

Un calculateur pour défense anti-aérienne.

# *une nouvelle technique de calcul analogique*

GRACE

AU

## CALCULATEUR ELECTRONIQUE

Les progrès constants de l'électronique ont entraîné depuis quelques années un développement remarquable des moyens de transmission (Multiplex, faisceaux hertziens, etc.), des procédés de détection (radars), enfin des calculateurs. Dans ce dernier domaine, les grandes machines à calculer du type arithmétique, réalisées aux États-Unis, sont sans doute les mieux connues; elles sont capables, on le sait, d'effectuer avec une prodigieuse rapidité les calculs les plus compliqués relevant de la physique nucléaire, de la balistique ou de l'astronomie.

Les calculateurs analogiques de haute précision marquent un nouveau pas en avant. Leurs applications militaires se sont tout de suite révélées si intéressantes, notamment dans tous les cas où il s'agit d'attaquer un objectif mobile, qu'ils sont devenus un indispensable facteur d'efficacité. Dans le secteur civil, il apparaît dès maintenant que ces appareils sont susceptibles d'emplois très étendus grâce aux possibilités qu'ils offrent aux industriels et aux techniciens, non seulement pour le calcul, mais aussi pour l'étude des problèmes les plus complexes et les plus variés.

La C.S.F. a conçu et mis au point des calculateurs analogiques dont la technique entièrement nouvelle repose sur des fondements théoriques solidement établis et met en œuvre un certain nombre d'organes fondamentaux de haute qualité. Le fonctionnement très satisfaisant des réalisations industrielles a déterminé plu-

sieurs gouvernements atlantiques et européens à confier l'exécution de programmes importants à notre Compagnie.

L'impulsion de l'État-Major français et de la Direction des Etudes et Fabrications d'Armement a été sur ce point décisive. C'est en effet pour le compte de la Manufacture d'Armes de Levallois et d'après les directives de ses ingénieurs qu'ont été effectuées à C.S.F. les études d'appropriation de ces techniques au problème de la D.C.A. C'est, ensuite, la Section des Études et Fabrications de Télécommunications qui a coordonné les différentes commandes de fabrication, tant française qu'américaine, permettant de constituer un matériel de D.C.A. homologué en tant qu'ensemble par la Section Technique de l'Armée, et destiné aux forces armées de notre pays et éventuellement des autres pays atlantiques.

### *la technique C.S.F.*

Mais d'abord quel est le principe nouveau du procédé C.S.F. de calcul analogique? Il consiste, en quelques mots, à représenter des grandeurs physiques par des tensions alternatives de fréquence 500 kc/s dont l'amplitude est rendue proportionnelle à leur valeur, des tensions de phases opposées correspondant aux grandeurs positives ou négatives.

Les trois opérations algébriques fondamentales nécessaires pour résoudre un problème mathématique sont :

- 1<sup>o</sup>) La multiplication qui, à partir des nombres a et b fournit le produit  $a \times b$ .
- 2<sup>o</sup>) L'addition qui, de deux nombres a et b donne la somme  $a + b$ .
- 3<sup>o</sup>) La résolution de l'équation  $y = f(x)$  qui fait correspondre le nombre y au nombre x suivant une loi définie.

Ces trois opérations essentielles sont effectuées par les circuits calculateurs C.S.F. de la façon suivante :

1<sup>o</sup>) Le circuit de la figure 1 assure la multiplication par un coefficient r d'un nombre que représente une tension E. Il est tel que chacune des selfs-inductances qui le constituent forme un circuit accordé avec les capacités correspondantes lorsque les selfs-inductances voisines sont court-circuitées; ainsi le coefficient de multiplication est dû au rapport des capacités fixes.

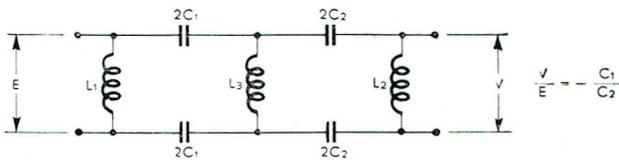


Fig. 1 — Circuit multiplicateur par un coefficient fixe  $r = \frac{C_1}{C_2}$

2<sup>o</sup>) Le circuit de la figure 2 effectue de même la multiplication par un coefficient  $r \cdot x$  d'un nombre que « traduit » une tension E. Le coefficient x est une fonction définie de l'angle  $\theta$  qui fixe la position des quatre capacités **simultanément** variables indiquées sur la figure.

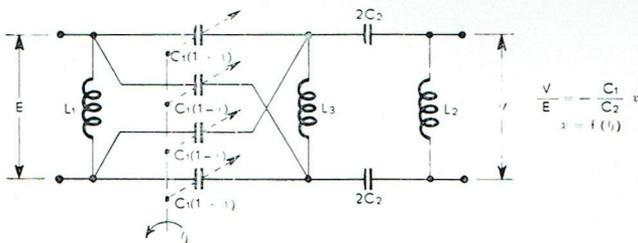


Fig. 2 — Circuit multiplicateur par un coefficient variable  $r = \frac{C_1}{C_2} \times$  fonction de l'angle  $\theta$ .

3<sup>o</sup>) Le circuit de la figure 3 résout l'équation linéaire  $a_1 E_1 + a_2 E_2 + \dots + a_n E_n = 0$ , dont le cas particulier  $E_1 = E_2 + E_3$  définit l'addition.

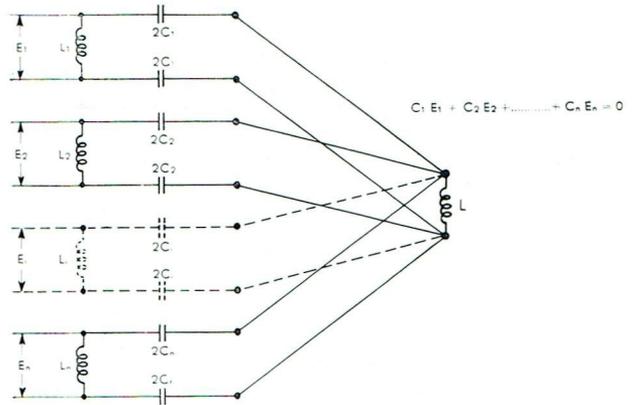
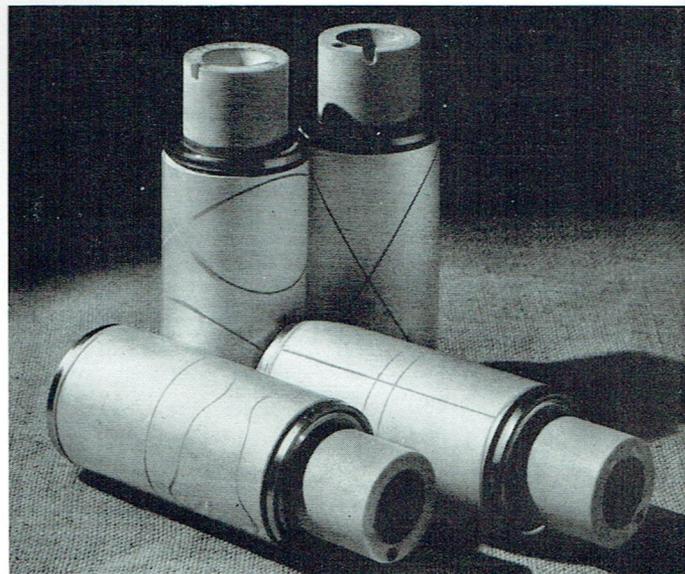


Fig. 3 — Circuit matérialisant l'équation linéaire  $\sum_{n=1}^n C_n E_n = 0$

Ici encore et d'une manière générale, tous les circuits calculateurs sont tels que chaque self-inductance forme un circuit accordé avec les capacités correspondantes quand toutes les selfs-inductances voisines sont court-circuitées.

Les circuits calculateurs C.S.F. offrent deux particularités remarquables :

- Le gain de chaque circuit, ou rapport de transformations, est un rapport de capacité et peut donc être très stable.
- Le rapport des impédances d'entrée et de sortie est très grand (par exemple :  $Z_e = 500.000$  ohms,  $Z_s = 4$  ohms), ainsi l'énergie prélevée par la cellule commandée sur la cellule commandante est très faible et ne peut provoquer aucune perturbation.



Grâce à ces propriétés il est possible :

- De réaliser de longues chaînes de calcul ne comportant aucun amplificateur, quelle que soit leur complexité, c'est-à-dire d'effectuer des calculs avec une précision indépendante des variations de caractéristiques des tubes électroniques.
- D'obtenir une précision supérieure au 1/1000 en mettant à profit la stabilité du rapport de transformation de chaque circuit calculateur.

La figure 4 indique comment sont montées les quatre capacités simultanément variables de la figure 2. Le condensateur utilisé est cylindrique et constitué d'un rotor et d'un stator en stéatite portant des armatures argentées. Le tracé de ces armatures dépend de la fonction  $f(\theta)$  qui entre en jeu.

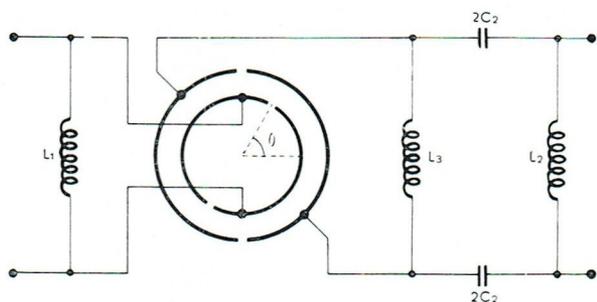


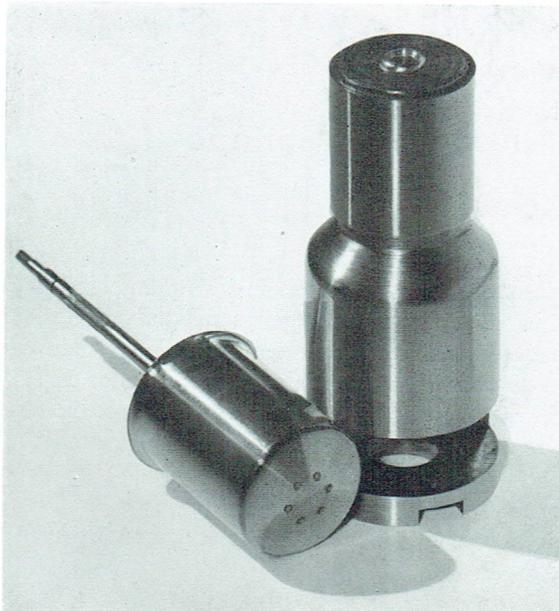
Fig. 4 — Réalisation du circuit de la figure 2 au moyen d'un condensateur cylindrique.

Dans les calculateurs C.S.F. les données et les résultats sont en général matérialisés par la position angulaire d'un certain nombre d'arbres mécaniques. Les arbres qui correspondent aux résultats sont entraînés au moyen de moteurs d'asservissement commandés par des tensions électriques (tensions d'erreur) qui s'anulent quand le problème est résolu.

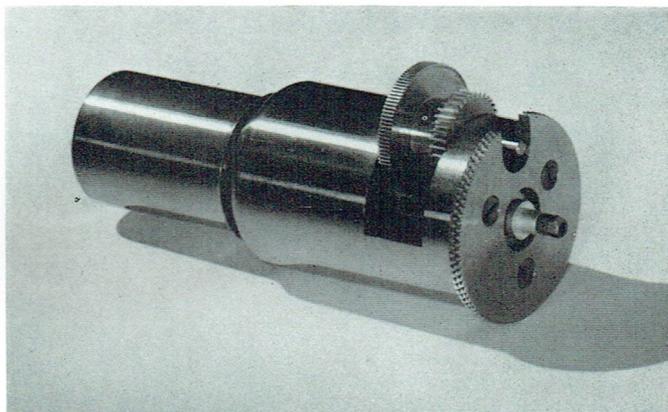
Le moteur d'asservissement est donc l'auxiliaire indispensable de tout calculateur analogique. La C.S.F. en a réalisé un, très étudié, qui est du type diphasé et spécialement conçu pour avoir une inertie très faible (inférieure à 10 grammes.cm<sup>2</sup>) et un couple très grand (supérieur à 1000 grammes.cm). Son rotor est une cloche de cuivre de 30 millimètres de diamètre dont le poids est inférieur à 10 grammes.

Ce moteur, associé aux circuits calculateurs C.S.F., permet notamment, sans l'adjonction d'aucun circuit correcteur, de résoudre des systèmes d'équations implicites à plusieurs variables. Ainsi peut-on, par exemple, dans les calculateurs de D.C.A., déduire les éléments de tir (durée de trajet, inclinaison et gisement) des coordonnées du but.

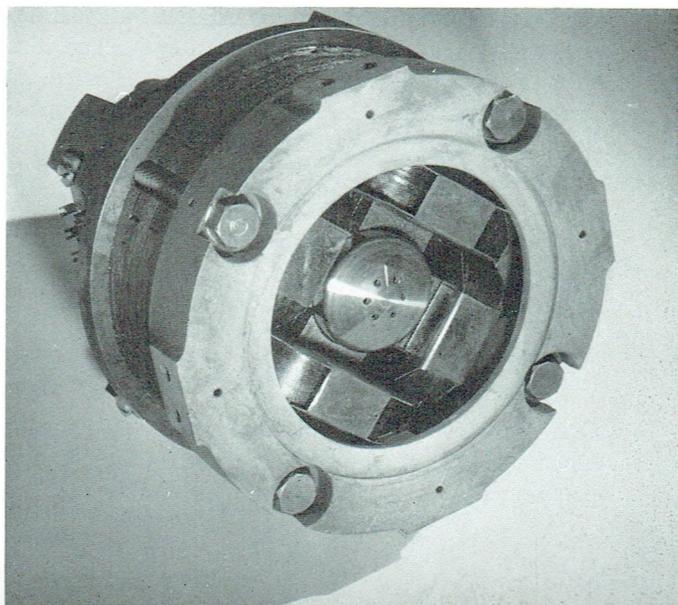
Noyau magnétique et rotor du moteur



Le rotor monté et les engrenages de commande du moteur.



Moteur d'asservissement diphasé.



# quelques exemples de calculateurs

## transformation continue de coordonnées

Supposons connues à tout instant les coordonnées polaires : D (distance) et G (gisement) d'un point mobile dans un plan et imaginons que l'on veuille obtenir d'une façon continue ses coordonnées cartésiennes X et Y. Le calculateur répondant au problème aura la structure représentée par la figure 5. Il comportera :

- un bloc de calcul des quantités  $D \sin G$  et  $D \cos G$ ,
- un bloc de calcul des coordonnées cartésiennes X et Y,
- un bloc de comparaison ou de zéro effectuant les différences :

$$\Delta X = D \sin G - X$$

$$\Delta Y = D \cos G - Y$$

Ces deux tensions  $\Delta X$  et  $\Delta Y$  commandent la rotation des moteurs d'asservissement entraînant les condensateurs linéaires X et Y de telle sorte que  $\Delta X = 0$  et  $\Delta Y = 0$  à tout instant.

## dérivation d'une grandeur variable fonction du temps

Si nous imaginons que l'on connaisse à tout instant la position d'un point mobile sur un axe et que l'on veuille obtenir d'une façon continue sa vitesse, le calculateur correspondant aura la structure représentée par la figure 6. Il comportera :

- un bloc de calcul de l'abscisse X;
- un bloc de calcul de la vitesse U;
- un bloc de comparaison ou de zéro effectuant la

différence entre  $\frac{dX}{dt}$  et U.

On remarque à l'intérieur du bloc n° 3 deux détecteurs linéaires spéciaux délivrant des tensions continues proportionnelles à X et U et du signe de ces quantités.

L'impédance du vibreur V étant pratiquement infinie, nous écrirons que :

$$\frac{i}{C} = \frac{i}{R}$$

$$\text{c'est-à-dire : } C z X' = -\frac{\beta U}{R}$$

$$\text{soit : } CR \frac{z}{\beta} X' = -U$$

en supposant que le moteur M maintient à tout instant le potentiel du point O à zéro.

$$\text{Si l'on veut que } X' = U \text{ il faut } CR \frac{z}{\beta} = -1.$$

## intégration d'une grandeur variable fonction du temps

Dans le calculateur de la figure 7 nous retrouvons les mêmes éléments que dans celui de la figure 6, mais la tension du point O servira à la commande du moteur entraînant le condensateur X.

Nous pouvons écrire comme plus haut :

$$X' = U$$

$$\text{ou } X = \int U dt$$

Cet appareil permet donc, la vitesse U étant supposée connue à tout instant, d'en déduire la position X du mobile d'une façon continue.

## cas de fonctions quelconques

Les circuits calculateurs C.S.F. présentent une remarquable souplesse. Ils permettent notamment la représentation précise (sous forme de tensions haute fréquence), de fonctions mathématiques ou expérimentales d'une ou de plusieurs variables, définies une fois pour toutes ou modifiables à volonté.

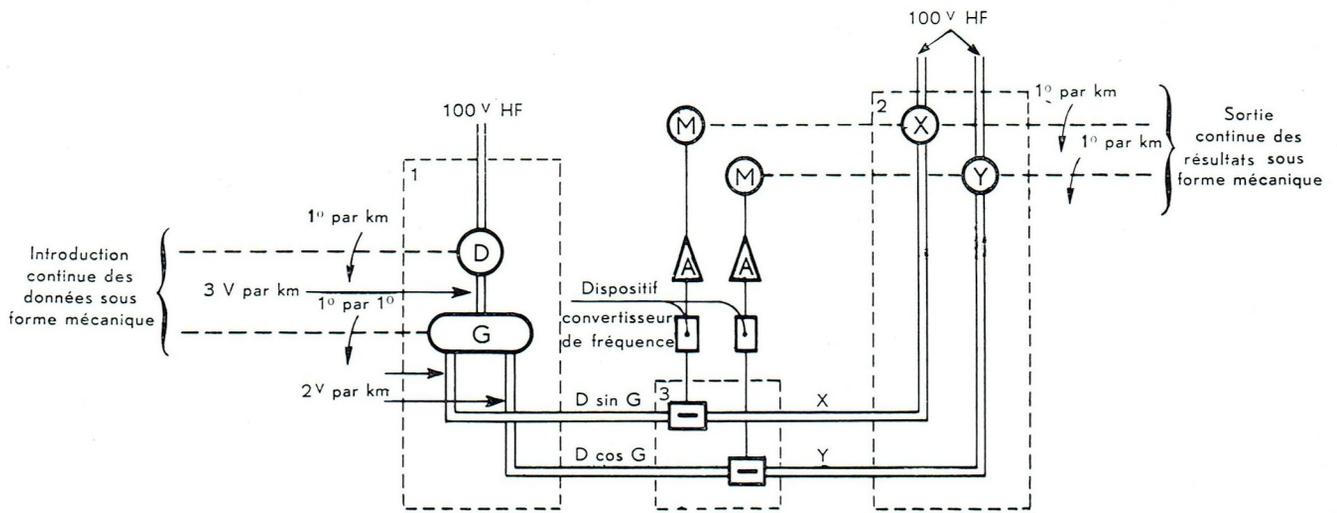


Fig. 5. — Transformation continue de coordonnées polaires en coordonnées cartésiennes

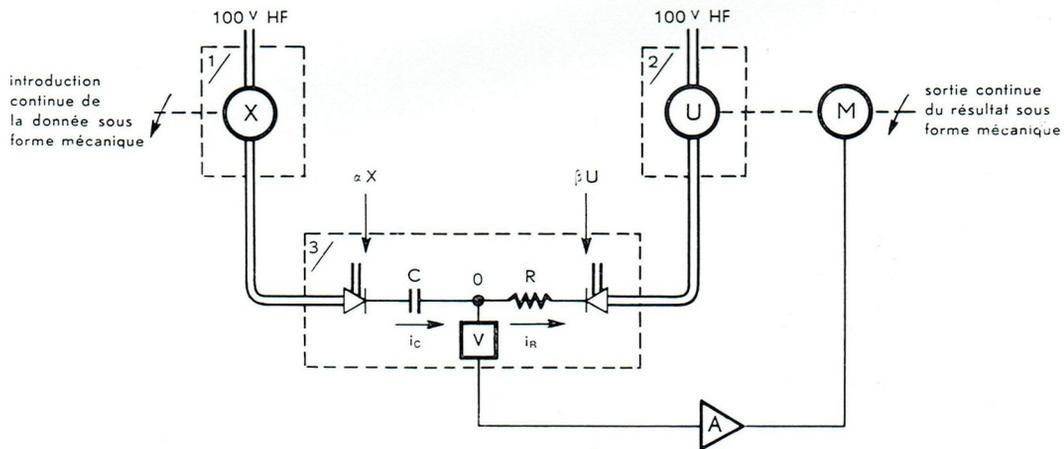
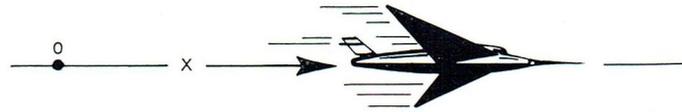


Fig. 6 — Calcul continu de la vitesse d'un mobile.

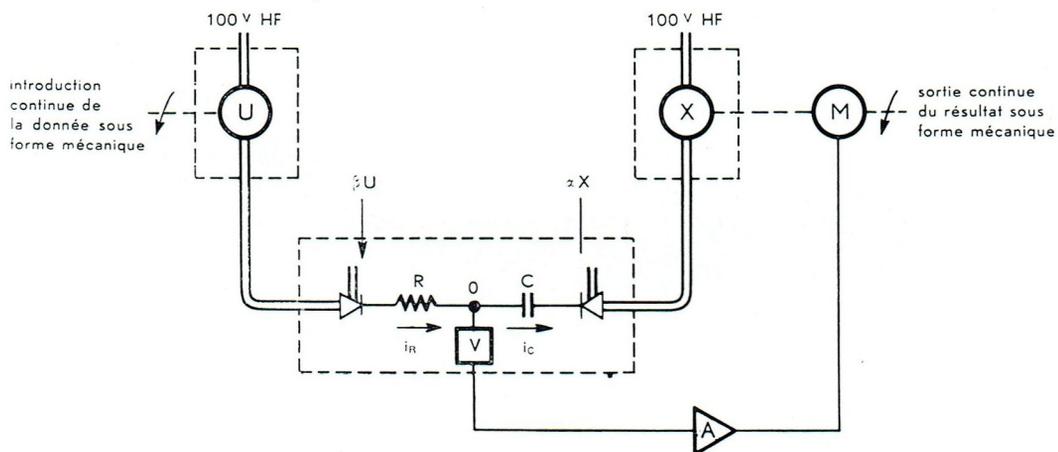


Fig. 7 — Calcul continu de la position d'un mobile.



Les circuits HF d'un bloc de calcul.

# application au calculateur de tir de D.C.A.

## nécessité d'employer un calculateur de tir

Puisqu'un avion constitue un objectif mobile, il est évident que pour l'atteindre par un tir de D.C.A. il faut connaître à la fois sa position instantanée et sa vitesse. La figure 8 montre, en effet, que pour toucher un engin situé au point A à l'instant  $t$  le canon doit être pointé sur un point F qui se trouve sur la route de l'avion et en avant de lui.

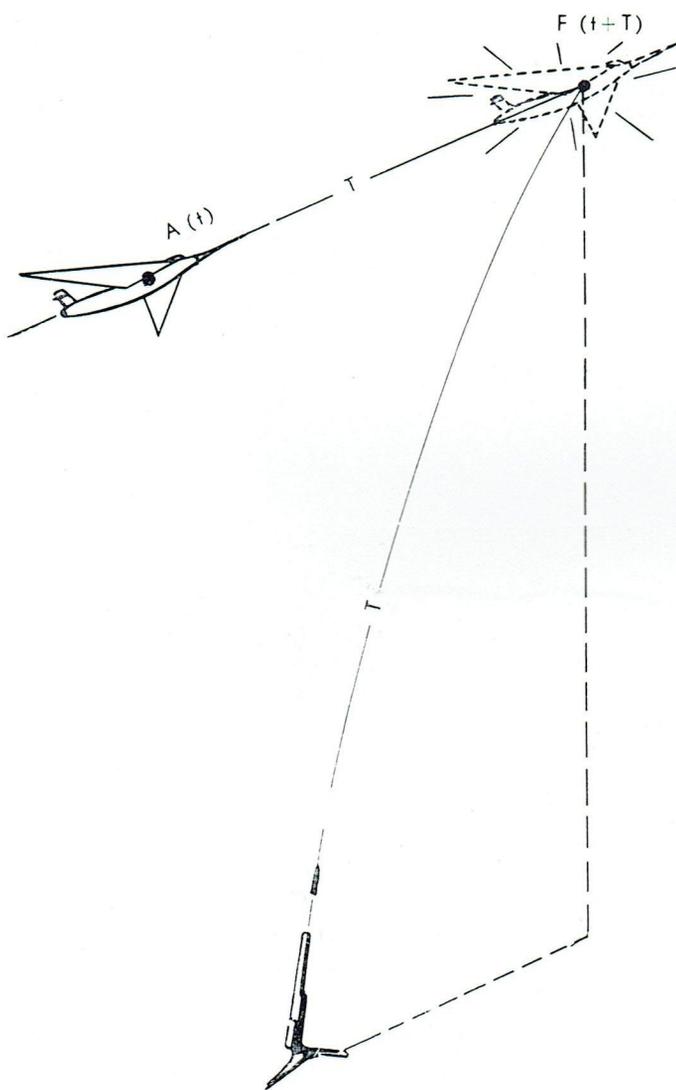


Fig. 8 — Le problème de la D.C.A. : problème de rencontre de deux mobiles.

Le point F, qu'on appelle « point futur » de l'avion, est tel que le temps que celui-ci met pour aller de A en F est égal au temps mis par un projectile pour se déplacer sur sa trajectoire depuis l'origine O de la batterie jusqu'au point F, où son éclatement doit se produire. La distance AF est la « longueur de l'extrapolation ». Si l'on veut, par exemple, atteindre un appareil volant à 5.000 mètres d'altitude et éloigné de la batterie de 10 kilomètres, la durée du trajet de l'obus sera de 30 secondes environ dans le cas d'un canon de 90 mm. En supposant que la vitesse de l'avion soit de 200 mètres-seconde (720 km/heure), la longueur de l'extrapolation sera :

$$200 \text{ m/s} \times 30 \text{ s} = 6.000 \text{ mètres.}$$

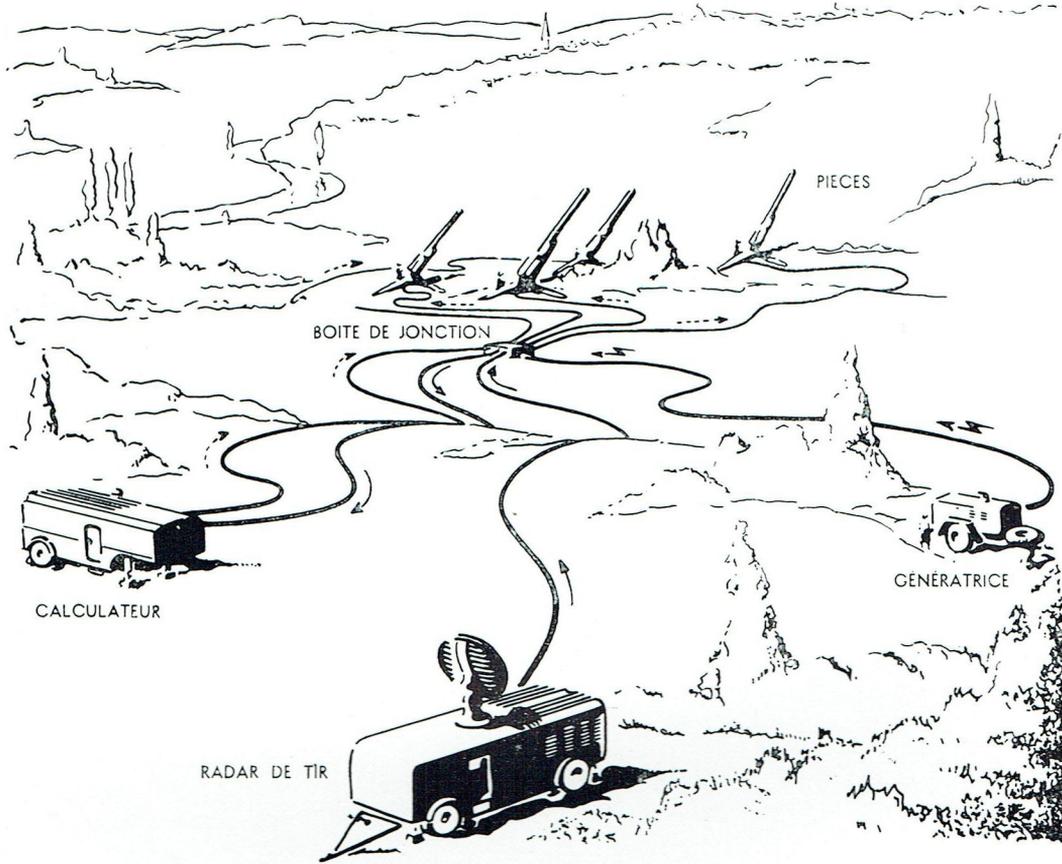
On comprend que, pour calculer une telle distance avec une erreur inférieure aux dimensions de l'avion, ce qui est obligatoire si l'on veut qu'il soit touché, il faudra déterminer la vitesse V et la durée de trajet T avec une précision de l'ordre de 1/1.000.

Ainsi l'efficacité de la D.C.A., en face des performances des avions modernes, exige un moyen de détection fidèle comme le radar et, aussi impérieusement, un organe de calcul rapide et précis. Il n'est pas exagéré d'affirmer que l'artillerie anti-aérienne est désormais inconcevable sans radar et calculateur de tir.

## rôle des calculateurs de D.C.A.

Le calculateur de tir est, bien entendu, un appareil automatique. Il reçoit d'une manière continue les éléments déterminant la position de l'avion fournis par un radar de conduite de tir et il est capable soit d'indiquer à tout instant au servent du canon les éléments de tir à adopter, soit de télécommander le canon.

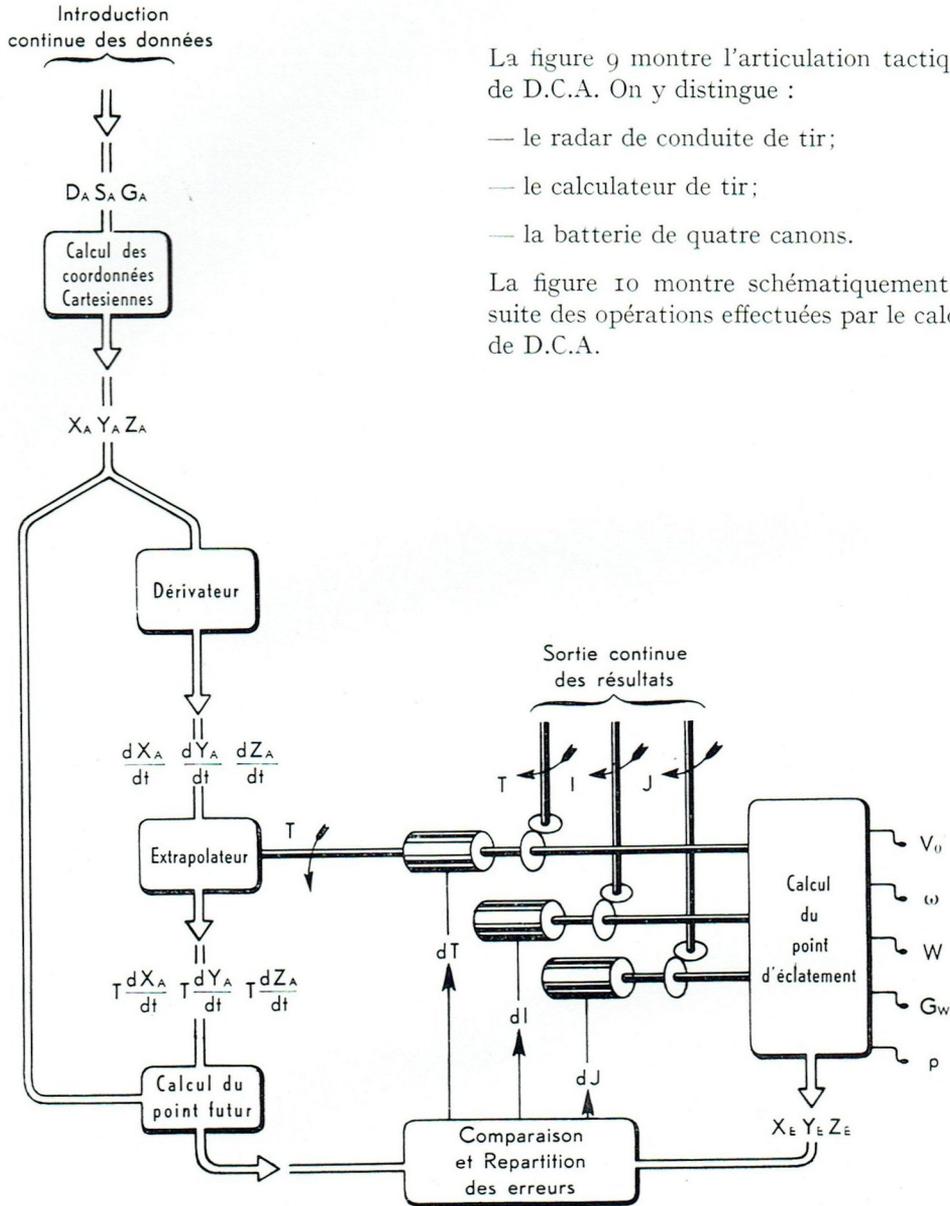
Fig. 9 — Un poste de D.C.A. moderne.



Rotor stator et condensateur montés.



Fig. 10



La figure 9 montre l'articulation tactique d'un poste de D.C.A. On y distingue :

- le radar de conduite de tir;
- le calculateur de tir;
- la batterie de quatre canons.

La figure 10 montre schématiquement quelle est la suite des opérations effectuées par le calculateur de tir de D.C.A.

## les possibilités d'emploi

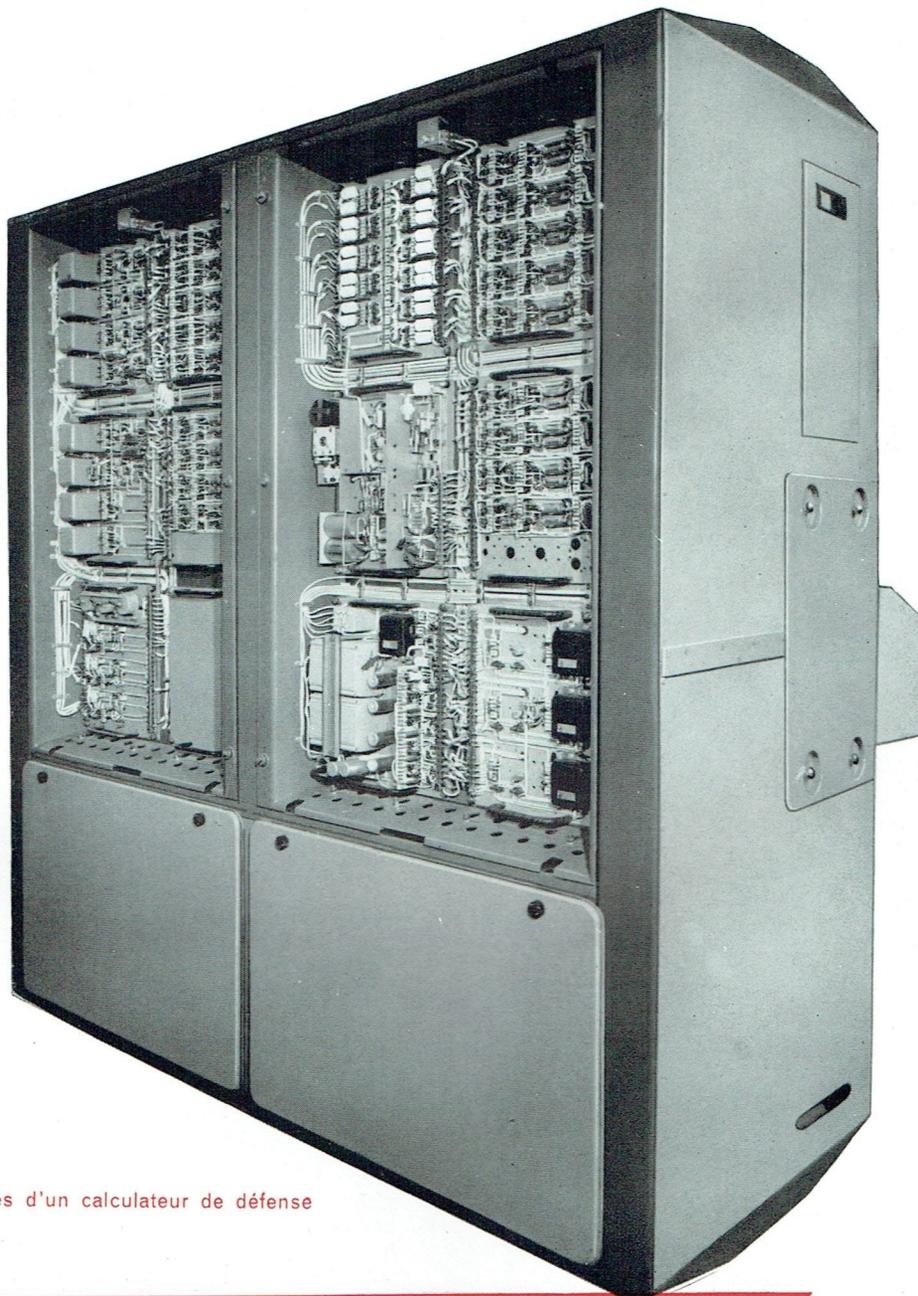
### des calculateurs



La stabilité, la précision et la souplesse des procédés de calcul mis en œuvre par la C.S.F. rendent aisée la construction de calculateurs de types très divers. Dans le domaine militaire, la C.S.F. s'est attachée à la réalisation des appareils suivants :

- Des calculateurs terrestres de conduite de tir anti-aérien pour canons de différents calibres, basés sur les mêmes principes, mais adaptés à chaque calibre et aux conditions d'emploi, notamment en ce qui concerne la rapidité d'accrochage et de poursuite.

- Des calculateurs embarqués, toujours pour le tir anti-aérien, et qui comportent des **dispositifs correcteurs de roulis, tangage et lacets**. Ces appareils permettent, en outre, de composer des ensembles de conduite de tir (radar de désignation d'objectif, radar de conduite de tir, calculateur et canons) qui dispensent d'employer des plateformes stabilisées.
- Des calculateurs de défense côtière pour conduite de tir sur but marin, qui ont comme caractéristique principale que le même appareil peut, par le simple remplacement d'un tiroir, conduire le tir de canons de calibres différents et suivant des balistiques distinctes.
- Des calculateurs de téléguidage destinés à commander les émetteurs d'un engin radio-guidé pour l'amener sur le but.
- Des calculateurs d'interception, dont l'objet est de guider le départ des chasseurs vers une formation ennemie ainsi que leur retour au terrain.



Dispositifs annexes d'un calculateur de défense anti-aérienne.