

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE de BRAZZAVILLE

SECTION D'HYDROLOGIE

NOTE TECHNIQUE*

SUR LA CONSTRUCTION ET L'EXPLOITATION D'UN APPAREILLAGE DE MESURE DE L'HUMIDITE DES SOLS

PAR CHOCS THERMIQUES

**

(par B. POUYAUD et R. CHARTIER)

26 OCT. 1973

O. R. S. T. O. M.

Brazzaville, Octobre 1971
Collection de Référence

n°

6363Hydr

NOTE TECHNIQUE

SUR LA CONSTRUCTION ET L'EXPLOITATION DE L'APPAREILLAGE DE
MESURE DE L'HUMIDITE DES SOLS PAR CHOCS THERMIQUES
-)-)-)-)-)-)-)-)-)-

I.- PRINCIPE DE LA METHODE.

Nous avons démontré dans des notes théoriques précédentes, que, entre certaines limites de variations de différents paramètres, l'humidité volumique μ s'exprimait simplement en fonction de l'élévation de température Θ provoquée par un choc thermique de caractéristiques constantes.

$$\mu = \frac{\alpha}{\Theta} + \beta$$

Remarque : où α et β sont des constantes fournies par l'étalonnage.
La constante β est caractéristique du sol, en effet

$$\beta = -P_s \cdot F \quad P_s = \text{masse spécifique du sol sec}$$
$$F = \text{capacité calorifique du sol sec}$$

la constante α est caractéristique de la sonde, c'est en fait le produit de deux constantes $\alpha = A \cdot B$

$$* A = \frac{1}{2\pi r e} \cdot \frac{1}{r^3} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{c}{r}\right)^2}} \quad \text{est caractéristique de la géométrie de la sonde}$$

* et $B = \frac{Q_0 \cdot \Delta t}{e}$ est une constante caractéristique de la chauffe.

où - e = valeur de l'exponentielle

- r = distance entre la sonde chauffante et le point de mesure de l'élévation de température en cm.

- c = demi longueur de la partie chauffante en cm.

- $Q_0 = VI$ est exprimé en watts.

- Δt la durée de la chauffe exprimée en secondes.

./...

II.- ETALONNAGE.

Selon le cas plusieurs modes d'étalonnage seront utilisés. Nous n'entrerons pas dans le détail de l'étalonnage complet d'un sol fait en laboratoire, qui a déjà fait l'objet d'une note précédente. Nous nous bornerons à la description de deux types d'étalonnage rapide pouvant être facilement mis en oeuvre au laboratoire, ou même sur le terrain.

Nous utiliserons dans ce qui va suivre les paramètres suivants :

- u : humidité volumique : volume d'eau par unité de volume du sol.
- p : porosité : volume de vides par unité de volume du sol.
- u_s : humidité volumique du sol saturé. u_s est voisin de la porosité p , tout en restant légèrement inférieure.
- U : humidité relative = $\frac{u}{u_s}$

- θ_0 élévation de température pour un sol sec, d'humidité $u = 0$ et pour un choc thermique de caractéristiques déterminées.

- θ_s élévation de température pour le même sol saturé, d'humidité $u = u_s$ pour le même choc thermique de caractéristiques identiques.

A)- 1er Type d'étalonnage.

Le principe en est la détermination de α et β par la connaissance de deux couples (u_1, θ_1) et (u_2, θ_2) correspondant à deux états d'humectation du sol.

On obtient alors $\alpha = \frac{u_1 - u_2}{1/\theta_1 - 1/\theta_2}$

$\beta = \frac{u_1 - u_2}{1 - \theta_1/\theta_2}$

La détermination des couples (u_1, θ_1) et (u_2, θ_2) peut se faire par prélèvement de deux échantillons dont on aura préalablement mesuré le θ . La précision de l'étalonnage sera d'autant meilleure que u_1 sera différent de u_2 .

Il est cependant bien préférable de choisir pour les états 1 et 2 des valeurs particulières qui seront :

état 1 $u_1 = 0$ sol sec
 $\theta_1 = \theta_0$

état 2 $u_2 = u_s = p$ sol saturé
 $\theta_2 = \theta_s$

./...

$$\text{il vient alors } \alpha = \frac{u_s}{1/\theta_s - 1/\theta_0} \approx \frac{p}{1/\theta_s - 1/\theta_0}$$

$$\beta = \frac{u_s}{1 - \theta_0/\theta_s} \approx \frac{p}{1 - \theta_0/\theta_s}$$

$$\text{ou } U = \frac{u_s}{u_s} = \frac{1/\theta - 1/\theta_0}{1/\theta_s - 1/\theta_0}$$

Cette équation permet un étalonnage simple et rapide dans le cas d'expérimentation sur éprouvette.

Une première série de mesure est faite sur le sol sec, ce qui fournit θ_0 ; une deuxième série de mesure sur sol saturé donne θ_s .

u_s peut être mesuré sur un prélèvement ; dans la mesure où u_s peut être assimilé à la porosité p , il suffira de mesurer p par une méthode classique ; enfin par pesée de l'éprouvette de mesure sèche puis saturée, on détermine aussi une valeur moyenne de u_s pour l'enceinte de mesure.

Remarque :

Il est bien évident que cet étalonnage n'est applicable qu'autant que l'équation

$u = \alpha + \beta$ demeure valable. Nous rappelons qu'il est nécessaire pour cela que la durée de chauffe effective Δt demeure petite devant le temps mis par le maximum de la perturbation à atteindre la sonde de mesure.

Cela est pratiquement réalisé pour tous les types de sols avec les valeurs suivantes des paramètres :

$$- \varphi = V \cdot I = 6 \text{ watts} \quad V = 6 \text{ Volts} \quad I = 1 \text{ Ampère}$$

$$- r = 1,5 \text{ cm}$$

$$- \Delta t = 20 \text{ à } 30 \text{ secondes}$$

- θ varie alors selon les sols et les humidités entre 1 et 2,5°C environ.

B)- 2ème Type d'étalonnage.

Le principe est la détermination directe de β sur un prélèvement du sol ; en effet $\beta = -\beta_s \cdot r^2$

β_s est déterminé par le prélèvement d'un volume déterminé de sol à proximité et dans le même horizon que la sonde installée.

Ce volume est prélevé en enfonçant de façon classique un cylindre métallique délimitant un volume connu.

./...

./...

-- 4 --

- Soit - V le volume de l'échantillon de sol prélevé
- u l'humidité de l'échantillon de sol prélevé
- P_H le poids de l'échantillon à l'humidité originelle u
- P_S le poids du même échantillon étuvé :

on a bien sûr :

$$u = \frac{P_H - P_S}{V}$$

$$\rho_s = \frac{P_S}{V}$$

On mesure ensuite au calorimètre la capacité calorifique Γ du sol sec.

La constante β se trouve ainsi déterminée.

Si Θ est l'élévation de température observée à la sonde correspondante pour un choc thermique déterminé, on aura

$$\alpha = (M + \rho_s \cdot V) \Theta \text{ qui détermine } \alpha$$

Nous ferons les mêmes réserves sur la validité de cet étalonnage que dans le cas précédent.

b) - Etalonnage pratique.

L'expérience montre malheureusement dans la plupart des cas que l'étalonnage théorique n'est pas satisfaisant, car la constante expérimentale β s'écarte de $\beta_s \Gamma$ de façon notable (elle lui est toujours supérieure). Le matériel utilisé n'approche en effet que grossièrement les conditions prises en compte pour le calcul théorique.

Il faut alors adopter un autre étalonnage :

- Un échantillon est prélevé à proximité de la sonde et dans le même horizon. Il est laissé dans son cylindre de prélèvement de volume V.
- Une mesure Θ_1 est faite sur cet échantillon à l'humidité in situ u_1 ; ainsi qu'une mesure Θ_2 à la sonde installée sur le profil.
- l'échantillon est pesé : masse de l'échantillon humide : m_1
- l'échantillon est desséché à l'étuve et repesé : masse de l'échantillon sec. m_0
- une mesure Θ_0 est faite sur cet échantillon sec.
- on sature cet échantillon totalement : masse de l'échantillon à saturation m_{hs}

./...

- une mesure θ_3 est faite sur cet échantillon saturé :

On prendra bien sûr garde dans tous ces processus de ne pas désagréger l'échantillon laissé dans son enceinte de prélèvement. Lors de la saturation en particulier, l'humidification se fera de bas en haut.

On s'attachera également à ce que la distance r entre les sondes de mesure reste constante pour θ_1, θ_0 et θ_3 . Pour cela le mieux est encore de ne plus déplacer la sonde après la mesure θ_1 .

Ces différentes mesures fournissent :

humidité initiale de l'échantillon $u_1 = \frac{m_{h1} - m_{h0}}{V}$

humidité de l'échantillon à saturation $u_s = \frac{m_{hs} - m_{h0}}{V}$

Le calcul des constantes d'étalonnage α et β de l'échantillon sera fait à partir des valeurs

$$\begin{cases} u = 0 \\ \theta = \theta_0 \end{cases} \quad \begin{cases} u = u_s \\ \theta = \theta_3 \end{cases}$$

Une vérification de la justesse de l'étalonnage sera faite avec les valeurs

$$\begin{cases} u = u_1 \\ \theta = \theta_1 \end{cases} \quad \text{correspondant aux conditions in situ.}$$

Un certain nombre d'erreurs systématiques entachent encore cet étalonnage :

En effet nous ne pouvons être sûrs de la géométrie de la sonde du profil : r est-il bien égal à 1,5 cm ? En première approximation, nous admettons que cette erreur ne modifie pas la constante β et seulement la constante α .

Dans ce cas, si α est β sont les constantes de l'étalonnage de l'échantillon, α' et β' celles à retenir effectivement par le sol, nous aurons :

$$\begin{cases} \beta' = \beta \\ \alpha' = \frac{\rho_s}{\rho_1} \alpha \end{cases}$$

Une autre erreur systématique provient de ce que la masse volumique ρ_s de l'échantillon est en général légèrement supérieure à la masse volumique ρ'_s du sol du profil, cela est dû aux tassages involontaires provoqués par l'enfoncement du cylindre de prélèvement.

Nous admettons en première approximation que cette erreur ne perturbe pas α , mais seulement β :

Si α' et β' sont les constantes d'étalonnage relatives au sol du profil in situ, α et β celles relatives à l'échantillon nous aurons :

$$\begin{cases} \alpha' = \alpha \\ \beta' = \frac{\rho'_s}{\rho_s} \beta \end{cases}$$

./...

Le rapport $\frac{\mu_1}{\mu_2}$ est difficile à déterminer. Il varie d'un sol à l'autre, avec l'humidité du sol, et aussi les caractéristiques du cylindre de prélèvement. Seul des expériences répétées permettent de l'estimer.

Son influence n'est cependant guère importante. En effet si l'on raisonne en termes de bilan hydrique, ce qui est le plus souvent le cas, on opère sur des différences entre deux humidités, soit par exemple :

$$\mu_1 - \mu_2 = \alpha \left(\frac{1}{D_1} - \frac{1}{D_2} \right)$$

d'où β a évidemment disparu.

Remarque 1

Il est important de rappeler que chacun de ces étalonnages correspond à un choc thermique de caractéristiques V, I et Δt bien précises et constantes.

Dans le cas de variation accidentelle de ces constantes, il est facile de faire les corrections nécessaires par simple proportionnalité de D avec V, I ou Δt .

Remarque 2

La représentativité de l'échantillon prélevé, vis-à-vis du sol où se trouve effectivement enfoncée la sonde, n'est pas forcément très bonne, ce qui diminue d'autant la précision de la méthode. Il sera donc bon de faire plusieurs prélèvements autour de la sonde et d'étalonner la sonde sur la moyenne de ces échantillons.

III.- Dispositif standardisé de mesure de l'humidité du sol par chocs thermiques.

A)- Les sondes de mesure

1.- DESCRIPTION.

a)- Partie chauffante.

Après bien des essais plus ou moins fructueux, nous avons adopté pour la partie chauffante de petits fers à souder électriques commercialisés par la société allemande ERSa sous la désignation ERSa minor.

Caractéristiques techniques :

- puissance recommandée : 5 W sous 6 volts alternatifs ou continus.
- longueur de la partie chauffante : environ 3 cm.
- longueur de la partie métallique : environ 5,5 cm.
- Diamètre de la partie chauffante : 1 mm.

./...

./...

b)- Sondes de mesure.

Réalisées à partir d'un fil double, cuivre constantan, blindé par une tresse en cuivre. La tresse est étamée de façon à donner plus de rigidité à la sonde. Le micro fer à souder et la soudure chaude du thermocouple sont ensuite montés sur un léger bâti, destiné à maintenir entre eux l'écartement de 1,5 cm requis.

Selon la destination de la sonde, la soudure froide du thermocouple est laissée flottante, ou au contraire est-elle aussi rigide, et à une distance variable de la soudure froide.

(cf schéma de montage de différentes sondes couramment utilisées)

2.- I M P L A N T A T I O N D E S S O N D E S .

a)- Principe.

Les modifications thermiques naturelles du sol sont provoquées par des perturbations planes, parallèles à la surface du sol, induisant donc des gradients thermiques verticaux. Les surfaces isothermes sont alors grossièrement des plans horizontaux.

Notre méthode de mesure de l'humidité du sol introduit une perturbation parasite sous la forme d'un choc thermique, assorti d'un gradient de géométrie singulière. La mesure de certaines caractéristiques de ce gradient parasite, sur lesquelles repose notre méthode, exige qu'il soit possible de l'isoler des gradients thermiques naturels.

Une manière élégante de satisfaire à ces conditions est de placer les deux soudures du thermocouple sur une même isotherme naturelle, c'est-à-dire dans un même plan horizontal.

Sonde chauffante et sondes de mesure seront de plus parallèles, ainsi, les câbles des thermocouples confondus en leurs parties extrêmes avec les isothermes du champ thermique parasite, produit par la sonde chauffante, seront réduites les perturbations entraînées par conduction le long de ces câbles.

b)- Implantation.

Les sondes sont enfoncées dans le sol à partir d'une tranchée. Afin d'éliminer autant que faire se peut l'influence de cette tranchée nous prenons 2 séries de précautions :

- Les sondes sont installées au fond de petites niches creusées dans la paroi lors du prélèvement d'échantillons de sol pour l'échantillonnage de ces sondes. Il convient de prendre garde à ce que l'écartement entre sonde chauffante et thermocouple ne s'écarte guère des 1,5 cm prévus. Il convient également d'écarter à priori les endroits trop caillouteux pour éviter de tordre les sondes sur ces cailloux ou d'inclure un gravier entre la sonde chauffante et le thermocouple, ce qui réduit considérablement la sensibilité de la méthode.

./...

./...

- On rebouchera la tranchée (aussi petite que possible) en respectant les différents horizons ainsi que leur tassement, de sorte que l'hétérogénéité introduite par cette tranchée sont aussi peu importante que possible.

c)- Identification.

- Les différentes sondes seront repérées par des couleurs différentes de leurs câbles. Chaque sonde comporte 2 fils de mesure (thermocouple) et deux fils pour la chauffe.

Dans le cas d'un profil, on réunira en un seul câble commun, l'un des fils de chaque sonde chauffante, et en un autre câble commun l'un des fils de mesure.

Pour un profil de n sondes, on aura donc $2(n + 1)$ câbles sortis.

B)- L'appareil de mesure

Les élévations de température mesurées sont de l'ordre du degré, le thermocouple utilisé (cuivre-constantan) fournit une d.d.p. d'environ 40 μ V par ° C. Le voltmètre mesurant cette d.d.p. doit donc être d'une classe exceptionnelle. Seul le microvoltmètre UVA fabriqué par A.O.I.P. nous a donné toutes satisfactions, pour sa robustesse (ce peut-être un vrai appareil de terrain) et ses qualités propres :

- gammes de mesure : 10 μ V à 1000 V sur 12 cm.
- sortie enregistreur : 100 mV permettant de s'en servir comme amplificateur avant l'enregistrement par un appareil classique dans la gamme des 100 mV.

C)- Appareil de production des chocs thermiques et du choix de la direction

1.- D E S C R I P T I O N G E N E R A L E.

Sous sa forme actuelle, le dispositif complet est fractionné en 4 caisses, afin d'en faciliter le transport et l'entretien, et aussi d'accroître la fiabilité des différents constituants :

a)- Caisse B a.

regroupe tous les organes de production et de régulation du courant, nécessaires à l'appareillage.

l'entrée est au choix en 220 V CA ou en 12 V CC, permettant un fonctionnement à partir de batteries, d'un groupe électrogène ou du secteur. La sortie 12 V de tableau d'une Land Rover suffit largement à la consommation totale de l'appareil qui reste inférieure à 100 Watts.

b)- Caisse B M.

regroupe les organes de commande manuelle des fonctions suivantes :

./...

./...

- choix de celle des sondes où aura lieu le choc, sur les 8 sondes du profil standard.
- réglage de la puissance V.I du choc et son contrôle par un test sur une résistance étalon
- réglage de la durée Δt du choc
- production du signal de début de choc.
- mise en communication du microvoltmètre avec la sonde sélectionnée.

c)- Caisse B A.

regroupe les organes de commande automatique des mêmes fonctions que la boîte BM. Plusieurs cycles sont possibles. Cette caisse, facultative complète la caisse BM dans le cas de fonctionnement automatique.

d)- Caisse B R.

transforme les instructions digitales des caisses BM ou BA transmises par un câble à 8 conducteurs, et sélectionne celle des huit sondes du profil qui est ainsi déterminée.

Cette caisse est installée à proximité du profil étudié.

2.- L A C A I S S E B a.

a)- Schéma électrique.

Le schéma électrique se passe de commentaires.

b)- Liste des composants.

- I₁ et I₂ sont des commutateurs doubles classiques.
- L₁ et L₂ des voyants de contrôle (lampe eu néon avec résistance en série).
- W_i ; V₂ et V₃ des voltmètres guerpillon série VAJ2
- A un ampèremètre.
- Le convertisseur statique est un convertisseur Schlumberger, département Heathkit, type MP-10E, alimentation 6 ou 12 volts continus, utilisation 110 - 115 volts alternatifs, 50 Hertz.
- Le régulateur de tension est de la marque Réguvolt, type sinusoïdal réseau alimentation 110 ou 220 V. utilisation 110 V, Puissance 120 VA, 50 Hertz.

./...

./...
- Le variateur de tension de marque Alternostat "Ferrix", série C300 pour réseau monophasé 127V, 50 Hz, puissance maxi 420 VA, Alimentation 0 à 127V, utilisation 0 à 140 V.

- Le transformateur abaisseur de marque Legrand, primaire : 127,220 V, 50 hertz, secondaire : 9-12 V, 20 VA type 420-42.

- Les entrées E₁, E₂ et les sorties S₁, S₃ sont groupées chacune dans des connecteurs CBaE et CBaS SOURIAU à éléments assemblés, modèle à 5 contacts 7,5 A type 100-120 sur la caisse Ba et 100-123 sur les câbles de raccordement, le cinquième câble est une masse.

- Les entrées E₁, E₂ et les sorties S₁, S₂ et S₃ sont des bornes repérées pour fiche banane classique.

- Le transformateur sur le circuit S₁ est un transformateur courant, primaire en 220 V CA, secondaire en 110 V CA.

Les circuits électriques de la caisse sont protégés à l'entrée et à la sortie par des fusibles.

3.- LA CAISSE B M.

a)- Schéma électrique.

La durée de chauffe est réglée par la Minuterie M_i grâce au montage particulier des deux relais R₁ et R₂. La puissance de chauffe est réglée par le Rheostat RH. Un interrupteur fuyant IF déclanche le début de la chauffe.

b)- Liste des composants.

- I₁, I₂ et I₃ sont les interrupteurs doubles classiques.
- IT et I₄ un inverseur tripolaire
- IG un interrupteur simple à bascule.
- IF un commutateur poussoir, fuyant, contact à la pression.
- COM un commutateur à 3 touches-poussoir C₁, C₂, C₃
- L₁, L₂, L₃ sont des témoins de mise sous tension des divers circuits
- T₁, T₂, T₃ sont les témoins du choix des directions
- TC est un témoin pour la chauffe.
- B₁, B₂, BC, BEM et BSM sont des bornes repérées pour fiches banane classiques.
- R₁ et R₂ des relais quadripolaires alimentés en 110 V CA
- M_i une minuterie à moteur synchrone, ouvrant un circuit après un temps donné, fabriquée par Crouzet, type 88-221, alimentation 115 volts CA 50 hertz, durée réglable de 3 à 60 secondes, précision 1/10 secondes.
- RH un Rheostat 0 à 10 Ω
- R Test une résistance étalon de 7 Ω servant à un test de réglage.

./...

- V un voltmètre Guerpillon série VAJ2 0-10 Volts
- A un ampèremètre Guerpillon série VAJ2 0-1A
- Les entrées B₁ et B₂ sont groupées dans un connecteur CEM E1, SOURIAU à éléments assemblés, modèle à 5 contacts 7,5A type 100-120 sur la caisse EF et 100-123 sur le câble de raccordement.
- Les connecteurs de sortie CEM SE2 (en direction de la boîte BA) et CEM SE1 (en direction de la boîte BR) sont aussi des connecteurs SOURIAU à éléments assemblés, modèle à 8 contacts 5 A, type 116-100-120 sur la caisse BM et type 115-100-223 sur les câbles de raccordement.
- Les connecteurs d'entrée et de sortie du circuit de mesure, CEM S et CBME sont des connecteurs ronds SOURIAU série 8400 type 840-11-132 sur la caisse BW et 840-11-870 sur les câbles de liaison.

c)- Fonctionnement.

Les différentes combinaisons de fermeture et d'ouverture des contacts C₁ C₂ et C₃ permettent le choix de l'une des 8 directions par l'intermédiaire de la boîte de relais.

<u>Directions</u>	<u>Contacts</u>		
	C ₁	C ₂	C ₃
1	0	0	0
2	0	0	1
3	0	1	0
4	0	1	1
5	1	0	0
6	1	0	1
7	1	1	0
8	1	1	1

0 correspond à un contact ouvert.

1 correspond à un contact fermé.

4)- L.A. C A I S S E B A.

a)- Schéma électrique.

Le schéma électrique se passe de commentaires.

b)- Liste des composants :

- COM1 et COM2 sont des commutateurs à 3 touches-poussoirs B1 B2 B3 et A1 A2 A3.

./...

./...

- R1, R2 et R3 des relais électromécaniques bipolaires alimentés en 110 V CA.
- IG un interrupteur bipolaire classique.
- VG, V3, V2 et V1, L3, L2 et L1, T3, T2 et T1, des voyants lumineux de contrôle (lampes au néon avec résistances additionnelles).
- PROG est un programme à 7 niveaux (6 niveaux à cames réglables, et un niveau producteur de tops) mu par un moteur synchrone alimenté en 110 V. La durée du cycle est de 30 mn.
- Il s'agit d'un programmeur fabriqué par CROUZET, type 998-630.
- Le connecteur CBASE est le même que le connecteur CBMSE2 de la caisse BM.

c)- Possibilité de cette caisse B A.

Les huit directions sont repérées en binaire, par les instructions données à la boîte de relais BR.

α)- Choix de la périodicité des chocs.

Les contacts B1 B2 B3 permettent le choix des impulsions de chauffe, ainsi que le décrit le tableau suivant. Nous avons partagé en 8 le cycle de $\frac{1}{8}$ heure. La fermeture des contacts B1 B2 ou B3 permet aux cames 17, 16 et 15 d'agir en ouvrant les relais R1, R2 ou R3.

B ₁	Contacts		0								0+15 mm		0+30 mm	
	B ₂	B ₃	1	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8 chocs par cycle	
1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	4 chocs par cycle	
1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2 chocs par cycle	
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 choc par cycle	

0 correspond au contact ouvert

1 correspond au contact fermé

0 correspond à l'absence de choc

1 correspond à l'existence d'un choc

β) choix des cycles de retours des différentes directions.

Par ouverture ou fermeture des contacts A1 A2 A3 de BA et C1 C2 C3 de BM, il est possible de composer n'importe quel cycle de retour des 8 directions.

Si l'on ajoute les possibilités fournies par les contacts B1, B2, B3 de BA, on a ainsi une manière très simple de déterminer les directions du cycle, la durée d'apparition de chacune de ces directions, et le nombre et la position des chocs dans le cycle.

./...

./...

Dans le tableau suivant :

- 0 correspond au contact ouvert
- 1 correspond au contact fermé
- les directions sont désignées par les chiffres de 1 à 8
- la notation symbolique $x^{\alpha} y^{\beta} z^{\gamma}$, etc... signifie :
apparition successive des directions x y puis z, x occupant $\frac{\alpha}{8}$ cycle,
y occupant $\frac{\beta}{8}$ cycle, z occupant $\frac{\gamma}{8}$ cycle.

./...

5.- LA CAISSE BR.

a)- Schéma électrique.

Le schéma se passe de commentaires.

b)- Composants.

- Les relais R₁ C, R₂ C, R₃ C et R₁ M, R₂ M, R₃ M sont des relais alimentés en 110 V CA, quadripolaires, bipolaires ou monopolaires.
- Les relais R₁ a,b,c, R₂ a,b,c, R₃ a,b,c sont des relais alimentés en 12 V CC quadripolaires, bipolaires ou monopolaires.
- R D A B est un transformateur abaisseur de tension, 110 V CA au primaire, 12 V CA au secondaire, complété par un redresseur au silicium fournissant un courant continu de 12 V CC.
- CMBC et CMBM sont des connecteurs SOURIAU à éléments assemblés série 8140 à 10 contacts, type 200-120 sur la caisse BR et 200,223 sur les câbles de liaison.
- CMBE est un connecteur SOURIAU série 8140 à 8 contacts type 116-100-120 sur la caisse BR et 115-100-223 sur le câble de liaison.
- CMBS est un connecteur rond SOURIAU série 8400 type 840-11-132 sur la caisse BR et type 840-11-870 sur le câble de liaison.

c)- Fonctionnement.

Le circuit chauffe est relativement simple. Par contre le circuit mesure est assez complexe. En effet le risque de forces électromotrices d'origine thermo-électrique apparaissant sur les contacts des relais n'est pas négligeable.

Nous avons donc choisi des relais en 12 V CC qui chauffent peu, et avons réalisé un montage symétrique, obligeant le circuit mesure à traverser toujours 2 relais en sens inverse, ce qui annule, en les opposant, les forces électromotrices parasites qui pourraient être créées par effet thermoélectrique dans ces relais.

Le dispositif perd évidemment en fiabilité, mais s'est montré à l'usage indispensable, vu le peu d'importance des voltages transitant dans le circuit mesure (10^{-5} Volts).

6.- A S S E M B L A G E D E S D I F F E R E N T E S
C A I S S E S E T A P P A R E I L S.a)- Schéma d'assemblage.b)- Câbles d'assemblage.

- Les câbles de liaison BMBA et BMBRC sont des câbles à 8 conducteurs isolés munis aux extrémités des connecteurs déjà décrits.

o/...

-- Le câble de liaison BMBRM, BMUVA, UVA-enregistreur est un câble à deux conducteurs dont l'enveloppe blindée externe sert à la mise à la masse du blindage du circuit de mesure dans les caisses BM et BR et au cadre du micro-voltmètre UVA.

-- Le câble B a B M est un câble à cinq conducteurs.

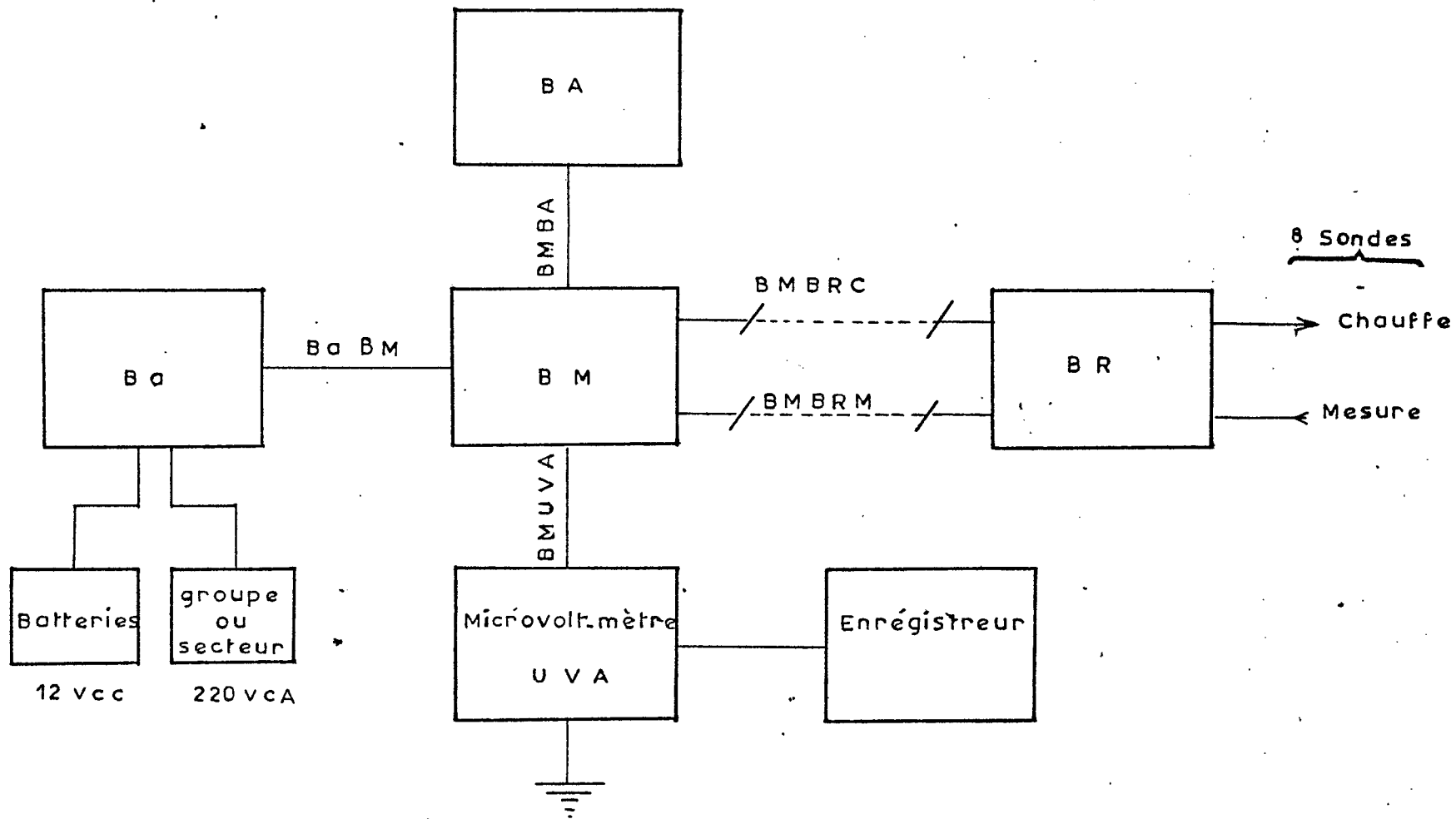
Conclusion.

La réalisation de ce matériel paraîtra certainement très sommaire et artisanale à beaucoup. Elle a cependant l'avantage de cet inconvénient, puisque l'expérience a montré que cette construction demeurerait possible à des mains inexpertes, et que, malgré cela, l'appareillage résultant répondait en tous points aux désirs qui avaient conduit à sa réalisation.

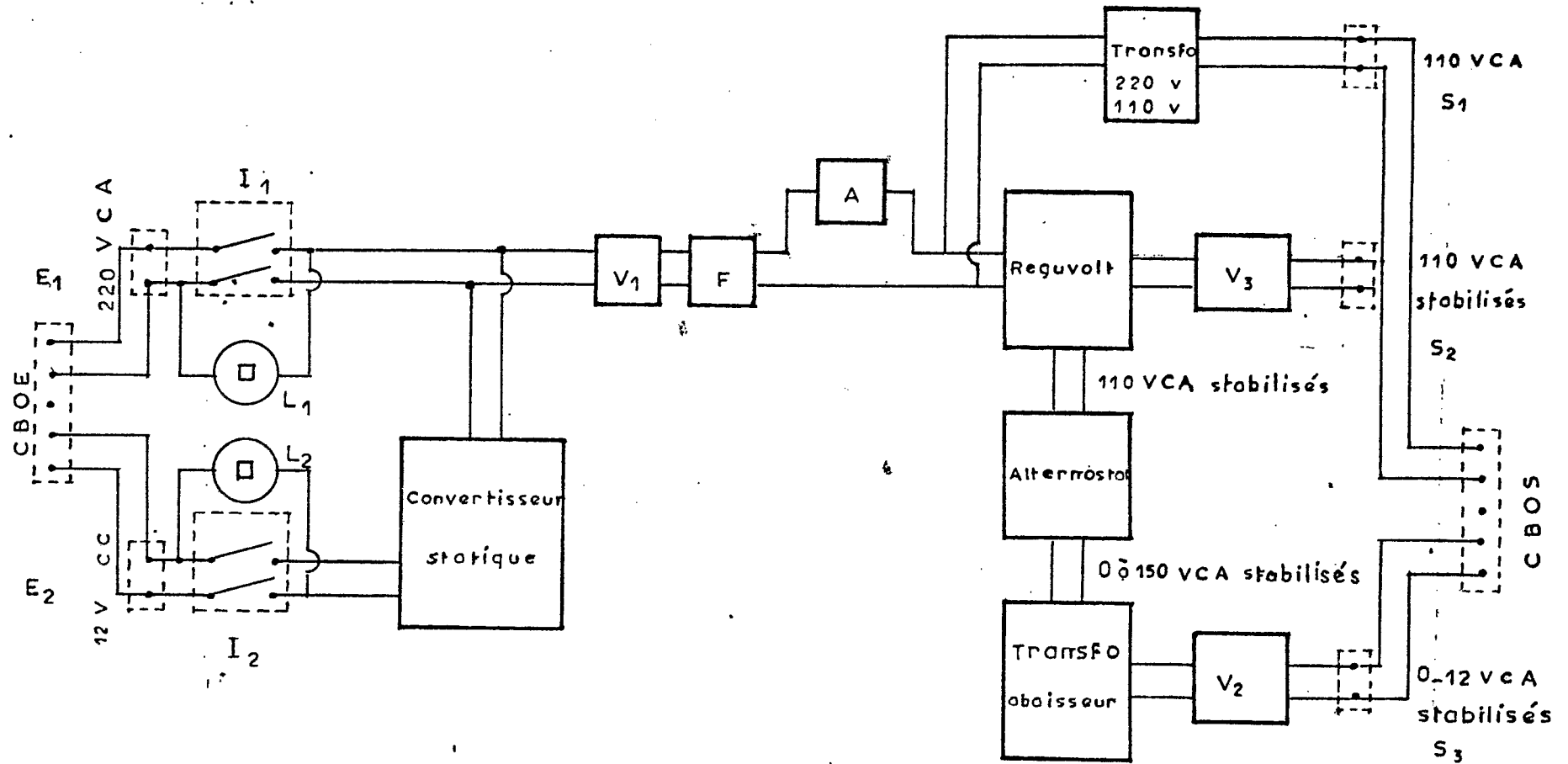
Nous serions évidemment très intéressés par toutes simplifications, améliorations ou modernisations de l'appareillage ainsi décrit, dans son ensemble ou certains de ses constituants.

—+—+—+—+—+—+—+—+—+—

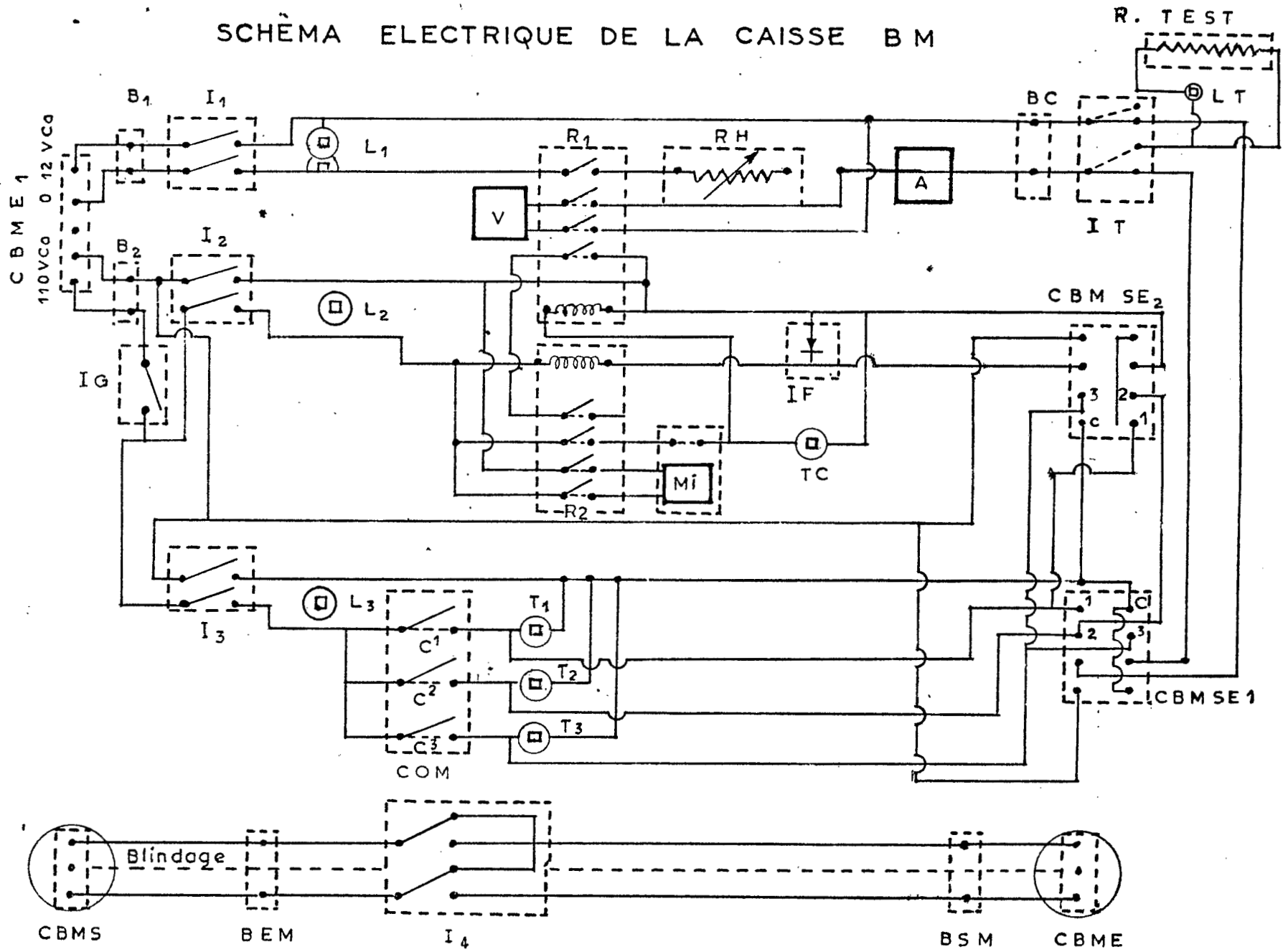
SCHÉMA D'ASSEMBLAGE.



SCHÈMA ELECTRIQUE DE LA CAISSE B a



SCHEMA ELECTRIQUE DE LA CAISSE B M



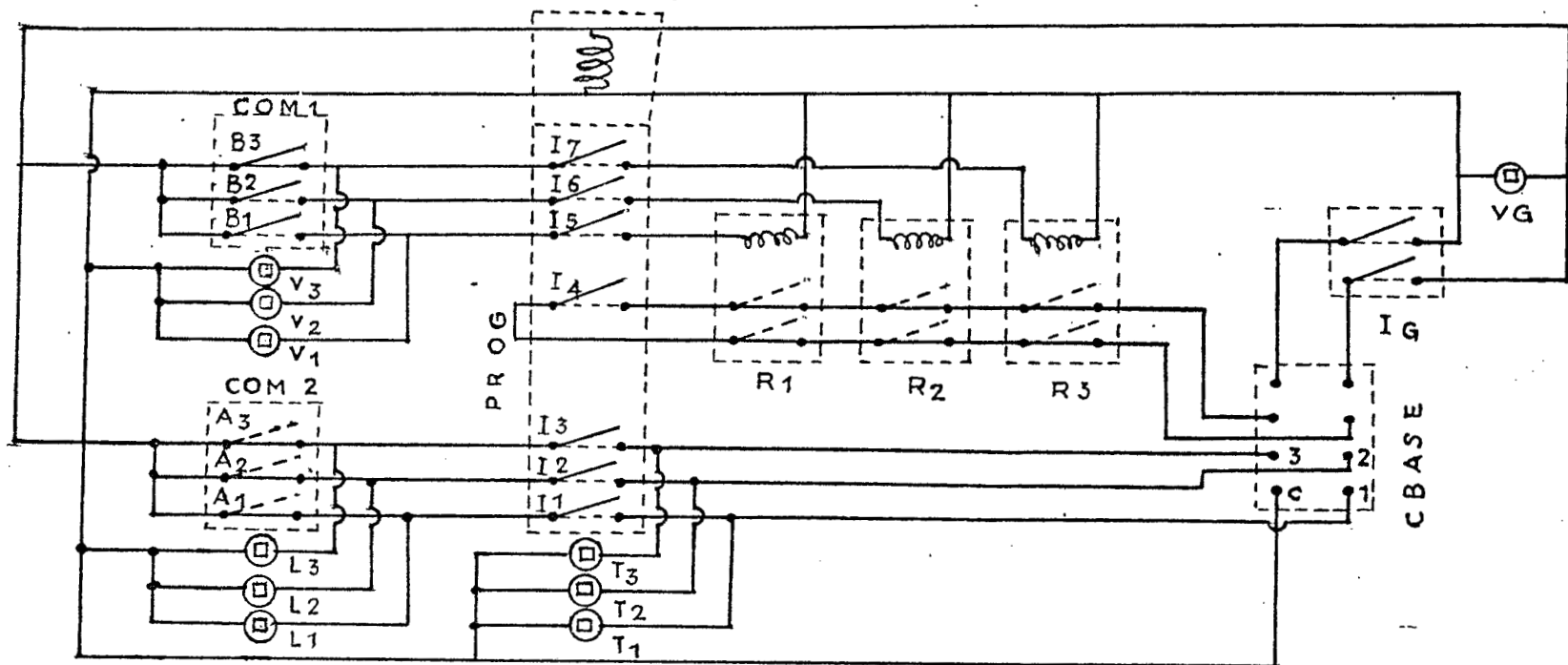
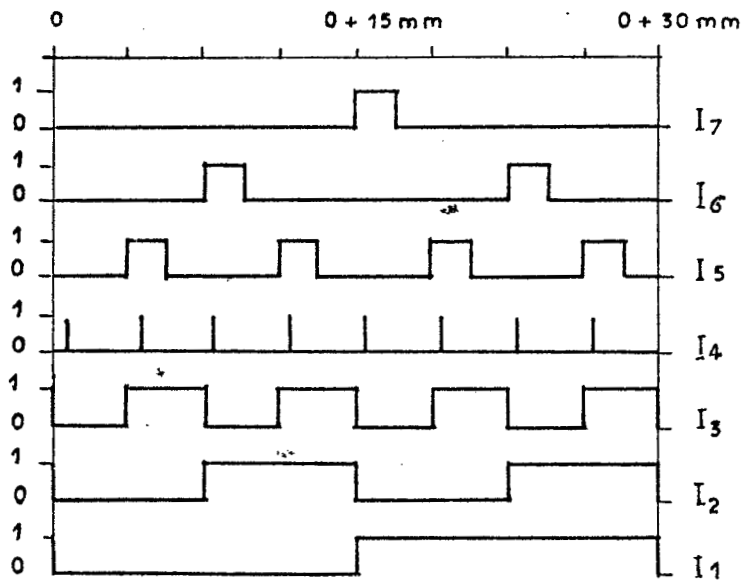


SCHÉMA ELECTRIQUE DE LA CAISSE B A



PROFILS DES CAMES DU PROGRAMME PROG.

SCHEMA ELECTRIQUE DE LA CAISSE BR

