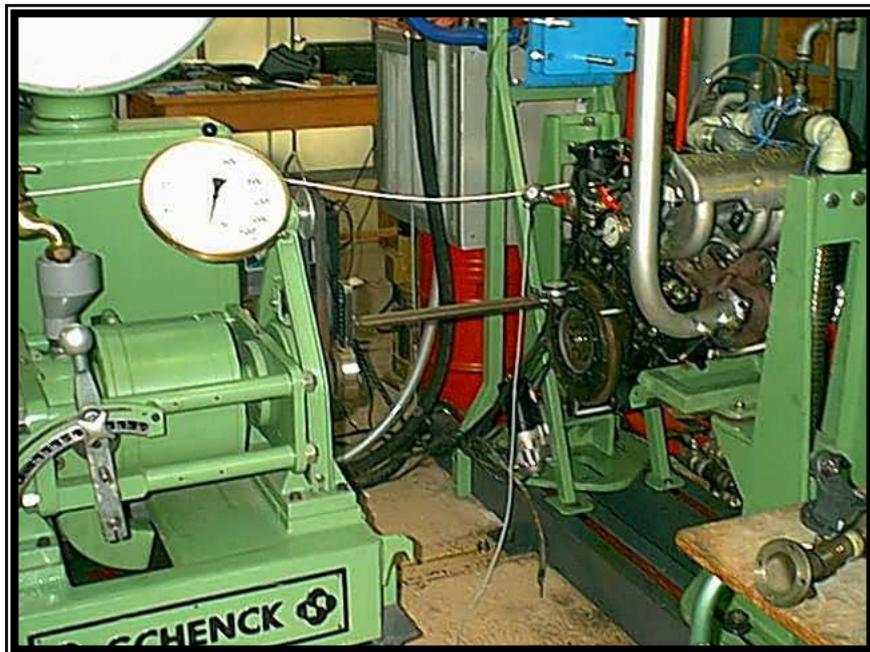


23 Janvier 2001

Projet de Recherche Technologique

**REALISATION D'UN BANC D'ESSAI
MOTEUR AU LABO CLIMATHERM**



VILQUIN Jérôme

Génie Mécanique 3^{ème} année
Option Energétique Industrielle

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier ici toutes les personnes qui m'ont aidées dans la réalisation de ce projet.

Mes remerciements vont en particulier à :

M. CROCHET et M. ERB pour leur suivi et leurs conseils ;

M. KOCHER et M. SIVIGNON pour leurs conseils et leur aide pendant ce projet.

SOMMAIRE :

I. Présentation du sujet :	4
II. Etude des différents constituants du banc d'essai moteur :	5
1. Accouplement moteur-frein :	5
<i>a) Système de réglage d'inclinaison :</i>	<i>7</i>
<i>b) Plots d'amortissement :</i>	<i>8</i>
<i>c) Liaison cardan/flector :</i>	<i>10</i>
2. Micromoteur de commande frein :	11
3. Mesure du débit d'air frais :	14
<i>a) Appareillage de mesure :</i>	<i>14</i>
<i>b) Chambre de tranquillisation :</i>	<i>16</i>
4. Mesure de la consommation :	18
5. Mesure des échanges thermique sur l'eau et l'huile :	20
6. Mesure de la température des gaz brûlés et d'huile :	20
7. Liaison de tous les capteurs et énergimètre à un PC :	21
8. Pupitre de commande :	22
9 Sécurité électrique pour le démarrage et tableau électrique :	23
III. Conclusion	24
IV. Liste des contacts	25
V. Sommaire des annexes	26

I. Présentation du sujet :

1) Contexte de l'étude :

Suite au projet de fin d'étude de Vincent GORISSE concernant l'implantation d'un banc d'essai moteur au laboratoire climatherm, mon objectif est d'installer ce banc d'essai avec tout ce qu'il comporte c'est à dire :

- commandes à l'extérieur de l'enceinte de sécurité
- appareillage de mesure (débit air, débit carburant, températures huile eau et gaz d'échappement, ainsi que les pressions huile eau)
- pupitre de contrôle et de mesure

Un problème supplémentaire s'est greffé à mon étude suite à la casse du cardan de transmission : étude de la transmission du couple au frein à eau SCHENCK. (faut-il ou non suspendre le moteur par l'intermédiaire de tampon moteur et faut-il réaliser l'entraînement par cardan ou par un arbre rigide accouplé d'un organe élastique), ce qui imposerait peut-être une modification des supports moteur.

2) Analyse de l'existant :

Pour le moment le moteur 1,9l turbocompressé de la Peugeot 406 est accouplé à un frein à eau SCHENCK qui exerce un couple résistant par l'intermédiaire d'un cardan simple muni d'un flector assurant l'absorption des chocs.

La circulation d'eau est déviée dans un échangeur eau/eau afin de déterminer la puissance échangée.

La circulation d'huile est déviée dans un échangeur huile/eau.

Deux boîtiers énergimètre PALLAS nous fournissent les informations nécessaires concernant les différences de températures ainsi que les puissances échangées.

II. Etude des différents constituants du banc d'essai moteur :

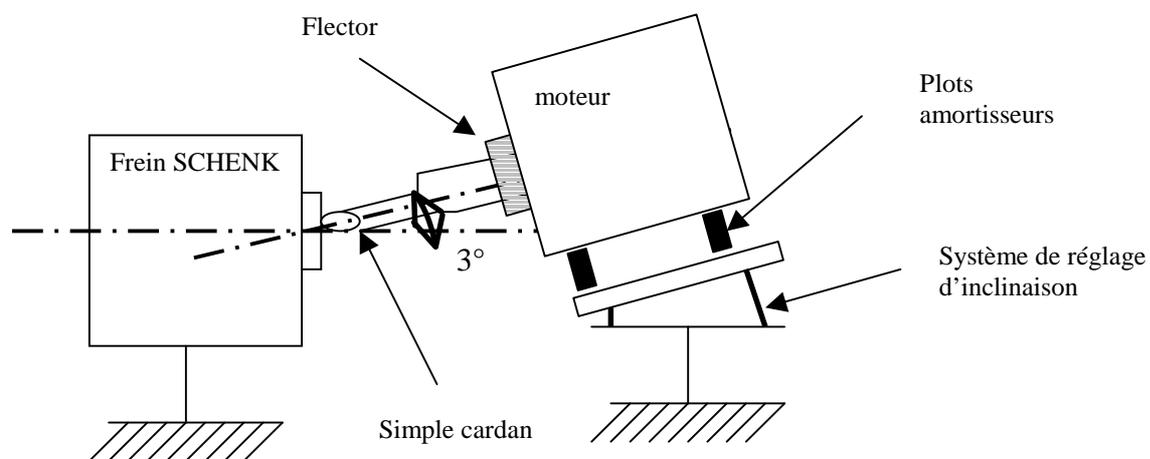
1. Accouplement moteur-frein :

L'accouplement du moteur et du frein était déjà réalisé à l'aide d'un simple cardan, cependant à la suite d'une casse du cardan il a fallut le reconcevoir.

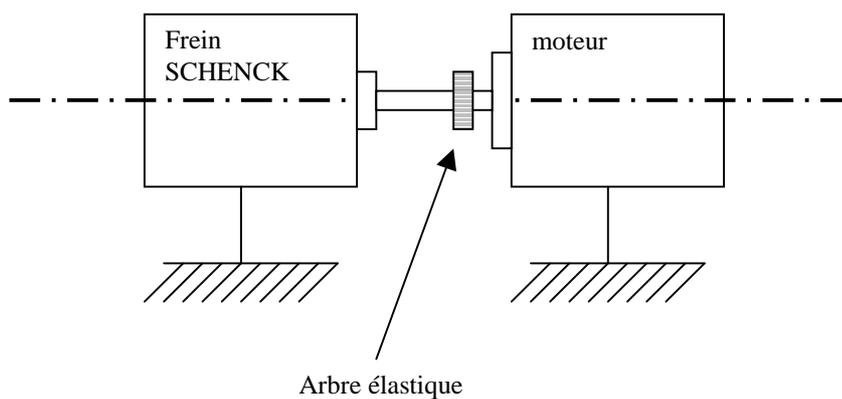
Tout d'abord il a fallut prévoir un capot de sécurité, pour éviter toute projection de débris émanant du banc d'essai.

De plus à la suite de plusieurs visites chez Général Motors et Alsia, nous avons pu observer différentes méthodes de suspension du moteur et d'accouplement au frein, on en déduit donc le comparatif suivant :
(un tableau comparatif est adjoint en annexe)

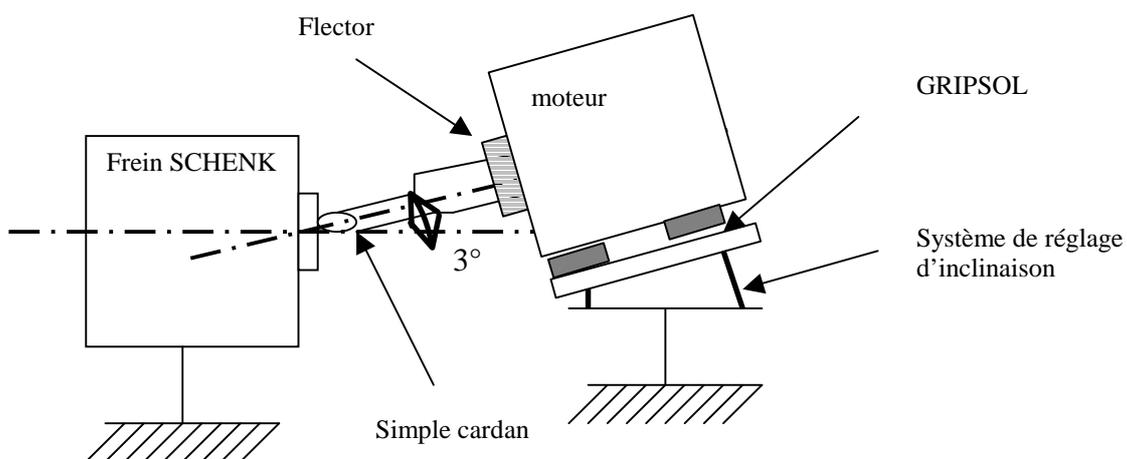
- **Cas n°1 : Montage type Général Motors** (moteur sur silent bloc + simple cardan + flector)



- **Cas n°2 : Montage type ALSIA** (moteur fixe et transmission par arbre élastique)



- **Cas n°3 : Montage mixte** (moteur quasi fixe sur le bati (juste GRIPSOL) + simple cardan + FLECTOR)



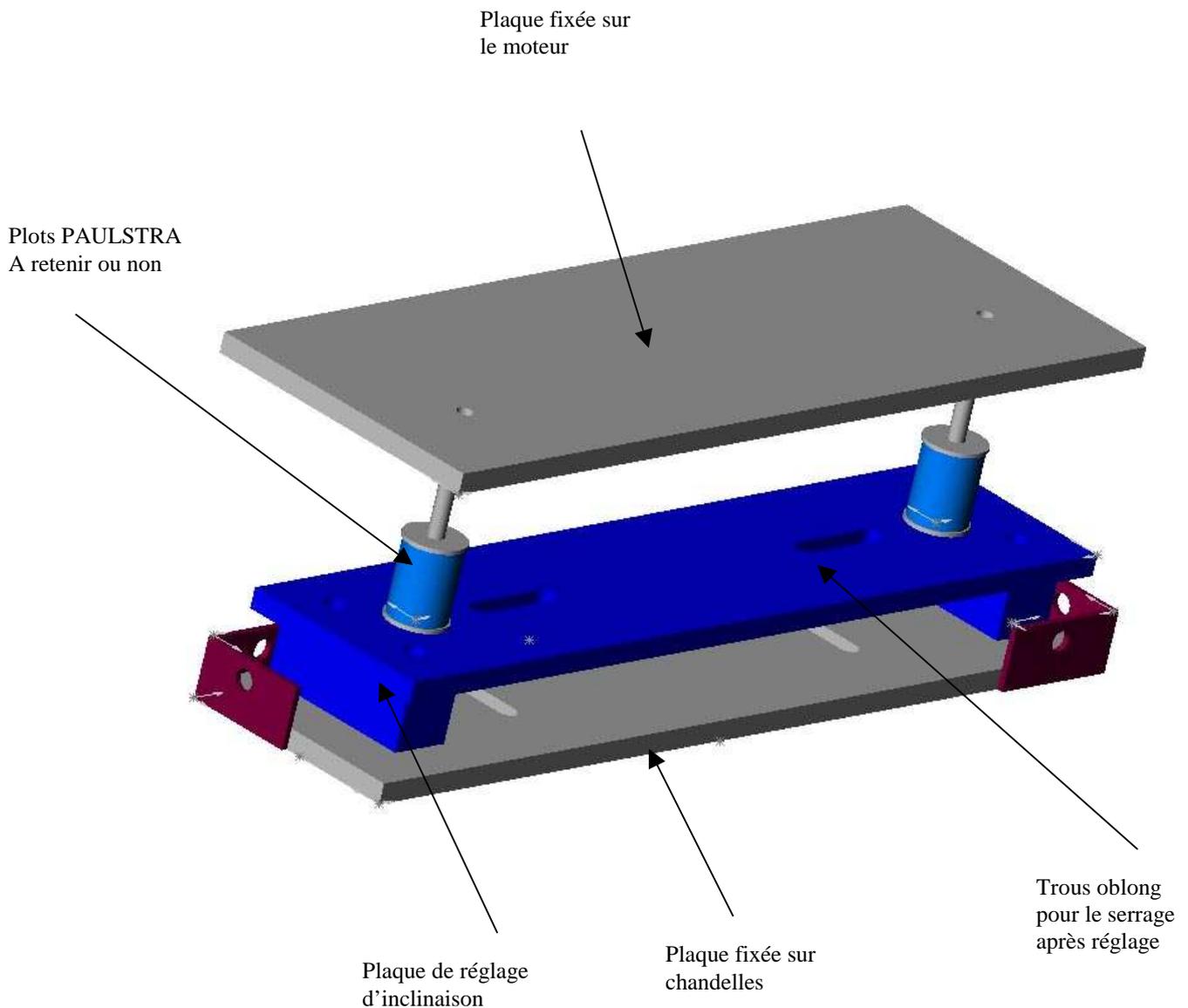
Une remarque importante a été soumise par Général Motors, qui conseil dans le cas d'une transmission par cardan de le faire travailler avec un angle de l'ordre de 3° pour garantir son bon fonctionnement.

Il est donc nécessaire dans tous les cas d'avoir recours à un système de réglage de position du moteur par rapport au frein.

a) Système de réglage d'inclinaison :

Une contrainte a donc été fixée avec un angle de travail dans le plan transversal de 3° et 0° dans le plan horizontal.

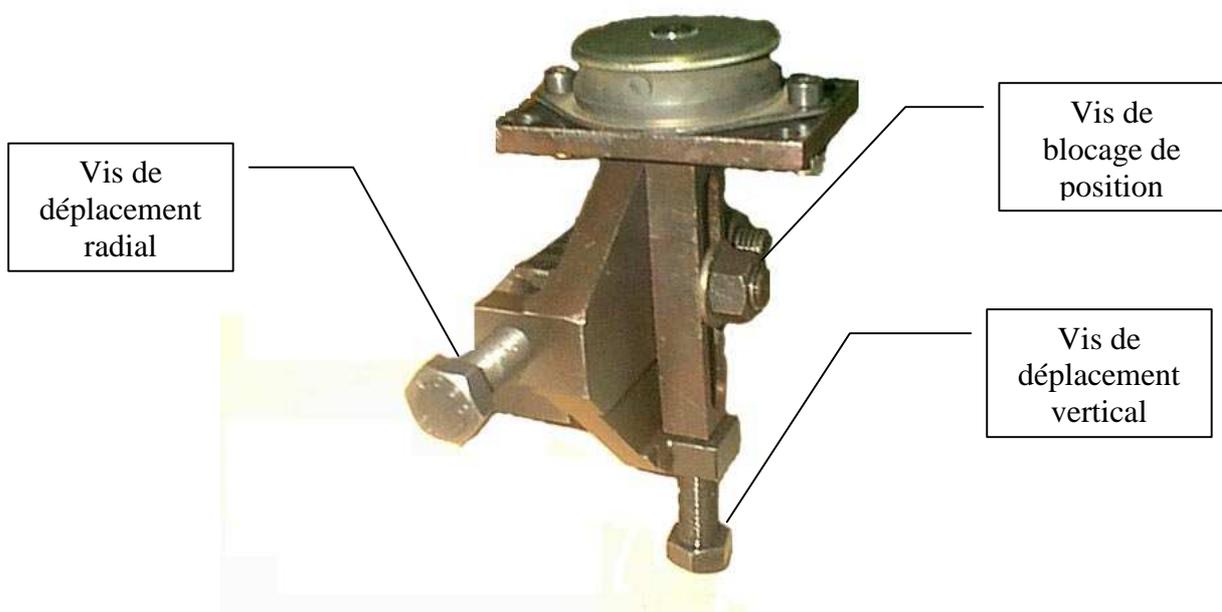
Une première étude m'a conduit au système suivant :



Ce système permet à l'aide de vis de réglages à pas fin de positionner correctement l'axe du moteur par rapport à l'axe du frein.

Les plots PAULSTRA alors déterminés ne convenait pas à cette utilisation, il s'agissait de plots de type Radiaflex 521314-50.

La récupération de systèmes de réglage pré-usinés nous à permis de simplifier cette réalisation.



b) Plots d'amortissement :

En ce qui concerne les plots amortisseurs mon choix s'est porté sur la gamme Beca de PAULSTRA :

Pour effectuer le calcul il faut se baser sur l'entraxe des appuis de fixation du moteur, de son poids et de son régime de ralenti qui engendrera le maximum de vibration :

poids du moteur : 160daN

nombre de support : 4 plots espacés de 330 mm

régime de ralenti : 800 tr/min soit une fréquence d'excitation de 26,6 Hz

on se base sur une atténuation de 90% ce qui nous conduit d'après les abaques de PAULSTRA à une sous-tangente de 4mm pour une charge par plot de 40 daN

On retient donc le modèle BECA Ø 80 Δ 45 (shore) qui procure un amortissement de 92 %.

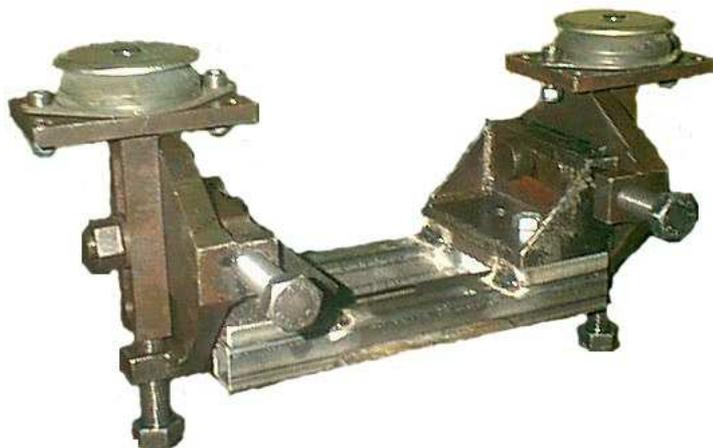
Ref : 533581 ;

Prix : 76.1 FHT unitaire



Remarque : si l'on décide ultérieurement de changer de moteur, une charge de 200 kg ne modifiera pas l'efficacité des suspensions puisque l'amortissement serait alors de 93 %.

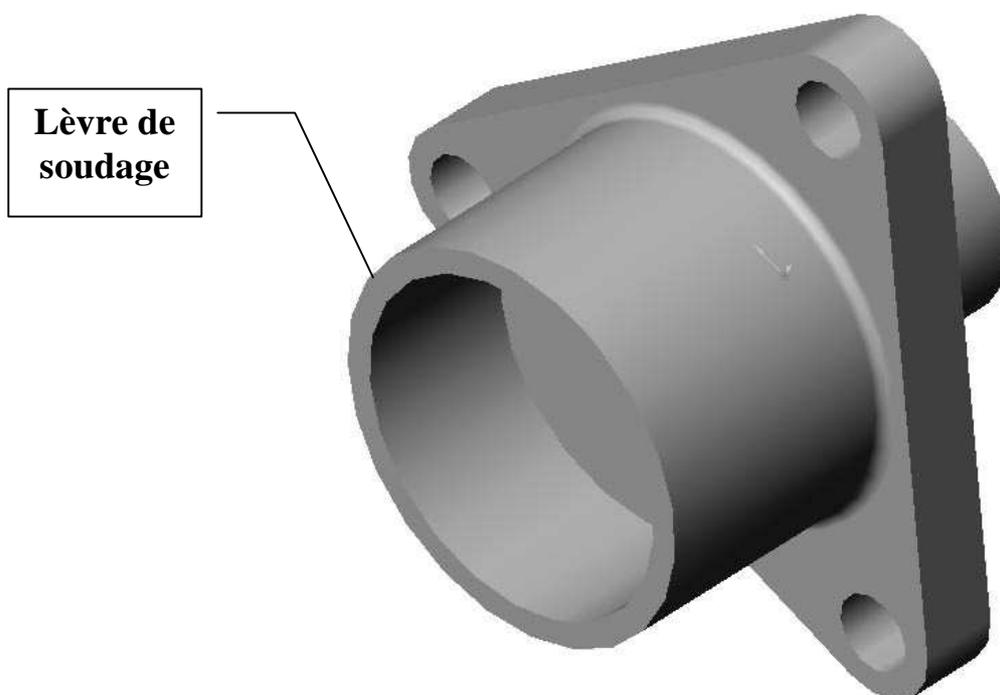
On obtient donc le système complet suivant pour une chandelle :



c) Liaison cardan/flector :

Le tripode de notre cardan ayant subi des dommages au niveau des trous de fixation qui ne sont maintenant plus cylindriques, il est donc nécessaire d'usiner un autre tripode afin que DELMOTTE nous reconditionne ce cardan.

Le schéma détaillé de la pièce se trouve en annexe, elle doit permettre à l'aide d'une lèvre correctement dimensionnée de réaliser le soudage sur notre cardan :



Prix du reconditionnement : \approx 800 FHT

L'ancien Flector ayant subi des dommages il faut donc en racheter un autre chez BMW sous la **référence 26 11 1 209 168** au **prix unitaire de 479.60 FHT.**

2. Micromoteur de commande frein :

La commande de réglage du couple résistant du frein SCHENK s'effectue à l'aide d'un levier commandé électriquement par un Micromoteur choisi par Vincent GORISSE, il s'agit d'un Micromoteur de type 3557 K 012 C dont la documentation se trouve en annexe. Il est muni d'un réducteur interne de rapport 66 :1 qui confère à l'arbre de sortie une vitesse de 72 tr/min.

Il est essentiel de vérifier par le calcul que le couple résistant exercé par l'ensemble des liaisons du levier de commande, ainsi que le train d'engrenage de réduction de celui-ci confère au levier une vitesse de déplacement suffisamment lente pour permettre un positionnement précis sur le vernier :

A l'aide d'un dynamomètre nous avons mesuré l'effort résistant pour le déplacement du levier, il correspond à une force de 4N exercée à l'extrémité de celui-ci soit un couple résistant au niveau de l'axe de rotation de 0.022 Nm.

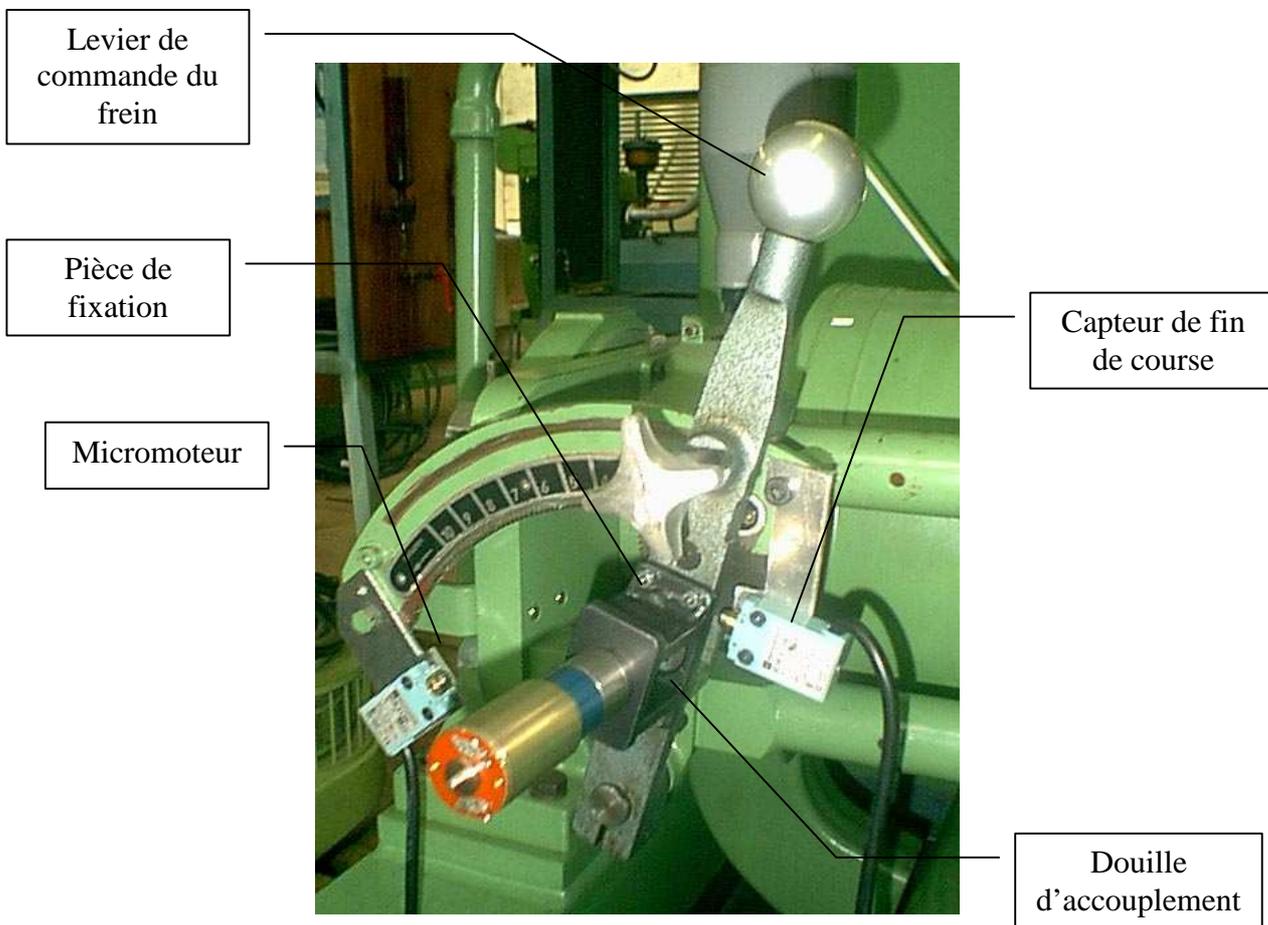
Le couple du moteur à vide est de 2.4 Nm.

Le couple utile sera donc égal au couple du moteur à vide ce qui engendre un déplacement de 0.8 graduation du frein pour une seconde, ce qui reste convenable pour la précision du réglage.

Les essais effectués lors du montage du Micromoteur confirment ces hypothèses.

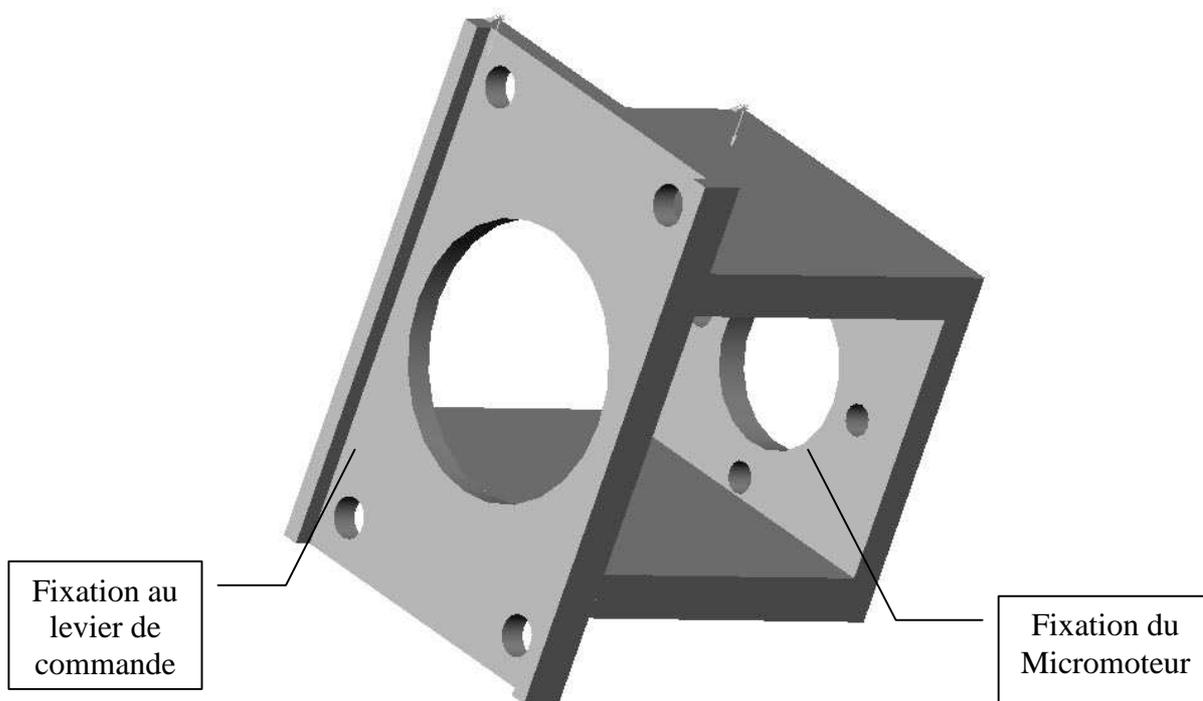
Il a également fallu reconcevoir le système de fixation de ce moteur sur le levier de réglage, pour simplifier la réalisation du support déjà conçu par Vincent GORISSE. On obtient donc le système suivant :

On obtient alors l'ensemble suivant :

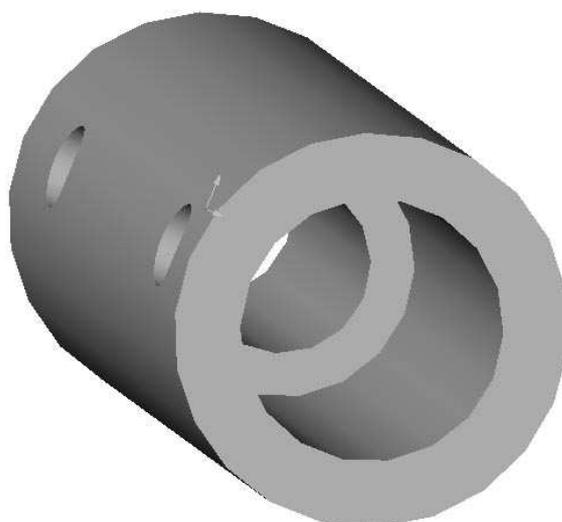


En remarques on peut rajouter que l'adjonction d'un potentiomètre au système d'alimentation du Micromoteur permettra un réglage fin beaucoup plus aisé qu'en agissant par impulsions à cause de l'inertie de l'ensemble ; et que le blocage en position s'effectue grâce à l'effort résistant du Micromoteur.

Modélisation du support Micromoteur :



Il a également fallu rallonger la douille d'accouplement du Micromoteur au frein : (dessin de définition en annexe)

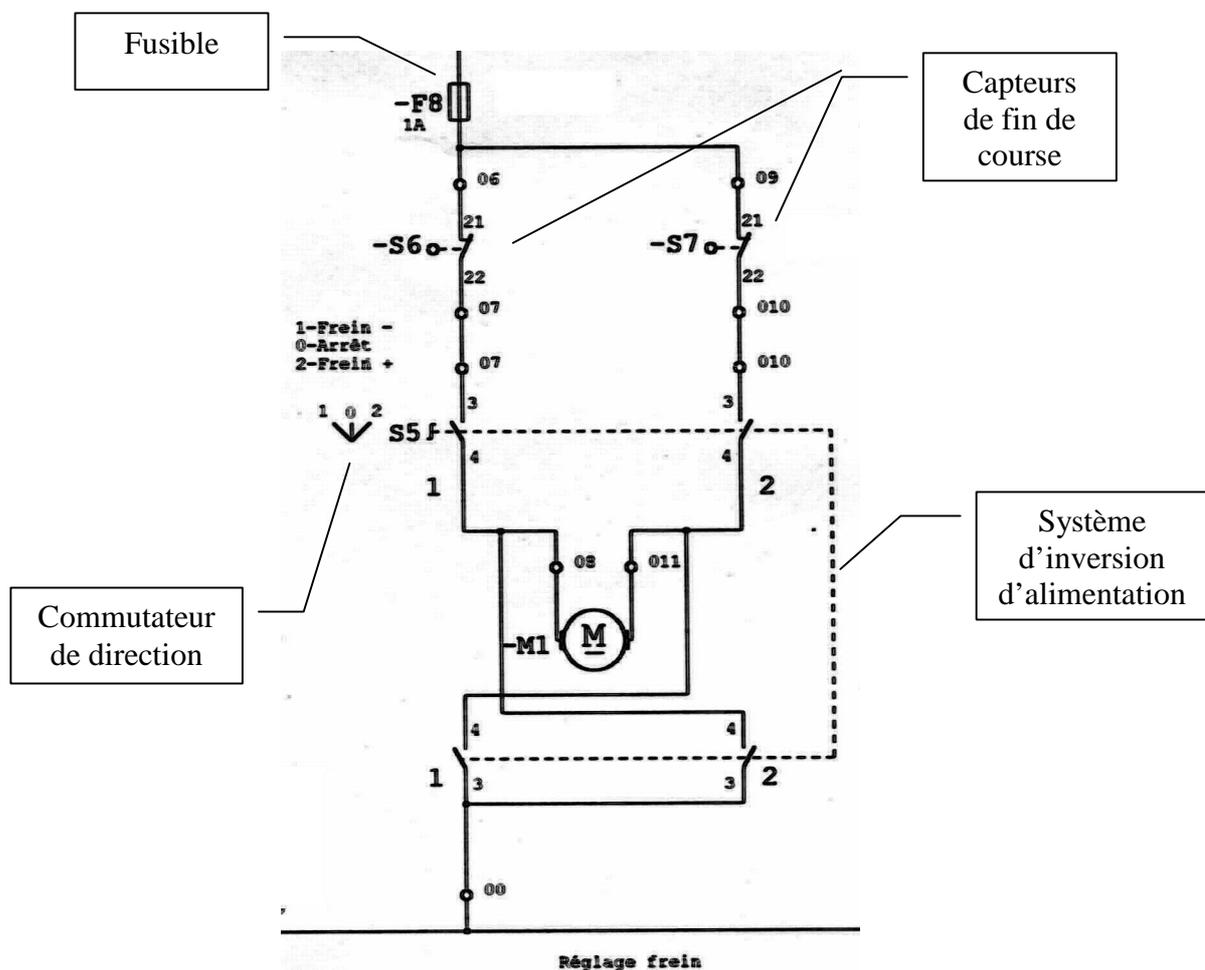


Partie commande du moteur :

Comme précisé auparavant l'adjonction d'un potentiomètre sur le système d'alimentation du moteur est nécessaire pour obtenir une vitesse de déplacement lent pour le réglage fin.

Pendant il faut inclure une sécurité dans le montage pour que les deux commandes séparées de la vitesse rapide et de la vitesse lente ne puissent être actionnées en même temps.

Le schéma de câblage de l'armoire électrique est le suivant : (voir schémas en annexes).



Pour permettre le réglage fin il faut adjoindre un potentiomètre qui nous permettra d'obtenir une variation de 30% à 100% de la vitesse de rotation nominale du moteur. La potentiomètre choisi à une résistance de 50 Ω . commandée chez FARNELL : réf. **CLR4001/11S - 50 Ω** , au prix unitaire de **96.30 FHT**.(voir doc en annexes).

Il faut également pour avoir un commutateur de vitesse lente, acheter un deuxième bouton 2 positions avec rappel au centre (TELEMECANIQUE):

- ensemble bouton + embase : **XB-AJ53** au prix unitaire de **98 FHT**.
 - 2 Blocs de contact : ZBE-203 au prix unitaire de **38.18 FHT**.
- (voir doc en annexes).

Pour permettre la sécurisation du montage afin que les deux sens de rotation soient sélectionnés en même temps, il faut passer par des relais commandé par les commutateurs qui eux-mêmes commanderont l'alimentation du moteur.

Il s'agit de 4 relais miniature TELEMECANIQUE alimentés en 12V continu, possédant 3 sorties ouvertes et une sortie fermée :

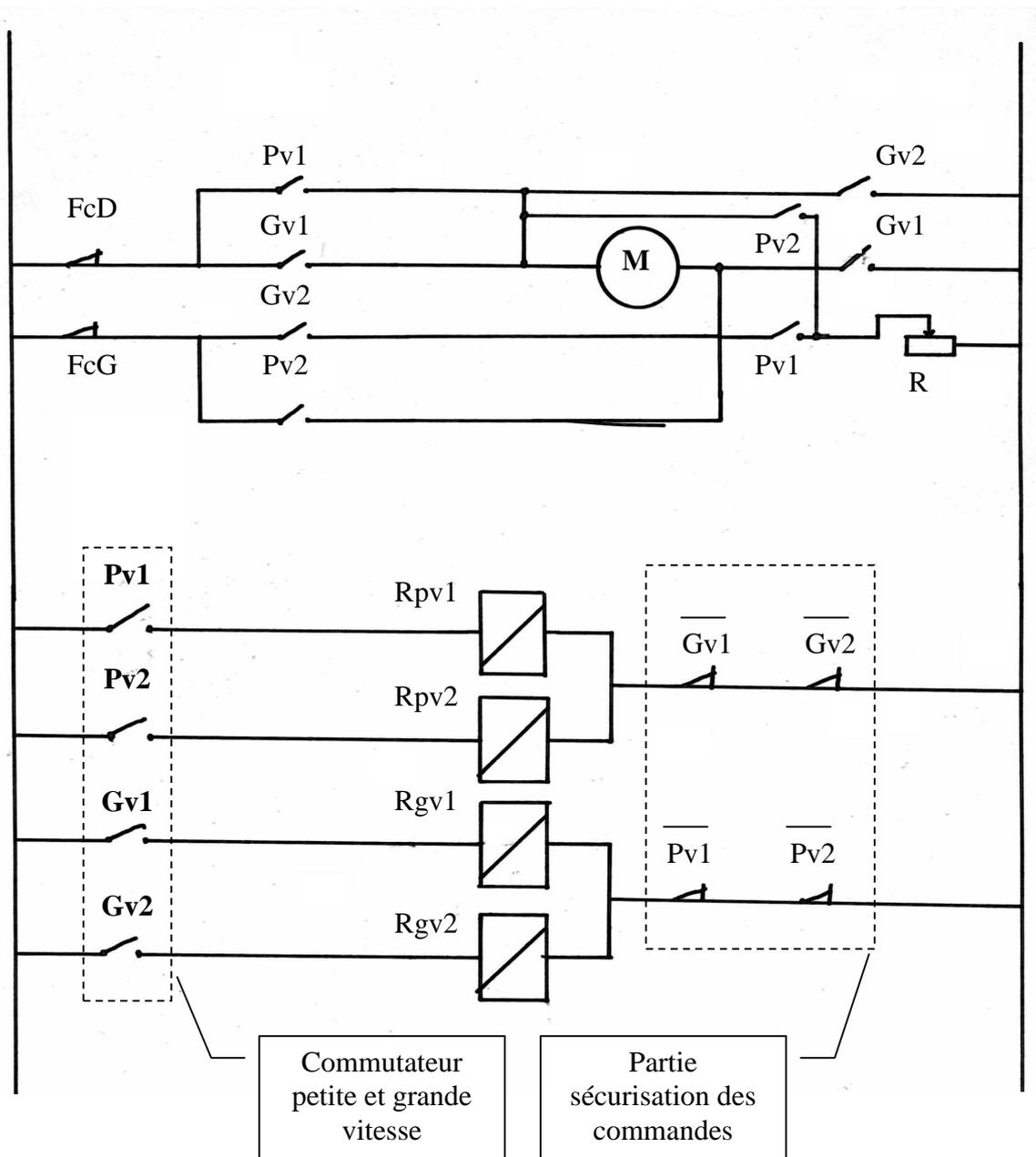
Relais (x4) **Ref : RXN-41G11-JD au prix unitaire de 36.47 FHT**

Embase (x4) **Ref : RXZ-7G au prix unitaire de 29.58 FHT**

Ils se fixeront sur les rails de l'armoire électrique, selon le câblage suivant :

0 V

12 V



Légende :

- Fin de course : FcD fin de course droite FcG fin de course gauche
- Commutateur de commande : **Pv1 et Pv2** petite vitesse
Gv1 et Gv2 grande vitesse
- Potentiomètre : R
- Relais : Rpv1 et Rpv2 relais 1 et 2 de petite vitesse
Rgv1 et Rgv2 relais 1 et 2 de grande vitesse
Pv1 et Pv2 actionneurs des relais petite vitesse
Gv1 et Gv2 actionneurs des relais grande vitesse

3. Mesure du débit d'air frais :

Pour cette mesure il est important de prendre en compte le caractère pulsatoire au niveau de l'admission du moteur, qui impose l'adjonction d'une chambre de tranquillisation afin que le capteur mesure un débit moyen.

La méthode de différence de pression statique et dynamique paraît adaptée à notre usage puisqu'avec Bernouilli on a :

$$P + \rho gz + \rho V^2/2 = \text{cte}$$

Le terme alors mesuré est $\rho V^2/2$, il est donc facile d'en déduire la vitesse moyenne dans la conduite puis le débit en connaissant la section de la conduite.

a) Appareillage de mesure :

Pour déterminer le matériel adapté à cette mesure, il faut tout d'abord définir une plage de débit d'admission. le débit maximum est fonction de la cylindrée du moteur, de son régime de rotation maxi. De plus comme il s'agit d'un moteur 4 temps, le volume d'air aspiré tout les 2 tours est égal à la cylindrée.

$$\text{Donc : } Q_{\text{max}} = 1.905 * 5000 * (1/2) = 286 \text{ m}^3/\text{heure}$$

On se base sur des conduites d'admission d'air de type KITINOX de POUJOLAT de diamètre 125 mm, ce qui équivaut à une vitesse d'air à l'intérieur de celle-ci de 6.5 m/s.

La mesure étant effectuée à l'aide d'un système déprimogène, cela correspond à une différence de pression de 25.14 Pa.

Mon choix s'est donc porté sur un mesureur analogique de différence de pression accouplé à un Pitot fixé sur notre conduite d'admission :

Ref : DP-101SPD2

Prix : 2610 FHT

Fournisseur : BLET

Délai : 4 semaines

Cet appareil est muni d'un afficheur digital, mais dans le cas d'une liaison avec un PC pour regrouper toutes les informations des différents capteurs, il est nécessaire d'y adjoindre une sortie spécifique pour le branchement sur une carte d'acquisition :

Ref : -V010 sortie de 0 à 10 V

Prix : 175 FHT

(documentation fournie en annexe)

En ce qui concerne le **Pitot** si aucun n'est disponible à l'école, ils sont disponibles chez BLET au prix de **500 FHT**.

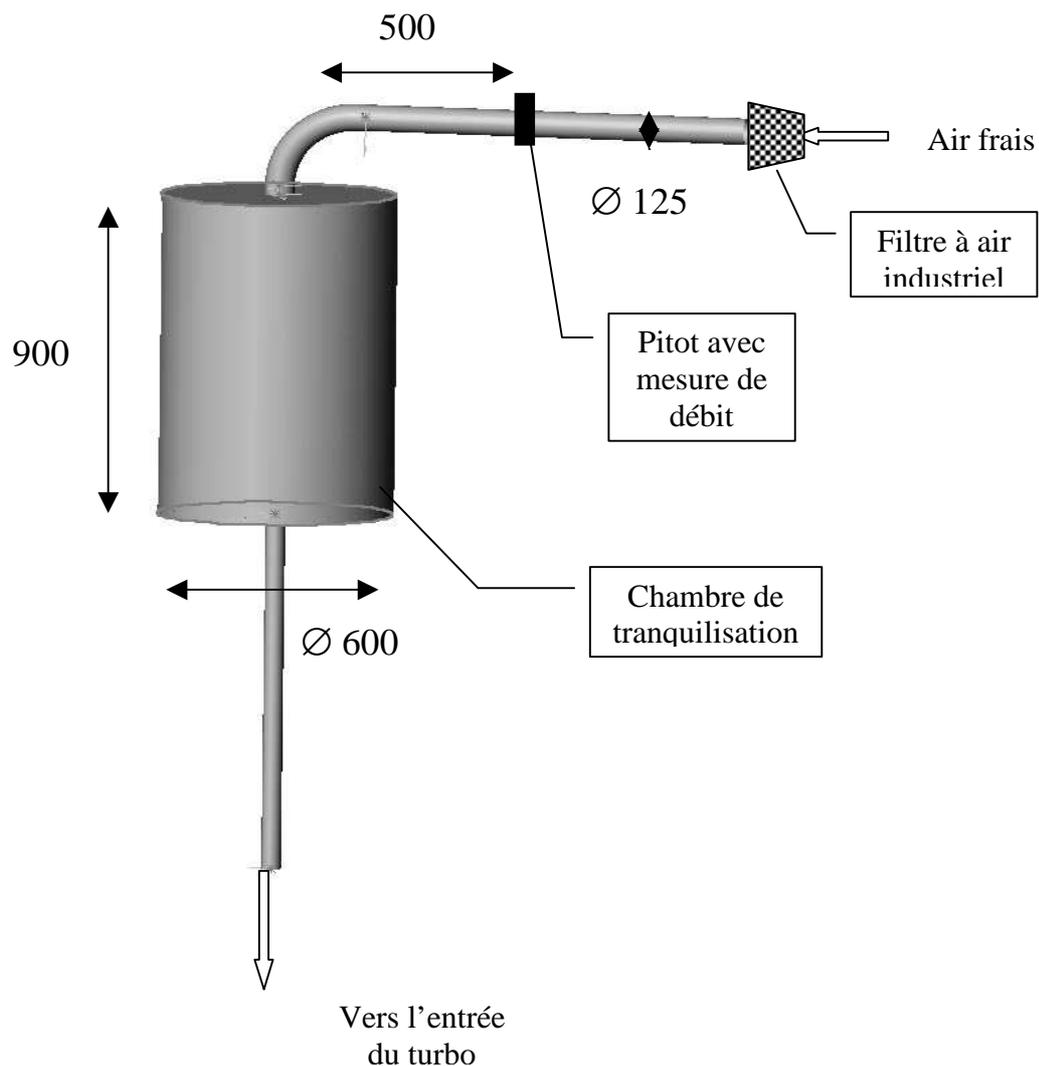
b) Chambre de tranquillisation :

Le tube d'arrivée d'air est un tube inox de type **KITINOX** de diamètre 125 mm, ainsi que de 2 coudes à 45° de type CR Ø 125 (fournisseur : POUJOULAT) dont la documentation se trouve en annexe

La chambre de tranquillisation doit permettre d'amortir le caractère pulsatoire du moteur.

Une valeur caractéristique de volume de tranquillisation est 100 fois celui de la cylindrée du moteur, ce qui nous conduit à concevoir un volume de 190 litres et par sécurité nous nous basons sur un volume de 250 litres soit en prenant un fut en tôle roulée de 0.5 mm d'épaisseur et un diamètre d'enroulement à une hauteur de 0.9 m. (la possibilité d'utiliser un fut d'huile de 200 l est à écarter pour des raisons esthétiques).

On aboutit enfin au système suivant : (plans détaillés en annexe)



Le caisson principal est constitué d'un tôle enroulée sur un diamètre de 600 mm.

Pour la facilité d'adaptation des tubes POUJOLAT il faut prévoir le soudage sur le capot supérieur d'un **raccord sur avaloir carré de diamètre 125 mm dont la référence est RA Ø 125** dans les accessoires de la gamme KITINOX (documentation en annexe).

4. Mesure de la consommation :

Plusieurs solutions semblent envisageables pour cette mesure, cependant pour des contraintes de prix la mesure par pesée n'est pas envisageable (entre 40 et 60 KF).

De même l'utilisation de débitmètres de type BROOKS (environ 1500 F) pose des problèmes d'implantation sur notre système d'alimentation en carburant (notamment l'éprouvette).

Dans notre cas, comme l'éprouvette se rétrécit à chaque extrémité, il nous est impossible de disposer des capteurs électriques ou par flotteurs pour des raisons d'encombrement évidentes.

Il m'apparaît donc judicieux de procéder par une mesure de temps pour consommer un volume déterminé.

Pour cela on disposerait d'une éprouvette dont le volume est connu et l'on chronométrerait le temps écoulé pour consommer ce volume.

Une solution par capteurs optiques reliés à un compteur serait plus précise que l'œil humain et son temps de réaction pour déclencher le chronomètre.

Remarque : il est important pour ne pas fausser la mesure d'éloigner le plus possible le réservoir et le système de mesure du moteur afin que la chaleur dégagée ne modifie pas la masse volumique du gasoil.

- **Détermination de l'éprouvette :**

La mesure de la consommation devant être la plus précise possible il est préférable de faire une mesure sur un temps relativement long soit environ 20 secondes en moyenne par mesures à un régime moyen de 2400 tr/min.

(régime mini : 1500 tr/min , régime maxi : 4000 tr/min)

On sait que le mélange air / gasoil se fait dans une proportion de 1/20.

De plus $\rho_{\text{air}} = 1.205 \text{ kg/m}^3$ à 20°C et $\rho_{\text{gasoil}} = 0.79 \text{ kg/l}$

On en déduit donc le tableau suivant pour les trois régimes caractéristiques :

		N = 1500 tr/min	N = 2750 tr/min	N = 4000 tr/min
Qair admis	[m ³ / h]	85,73	157,16	228,60
	[kg / min]	1,72	3,16	4,59
Q gasoil	[mg / min]	86,08	157,82	229,55
	[ml / min]	108,96	199,77	290,57

on réalise une mesure de 20 sec à 2750 tr/min
soit une mesure de 66,6 ml

On choisira donc une éprouvette de 100 ml

temps de mesure [s]	55,06	30,03	20,65

Calcul d'incertitude :

on se base sur une précision de chronométrage de 0,5 seconde
et une imprécision de lecture de 1 ml

on en déduit son influence sur la consommation :

variation [ml]		0,36	0,67	0,97
variation [s]		0,5	0,5	0,5
% d'erreur		1,27%	2,33%	3,39%

il faut donc prévoir une **éprouvette de 100 ml** non graduée mais avec les indications de début et fin de volume pour l'étalonnage.

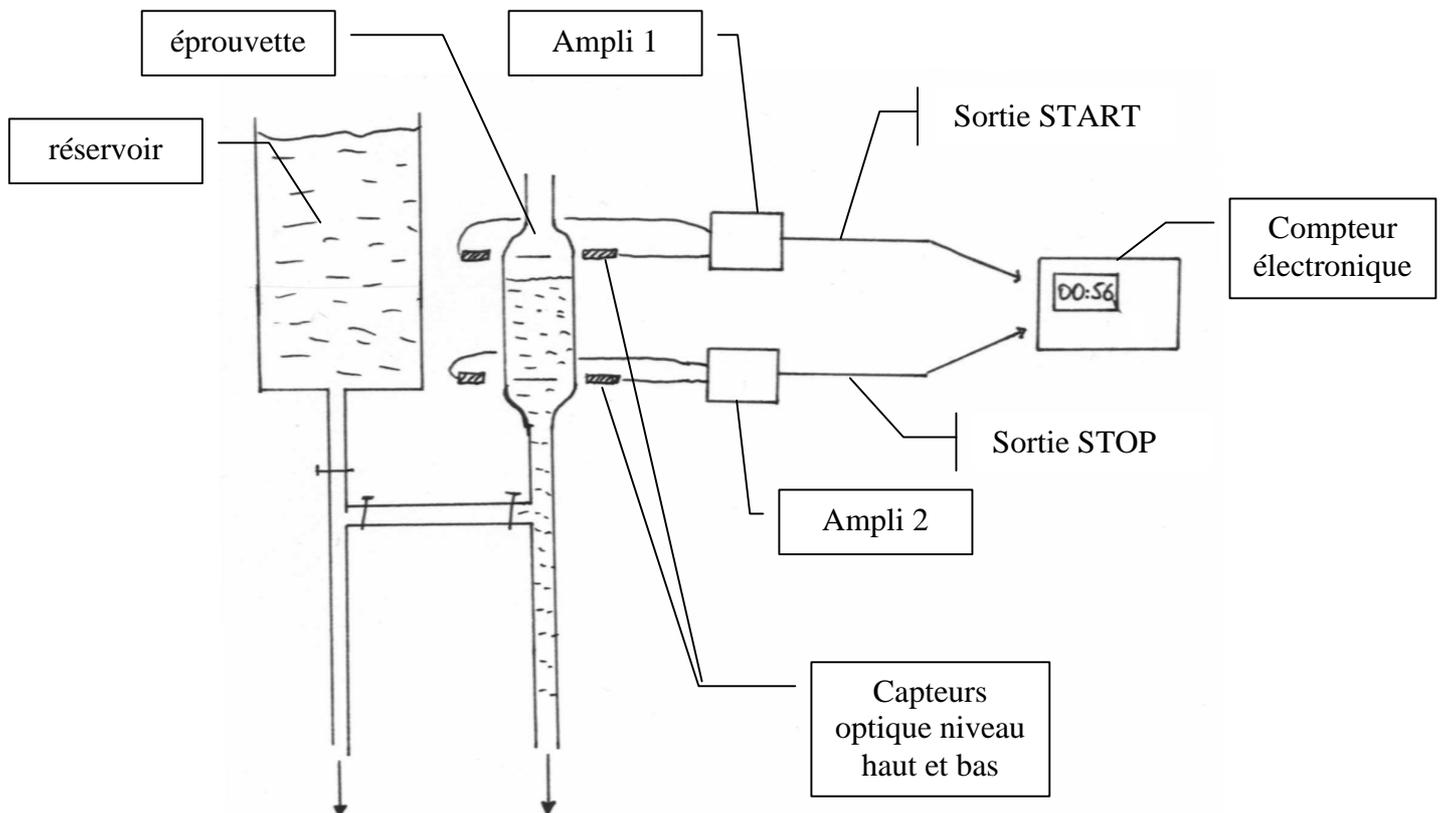
Nous disposons pour cela d'une éprouvette de 500 ml, qui nous permettra d'augmenter si besoin est le volume de mesure pour augmenter la précision de celle-ci.

pour le calcul de la consommation il suffit alors de **chronométrer** entre ces traits délimitant le volume de 100 ml.

- Détermination du système de chronométrage :

Un premier contact avec TELEMECANIQUE nous oriente vers des capteurs à fibre optique alimenté par un ampli avec une sortie statique PN ou PNP.
(voir documentation en annexes)

Après avoir détaillé la demande du système complet de chronométrage (voir fax en annexes), le principe de mesure fonctionnerait comme suit :



Principe de fonctionnement :

Les capteurs optiques fourniront deux seuil de tension suivant qu'il y ait présence de carburant ou non. Après étalonnage des sorties programmables des ampli d'alimentation des capteurs, l'ampli 1 enverra le signal START pour le chronomètre dès que le gasoil ne sera plus détecté, puis l'ampli 2 enverra le signal STOP au chronomètre dès que le gasoil ne sera plus détecté. Le chronomètre est muni d'un RESET pour pouvoir recommencer une nouvelle mesure.

OFFRE TELEMECANIQUE COMPLETE

Si TELEMECANIQUE ne peut fournir que la partie capteur optique et ampli, on pourra toujours se procurer un compteur BE 134 de chez IVO, et placer un petit montage électronique comparateur entre les amplis et le compteur.

Compteur horaire BE 134 (220 V alternatif) à entrée programmable, fonction START, STOP et RESET, permet d'afficher le 1/100 ème de seconde. Entrées par signaux incrémentaux, **prix : 950 FHT – 20% de remise.** (voir doc en annexes).

5. Mesure des échanges thermique sur l'eau et l'huile :

Cette partie a déjà été traitée par Vincent GORISSE pour son PFE, on utilise des intégrateurs d'énergie de type PALLAS qui nous fournit les diverses températures d'eau et d'huile .

Le tout est ensuite relié à un PC pour le traitement des informations.

On obtient ainsi les données suivantes :

- températures entrées et sorties des 2 fluides
- l'écart de température
- le débit
- la puissance échangée

6. Mesure de la température des gaz brûlés, et de l'huile :

Les capteurs pour ces mesures sont déjà mis en place, il s'agit de sonde PT100 chemisées JUMO.

Des afficheurs de type boîtier 48x24, LED de hauteur 10 mm pourront être utilisés dans le cas où l'on opterait pas pour la solution d'une carte d'acquisition.

7. Liaison de tous les capteurs et énergimètre à un PC :

Dans le cas d'une liaison de tous les capteurs à une carte d'acquisition, celle-ci devra comporter 6 entrées analogiques 0-10 V pour :

- pression d'huile
- température d'huile
- température d'eau
- température d'air d'admission
- débit d'admission
- temps détecter pour écouler les 400 ml de gasoil

la carte qui me parais la plus adaptée est distribuée par Eurosmart sous la référence :

- carte : **PC MES3** (8 entrées analogiques 0/10 V)
prix : **2900 FHT tarif enseignement**
- boîtier de connexion : **MESEXT/BS**
prix : **1570 FHT tarif enseignement**

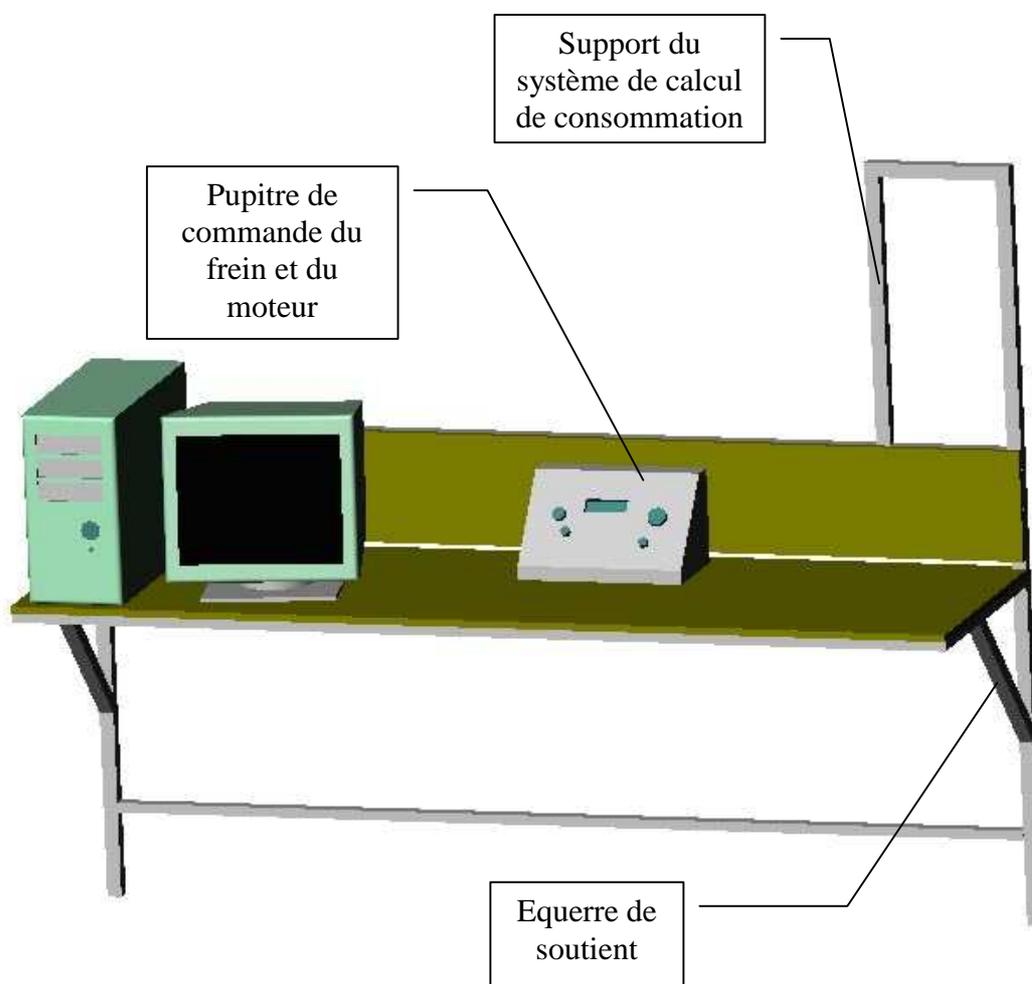
documentation en annexe.

8. Pupitre de commande :

Une légère modification a été apporté au pupitre dessiné par Vincent GORISSE, pour permettre d'avoir le plus d'espace libre sur le sol du couloir.

Au lieu de reposer sur 4 pieds, le pupitre reposera sur 2 pieds et sera fixé sur le mur de l'enceinte (l'encombrement reste le même que sur la cotation de Vincent GORISSE).

On obtient l'ensemble suivant :



9. Sécurité électrique pour le démarrage et tableau électrique :

Le tableau électrique étant en cours de préparation je n'ai pas pu l'étudier, mais il devra comporter une alimentation 24 V CC pour le capteur de débit d'air d'admission, ainsi qu'une alimentation secteur classique 220 V pour l'ordinateur.

En ce qui concerne le démarrage du moteur il est important d'ajouter un manomètre de pression à contact pour autoriser ou non le démarrage du moteur suivant la pression d'huile (au delà de 3.5 bar) qui agira sur l'électrovanne d'alimentation en carburant.

Une sécurité sur le démarreur devra être placée pour éviter tout usage intempestif durant le fonctionnement du moteur.

On pourrait également rajouter un capteur de fermeture de l'enceinte pour autoriser le démarrage.

III. Conclusion

En conclusion je pourrais dire que cette étude m'a montré tous les imprévus que l'on peut rencontrer lors d'un tel projet aussi bien au niveau technique (accouplement du frein au moteur) qu'au niveau des délais fournisseurs qui ne sont pas toujours respectés ainsi que des petites erreurs de livraison (plots PAULSTRA fournis sans tige fileté).

De plus la prise en charge du problème de transmission et de suspension du moteur (étude des différents cas possibles) m'a demandé plus de temps que prévu, ce qui m'a empêché d'aboutir à la réalisation totale de ce projet.

Il est également intéressant de voir comment l'on procède sur un véhicule pour intégrer toutes les mesures relatives au bon fonctionnement du moteur, alors que sur un banc d'essai cela demande beaucoup d'organes annexes assez volumineux (je pense en particulier à la chambre de tranquillisation).

IV. Liste des contacts

- **Général Motors** : M. GRAMP
03.88.55.81.16
- **DELMOTTE** : 03.88.39.31.11 (reconditionnement du cardan)
- **BMW Building garage** : 03.88.75.37.53 (flector)
- **DIMACO** : M. WESSEL (accouplement élastique)
03.88.78.50.58
- **Prud'Homme** : M. LENGRAND poste 46 22 (accouplement élastique + plots)
01.48.11.46.00
- **CIMAL** : 03.88.33.06.13 (mano de pression à contact électrique)
- **PAULSTRA** : M. GAIME (plots élastiques)
01.40.89.53.94
- **Eurosmart** : 01.64.76.34.34 (carte d'acquisition)
- **IVO** : 03.88.55.29.00 (compteur électronique)
- **TELEMECANIQUE (schneider électronique)** : M. CLARA (relais et capteurs optiques pour mesure conso) tel : 03.88.55.32.00
Fax : 03.88.55.32.01

V. Sommaire des annexes

- Analyse fonctionnelle A 1
- Rapport de visite chez GM A 2
- Offre Prud'homme A 3
- Tableau comparatif de l'accouplement A 4
- Plans système de réglage initial A 5
- Doc plots PAULSTRA A 6
- Plans du tripode A 7
- Plans du support Micromoteur A 8
- Doc mesure de débit A 9
- Plans chambre de tranquillisation A 10
- Doc POUJOULAT A 11
- Doc Eurosmart A 12
- Câblage Micromoteur A 13
- Système mesure de consommation A 14