Passenger Tires, Society of Automotive Engineers, Inc., January (10-14), 1972: 1-9.
- 3- 720925
CORCORAN, D.A., Effects of Operating Parameters on Truck Tire Sounds, Society of Automotive Engineers, Inc., 81, 1972: 12-17.
- 4- 730145
SCHURING, D., Rating Traction and Wear, Society of Automotive Engineers, Inc., January (8-12), 1973: 1-12.
- 5- 730183
TIELKING, P.S. et al., Mechanical Properties of Truck Tires, Society of Automotive Engineers, Inc., January (8-12), 1973: 1-11.
- 6- 730615
BERGMAN, W. et al., New Concepts of Tire Wear Measurement and Analysis, Society of Automotive Engineers, Inc., May (14-18), 1973: 1-23.
- 7- 740609
REITER, W.F. et al., Truck Tire Vibration Noise, Society of Automotive Engineers, Inc., August (12-16), 1974: 1-10.
- 8- 741100
TSUCHIYA, S. et al., The Effects of Tire Wear on Vehicle Behavior, Society of Automotive Engineers, Inc., 1974: 31-39.
- 9- 741107
FANCHER, P.S. et al., The Effects of Tire-in-Use Factors on Passenger Car Performance, Society of Automotive Engineers, Inc., 1974: 113-121.
- 10- 741138
BRADISSE, J.L. et al., Mobile Truck Tire-Traction Test System, Society of Automotive Engineers, Inc., November (4-7), 1974: 1-7.

- 11- 750459
CHIESA, A. et al., Evaluation of Tire Abrasion in Terms of Driving Severity, Society of Automotive Engineers, Inc., February (24-28), 1975: 1-22.
- 12- 791044
GILES, W.L., Expanded Applications Wide Base Radial Truck Tire, Society of Automotive Engineers, Inc., November (5-8) 1979: 1-9.
- 13- 801022
GORDON, D.M., Internal Air Temperature Measurements in Tyres-A major Advance in Earthmover Tyre Pressure Control, Society of Automotive Engineers, Inc., September (8-11), 1980: 1-5.
- 14- 821265
O'NEAL, J.W. et al., Interlaboratory Rolling Resistance Testing-Highway Truck and Bus Tires, Society of Automotive Engineers, Inc., 1982: 15-27.
- 15- 831027
SCHURING, D.J. et al., Tire Rolling and Pressure Increase, Society of Automotive Engineers, Inc., June (6-9), 1983: 1-7.
- 16- 831379
Rolling Resistance Measurement Procedure for Highway Truck and bus Tires, Society of Automotive Engineers, Inc., August, 1983: 9-11.
- 17- 831796
KENNY, T.M., Preduction of Contained Air Temperature from SAE Standard Rolling Resistance Test Data, Society of Automotive Engineers, Inc., November (7-10), 1983: 1-6.
- 18- 840068
FULLER, D.L. et al., Effect of Testing Conditions on Rolling Resistance of Automobile Tires, Society of Automotive Engineers, Inc., February (27 - March 2), 1984: 1-11.
- 19- 850464
WOOD, D.L., Development of General Motors Fourth Generation TPC Tires, Society of Automotive Engineers, Inc., February (25 - March 1), 1985: 1-19.
- 20- 851627
KVATINSKY, C. et al., Application of the Contact Pressure Display (CPD) Method to Tire Mechanics, Society of Automobile Engineers, Inc., September (23-26), 1985: 1-7.

- 21- 725012
SAKAGAMI, J., The Experimental Study of Truck Tire Noise, London, England, 1972, (81-88).
- 22- 825073
VISCONTI, A., Effect of operating conditions on truck-tyre rolling resistance: a calculating method, Melbourne, Australia, 1982, (88.1-88.6).
- 23- Les pneus de camion trop gonflés réduisent la durée de vie des routes, Association québécoise du transport et des routes Inc.(ATUQ), 1987.

ANNEXE E

Étude quantitative des variations de pression
et température dans les pneus de véhicules routiers

ÉVOLUTION DE LA PRESSION ET DE LA TEMPÉRATURE DE L'AIR A L'INTÉRIEUR D'UN PNEU DE CAMION

La pression et la température de l'air à l'intérieur d'un pneu de camion dépendent de plusieurs facteurs tels la vitesse, la charge transportée, la température ambiante, le temps, la pression de gonflage initiale et plusieurs autres facteurs secondaires tels le type de pneus, la surface de roulement, etc.

Une revue des articles techniques nous a permis d'identifier deux études récentes sur la prédiction de la température et de la pression d'équilibre d'un pneu de camion. Ce sont:

- SCHURING & SPEYER, Tire rolling loss and pressure increase, SAE 831027.
- KENNEY, T.M., Prediction of contained air temperature from SAE standard rolling resistance test data, SAE 831796.

Ces deux rapports prédisent la pression d'équilibre et la température d'équilibre à partir de données sur la résistance de roulement des pneus obtenue selon la méthode recommandée par SAE J 1379, "Rolling resistance measurement procedure for highway truck and buses tires".

En effet, lorsqu'un pneu atteint son équilibre thermique, le principe de la conservation de l'énergie permet d'écrire que la puissance transmise au pneu est égale à la puissance qu'il dissipe. Ainsi, chaque étude est basée sur l'équation suivante:

$$(\text{Résistance au roulement}) \times (\text{vitesse}) = (\text{pertes de chaleur})$$

Le développement de cette équation de base permet de calculer la pression d'équilibre en fonction des conditions initiales, de la vitesse et de la résistance au roulement.

$$P - P_0 = (v/H) (P_0/T_0) F_r$$

où P = pression d'équilibre
 P_0 = pression de gonflage initiale
 H = coefficient de dissipation thermique totale
 T_0 = température ambiante et initiale absolue
 F_r = résistance au roulement
 v = vitesse

Le coefficient H se calcule avec l'équation précédente appliquée aux essais SAE J 1379.

De son côté, la température d'équilibre de l'air à l'intérieur d'un pneu se calcule par la loi des gaz appliqués à une masse d'air constante dans un volume constant.

$$T = \frac{P}{P_0} T_0$$

La température absolue varie donc selon le rapport des pressions absolues.

Des augmentations typiques de température tirées du rapport SAE 831796 ont été mises en graphique pour mieux visualiser les variations en fonction de la charge, de la vitesse et de la pression initiale (voir figures E1 à E9).

Des figures E1 à E3, on peut trouver une variation moyenne de la température d'équilibre en fonction de l'augmentation de la charge par pneu, pour les pressions de gonflage initiales suivantes de:

17,5 °C/tonne à 63,5 km/h
 18,0 °C/tonne à 88,5 km/h
 21,1 °C/tonne à 120,7 km/h

De plus, pour les pressions de gonflage initiales faibles, la variation est plus importante surtout aux plus fortes charges.

La variation des températures d'équilibre en fonction des vitesses est aussi assez linéaire pour la gamme de charges et vitesses étudiées et des figures E4 à E6, on peut déduire des facteurs moyens de:

0,67 °C/km/h à 7,25 kPa de pression initiale
 0,45 °C/km/h à 10,90 kPa de pression initiale
 0,34 °C/km/h à 14,50 kPa de pression initiale

De même, les figures E7 à E9 montrent des variations moyennes de température en fonction de la pression initiale de gonflage de:

-0,040 °C/kPa à 63,5 km/h
 -0,060 °C/kPa à 88,5 km/h
 -0,079 °C/kPa à 120,7 km/h

Ces études prouvent que la seule connaissance de la température (ou de la pression) d'un pneu n'est pas suffisante pour déterminer s'il opère dans des conditions normales. Il faudrait, en général, connaître plusieurs autres facteurs tels la charge supportée, la vitesse, le temps d'opération, la température ambiante.

FIGURE E1

TEMPÉRATURE vs CHARGE

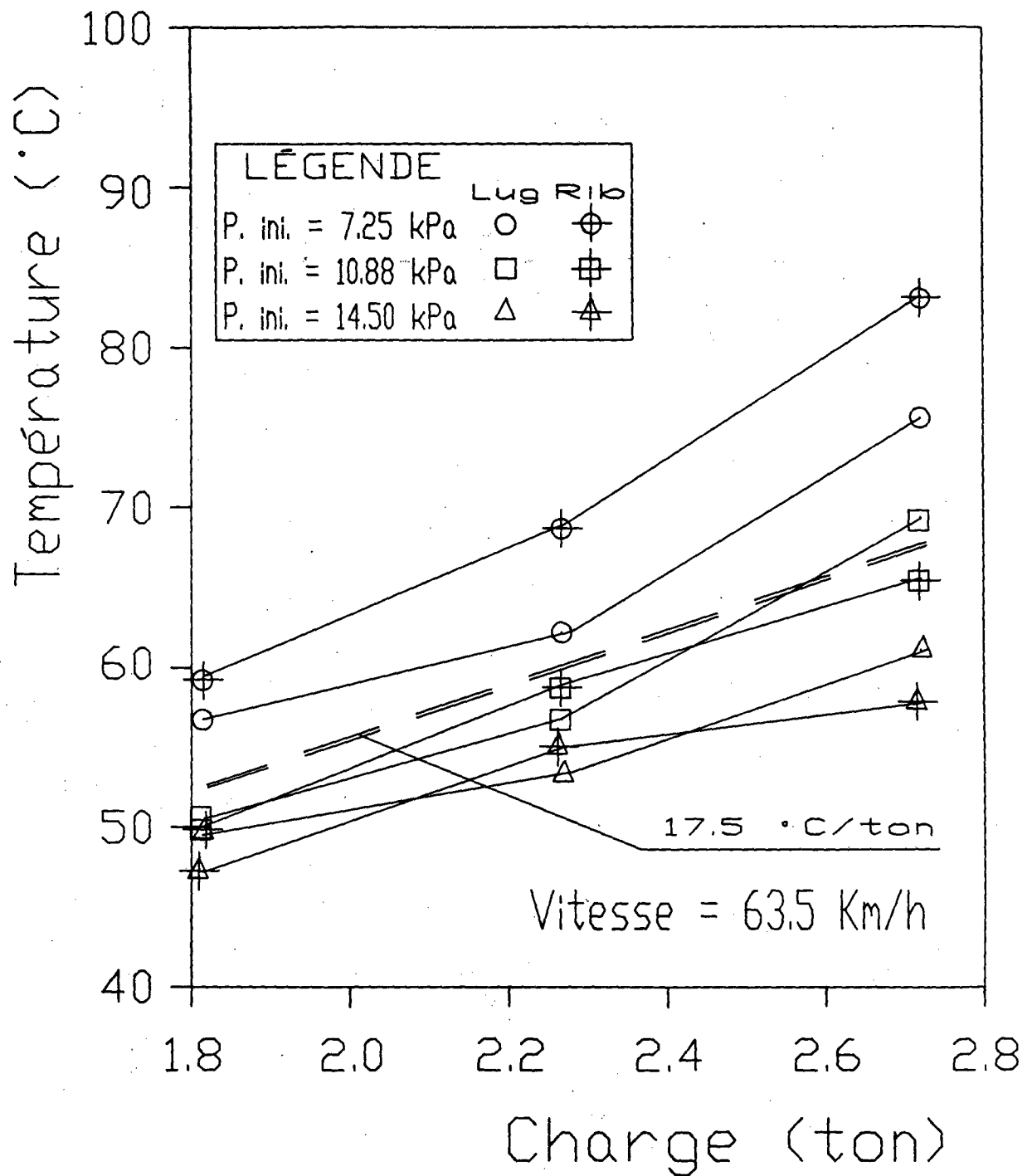


FIGURE E2

TEMPÉRATURE vs CHARGE

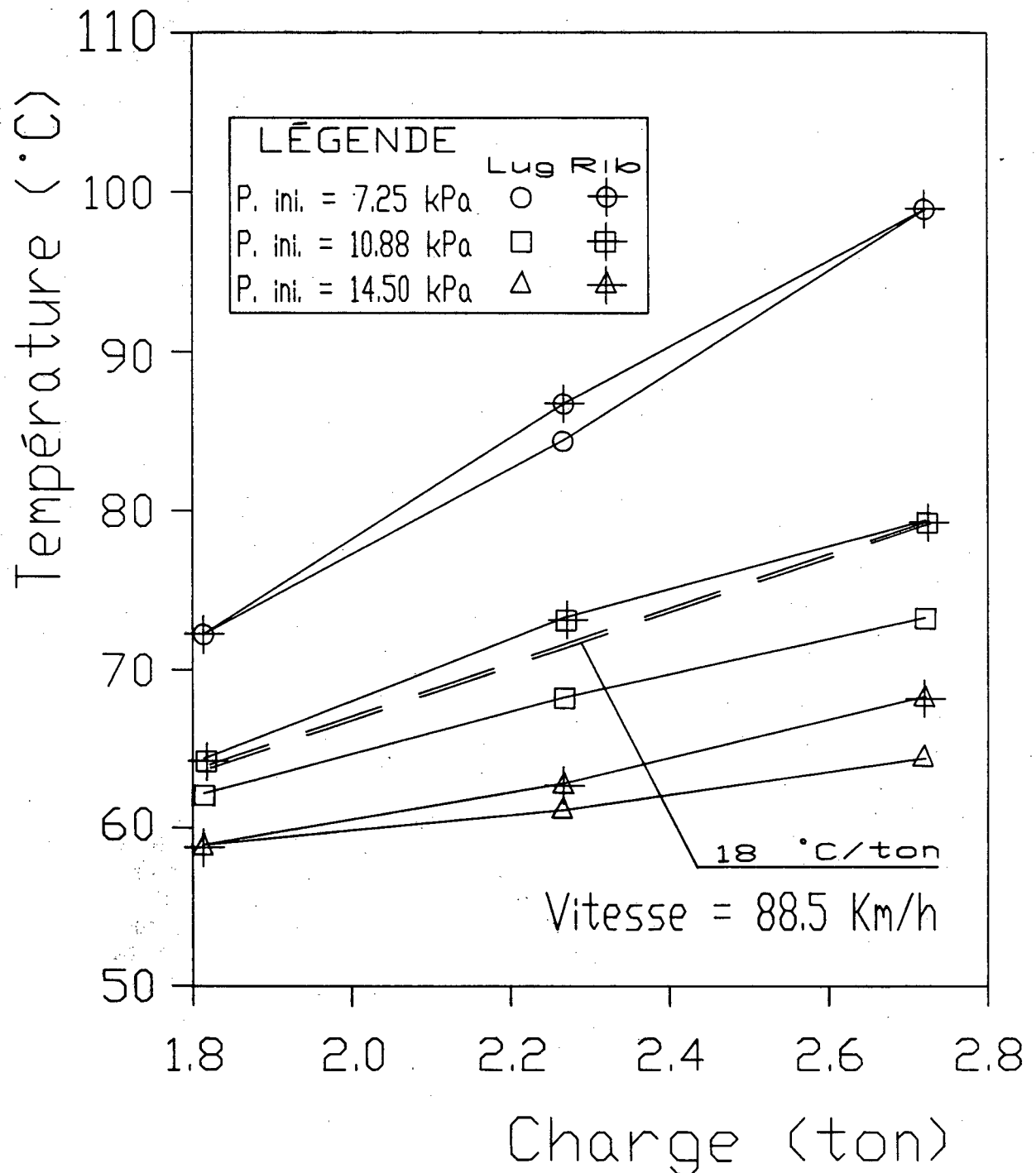


FIGURE E3

TEMPÉRATURE vs CHARGE

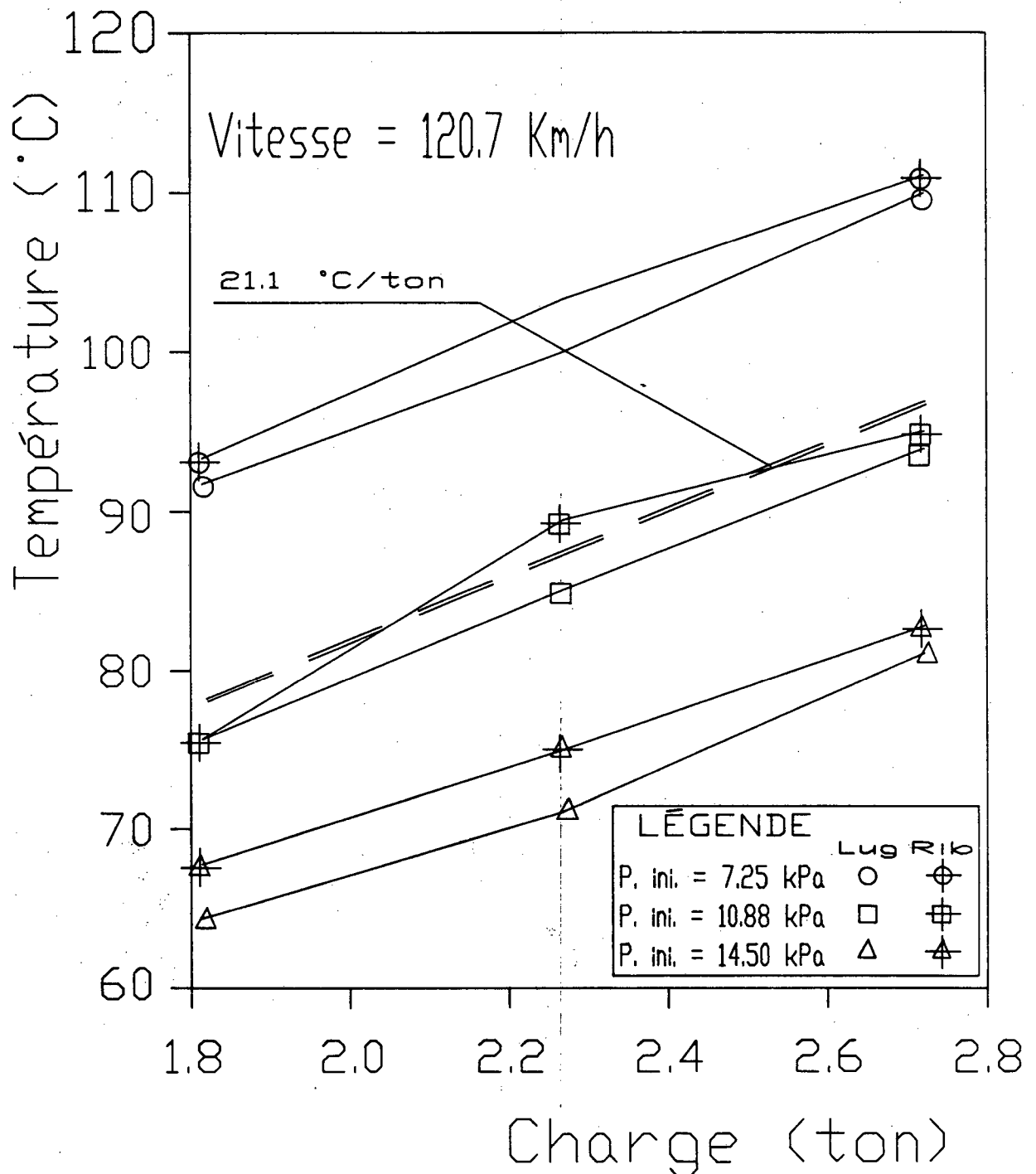


FIGURE E4

TEMPÉRATURE vs VITESSE

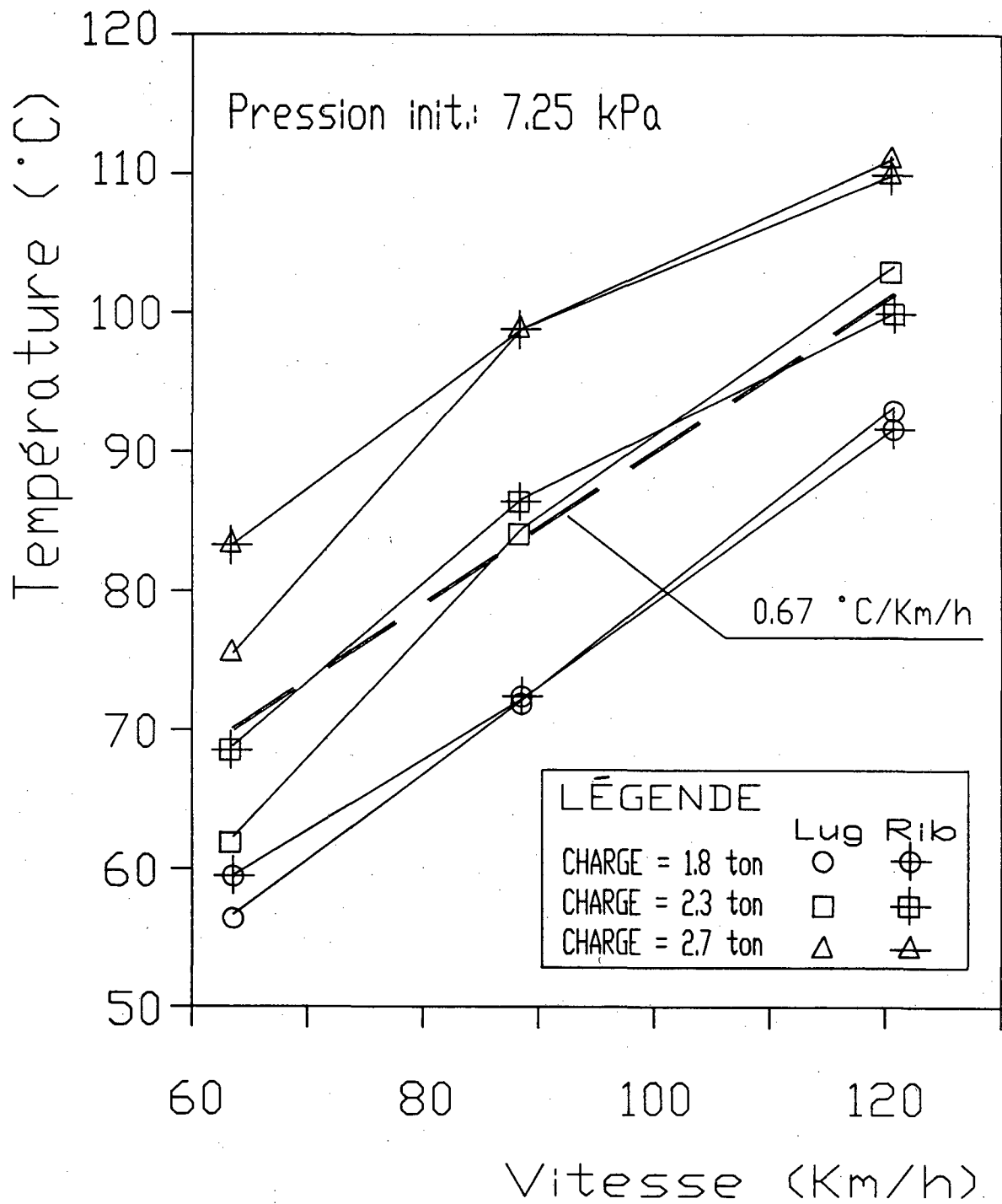


FIGURE E5

TEMPÉRATURE vs VITESSE

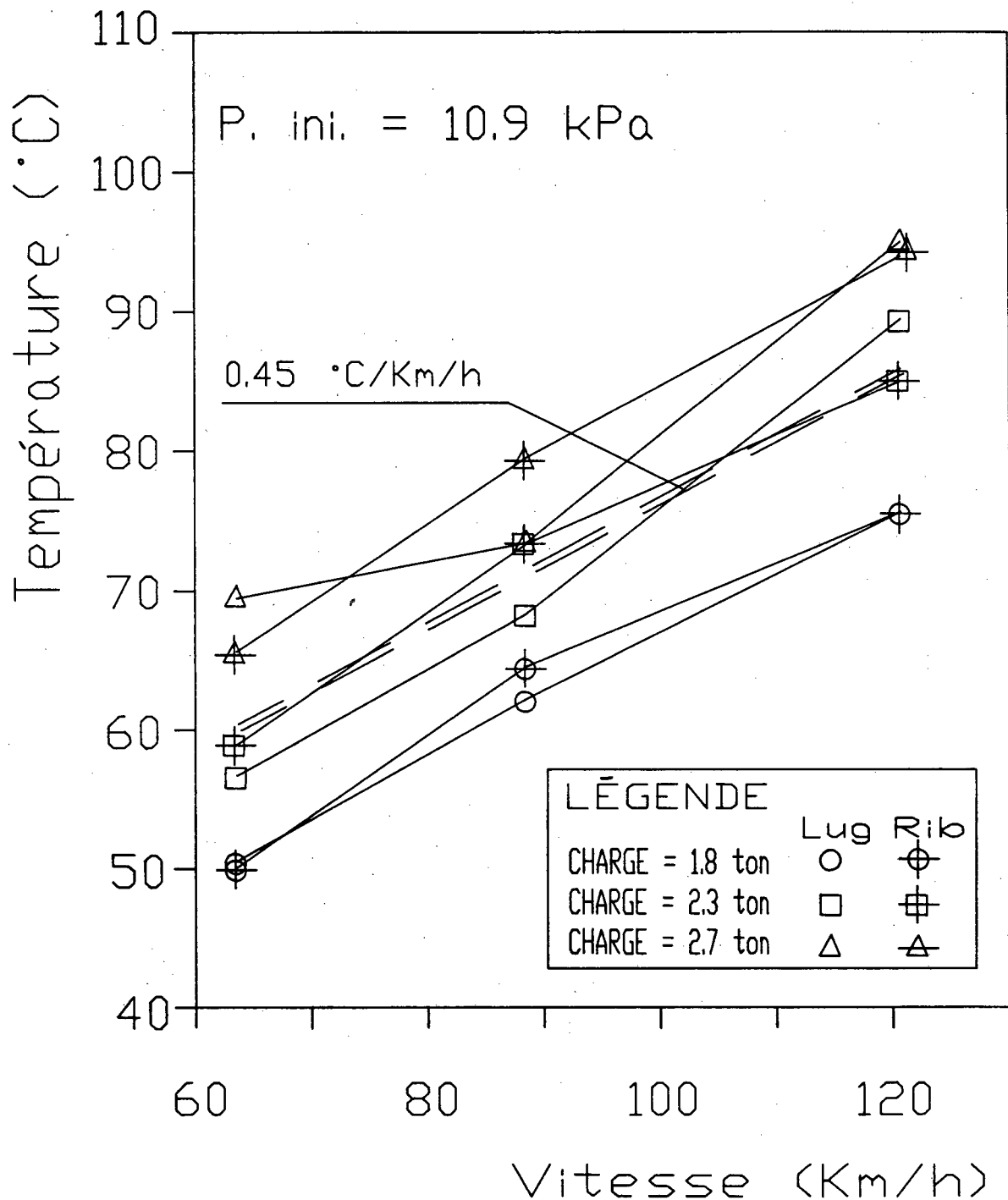


FIGURE E6

TEMPÉRATURE vs VITESSE

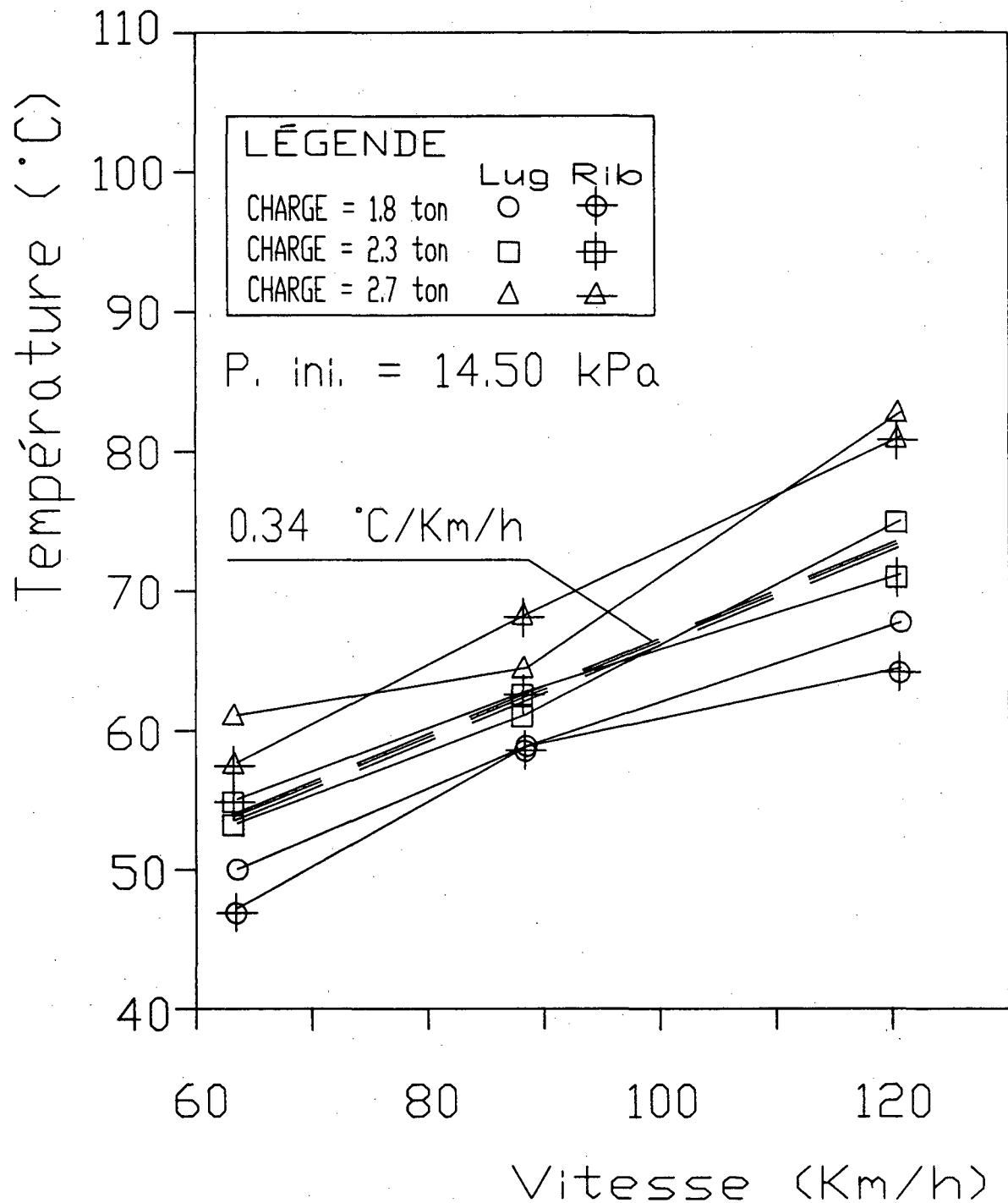


FIGURE E7

TEMPÉRATURE vs PRESSION INITIALE

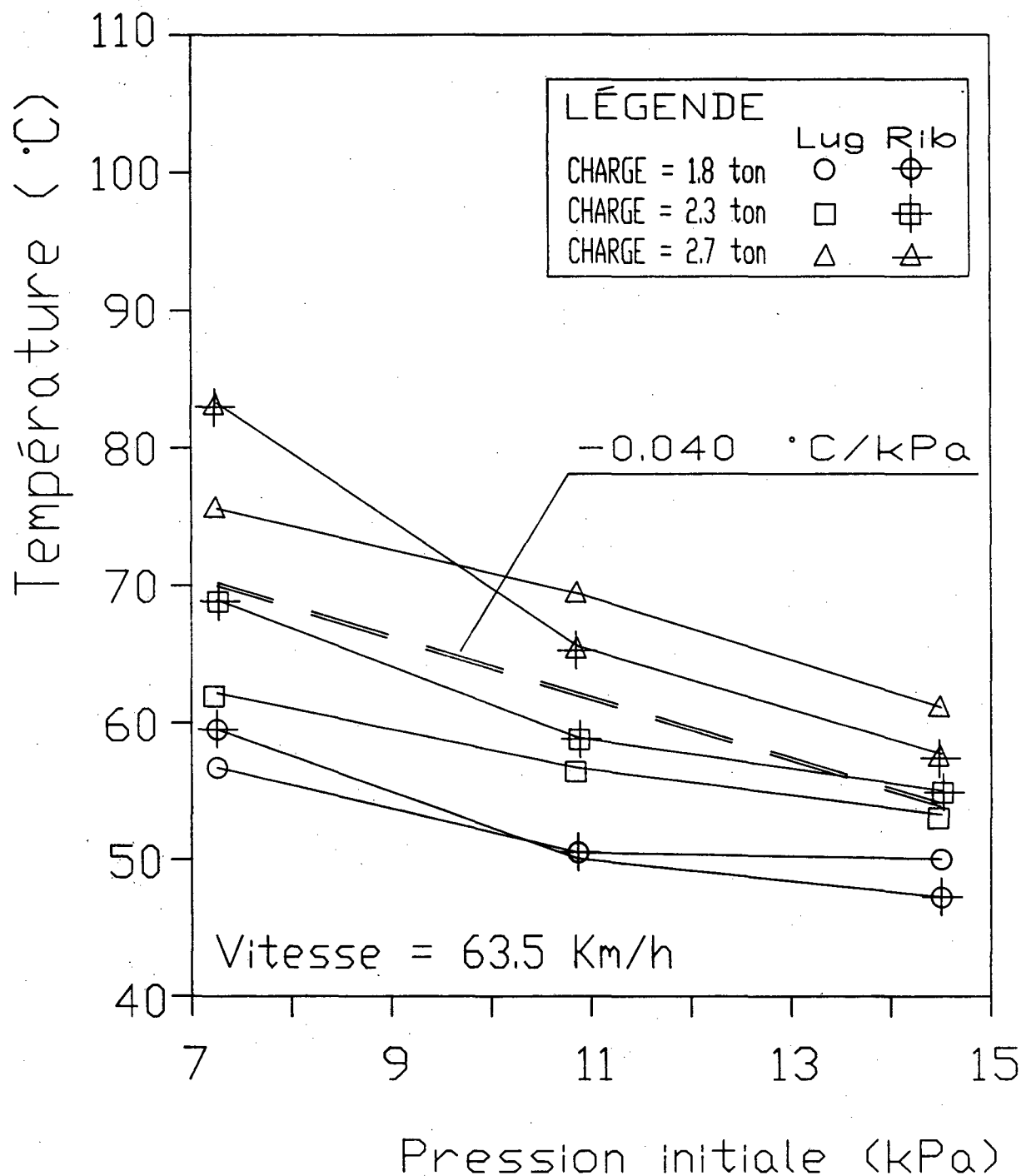


FIGURE E8

TEMPÉRATURE vs PRESSION INITIALE

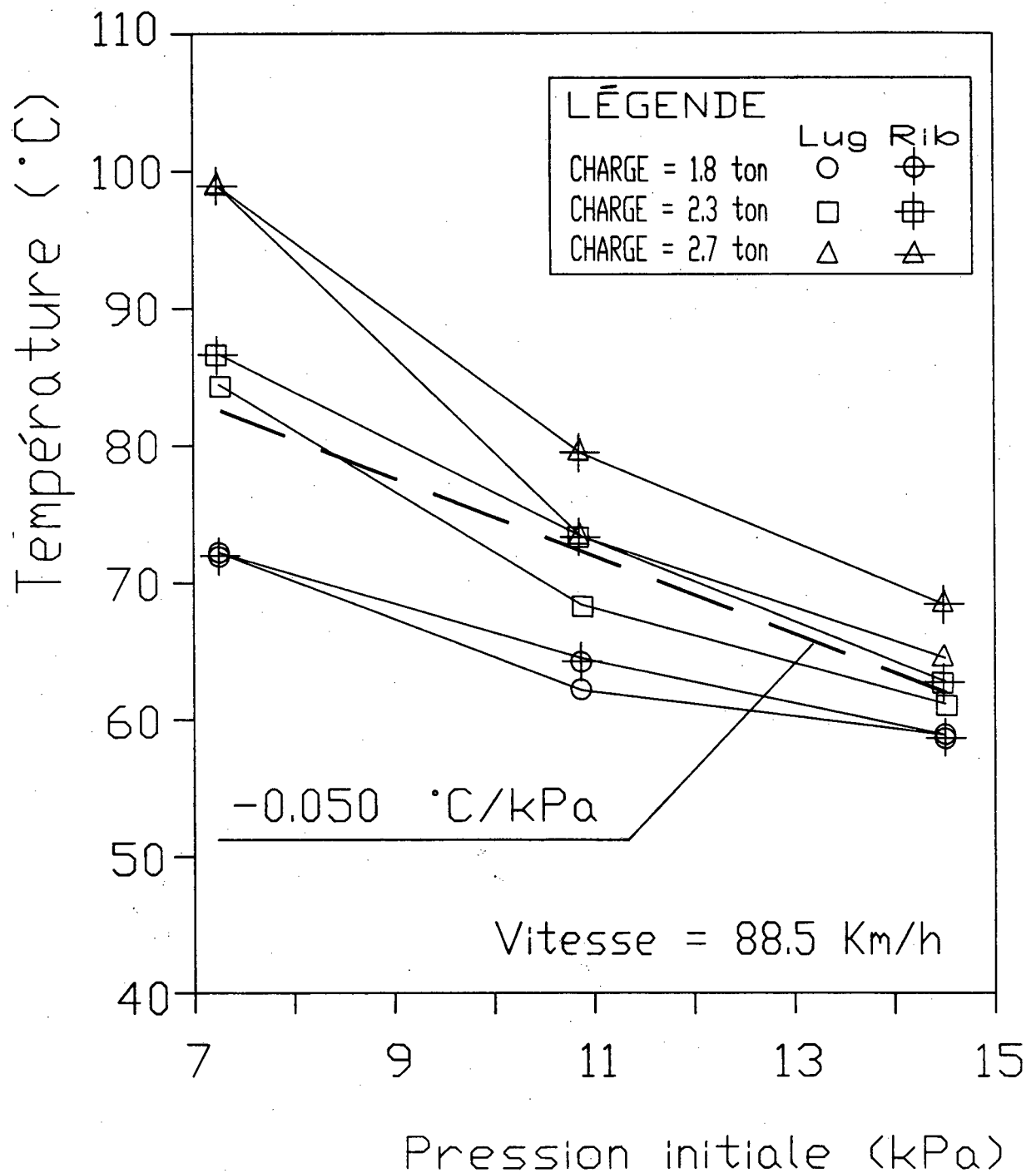
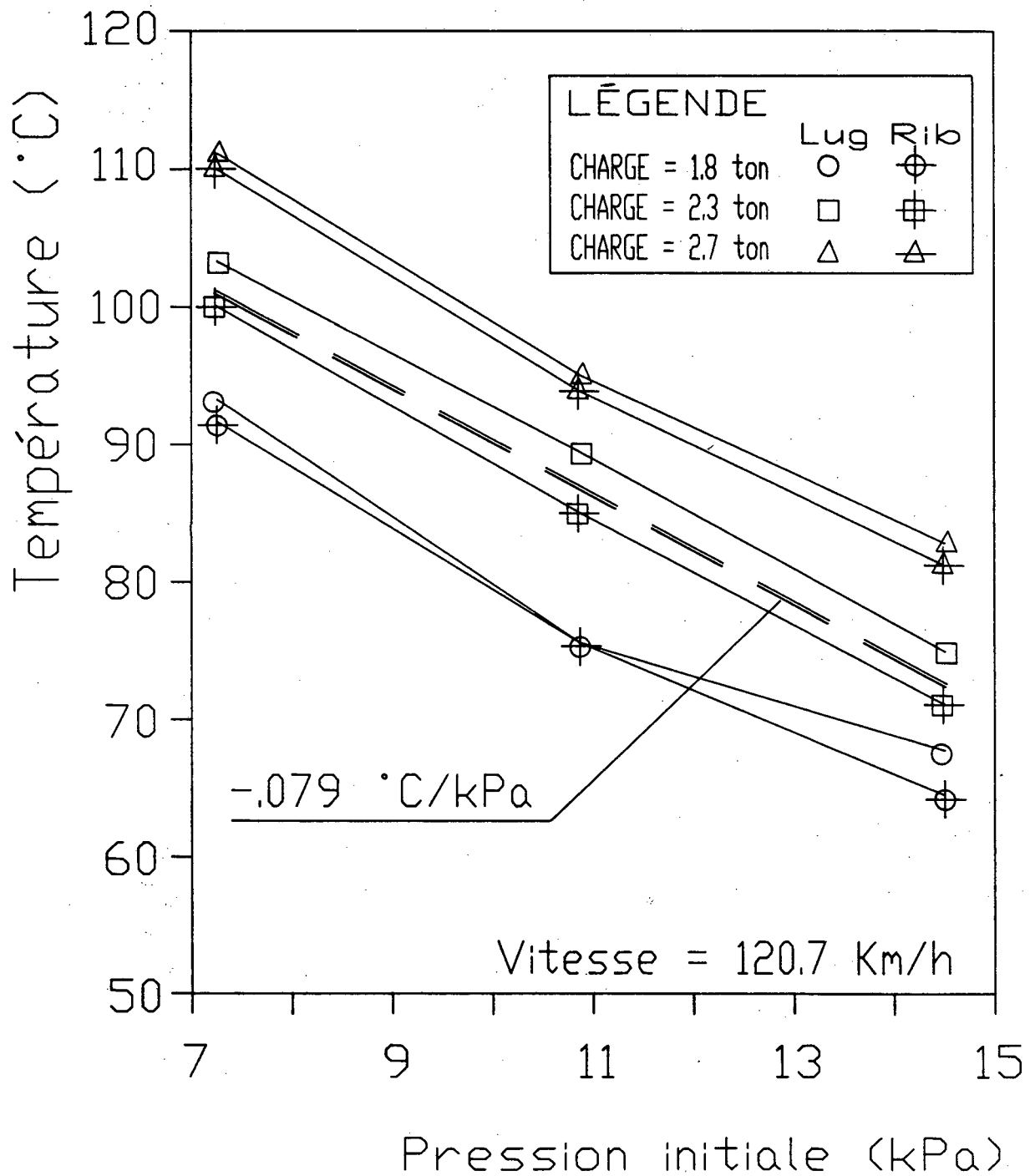
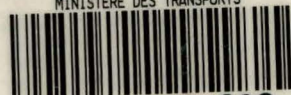


FIGURE E9

TEMPÉRATURE vs PRESSION INITIALE



MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 110 808