

ÉPREUVE D'ADMISSIBILITÉ

Session 2006

Afin de couvrir au maximum le domaine professionnel que peut enseigner un futur professeur de lycée professionnel intervenant dans une section de Génie Mécanique option Maintenance des Véhicules, Machines Agricoles, Engins de Chantier, cette épreuve a été décomposée cette année en 7 parties.

Session de 2006

CA / PLP

CONCOURS INTERNE

Section : GÉNIE MÉCANIQUE

Option : MAINTENANCE DES VÉHICULES, MACHINES AGRICOLES
ET ENGINES DE CHANTIER

**ÉTUDE D'UN SYSTÈME ET/OU
D'UN PROCESSUS TECHNIQUE**

Durée 6 heures

Calculatrice de poche, y compris programmable, alphanumérique ou à écran graphique, à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n°99 – 186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout document et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale très lisiblement dans sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Documents composant l'épreuve écrite :

- Un dossier technique décrivant le fonctionnement du système composé de 15 pages ;
- Un dossier de travail composé de 23 pages à compléter (qu'il faut rendre en totalité en fin d'épreuve).

Barème de notation /100

Analyse fonctionnelle	/14
Etude du groupe détenteur	/14
Mesure de la température eau moteur	/11
Le GNV, un carburant	/14
La combustion du GNV	/17
Comparaison du fonctionnement GNV / Essence	/15
Maintenance et diagnostic	/15

Conseils aux candidats

Afin de traiter l'ensemble de l'épreuve, il est conseillé aux candidats de consacrer approximativement, pour chacune des parties, les temps suivants :

Lecture du dossier	: 40 min
Analyse fonctionnelle	: 45 min
Etude du groupe détenteur	: 45 min
Mesure de la température eau moteur	: 30 min
Le GNV, un carburant	: 45 min
La combustion du GNV	: 55 min
Comparaison du fonctionnement GNV / Essence	: 50 min
Maintenance et diagnostic	: 50 min

Il est conseillé aux candidats de lire attentivement le dossier technique avant de composer

CONCOURS INTERNE du CA/PLP

Section : GÉNIE MÉCANIQUE

**Option : MAINTENANCE DES VÉHICULES, MACHINES
AGRICOLES ET ENGINES DE CHANTIER.**

**ÉTUDE D'UN SYSTÈME TECHNIQUE ET/OU D'UN
PROCESSUS TECHNIQUE**

Session 2006

DOSSIER TRAVAIL

Ce dossier comporte 23 pages

1^{ère} partie : Analyse fonctionnelle.

Objectif : étudier l'organisation fonctionnelle du système d'alimentation en phase de fonctionnement GNV.

En vous aidant du dossier technique, pages 10 et 11 exclusivement, il vous est demandé :

1.1 De compléter le tableau des entrées sorties du calculateur GNV ci-dessous. Vous préciserez les noms et les repères lorsque cela est possible.

Entrées	Calculateur GNV		Sorties	
	Repère	2	Repère	
Sonde à oxygène				

Alimentations			
	Borne(s)	Calculateur	Borne(s)
12 volts permanent		2	
			Masse permanente

1.2 Indiquer ci-dessous, à partir du graphe fonctionnel de deuxième niveau A0 (annexe 1 du dossier technique), la fonction globale des blocs fonctionnels suivants :

A1 : Calculateur GNV.

A2 : Boîtier électronique de gestion témoin

A3 : Dispositif de remplissage et de stockage.

A4 : Groupe détenteur.

A5 : Injecteur électromagnétique.

1.3 Indiquer ci-dessous, à partir du graphe fonctionnel de deuxième niveau A0 (annexe 1 du dossier technique), les données de contrôle des blocs fonctionnels suivants.

A4 : Groupe détenteur.

A5 : Injecteur électromagnétique.

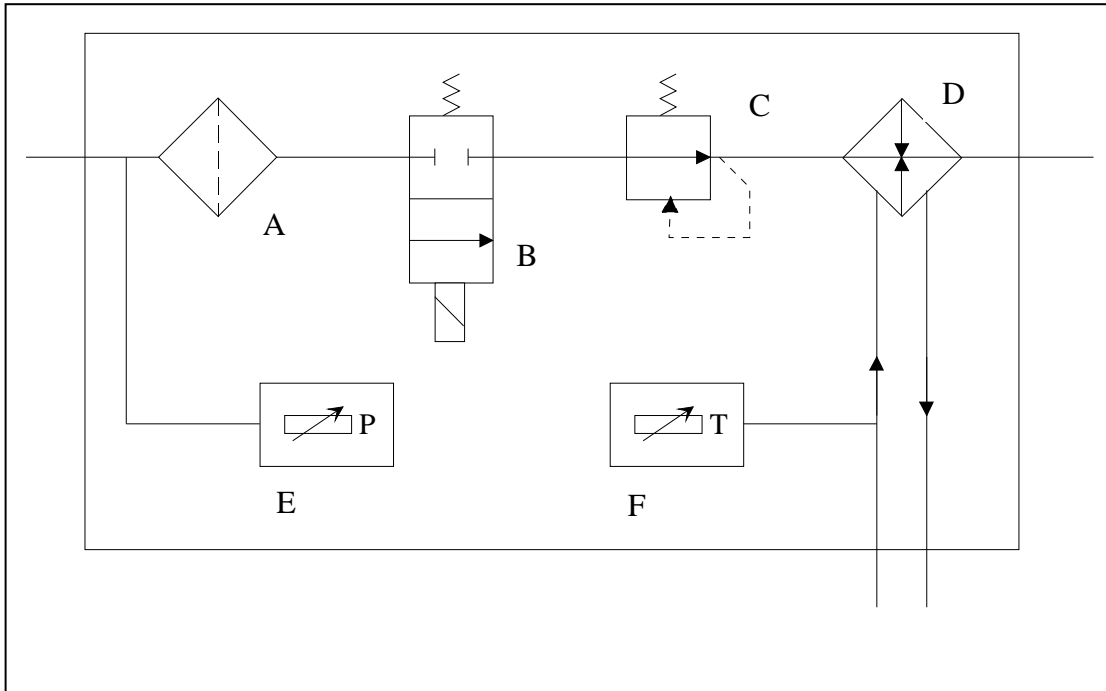
1.4 En vous aidant du schéma électrique, préciser les informations « données calculateur essence » fournies par le calculateur GNV au calculateur essence.

2^{ème} partie : Étude du groupe détenteur.

Objectif : dimensionner le ressort du 1^{er} étage et calculer la température du GNV en sortie détenteur.

2.1 Modélisation et fonctionnement du détenteur.

La modélisation du groupe détenteur, fournie par l'équipementier, est donnée ci dessous.



2.1.1 Préciser le nom et la fonction des composants repérés sur la modélisation.

Repère	Nom	Fonction
A		
B		
C		
D		
E		
F		

2.1.2 Citer les différentes phases de détente du GNV dans le groupe détenteur.

2.2 Etude statique du 1^{er} étage du groupe détenteur.

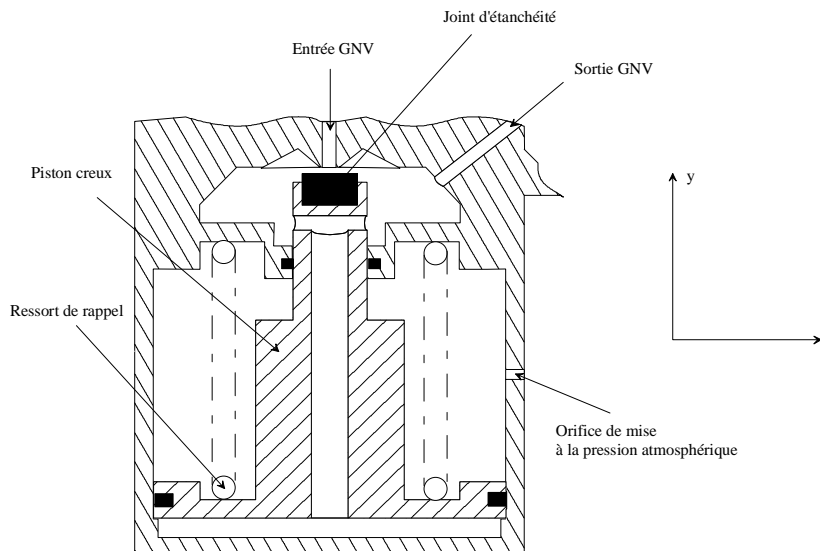
Pour cette étude on formulera les hypothèses suivantes :

- les liaisons sont parfaites,
- le poids propre des éléments est négligé devant les autres efforts,
- les déplacements et les déformations des différents éléments sont négligés.

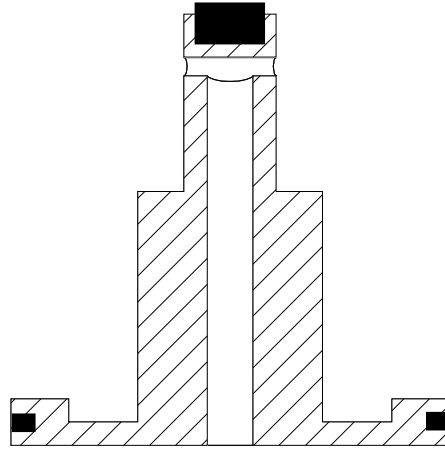
Remarque : on se place au moment où le piston quitte son appui. Dans cette configuration, le piston du 1^{er} étage est en équilibre sous l'action de 3 forces:

- l'action du ressort sur le piston notée $\vec{F}_{ressort} = - \|\vec{F}_{ressort}\| \vec{y}$
- l'action du GNV sur le piston notée $\vec{F}_{pres.GNV} = P_{GNV} \times (S_1 - S_2) \vec{y}$
- l'action de la pression atmosphérique sur le piston notée $\vec{F}_{pres.atmo} = - P_{atmo} \times S_3 \vec{y}$

2.2.1 En vous aidant de la représentation ci-dessous, expliquer le principe de fonctionnement du 1^{er} étage.



2.2.2 Représenter sur le piston les surfaces, notées S_1 , S_2 et S_3 , sur lesquelles s'appliquent les pressions.



2.2.3 Après avoir appliqué le principe fondamental de la statique au piston, en projection sur l'axe y , exprimer le tarage initial du ressort en fonction des autres grandeurs.

2.2.4 Application numérique.

Données :

- Pression absolue GNV en sortie 1^{er} étage = 14 bars
- Pression atmosphérique = 1 bar
- $S_1 = 1250 \text{ mm}^2$
- Rapports des sections :
 - $\frac{S_3}{S_1} = 0,8$
 - $\frac{S_2}{S_1} = 0,2$

2.3 Analyse thermodynamique de la détente du GNV dans le groupe détenteur.

Pour cette analyse thermodynamique on a formulé les hypothèses suivantes :

- le GNV se comporte comme un gaz parfait,
- la détente subie par le GNV, dans le détenteur, est une polytropique (échange de chaleur avec le milieu extérieur : $k < \gamma$),
- le débit de gaz est constant.

2.3.1 Calculer la température du GNV en sortie groupe détenteur. On donne :

$$T_s = T_e \times \left(\frac{P_s}{P_e} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

Données : Conditions en entrée détenteur :

- $T_e = 30 \text{ °C}$
- $P_e = 201 \text{ bars}$

Condition en sortie détenteur :

- $P_s = 10 \text{ bars}$

Coefficient polytropique de la transformation
- $k = 1,1$

2.3.2 Quelle solution apporte le constructeur pour contenir la température du groupe détenteur en phase de fonctionnement GNV.

3^{ème} partie : Mesure de la température eau moteur.

Objectif : définir les caractéristiques du conditionneur de température en phase de fonctionnement GNV.

3.1 Dispositif de mesure de la température eau moteur en phase de fonctionnement essence.

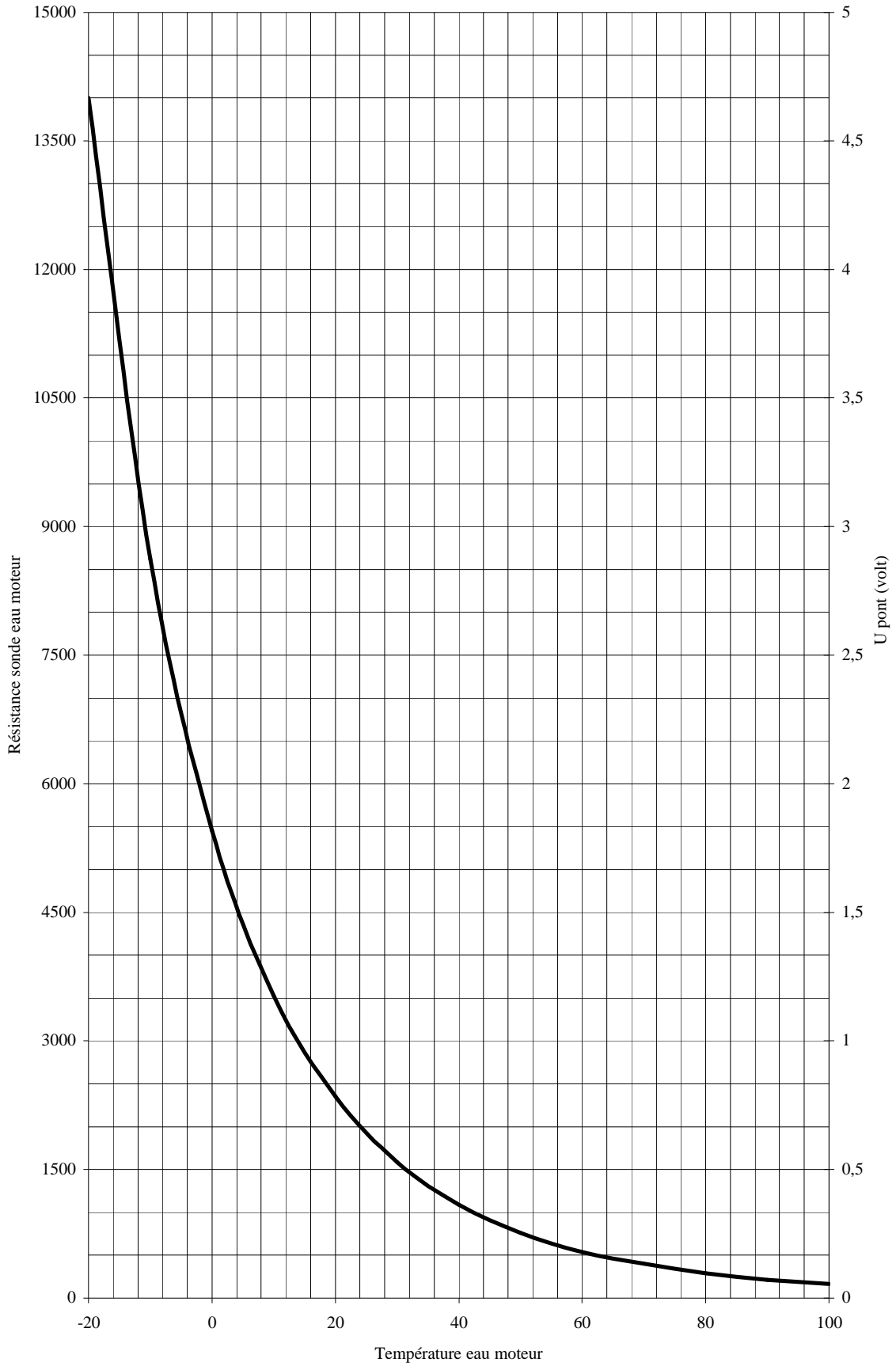
Le conditionneur utilisé pour la mesure de la température eau moteur est un pont potentiométrique représenté annexe 4 du dossier technique.

3.1.1 Montrer que l'on peut modéliser le pont par l'expression suivante :

$$U_{\text{pont}} = U_{\text{alim}} \times \frac{R_{\text{sonde eau moteur}}}{R_{\text{talon}} + R_{\text{sonde eau moteur}}}$$

3.1.2 Après avoir complété le tableau réponse ci-dessous, représenter page suivante U_{pont} en fonction de la température eau moteur.

Température (°C)	R sonde eau moteur (Ω)	U_{pont} (V)
-20	14000	
-10	8620	
0	5450	
10	3530	
20	2350	
30	1585	
40	1085	
50	763	
60	540	
70	400	
80	292	
90	215	
100	165	



A partir de quelle tension U_{pont} le calculateur essence applique sa stratégie auto adaptative.

3.2 Simulation d'une température eau moteur en phase de fonctionnement GNV.

Le conditionneur utilisé pour simuler la température eau moteur est représenté annexe 4 du dossier technique. Le pont ainsi constitué peut être modélisé par l'expression :

$$U_{pont} = U_{a\lim} \times \frac{R + R_{sonde\ eau\ détendeur}}{R_{talon} + R + R_{sonde\ eau\ détendeur}}$$

On souhaite, moteur chaud, simuler une température de 60 °C afin que le calculateur essence n'applique pas sa stratégie auto adaptative. Dans ces conditions, quelle valeur doit prendre la résistance R du pont.

4^{ème} partie: Le carburant GNV.

Objectif : Identifier la composition, les caractéristiques du GNV et déterminer l'autonomie du véhicule.

Généralités sur le carburant.

4.1 Quel est l'intérêt du GNV par rapport aux carburants traditionnels (5 lignes maxi).

4.2 Citer les différents constituants du GNV.

4.3 Caractéristiques du carburant.

Relever ou déterminer les différentes caractéristiques du GNV qui seront, pour certaines, assimilées à celles du méthane.

Caractéristiques du carburant.	Unité.	Valeur.	Justification des résultats (uniquement dans les cases non grisées).
T° d'auto inflammation	°C		
Masse molaire du méthane.	g/mole		
Masse volumique du méthane sous 1,013 b et 0°C.	kg.m ⁻³	□ méthane = 0,72	
Densité du méthane sous 1,013 b et 0°C	Sans unité		
Limite d'inflammabilité dans l'air en % de volume.	Sans unité		
Indice d'octane.	Sans unité		
Pouvoir Calorifique Inférieur.	kWh/kg		
	kJ/kg		

Remarque : la densité d'un gaz est le rapport entre la masse volumique du gaz considéré et celle de l'air.

4.4 Quelles sont les sécurités prévues au niveau du circuit de carburant?

4.5 Quelles sont les caractéristiques du carburant dans le réservoir quand celui-ci est plein?

- État:
- Pression (préciser l'unité):

4.6 Energie disponible dans le réservoir.

Hypothèses: - le réservoir est plein
- on considère que le carburant est constitué de méthane
- la température du réservoir est de 20 °C

4.6.1 A partir de l'équation des gaz parfaits, exprimer littéralement la masse de carburant contenue dans le réservoir. Vous préciserez les unités utilisées.

4.6.2 Application numérique.

4.6.3 A partir de la réponse à la question précédente déterminer l'énergie disponible dans le réservoir.

4.7 Déterminer l'autonomie du véhicule à vitesse stabilisée.

Données :

- Puissance effective moteur : 25 kW (on rappelle que $1\text{kW}=1\text{kJ}\cdot\text{s}^{-1}$)
- Rendement effectif du moteur : 25%
- Energie disponible dans le réservoir : 950 000 kJ
- Vitesse véhicule : $90\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

5^{ème} partie : La combustion du GNV.

Objectif : Déterminer l'équation de combustion du méthane et du GNV et exploiter les courbes de polluants.

La combustion du GNV.

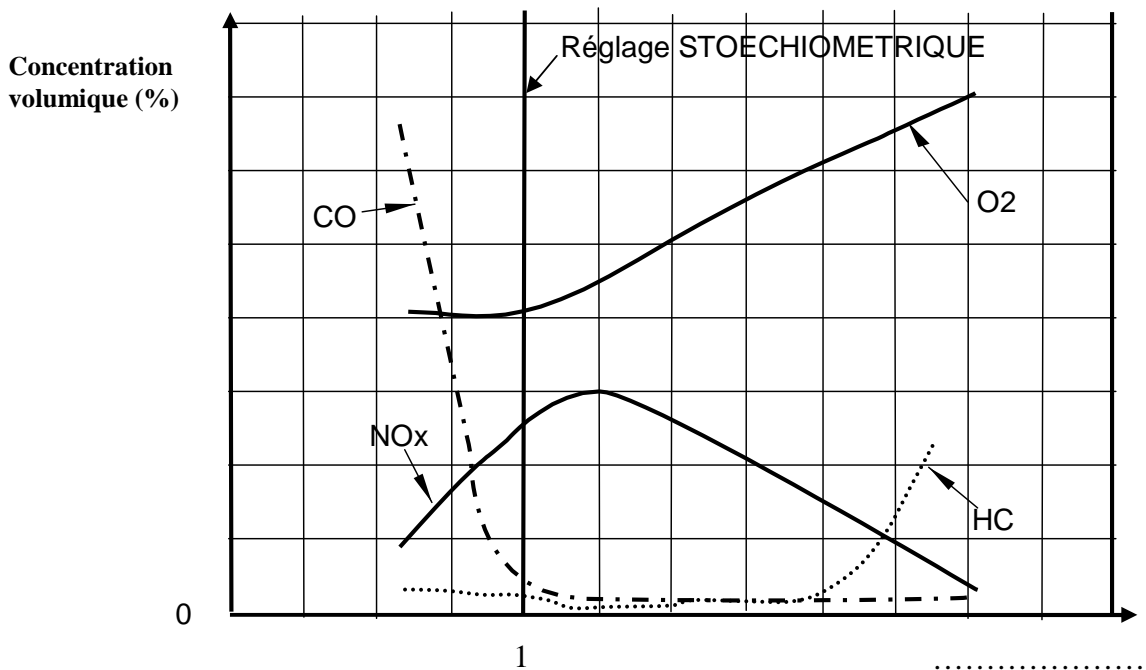
5.1 Donner la définition de l'indice d'octane et de la limite d'inflammabilité.

5.2 Écrire et équilibrer l'équation de combustion stœchiométrique (Richesse = 1) du méthane avec de l'air.

5.3 Déterminer le dosage stœchiométrique du méthane. Que représente ce dosage.

5.4 Écrire et équilibrer l'équation de combustion stœchiométrique du GNV avec de l'air. La composition du GNV est considérée en volume de 90% de méthane et de 10% d'éthane (C₂H₆).

5.5 Courbes de polluants et d'oxygène.



5.5.1 Préciser et justifier l'abscisse du graphe ci-dessus.

5.5.2 Indiquer le nom des différents polluants représentés.

5.5.3 Représenter en bleu sur le graphe les rejets de polluants (NO_x et CO) lors d'un fonctionnement au réglage stœchiométrique.

5.5.4 Représenter en rouge sur le graphe le rejet maxi de CO. Vous préciserez les raisons de cette production (3 lignes maxi).

5.5.5 Représenter en vert sur le graphe le rejet maxi de HC. Vous préciserez les raisons de cette production (3 lignes maxi).

6^{ème} partie : Comparatif GNV / Essence

Objectif : Comparer les performances, le rendement et le rejet de CO₂ du moteur lors du fonctionnement en essence et en GNV.

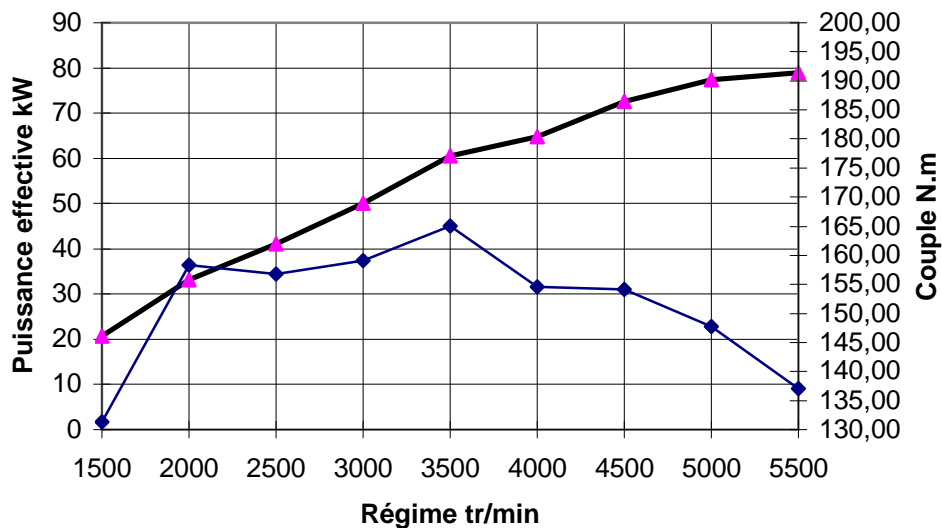
6.1 Particularités du moteur lors du fonctionnement en GNV.

A partir des données carburant, indiquer les modifications qu'il faut apporter au moteur lors du fonctionnement en GNV (5 lignes maxi).

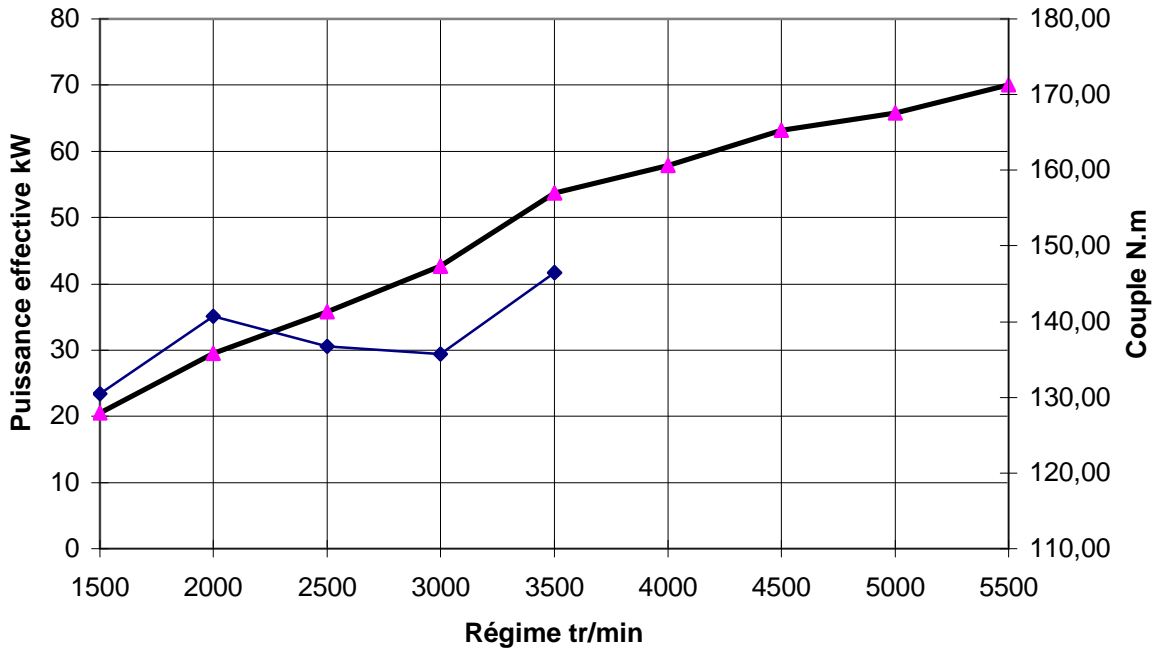
6.2 Performances moteur.

Les caractéristiques couple et puissance ont été relevées sur le moteur qui équipe le Jumper.

Performance moteur essence



Performance moteur GNV



6.2.1 Exprimer littéralement le couple moteur en fonction de la puissance et du régime moteur. Vous préciserez les unités utilisées.

6.2.2 Compléter le tableau réponse et tracer la courbe de couple sur le graphe ci-dessus.

Régime (tr.min ⁻¹)	4000	4500	5000	5500
Couple (N.m)				

6.3 Déterminer la différence de puissance entre le fonctionnement essence et GNV.

	Moteur essence. (kW)	Moteur GNV. (kW)	Différence. (kW)	Différence en % par rapport au moteur essence
Puissance au régime de couple maxi.				
Puissance maxi				

6.4 Rendement global.

6.4.1 Exprimer de manière littérale la puissance fournie par le carburant au moteur en fonction du débit de carburant et d'autres paramètres. Vous préciserez les unités utilisées.

6.4.2 Applications numériques.

Débit de carburant (g.h ⁻¹)	Puissance fournie par le carburant (kW)
15960 (GNV)	
18490 (essence)	

6.4.3 Rendement global du moteur à 3500 tr.min⁻¹:

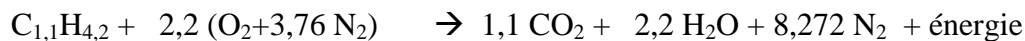
Après avoir identifié la puissance effective du moteur sur les courbes de performance, déterminer le rendement global du moteur pour chaque type carburant.

Carburant	Puissance fournie par le carburant (kW)	Puissance effective (kW)	Rendement global	Différence en % par rapport au moteur essence
GNV	213			
Essence	226			

6.5 Comparaison des rejets de CO₂.

A partir de la consommation de carburant et des équations de combustion du GNV et de l'essence, on peut déterminer le rejet de CO₂ pour ces deux modes de fonctionnement.

Equation de combustion du GNV.



Equation de combustion de l'essence.



Consommation moyenne de carburant sur cycle mixte :

- essence 13,5 dm³/100 km
- GNV 13,3 m³/100 km = 8,5 kg/100km

6.5.1 Déterminer le rejet de CO₂ en g.km⁻¹ pour le moteur en fonctionnement GNV.

6.5.2 Déterminer le rejet de CO₂ en g.km⁻¹ pour le moteur en fonctionnement essence.

6.5.3 Quel est le carburant qui produit le moins de CO₂ (gaz à effet de serre) ?

7^{ème} partie : Maintenance et diagnostic .

Objectif : Identifier les éléments à l'origine d'un dysfonctionnement et réaliser un tableau de contrôle.

7.1 La commutation essence / GNV n'est plus réalisée. Citer les différents éléments à mettre en cause.

7.2 L'outil de diagnostic indique un défaut sur la fonction pression GNV. A partir du tableau fourni ci-dessous, indiquer les contrôles (5 maxi) à effectuer pour assurer la remise en état de cette fonction.

Élément ou fonction à contrôler	Mesures à effectuer	Conditions de mesure.	Moyens utilisés	Valeurs attendues

CONCOURS INTERNE du CA/PLP

Section : GÉNIE MÉCANIQUE

**Option : MAINTENANCE DES VÉHICULES, MACHINES
AGRICOLES ET ENGINS DE CHANTIER.**

**ÉTUDE D'UN SYSTÈME TECHNIQUE ET/OU D'UN
PROCESSUS TECHNIQUE**

Session 2006

DOSSIER TECHNIQUE

Ce dossier comporte 15 pages

SYSTÈME DE BI-CARBURATION

ESSENCE/GAZ NATUREL VÉHICULE.

1	Généralités sur le gaz naturel.	37
2	composition et caractéristiques du gnv	37
2.1	Composition du Gaz Naturel de Lacq avant et après épuration.	38
2.2	Comparaison du GNV par rapport aux autres carburants.	38
3	Fonctionnement général.	39
3.1	Généralités.	39
3.2	Synoptique général du système.	39
3.3	Principe général de l'alimentation en GNV.	40
3.4	Commutation entre les deux modes de fonctionnement	41
3.4.1	Commutation essence / GNV.	41
3.4.2	Commutation GNV / essence.	41
4	Circuit GNV.	42
4.1	Orifice de remplissage du GNV.	42
4.2	Réservoir GNV.	42
4.3	Ensemble sur réservoir GNV.	42
4.4	Tuyauteries GNV haute pression.	43
4.5	Groupe détenteur de pression GNV.	43
4.6	Rampe d'injection GNV.	44
5	Schématisation électrique.	44
	Annexe 1 : Graphe fonctionnel A0 du système METAFUEL.	46
	Annexe 2 : Données véhicule et carburant.	47
	Annexe 3 : Rappels thermodynamiques.	48
	Annexe 4 : Conditionneur de température.	49

LE GAZ NATUREL.

1 - Généralités sur le gaz naturel.

C'est le carburant idéal pour les collectivités locales, les flottes captives (EDF-GDF, LA POSTE, livraisons urbaines, parcs de bus, engins de voirie ...).

Son seul inconvénient est dû au stockage volumineux et lourd. C'est pour cette raison que le Gaz Naturel est, avant tout, destiné à une utilisation urbaine.

Le Gaz Naturel, tout comme le charbon et le pétrole par exemple, est une énergie primaire qui provient directement de la nature.

Le **Gaz Naturel** fait partie de notre capital énergétique, d'autant plus que les réserves prouvées enfouies sous la terre ou sous la mer dépassent 141 000 milliards de m³ (≈ 70 ans de consommation).

Le Gaz Naturel, principalement composé de méthane est un carburant propre qui ne produit pas de cendres ou de poussières, moins de dioxyde de carbone. La proportion de carbone est moindre que dans l'essence. La production de CO₂ est donc plus faible et limite donc l'effet de serre, peu d'oxydes d'azote et pratiquement pas de soufre. Le **Gaz Naturel** est donc très peu influent sur la production des pluies acides, pas de monoxyde de carbone.

Le gain en émissions de polluants est d'autant plus grand que le moteur est froid. D'où son intérêt en usage urbain.

Son indice d'octane élevé (125-130) permet un taux de compression élevé.

Sa température élevée d'auto inflammation fait qu'en cas de fuite, le risque d'incendie est beaucoup moins important qu'avec l'essence. Il faut au moins 5 % de méthane dans l'air pour que le mélange puisse s'enflammer (conditions pratiquement irréalisables en enceinte non confinée, compte tenu des propriétés de dissipation du Gaz Naturel dans l'atmosphère), et de plus, le GNV est sous forte pression dans son réservoir de stockage, interdisant toute entrée d'air.

2 - Composition et caractéristiques du GNV

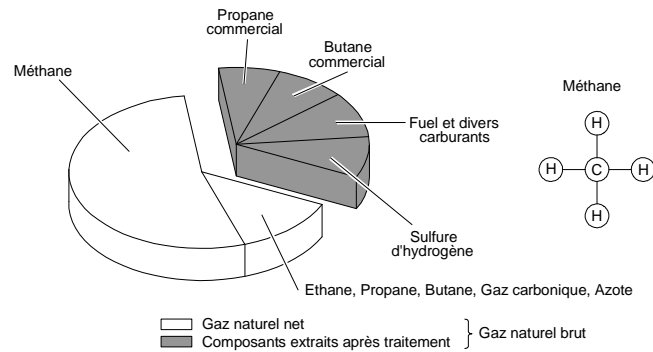
D'un gisement à l'autre, la composition du Gaz Naturel varie considérablement. On peut aussi trouver dans le Gaz Naturel :

Des hydrocarbures saturés : éthane (C₂ H₆), propane (C₃ H₈), butane (C₄ H₁₀), pentane (C₅ H₁₂), des traces de soufre, des gaz inertes: Azote (N₂), dioxyde de carbone (CO₂), de l'hydrogène sulfuré (corrosif et toxique).

Le Gaz Naturel doit être épuré dans des sites de production avant son transport et sa distribution. On obtient ainsi du méthane, en tant que Gaz Naturel, et divers composants après traitement qui peuvent être commercialisés.

D'autre part, le Gaz Naturel qui à l'origine est inodore, est odorisé avant distribution, par l'adjonction d'un produit chimique, généralement du Tétrahydrothiophène (THT).

2.1 Composition du Gaz Naturel de Lacq avant et après épuration.



Dans le GNV, les valeurs de soufre sont bien en dessous des valeurs réglementaires (10 mg/m³ de soufre total au lieu des 150 mg/m³ admissibles).

2.2 Comparaison du GNV par rapport aux autres carburants.

	ESSENCE	GPL	GNV
Etat du stockage	liquide	liquide	gazeux
Température stockage	ambiante	ambiante	ambiante
Pression de stockage (bar)	1	3 à 5	200
Formule chimique	C ₈ H ₁₈	C ₃ H ₈ + C ₄ H ₁₀	CH ₄ (à plus de 89%)
Masse volumique (kg.dm ⁻³)	0,75	0,55	---
Densité par rapport à l'air.		1,55	---
PCI (kWh/kg)	12,2	12,8	12,5 à 13,8
Indice d'octane	95 / 98	102	125 – 130
Température d'auto inflammation (°C)	300 à 400	420 à 480	≈ 600
Limite d'inflammabilité dans l'air (% en volume)	0,6 à 8	1,5 à 9	5 à 15
Vitesse de combustion (m.s ⁻¹)	1		0,38

PCI: Le Pouvoir Calorifique Inférieur est la quantité d'énergie massique (kJ.kg⁻¹) ou volumique (kJ.m⁻³) contenue dans un carburant, qu'il soit gazeux ou liquide.

Le PCI du Gaz Naturel est sensiblement comparable à celui des autres carburants. Son indice d'octane élevé permet l'utilisation de taux de compression élevés. Son indice de cétane n'est pas suffisant pour qu'il s'enflamme spontanément. Sa température élevée d'auto inflammation (≈600°C) fait qu'en cas de fuite, le risque d'incendie est beaucoup moins grand qu'avec l'essence ou le gazole.

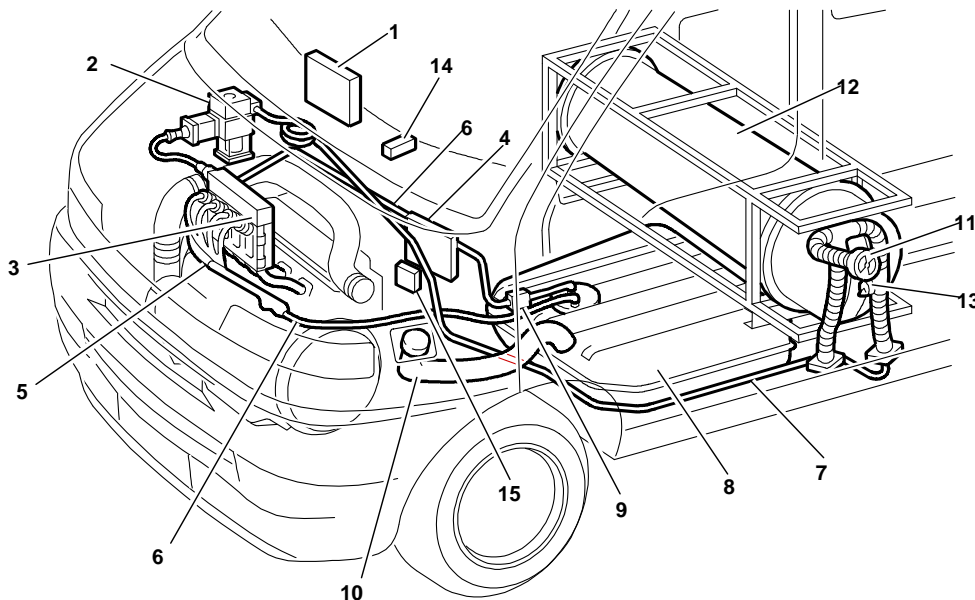
SYSTEME METAFUEL.

3 - Fonctionnement général.

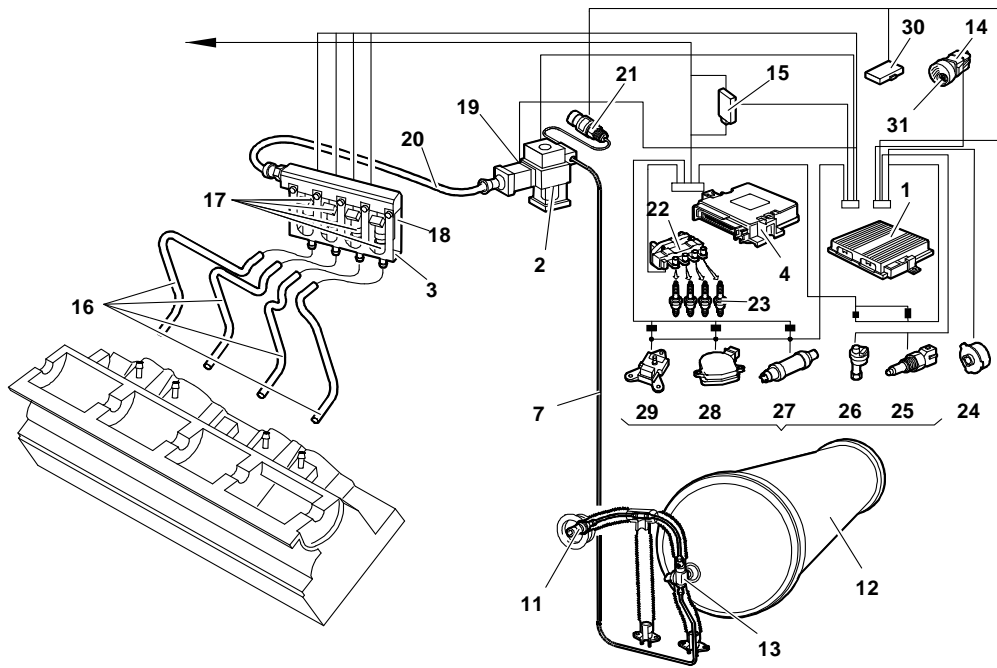
3.1 Généralités.

Le véhicule JUMPER, fonctionnant en bi-carburant est équipé d'un moteur essence sur lequel on monte un kit de transformation pour permettre un fonctionnement soit à l'essence, soit au GNV. L'alimentation en essence ne comporte aucune modification par rapport au dispositif traditionnel. L'alimentation GNV est contrôlée par un calculateur spécifique.

Synoptique général du système.

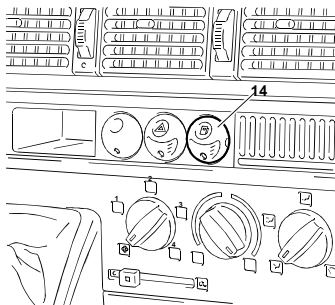


- | | | | |
|------|---------------------------------|------|------------------------------------|
| 1 - | Calculateur d'injection GNV | 17 - | Injecteurs GNV |
| 2 - | Groupe détenteur de pression | 18 - | Rail GNV |
| 3 - | Rampe d'injecteurs GNV | 19 - | Sonde de température eau détenteur |
| 4 - | Calculateur d'injection essence | 20 - | Tube basse pression |
| 5 - | Rampe d'injecteurs essence | 21 - | Capteur de pression GNV |
| 6 - | Conduite essence | 22 - | Bobine |
| 7 - | Conduite GNV à haute pression | 23 - | Bougie |
| 8 - | Réservoir d'essence | 24 - | Capteur de phase |
| 9 - | Filtre à essence | 25 - | Sonde de température eau moteur |
| 10 - | Orifice de remplissage essence | 26 - | Capteur de régime et de position |
| 11 - | Orifice de remplissage GNV | 27 - | Sonde à oxygène |
| 12 - | Réservoir de GNV | 28 - | Potentiomètre de position papillon |
| 13 - | Vanne de sécurité manuelle | 29 - | Capteur de pression absolue |
| 14 - | Commutateur essence/GNV | 30 - | Boîtier de gestion témoin GNV |
| 15 - | Emulateur injecteurs essence | 31 - | Témoin GNV |
| 16 - | Tubes injection GNV | | |



3.3 Principe général de l'alimentation en GNV.

Le dispositif d'alimentation en GNV est indépendant du système essence et n'altère en aucun cas son fonctionnement. La commutation entre les deux systèmes peut se faire par commande manuelle de l'utilisateur (commutateur 14 sur le tableau de bord) ou automatiquement.



Le témoin GNV du commutateur (14) s'allume lorsque le véhicule fonctionne en mode essence, que le commutateur soit enfoncé ou non. La commutation entre les deux modes de fonctionnement par l'utilisateur en manuel est toujours permise, sauf au moment du démarrage, qui se fait toujours à l'essence.

Le calculateur d'injection essence ne modifie pas son comportement et les stratégies de gestion sont identiques à celles de la version essence seule.

Le calculateur d'injection GNV pilote uniquement l'injection de GNV, de type séquentielle phasée. Toutes les autres fonctions de contrôle moteur restent pilotées par le calculateur d'injection essence, qui actionne toutes ses commandes classiques à l'exception des injecteurs essence. Lors du passage de l'alimentation essence à l'alimentation GNV, il faut éviter que le calculateur d'injection essence:

- continue à commander le fonctionnement des injecteurs essence,
- applique la procédure d'auto adaptation,
- applique la procédure de diagnostic des injecteurs essence.

Le système a donc été doté d'un émulateur d'injecteurs essence. Activé au moment de la commutation, il sert :

- à couper l'alimentation des injecteurs essence,
- à simuler la résistance des injecteurs,

Le système d'allumage est toujours géré par le calculateur d'injection essence. Une correction spécifique au GNV est adoptée pour l'avance.

Lorsque la pression du GNV descend en dessous de 40 bars, le témoin GNV clignote pour signaler la condition de réserve : autonomie de 30 à 40 km. Si elle descend en dessous de 15 bars, le calculateur d'injection GNV commute automatiquement en mode essence.

Le fonctionnement en GNV est interdit pour une température eau moteur inférieure à -30°C.

3.4 Commutation entre les deux modes de fonctionnement

Le fonctionnement est réglé par le calculateur GNV via le commutateur (14):

- commutateur enfoncé → choix de l'utilisateur pour le fonctionnement essence,
- commutateur sorti → choix de l'utilisateur pour le fonctionnement GNV.

3.4.1 Commutation essence / GNV.

Commutation automatique (après démarrage du moteur).

- Conditions initiales :
 - commutateur sorti, témoin GNV allumé.
- La commutation vers le GNV se fait automatiquement soit :
 - après un laps de temps de 5 secondes,
 - quand on dépasse le régime de 1500 tr/min.
- La commutation automatique est interdite si :
 - la pression GNV dans le réservoir est inférieure à 15 bars,
 - le calculateur d'injection GNV a diagnostiqué une panne sur un ou plusieurs éléments (capteur de pression absolue, capteur de position papillon, capteur de pression GNV et injecteurs GNV).

Commutation manuelle par l'utilisateur (moteur en marche).

- Conditions initiales :
 - commutateur enfoncé, témoin GNV allumé.
- Quand l'utilisateur appuie sur le commutateur :
 - le témoin GNV s'éteint,
 - la fonction de commutation est activée.
- La commutation se produit uniquement si :
 - la pression GNV dans la bouteille est supérieure à 15 bars,
 - le régime moteur est supérieur à 1500 tr/min,
 - le calculateur d'injection GNV ne détecte pas de panne.

3.4.2 Commutation GNV / essence.

Commutation automatique (moteur en marche)

- Conditions initiales :
 - commutateur sorti, témoin GNV éteint.
- La commutation se produit si une des conditions suivantes est remplie :
 - pression GNV dans la bouteille inférieure au seuil fixé (15 bars),
 - détection d'une panne par le calculateur GNV.

Après commutation, le fonctionnement au GNV est interdit tant que la condition qui a entraîné la commutation automatique n'est pas levée. Le témoin GNV est alors allumé.

Commutation manuelle par l'utilisateur (moteur en marche)

-Conditions initiales :

-commutateur sorti, témoin GNV éteint.

-Quand l'utilisateur appuie sur le commutateur :

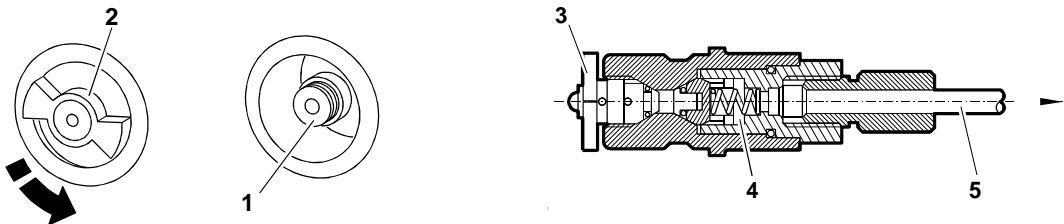
-le témoin GNV s'allume,

-la fonction de commutation est activée.

En cas d'anomalies, le calculateur GNV gère les modes dégradés.

4 - Circuit GNV.

4.1 Orifice de remplissage du GNV.



1 -Orifice de remplissage

2 –Bouchon

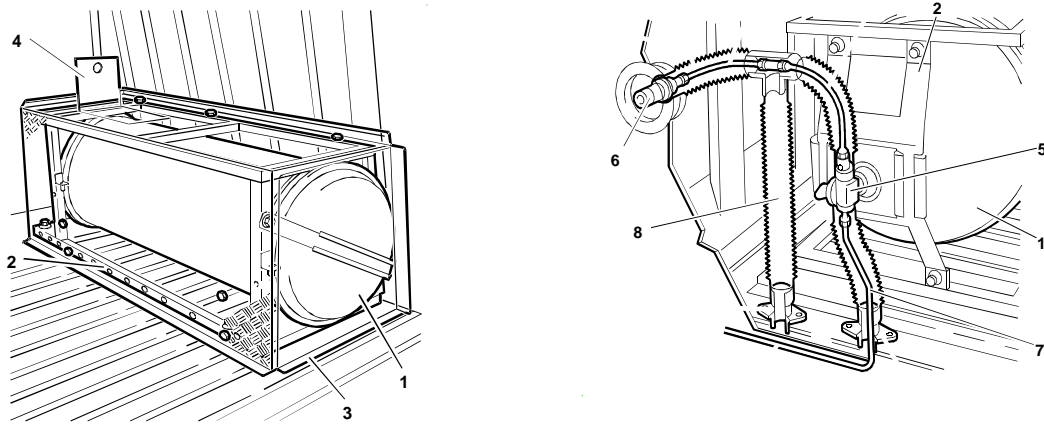
3 -Corps extérieur de l'orifice

4 -Clapet anti-retour

5 -Tuyauterie haute pression

4.2 Réservoir GNV.

Le GNV à l'état gazeux est comprimé à une pression nominale d'exploitation de 200 bars à 15°C dans le réservoir. En fin de remplissage, il est toujours à l'état gazeux. Le réservoir d'une capacité de 150 dm³ autorise une autonomie d'environ 250 km.



1-Réservoir GNV

2-Berceau de fixation.

3-Carter de protection

4-Volet d'inspection

5-Valve manuelle d'arrêt GNV

6-Orifice de remplissage

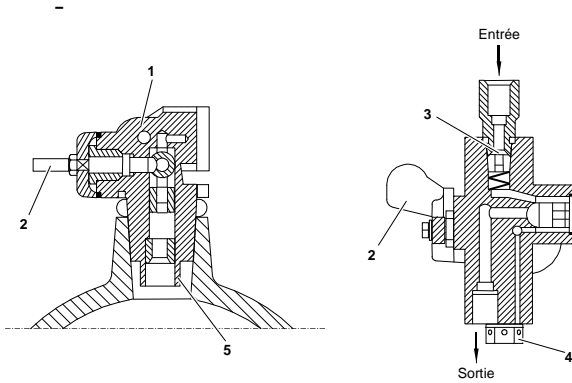
7-Tuyauterie haute pression

8-Tuyau strié de ventilation

4.3 Ensemble sur réservoir GNV.

Il assure les fonctions suivantes :

- remplissage du réservoir GNV,
- alimentation en GNV du moteur.



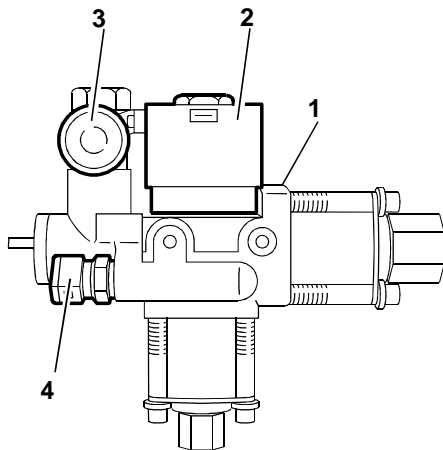
- 1 -corps de l'ensemble
- 2 -vanne manuelle d'arrêt
- 3 -clapet antiretour
- 4 -disque fusible
- 5 -limiteur de débit

En cas de rupture d'une tuyauterie ou de l'ensemble, le limiteur de débit (5) intervient en limitant le débit de gaz à une valeur d'environ 0,5 % du débit de fonctionnement normal.

4.4 Tuyauteries GNV haute pression.

Les tuyauteries sont en inox recouvertes de matière plastique.

4.5 Groupe détenteur de pression GNV.



- 1 -corps du détenteur
- 2 -électrovanne d'arrêt
- 3 -capteur pression GNV
- 4 -sonde de température eau détenteur

Le détenteur de pression est destiné à réduire la pression du GNV de la valeur existant dans le réservoir à la valeur d'alimentation des injecteurs GNV (9 ± 1 bar).

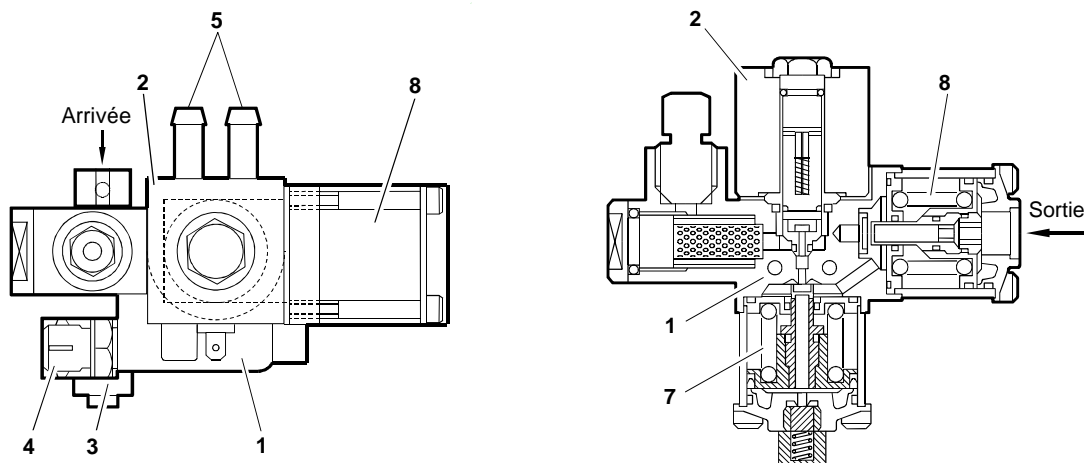
La réduction de pression se fait sur deux étages :

- le premier étage (7) réduit la pression à une valeur d'environ 13 bars,
- le second étage (8) réduit la pression à une valeur de 9 bars.

Caractéristiques capteur pression GNV.	
Plage de mesure	20 à 250 bars
Tension d'alimentation	4.5 à 5.5 volts
Réponse (pression mini sous 5 volts)	0.25 volt
Réponse (pression maxi sous 5 volts)	4.75 volts
Sensibilité (sous 5 volts)	19.6 mV/bar

Comme le GNV est soumis à une forte détente, on dérive une partie du circuit de refroidissement eau moteur (5) pour réchauffer le groupe détenteur.

Pendant les phases de fonctionnement GNV, la sonde de température (4) fournit au calculateur d'injection essence un signal de température eau inférieur à 70°C. Ceci a pour effet d'inhiber la fonction auto adaptation du calculateur. Le signal de la sonde à oxygène est ainsi négligé.



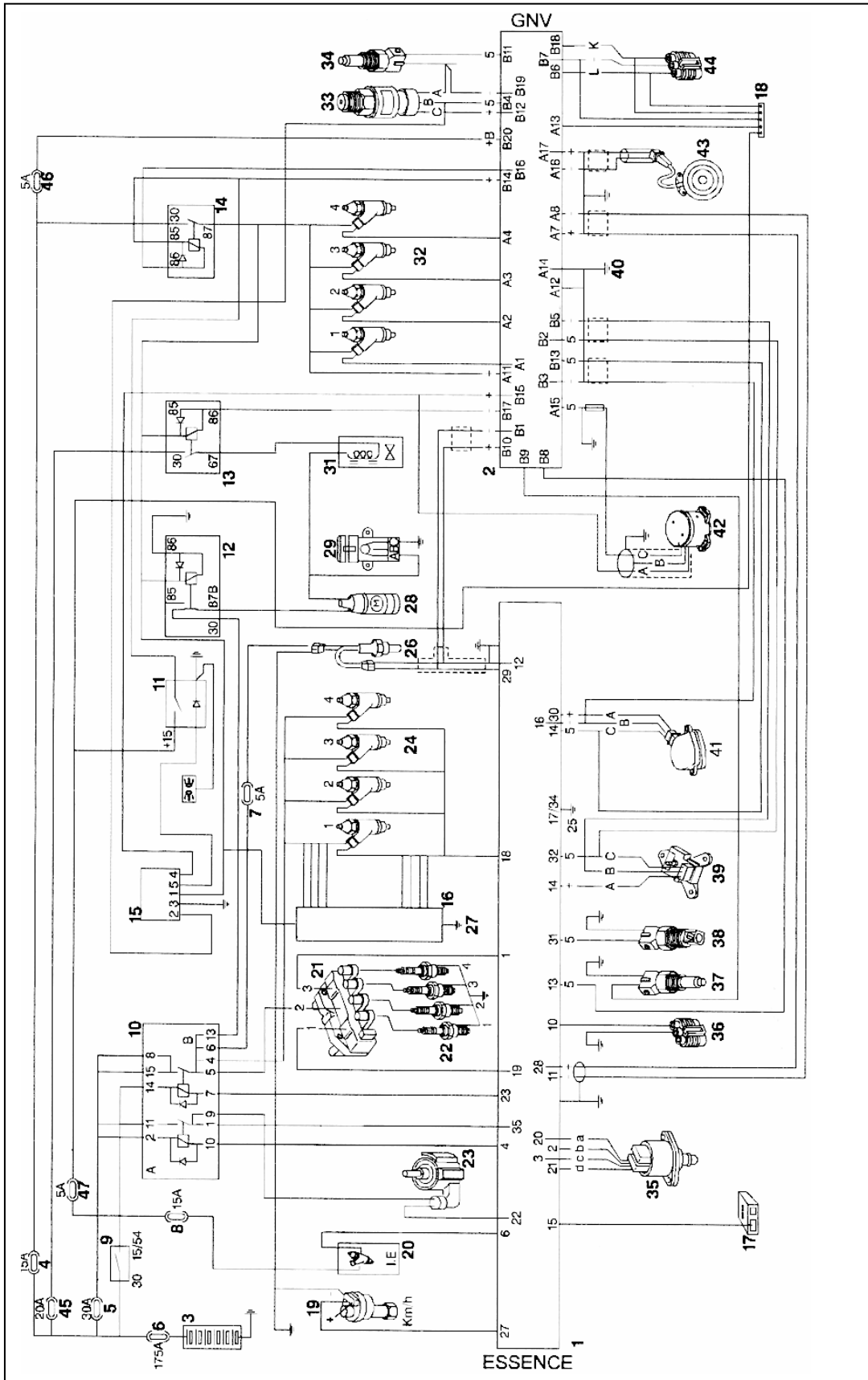
Caractéristique sonde de température eau détenteur.	
Température (°C)	Sonde eau détenteur (Ω)
-40	100000
-20	30000
0	10000
20	3200
60	0

4.6 Rampe d'injection GNV.

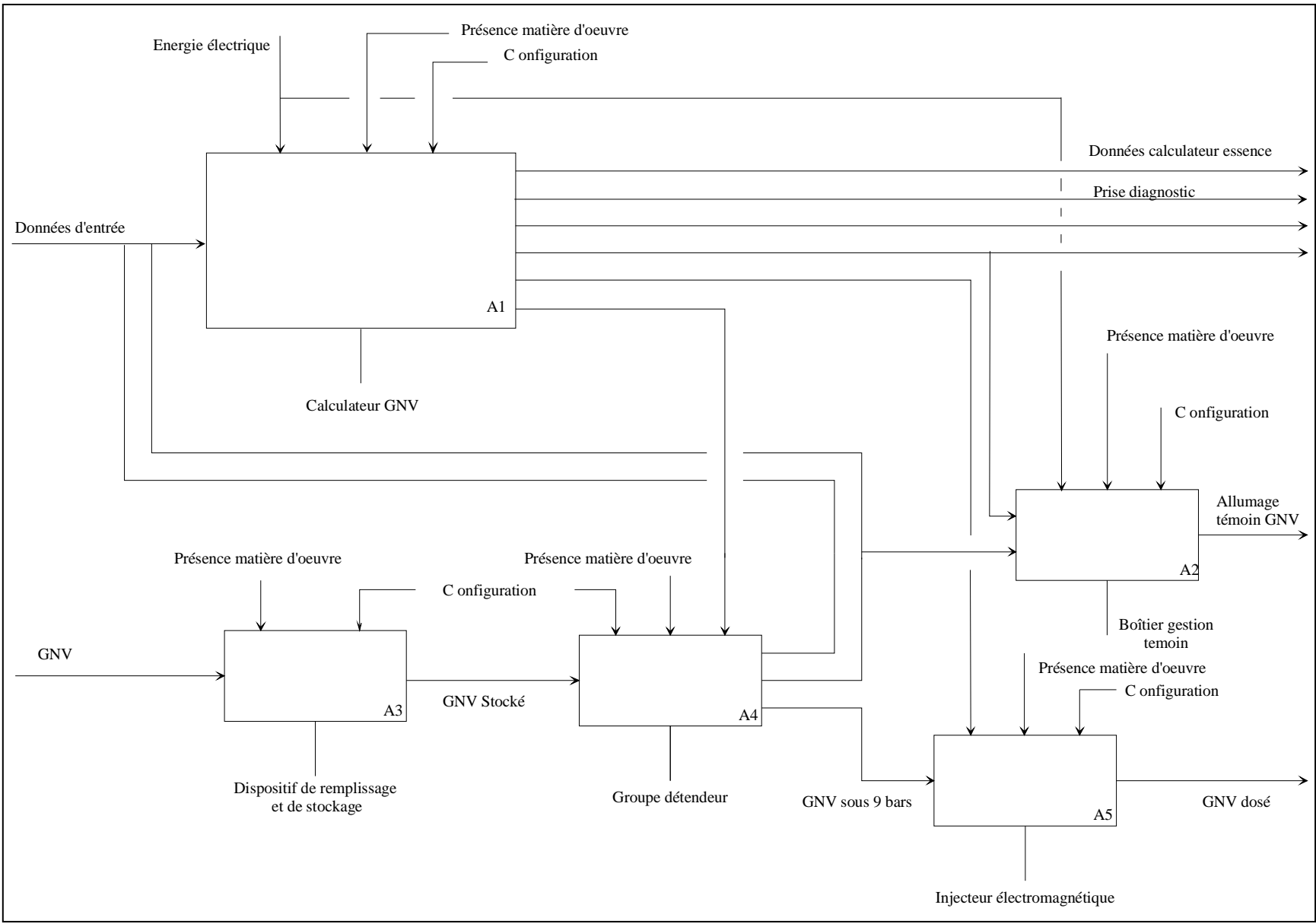
Cet ensemble est constitué d'un support de 4 injecteurs spécifiques au fonctionnement GNV. Il distribue le gaz dans chaque cylindre par l'intermédiaire de tubes souples.

5 - Schématisation électrique.

- | | |
|---|--|
| 1 -Calculateur essence | 25 -Masse signal |
| 2 -Calculateur GNV | 26 -Sonde à oxygène |
| 3 -Batterie | 27 -Masse blindage |
| 4 à 8 -Fusibles | 28 -Pompe essence |
| 9 -Contacteur de démarrage | 29 -Contacteur d'inertie |
| 10 -Relais double | 31 -Electrovanne GNV |
| 11 -Commutateur essence / GNV | 32 -Injecteurs GNV |
| 12 -Relais pompe à essence | 33 -Capteur de pression GNV |
| 13 -Relais d'alimentation électrovanne sur groupe détenteur | 34 -Sonde température eau groupe détenteur |
| 14 -Relais d'alimentation injecteurs GNV | 35 -Actuateur ralenti moteur |
| 15 -Boîtier de gestion témoin GNV | 36 -Prise diagnostic essence |
| 16 -Emulateur injecteurs essence | 37 -Sonde température eau moteur |
| 17 -Prise programmation calculateur essence | 38 -Sonde température air |
| 18 -Prise programmation calculateur GNV | 39 -Capteur de pression collecteur |
| 19 -Signal tachymètre | 40 -Masse de puissance |
| 20 -Témoin diagnostic essence | 41 -Potentiomètre de position papillon |
| 21 -Bobine d'allumage | 42 -Capteur de phase |
| 22 -Bougies | 43 -Capteur position et régime moteur |
| 23 -Electrovanne purge canister | 44 -Prise diagnostic GNV |
| 24 -Injecteurs essence | 45 à 47 -Fusibles |



Annexe 1 : Graphe fonctionnel A0 du système METAFUEL.



Annexe 2 : Données véhicule et carburant.

Caractéristiques moteur.

Moteur 4 cylindre, 4 temps Cylindrée : 1998 cm³
Alésage : 86 mm Course : 86 mm
Rapport volumétrique (ρ) : 9.5 / 1
Taux de remplissage du moteur à 3500 tr.min⁻¹ : 90 %

Caractéristiques du véhicule.

Masse : 1700 kg Réservoir : 150 dm³

Caractéristiques du carburant.

Essence : PCI = 44 000 kJ.kg⁻¹ dosage stœchiométrique = 1/14,7 $\rho_{\text{ess}}=750 \text{ kg.m}^{-3}$
GNV : PCI = 48 000 kJ.kg⁻¹ dosage stœchiométrique = 1/17

Caractéristiques de l'air.

L'air est considéré comme un mélange d'oxygène et d'azote. : (O₂ + 3,76 N₂)
masse volumique de l'air à 1013 mb et 0°C : $\rho_{\text{air}} = 1,29 \text{ kg.m}^{-3}$.
masse volumique de l'air à 1013 mb et 20°C : $\rho_{\text{air}} = 1,2 \text{ kg.m}^{-3}$.

Masse molaire des atomes:

H : 1 g.mol⁻¹ C : 12 g.mol⁻¹ N : 14 g.mol⁻¹ O : 16 g.mol⁻¹

Annexe 3 : Rappels thermodynamiques.

Equation des gaz parfaits. $P.V=m.r.T$

P : pression absolue en Pascal

V : volume en m^3

m : masse du fluide en kg

r : constante fonction du gaz $J.kg^{-1}.K^{-1}$.

T : température absolue en Kelvin

Détermination de T

$$T(K) = t(^{\circ}C) + 273$$

Détermination de r et de γ .

$r = C_p - C_v$ caractéristique constante, fonction de la nature du gaz.

$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ coefficient de Poisson du fluide.

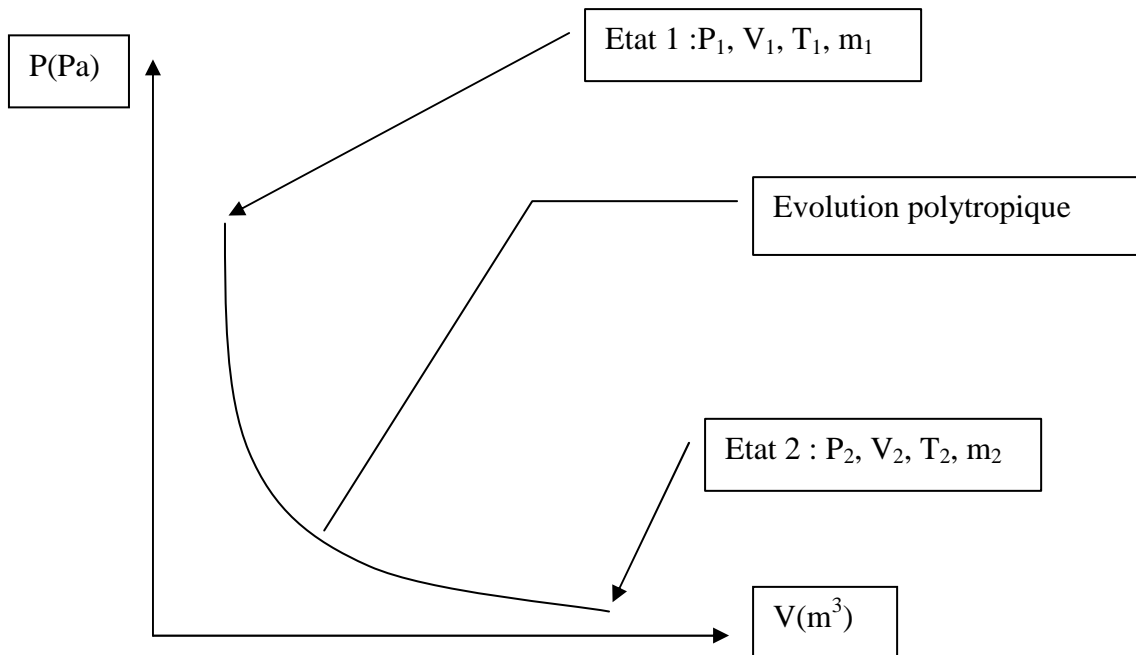
C_p : Chaleur massique à pression constante.

C_v : Chaleur massique à volume constant.

Le méthane $C_p = 2197 J.kg^{-1} K^{-1}$. $C_v = 1680 J.kg^{-1}.K^{-1}$. $r = 517 J.kg^{-1}.K^{-1}$.

L'air $C_p = 1005 J.kg^{-1} K^{-1}$. $C_v = 718 J.kg^{-1}.K^{-1}$. $r = 287 J.kg^{-1}.K^{-1}$.

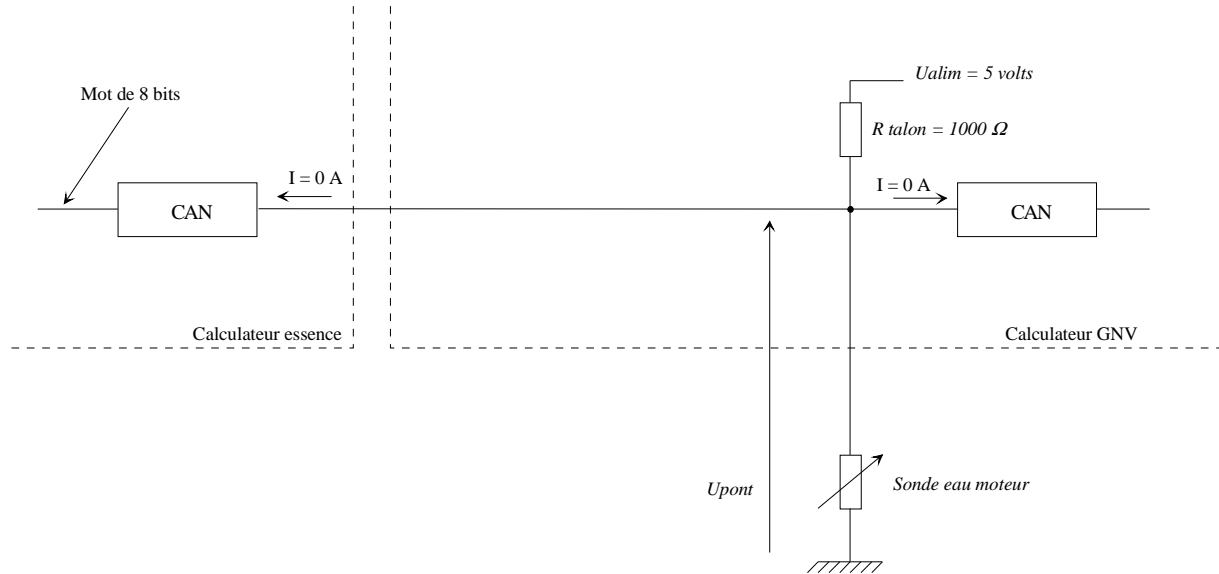
Transformation polytropique.



- Lors d'une évolution polytropique on peut écrire : $P_1 V_1^k = P_2 V_2^k = \text{constante}$
avec k : coefficient polytropique.
- De plus la loi des gaz parfaits permet d'écrire : $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$
avec : P, V, T voir ci dessus équation des gaz parfaits.

Annexe 4 : Conditionneur de température.

Conditionneur de température eau moteur en phase de fonctionnement essence.



Conditionneur de température eau moteur en phase de fonctionnement GNV.

