

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

D.20

DEUX APPAREILS DE MESURE
DU CHAMP ELECTRIQUE NATUREL

par

André COLOMBET, Pierre HUBERT

DIVISION DE LA PHYSIQUE

Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay

Rapport CEA-R-4809

1977

Ca

SERVICE DE DOCUMENTATION

PLAN DE CLASSIFICATION DES RAPPORTS ET BIBLIOGRAPHIES CEA

(Classification du système international de documentation nucléaire SIDON/INIS)

A 11	Physique théorique	C 30	Utilisation des traceurs dans les sciences de la vie
A 12	Physique atomique et moléculaire	C 40	Sciences de la vie : autres études
A 13	Physique de l'état condensé	C 50	Radioprotection et environnement
A 14	Physique des plasmas et réactions thermonucléaires		
A 15	Astrophysique, cosmologie et rayonnements cosmiques	D 10	Isotopes et sources de rayonnements
A 16	Conversion directe d'énergie	D 20	Applications des isotopes et des rayonnements
A 17	Physique des basses températures		
A 20	Physique des hautes énergies	E 11	Thermodynamique et mécanique des fluides
A 30	Physique neutronique et physique nucléaire	E 12	Cryogénie
		E 13	Installations pilotes et laboratoires
B 11	Analyse chimique et isotopique	E 14	Explosions nucléaires
B 12	Chimie minérale, chimie organique et physico-chimie	E 15	Installations pour manipulation de matériaux radioactifs
B 13	Radiochimie et chimie nucléaire	E 16	Accélérateurs
B 14	Chimie sous rayonnement	E 17	Essais des matériaux
B 15	Corrosion	E 20	Réacteurs nucléaires (en général)
B 16	Traitement du combustible	E 30	Réacteurs nucléaires (types)
B 21	Métaux et alliages (production et fabrication)	E 40	Instrumentation
B 22	Métaux et alliages (structure et propriétés physiques)	E 50	Effluents et déchets radioactifs
B 23	Céramiques et ciments		
B 24	Matériaux plastiques et autres matériaux	F 10	Économie
B 25	Effets des rayonnements sur les propriétés physiques des matériaux	F 20	Législation nucléaire
B 30	Sciences de la terre	F 30	Documentation nucléaire
		F 40	Sauvegarde et contrôle
C 10	Action de l'irradiation externe en biologie	F 50	Méthodes mathématiques et codes de calcul
C 20	Action des radioisotopes et leur cinétique	F 60	Divers

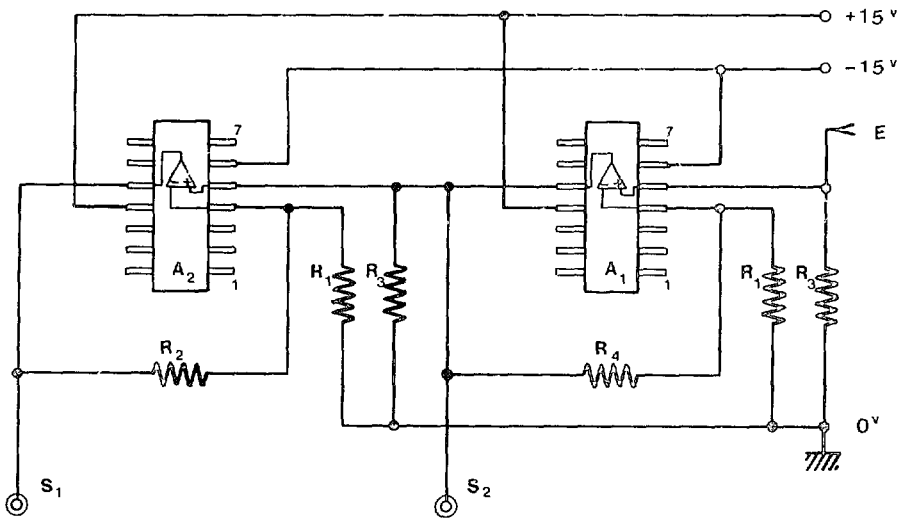
Rapport CEA-R-4809

Cote-matière de ce rapport : D.20

DESCRIPTION-MATIERE (mots clefs extraits du thesaurus SIDON/INIS)

<i>en français</i>	<i>en anglais</i>
ELECTROMETRES	ELECTROMETERS
JAUGES RADIOMETRIQUES	RADIOMETRIC GAGES
PERFORMANCE	PERFORMANCE
SPECIFICATIONS	SPECIFICATIONS
FOUDRE	LIGHTNING

SCHEMA DE L'AMPLIFICATEUR.



$$R_1 = R_3 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 75 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = 237 \text{ k}\Omega$$

$A_1 = A_2$ Amplificateur opérationnel

type SN 72 741

Fig. 9

- Rapport CEA-R-4809 -

Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay
Division de la Physique
Service d'Electronique Physique

DEUX APPAREILS DE MESURE
DU CHAMP ELECTRIQUE NATUREL

par

André COLOMBET, Pierre HUBERT

Février 1977

CEA-R-4809 - COLOMBET André, HUBERT Pierre

DEUX APPAREILS DE MESURE DU CHAMP ELECTRIQUE NATUREL

Sommaire.- Ce rapport décrit deux appareils de mesure du champ électrique naturel qui sont en service à la station de St PRIVAT d'ALLIER pour les besoins des expériences sur les éclairs déclenchés artificiellement. Le premier est un électromètre à sonde radioactive utilisé comme appareil d'alarme. Le second est un moulin à champ qui permet d'enregistrer les variations du champ électrique au cours du déclenchement des éclairs. On donne quelques exemples des résultats obtenus.

1977

29 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

CEA-R-4809 - COLOMBET André, HUBERT Pierre

TWO DEVICES FOR ATMOSPHERIC ELECTRIC FIELD MEASUREMENT

Summary.- Description is given of two instruments installed at St PRIVAT d'ALLIER for electric field measurement in connection with the rocket triggered lightning experiment program. The first one is a radioactive probe electrometer used as a warning device. The second is a field mill used for tape recording of electric field variation during the triggering events. Typical examples of such records are given.

1977

29 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

I - INTRODUCTION.

II - ELECTROMETRE A SONDE RADIOACTIVE.

II.1 - Principe.

II.2 - Description.

II.3 - Circuit de mesure.

III - MOULIN A CHAMP.

III.1 - Principe général.

III.2 - Intérêt des ailettes crantées.

III.3 - Description.

. Tête de mesure.

. Circuit d'alimentation et de commande.

. Enregistreur.

. Abri support.

IV - ETALONNAGE.

IV.1 - Remarques générales.

IV.2 - Méthode employée.

V - QUELQUES RESULTATS.

Bibliographie.

Légende des figures.

DEUX APPAREILS DE MESURE DU CHAMP ELECTRIQUE NATUREL

I - INTRODUCTION.

Depuis la découverte du champ électrique naturel par les physiciens du 18^è siècle des appareils nombreux et variés ont été construits pour mesurer ce champ et pour étudier ses variations. Les procédés utilisés ont évolué au cours des années, ils sont abondamment décrits dans les ouvrages classiques sur l'électricité atmosphérique comme, par exemple, le traité de CHALMERS (1). Les mesures de champ électrique sont poursuivies de nos jours pour des recherches diverses. Celles qui sont évoquées dans le présent rapport ont lieu à la station de St PRIVAT d'ALLIER (2) où l'on étudie la foudre en exploitant la technique des éclairs déclenchés au moyen d'une petite fusée entraînant un mince fil métallique. Dès la conception de cette station en tenant compte des précédentes observations de NEWMAN (3), les responsables ont eu conscience de la nécessité de connaître la valeur du champ électrique afin de tirer chaque fusée à un instant propice. Il fut alors décidé de lancer une double action, l'équipe EDF se chargeant de construire un électromètre rotatif du type couramment appelé *Moulin à Champ* tandis que l'équipe de SACLAY entreprenait la fabrication d'un électromètre à sonde radioactive. Le moulin à champ réalisé à cette occasion (Moulin à champ EDF) est décrit dans la référence (4), il a fonctionné de façon très satisfaisante au cours des campagnes qui se sont succédées chaque été depuis 1973. Les indications fournies par cet appareil sont affichées sous les yeux de l'agent qui se tient au pupitre de commande et lui permettent de prendre la décision de tir. Par contre le principe de la sonde radioactive implique une constante de temps de plusieurs dizaines de secondes, ce qui est trop lent pour permettre une décision rapide compte tenu des variations brutales qui se produisent au cours d'un orage. Toutefois il est apparu qu'un appareil autonome avec une consommation électrique minime est fort utile comme appareil de veille fonctionnant en permanence et déclenchant un signal dès que le champ dépasse une certaine valeur. L'électromètre à sonde radioactive construit en 1973 a été facilement adapté à cette tâche. C'est le premier des deux appareils décrits dans le présent rapport. Il s'agit d'un dispositif sans prétention en ce qui concerne la précision des mesures mais il est simple, robuste et bien adapté à sa fonction qui est de donner l'alarme au moment opportun.

En 1974 le déroulement du programme conduisit à envisager l'enregistre-

ment des variations du champ électrique au cours des tirs produisant les éclairs déclenchés. Une première tentative avec le moulin à champ EDF relié à un enregistreur magnétique aboutit à un succès partiel. Les trois principaux éléments du montage (moulin à champ, enregistreur et générateur électrique) étaient distants les uns des autres de plusieurs dizaines de mètres ce qui rendait l'installation assez vulnérable aux effets d'induction sur les câbles de liaison. Ceci conduisit à la conception d'un ensemble monobloc avec tous les éléments inclus dans le même abri métallique. Cet ensemble constitue le deuxième appareil décrit ci-après. Il a fonctionné de façon irréprochable après sa mise en service au début de l'été 1975.

II - ELECTROMETRE A SONDE RADIOACTIVE.

II.1 - Principe.

Le principe de l'électromètre à sonde radioactive consiste à disposer au-dessus du sol une électrode isolée, appelée sonde, dont le potentiel à l'équilibre est égal au potentiel local. La mise en équilibre est normalement très lente à cause de la grande résistivité de l'air. On peut l'accélérer par divers artifices dont le plus moderne consiste à utiliser une petite source radioactive qui produit une faible ionisation au voisinage de la sonde.

Il suffit de mesurer la différence de potentiel entre la sonde et le sol pour connaître la valeur du champ électrique local mais cette mesure apparemment très simple est en réalité extrêmement délicate. D'une part l'électrode isolée, et surtout, son support perturbent le champ à mesurer. D'autre part la source de courant que constitue l'atmosphère possède une résistance interne très élevée. La première difficulté n'interdit pas les mesures relatives au moins en première approximation ; elle sera discutée au chapitre *Etalonnage*. La seconde difficulté oblige à supporter la sonde avec un isolateur d'une qualité irréprochable et à mesurer son potentiel avec un montage à très haute impédance. Ces exigences sont sévères malgré l'amélioration apportée par la source radioactive car celle-ci doit être faible pour ne pas créer une perturbation intolérable et aussi pour ne pas créer un problème de sécurité.

II.2 - Description.

Pour la réalisation nous avons adopté la plupart des caractéristiques d'un appareil similaire construit précédemment par REBOTIER (5) lequel mérite la gratitude des auteurs auxquels il a aimablement communiqué des informations fort utiles.

Parmi les deux dispositifs décrits par REBOTIER, le dispositif à fil tendu horizontal présente l'avantage de se prêter à des mesures absolues. Mais, pour bénéficier de cet avantage il convient de prendre des précautions minutieuses entraînant un effort difficilement compatible avec l'objectif principal de la station. Aussi avons nous préféré adopter le dispositif le plus simple et le plus robuste qui consiste en une cloche isolée supportée par une perche verticale.

La figure 1 représente la sonde avec la cloche en inox, l'isolateur en téflon corrugué protégé par une chicane et deux sources d'Am 241 solidaires de la cloche par l'intermédiaire d'un support métallique.

Les sources d'américium contiennent 250 microcuries chacune. Ce sont des sources non polluantes (référence SAC.2) où le produit actif est présent dans une mince pellicule d'émail déposé sur un support d'alumine. Elles sont disposées la

tête en bas pour éviter la présence d'un film d'eau en cas de pluie et pour diminuer les risques de salissure par ces corps étrangers. Ces éventualités méritent d'être prises en considération étant donné le faible pouvoir de pénétration des particules α qui constituent le principal rayonnement ionisant émis par ces sources.

Une protection contre les risques d'éraflure est assurée par une grille en fils d'acier inoxydable dont la transparence est de 75 %.

La sonde est fixée au sommet d'une perche métallique de 2 mètres. Il a paru préférable d'éviter l'emploi d'une perche isolante dont la résistivité superficielle peut varier de façon erratique selon les conditions atmosphériques.

II.3 - Circuit de mesure.

Un câble coaxial à grand isolement relie la tête de la sonde au circuit de mesure lequel est contenu dans une enceinte métallique étanche et garnie d'un produit desséchant (actigel).

Dans le schéma électrique qui est représenté sur la figure 2, la pièce maîtresse est constituée par un diviseur résistif dont la branche principale contient deux résistances VICTOREEN de 10^{11} ohms chacune. La mesure est effectuée avec un transistor MOS à effet de champ. Le courant détecté traverse un microampèremètre à zéro central pour la lecture visuelle et un relai galvanométrique (sensitact BRION LEROUX) qui est le premier maillon d'une chaîne aboutissant à l'avertisseur sonore.

L'alimentation est assurée par une batterie de 24 volts 40 ampères heure qui autorise un fonctionnement permanent durant 3 mois.

Il est possible de court-circuiter une partie du diviseur pour obtenir une deuxième gamme de sensibilité. On peut aussi mettre l'électrode isolée à la masse pour contrôler le zéro de l'appareil qui a tendance à subir une légère dérive en fonction de la température et de l'état de la batterie. Ces deux manoeuvres utilisent des commandes pneumatiques qui permettent de les effectuer au cours d'un orage sans danger pour le personnel. La lecture se fait alors par une fenêtre de la cage de Faraday d'où l'on voit l'enceinte de mesure ainsi qu'elle apparaît sur la figure 3.

L'étalonnage de l'électromètre est effectué en relevant les déviations du microampèremètre en fonction de la tension appliquée sur la tête de mesure au moyen d'un générateur auxiliaire. On obtient ainsi les courbes de la figure 4. En usage normal le sensistact est réglé pour déclencher le klaxon lorsque la valeur absolue du courant dépasse $5 \mu A$. Ceci correspond, grosso modo, à un champ de 500V/m.

III - MOULIN A CHAMP.

III.1 - Principe général.

Le principe du moulin à champ repose sur une loi d'électrostatique selon laquelle un champ électrique normal à la surface d'une électrode conductrice fait apparaître une charge électrique superficielle dont la densité est proportionnelle à l'intensité du champ. Si cette électrode est reliée à la masse par un fil conducteur, celui-ci est parcouru par un courant transitoire provoqué par le déplacement des charges, au moment de l'établissement ou de la suppression du champ. En pratiquant cette manoeuvre de façon périodique, on fait apparaître un courant alternatif, facile à amplifier et dont la mesure indique la valeur du champ.

Le mode de réalisation habituel consiste à employer deux disques métal-

liques, chacun étant découpé pour former n ailettes planes, identiques de largeur angulaire $\alpha = \frac{\pi}{n}$ radian et séparée par un vide ayant la même largeur α .

Les disques à ailettes sont disposés coaxialement, très près l'un de l'autre. Le disque extérieur tourne à la vitesse N tours par seconde et demeure au potentiel de la masse. Le disque intérieur qui est fixe est relié à la masse par la résistance de charge R .

Le signal de mesure aux bornes de R est approximativement sinusoïdal à la fréquence $f = r \times N$. La charge qui circule pendant une demi période se calcule à partir de la formule de POISSON

$$Q = \frac{\epsilon_0}{4\pi} S E$$

S étant la partie variable de la surface exposée au champ E c'est-à-dire, pratiquement la surface des ailettes.

En unités usuelles avec Q en coulombs, S en cm^2 et E en volts par mètre on obtient :

$$Q = 8,84 \times 10^{-16} S E$$

Pour fixer les idées supposons $f = 10^3$ HERTZ et $S = 50 \text{ cm}^2$. On calcule alors un courant efficace $I_{\text{eff}} = 6,2 \cdot 10^{-11} \times E$ ampères. Aux bornes d'une résistance $R = 10^4 \Omega$ on obtient un signal $I_{\text{eff}} = 6,2 \cdot 10^{-7} E$ volts.

Compte tenu du facteur géométrique provenant du support (voir chapitre IV) les valeurs de E varient entre 10^3 (beau temps) et 10^5 (orage), approximativement, de sorte qu'on obtient un signal ayant un ordre de grandeur commode avec

$$6 \cdot 10^{-4} \lesssim U_{\text{eff}} \lesssim 6 \cdot 10^{-2} \text{ volts}$$

III.2 - Intérêt des ailettes crantées.

Le dispositif décrit au paragraphe précédent ne se prête pas aisément à l'observation de la polarité du champ. En effet, une inversion de polarité se traduit seulement par un déphasage égal à π entre le signal alternatif et la position du rotor.

Une façon commode de mettre en évidence ce déphasage consiste à créer une dissymétrie mécanique qui déforme le signal pour que la sinusoïde se transforme en une courbe voisine de la dent de scie. Pour cela nous avons utilisé des ailettes crantées dont le principe est expliqué sur la figure 5. Dans le cas idéal d'ailettes infiniment minces avec une distance nulle entre rotor et stator et avec une résistance de charge très faible, le signal aurait la forme en escalier représentée par la courbe pleine. En pratique, les effets de bord arrondissent les discontinuités pour aboutir à la courbe en traits mixtes. Les oscillogrammes de la figure 6 montrent le signal réellement obtenu selon que la polarité est positive ou négative.

III.3 - Description.

Les principaux éléments du montage sont : la tête de mesure, le circuit d'alimentation et de commande, l'enregistreur magnétique et l'abri support. Ces divers éléments sont décrits ci-après.

III.3 - a) Tête de mesure.

La tête de mesure est représentée sur la figure 7. Elle comprend le moulin proprement dit, l'électronique associée et un capot.

Le moulin est fait de deux plateaux avec 24 ailettes crantées, chacun. L'un des plateaux est fixe (stator) l'autre est entraîné par un moteur (rotor). La forme et les dimensions des ailettes apparaissent sur la figure 8. Ces pièces sont découpées dans de la tôle d'inox de 1mm d'épaisseur. Une dorure superficielle et un nettoyage sérieux garantissent l'absence de pellicule isolante pouvant supporter des charges parasites. L'électrode fixe est supportée par 3 isolateurs en teflon dont le dessin est étudié pour conserver un bon isolement même dans des conditions d'humidité sévères. L'électrode tournante est mise à la masse par deux balais en graphite appuyant sur son axe.

Le moteur est un moteur asynchrone de 10 watts alimenté sous 220 volts et tournant à 2500 tours par minute, compte tenu du glissement. Il s'ensuit que la fréquence du signal f proche de 1000 Hz.

Le capot est étanche, il joue aussi le rôle de blindage électrique. On a pris soin d'éviter les arêtes vives qui risqueraient de favoriser l'effet couronne lorsque le capot est intense. Ce capot contient aussi le circuit électronique dont le schéma est représenté sur la figure 9. Deux amplificateurs opérationnels SN 72741 sont montés en série. Deux sorties coaxiales donnent le signal amplifié avec deux gains différents.

III.3 - b) Circuit d'alimentation et de commande.

Le circuit d'alimentation et de commande apparaît sur la figure 10.

L'alimentation se fait par batterie 30 volts 40 A-heure avec un convertisseur Aérospatiale C S M 130 - 50 Hz - 500 VA. La commande pneumatique est double pour diminuer le risque de défaillance humaine.

A la sortie du convertisseur, le relai n°2 comporte un contact temporisé qui permet de survolter le moteur du moulin pendant 3 secondes afin que le démarrage soit plus rapide. Cette disposition a été rendue nécessaire par le court laps de temps qui s'écoule entre la décision de tir et la mise à feu.

III.3 - c) Enregistreur.

L'enregistreur est un appareil Schlumberger modèle MP 5421, fonctionnant en modulation de fréquence. La bande magnétique se déroule à la vitesse maximum qui est de 38 cm/s. On a ainsi une bande passante comprise entre 0 et 5 KHz. La durée d'une bobine est de 30 mn.

L'impédance d'entrée, supérieure à 50 k Ω et le niveau d'entrée (de 0,1 V à 10 v) autorisent un branchement direct sur les deux cables coaxiaux issus de la tête. Toutefois il est apparu nécessaire d'insérer une capacité de 10 μ Fd en série pour éliminer une composante continue indésirable.

La lecture peut se faire soit à l'oscillographe, soit avec un enregistreur sur papier UV tel que le modèle Schlumberger O M 4501.

III.3 - d) Abri support.

L'abri support est entièrement métallique afin de constituer un blindage contre les redoutables perturbations électromagnétiques au voisinage des éclairs déclenchés.

La disposition générale avec l'emplacement des divers composants apparaît

sur la figure 11 a, une photographie de l'ensemble est montrée sur la figure 11 b.

Une potence en col de cygne soutient la tête à 2,3 m au-dessus du sol avec la face active orientée vers le bas. Cette orientation est avantageuse pour éviter les effets de la pluie. Bien entendu, elle modifie le coefficient d'étalonnage ce qui n'est pas grave puisque celui-ci doit être mesuré de toute façon.

L'abri est réalisé en tôles d'acier de 1 mm montées sur un châssis en cornières avec de nombreux points de soudure. Une couche de peinture blanche évite les trop grandes excursions de température.

Les batteries dans des bacs en alcodur sont dans un compartiment spécial pour éviter les dégats possibles avec les vapeurs acides.

IV - ETALONNAGE.

IV.1 - Remarques générales.

La mesure, en valeur absolue, du champ électrique naturel au sol, est une entreprise difficile dont les résultats doivent être assortis de commentaires qui en limitent beaucoup la portée. Cette opinion s'appuie sur le fait que la valeur du champ électrique à un instant et en un endroit donné résulte d'un grand nombre de paramètres. Ceux-ci peuvent être classés en trois groupes.

a) Quantité et répartition géométrique des charges électriques dans les nuages

b) Propriétés électriques de l'atmosphère entre les nuages et le sol. Ces propriétés comprennent la conductibilité et la charge d'espace. Elles peuvent varier d'un endroit à l'autre dans de larges limites.

c) Conditions aux limites fixées par le sol et les divers objets au sol. Etant donné la faible conductibilité de l'atmosphère, cet ensemble peut être considéré comme un conducteur parfait.

En principe, le groupe a ne doit pas provoquer d'inquiétude lorsque le but de la mesure est précisément d'accéder à la connaissance des paramètres de ce groupe. En outre, les nuages sont à une altitude suffisante pour que la longueur caractéristique de variation au niveau du sol soit plutôt de l'ordre de quelques centaines de mètres.

Le groupe c pose un problème mathématique classique puisqu'il s'agit de résoudre l'équation de LAPLACE avec des limites géométriques données. Il existe des méthodes pour résoudre ce problème même si la géométrie est compliquée. De toute façon la répartition des équipotentielles reste semblable à elle-même quelle que soit l'intensité du champ de sorte que pour tenir compte d'une protubérance telle que le support du moulin à champ, il suffit d'établir une fois pour toute, un coefficient qui représente le rapport entre l'intensité du champ sur la face active du moulin et l'intensité à bonne distance. Le terme *bonne distance* peut être défini sans ambiguïté si l'appareil est disposé sur un terrain plat de grandes dimensions, mais la question est plus épineuse en ce qui concerne le terrain de St PRIVAT où les aspérités ne manquent pas.

Le groupe de paramètres b est celui qui soulève les plus graves difficultés car il s'agit de grandeurs variables et mal connues. Par exemple, pour les grandes valeurs du champ, les diverses aspérités émettent des ions par effet couronne, ce qui perturbe à la fois la charge d'espace et la conductibilité et cela, dans un sens qui tend à diminuer la grandeur mesurée. L'ensemble des phénomènes est com-

plexe puisqu'un rôle important est joué par des facteurs tels que l'humidité ou la vitesse du vent. L'étude sérieuse de la variabilité du coefficient d'écalonnage entraînerait un travail énorme que nous n'avons pas envisagé.

IV.2 - Méthode employée.

La méthode employée résulte du travail de nos collègues d'EDF. Le principe illustré sur la figure 12, consiste à comparer le moulin de mesure avec un moulin de référence placé dans une fosse avec la face active tournée vers le haut et affleurant le niveau du sol, de telle sorte que le champ n'est pas perturbé.

Chaque appareil est étalonné en insérant chaque tête dans un condensateur plan constitué par deux plaques métalliques parallèles, suffisamment larges pour éviter les effets de bord. Les courbes de la figure 13 ont été obtenues de cette façon pour le moulin de mesures.

Finalement, on a trouvé un coefficient d'étalonnage égal à 8,5 pour le rapport entre le champ réel sur la face active de l'appareil de mesure installé à son emplacement habituel et le champ réel, au même instant sur l'appareil de référence dans sa fosse, en terrain plat, à une centaine de mètres du premier. Ce coefficient est valable pour les champs faibles et moyens ; il n'a pas été possible de l'étudier pour les champs élevés par suite de servitudes expérimentation aggravées par le fait que l'appareil de référence ne supporte pas la pluie.

Le bruit de fond est de 25 mV sur S1 et de 5 mV sur S2 alors qu'un signal de la même amplitude serait donné par un champ réel de 15 volts par mètre en terrain plat. Ce bruit est donc compatible avec la mesure du champ de beau temps, lequel est de l'ordre de 150 V/m.

V - QUELQUES RESULTATS.

Les deux figures 14 a et 14 b représentent deux exemples typiques d'enregistrements obtenus lors du déclenchement d'un éclair.

La figure 14 a correspond au cas normal d'un éclair qui suit le fil après un tir par champ négatif.

Durant l'ascension de la fusée (période comprise entre A et B sur la figure) le champ décroît d'environ 50 % ce qui s'explique par les charges extraites du fil par effet couronne. A partir de B, au début des premières manifestations lumineuses qui accompagnent la fusion du fil, la décroissance s'accélère, le champ s'inverse et croît de façon régulière pour atteindre une valeur positive, cinq ou six fois plus grande, en valeur absolue, que le champ initial. Cette phase correspond à la décharge continue qui existe au début de tous les éclairs déclenchés et qui draine une charge électrique importante. Ensuite la courbe devient irrégulière avec des traits verticaux qui indiquent chaque réamorçage. Ces réamorçages sont trop rapides pour la bande passante du moulin, ils donnent un signal par un effet capacitif qui n'a rien à voir avec le fonctionnement normal mais qui permet tout de même d'établir la chronologie des événements.

La figure 14 b correspond au cas du déclenchement anormal d'un éclair qui ne suit pas le fil (6). Le moment A est celui du début de fusion du fil et jusqu'en C tout se passe comme dans le cas précédent. A partir de C, le processus devient différent : la luminosité du fil décroît au lieu de s'amplifier et le champ manifeste une tendance à revenir vers sa valeur initiale. Cette tendance est stoppée en D lorsque se produit la première décharge de l'éclair qui frappe dans le

voisinage. La période des réamorçages est toujours caractérisée par une variation irrégulière avec des traits verticaux.

On peut s'étonner en constatant que les réamorçages qui sont presque toujours des décharges négatives, se produisent alors que le champ est positif. Cela s'explique facilement en invoquant des charges de l'un ou de l'autre signe distribuées à des altitudes convenables.

BIBLIOGRAPHIE.

1. J.A. CHALMERS - Atmospheric electricity
Pergamon Press - Oxford (1967).
2. R. FIEUX, C. GARY, P. HUBERT
Nature 257, 212-214 (1975).
3. M.M. NEWMAN et AL
J. GEOPHYS RES 72, 4761-4764 (1967).
4. P. DUBIEZ rapport EDF - ERMEL 30009 (1974).
5. Ch. REBOTIER
BIOCLIMAT, 8, 10-12 (1972).
6. R. FIEUX, P. HUBERT
Nature 260, p 188 (1976).

Manuscrit reçu le 19 novembre 1976

LEGENDE DES FIGURES.

1. Sonde radioactive de l'électromètre.
2. Schéma électrique de l'électromètre.
3. Abri et cloche étanche contenant le circuit de mesure.
4. Courbes d'étalonnage de l'électromètre.
5. Principe des ailettes crantées.
6. Signaux du moulin à champ enregistrés à l'oscillographe.
7. Tête de mesure du moulin à champ.
8. Dessin des ailettes.
9. Schéma de l'amplificateur.
10. Schéma synoptique.
11. Abri support.
 - a - dessin.
 - b - photographie.
12. Principe de l'étalonnage
13. Courbes d'étalonnage du moulin à champ.
14. Signal du moulin à champ durant un tir dans deux cas typiques.
 - a - Déclenchement normal.
 - b - Déclenchement anormal.

SONDE RADIOACTIVE DE L'ELECTROMETRE

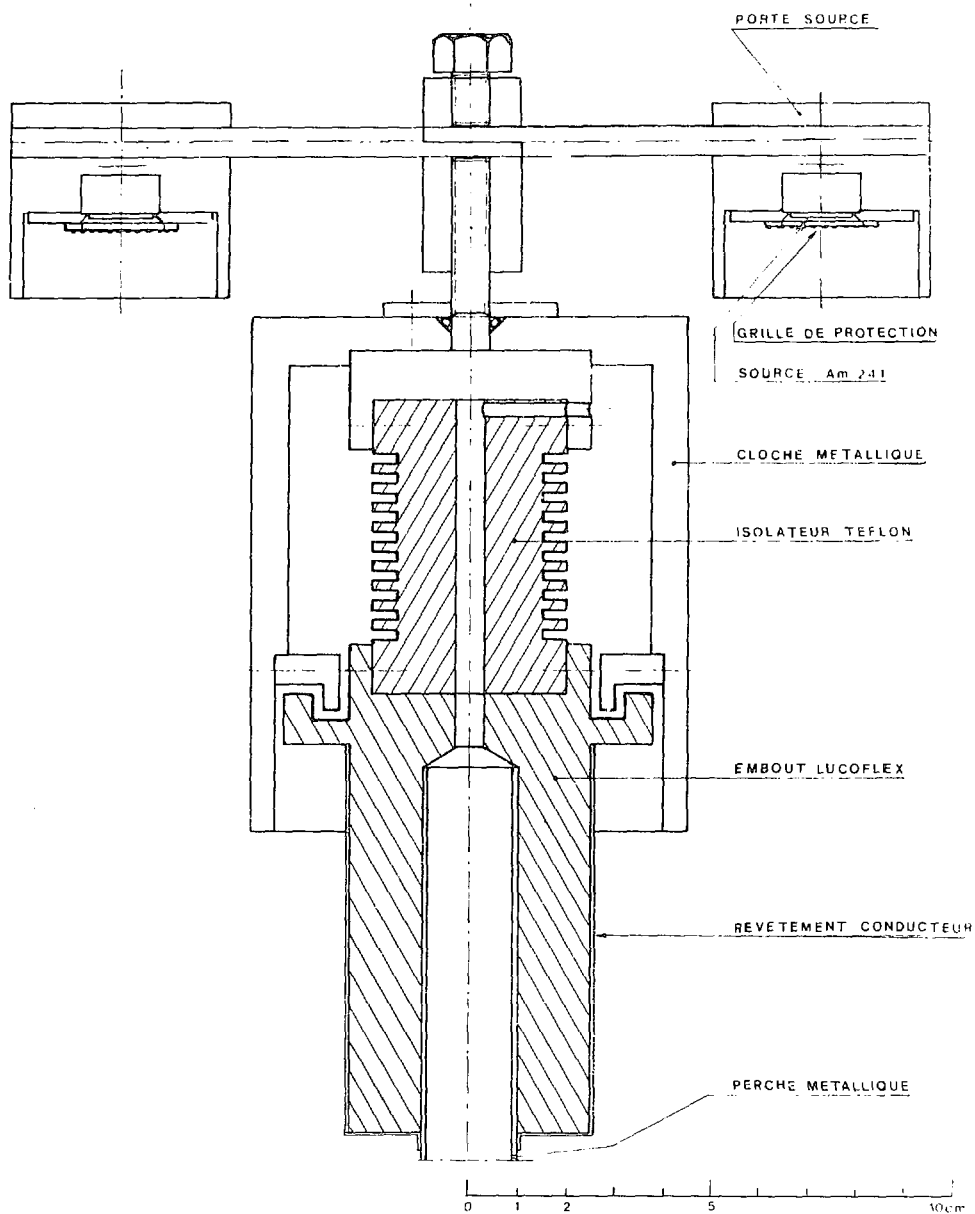
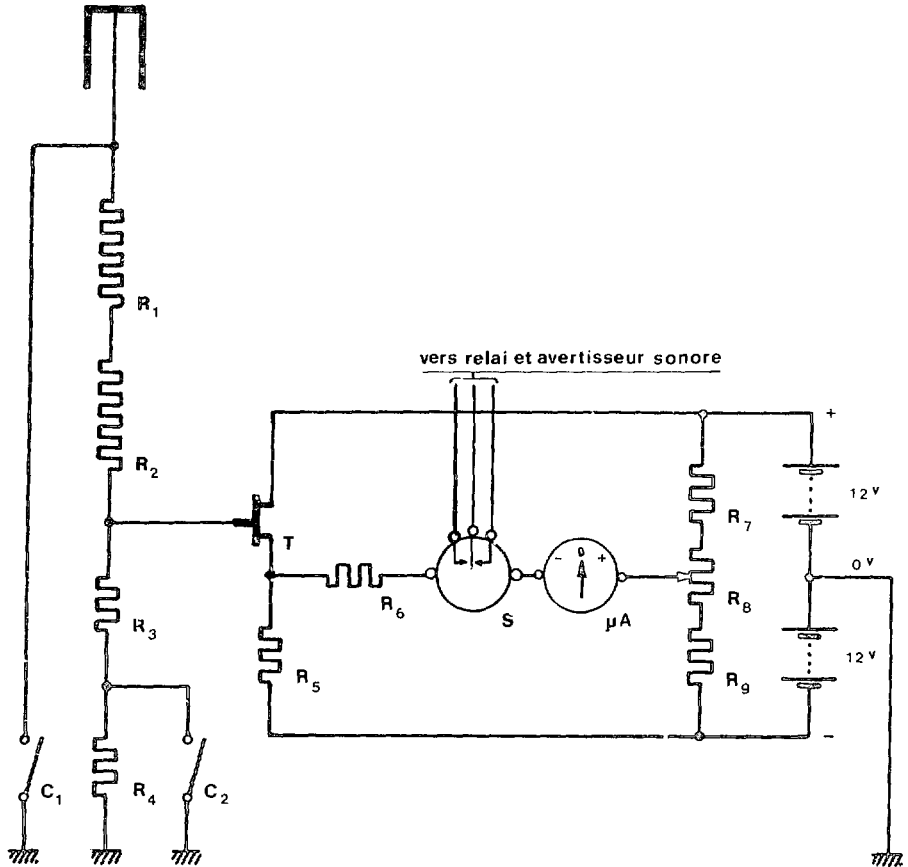


Fig.1

SCHEMA ELECTRIQUE



S: Sensitact (Brion Leroux)

μA : Microampèremètre à zéro central

C_1, C_2 : Contacteurs à commande pneumatique

R_1, R_2 : 100 k Ω

R_5 : 1960 Ω

R_8 : 100 Ω

R_3 : 25,2 M Ω

R_6 : 56 100 Ω

R_9 : 3 186 Ω

R_4 : 74 M Ω

R_7 : 2 380 Ω

T: M.O.S. - IT.108

Fig.2

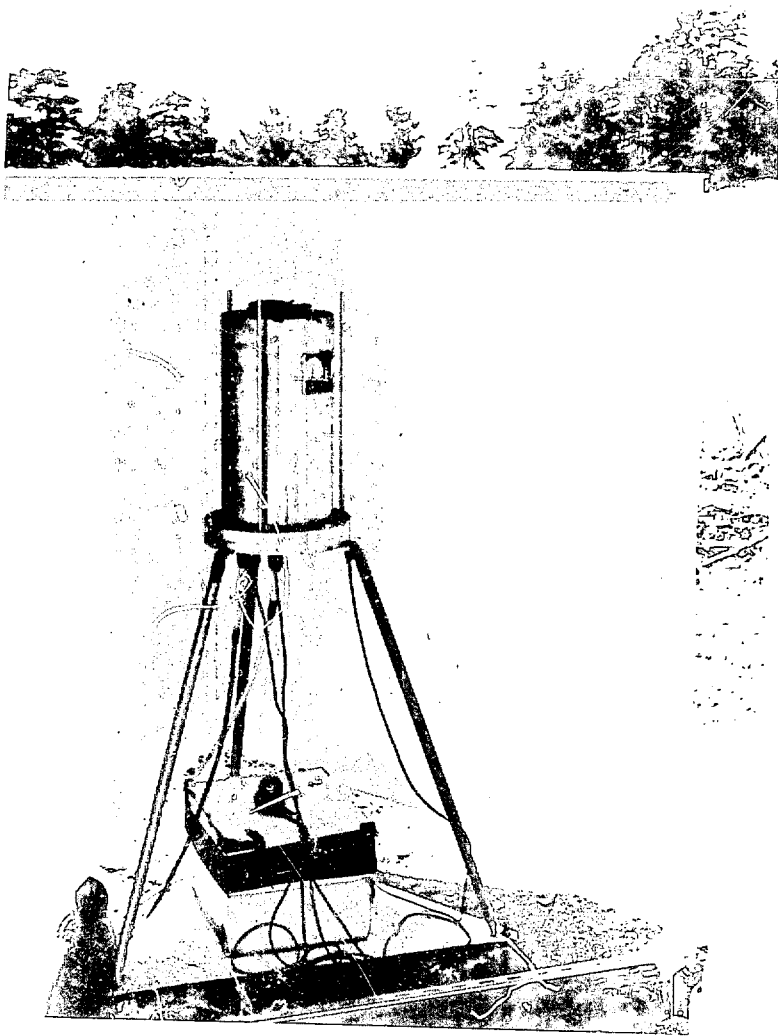


Figure 3 : Abri et cloche étanche contenant le circuit de mesure

COURBES D'ETALONAGE

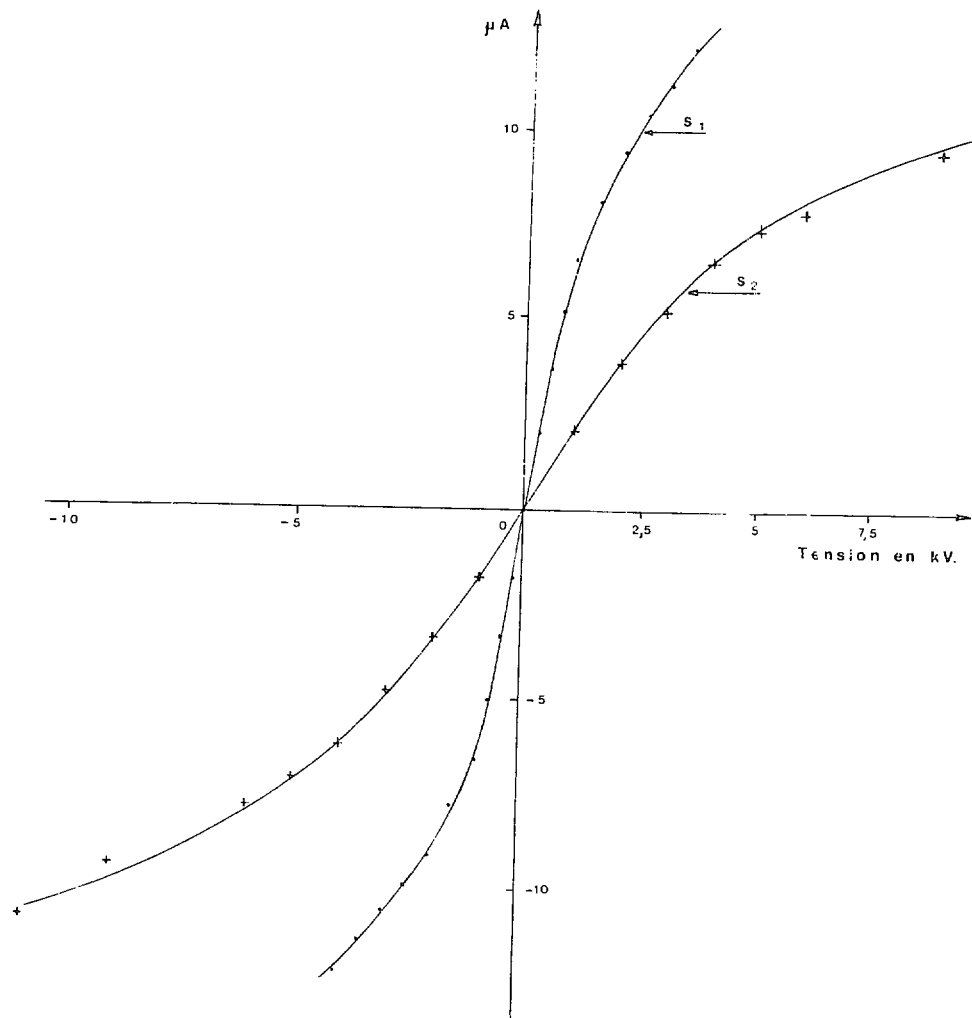
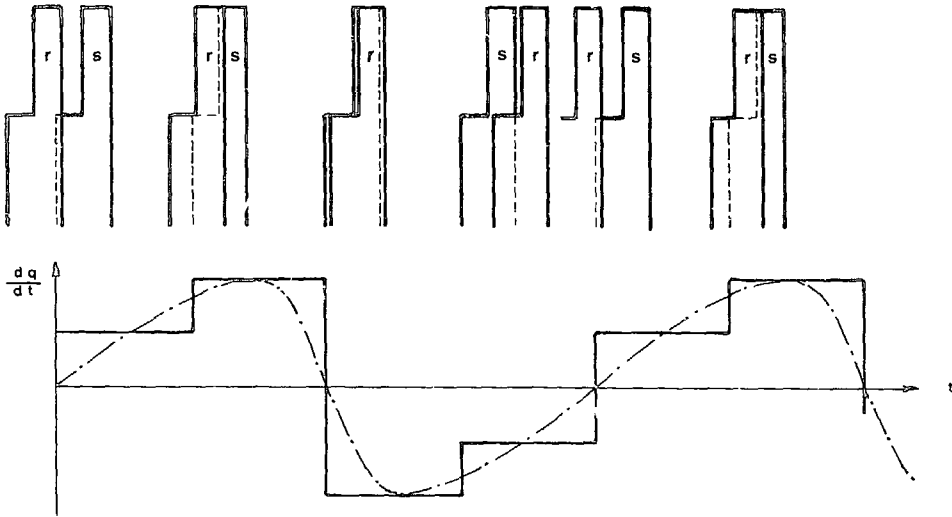


Fig. 4

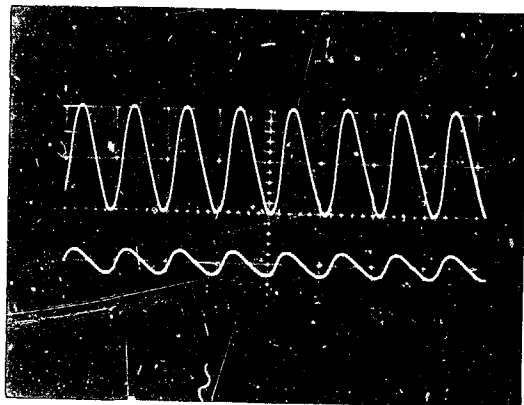


PRINCIPE DES ALIETTES CRANTEES

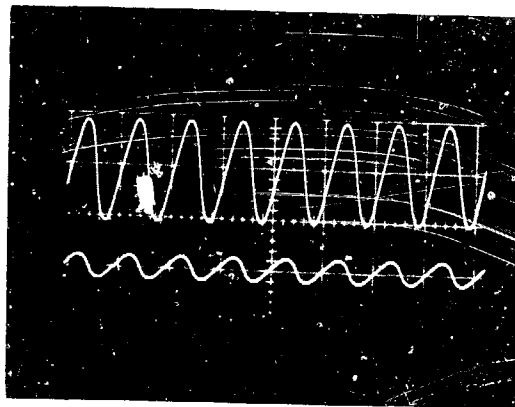
Amplitude du signal en fonction de la position relative des ailettes
du rotor (R) et du stator (S)

- Signal théorique dans un cas idéalisé
- .-.- Signal réel

Fig. 5



a



b

Signaux enregistrés à l'oscillographe

balayage 1 ms/c

sensibilité : Haut : 5 V/c

Bas : 20V/c

Fig. 6

Champ appliqué

a - + 500 V/cm

b - - 500 V/cm

TETE DE MESURE

CAPOT

MOTEUR

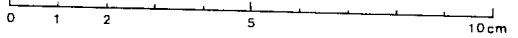
ISOLATEUR

ELECTRODE
FIXE S.

EMBOUT

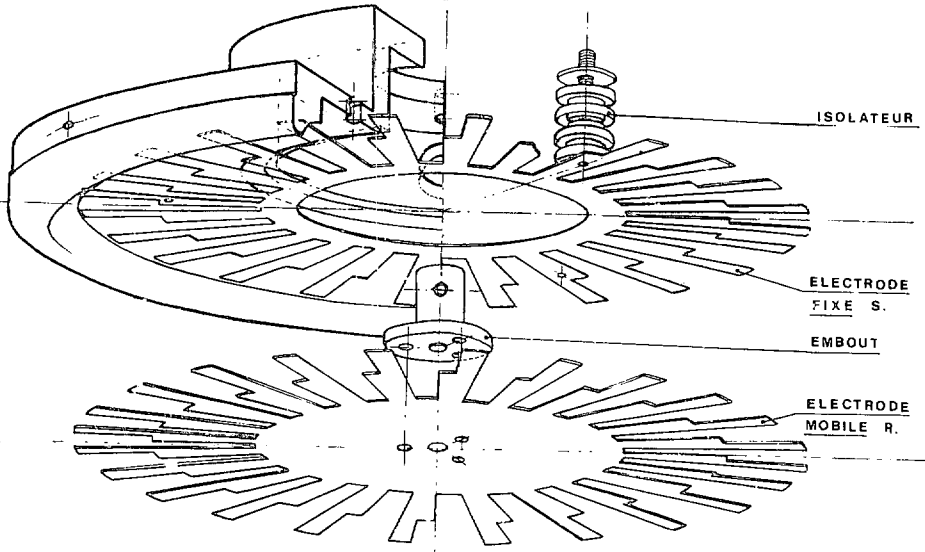
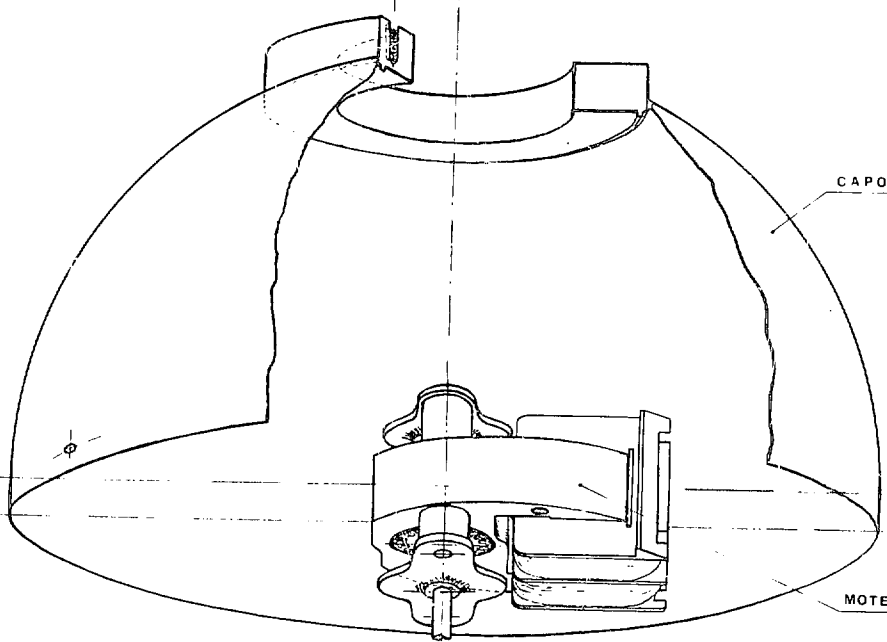
ELECTRODE
MOBILE R.

ECHELLE;



VUE ECLATEE

Fig. 7



STATOR

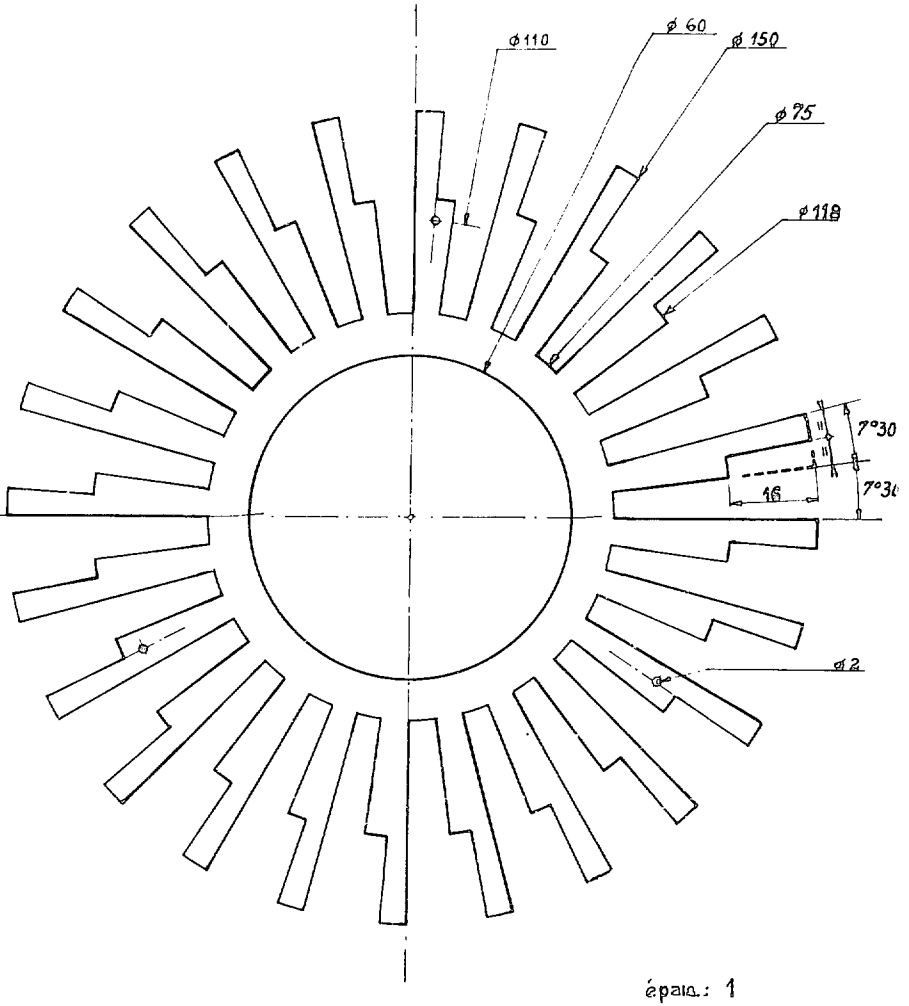


Fig. 8

SCHEMA SYNOPTIQUE

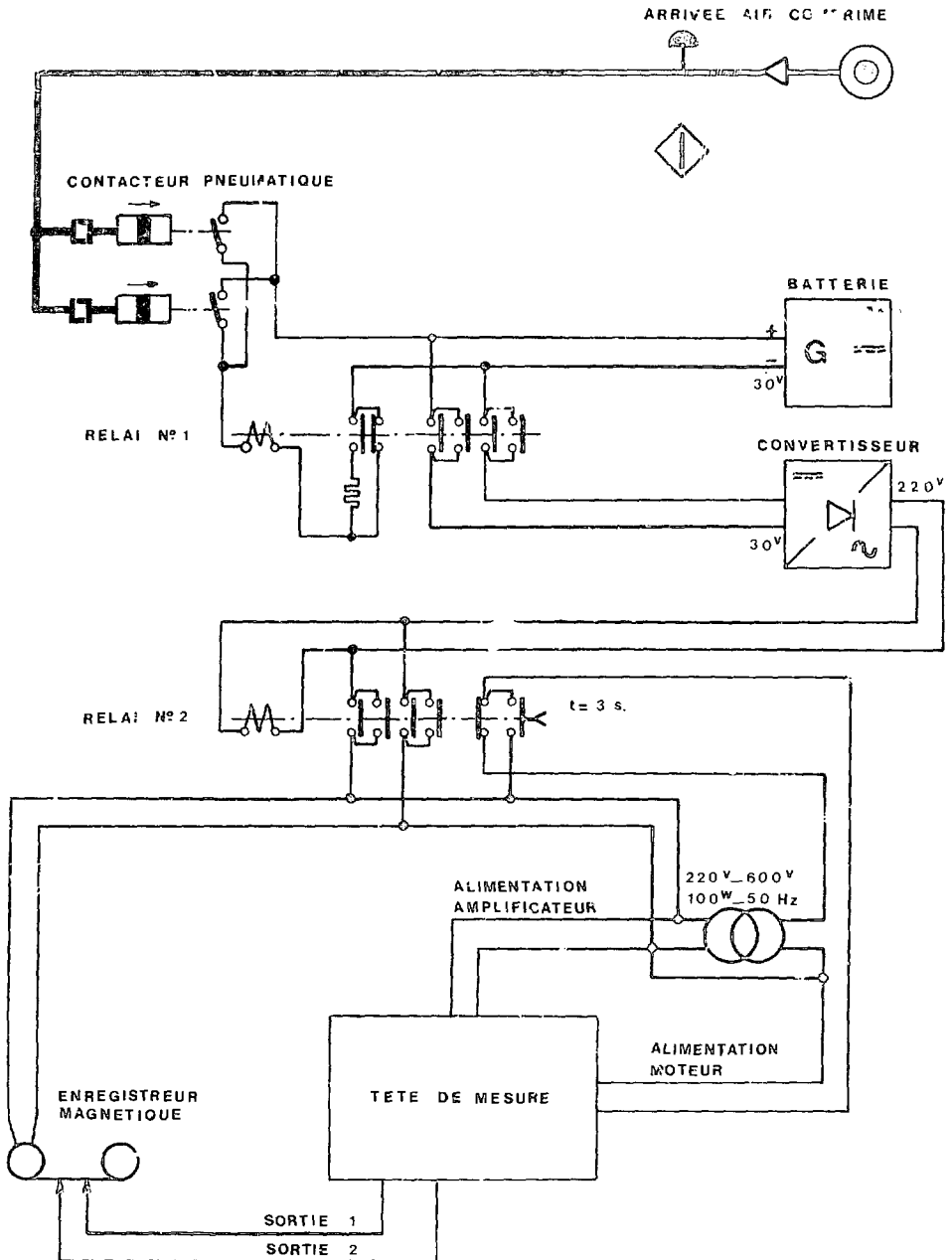


Fig. 10

ABRI. SUPPORT.

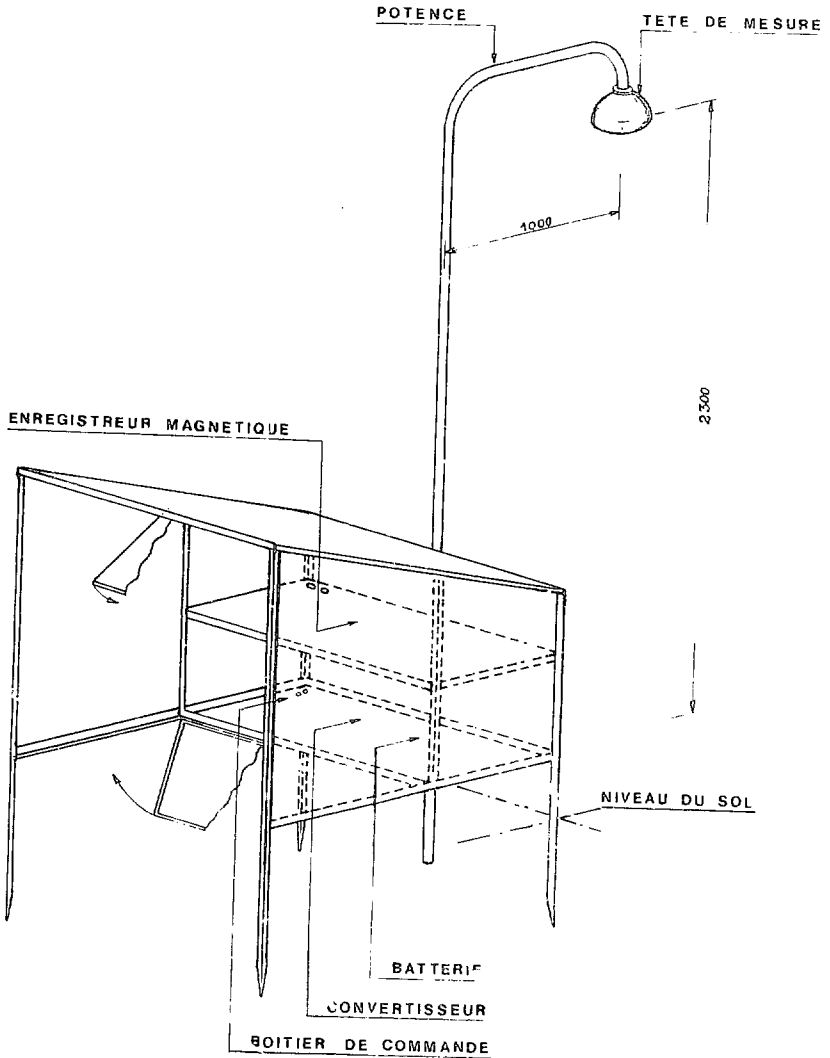


Fig.11 a

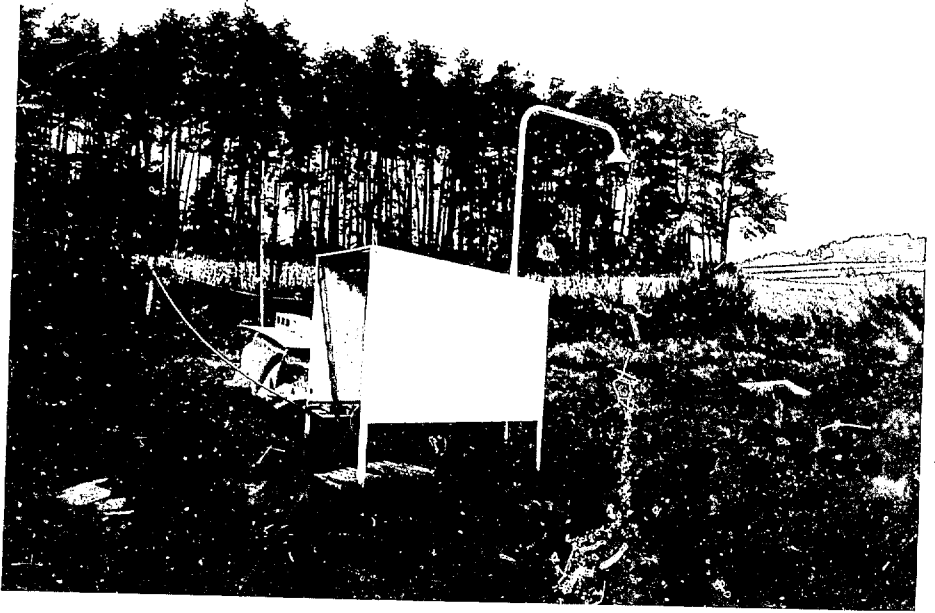


Figure 11b - Abri support

PRINCIPE DE L'ETALONNAGE
(aspect qualitatif des équipotentiellles)

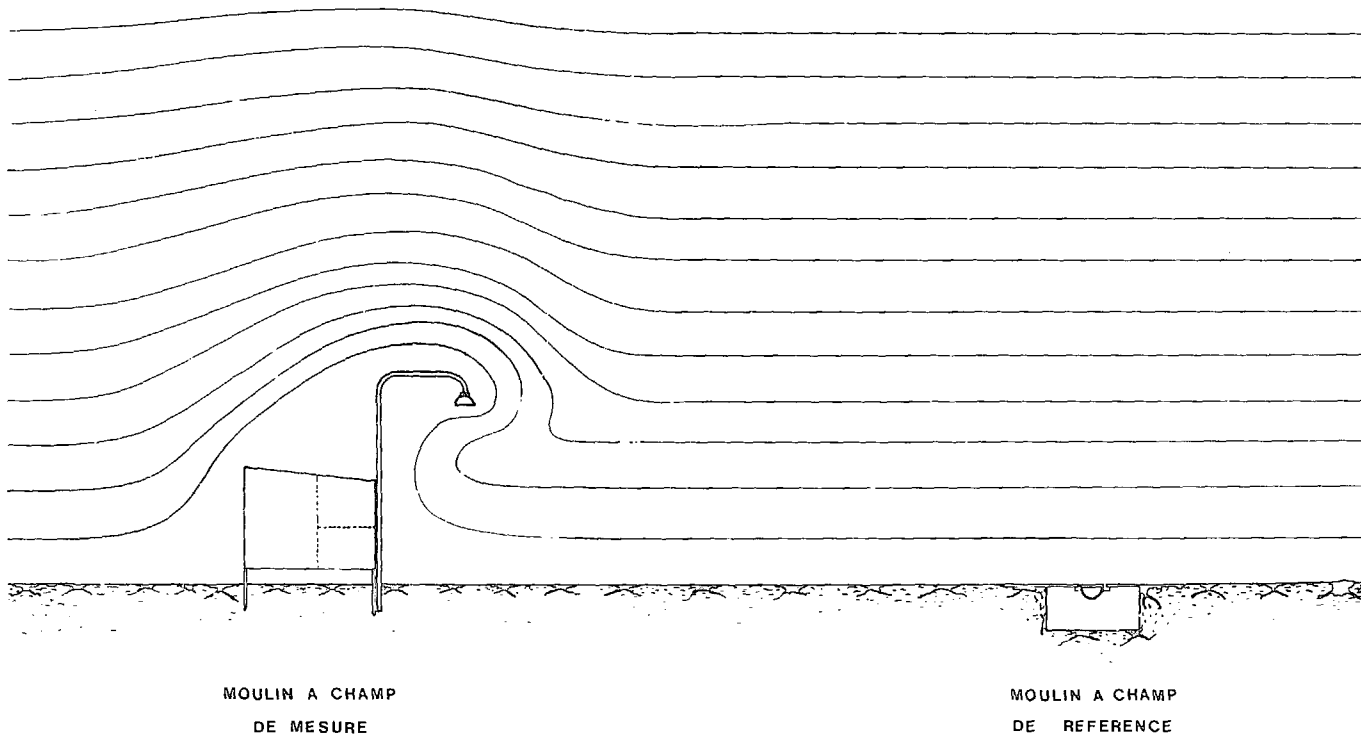


Fig.12

COURBES D'ETALONNAGE DU MOULIN A CHAMP

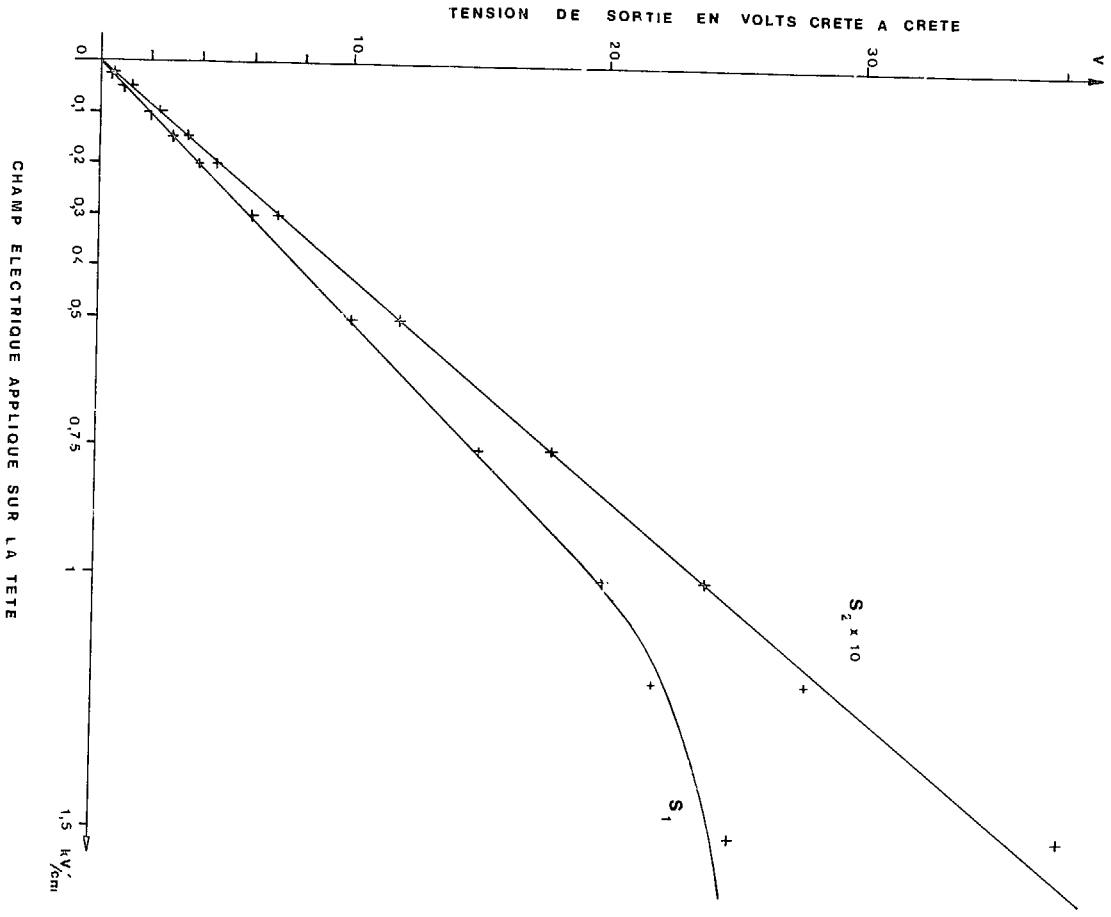
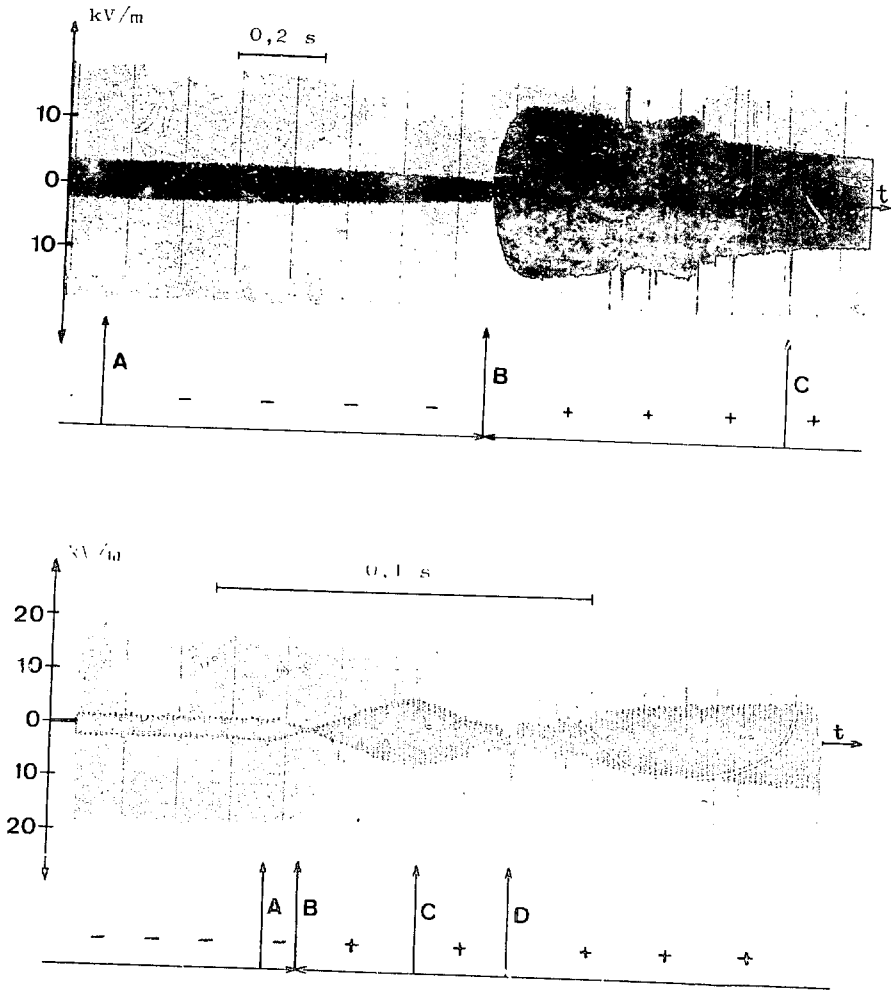


Fig. 13



Signal du moulin à champ durant un tir dans deux cas typiques

- a - Déclenchement normal
- b - Déclenchement anormal

Fig. 14



Achévé d'imprimer
par
le CEA, Service de Documentation, Saclay
Février 1977

DEPOT LEGAL
1er trimestre 1977

La diffusion, à titre d'échange, des rapports et bibliographies du Commissariat à l'Énergie Atomique est assurée par le Service de Documentation, CEN-Saclay, B.P. n° 2, 91 190 - Gif-sur-Yvette (France).

Ces rapports et bibliographies sont également en vente à l'unité auprès de la Documentation Française, 31, quai Voltaire, 75007 - PARIS.

Reports and bibliographies of the Commissariat à l'Énergie Atomique are available, on an exchange basis, from the Service de Documentation, CEN-Saclay, B.P. n° 2, 91 190 - Gif-sur-Yvette (France).

Individual reports and bibliographies are sold by the Documentation Française, 31, quai Voltaire, 75007 - PARIS.

Edité par
le Service de Documentation
Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay
Boîte Postale n° 2
91190 - Gif-sur-YVETTE (France)