

# RECHERCHES TRANSPORT

BULLETIN D'INFORMATION SCIENTIFIQUE

*Volume thématique no 13 : décembre 1993*

## PROJET DE RECHERCHE TROUSSE À COMMANDE ÉLECTRONIQUE D'ALIMENTATION MIXTE DES AUTOBUS URBAINS

**Roland Francoeur**  
Conseiller principal  
Centre des technologies du gaz

MINISTÈRE DES TRANSPORTS  
CENTRE DE DOCUMENTATION  
700, BOUL. RENÉ-LÉVESQUE EST,  
21<sup>e</sup> ÉTAGE  
QUÉBEC (QUÉBEC) - CANADA  
G1R 5H1

### INTRODUCTION

L'utilisation du gaz naturel comme carburant de remplacement comporte des avantages en matière de réduction des coûts d'exploitation et des émissions polluantes. Le gaz naturel est disponible en grande quantité au Canada, son prix est sensiblement moins élevé que celui du gasoil, et sa combustion n'engendre pas d'émission de particules.

C'est dans ce contexte que, le 19 décembre 1989, une entente était signée entre Gaz Métropolitain et le ministère des Transports du Québec pour effectuer une recherche sur une trousse à commande électronique d'alimentation mixte des autobus urbains.

Ce projet a également fait l'objet d'une lettre de contribution séparée entre Gaz Métropolitain et Transports Canada dans le cadre du volet recherche et développement de l'entente auxiliaire Canada-Québec sur le développement des transports.

Ce projet visait la conception d'une trousse de conversion à commande électronique d'alimentation mixte (gasoil - gaz naturel) des moteurs DDC 6V-71. Ces moteurs ont été largement utilisés (80 %) dans la flotte canadienne d'autobus urbains; on dénombre 10 500 (environ 4 000 au Québec) de ces moteurs répartis entre 75 organismes de transport.

CANQ  
TR  
248  
V. 13

Québec 

La société Track Test a agi à titre de sous-traitant scientifique dans la réalisation de ce projet, et le constructeur M.C.I. s'est occupé de la conception des modifications à apporter à l'autobus pour permettre l'installation des réservoirs de gaz naturel.

La STCUM a été un intervenant majeur en fournissant un autobus ainsi que la main-d'oeuvre nécessaire pour installer la trousse de conversion sur le moteur 6V-71 ainsi que pour modifier, exploiter et entretenir le véhicule en service simulé et en service voyageur.

## CONTEXTE TECHNIQUE

La conversion des moteurs diesel n'est pas aussi simple que celle des moteurs à essence; en effet, elle pose des problèmes particuliers, spécialement en ce qui concerne les moteurs à deux temps.

En premier lieu, il faut se rappeler qu'à cause de ses caractéristiques physiques, le gaz naturel ne peut s'auto-enflammer; il faut donc soit installer un système d'allumage ou soit assurer une injection pilote de gasoil de façon continue. En ce qui concerne cette deuxième solution, les quelques essais déjà réalisés semblent indiquer que le taux de remplacement est faible (environ 10 %) au ralenti et élevé (environ 90 %) à pleine charge, ce qui représente un taux de remplacement moyen d'environ 65 %.

En deuxième lieu, il faut rappeler que le moteur diesel à deux temps aspire plus d'air qu'il n'en compresse. Cela a pour conséquence que le gaz naturel ne peut être prémélangé à l'air admis comme dans les moteurs à quatre temps, mais doit être injecté directement dans le cylindre.

Faute de cette injection, une grande quantité de méthane non brûlé serait évacuée avec les gaz d'échappement, au détriment de la consommation et de l'environnement. Par ailleurs, l'introduction d'une trop grande quantité de gaz naturel aurait pour effet d'augmenter la pression dans les cylindres et pourrait provoquer la destruction du moteur.

Ainsi, un dosage précis est nécessaire afin d'obtenir un taux de remplacement optimal tout en garantissant la puissance et la fiabilité originale du moteur. **Seule une commande électronique rend possible cette précision du dosage.**

## OBJECTIFS DU PROJET

Le projet vise le développement d'une trousse de conversion à commande électronique pour assurer le dosage adéquat en gaz naturel et en gasoil d'un moteur DDC 6V-71. Le programme global comporte plusieurs phases dont les deux premières font l'objet du présent projet.

Plusieurs objectifs généraux ont été fixés au début du projet afin de bien établir les critères sur lesquels le programme de recherche et développement sera réalisé. Parmi ces objectifs, nous retrouvons ci-après les principaux :

- réduire les coûts de transport en commun;
- réduire les émissions des autobus urbains;
- démontrer la possibilité d'utiliser le gaz naturel comme carburant dans les moteurs existants;
- favoriser la recherche locale;
- favoriser la fabrication locale de trousse de conversion pour l'utilisation du gaz naturel comme carburant.

À ces objectifs ont été ajoutés des objectifs spécifiques pour chacune des deux phases du projet.

### **Phase I : Investigation préliminaire**

Les objectifs de cette phase comprennent la recherche de trousse de conversion pour moteur diesel 6V-71 et la détermination de la trousse la plus prometteuse à l'aide d'essais sur un véhicule pour en déterminer les caractéristiques opérationnelles.

Des essais routiers seront également faits pour évaluer la consommation, les problèmes d'exploitation, la méthode de ravitaillement, la performance du véhicule et la perception des chauffeurs et des usagers.

Les résultats seront analysés, une ou deux trousse de conversion offrant les meilleures possibilités de R&D seront choisies, et les améliorations envisagées seront déterminées.

### **Phase II: Recherche et développement**

Cette phase sera dédiée entièrement au développement d'une commande électronique pour combler les lacunes de la trousse sélectionnée.

## **DESCRIPTION DU PROJET**

### **Phase 1 - Investigation préliminaire**

La phase I visait à sélectionner des trousse de conversion, qu'il s'agisse de prototypes ou non, pour les moteurs diesel DDC 6V-71 existant sur le marché, à les installer sur un autobus et à faire des essais en service simulé et en service voyageur dans le but de déterminer celles qui devraient faire l'objet d'un développement ultérieur.

DOR - CEN - MON

CANQ  
TR  
248  
V.13

Deux prototypes de trousse de conversion ont été sélectionnés, soit la trousse de Pro-Staff et celle de CanVersions. À cause de la technologie utilisée, seule celle de Pro-Staff a été retenue aux fins d'essai sur un autobus.

Cette phase nécessitait également la conception de l'installation des réservoirs dans un autobus GMC Classic ainsi que celle de la tuyauterie requise pour alimenter le moteur en gaz naturel.

M.C.I., le fabricant de l'autobus, a réalisé la conception des modifications nécessaires pour loger les réservoirs de stockage sur le véhicule, et GMi, celle de la tuyauterie et de l'ensemble du stockage.

Un ensemble de stockage de cinq réservoirs de 60 litres a été sélectionné. Celui-ci procure une autonomie insuffisante pour une exploitation normale en service voyageur; cependant, pour minimiser les problèmes d'installation et satisfaire quand même aux besoins de l'essai, cette installation était adéquate.

#### **a) Conversion**

Un autobus de la STCUM, portant le numéro 53-002 (Classic 1983), a été modifié dans les ateliers de la STCUM pour l'adapter à une utilisation gaz naturel-diesel. Voir figure I.

Les cinq réservoirs ont été installés longitudinalement sous le véhicule derrière l'essieu avant, après que la cloison eut été remplacée par deux tubes de métal. La trousse de conversion Pro-Staff a été installée sur le moteur et le tout a été relié à l'aide de tubes en acier inoxydable et d'un raccord de remplissage. Voir figure II.

Chaque réservoir était équipé d'une vanne et d'une soupape de sûreté. Le système d'évacuation des gaz a dû également être modifié en utilisant le système équipant normalement un moteur 6V-92.

Une jauge à pression, un capteur de pression, une vanne d'urgence et un raccord de ravitaillement ont été installés à un endroit accessible sur le côté de l'autobus.

#### **b) Exploitation**

L'autobus modifié de la STCUM a été exploité pendant deux mois. Durant cette période, nous avons débuté par les essais en service simulé et, comme tout fonctionnait bien, nous avons continué en service voyageur jusqu'au début du mois d'août.

Le ravitaillement se faisait au poste de compression de GMi, sur la rue du Havre, en utilisant le système de remplissage rapide. Le temps de ravitaillement était d'environ 5 minutes.

Après quelques semaines, il a été noté que les émissions en mode bi-carburant étaient plus élevées qu'en mode diesel. Après réajustement, l'autobus a été testé à nouveau sur la route en service simulé et a été immédiatement retiré à cause d'un bris de la tête du moteur accompagné de la fonte partielle d'un piston et d'une valve d'admission du cylindre n° 3.

Un dérèglement de l'admission de gaz naturel ou un problème d'étanchéité des valves de contrôle a produit une suralimentation en carburant du moteur et la tête d'un des cylindres a fondu partiellement.

Le moteur a été remonté à neuf et, comme il n'y avait pas lieu de poursuivre les essais sur route avec cette trousse, nous avons transporté le moteur à l'École polytechnique afin de procéder à la phase II du projet sur banc d'essai.

## **Phase II - Recherche et développement**

La phase II a consisté à améliorer le système de contrôle de l'admission de gaz naturel en mettant au point une commande électronique à cet effet et à améliorer l'étanchéité des soupapes à anches.

Cette deuxième phase consistait, dans une première étape, à déterminer sur banc d'essai avec carburant diesel les conditions optimales d'exploitation, à vérifier la pression dans les cylindres et à réaliser la cartographie du moteur.

Cette étape a été suivie de la mise au point de la commande électronique en utilisant la cartographie pour établir les valeurs consignées à être utilisées par le module pour régler les débits de gaz naturel et de gasoil en fonction des paramètres de fonctionnement.

Le fonctionnement de la trousse équipée de la nouvelle commande a ensuite été vérifié sur banc d'essai, et des mesures des performances et des niveaux de pollution ont été faites et comparées à celles de la trousse originale.

### **a) Description de la commande**

La commande électronique a été spécialement conçue pour cette application. Elle est composée d'une unité de commande programmable conçue à partir d'un microprocesseur MITSUBISHI M37450 montée sur une carte imprimée et installée dans un boîtier métallique.

Cette unité de commande a été choisie à cause de sa simplicité, de sa vitesse d'exécution et de ses diverses caractéristiques d'entrées et de sorties.

Les caractéristiques principales de la commande sont :

- un contrôleur MITSUBISHI de 8 bytes;
- une horloge de 10 Mhz;
- une mémoire programmable de 8kb (EPROM);
- une mémoire RAM de 8 kb;
- un convertisseur analogique-digital à 6 bytes;
- sept entrées analogiques;

- onze sorties numériques;
- un circuit WATCHDOG;
- une tension d'alimentation variant entre 8 et 16 volts.

Un port série bi-directionnel RS-232 de communication est inclus et permet le déverminage ainsi que le transfert des paramètres en temps réel.

**b) Principes de fonctionnement de la trousse avec commande électronique (Voir figure III)**

Le schéma de fonctionnement du système de conversion est le suivant :

Le gaz naturel emmagasiné dans les cylindres à 20.7 MPa est détendu à 345 kPa par un régulateur de haute pression. Le gaz naturel est ensuite admis au régulateur pneumatique de basse pression; le débit est contrôlé par une pression générée par un convertisseur électro-pneumatique. Le gaz naturel détendu est finalement admis aux chambres de combustion du moteur par l'intermédiaire des soupapes à anches.

Le taux de remplacement en gaz naturel est fonction du régime du moteur et de la charge imposée au moteur. Pour déterminer la quantité de gaz naturel nécessaire, le régime du moteur (TPM), la position du régulateur de vitesse (TPS) et la température du gaz naturel sont mesurés continuellement. Ces valeurs sont utilisées pour connaître, à l'aide d'une table de données enregistrée dans la mémoire programmable, le débit de gaz naturel requis.

Une table de calibration permet de déterminer la pression du régulateur de contrôle et envoie un signal adéquat au convertisseur électro-pneumatique. Une interpolation linéaire est utilisée pour déterminer les valeurs de contrôle pour les conditions d'exploitation mesurées.

Pour des charges inférieures à 40% de la puissance nominale, la quantité pilote de gasoil admise est suffisante au fonctionnement du moteur. Ainsi pour ces niveaux de charge, l'ordinateur commande à l'électrovalve de rester en position fermée. Le programme de l'ordinateur inclut aussi une protection de sursrégime (> 2 350 tr/min) qui coupe l'alimentation en gaz naturel lorsque cette condition est détectée.

**c) Estimation des coûts de production de la commande électronique**

L'estimation des coûts de fabrication et de vente d'une centaine d'unités de la commande électronique conçue dans le cadre de ce projet est la suivante :

Convertisseur électro-pneumatique	500 \$
Module électronique	1 000 \$
Tubulures et injecteurs de gaz	1 350 \$
Soupapes à anches	160 \$
Régulateurs de gaz	255 \$

Compresseur, accouplement, arbre et support	585 \$
Taxes (TPS/TVQ)	580 \$
Total	<u>4 430 \$</u>

Cette estimation n'inclut pas les réservoirs de stockage, les frais d'installation et un profit sur la vente de la trousse.

## ANALYSE ÉCONOMIQUE

Une analyse économique a été effectuée dans le cadre de ce projet afin de déterminer la rentabilité de la conversion d'un garage typique de 235 autobus d'une société de transport ayant des activités et soumise à des contraintes similaires à celles de la STCUM.

L'estimation des économies a été réalisée en tenant compte des hypothèses de base suivantes:

Nombre d'autobus convertis en mode bi-carburant	105
Nombre d'autobus avec moteur dédié achetés par année	15
Économie sur le coût du carburant	
Autobus 100 % gaz naturel	16,1¢/km
Autobus bi-carburant	9,7¢/km
Coût de compression (énergie)	1,2¢/m <sup>3</sup>

Cette estimation tient compte des investissements requis pour le poste de compression, des modifications aux structures existantes et aux équipements d'entretien, de l'achat d'outillage et de l'inventaire additionnel, de l'achat d'autobus additionnels et de l'espace requis par ceux-ci.

Elle tient également compte de certains frais d'exploitation et d'entretien additionnels inhérents à un tel garage converti au gaz naturel, de même que des frais liés au poste de compression, aux autobus supplémentaires et à la formation du personnel.

Elle ne tient pas compte des gains possibles sur le plan de la consommation de lubrifiant, de l'usure des moteurs, de la diminution des émissions, particulièrement des particules et du dioxyde de carbone.

Ce scénario de conversion et les hypothèses de coût d'investissement et de frais d'exploitation montrent que la conversion de ce garage typique présente un taux de rendement interne (TRI) d'environ 10 % sur une période de 16 ans.

L'analyse de sensibilité indique que le TRI peut varier entre 5 % et 15 % selon les hypothèses de coût du carburant utilisé ainsi que celles des investissements requis.

Compte tenu des bas taux d'inflation et d'intérêt actuels, il ne fait aucun doute qu'il y a lieu d'effectuer une étude plus détaillée des garages actuels des sociétés de transport pour confirmer les résultats obtenus d'un garage typique.

## RÉSULTATS OBTENUS

### Phase I:

Deux troussees ont été sélectionnées, Pro-Staff et CanVersions. Seule la trousse Pro-Staff a été retenue aux fins d'essais, car elle utilisait une technologie compatible avec les moteurs à deux temps. La trousse CanVersions utilisait le principe de la carburation qui est une technique source d'émissions dans les moteurs deux temps.

La trousse de Pro-Staff a été installée sur un autobus de la STCUM et exploitée pendant deux mois. Durant cette période, nous avons commencé les essais en service simulé et, comme tout fonctionnait bien, nous avons continué en service voyageur jusqu'au début du mois d'août.

Le temps de remplissage est de 5 minutes environ pour 48 kg de gaz naturel. Cette quantité de gaz naturel est suffisante pour parcourir environ 120 km en circuit de ville et 147 km sur autoroute. Il est à noter qu'en faisant un remplissage lent, on peut embarquer 54 kg de carburant.

La puissance du moteur en mode mixte est au moins égale à la puissance du moteur utilisant du carburant diesel du type de celui utilisé par la STCUM.

Avec la trousse Pro-Staff non modifiée, la consommation du moteur fonctionnant en mode mixte est d'environ 82 l/100km, soit 64 % plus élevée que la consommation en mode diesel uniquement.

La fiabilité de la trousse ne peut être évaluée sur une si courte période d'essai. Cependant on doit noter que le moteur a grippé après deux mois d'essai, probablement à la suite d'une dérive de la consigne du mélange diesel-gaz naturel.

La trousse Pro-Staff et l'utilisation du gaz naturel ont été bien reçues par les chauffeurs ayant conduit l'autobus modifié. De plus, à l'occasion des essais en service voyageur, aucun passager n'a fait un commentaire défavorable lié à ce projet.

## Phase II

Une commande électronique avec microprocesseur a été mise au point pour contrôler le débit de gaz naturel admis à un moteur diesel 6V-71 équipé d'une trousse de conversion Pro-Staff. Son rendement a été vérifié sur dynamomètre.

Le taux de remplacement en gaz naturel assuré par cette commande est fonction du régime du moteur et de la charge imposée au moteur. Pour déterminer la quantité de gaz naturel nécessaire, le régime du moteur (TPM), la position du régulateur de vitesse (TPS) et la température du gaz naturel sont mesurés continuellement et comparés par le microprocesseur à une table de données enregistrée dans la mémoire programmable.

Un signal approprié est envoyé au convertisseur électro-pneumatique pour alimenter le moteur en gaz naturel.

Présentement, la calibration a été faite de façon à ce que lorsque les charges sont supérieures à 40 % de sa puissance nominale, le moteur commence à utiliser du gaz naturel.

La puissance du moteur fonctionnant avec le contrôle électronique est identique à la puissance du moteur fonctionnant en mode diesel jusqu'à 1800 t/min. Passé ce régime, il faut diminuer la puissance afin d'éviter la détonation et, donc, le bris mécanique des éléments du moteur.

Jusqu'à 1400 t/min, le rendement thermique du moteur fonctionnant avec la commande électronique est en moyenne de 11 % inférieur au rendement thermique du moteur fonctionnant en mode diesel, mais est de 17 % supérieur au rendement thermique du moteur fonctionnant avec la trousse de Pro-Staff originale.

Comparativement à la trousse de Pro-Staff, le rendement de substitution et la consommation exprimée en litres équivalents de gasoil ont été améliorés respectivement de 30 et 14% avec la commande électronique. Toutefois, la consommation est de 8 % plus élevée qu'en mode diesel. Voir tables I et II.

Un taux de remplacement moyen de 52 % est atteint à pleine charge.

La pression dans la chambre de combustion est toujours inférieure aux limites acceptables et aucun signe de détonation n'a été décelé.

On note, par rapport au mode diesel, une légère augmentation des hydrocarbures et du monoxyde de carbone, mais une réduction importante (61 % en moyenne) des émissions d'oxydes d'azote. Voir tables II et III.

La réponse en régime transitoire du moteur fonctionnant avec la commande électronique est aussi bonne que celle du moteur fonctionnant en mode diesel.

## CONCLUSIONS

Les essais routiers ont permis de déterminer quelle est la trousse la plus prometteuse ainsi que les avenues d'amélioration à retenir. De plus, l'utilisation du gaz naturel comme carburant a été bien acceptée par les chauffeurs et par le public voyageur.

La commande électronique mise au point dans le cadre de ce projet s'est révélée beaucoup plus performante que la trousse originale de Pro-Staff. La puissance du moteur est similaire à celle du diesel jusqu'à 1800 t/min, et la réponse en régime transitoire est aussi bonne.

Le taux de remplacement moyen de 52 % obtenu sur banc d'essai est inférieur aux attentes, et le rendement légèrement inférieur à celui du diesel.

Les émissions de NOx sont très réduites, alors que celles des HC et de CO sont légèrement plus élevées. Aucune comparaison n'a été faite avec les normes américaines et aucune mesure du niveau des particules n'a été effectuée.

L'étude économique réalisée pour un garage typique indique que l'achat d'autobus avec moteur dédié au gaz naturel doit être fait en conjonction avec la conversion de moteurs existants si l'on veut rentabiliser les investissements.

Le taux de rendement interne peut varier entre 5 % et 15 % selon les hypothèses utilisées pour le scénario de conversion, le coût du gaz naturel et celui des investissements.

Une évaluation des coûts de fabrication de la trousse indique que celle-ci coûterait moins de 5 000 \$, excluant les profits, les réservoirs de stockage et les frais d'installation.

L'acceptation du gaz naturel comme carburant ne semble présenter aucun problème tant du personnel d'entretien et des chauffeurs de la STCUM que du public utilisateur des transports en commun.

Devant le succès obtenu par ce projet, il y a lieu de démontrer les possibilités de cette trousse modifiée dans des conditions normales d'utilisation sur route et d'optimiser le logiciel de commande pour amener le taux de remplacement à un niveau supérieur. Également, il y aurait lieu de changer les soupapes à anches par des injecteurs pour réduire les émissions le plus possible et augmenter le taux de remplacement.

## RÉFÉRENCES

Listes des rapports et documents produits au cours du projet, dans l'ordre chronologique.

GOU, Michel, *Développement d'une trousse de conversion diesel/gaz naturel autobus urbain*, Rapport d'activités, 30 mai 1990.

COUTU, Philippe, *Demonstrating a natural gas-diesel bus at STCUM, CUTA Fall Meeting and Exhibition*, Hull, Québec, novembre 1990.

GEOFFRION, Paul, *Projet dualité*, Rapport, décembre 1990.

GOU, Michel, *Développement d'une trousse de conversion diesel/gaz naturel autobus urbain*, Rapport d'activités n° 2, 28 février 1991.

GOU, Michel, *Développement d'une trousse de conversion diesel/gaz naturel autobus urbain*, Rapport d'activités n° 3, 28 mai 1992.

RAYMOND, Normand, *Comptes rendus de réunion (9)*, janvier 1990 à avril 1992.

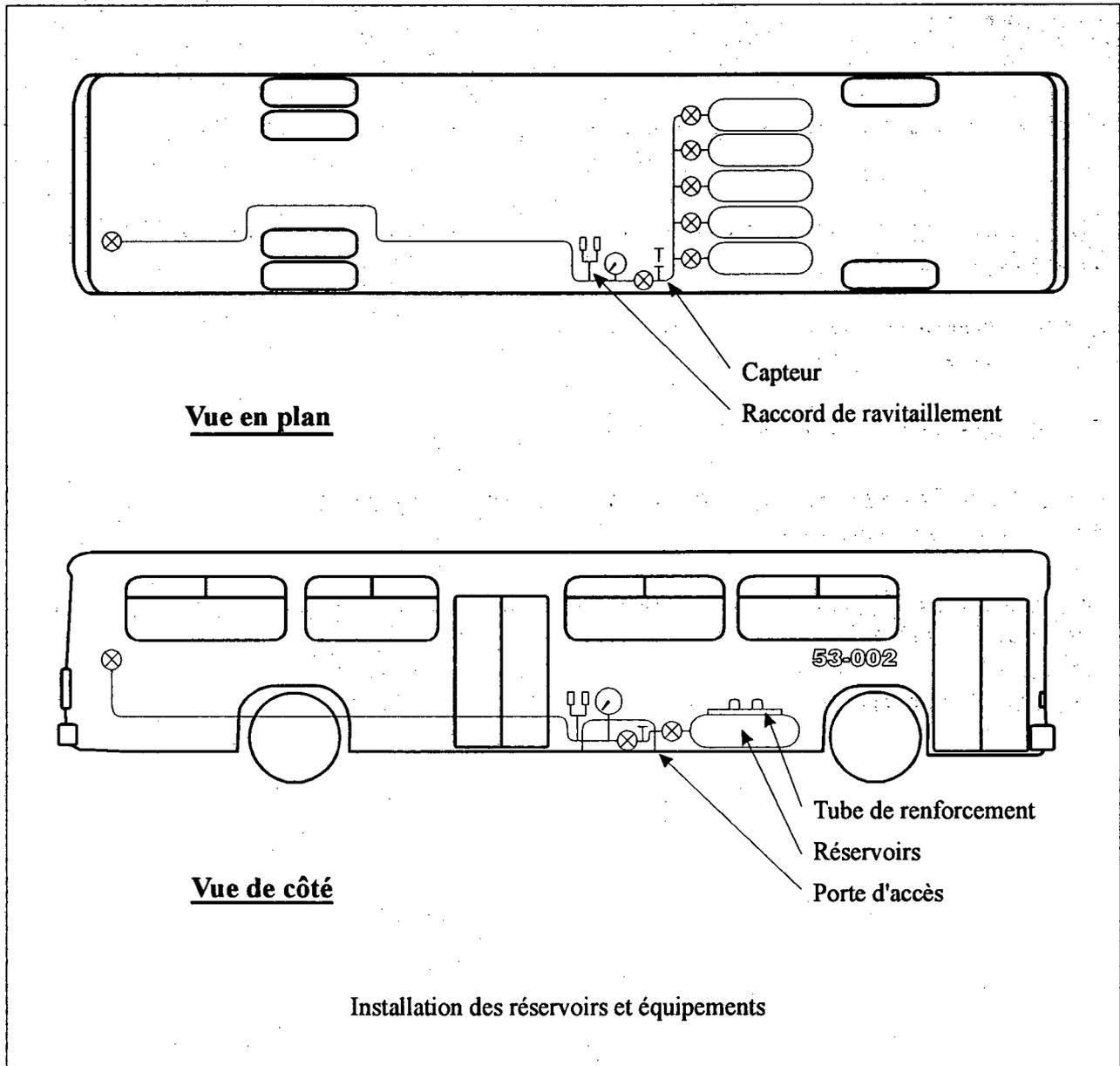
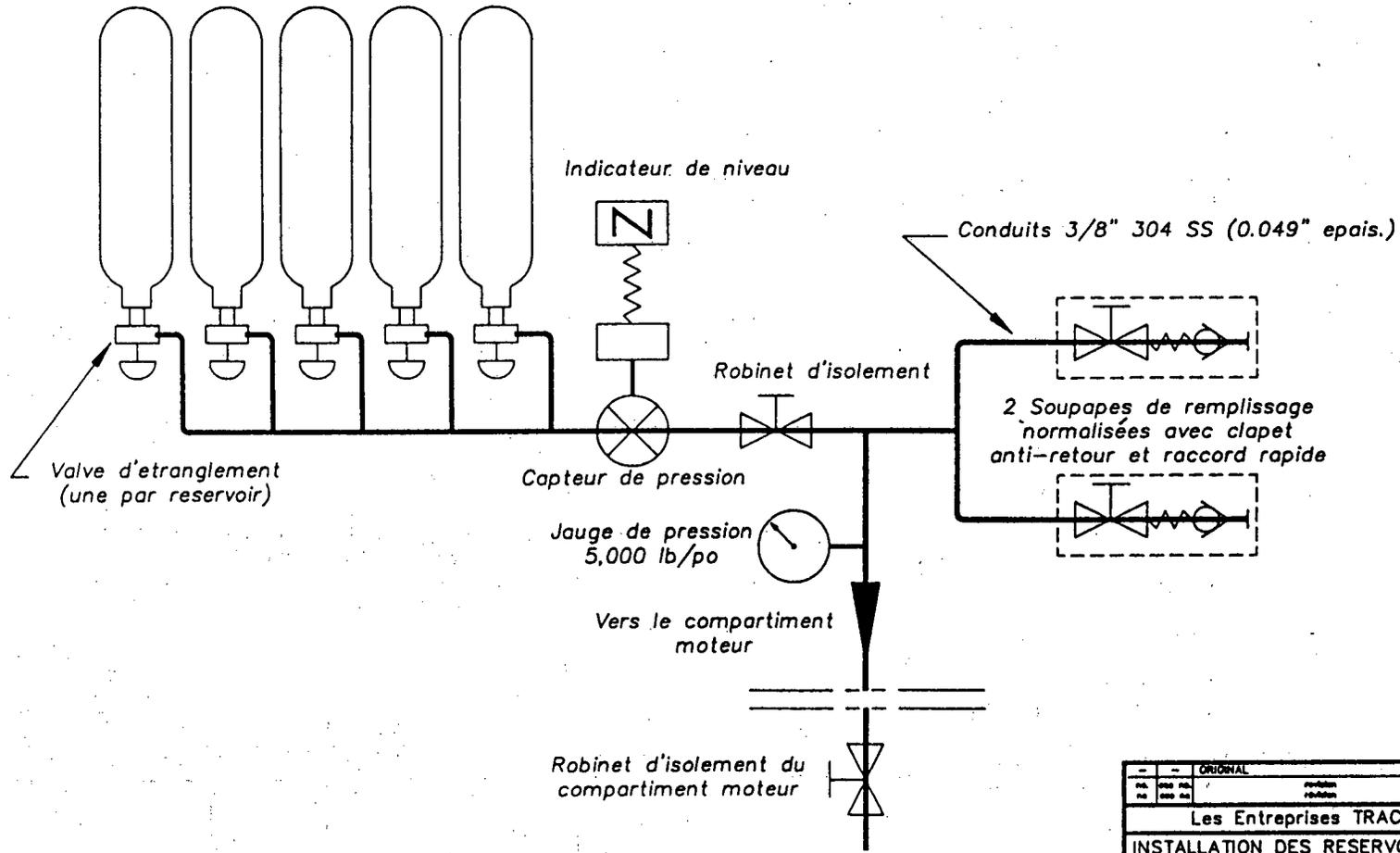


Figure 1

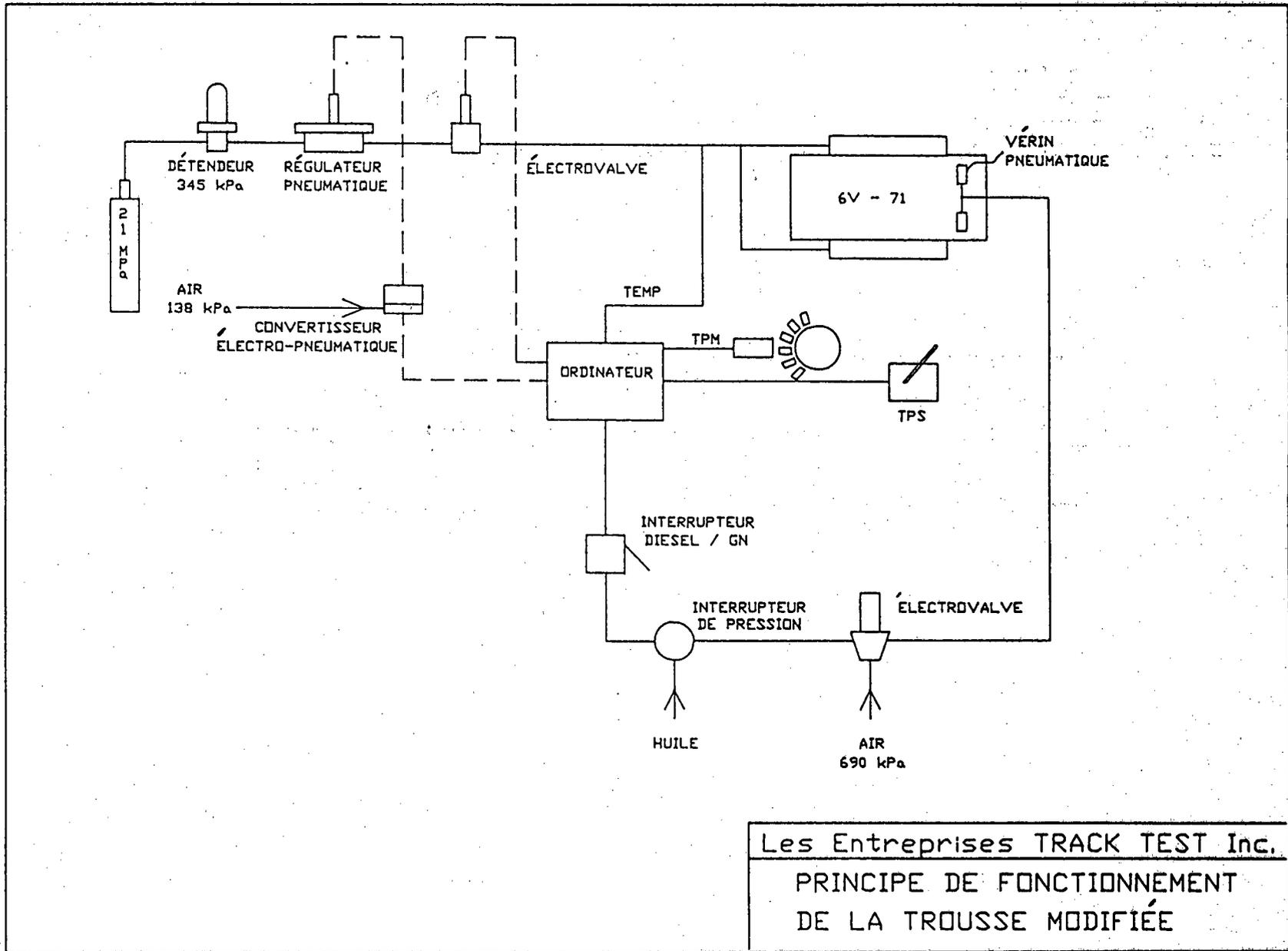
5 Réservoirs de GN  
de 60 l @ 3,000 lb/po



ORIGINAL			
no. des rés.	no. des rés.	no. des rés.	no. des rés.
revisions		date	by
revisions		date	par
approved			
Les Entreprises TRACK TEST Inc.			
INSTALLATION DES RESERVOIRS			
Trousse a alimentation mixte			
Autobus Urbains			
date - date	drawn - dessiné	checked - vérifié	approved - approuvé
30-03-90	L. Recout		
scale - échelle	reference - références	drawing no. - no. du dessin	size
		D P-557-01-F	1/1

FIGURE 11

Schéma du système de conversion mixte



Les Entreprises TRACK TEST Inc.  
PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT  
DE LA TROUSSE MODIFIÉE

FIGURE III

- Performances du moteur en mode mixte, avec la trousse Pro-Staff Fuels (pleine charge)

RÉGIME rpm	DÉBIT GASOIL l/h	DÉBIT GAZ NAT. kg/h	PRESSION CYLINDRE MPa	TEMP. GAZ °C	COUPLE N-m	PUISSANCE kW	RENDEMENT THERMIQUE %	TAUX DE SUBSTITUTION %	RENDEMENT SUBSTITUTION %	CONSOMMATION ÉQUIVALENTE l/h
800	9.2	14.4	11.7	366	792	66	23.4	54.7	57.9	28.4
1000	11.1	15.1	11.1	378	776	81	26.1	54.3	65.8	31.2
1200	13.0	15.1	9.0	364	697	88	26.5	53.6	74.8	33.1
1400	15.0	15.2	8.6	369	665	97	27.7	51.8	79.6	35.3

- Teneur des gaz d'échappement en mode mixte, avec la trousse Pro-Staff Fuels (pleine charge)

RÉGIME rpm	CO <sub>2</sub> %	O <sub>2</sub> %	NO <sub>x</sub> g/bhp-hr	CO g/bhp-hr	HC g/bhp-hr
800	10.76	10.90	5.3	N/D	N/D
1000	10.53	11.4	5.0	N/D	N/D
1200	9.50	12.7	6.2	N/D	N/D
1400	9.12	13.00	6.2	N/D	N/D

- Performances du moteur en mode mixte, avec la commande électronique (pleine charge)

RÉGIME rpm	DÉBIT GASOIL l/h	DÉBIT GAZ NAT. kg/h	PRESSION CYLINDRE MPa	TEMP. GAZ °C	COUPLE N-m	PUISSANCE kW	RENDEMENT THERMIQUE %	TAUX DE SUBSTITUTION %	RENDEMENT SUBSTITUTION %	CONSOMMATION ÉQUIVALENTE l/h
800	9.5	9.1	N/D	366	742	62	28.7	53.2	88.9	21.7
1000	11.2	10.9	N/D	388	750	79	30.6	53.9	90.5	25.7
1200	13.4	11.7	N/D	397	722	91	31.3	52.1	93.5	29.1
1400	14.9	13.8	N/D	409	700	103	30.9	52.1	88.3	33.3
1600	16.6	17.9	N/D	428	678	114	28.1	51.9	75.1	40.5
1800	18.3	17.5	N/D	426	626	118	28.4	51.3	83.0	41.6
2000	20.1	16.6	N/D	425	564	118	28.0	49.9	90.8	42.2

- Teneur des gaz d'échappement en mode mixte, avec la commande électronique (pleine charge)

RÉGIME rpm	CO <sub>2</sub> %	O <sub>2</sub> %	NO <sub>x</sub> g/bhp-hr	CO g/bhp-hr	HC g/bhp-hr
800	12.65	11.5	6.1	4.1	0.6
1000	12.15	11.5	5.1	4.6	0.4
1200	12.15	11.8	5.0	4.1	0.4
1400	11.67	11.9	4.8	3.9	0.4
1600	12.15	11.8	4.0	5.4	0.4
1800	11.67	12.2	4.6	3.6	0.4
2000	10.33	12.9	5.4	4.1	0.4

