

**PREMIER MINISTRE
COMMISSARIAT A
L'ÉNERGIE ATOMIQUE**

**LA DETECTION DES RUPTURES DE GAINES
DANS LES REACTEURS DE PUISSANCE FRANCAIS**

par

J. MEGY et A. ROGUIN.

Rapport C E A n° 2051

1961

**CENTRE D'ETUDES
NUCLÉAIRES DE SACLAY**

CEA 2051 - MEGY Jean, ROGUIN André

LA DETECTION DES RUPTURES DE GAINES DANS LES REACTEURS
DE PUISSANCE FRANCAIS (1961).

Sommaire. - Un prélèvement de gaz est effectué dans les canaux du réacteur et les produits de fission à vie courte sont collectés électrostatiquement pour être analysés par un ensemble scintillateur-photomultiplicateur.

Le détecteur à collection électrostatique et électrode tournante est décrit et ses applications principales sont exposées.

L'expérience a montré l'intérêt de mesurer l'évolution des activités en produits de fission et non seulement leur valeur absolue. D'où le développement d'ensembles de traitement des informations associés aux chaînes de détection.

Comparaison des réalisations sur les réacteurs G1 - G2 - G3 - EDF 1 et EDF 2.

CEA 2051 - MEGY Jean, ROGUIN André

BURST SLUG DETECTION SYSTEM IN FRENCH POWER REACTORS
(1961).

Summary. - Gas samples are taken from the channels of the reactor and the short lived fission products are electrostatically collected to be analysed by a phosphor and photomultiplier system.

The electrostatic collection and rotating electrode detector is described and its main uses exposed.

Experience has shown the interest of measuring the evolution of fission products activities and not their absolute value only. In this way, data processing equipment have been designed and adapted to the detection apparatus.

The system developed and realized for the G1 - G2 - G3 - EDF 1 - EDF 2 reactors are compared.

Département de Construction des Piles
Département d'Electronique

LA DETECTION DES RUPTURES DE GAINES
DANS LES REACTEURS DE PUISSANCE FRANÇAIS

par

J. MEGY et A. ROGUIN

Communication présentée par les auteurs au symposium sur la détection des ruptures de gaines organisé à Londres le 15 mars 1961 par la "Society of Instrument Technology" 20 Queen Anne Street, London W₁

LA DETECTION DES RUPTURES DE GAINES DANS LES REACTEURS DE PUISSANCE FRANCAIS

PREMIERE PARTIE

DETECTEUR DE PRODUITS DE FISSION

INTRODUCTION

Les performances de plus en plus poussées demandées aux éléments combustibles des réacteurs à uranium naturel et graphite, refroidis par du gaz carbonique, obligent à étudier de façon très sérieuse le problème de la détection des ruptures de gaines.

Ces dernières sont la conséquence inévitable de plusieurs phénomènes se produisant dans les piles. On peut citer en particulier :

- les transformations de structure de l'uranium entraînant une évolution géométrique des barreaux;
- les affinités chimiques entre l'uranium, et parfois sa gaine, avec le fluide réfrigérant.

Par leur fréquence et le risque de contamination grave

qui peut en découler, les ruptures de gaines peuvent être un facteur limitatif de la rentabilité des centrales nucléaires. C'est pourquoi dès 1953 des études avaient été lancées au Département d'Electronique du C.E.A. en vue d'équiper les réacteurs G₁ et EL 2 de circuits de D.R.G. Compte tenu des délais de constructions, des systèmes relativement simples ont été installés sur ces réacteurs.

Parmi les différentes solutions permettant de mettre en évidence l'existence d'un défaut de gaine, la méthode de détection des produits de fission gazeux a été retenue à cause de sa grande sensibilité. Les études entreprises ont abouti à la mise au point d'un détecteur de gaz de fission original et industriel qui est décrit dans le premier exposé.

La surveillance de tous les canaux d'un réacteur nécessite l'installation d'un certain nombre de détecteurs explorant chacun une zone du réacteur. Chaque détecteur analyse successivement les prélèvements de plusieurs canaux selon un programme défini. Les opérations d'analyse de routine en l'absence de rupture de gaine ainsi que la détection d'une fissure, la localisation du canal où elle se trouve et la mesure de son évolution ont été rendues aussi automatiques que possible : toutes les manoeuvres sont commandées et contrôlées d'un tableau dans la salle de commande du réacteur.

Le détecteur de gaz de fission, les techniques de mesure et les appareillages mis au point ont été utilisés en collaboration avec la Direction Industrielle du C.E.A. pour le réacteur G3 et avec l'Electricité de France pour la filière des réacteurs EDF.

Le deuxième exposé décrira le principe du traitement et de l'exploitation des informations fournies par le détecteur. Cette solution a été choisie en fonction de l'expérience acquise lors de premières ruptures de gaines détectées sur les réacteurs français.

Dans les troisième et quatrième exposés, on décrira les solutions particulières adoptées lors du projet de la centrale nucléaire EDF2, montrant les perfectionnements constants que l'on peut faire réaliser à une installation aussi importante que la D.R.G.

1 - PRINCIPE DU DETECTEUR

Le principe sur lequel repose ce détecteur de produits de fission est bien connu. Les atomes de gaz rares krypton et xénon produits au cours de la fission se désintègrent par rayonnement β et γ . Ils se transforment ainsi en atomes de rubidium et de césium, ionisés positivement que l'on collecte, grâce à un champ électrostatique, sur une électrode. Ces ions sont eux-mêmes radioactifs. Un détecteur mesurant la radioactivité de l'électrode donnera une mesure de la quantité de gaz de fission ayant donné naissance à ces ions.

Si l'on fait passer dans le champ électrostatique un prélèvement de gaz provenant de la sortie d'un canal du réacteur le taux de radioactivité de l'électrode donnera une mesure de la concentration de gaz de fission dans le gaz prélevé.

Les détecteurs basés sur ce principe possèdent une bonne

sensibilité, car le comptage de l'électrode peut se faire à l'abri de la radioactivité importante du fluide de refroidissement des canaux.

2 - DESCRIPTION

Cet appareil se compose essentiellement : (figure 1)

- a - d'un volume où arrive le gaz à analyser
- b - d'une chambre de collection faisant suite au volume
- c - d'une électrode circulaire entraînée en rotation par un moteur électrique
- d - d'un scintillateur avec un photomultiplicateur associé.

Le gaz prélevé dans un canal ou dans un ensemble de plusieurs canaux est d'abord filtré puis arrive avec un temps de transit aussi court que possible jusqu'au volume.

Pour un réacteur de puissance (1000 à 3000 canaux) le temps de transit est de l'ordre de 7 secondes.

Dans le volume le gaz séjourne environ deux à trois secondes pendant lesquelles se forment des ions Rb et Cs. La vie moyenne à l'état ionisé de ces atomes est de 1,6 seconde dans les conditions de l'installation de G3; c'est cette durée qui conditionne l'importance du volume.

Les ions ainsi formés sont entraînés par le gaz et traversent la chambre de collection. Le champ électrique est tel que ces ions sont collectés avec une efficacité voisine de 100 pour cent sur la partie cylindrique de l'électrode.

Cette dernière est au potentiel de la masse et l'électrode de répulsion qui lui fait vis-à-vis est portée à un potentiel positif, fonction de la pression du gaz. La valeur adoptée pour la pression de 15 kg/cm² de CO₂ est de 5000 volts.

3 - FONCTIONNEMENT

La mesure de la concentration des gaz de fission d'un prélèvement se fait en une minute et se décompose en 3 temps successifs :

Premier temps : mesure de la pollution résiduelle d'une
plage du tambour et du bruit de fond

Pendant 15 secondes, une plage donnée du tambour est maintenue sous le scintillateur et l'électronique enregistre un signal qui est la somme :

- de la pollution du tambour par les ions à vie longue anciennement collectés
- de l'activité des gaz restant sous le scintillateur
- du bruit de fond γ ambiant.

Les deux derniers termes sont indépendants de la concentration des gaz de fission et sont sensiblement constants lorsque la puissance du réacteur est stable.

Par contre le premier terme dépend de la concentration des gaz de fission dans le prélèvement et nous verrons ci-dessous (5°) comment ce signal peut être lui aussi utilisé.

La géométrie du détecteur est étudiée pour que ce premier taux de comptage N_1 soit aussi faible que possible.

Deuxième temps : collection

Le tambour tourne d'un angle, tel que la plage mesurée au premier temps vienne dans la chambre de collection. Elle y reste 30 secondes environ pendant lesquelles le champ électrique est appliqué et les ions Rb et Cs collectés.

Troisième temps : nouvelle mesure de la plage du tambour

La plage du tambour qui se trouvait dans la chambre de collection est amenée à nouveau sous le scintillateur. L'électronique enregistre alors en plus des radioactivités mesurées au premier temps, la radioactivité des ions nouvellement collectés soit N_2 ce nouveau taux de comptage.

Un étage d'électronique (n° 4 sur la figure 2) effectue la différence des deux mesures N_2 et N_1 :

$$F = N_2 - N_1$$

est une mesure proportionnelle à la concentration des gaz de fission.

Le cycle élémentaire de mesure étant terminé le processus ci-dessus recommence avec une autre plage du tambour et un

prélèvement de gaz provenant d'un autre canal. De la sorte on affecte toujours la même plage de mesure du tambour au même canal. Ceci assure une meilleure reproductibilité des mesures lorsqu'il y a eu des canaux contaminés par de l'oxyde d'uranium. Ces canaux donnent non seulement de grandes valeurs F, mais aussi des activités résiduelles importantes sur les plages du tambour. Les fluctuations du fort taux de comptage N_1 de ces plages risqueraient de masquer la faible radioactivité des ions collectés en provenance d'un canal sans contamination.

Lorsque le tambour fait une révolution complète en 20 minutes la radioactivité des ions à vie longue restant sur les plages est seulement de quelques pour cent de la radioactivité des ions collectés.

La mesure F de la concentration de gaz de fission renseigne sur la quantité d'uranium émettant des produits de fission dans un flux de neutrons connu. Ce signal n'est jamais nul à cause de la contamination des gaines par l'uranium. Mais il est constant pour un régime stable de la pile.

4 - UTILISATION DANS UNE INSTALLATION DE D.R.G.

Si une fissure se produit dans une gaine elle relâchera des gaz de fission et le signal F va croître dans le temps avec l'évolution de la fissure. C'est parce que nous avons estimé que le renseignement le plus intéressant pour le conducteur du réacteur était "l'évolution de cette fissure" que le détecteur est suivi par des ensembles de traitement des résultats qui seront décrits dans l'exposé suivant.

SENSIBILITE

Le signal F, du détecteur ainsi utilisé, est également fonction des paramètres de l'installation. Il est proportionnel au débit du gaz prélevé et à la durée de la collection. Il décroît lorsque le temps mis par le gaz pour arriver du canal au détecteur augmente.

La sensibilité du détecteur donnée en chocs par seconde pour un millimètre carré d'uranium métallique nu exposé à un flux de neutrons ϕ , est de : 8 chocs/s, dans les conditions suivantes :

- $\phi = 2 \times 10^{13} \text{ n.s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$

- Rapport débit prélevé sur débit dans le canal :

$$\frac{q}{Q} = \frac{1}{100}$$

- temps de transit du gaz : 7 secondes

- durée de la collection des ions : 28 secondes.

Les figures 3 et 4 montrent le détecteur utilisé sur les réacteurs EDF.

5 - UTILISATION DU DETECTEUR DANS UNE BOUCLE D'ESSAIS DE COMBUSTIBLES

Ce détecteur de produits de fission va être utilisé dans des boucles à gaz pour essais de combustibles. Dans cette application le rôle du détecteur de produits de fission est très important, et sa sensibilité est étudiée pour donner des mesures précises dès l'apparition d'un défaut de gaine correspondant à

moins d'un mm² d'uranium métallique nu.

Le détecteur donnera aussi des renseignements sur la diffusion des gaz de fission au travers des porosités éventuelles de la gaine. Si la porosité est faible les gaz de fission diffuseront lentement et les atomes à vies courtes (quelques secondes) seront morts. Seuls les atomes à vies moyennes et longues pourront être détectés dans le gaz de refroidissement. Les gaz à vies moyennes (de quelques minutes à quelques heures) donneront des ions eux aussi à vie moyenne et la radioactivité résiduelle des ions après un tour de tambour va augmenter en valeur relative. Un programme supplémentaire adjoint au détecteur lui permettra de mesurer la proportion d'ions à vie longue collectés, d'où l'on pourra déduire l'importance de la diffusion.

La mesure de la radioactivité d'une plage normale a pour composantes (paragraphe 3) :

$$N_1 = B + G + P$$

B : bruit de fond dû aux γ ambiants.

G : radioactivité du gaz sous le scintillateur

P : pollution de l'électrode par les ions à vie longue collectés.

Sur une plage qui sera toujours la même, on interdit la collection; la mesure de radioactivité N_1' sera alors :

$$N_1' = B + G$$

La différence entre N_1 et N_1' donne la contribution de la pollution à vie longue.

$$P = N_1 - N_1'$$

Un étage électronique fera périodiquement le quotient des deux valeurs $\frac{F}{P}$.

Ce quotient est une fonction du temps de diffusion comme le montre la courbe de la figure 6 obtenue par le calcul. Des essais sont en cours pour obtenir les valeurs expérimentales correspondantes.

La surveillance continue du quotient $\frac{F}{P}$ sur une boucle d'essai de combustible renseignera donc sur l'apparition des porosités de la gaine qui peuvent précéder la rupture franche.

La figure 5 donne une partie du schéma fonctionnel de l'installation prévue pour les boucles d'essais de combustibles du réacteur Pégase. La radioactivité totale du gaz de la boucle est elle aussi mesurée par un scintillateur et photomultiplicateur placés sur le volume de formation d'ions.

DEUXIEME PARTIE

EVOLUTION DE LA DETECTION DES RUPTURES DE GAINES ET DU TRAITEMENT DES INFORMATIONS ASSOCIE DANS LES PILES DE PUISSANCE FRANCAISES

Sur le plan des réalisations industrielles, le problème de la D.R.G. s'est surtout posé avec une grande ampleur pour les réacteurs nucléaires hétérogènes refroidis par circulation de gaz, en particulier, pour les piles de puissance qui, du fait du nombre élevé de leurs canaux, ont nécessité des installations assez importantes.

Dans ce type de réacteurs, la théorie comme l'expérience montrent que la rupture de gaine d'un élément combustible présente de très graves inconvénients et doit être rapidement détectée :

- les installations réalisées jusqu'à présent reposent toutes sur le même principe, décrit dans la communication précédente, à savoir la mesure de la concentration en produits de fission gazeux (xénon et krypton) à la sortie de chaque canal.

Pour effectuer cette mesure, une fraction de gaz de refroidissement est prélevée à la sortie de chaque canal et ces prélèvements sont successivement examinés par un détecteur, la commutation étant réalisée au moyen d'électrovannes ou de distributeurs.

Ainsi dans l'ordre chronologique, ont été réalisées les détections de rupture de gaines des réacteurs G1, G2-G3 à MARCOULE et en collaboration avec E.D.F., ceux de E.D.F.1 et E.D.F.2 à CHINON.

Notre but ici, en comparant ces diverses installations, est d'essayer de dégager les enseignements tirés de chacune d'elles et les tendances qui ont commandé l'évolution de nos conceptions d'un type à un autre.

En particulier, nous nous proposons d'analyser plus en détail les questions du traitement des informations.

REACTEUR G.1.

G.1. comporte 2674 canaux et son refroidissement est assuré par de l'air en circuit ouvert, à la pression atmosphère (fig.7.). De ce fait l'activité induite est faible et le détecteur est simplement constitué par 1 compteur de Geiger type 3 G.3 plongé dans le courant gazeux du prélèvement, pour observer une augmentation notable du taux de comptage lors de l'apparition d'un défaut. Il y a 20 ensembles détecteurs affectés chacun à 135 canaux. Ces détecteurs appelés "Prospecteurs" testent l'ensemble de la pile en 45 minutes. Tout canal suspect provoque sur l'enregistreur un dépassement de niveau entraînant une alarme.

Le canal est alors mis en surveillance continue par manoeuvre manuelle des robinets dans les salles D.R.G. sur un groupe spécial appelé "Suiveur". Si une évolution de la fissure se manifeste la pile est arrêtée et le canal déchargé.

L'électronique, très classique se compose essentiellement par groupe d'un mesureur du taux de comptage (Intégrateur) d'une haute tension pour G.M. et d'un enregistreur MECI Speedomax.

Toutefois l'exploitation de G1 nous a amené à améliorer cette installation :

- sur la figure 8, dispositif initial, le seuil d'alerte est atteint pour une même valeur du comptage quel que soit le canal incriminé.

Ce seuil est significatif si tous les signaux sont sensiblement égaux en l'absence de défaut des gaines (Fig. 8) : c'est le cas d'un réacteur neuf; mais, s'il s'est produit à la suite de rupture de gaines, de légères contaminations des canaux par de l'oxyde d'uranium, en l'absence de gaine fuyarde, les signaux sont néanmoins disparates par suite de cette pollution, qui n'est pas uniformément répartie (fig. 8), ainsi l'apparition d'un défaut sera plus rapidement décelée s'il se produit plutôt sur le canal 1 que sur le canal 2.

D'autre part, lorsqu'une fissure se produit dans une gaine, elle s'ouvre d'abord très lentement et ce n'est, en général qu'après quelques heures, voire quelques jours que son évolution s'accélère, devenant dangereuse.

Il est donc finalement utile de pouvoir comparer à tout instant l'activité en produits de fissions F d'un canal avec une valeur antérieure F_0 prise comme référence. L'alarme sera donnée lorsque l'écart $E = F - F_0$ atteindra un niveau maximum fixé à l'avance.

Nous avons préféré comparer l'activité F à l'instant t à une activité F_0 prise comme référence plutôt qu'à l'activité des cycles précédents $E' = F - F'$ car des évolutions lentes ne seront pas décelées en prenant ce dernier critère alors qu'elles le seront avec le premier (fig.9).

Ceci nous a conduit à la réalisation de l'évolumètre, type G1 où la mesure F_0 est mise en mémoire au moyen d'un potentiomètre, cette mise en mémoire s'effectuant manuellement (fig. 10 - 11).

La sélection du potentiomètre mémoire est assurée par le même dispositif qui commande les électrovannes de commutation des prélèvements. A chaque mesure l'enregistreur inscrit :

- l'activité en mémoire
- l'activité mesurée en opposition avec la première, d'où la différence éventuelle qui pourra actionner l'alarme (fig.12).

L'activité des produits de fission étant fonction, en particulier, de la puissance de la pile et du débit du fluide de refroidissement, il est nécessaire de corriger l'amplitude du terme comparatif mis en mémoire, afin qu'une variation du régime de marche du réacteur ne se traduise pas par une évolution.

Ceci est obtenu en commandant la tension d'alimentation des potentiomètres au moyen d'un détecteur pilote qui mesure en permanence l'activité moyenne du gaz de refroidissement et fournit un signal α .

Finalement la mesure de l'évolution s'écrit :

$$E = \frac{F}{\alpha} - \frac{F_0}{\alpha_0}$$

De ce fait le signal E devient indépendant des variations de régime du réacteur et peut donner une mesure directe, en mm² d'uranium métal naturel exposé, de la surface équivalente au défaut du point de vue émission de produits de fission.

C'est grâce à cet appareil, première ébauche de traitement des informations que l'exploitation de la pile G1 a pu être poursuivie sans difficultés bien que certains canaux aient été assez fortement pollués par une rupture grave survenue en novembre 1956.

Nous en avons tiré deux conclusions :

- nécessité d'un traitement des informations
- intérêt d'un automatisme plus poussé.

REACTEUR G2

Pendant que les services du C.E.A. étudiaient en vue de G3 une solution originale, le réacteur G2 pour des impératifs de délais a été équipé d'une installation du type Calder Hall, bien connue sur les réacteurs anglais.

Nous vous rappelons seulement que l'enregistrement du signal s'effectue sur des enregistreurs Elliott à 54 voies et que l'alarme est commandée par la valeur absolue du signal et non par son évolution .

A la suite de l'expérience de G1, nous avons été amenés à améliorer cette installation en lui adaptant un évolumètre analogue à celui de G1., la mise en mémoire s'effectuant encore manuellement.

REACTEUR G3

G3 comme G2 comporte 1200 canaux. Les prélèvements D.R.G. sont groupés en faisceaux de 5 (sélection à deux étages). La D.R.G. comporte 12 groupes de 20 faisceaux, chacun comprenant un détecteur prospecteur et un détecteur suiveur. Temps séparant deux mesures en prospection : 20 minutes. (figure 13)

La D.R.G. de G3 est le type dont sont dérivées les installations plus récentes telles que E.D.F.1 et E.D.F.2. Elle revêt en effet, toutes les caractéristiques fondamentales :

- détecteur à collection électrostatique, à électrode tournante, décrit dans la communication précédente
- commande complète de l'installation à partir de la salle de contrôle du réacteur contrairement à G1 et G2
- commutation des prélèvements entièrement automatique : passage automatique d'un faisceau fuyard sur suiveur
- traitement des informations permettant un automatisme complet de la détection d'un canal fuyard

Le schéma pneumatique de l'installation est analogue à celui d'E.D.F. qui fait l'objet de la communication suivante.

L'ensemble de l'installation est piloté par un programmeur cyclique qui synchronise le fonctionnement :

- des électrovannes commutant les prélèvements gazeux
- des détecteurs
- du traitement des informations

La chaîne électronique associée à chaque détecteur (amplificateur et intégrateur) délivre une tension représentative de la mesure effective (fig. 14)

Sur le réacteur G3, le traitement des informations est analogue dans son principe à celui de G1, mais la mise en mémoire (tarage) est faite automatiquement sur commande de l'opérateur et non par réglage manuel des potentiomètres (fig. 15).

A chaque groupe de prospection est associé un évolutif comportant 25 potentiomètres mémoires (20 pour les 20 faisceaux en prospection, 5 pour le suiveur) (fig. 16).

Les 25 potentiomètres sont rendus successivement solidaires d'un servo-moteur par l'intermédiaire de petits embrayages magnétiques. Un amplificateur d'asservissement agissant sur le servo-moteur diphasé permet le tarage successif de l'ensemble des potentiomètres lors d'un cycle de mesure pris comme référence.

Des relais d'adresse permettent de sélectionner le potentiomètre affecté à un faisceau donné lorsque ce faisceau est prospecté.

La tension d'alimentation des potentiomètres est commandée, comme dans le cas de G1, par un détecteur pilote délivrant un signal fonction du régime de marche du réacteur, de façon à rendre les indications de l'évolumètre indépendantes des variations de régime : l'évolution, pour un canal sain reste nulle quand la puissance de la pile varie.

En reprenant les notations déjà utilisées, lors du tarage (mise en mémoire) la tension correspondant au signal $\frac{F_0}{\alpha_0}$ de chaque faisceau du groupe est mise en mémoire sur le potentiomètre qui lui est affecté.

En marche normale, à chaque cycle de prospection, l'évolumètre réalise la différence

$$E = \frac{-F_0}{\alpha_0} + \frac{F}{\alpha}$$

qui est inscrite sur un enregistreur miniature affecté au groupe (plus exactement la différence enregistrée est

$$\alpha E = - \frac{\alpha}{\alpha_0} F_0 + F)$$

Si la valeur E dépasse le seuil d'évolution fixé à l'avance, le faisceau correspondant passe automatiquement sur la voie suiveur.

Le détecteur suiveur analyse successivement les 5 canaux du faisceau et au cours du 1er cycle d'analyse de ces 5 faisceaux l'évolumètre prend en mémoire, sur les 5 potentiomètres suiveurs, l'activité $\frac{f_1}{\alpha_1}$ relative aux canaux.

Au cours des cycles suivants, comme précédemment, on obtient l'évolution :

$$e = - \frac{f_1}{\alpha_1} + \frac{f}{a}$$

qui est inscrite sur l'enregistreur suiveur du type potentiomètre miniature; le canal défectueux est détecté lorsque l'évolution e dépasse un seuil fixé.

Le numéro du canal, dans le code utilisé pour le déchargement en marche est alors affiché par une signalisation lumineuse en salle de contrôle, au tableau D.R.G., évitant les erreurs de traduction du code D.R.G. en code de déchargement.

De plus, l'installation comprend deux groupes de recharge détecteur P et S et évolumètre associé, commutables de la salle de contrôle, par simple manoeuvre d'un rotacteur permettant la reprise immédiate en secours de tout groupe défaillant.

Depuis le démarrage de G3, cette installation s'est révélée fonctionner très correctement et permettre une exploitation aisée sans aucune permanence dans la salle D.R.G.

En plus de la surveillance normale des éléments combustibles, cette installation joue également un rôle dans les opérations de chargement et déchargement en marche; le canal est alors suivi en permanence par le D.R.G., ainsi, tout élément combustible défectueux serait immédiatement détecté dès son entrée dans le réacteur.

REACTEURS E.D.F.1 et E.D.F.2

Les installations de D.R.G. des réacteurs d'Electricité de France E.D.F.1 et E.D.F.2 à CHINON, directement dérivées de celles de G3 font l'objet des deux exposés suivants :

- les schémas pneumatiques de commutation des prélèvements de gaz, les détecteurs, les automatismes sont similaires.

- le traitement des informations assure encore les mêmes fonctions que pour G3.

mesure de $E = - \frac{F_0}{\alpha_0} + \frac{F}{\alpha}$ en prospection,

$e = \frac{-f_1}{\alpha_1} + \frac{f}{\alpha}$ en suiveur

comparaison de E et e à des seuils prédéterminés.

Mais, la grande différence avec G3 est l'utilisation d'un ensemble numérique et non analogique.

En effet, le détecteur de produits de fission fournissant des impulsions, il était logique de penser à les utiliser directement, au moyen d'un traitement des informations digital.

Au début de 1957, lors de l'étude pour G3, il n'existait pas de matériel digital susceptible de satisfaire aux conditions de sûreté de fonctionnement en emploi industriel continu.

Par contre, l'apparition aux U.S.A. de calculateurs digitaux employés pour le contrôle de processus industriels, chimiques et pétroliers a permis le choix pour E.D.F.1 d'un

ensemble digital de traitement des informations conçu autour d'un calculateur Thomson Ramo Wooldridge RW 300 et qui vous est décrit dans la communication suivante.

Les résultats sont inscrits sur téléscriptrices.

CONCLUSION

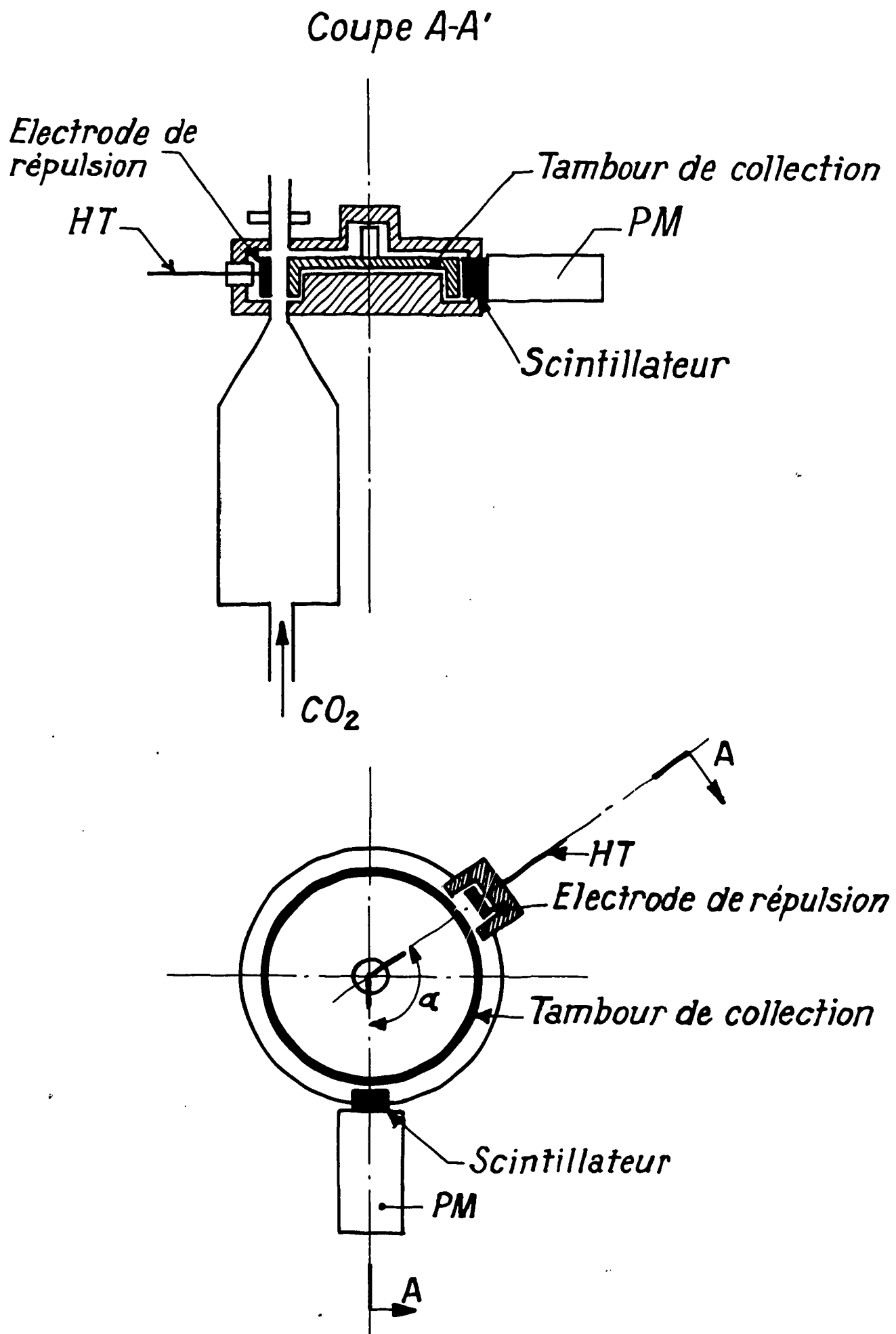
De ces réalisations on peut dégager les grandes lignes suivantes :

- pour les réacteurs de la filière graphite-gaz les installations de détection de rupture de gaines sont au point. La tendance actuelle est à des installations très automatisées, conduites directement de la salle de contrôle et munies d'ensembles de traitement des informations élaborés.

- avec G3 et les réacteurs E.D.F. nous avons fait l'expérience de traitements des informations analogiques et digitaux et les deux méthodes, loin de se concurrencer, se complètent.

En effet, les ensembles analogiques à évolumètres, type G3, s'adaptent très facilement à des réacteurs à nombre de canaux relativement faibles. Par contre, il semble que la technique digitale, utilisant un calculateur qui doit être doublé pour des questions de sécurité, d'où un prix de revient élevé, soit très intéressante pour les grands réacteurs, d'autant plus que le traitement digital des autres mesures commence à être également employé dans de telles centrales.

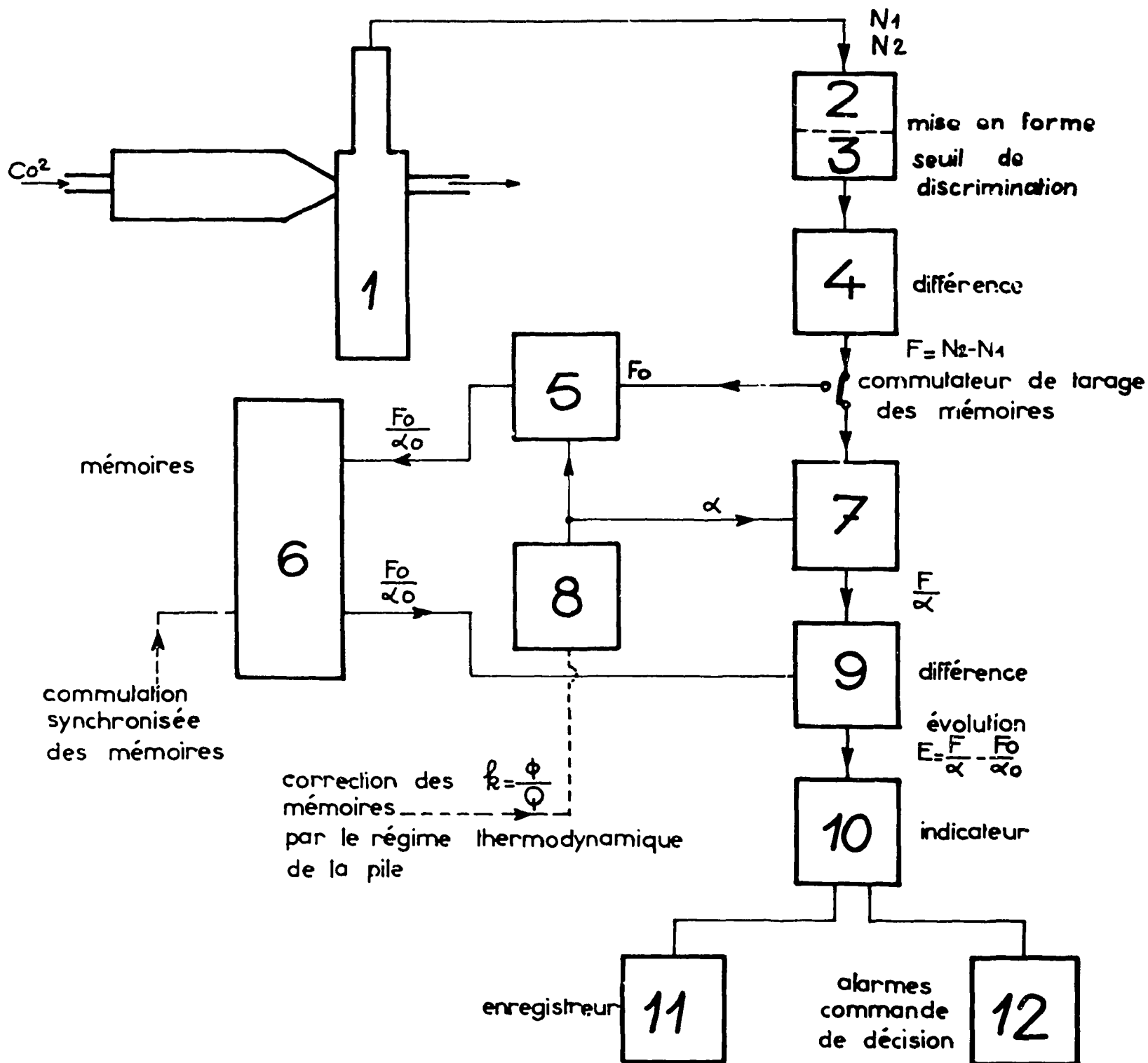
Techniquement les deux solutions sont satisfaisantes, les éléments de choix sont maintenant les prix de revient comparés et l'homogénéité avec le reste de l'installation.



- Figure 1 -

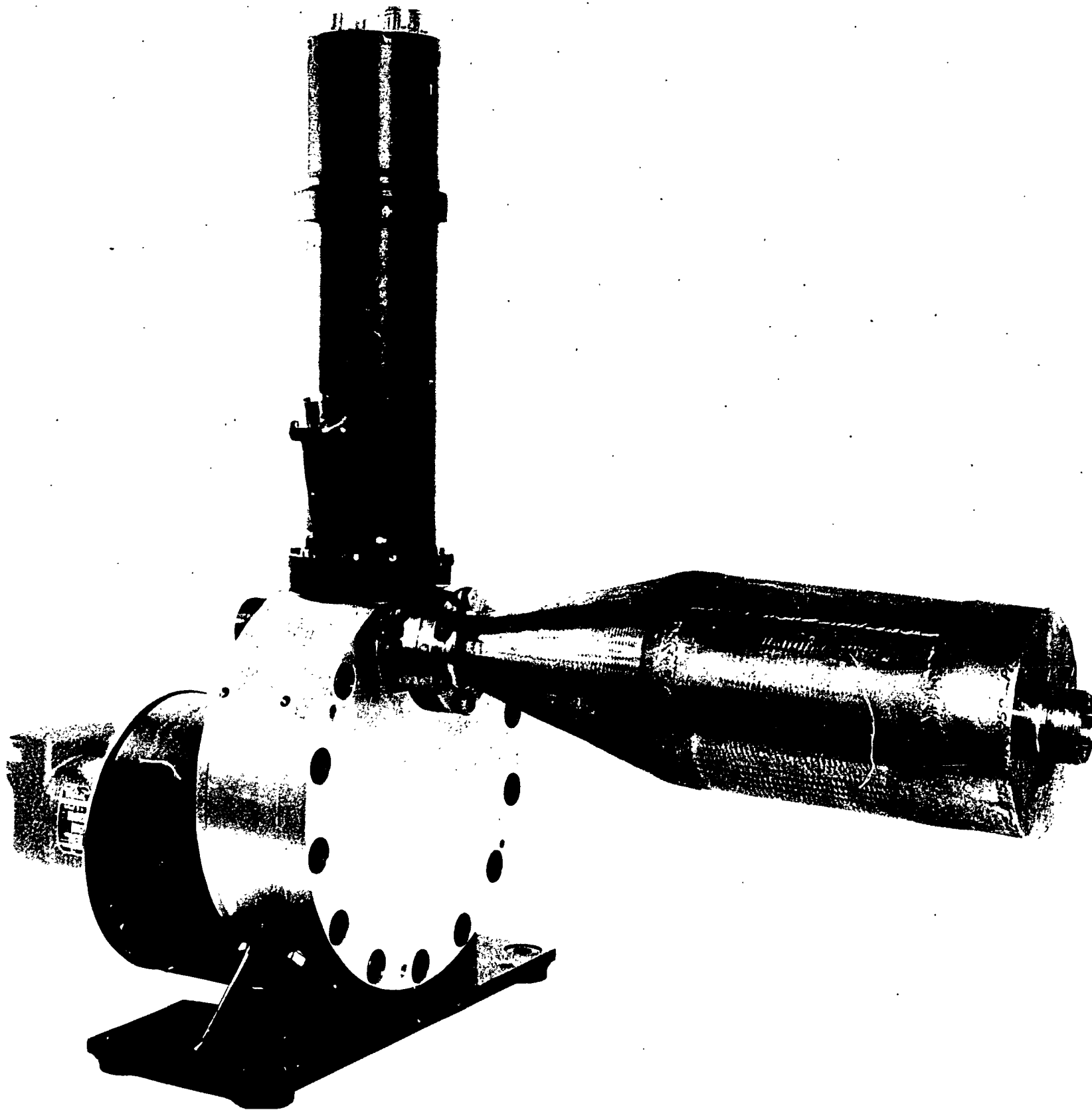
Schéma du détecteur à électrode tournante

Schéma Fonctionnel d'un D.P.F. et de sa chaîne Electronique -



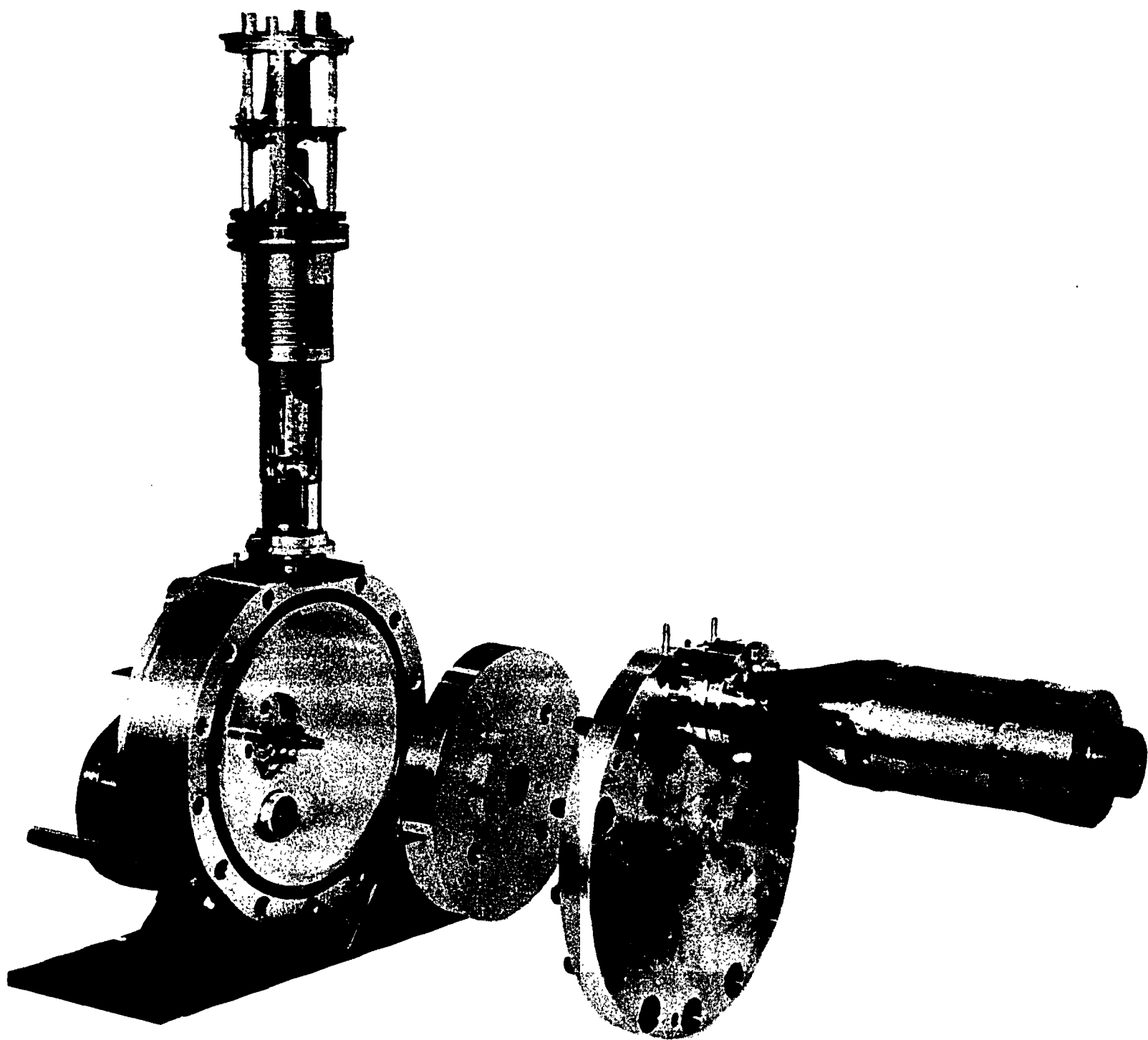
- Figure 2 -

Schéma fonctionnel d'un détecteur de produits de fission et de sa chaîne électronique (EdF)



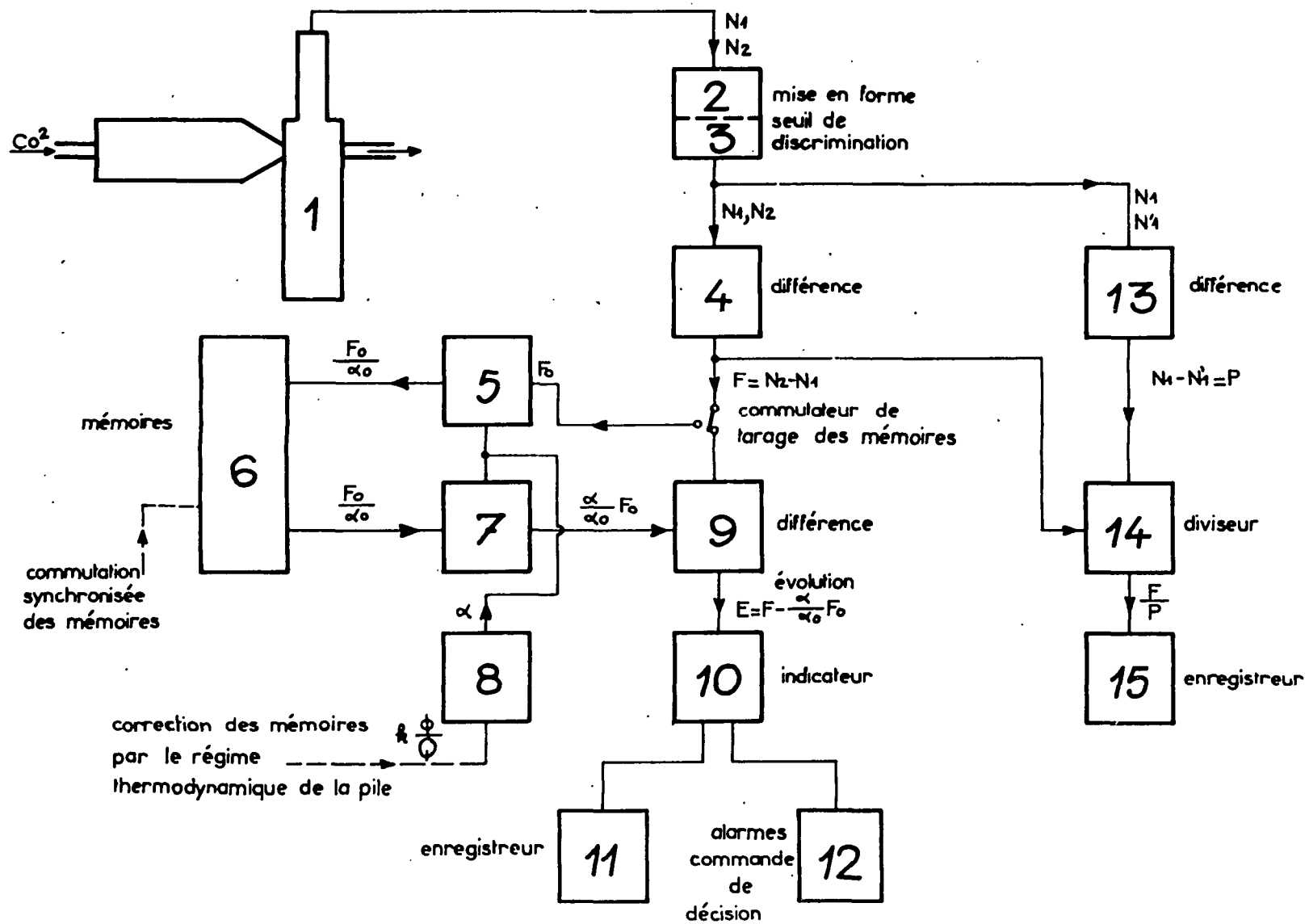
- Figure 3 -

Détecteur de produits de fission (EdF1)



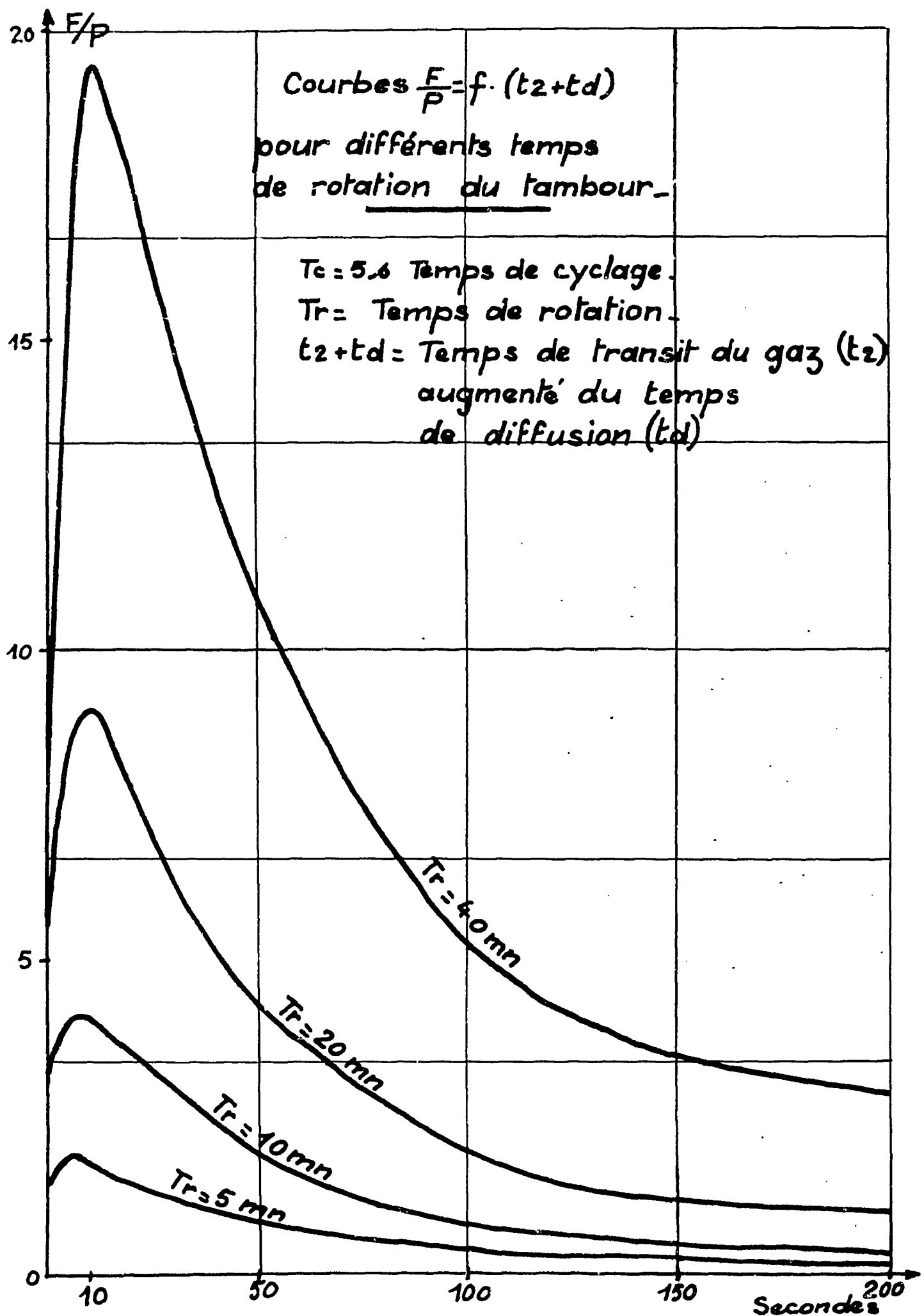
- Figure 4 -

Détecteur de produits de fission (EdF1 - vue éclatée)



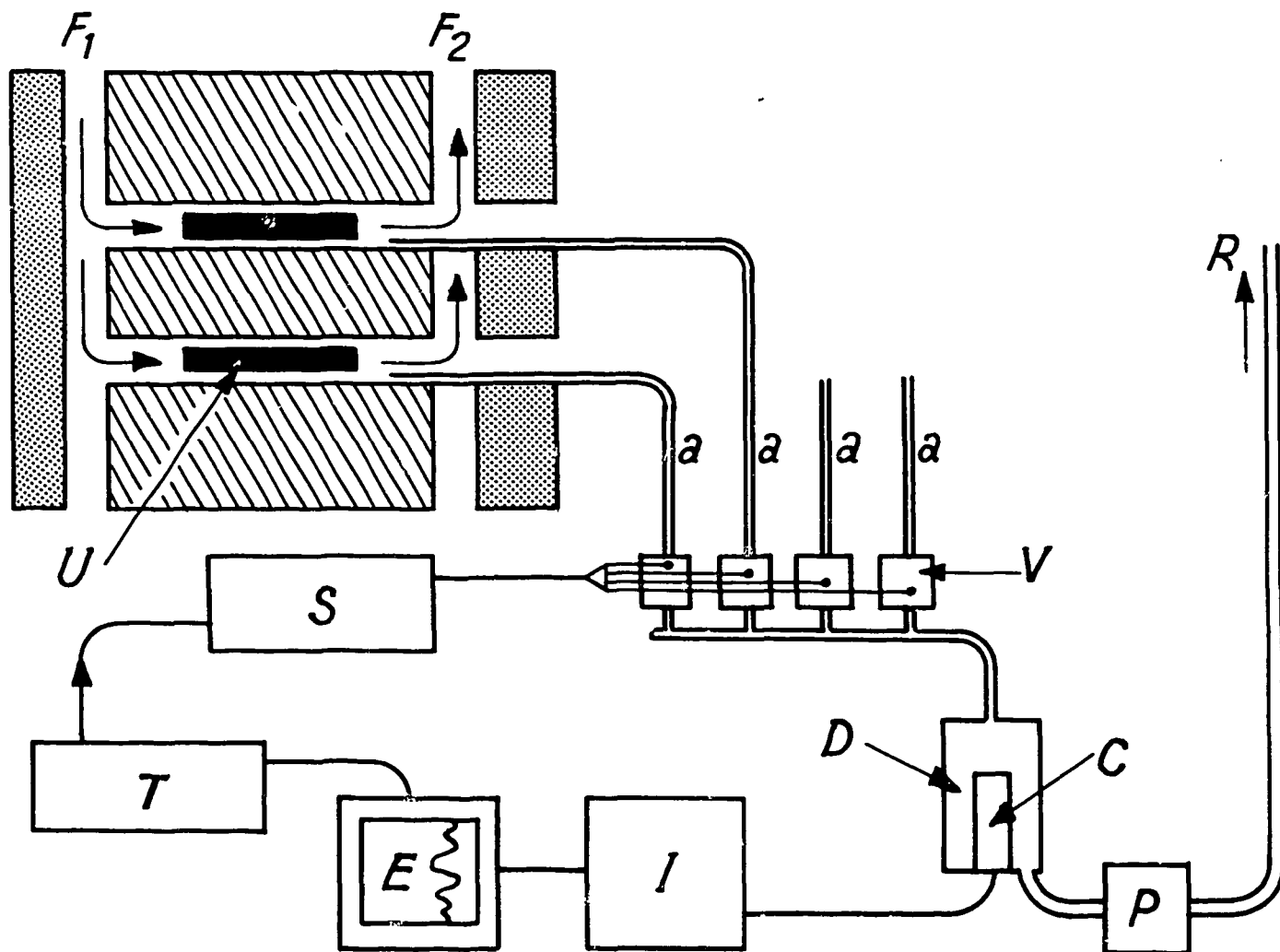
- Figure 5 -

Schéma fonctionnel d'un détecteur de produits de fission et de sa chaîne électronique (Pégase)



- Figure 6 -

Courbes du rapport $\frac{F}{P}$ en fonction du temps de transit total du gaz pour différents temps de rotation du tambour



- U : barreaux d'uranium gainés
- F₁ : entrée du gaz de refroidissement
- F₂ : sortie du gaz de refroidissement
- a₂ : tubes de prélèvement
- V : vannes électromagnétiques
- D : détecteur de radioactivité
- C : compteur Geiger-Müller
- P : pompe à vide
- R : refoulement dans une cheminée
- I : intégrateur
- E : enregistreur
- S : sélecteur de commande des vannes
- T : tableau de signalisation et d'alarme

- Figure 7 -

Schéma général D.R.G. - G1

ENREGISTREMENTS EN PROSPECTION

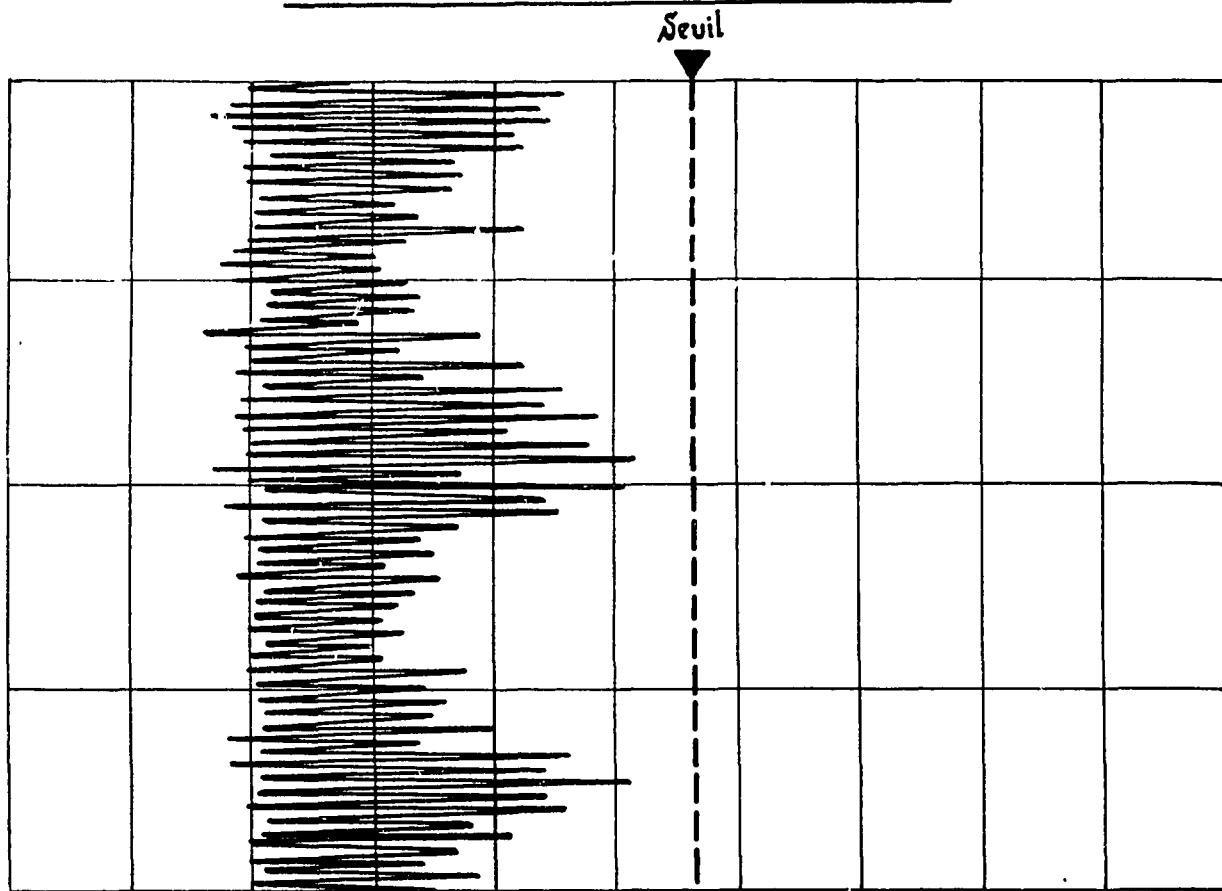


Figure 2 a. Réacteur propre.

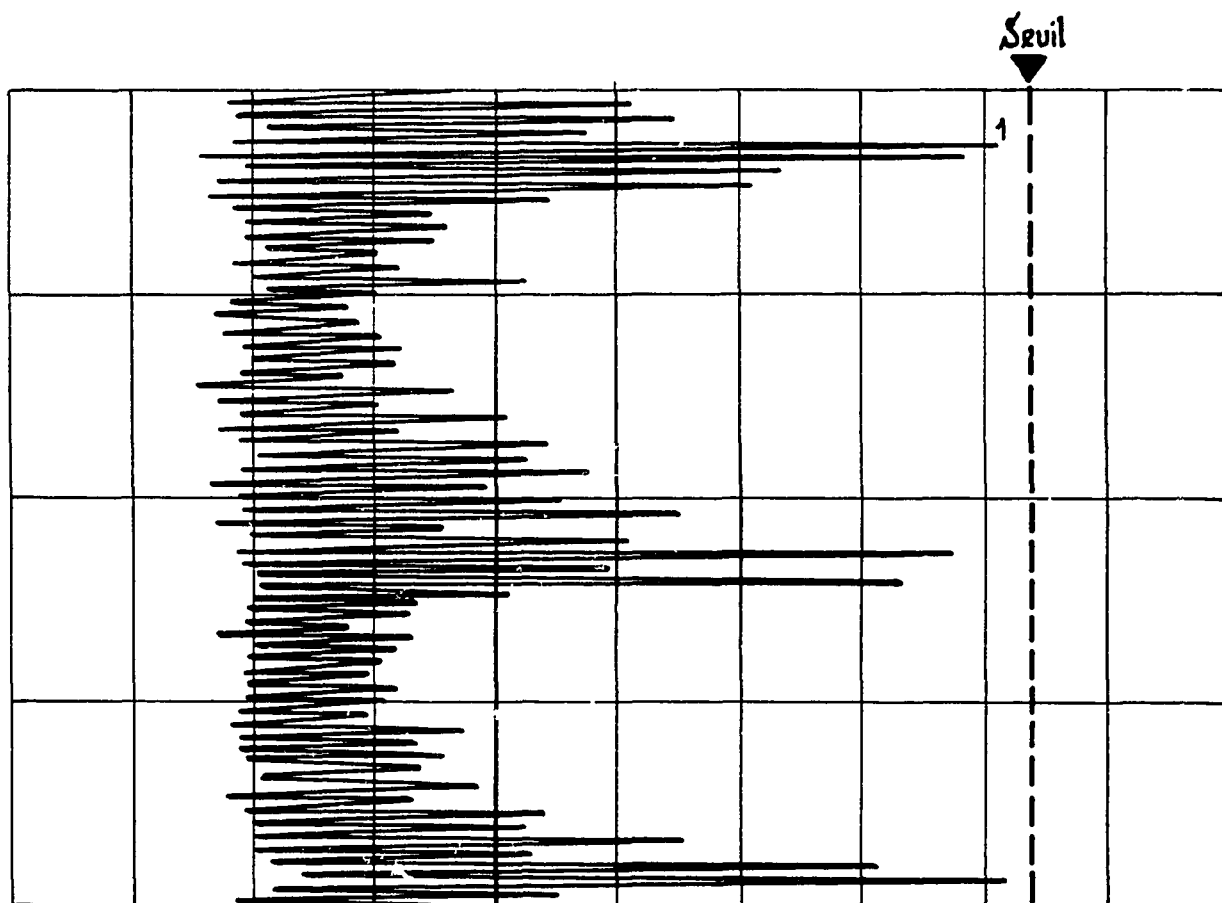
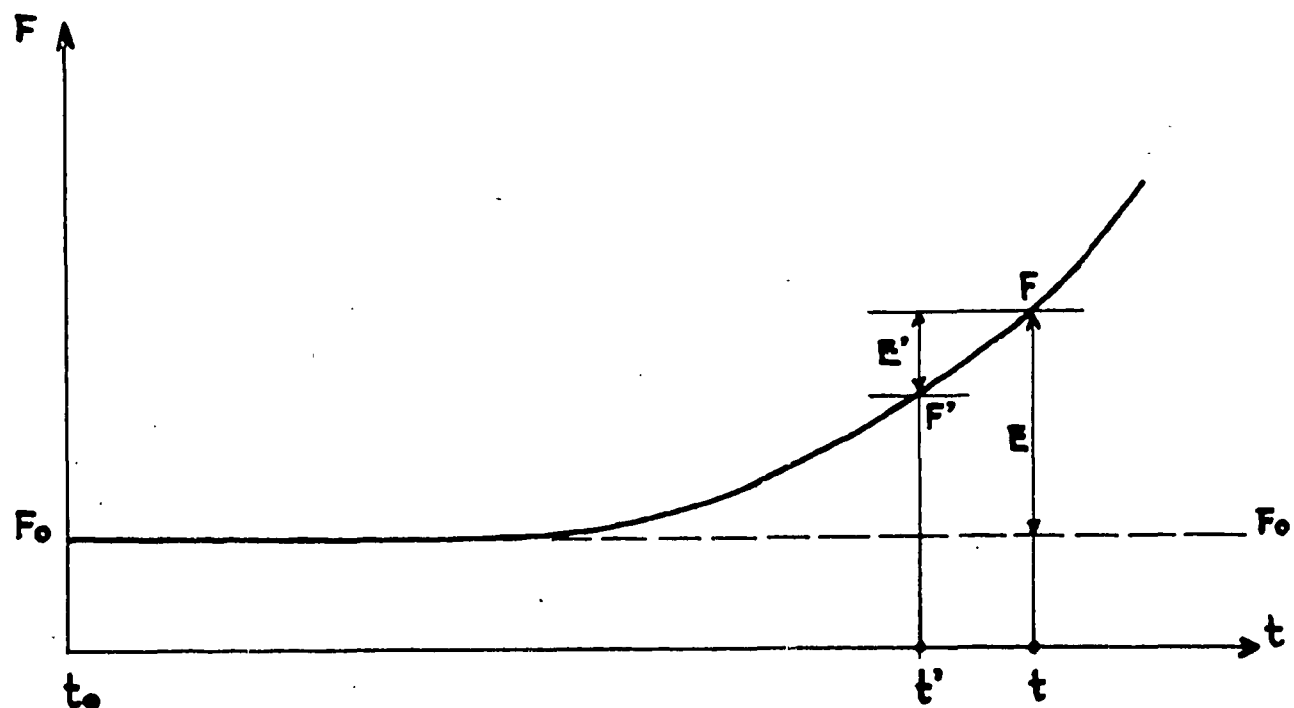


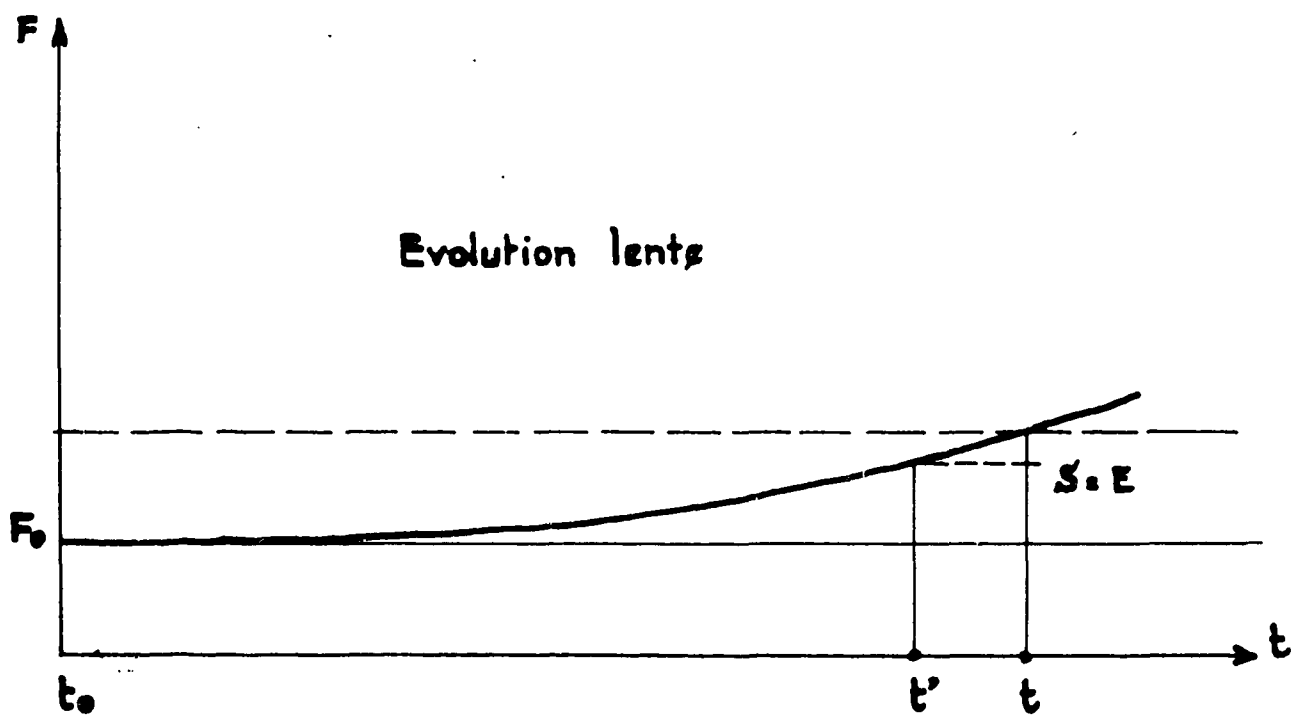
Figure 2 b. Réacteur ayant certains canaux contaminés.

NOTA : Chaque elongation représente l'activité F d'un canal déterminé.



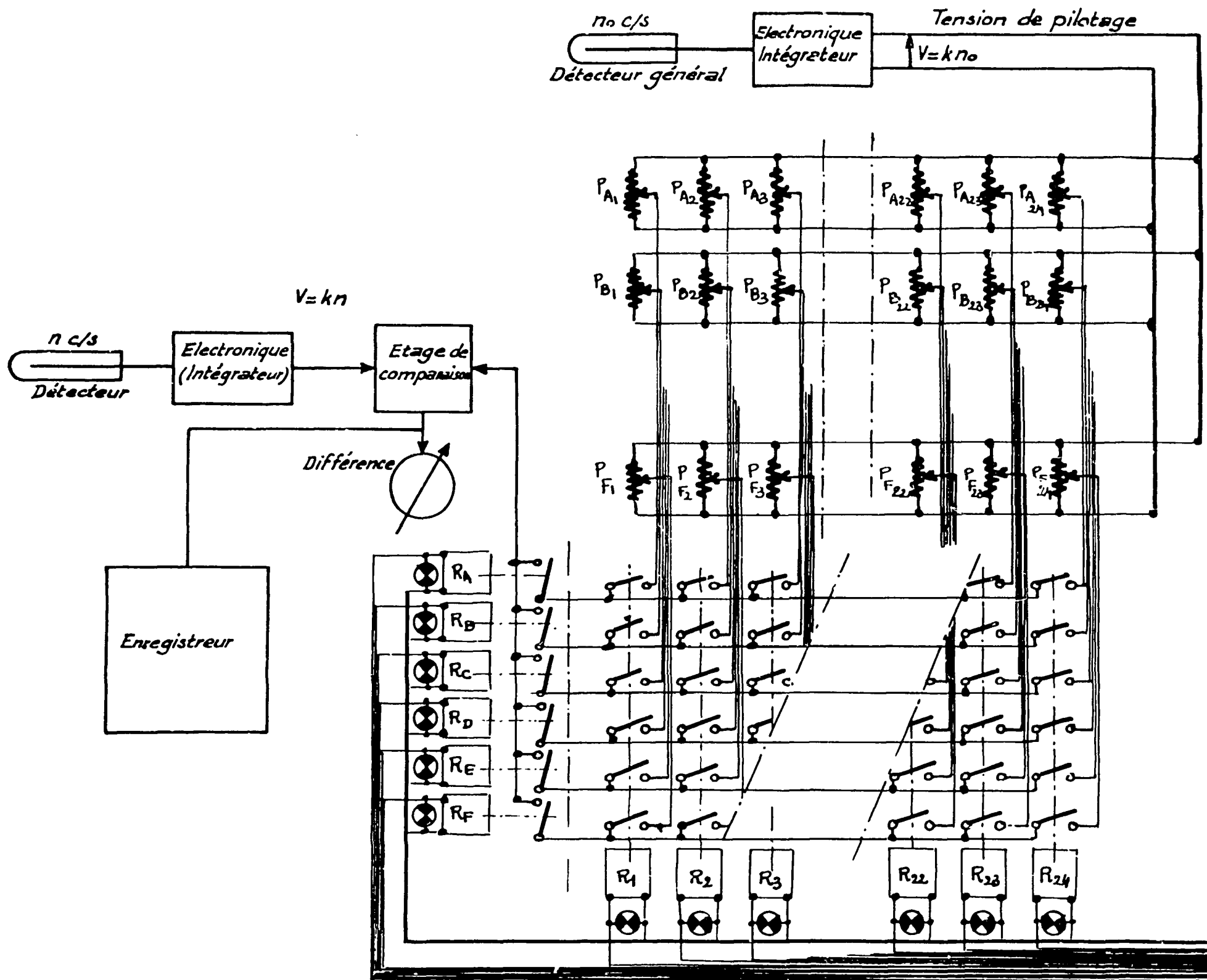
$$E = F - F_0$$

$$E' = F' - F_0$$

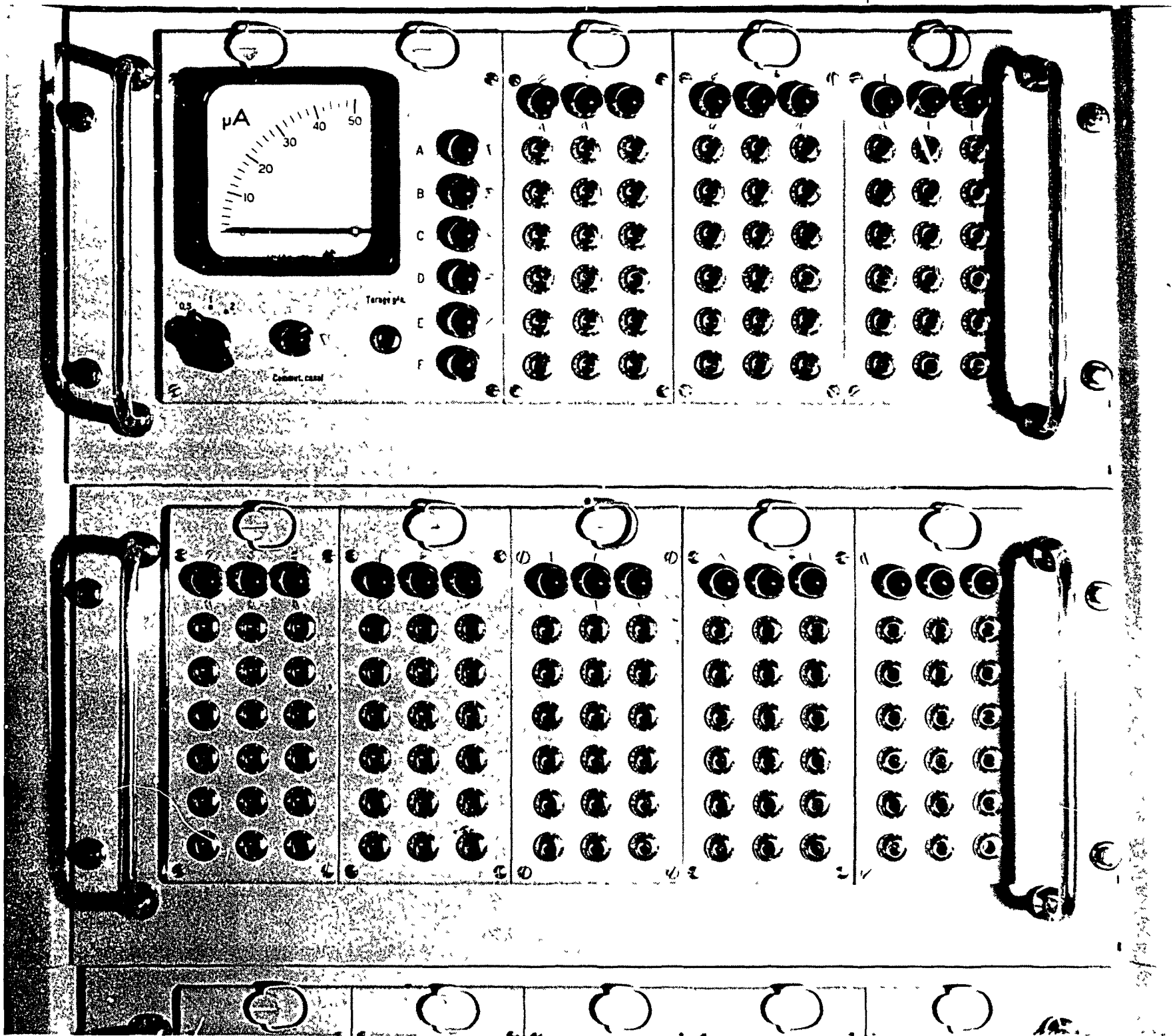


Si le seuil détectable est S , l'évolution est détectée pour $E = S$, évolution pendant le temps $t - t_0$ qui peut être très long.
 $t - t'$ étant fixé, 1 ou plusieurs cycles de prospection, le défaut ne sera pas encore détecté, son évolution étant trop lente.

- Figure 9 -

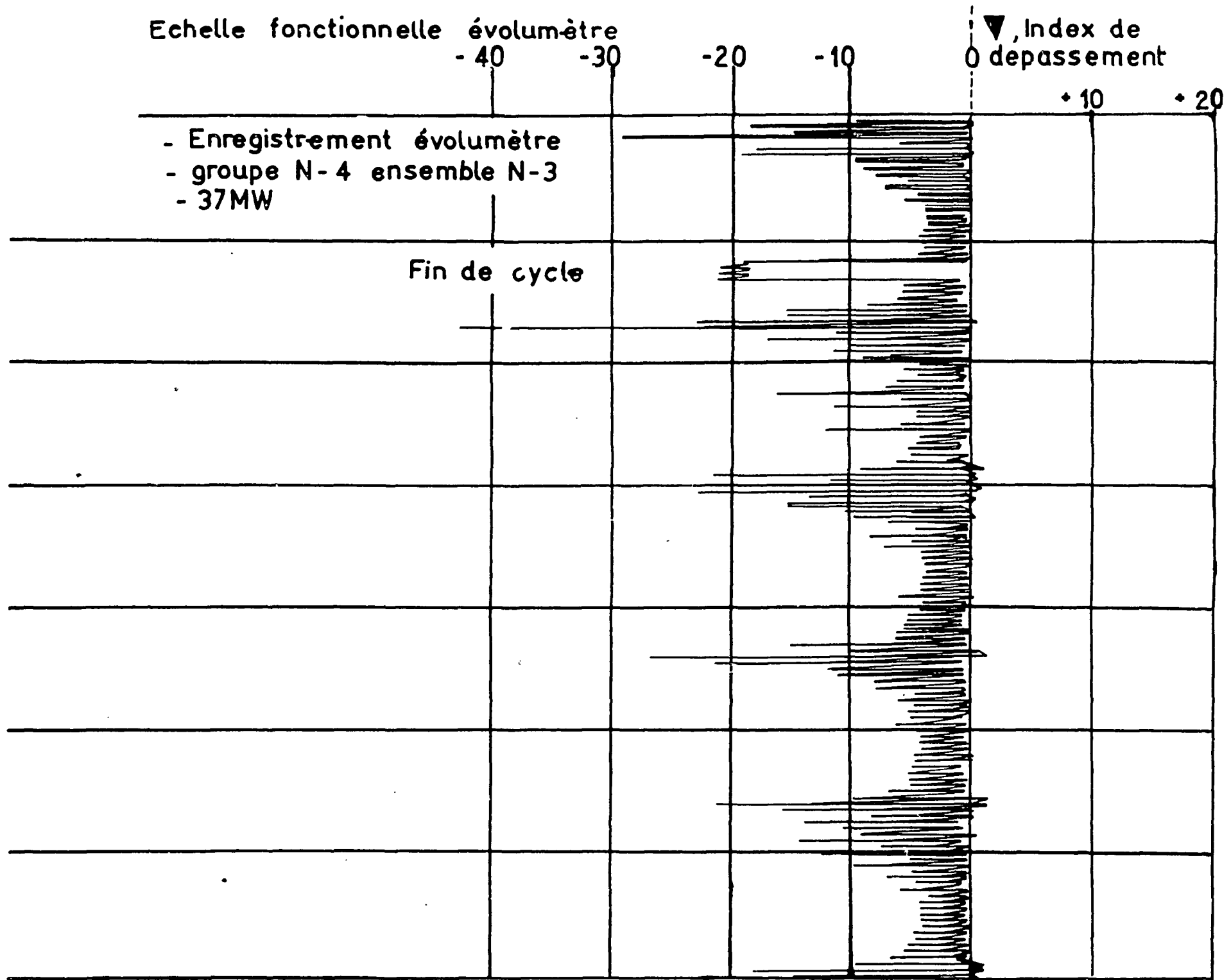


- Figure 10 -



- Figure 11 -

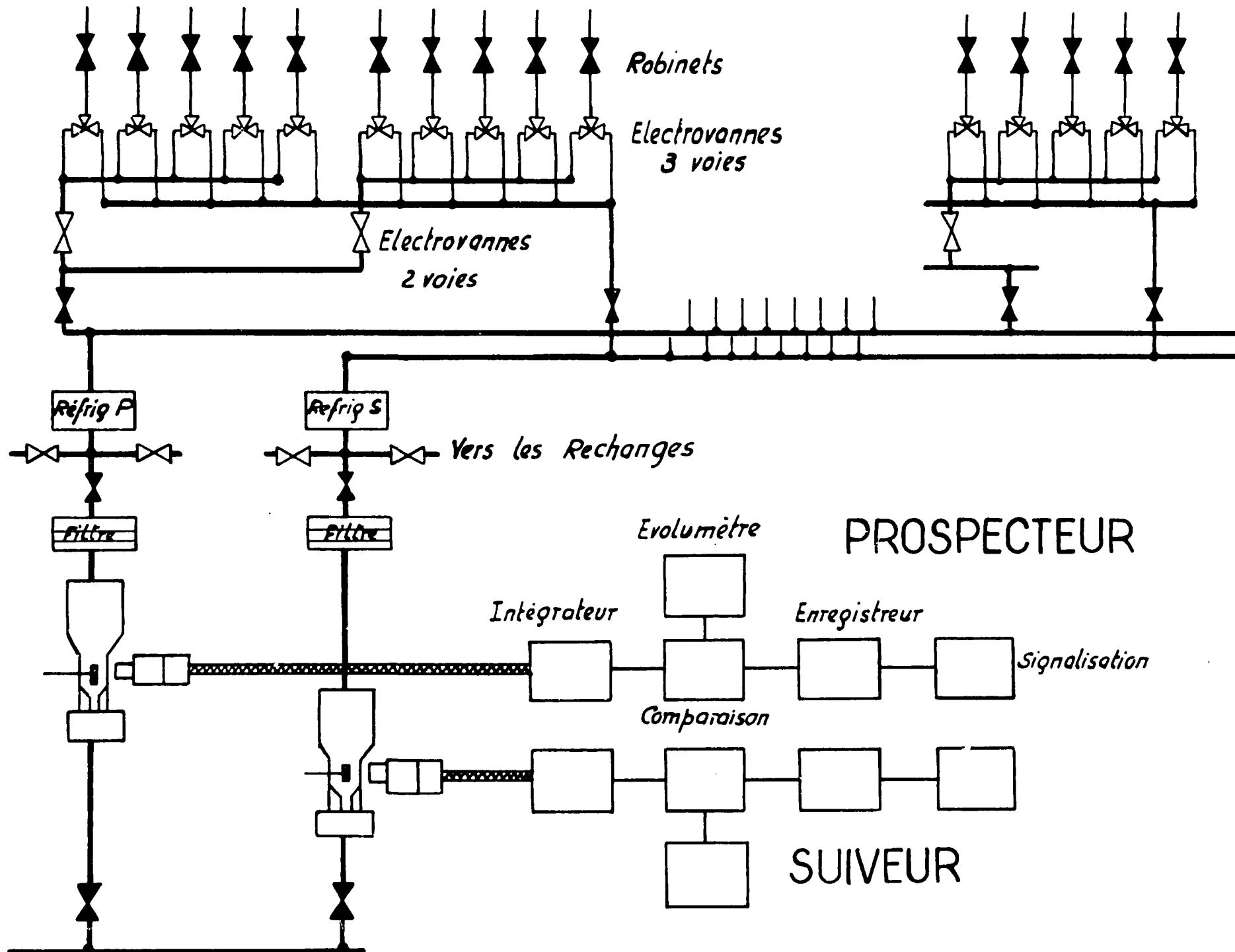
Evolumètre G1 - Ensemble pour un groupe de 135 canaux



- Figure 12 -

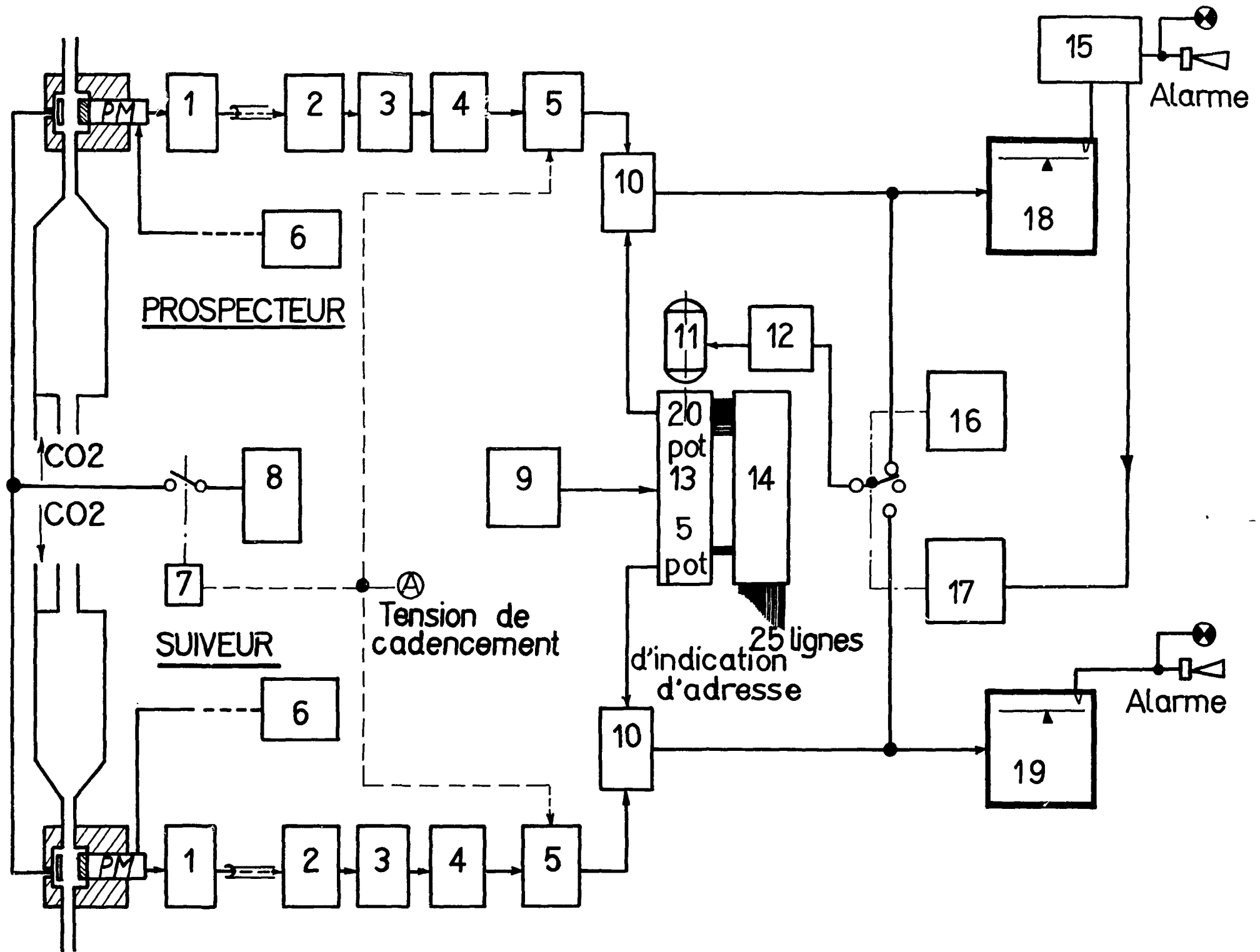
Enregistrement évolumètre G1

100 tubes de prélèvement

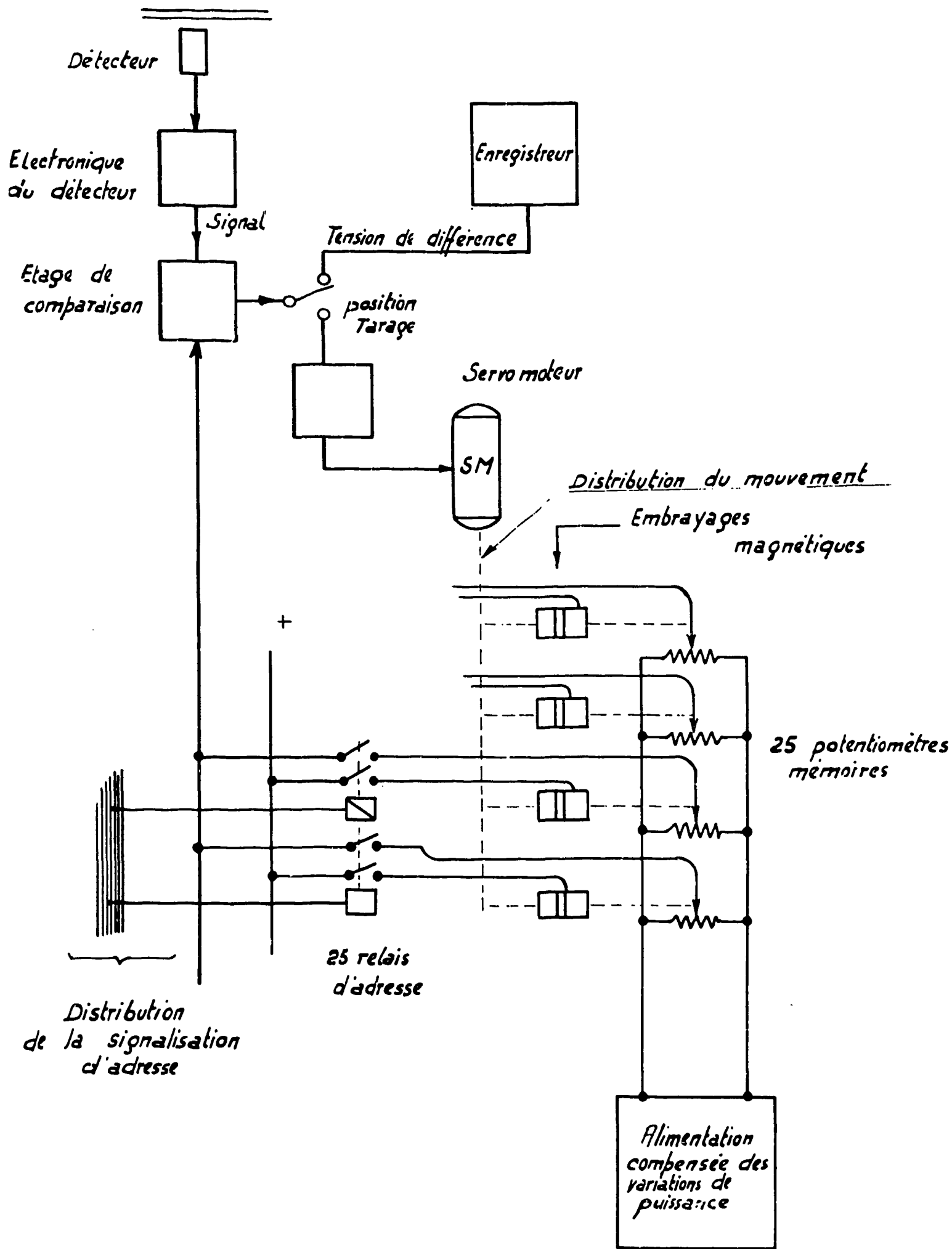


- Figure 13 -

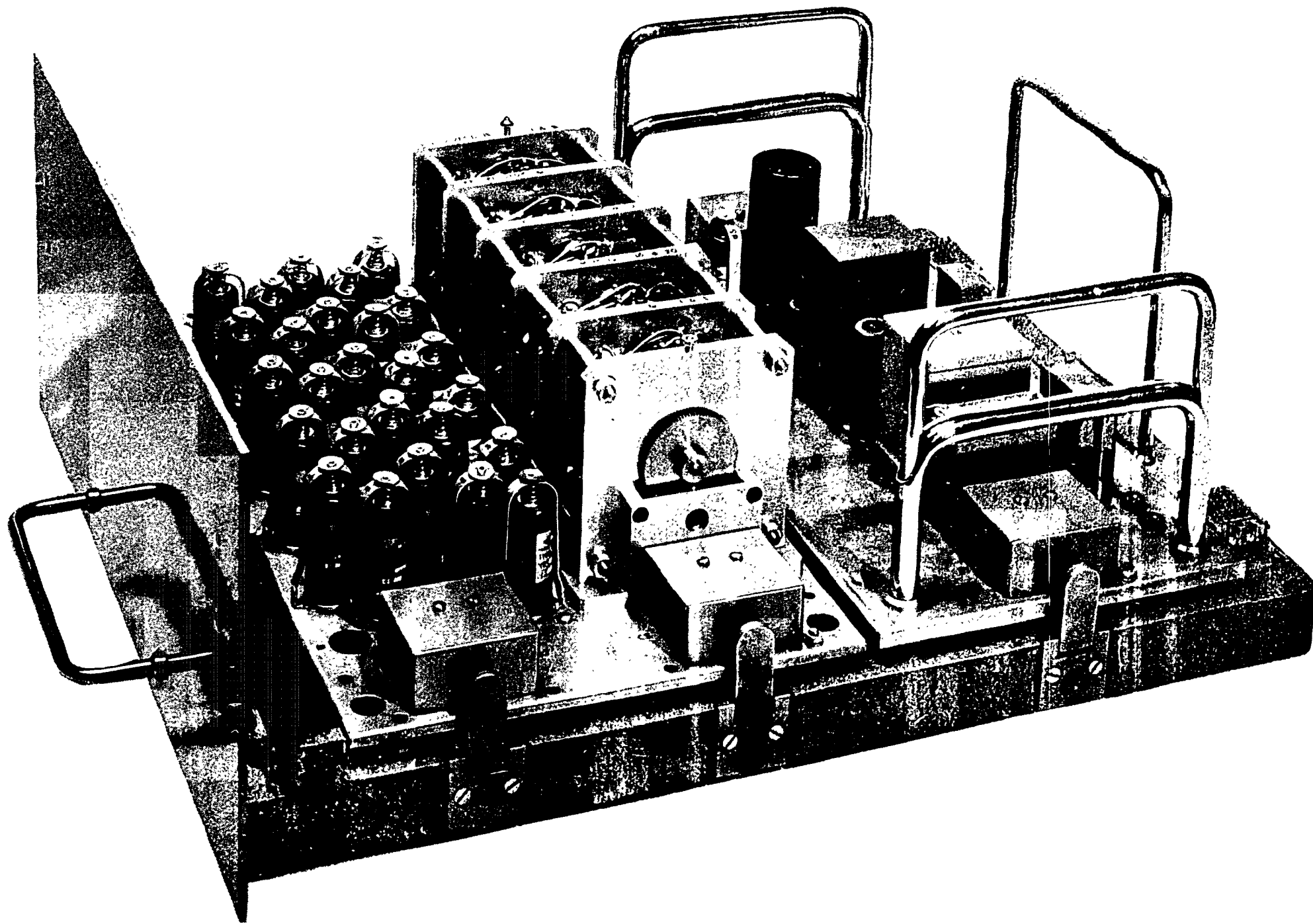
D.R.G. - G3 - Schéma d'un groupe (100 canaux)



- Figure 14 -



- Figure 15 -



- Figure 16 -

D.R.G. - 63 - Evolumètre

FIN