



école polytechnique de thiès

GM.0450

PROJET DE FIN D'ETUDES

TITRE: ETUDE D'UN ECONOMETRE

TRAVAIL THEORIQUE - SCHEMAS PRATIQUES

Auteur BIRANE DEME

Génie MECANIQUE

Date JUIN 78

ETUDE D'UN ECONOMETRE

TRAVAIL THEORIQUE - SCHEMAS PRATIQUES



école polytechnique
de thiers

Toute ma gratitude à mon Directeur
de Projet Mr ROGER MARTIN pour
son aide et sa disponibilité et mes
sincères remerciements à Messieurs
FRANÇOIS HOUMAIRE, NGUYEN VINH,
JEAN P. SIMON, PATRICE GAUDREULT

SOMMAIRE

d'écoumètre a pour fonction de mesurer la consommation instantanée en carburant (l/100km)

La solution suivante a été retenue:

- a) - Un débitmètre électrique inséré entre la pompe à essence et le carburateur fournit à tout instant une tension proportionnelle au débit (l/heure)
- b) - Un Capteur de vitesse (tachymètre) fournit une tension proportionnelle à la vitesse (km/h)
- c) - Et enfin un diviseur effectuant le rapport des 2 tensions précédentes fournit la consommation instantanée en l/km et par un facteur d'échelle approprié l'information ultime pourra être reçue en l/100km.

Le Capteur n'a pas été l'objet d'une étude car on peut le simuler (et tachymètre disponible). Les 2 autres éléments constituent par contre l'ossature de ce projet. Aucune modification ne sera apportée au système de carburation bien qu'il soit possible d'envisager le projet en adoptant une pompe électrique à la place de la pompe mécanique classique.

TABLE DES MATIERES

	Pages
INTRODUCTION	1
DEBITMETRE ELECTRIQUE	4
CONSTRUCTION DU DEBITMETRE	5
ETALONNAGE DU DEBITMETRE	8
MONTAGE D'UN ELEMENT NON LINEAIRE	15
CALCUL DE L'ELEMENT NON LINEAIRE	22
DIVISEUR	26
CIRCUITS LOG	27
CIRCUITS LOG - SOUSTRACTEUR	32
CIRCUIT ANTI-LOG	39
CONCLUSION	47
BIBLIOGRAPHIE	49
APPENDICE	50

INTRODUCTION

Au moment où les recherches sont orientées vers les nouvelles sources d'énergie (nucléaire, solaire) pour parer à l'épuisement du pétrole, il serait heureux qu'on songe à son utilisation rationnelle.

Le rendement global déjà relativement faible des moteurs [essence 25 à 30% - Diesel 36 à 40%] mesure à un premier niveau la mauvaise utilisation d'une énergie devenue trop précieuse (mais de ce côté les limites sont atteintes).

Toute méthode permettant d'économiser le carburant et contribuant tant soit peu au recul de l'échéance du sursis accordé par les prospecteurs devrait être favorablement accueillie car l'épuisement des réserves de pétrole signifiera sans doute la fin d'une civilisation.

Nous nous proposons dans cette étude de

2

mettre au point un économètre dont le but est de fournir la consommation instantanée en carburant d'une automobile (l/100km). Comme son nom l'indique cet appareil pourrait aider un conducteur à rouler en "Marche économique" en adoptant un mode de conduite grâce à l'information reçue.

Cet appareil serait surtout utile pour les longs trajets sur des voies dégagées (autoroutes) où les conducteurs seraient mieux disposés à consulter leur économètre (économie substantielle).

Un tel système sera par contre inefficace en zone urbaine à cause de la congestion des axes routiers.

DEBITMETRE ELECTRIQUE

Cette partie traite du choix, de la construction et de l'étalonnage du débitmètre.

La tension électrique a été choisie comme paramètre support du débit.

Le choix du débitmètre a été relativement délicat car il importait d'avoir une tension convenable, pouvant être facilement amplifiée.

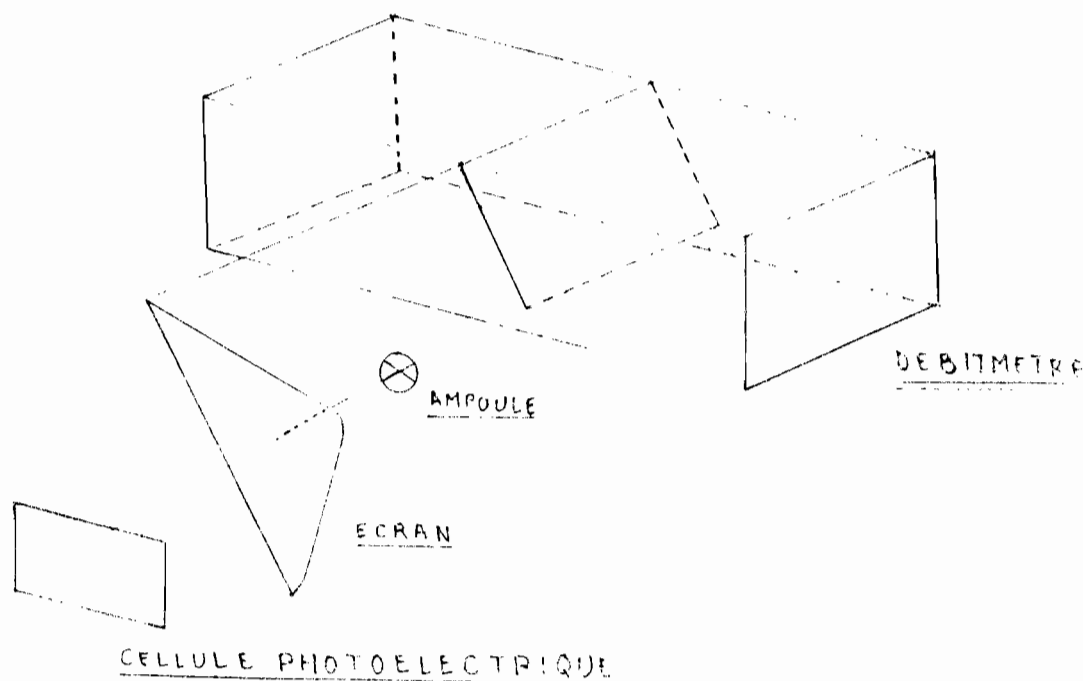
Le principe de fonctionnement du débitmètre est le suivant :

Une cellule photoélectrique excitée par une source lumineuse fournit une certaine tension pouvant être variée en interceptant une partie du flux lumineux au moyen d'un écran solide d'un axe dont la rotation est liée à la position d'un clapet mû par le car-

- durant dont le débit varie avec les régimes de vitesses.

Quelques modifications mineures ont été apportées à l'appareil pour contourner des difficultés de construction, mais nous tenons à le présenter tel que conçu au départ, ce qui nous permettra de présenter les considérations qui ont prévalu pour faire ces petits changements.

SCHEMA de PRINCIPE



CONSTRUCTION DU DEBITMETRE.

Le plexiglas a été retenu pour la construction du corps du débitmètre

Il est relativement facile à travailler et permet d'adopter un montage démontable au besoin et offrant une étanchéité satisfaisante.

La transparence permet une observation directe pendant les essais et, sans cette propriété il n'eût été possible de prendre le cliché illustrant la "poche" au dessus du clapet.

Pour ce qui est de la fixation, les différentes parois sont assemblées avec de la colle et 6 vis.

2 tuyaux d'entrée et de sortie en cuivre, filetés à un bout, sont vissés sur le débitmètre.

Le clapet est en aluminium (3 cm x 1 cm)

Pour le clapet, le poids est le paramètre

le plus important:

s'il est léger il sera collé à la paroi supérieure dès que l'écoulement est amorcé et ce quel que soit le débit;

Par contre, s'il a une grande inertie le domaine de variation de θ est restreint et les déplacements de l'écran très limités.

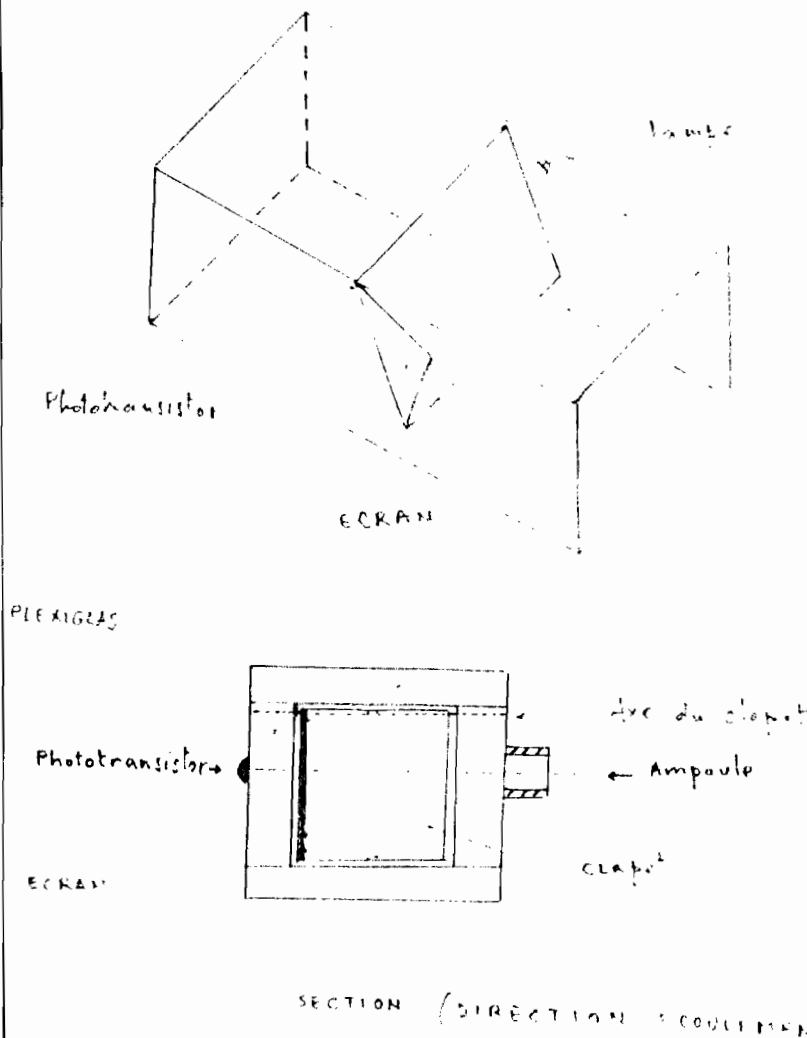
Le débitmètre étant démontable, le clapet est accessible et on peut ajuster son poids en y coulant de l'étain par exemple.

Un cylindre creux, en laiton, pouvant recevoir une ampoule électrique est collé à une paroi latérale. Le phototransistor est fixé sur l'autre paroi en face de l'ampoule.

Au début tel que montré sur le schéma de principe, l'écran devrait être indépendant du clapet mais cela aurait nécessité un axe sortant du débitmètre et l'éclairage du phototransistor (représenté sur le schéma de principe par la

cellule photo électrique) aurait été faible du fait de l'éloignement de la source lumineuse. Ce problème disparaît lorsque l'écran est soudé au clapet et le phototransistor fixé sur l'une des faces du débitmètre.

(θ , angle de rotation de l'axe)

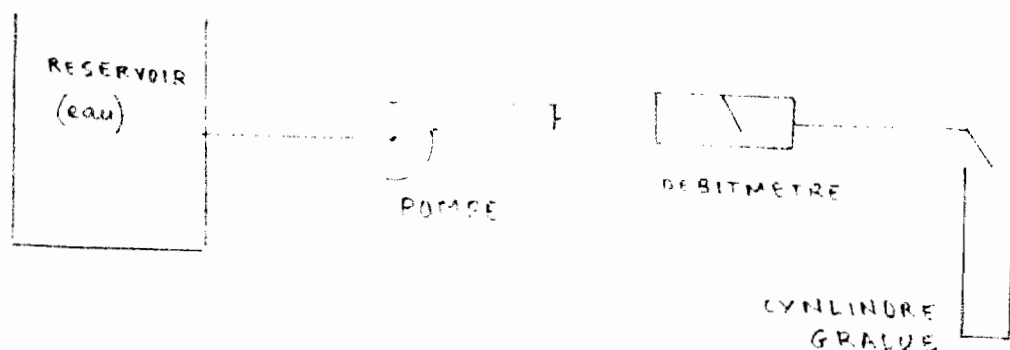


ETALONNAGE DU DEBITMETRE

L'étalonnage du débitmètre a été réalisé au banc hydraulique.

MATERIEL

- 1 Alimentation (20V), 1 voltmètre.
- 1 pompe
- 1 Chronomètre, 1 cylindre gradué et divers éléments (résistance, condensateur)



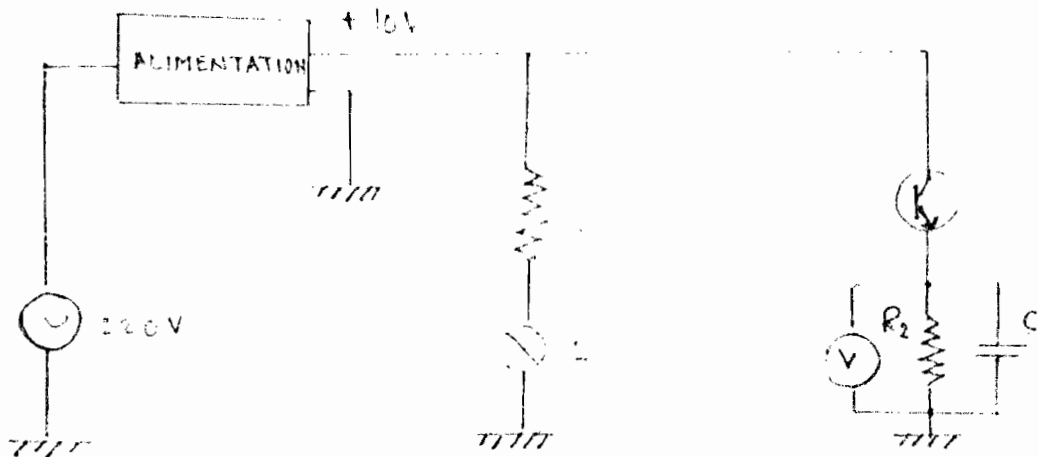
Plusieurs séances d'étalonnage ont été nécessaires pour parvenir à des résultats acceptables avec un système relativement stable.

Il a fallu d'abord modifier l'écran, alourdir le clapet et changer la position

du débitmètre.

Cette dernière modification presque radicale s'imposait car la présence de bulles d'air (débitmètre horizontal) rendait irrégulier le débit et par conséquent la tension, alors que ce défaut disparaît lorsque le débitmètre est vertical et on obtient un écoulement continu.

SCHEMA ELECTRIQUE



C : condensateur de $100 \mu\text{F}$ (permet une lecture correcte : pas d'oscillations rapides de l'aiguille du voltmètre)

R : Résistance de protection de l'Ampoule
 $53,3 \Omega$ (3×160 en parallèle)

La tension mesurée par le voltmètre à l'émetteur du phototransistor est très sensible aux variations de la tension d'alimentation. Par exemple lorsque la tension d'alimentation varie de 12 à 12,5 V la tension à l'émetteur varie de 0,81 V à 0,165 V ce qui est considérable.

Sur une voiture ce défaut pourrait être éliminé en adoptant une tension d'alimentation stabilisée à 10 V au moyen d'une diode Zener (en partant des 12 V de la batterie). C'est pourquoi cette tension a été retenue pour les essais.

Le phototransistor est très sensible à la lumière du jour qui modifie largement les résultats. C'est l'inconvénient du Plexiglas car ce problème serait inexistant avec un matériau opaque. Tout au long de l'expérience il a fallu donc utiliser un voile.

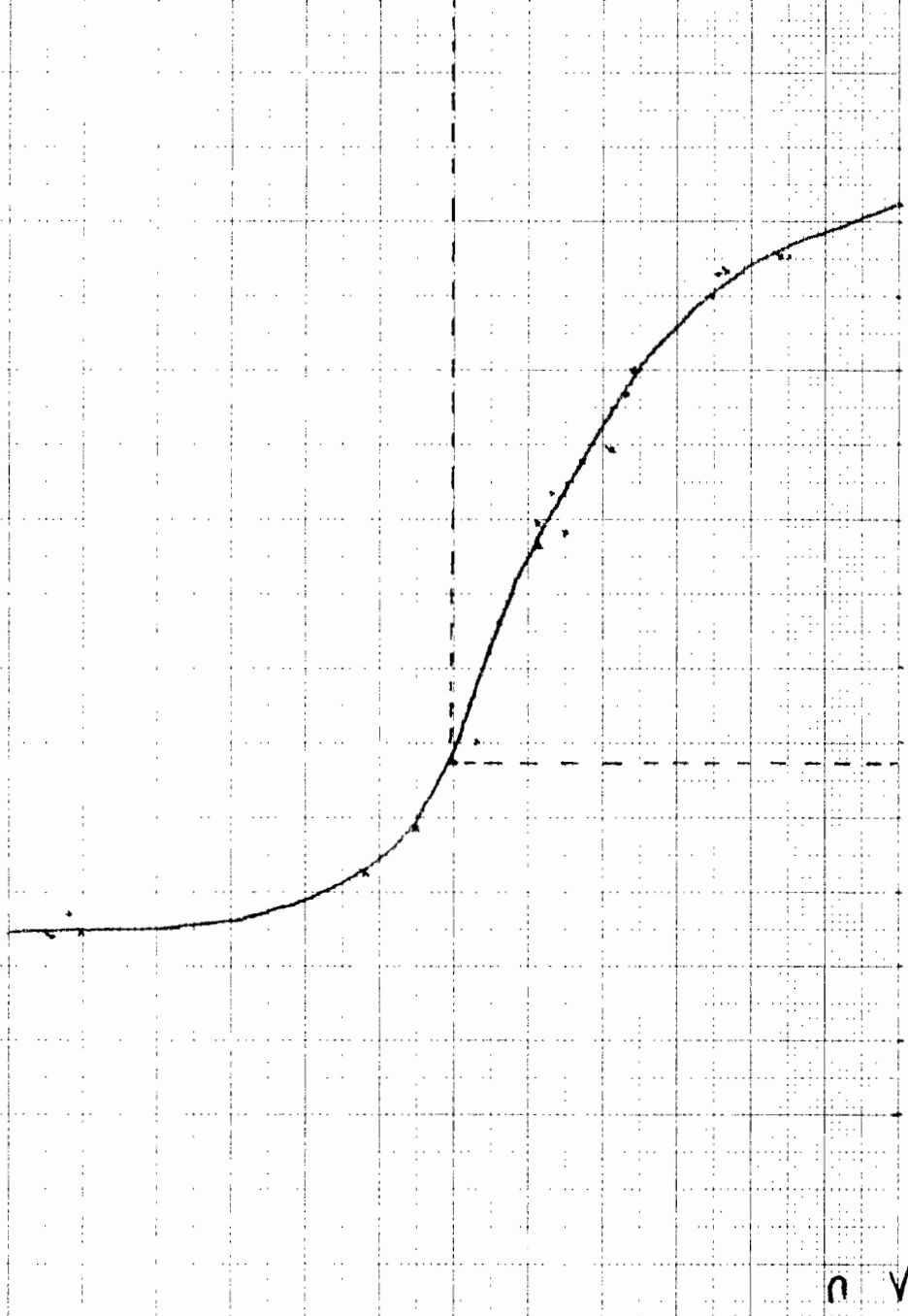
TABLEAU DES MESURES

debit ml/mn	debit l/heure	V (mV)
0	0	50 à 63
53	3, 18	65
77	4, 62	74
79	4, 74	74
80	4, 80	76
82	4, 92	80
82	4, 92	78
85	5, 10	80
120	7, 20	100
123	7, 38	107
130	7, 80	121
142	8, 52	125
150	9, 00	144
155	9, 30	132
162	9, 72	141
162	9, 72	147
180	10, 80	168
190	11, 40	200
200	12, 00	205
217	13, 02	223
230	13, 80	234
240	14, 40	235
368	22, 08	251
372	22, 32	246
380	22, 80	252

Debit Q/h
 \leftarrow
 \circ

12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
240
260
280
300



$u = f(Q)$

pour qu'on ait $(Q = 0 \Rightarrow u = 0)$

D'autre part la courbe sera décalée (vers la base)

Pour la zone utile nous limiterons à $Q = 12 h$

$$u = f(Q)$$

La courbe $U = f(Q)$ (c'est-à-dire la tension à l'émetteur du phototransistor en fonction du débit) n'est pas linéaire.

On sait par contre que le tachymètre fournira une tension $U' = kv$ proportionnelle à la vitesse

$k = \text{constante}$

$v = \text{vitesse (km/h)}$

Supposons qu'au temps t on ait un débit Q (l/h) et une vitesse v (km/h)

Le débitmètre électrique fournit une tension

$U_1 = f(Q)$ et le tachymètre fournit une

tension $U_2 = kv$

La tension à la sortie du diviseur est

$$\alpha = \frac{U_1}{U_2} = \frac{f(Q)}{kv}$$

L'information désirée est :

$$C = \frac{Q}{v} = \frac{Q}{f(Q) / k\alpha}$$

$$C = \frac{Q}{f(Q)} (k\alpha) = \left[k \frac{Q}{f(Q)} \right] \alpha$$

α est le quotient fourni par le diviseur
 k étant une constante, si $\frac{Q}{f(Q)}$ est constant
 on a $C = k'' \alpha$

Donc C peut être identifié à α à
 un facteur près.

En d'autres termes cela signifie qu'on
 pourra utiliser le voltmètre à la sortie
 du diviseur, comme compleur.

Finalement le problème qui se pose est
 la linéarisation de la courbe

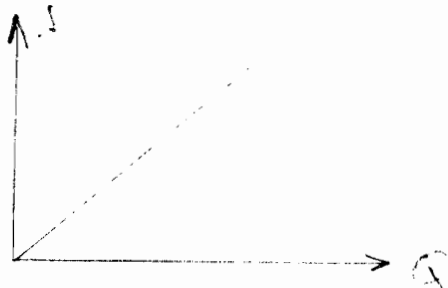
$$\text{en effet } \frac{Q}{f(Q)} = C^{\text{te}} \iff f(Q) = k'Q$$

de la courbe $v = f(Q)$ à l'allure
 suivante

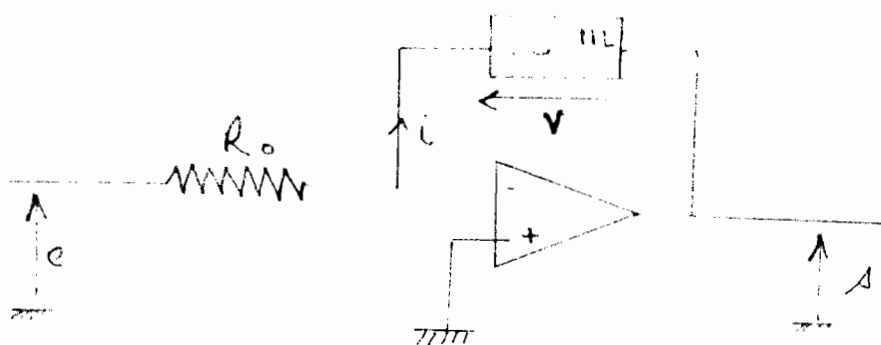
Q

(translation de la courbe)

Nous voulons voir une tension s telle que
 $s = k' Q$



MONTAGE d'UN ELEMENT NON LINEAIRE

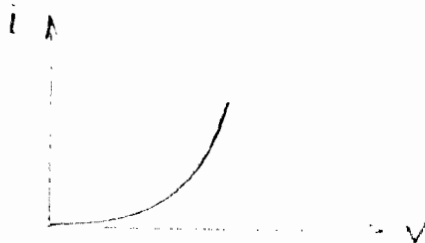


(s amplificateur operationnel et un element non lineaire que nous ne precisons pas pour le moment)

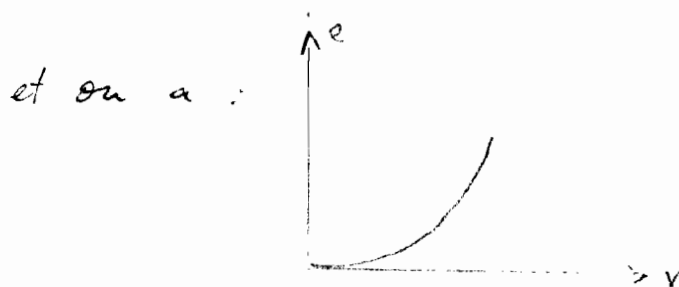
$$e = R_0 i$$

$$s = -v = -f(i) = -f\left(\frac{e}{R_0}\right)$$

Supposons qu'on ait un element non lineaire tel que: $i = f'(v)$ ait la même allure que $v = f(Q)$



Si $R_0 = 1 \text{ k}\Omega$ $e \equiv i$ (car $e = R_0 i$)



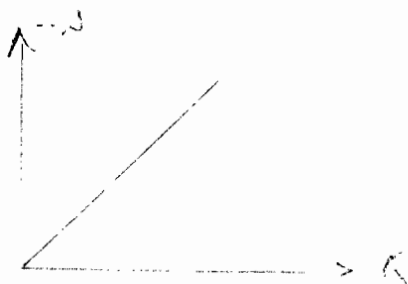
Mais on sait que $v = -s$

Donc on a également :



$-s = f(i)$ et $Q = f(i)$ semblables

\Rightarrow



Le problème est donc d'avoir un élément non linéaire tel que: $i = f(v)$, soit identique à $v = f(i)$

La superposition d'éléments de courbes $I_D = f(V_D)$ de diodes alimentées sous des tensions judicieusement choisies permet de synthétiser n'importe quelle courbe mathématique.

L'approximation de la courbe se fera par des segments. La courbe obtenue est d'autant plus proche de la courbe de référence que le nombre de points de cassure est élevé.

Diodes disponibles :

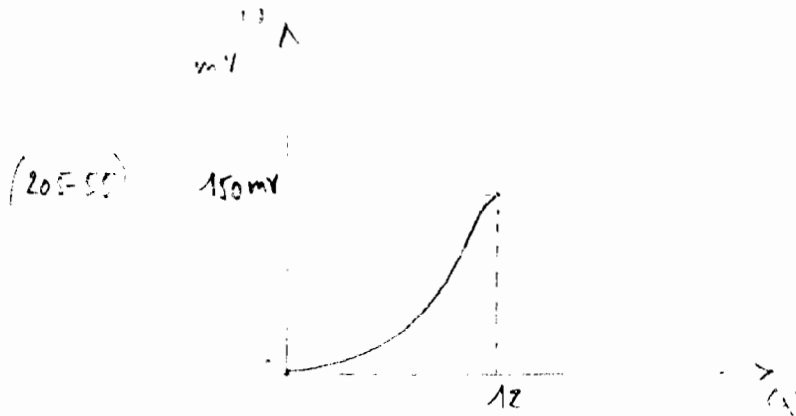
Diodes normales (0,6V) (silicium)

Diodes Zener : 3,6V 5,1V 6,2V

La zone utile étant limitée à (10%, 205mV)

Nous effectuerons également une translation de la courbe pour avoir une tension nulle lorsque $Q = 0$ %.

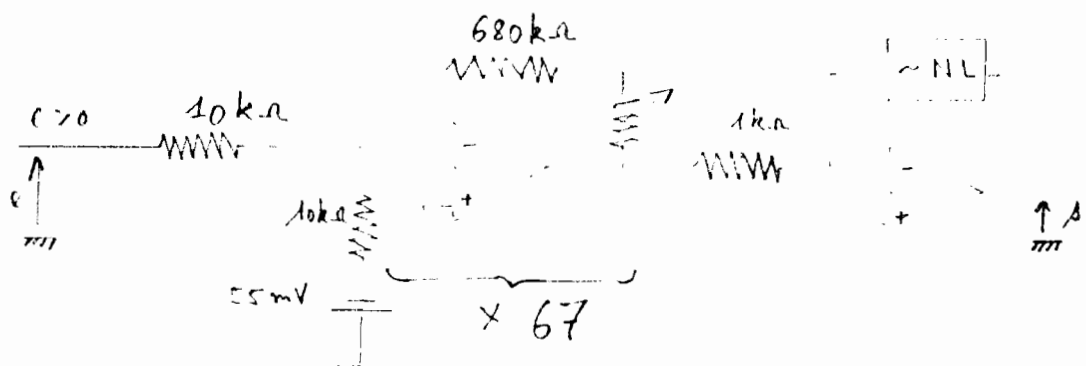
On obtient la courbe suivante :



Les tensions variant de 0 à 0,15 Volt, sont faibles, surtout pour les diodes Zener. Il faut donc amplifier après avoir décalé la courbe.

On desire voir $V_{max} = 10V$

$$\Rightarrow \text{Gain} = \frac{10}{0,15} = 67$$



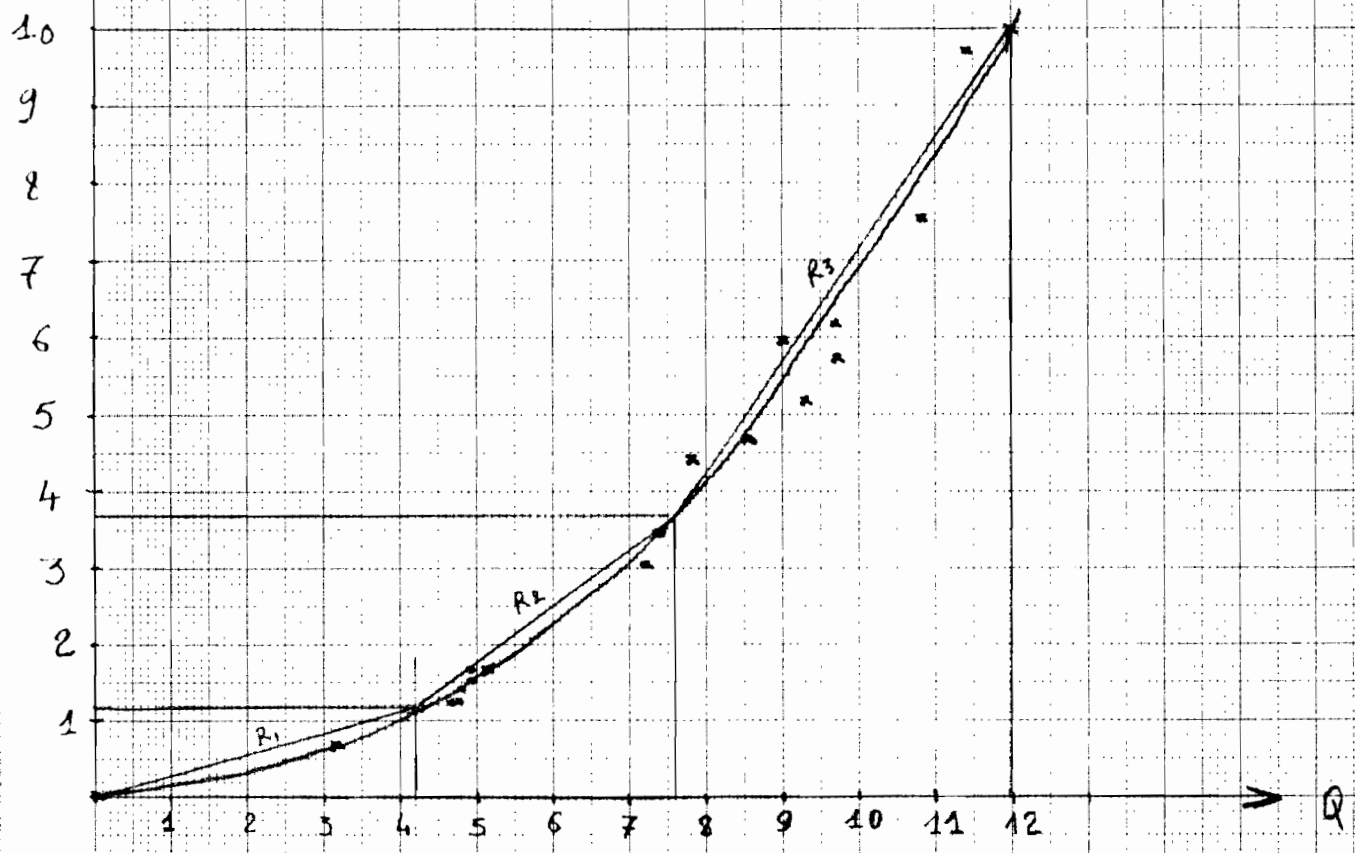
On trace la courbe $U = f(Q)$ après décalage et amplification pour choisir les points de

casure qui déterminerons le nombre et le type de diodes à utiliser pour avoir l'élément non linéaire.

α (l/heure)	U (mV) décalage de 55 mV	$U \times 67$ (mV) Amplification
0	0	0
3,18	10	0,67
4,62	19	1,27
4,74	19	1,27
4,80	21	1,41
4,92	25	1,68
4,92	23	1,54
5,10	25	1,68
7,20	45	3,02
7,38	52	3,48
7,80	66	4,42
8,52	70	4,69
9,00	89	5,96
9,30	77	5,16
9,72	86	5,76
9,72	92	6,16
10,80	113	7,57
11,40	145	9,72
12,00	150	10,0

Power

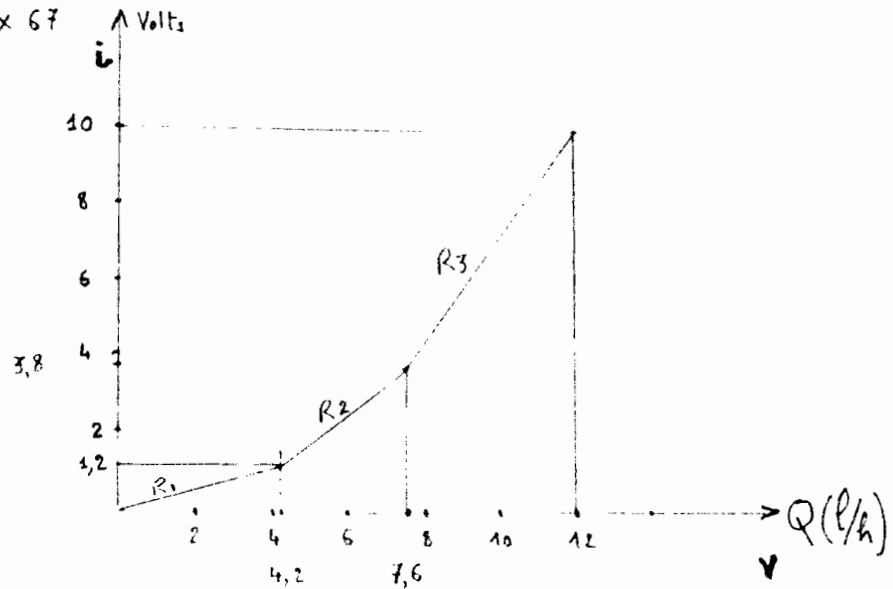
$\Lambda (U-55) \times 67$ (in Volts)



KEUTER & KESSEL

Nous avons donc 3 segments.

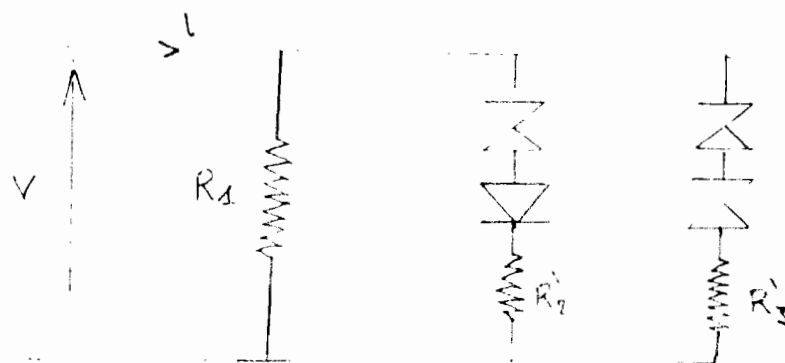
$(U-55) \times 67$



$i = f(V)$ est identique à ce graphique.

Pour avoir 7,6 V il faut 2 diodes Zener de 3,6 (peuvent atteindre 3,8)

et pour avoir 4,2 On prend une diode Zener de 3,6 V et une diode au silicium de 0,6 V. On obtient l'élément non linéaire suivant:



CALCUL DE L'ELEMENT NON LINEAIRE

Considérons le graphe i en fonction de v
 R_1 , R_2 , R_3 peuvent être déterminés.

$$R_1 = \frac{4,2}{1,2 \times 10^{-3}} = 3,5 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = \frac{7,6 - 4,2}{(3,8 - 1,2) \times 10^{-3}} = 1,31 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = \frac{12 - 7,6}{(10 - 3,8) \times 10^{-3}} = 0,71 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = R_2' \parallel R_1$$

$$\Rightarrow R_2' \parallel 3,5 = 1,31$$

$$R_2' = \frac{3,5 \times 1,31}{3,5 - 1,31} = 2,09 \text{ k}\Omega$$

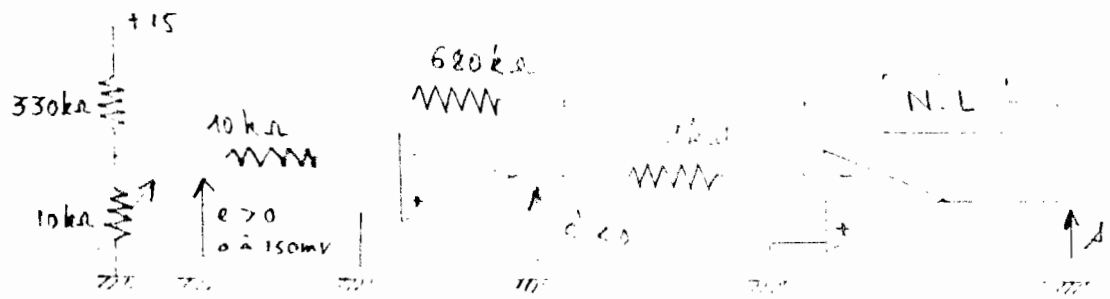
$$R_3 = R_2 \parallel R_3'$$

$$0,71 = 2,09 \parallel R_3'$$

$$R_3' = \frac{2,09 \times 0,71}{2,09 - 0,71} = 1,08 \text{ k}\Omega$$

Donc $R_1 = 3,5 \text{ k}\Omega$, $R_2' = 2,09 \text{ k}\Omega$ et $R_3' = 1,08 \text{ k}\Omega$

MONTAGE

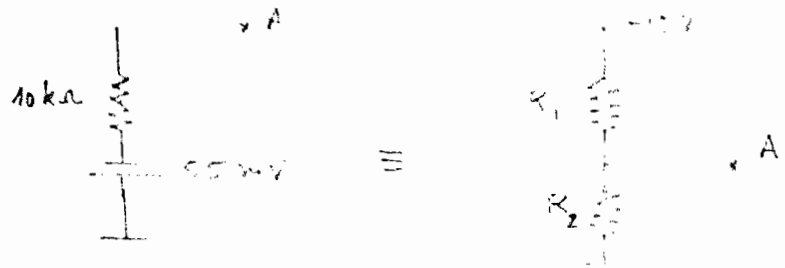


$$10\text{ k}\Omega \parallel 10\text{ k}\Omega = 5\text{ k}\Omega$$

$$\frac{5}{R+5} = \frac{0,2\text{V}}{15\text{V}} \Rightarrow R = 370\text{ k}\Omega$$

On prend $R = 330\text{ k}\Omega$

Il faut signaler qu'on a multiplié par 68 au lieu de 67, d'autre part dans le cas de la simulation on a directement une tension variant de 0 à 150mV mais en fait dans le système il faudra d'abord soustraire 55mV avant d'amplifier.



$$\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 10$$

$$R_1 = 2,73\text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow R_2 = 10,05\ \Omega$$

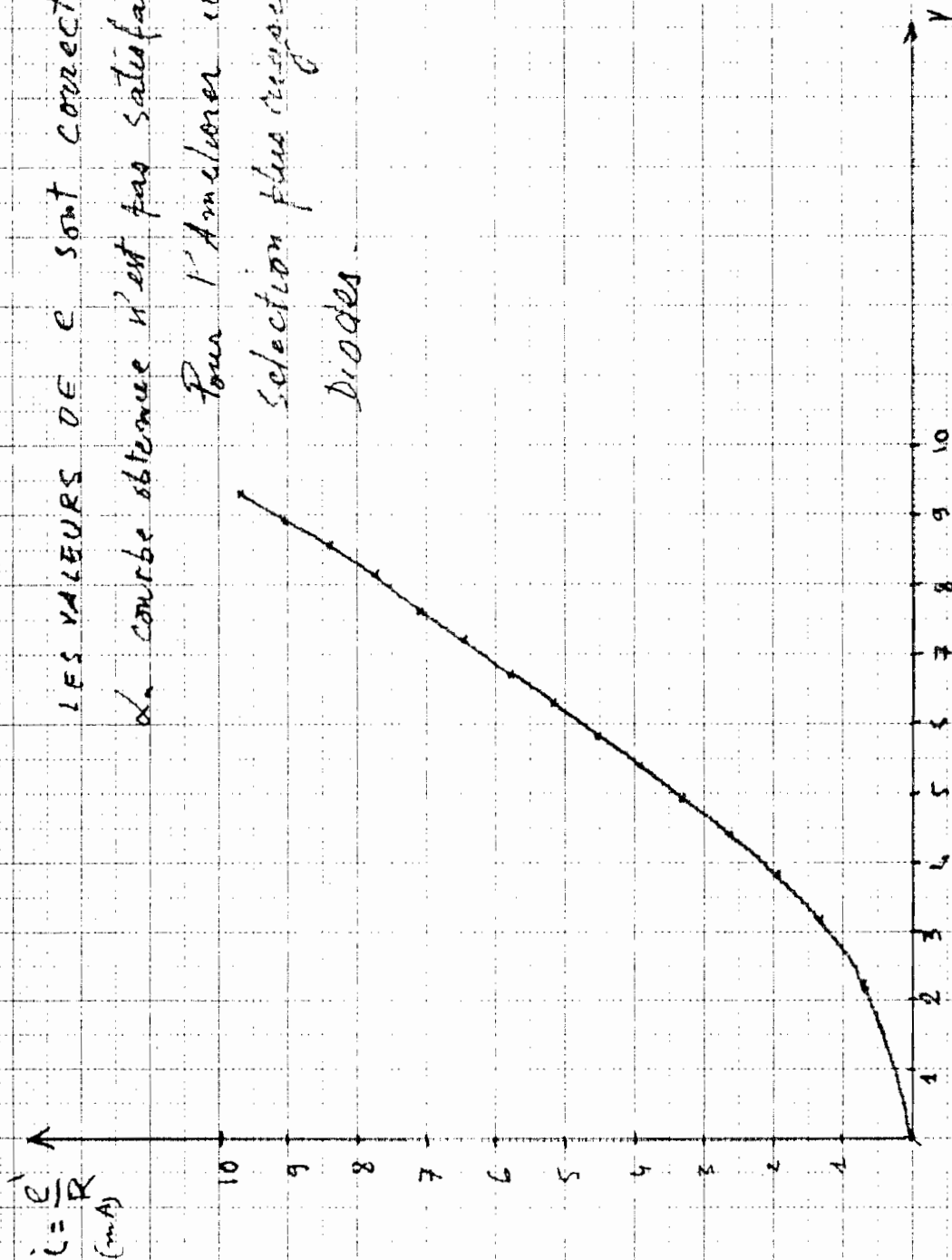
$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} \times 15 = 0,055$$

TABEAU DE MESURES

e (mV)	e' (volts)	Δ (volts)
0	0	0
10	-0,7	2,2
20	-1,32	3,18
30	-1,97	3,8
40	-2,65	4,4
50	-3,3	4,9
60	-3,95	5,4
70	-4,55	5,8
80	-5,15	6,3
90	-5,8	6,7
100	-6,45	7,2
110	-7,1	7,6
120	-7,75	8,14
130	-8,4	8,54
140	-9,05	8,9
150	-9,7	9,3

LES VALEURS DE ϵ SONT CORRECTES (Gain ≈ 665)
 La courbe obtenue n'est pas satisfaisante.

Pour l'améliorer il faut une
 sélection plus rigoureuse des
 diodes.



DIVISEUR

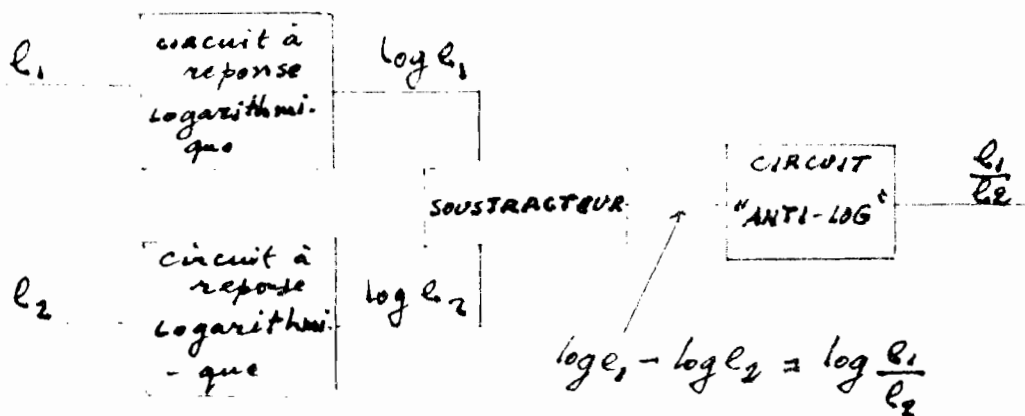
La deuxième partie du projet porte sur la réalisation d'un diviseur.

Il s'agit d'effectuer la division de la tension sortant du débitmètre par la tension fournie par le tachymètre.

MATERIEL UTILISE

- Amplificateurs opérationnels (741 DC)
- Diodes, Résistances, potentiomètres
- Alimentations (20V) + appareils de mesures.

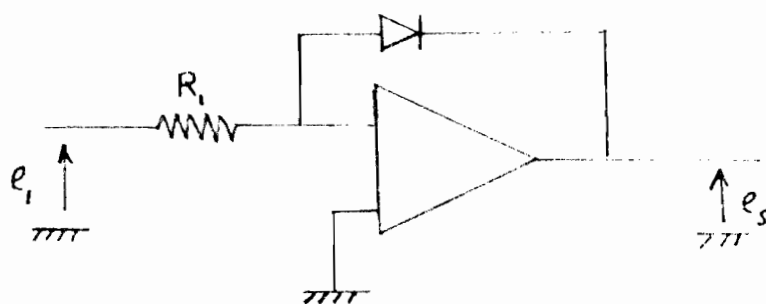
PRINCIPE



Comme indiqué sur le schéma de principe le diviseur comporte 3 parties :

- des 2 circuits "Log"
- Le soustracteur
- Le circuit Anti-Log.

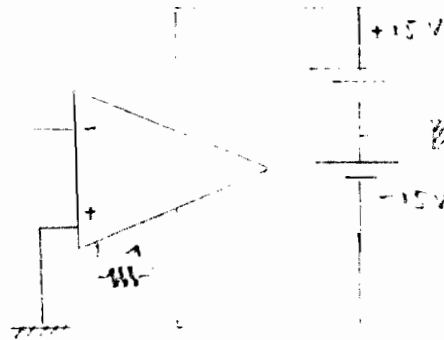
LES CIRCUITS LOG



Précisons que l'amplificateur opérationnel nécessite une alimentation $\pm 15V$ qu'on omettra sur les schémas dans un but de simplification.

A chaque Amplificateur opérationnel il sera également associé un potentiomètre pour compenser la tension de décalage d'entrée. Des réglages fréquents seront effectués à cause de variations ou dérives liés à

divers paramètres (température, durée, variations de la tension d'alimentation) et qui engendrent une certaine instabilité.



Le 2^{ème} élément important du circuit "log" est la diode; on sait qu'une diode présente une caractéristique logarithmique courant-tension.

TABLEAU DES MESURES

tension d'entrée e_1 (volts)	tension de Sortie e_2 (v)	tension d'entrée e_1 (volts)	tension de sortie e_2 (v)
0,020	0,34	2	0,54
0,030	0,37	2,5	0,547
0,040	0,385	3	0,552
0,050	0,396	4	0,565
0,060	0,405	5	0,575
0,070	0,41	6	0,58
0,080	0,418	7	0,59
0,090	0,42	8	0,593
0,10	0,426	9	0,598
0,15	0,44	10	0,602
0,20	0,453	11	0,608
0,30	0,47	12	0,61
0,40	0,48	13	0,613
0,50	0,488	14	0,617
0,60	0,494	15	0,62
0,70	0,50	16	0,622
0,80	0,505	17	0,625
1	0,512	18	0,628
1,5	0,53	19	0,63

e_s (V)

CIRCUIT "LOG"

$$e_s = 0,0377 \ln e_1 + 0,513$$

0,30 0,35 0,40 0,45 0,50 0,55 0,60 0,65 0,70

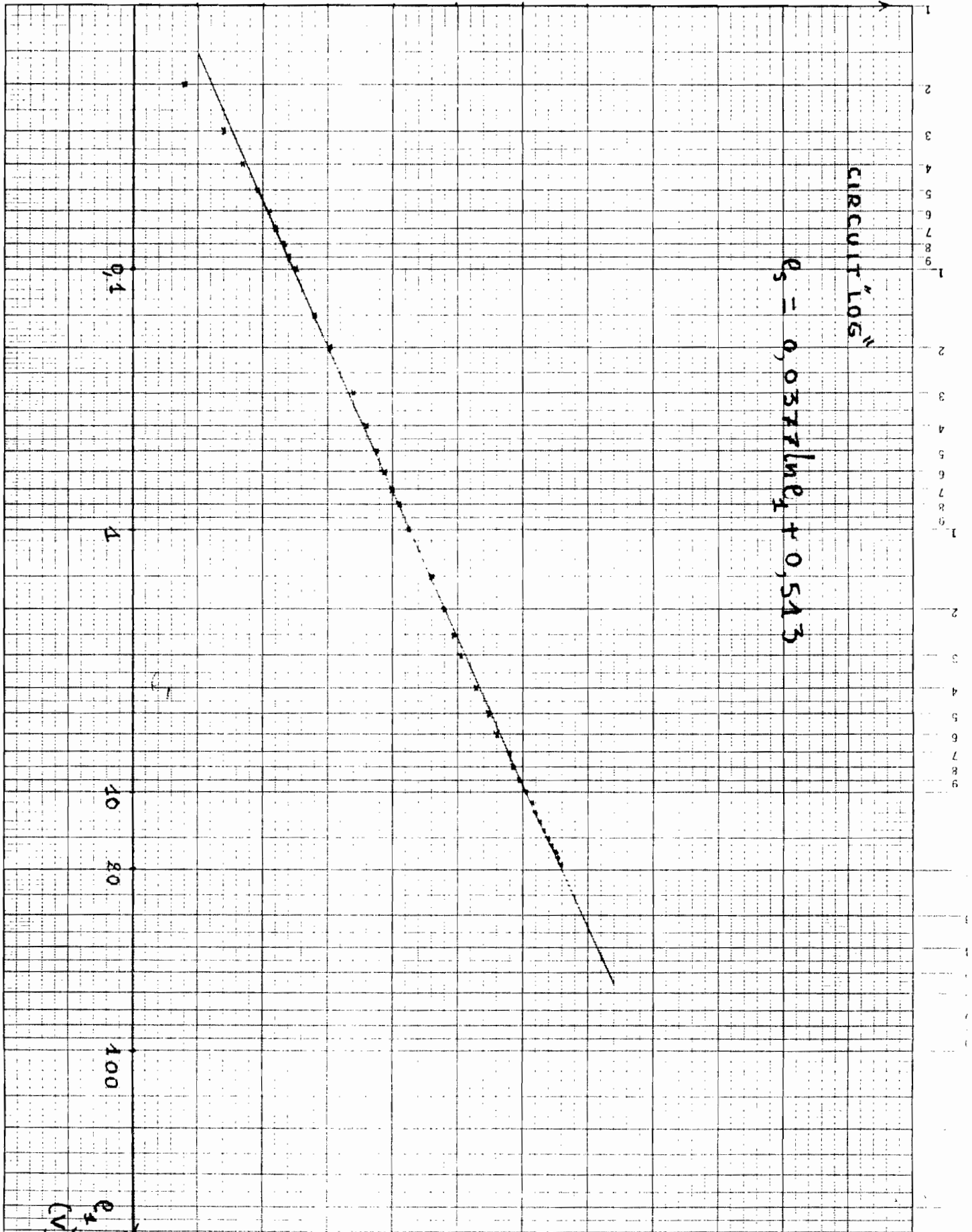
0,1

1

10 20

100

e_1 (V)



Le graphe est tracé sur du papier semi-log
l'équation de la droite est de la forme

$$e_s = a \ln e_1 + b$$

Nous avons une droite assez correcte de

$$e_1 = 0,38 \quad \text{à} \quad e_1 = 19$$

La dispersion est très faible et point n'est
besoin de faire une régression linéaire
pour trouver l'équation de la droite.

2 points caractéristiques suffisent.

$$e_1 = 0,10 \quad e_{s_1} = 0,426$$

$$e_1' = 4 \quad e_{s_2} = 0,565$$

$$e_{s_1} = a \ln e_1 + b$$

$$e_{s_2} = a \ln e_1' + b$$

$$\Rightarrow a = \frac{e_{s_2} - e_{s_1}}{\ln \frac{e_1'}{e_1}} = \frac{0,565 - 0,426}{\ln \frac{4}{0,1}} = 0,0377$$

$$b = e_{s_2} - a \ln e_1' = e_{s_1} - a \ln e_1$$

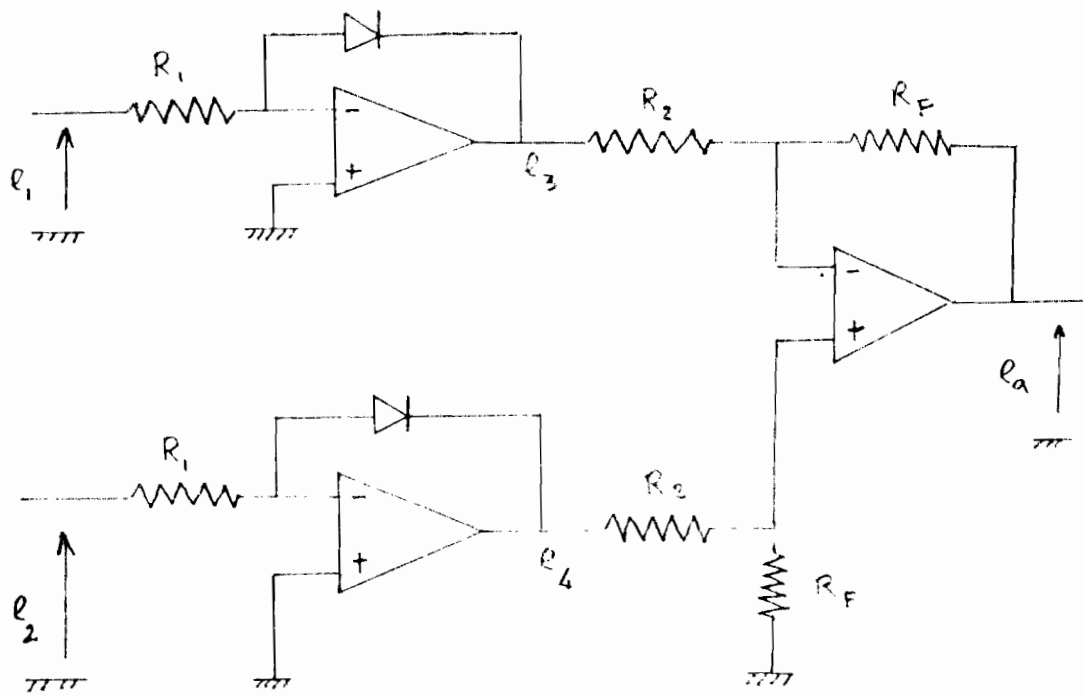
$$0,426 - 0,0377 \ln 0,1 = 0,513$$

$$\text{Donc } e_s = 0,0377 \ln e_1 + 0,513$$

théoriquement on aurait dû avoir $e_s = k \ln e_1$
s'il n'y avait aucun décalage.

Nous allons passer à l'étape suivante c'est-à-dire au montage des 2 circuits "Log" et du soustracteur.

CIRCUITS "LOG" - SOUSTRACTEUR



$$e_3 = -\eta V_T \left(\ln \frac{e_1}{R_1} - \ln I_0 \right)$$

$$e_4 = -\eta V_T \left(\ln \frac{e_2}{R_1} - \ln I_0 \right)$$

avec I_0 = courant inverse de saturation de la diode.

$$V_T = \frac{kT}{q} \approx \frac{T}{1100} \text{ V } (T \text{ en } ^\circ\text{K})$$

$$l_4 - l_3 = -\eta V_T \ln \frac{l_2}{l_1}$$

$$\text{or } l_a = \frac{R_F}{R_2} (l_4 - l_3)$$

$$\Rightarrow (l_4 - l_3) \frac{R_F}{R_2} = \frac{R_F}{R_2} (-\eta V_T \ln \frac{l_2}{l_1}) = l_a$$

$$l_a = \frac{R_F}{R_2} (-\eta V_T) \ln \frac{l_2}{l_1} = \frac{R_F}{R_2} \eta V_T \ln \frac{l_1}{l_2}$$

$$\text{Posons } \eta V_T = K$$

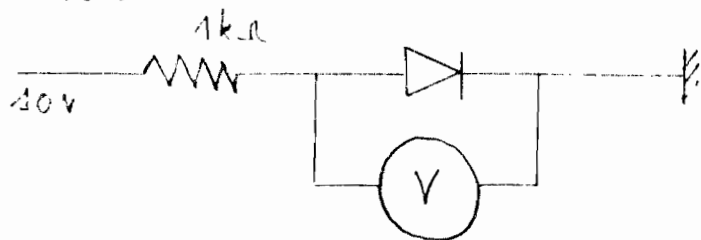
$$\text{donc } l_a = \frac{R_F}{R_2} K \ln \frac{l_1}{l_2}$$

Cette equation est obtenue, sous reserve d'avoir un même décalage $\eta V_T \ln I_0$ pour les 2 circuits "log". Sinon il apparaît une constante K_2

$$l_a = \frac{R_F}{R_2} K \ln \frac{l_1}{l_2} + K_2$$

Normalement les diodes doivent être appariées, tout au moins celles qui se situent au niveau des circuits "log" mais puisque nous ne disposons pas d'appareil pour effectuer l'appariement

nous avons adopté une méthode assez valable pour les choisir à peu près identiques.



Nous relevons la tension aux bornes des diodes et on doit avoir la même valeur pour 2 diodes pareilles.

Pour les mesures nous avons pris

$$R_1 = 33 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_F = 12 \text{ k}\Omega$$

Pour avoir un rapport variable l_1 est maintenu constant (2V) et l_2 varie.

Pour ce cas nous avons également une droite

$$\frac{l_1}{l_2} = 0,5 \quad l_0 = -0,405$$

$$\frac{l_1}{l_2} = 66,67 \quad l_0 = +0,18$$

$$K_1 = \frac{0,18 - (-0,0405)}{\ln \frac{66,67}{0,5}} = 0,0451$$

$$K_2 = -0,0405 - 0,0451 \ln 0,5 = -0,009$$

$$\Rightarrow e_0 = 0,0451 \ln \frac{e_1}{e_2} - 0,009$$

Puisque les circuits "Log" ont pour equation caracteristique $e_s = 0,0377 \ln e_1 + 0,513$

On aurait dû avoir

$$\begin{aligned} e_0 &= 0,0377 \frac{R_F}{R_1} \ln \frac{e_1}{e_2} \\ &= 0,0377 \frac{12 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} \ln \frac{e_1}{e_2} \\ &= 0,0452 \ln \frac{e_1}{e_2} \end{aligned}$$

Donc le resultat est acceptable et le décalage $-0,009$ est presque negligible (on peut faire la mise à zero avec le potentiomètre associé à l'Ampli-Op)

Pour le montage final nous prendrons

$$R_F = R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

Ces resistances sont choisies au pont pour ne pas introduire de facteur multiplicateur.

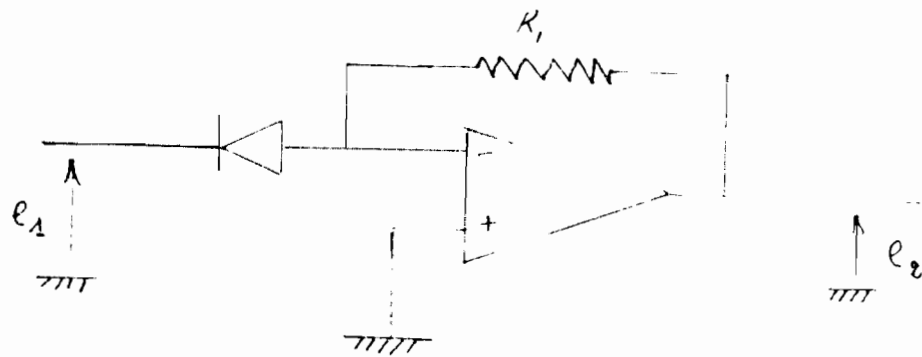
TABLEAU DES MESURES

e_1 (v)	e_2 (v)	$\frac{e_1}{e_2}$ (v) (calculé)	e_0
2	0,03	66,67	0,18
"	0,04	50	0,165
"	0,06	33,33	0,145
"	0,08	25	0,13
"	0,1	20	0,123
"	0,15	13,33	0,104
"	0,20	10	0,09
"	0,25	8	0,08
"	0,30	6,67	0,071
"	0,35	5,71	0,061
"	0,50	4	0,050
"	0,60	3,33	0,0425
"	0,80	2,5	0,030
"	1	2	0,021
"	1,2	1,67	0,014
"	1,4	1,428	0,007
"	1,65	1,21	0,000
"	1,9	1,053	-0,005
"	2	1	-0,008

Tableau des Mesures (suite)

2 v	2,1	0,952	-0,01
"	2,2	0,901	-0,0125
"	2,3	0,87	-0,0145
"	2,4	0,83	-0,0165
"	2,8	0,71	-0,024
"	3	0,667	-0,0275
"	3,5	0,571	-0,034
"	4	0,5	-0,0405
"	4,5	0,44	-0,0465
"	5	0,4	-0,052
"	6	0,33	-0,0605
"	7	0,285	-0,069
"	8	0,25	-0,076
"	9	0,22	-0,0823
"	10	0,20	-0,088
"	11	0,182	-0,092
"	12	0,167	-0,096
"	15	0,133	-0,11
"	17	0,118	-0,116
"	18	0,111	-0,122

CIRCUIT ANTI-LOG

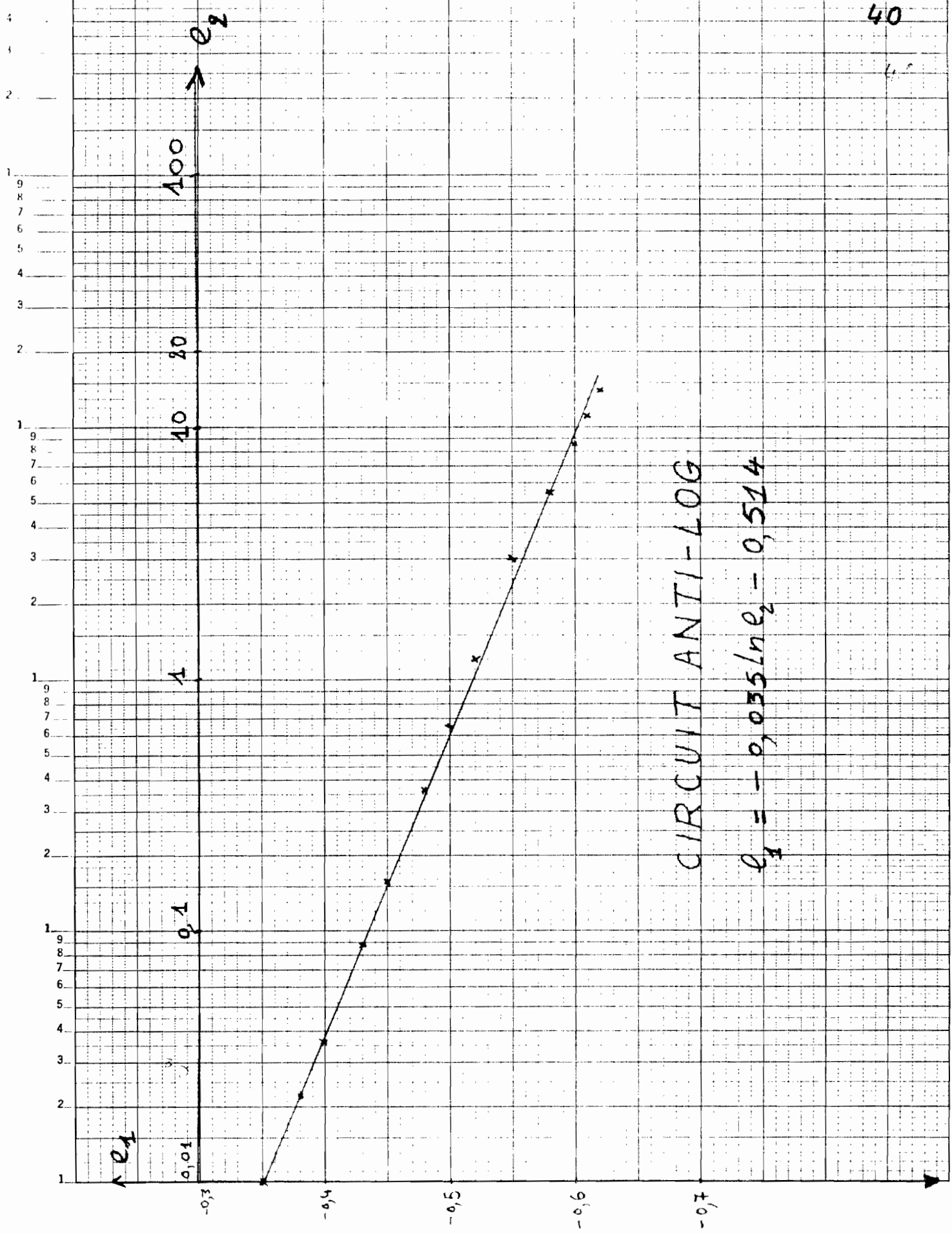


$R_1 = 33 \text{ k}\Omega$

$e_1 < 0$ et $e_2 > 0$

TABLEAU DES MESURES

e_1 (volt) < 0	e_2 (volt) > 0
0,35	0,010
0,38	0,022
0,40	0,036
0,43	0,088
0,45	0,155
0,48	0,36
0,50	0,65
0,52	1,2
0,55	3
0,58	5,5
0,60	8,6
0,61	11
0,62	14



Lorsqu'on atteint 0,7V l'Amplificateur Operationnel est saturé et la masse virtuelle (borne négative) est portée à un potentiel non nul, ce qui impose une limite aux tensions d'entrée. Cette zone ne présente aucun intérêt puisque la sortie devient pratiquement constante ($\approx 14V$)

Avec le circuit Anti-log on obtient également une droite (Papier Semi-log)

$$e_1 = K_1 \ln e_2 + K_2$$

$$e_1 = -0,38 \Rightarrow e_2 = +0,022$$

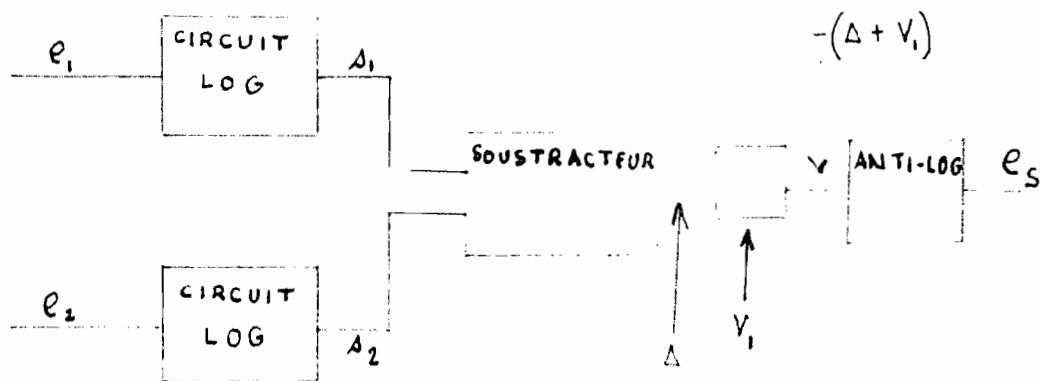
$$e_1 = -0,52 \Rightarrow e_2 = +1,2$$

$$K_1 = \frac{-0,52 - (-0,38)}{\ln \frac{1,2}{0,022}} = -0,035$$

$$K_2 = e_1 - K_1 \log e_2 = -0,52 - (-0,035 \ln 1,2) \\ = -0,514$$

$$\text{Donc } e_1 = -0,035 \ln e_2 - 0,514$$

Après avoir mis au point les différents éléments qui composent le diviseur nous passons au montage d'ensemble.



$$\left. \begin{aligned} A_1 &= k_1 \ln e_1 + k_2 \\ A_2 &= k_1 \ln e_2 + k_2 \\ \Delta &= k_3 (A_1 - A_2) \\ (\Delta + V_1) &= k_4 \ln e_5 + k_5 \end{aligned} \right\} \text{ On veut } e_5 = K \frac{e_1}{e_2} + C$$

$$\Delta = k_3 k_1 \ln \frac{e_1}{e_2} = k_4 \ln e_5 + k_5 - V_1$$

$$\text{Conditions } \left. \begin{aligned} V_1 &= k_5 \\ k_4 &= k_3 k_1 \end{aligned} \right\} \Rightarrow e_5 = \frac{e_1}{e_2}$$

$$\begin{aligned} k_1 &= 0,0377 \\ k_4 &= -0,035 \end{aligned} \Rightarrow k_3 = \frac{R_F}{R_2} = \frac{k_4}{k_1} = \frac{0,035}{0,0377} \approx 1$$

$$k_5 - V_1 = 0 \Rightarrow V_1 = k_5 = -0,514$$

Pour avoir 0,514 V on fait d'un diviseur de tension.

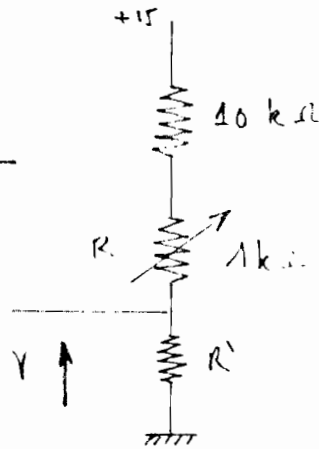
$$V = 0,514 \text{ V}$$

$$\frac{V}{R'} = \frac{15}{10 + (R + R')}$$

$$0,514 (10 + R + R') = 15 R'$$

(voir fig. suivante)

$$R' = \frac{5,14 + 0,514 R}{14,486}$$



$$\text{or } 0 < R < 1 \text{ k}\Omega$$

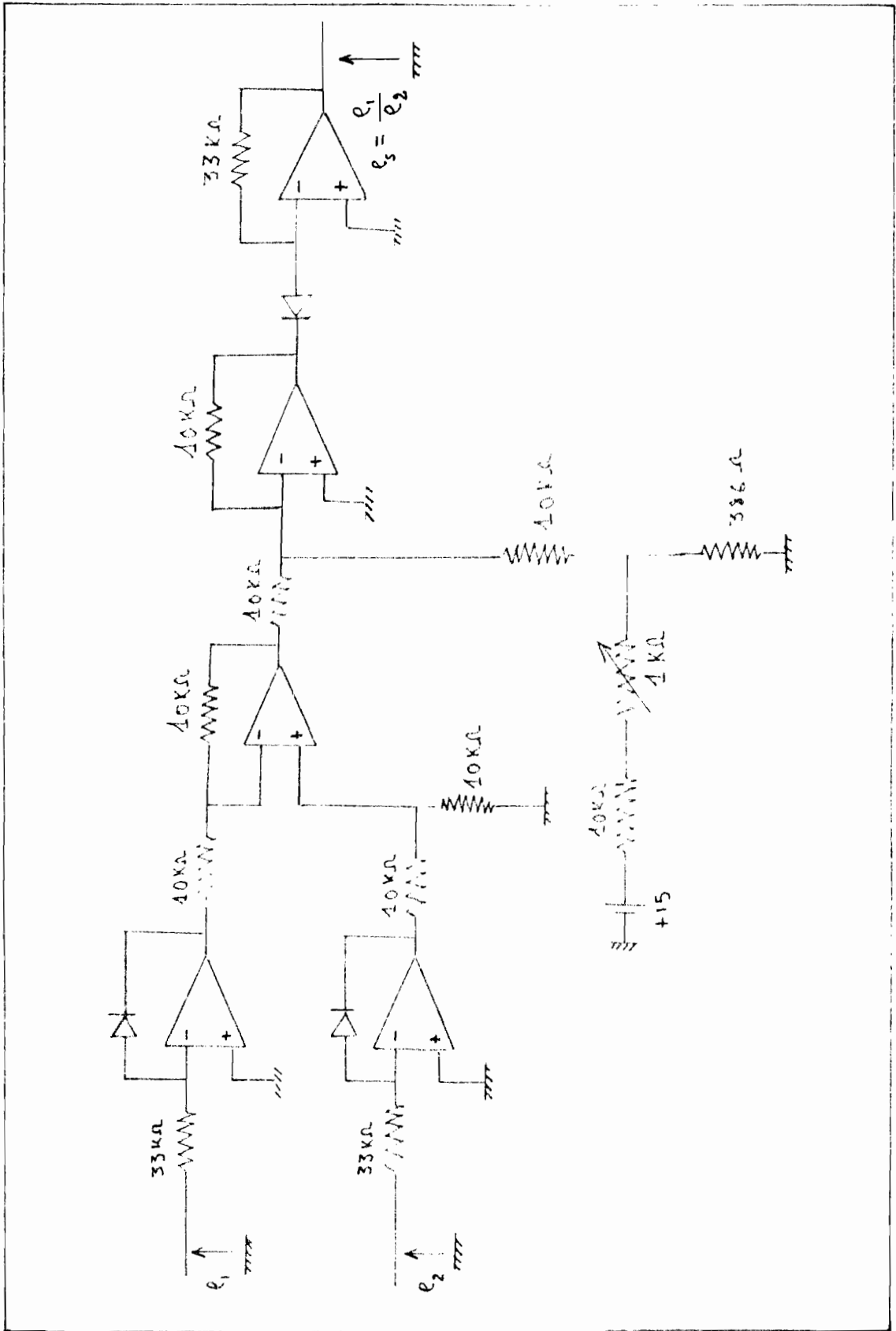
$$\Rightarrow 0,354 \text{ k}\Omega < R' < 0,390 \text{ k}\Omega$$

$$354 \Omega < R' < 390 \Omega$$

Then $R' = 330 + 36 = 366 \Omega$

Mesurées au port ces résistances donnent
 325Ω et $36,3 \Omega \Rightarrow R' = 361,3 \Omega$

Avant d'effectuer des mesures sur le diviseur il ya des réglages préliminaires. Au niveau des circuits "log" il faut s'assurer que lorsqu'on a 0V à l'entrée, la tension de sortie est nulle. Le réglage est fait au moyen des potentiomètres associés à chaque Ampli-Op. de même réglage est fait pour le soustracteur et le circuit Anti-log.



Pour avoir une idée du comportement (precision) du diviseur ainsi réalisé on a pris 2 séries de mesures.

TABLEAU de MESURES

$e_1 (V)$	$e_2 (V)$	$e_s = \frac{e_1}{e_2} (V)$	$e_1 (V)$	$e_2 (V)$	$e_s = \frac{e_1}{e_2}$
0,5	0,5	1,05	6	6	0,98
1	1	1,05	7	7	0,98
1,5	1,5	1,04	8	8	0,975
2	2	1,02	9	9	0,975
2,5	2,5	1,00	10	10	0,975
3	3	1,00	12	12	0,970
4	4	1,00	14	14	0,960
5	5	0,99	17	17	0,960

Pour pour ce cas $e_1 = e_2$ donc
 on aurait dû avoir $e_s = \frac{e_1}{e_2} = 1$
 mais les résultats varient de 1,05
 à 0,96. (Acceptable)

Dans la 2ème série e_1 est maintenue à

une valeur donnée et on fait varier e_2

1^{er} cas : $e_1 = 2 \text{ V}$ (cte)

MESURES

$e_1 = 2 \text{ V}$			$e_1 = 0,5$		
$e_2 \text{ (V)}$	$e_1/e_2 \text{ (V)}$	$e_s = (e_1/e_2)$	$e_2 \text{ (V)}$	e_1/e_2	$e_s = e_1/e_2$
0	∞	14,1	0,05	10	9,96
0,1	20	14,1	0,1	5	4,95
0,2	10	9	0,2	2,5	2,55
0,3	6,67	6,2	0,25	2	2,07
0,4	5	4,9	0,3	1,67	1,7
0,5	4	3,9	0,4	1,25	1,3
0,6	3,33	3,5	0,5	1	1,05
0,8	2,5	2,6	0,75	0,67	0,705
1	2	2,1	1	0,5	0,52
1,2	1,67	1,74	1,25	0,4	0,41
1,5	1,33	1,38	1,50	0,33	0,335
2	1	1,025	1,75	0,286	0,282
2,5	0,8	0,8	2	0,25	0,242
4	0,5	0,47	2,5	0,2	0,19
			3	0,167	0,152
			3,5	0,143	0,125

CONCLUSION

La précision du système dépend surtout de la stabilité du diviseur et du débitmètre. Il existe des amplificateurs opérationnels plus perfectionnés que ceux que nous avons utilisés (741 DC) avec un élément compensateur intégré.

Cela évite l'utilisation de potentiomètre pour corriger la dérive.

Les essais ont été effectués avec de l'eau à la place de l'essence (densité 0,74)

Il faut signaler que l'utilisation de cet économètre serait peu pratique sur un véhicule en regard aux instabilités citées plus haut.

D'autre part en aval de la pompe à essence (à membrane) le débit est pulsique et quand bien même un condensateur approprié permettra l'intégration des variations, on perdra

en temps de réponse (retard).

Cependant il serait parfaitement possible d'envisager à l'échelle industrielle la construction d'économètres fonctionnant, sur le même principe, les 3 composants étant disponibles sur le Marché.

BIBLIOGRAPHIE

OPERATIONAL AMPLIFIERS (Design and Applications)

Auteurs : JERALD G. GRAEME & GENE E. TOBEY

EDITEUR MC GRAW-HILL BOOK COMPANY

APPLICATIONS OF OPERATIONAL AMPLIFIERS

(Third generation techniques)

Auteur JERALD G. GRAEME

EDITEUR MC GRAW-HILL BOOK COMPANY

L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

(principes et Applications)

Auteur R. DAMAYE

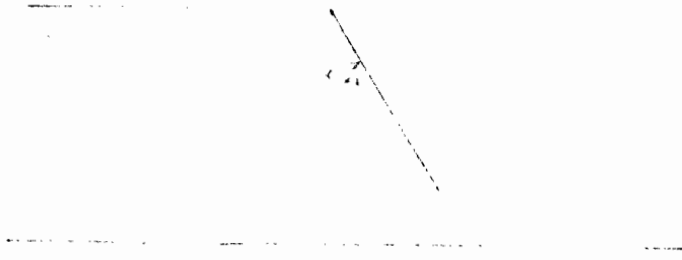
editeur SOCIETE DES EDITIONS RADIO
75006 PARIS

MESURES ET CONTRÔLE (Grandeurs hydrauliques et Pneumatiques R5)

Editeur: Techniques de l'ingénieur
21, Rue Cassette 75006 Paris

APPENDICE

Le débit étant donné le problème est de connaître la rotation de l'axe c'est-à-dire celle du clapet à partir de la position de repos (verticale) correspondant à un débit nul.



Il s'agit de trouver une relation entre le débit et l'angle de rotation θ . Le domaine de variation de θ connu, on peut déterminer le profil de l'écran. Avant d'aller plus loin il convient de signaler que la poche non remplie de liquide située au dessus du clapet rend impossible la détermination théorique de la distribution de pression sur la face correspondante.

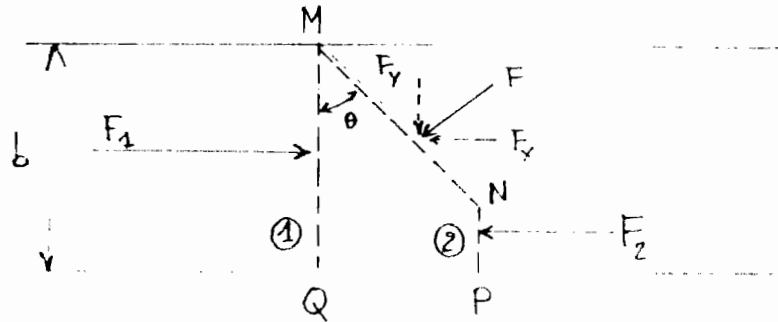
On pourrait déterminer expérimentalement la pression le long du clapet,

en installant un tube de Pitot très réduit mais encore faudrait-il percer le débitmètre par le dessus.

Cependant on sait que les contraintes imposées par le système de carburation (sections d'entrée et de sortie des tuyaux $\approx 1 \text{ cm}^2$, débit $\approx 10 \text{ l/h}$) impliquent un débitmètre relativement réduit qui se prêterait mal à une telle manipulation. D'autre part cela suppose la construction d'un débitmètre et à moins qu'on ne veuille systématiser l'étude il devient facile de parfaire l'appareil en agissant sur la forme de l'écran et le poids du clapet.

Neanmoins, nous présentons l'étude analytique de l'écoulement qui aurait abouti au dimensionnement du débitmètre si la distribution de pression au dessus du clapet était connue (un cliché illus-

- trant cette "boche" et joint au projet)



largueur a .

$$\overline{MN} = b$$

$$A_1 = a \cdot b$$

$$A_2 = a(b - b \cos \theta)$$

$$= ab(1 - \cos \theta)$$

Equation de Continuité

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (V_1, V_2 \text{ vitesses})$$

$$V_2 = \frac{A_1}{A_2} V_1 = \frac{ab}{ab(1 - \cos \theta)} V_1$$

$$= (1 - \cos \theta)^{-1} V_1$$

Nous avons un écoulement bi-dimensionnel.

THEOREME D'EULER

$$\sum F_x = F_1 - F_2 - F_x = \rho Q (V_2 - V_1)$$

$$F_1 - F_2 = P_1 A_1 - P_2 A_2$$

$$\Rightarrow F_x = P_1 A_1 - P_2 A_2 - \rho Q (V_2 - V_1)$$

$$\sum F_y = W + F_y = 0 \Rightarrow F_y = -W$$

BERNOULLI

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

$$\text{or } V_2 = V_1 (1 - \cos \theta)^{-1/2}$$

$$\Rightarrow \frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{(1 - \cos \theta)^{-2} V_1^2 - V_1^2}{2g}$$

$$= \frac{[(1 - \cos \theta)^{-2} - 1] V_1^2}{2g}$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{1 - (1 + \cos^2 \theta - 2 \cos \theta)}{(1 - \cos \theta)^2} \cdot \frac{V_1^2}{2g}$$

$$= \frac{-\cos^2 \theta + 2 \cos \theta}{(1 - \cos \theta)^2} \cdot \frac{V_1^2}{2g}$$

$$P_1 = \frac{\rho}{2g} V_1^2 \left[\frac{2 \cos \theta - \cos^3 \theta}{(1 - \cos \theta)^2} \right] + P_2$$

$$F_x = p_1 A_1 - p_2 A_1 (1 - \cos \theta) - \rho A_1 V_1^2 \left(\frac{1}{1 - \cos \theta} - 1 \right)$$

$$= [P_1 - P_2 (1 - \cos \theta)] A_1 - \rho A_1 V_1^2 \left(\frac{\cos \theta}{1 - \cos \theta} \right)$$

$$= [P_1 - P_2 (1 - \cos \theta)] A_1 - \rho \frac{Q^2}{A_1} \left(\frac{\cos \theta}{1 - \cos \theta} \right)$$

$$F_x = \left[\frac{\rho}{2g} V_1^2 \left(\frac{2 \cos \theta - \cos^3 \theta}{(1 - \cos \theta)^2} \right) + P_2 - P_2 (1 - \cos \theta) \right] A_1 - \rho \frac{Q^2}{A_1} \left(\frac{\cos \theta}{1 - \cos \theta} \right)$$

$$F_x = \frac{\rho}{2g} \frac{Q^2}{A_1} \left[\frac{2 \cos \theta - \cos^3 \theta}{(1 - \cos \theta)^2} \right] - \rho \frac{Q^2}{A_1} \left(\frac{\cos \theta}{1 - \cos \theta} \right) + p_2 A_1 \cos \theta$$

$$F_x = \frac{\rho}{2} \frac{Q^2}{A_1} \left[\frac{2 \cos \theta - \cos^3 \theta - 2 \cos \theta (1 - \cos \theta)}{(1 - \cos \theta)^2} \right] + p_2 A_1 \cos \theta$$

$$F_x = \frac{\rho}{2} \frac{Q^2}{A_1} \left[\frac{\cos^2 \theta}{(1 - \cos \theta)^2} \right] + \rho A_1 [\cos \theta]$$



.N

$$\begin{aligned} \sum M_M &= 0 \\ -Ph + F_x \cdot d &= 0 \\ -P \frac{b}{2} \sin \theta + F_x \cdot d &= 0 \end{aligned}$$

$$(1) \quad F_x = \frac{P b \sin \theta}{2 d} \quad (d \text{ inconnue})$$

$$\Rightarrow Q = f(F_x, P_2, \theta) \quad (2)$$

ρ est la masse volumique du carburant. On voit que les 2 inconnues de ces relations, sont P_2 , et d qui définit le point d'application de F_x ; [r: des valeurs sont fixées pour Q et θ , dépendant des contraintes (Moteur et clapet)].