

Automatique et Nucléonique

Il est inutile de souligner les immenses progrès accomplis dans tous les domaines de la technique par l'emploi des machines mathématiques, tant arithmétiques qu'analogiques, et la place de premier rang que notre pays occupe en la matière, malgré le retard initial que les circonstances ont imposé à nos constructeurs.

Le rôle que les calculateurs analogiques ont joué dans le développement de la nucléonique et celui qu'ils sont appelés à remplir pour la mise au point de tous les projets de réacteurs et de centrales atomiques justifie amplement le développement de ces machines dont nous présentons ici même la plus récente réalisation : elle connaîtra le succès le plus mérité auprès des spécialistes de l'industrie et de la recherche scientifique.

Les opérateurs mathématiques électroniques de la S.E.A. : L'ENSEMBLE STANDARD O.M.E. P2

par Gérard ANDRÉ,

Département de calcul analogique
de la Sté D'ELECTRONIQUE ET D'AUTOMATISME

Il y a maintenant un peu plus de douze ans que, sous la pression des événements, des crédits considérables furent consacrés aux U.S.A. à la conception et à la construction de machines mathématiques électroniques. Ces puissants moyens de calcul, destinés aux physiciens et aux ingénieurs, ont contribué au développement prodigieux du potentiel militaire des alliés.

Depuis quelques années, on ne peut manquer de constater le développement qu'ont pris ces machines dans les divers pays industriels du monde. Ce domaine de la science, encore nouveau, connaît un essor prodigieux, dû en grande partie aux innombrables services que peuvent rendre ces machines dans tous les domaines et en particulier dans ceux de la recherche scientifique et de l'étude industrielle. Les milieux scientifiques et industriels savent bien que l'étude de systèmes dynamiques complexes par la simple expérimentation est généralement très longue, et, partant, fort coûteuse. L'analyse mathématique de tels systèmes conduit fréquemment à des équations différentielles telles que leur solution demande un temps considérable ou des approximations telles que l'on peut raisonnablement douter de la valeur des résultats ainsi obtenus.

L'intérêt industriel des machines mathématiques est donc, en premier lieu, de permettre de vérifier rapidement la validité d'hypothèses et de justifier ainsi des règles de calculs qui doivent aboutir, directement ou non, aux spécifications techniques les plus judicieuses et les plus économiques.

Les calculateurs mathématiques électroniques du type analogique réalisés par la SOCIÉTÉ ELECTRONIQUE ET D'AUTOMATISME sous la dénomination O.M.E. (*Opérateurs Mathématiques Electroniques*) permettent d'obtenir dans d'excellentes conditions de précision et de rapidité, la solution de problèmes scientifiques et industriels pouvant être mis sous la forme d'équations algébriques linéaires ou de systèmes d'équations intégral-différentielles linéaires ou non linéaires.

Nous précisons que le présent exposé ne concerne pas le domaine des calculatrices électroniques du type arithmétique, domaine particulièrement important dans notre Société et qui est représenté notamment par les *calculatrices numériques universelles types C.A.B. 2000 et 3000*, dont plusieurs exemplaires sont maintenant en exploitation avec d'excellents résultats. Le développement se poursuit par la réalisation de nouveaux exemplaires des différentes séries.

PREMIÈRES RÉALISATIONS DE LA SOCIÉTÉ D'ÉLECTRONIQUE ET D'AUTOMATISME

Les études entreprises dans notre Société depuis juin 1948, axées vers la réalisation de machines du type O.M.E., eurent comme premier objectif les notions de précision et de stabilité.

Une première maquette expérimentale de machine à calculer électronique, désignée O.M.E. 11, permit, dès février 1949 en particulier, d'entreprendre l'étude expérimentale de la stabilité d'une telle machine, l'étude théorique ayant suivi l'expérimentation (1).

On sait que l'amplificateur fonctionnel représente l'élément de base dans une machine analogique, c'est en effet lui qui introduit la plupart des limitations dans le calcul, d'abord par les perturbations qu'il détermine sur le coefficient de transfert désiré, ensuite et surtout par les « bruits » qu'il introduit. L'étude théorique de cet organe fut donc longue et délicate et contrôlée toujours de près par l'expérimentation. Les limitations constatées sur cette première maquette étaient dues en premier lieu aux amplificateurs, et tout l'effort fut porté sur eux. Parallèlement, l'étude « technologique » évolua lentement, et la machine servit de banc d'essais aux éléments technologiques nouveaux, tels que condensateurs à grand isolement, relais rapides, tubes, etc.

L'analyse de toutes les imperfections de cette maquette permit de concevoir et de définir les éléments de la première machine industrielle désignée O.M.E. 12, qui fut présentée au public en janvier 1950 à l'occasion de la première exposition d'électronique française. Cette machine fait encore partie de l'ensemble de Calcul Analogique exploité par notre Société pour le SERVICE TECHNIQUE AÉRONAUTIQUE (*Section des Engins Spéciaux*). De conception originale, chaque sous-ensemble d'amplificateurs porte ses régulateurs de tension alimentés à partir de redresseurs centraux. Chaque amplificateur est équipé d'une remise à zéro automatique. Cette machine est agencée pour résoudre les problèmes simples de pilotage automatique linéarisé. Rapidement, d'ailleurs, quelques organes non linéaires simples

furent ajoutés pour simuler un pilote automatique par tout ou rien. C'est l'exemple typique de la machine conçue pour résoudre, avec un certain automatisme certes, quelques types de problèmes bien déterminés; hors de ce cadre, elle devint rapidement inexploitable à cause de son manque de souplesse. Ses capacités de résolution sont les suivantes :

- systèmes d'équations algébriques linéaires de 10 inconnues;
- systèmes d'équations intégrales-différentielles de 5 équations du troisième ordre (suivant le nombre d'équations, l'ordre de résolution était plus élevé, soit par exemple trois équations du 5^e ordre).

Toutes les opérations de commutations de réseaux se font automatiquement par relais de façon à utiliser toujours au mieux tous les éléments actifs et passifs tout en respectant la représentation matricielle du panneau d'affichage.

L'O.M.E. 20, qui suit l'O.M.E. 12 à quelques mois d'intervalle, est la première machine équipée d'éléments non linéaires : servomécanismes du type multiplieurs et du type générateurs de fonctions, traducteurs de fonctions à tubes cathodiques.

Construite pour résoudre un problème particulier, elle avait assez de souplesse pour être couplée à l'O.M.E. 12; l'ensemble ainsi créé, pouvant résoudre des équations intégrales-différentielles à coefficients variables, constituait un outil déjà très puissant à l'époque.

L'exploitation de l'ensemble O.M.E. 12 et O.M.E. 20 a mis en évidence que la notion de machine telle qu'elle était apparue au début n'était plus valable pour la réalisation d'un simulateur de vol du type *Mistral*, dont l'étude théorique fut abordée courant 1951. Il fallut définir un mode de construction « universel » permettant de modifier facilement le schéma de calcul suivant l'évolution de l'étude théorique sans pour autant trop compliquer l'exploitation d'un tel ensemble.

MATÉRIEL STANDARD S.E.A.

Les premières machines ayant eu à satisfaire à des besoins urgents, la standardisation du matériel n'intervint donc qu'à l'occasion d'un programme de réalisation des simulateurs, un simulateur étant formé par la juxtaposition d'un nombre relativement grand d'éléments fonctionnels. Notre programme consistait donc, à l'égard de cette technique en :

- l'amélioration de la précision;
- l'augmentation de la sécurité de fonctionnement et de la facilité de maintenance;
- l'amélioration de la souplesse d'exploitation;
- la diminution des prix de revient.

Il va de soi que ce programme n'aurait pu être mené à bien sans notre expérience de construction et d'exploitation d'ensembles analogiques. C'est donc l'expérience de trois années de réalisation et d'exploitation qui a guidé le développement du matériel dit standard.

(1) A l'occasion de ces travaux, M. PARODI fit une étude approfondie des valeurs propres d'une matrice.

Amélioration de la précision

Le problème théorique général de la précision et de la stabilité d'un ensemble analogique n'a pas encore été résolu, sauf pour le cas linéaire, lequel a été étendu par le professeur BRODIN (2) au cas plus général des systèmes différentiels à coefficients fonction du temps. La notion de stabilité coutumière aux utilisateurs des calculateurs analogiques est la suivante: lorsqu'on dispose d'un matériel de qualité et que le schéma de calcul est réalisé, les valeurs initiales étant nulles, si les solutions de la machine sont nulles, la machine est dite *stable*.

C'est donc lorsque des phénomènes secondaires importants apparaissent que l'on peut mettre en cause la stabilité propre de la machine. C'est à l'expérience, faute de pouvoir faire le calcul, que l'on s'est aperçu que ce sont les bruits, dont la

(2) Mathématicien du Laboratoire de Recherches Balistiques et Aérodynamiques, Vernon (Eure).

décimale est inférieure à la précision que l'on recherche, qui viennent troubler d'une manière importante le fonctionnement d'une calculatrice.

Toutes les causes susceptibles d'apporter des bruits ou des dérives dans le fonctionnement d'une calculatrice ont été analysées (notons que ce que l'on appelle dérives sont les bruits à très basse fréquence). Ceci a conduit aux :

- spécifications des tensions régulées alimentant l'amplificateur,
- choix judicieux du tube d'entrée de l'amplificateur,
- choix des résistances dans les ponts inter-étages de l'amplificateur,
- disposition des éléments sensibles à la température,
- distribution et disposition du câblage d'alimentation,
- distribution du câblage transportant les courants fonctionnels,
- distribution des masses (qui est d'une importance capitale),
- choix des connecteurs (et en particulier des supports de lampes).

Il est bien connu qu'il existe de nombreux montages permettant de réduire les bruits dus aux alimentations et à la température; tous ces montages de compensation, par principe même trop instables, n'ont pas été retenus dans notre matériel standard afin d'augmenter la sécurité de fonctionnement et de réduire la maintenance. En effet, la plage de fonctionnement correct de ces montages n'est définie que pour des conditions bien particulières, lesquelles évoluent dans le temps; par exemple, symétrie des tubes appariés initialement, compensation du courant grille, lequel évolue lors du vieillissement du tube. Dans ce cas, la compensation cesse d'agir sans que l'utilisateur en soit averti. En outre, pour la fabrication en série, la nécessité d'apparier les éléments augmente le prix de revient de l'appareil et pour l'exploitation, impose à l'utilisateur de disposer d'éléments sélectionnés pour la maintenance de la machine.

L'étude théorique de l'amplificateur fonctionnel, confirmée en tous points par l'expérimentation, a permis de définir les caractéristiques optima de ces amplificateurs nécessaires à la réalisation de toutes les opérations fonctionnelles avec le maximum de précision et avec toute garantie de stabilité, en particulier bande passante, gain, disposition des réseaux correcteurs, afin d'éviter la saturation d'étages intermédiaires.

L'expérience de trois ans d'utilisation des divers éléments technologiques a permis de faire la sélection des pièces détachées les plus sûres, disponibles sur le marché français. D'autre part, des éléments technologiques nouveaux furent développés et mis au point à la suite d'essais longs et discrets, certains constructeurs français ayant accepté la réalisation et la mise au point de ces éléments, tels que résistances et condensateurs de précision.

Au stade actuel ce sont encore les éléments passifs qui limitent au premier ordre la précision des calculatrices. Il faut, en effet, pour obtenir une précision de 0,1 % de l'échelle, conserver la température ambiante des éléments passifs constante à ± 5 % près environ. Si on essaye, dans

des cas particuliers, de pousser la précision au-delà de cette valeur, on est limité par la résistance de fuite des condensateurs fonctionnels. Ces deux exemples, pris parmi tant d'autres, montrent clairement l'importance des problèmes technologiques dans la recherche d'une grande précision.

Augmentation de la sécurité de fonctionnement et facilité de maintenance

Le problème est surtout d'ordre technologique et se ramène à une sélection des pièces détachées les mieux adaptées dans chaque cas particulier. Pour la fabrication, cela exige un contrôle sévère à la réception de toutes les pièces entrant dans la fabrication d'une machine afin d'éliminer toute pièce défectueuse, et nécessite des contrôles par prélèvement lors de chaque livraison importante, pour s'assurer de la conformité avec le cahier des charges ou avec l'échantillon initial.

Les règles suivantes, dictées par le bon sens, ont guidé la réalisation :

- réduction du nombre d'éléments constitutifs au strict minimum,
- utilisation des éléments bien en deçà de leurs caractéristiques limites,
- élimination de tout dispositif de compensation,
- choix judicieux des signalisations et des dispositifs de sécurité.

Une maintenance facile est en outre assurée, grâce à la standardisation du matériel par éléments et sous-ensembles, ce qui permet un échange rapide de l'élément incriminé.

Souplesse d'utilisation

Aucune connexion fonctionnelle n'est faite à demeure entre les éléments séparés : amplificateurs, traducteurs de fonction, multiplieurs, servomécanismes, etc. Ils sont reliés en fonction du schéma de calcul à réaliser par des cordons semi-fixes :

- pour les liaisons à basse impédance, au niveau d'un bâti de commande et d'interconnexion fonctionnelle;
- pour les liaisons à haute impédance, directement d'élément à élément, en fil blindé, empruntant ou non les gouttières de sommet de bâtis (en particulier les liaisons entre curseurs de potentiomètres et entrées des amplificateurs).

Les éléments passifs (résistances et capacités) sont constitués par des blocs amovibles, enfichables, dont l'interchangeabilité est immédiate. On peut ainsi réaliser dans les meilleures conditions de rapidité et de sécurité, soit le changement d'échelle de temps et la machine peut être employée comme simulateur avec l'échelle de temps réelle (ou avec l'échelle des temps la mieux adaptée au problème à résoudre) soit la sommation des grandeurs avec des coefficients entiers (2, 5, 10) sur les variables.

Il est évident que cette disposition assure une grande souplesse d'exploitation. Dans le cas d'une grande installation par contre, la réalisation du schéma de calcul est assez longue et c'est une des raisons qui nous a conduits à la réalisation du nouveau matériel type O.M.E. P2.

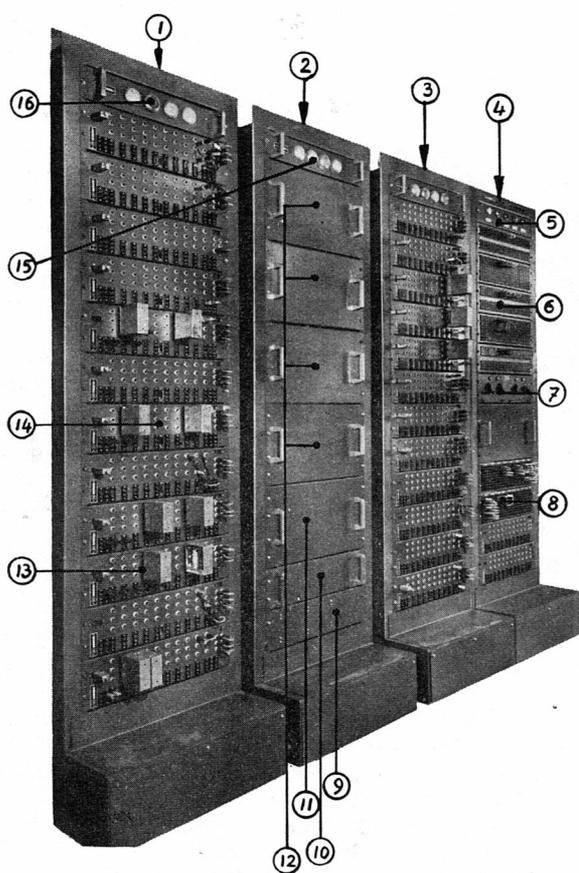


FIG. 1. — Ensemble de calcul constitué d'éléments standard S.E.A. comprenant 24 amplificateurs. 1 : bâti d'amplificateurs; 2 : bâti de régulateur de tension; 3 : bâti d'amplificateurs; 4 : bâti de commande et d'interconnexions fonctionnelles; 5 : platine de signalisation générale; 6 : interconnexions fonctionnelles; 7 : platine de commandes fonctionnelles; 8 : interconnexions des commandes de relais fonctionnelles; 9 : platine du régulateur de tension de chauffage; 10 : platine du régulateur de tension — 400 V; 11 : platine du régulateur de tension + 400 V; 12 : platine des régulateurs de tension + 225 V; 13 : boîtier de sommation; 14 : platine fonctionnelle associée à un amplificateur; 15 : platine de signalisation des défauts des régulateurs; 16 : platine de signalisation de saturation et de dérèglement des amplificateurs. Ne figurent pas sur le cliché : l'armoire de commande d'alimentation et les groupes tournants nécessaires à l'alimentation de cet ensemble.

Diminution du prix de revient

La seule façon de diminuer le prix de revient a été de fabriquer en plus grande série, et ceci n'a été possible qu'en standardisant le matériel; tous les éléments de même nature sont montés sur bâtis métalliques verticaux, câblés pour la totalité des appareils qui doivent y prendre place (fig. 1).

Quatre types de bâtis ont été normalisés :

- bâtis amplificateurs,
- bâtis régulateurs,
- bâtis d'éléments non linéaires à diodes,
- bâtis d'éléments non linéaires à servomécanismes.

Un net avantage, qui a recueilli la faveur de nombreux utilisateurs, est la possibilité d'un investissement minimum au départ, la machine ne comportant que le strict minimum d'éléments nécessaires à la résolution du problème posé, l'utilisateur ayant toute latitude de compléter cette installation initiale par l'adjonction d'éléments standard séparés. Sur les bâtis, les appareils non nécessaires à l'origine sont remplacés par des panneaux d'habillage. Si l'on désire, par exemple, monter un amplificateur supplémentaire, il suffit d'enlever le panneau d'habillage et de placer l'am-

plificateur en question. Son raccordement est assuré par des cavaliers amovibles et l'opération ne demande que quelques minutes. L'adjonction de bâtis complets n'est guère plus compliquée et les possibilités d'extension sont ainsi assurées dans les meilleures conditions pour l'utilisateur.

Matériel standard type O.M.E. P2 (Opérateurs Mathématiques Electroniques de Précision)

Quelles sont les raisons qui ont conduit la S.E.A. à créer un nouveau matériel standard type O.M.E. P2, alors que l'ancien satisfaisait les utilisateurs et a, en tout cas, fait ses preuves?

Un exploitant français (3) a indiqué récemment que « 40 % du temps d'utilisation d'un calculateur analogique était consacré à l'affichage, à la vérification et à la correction des erreurs, 10 % aux pannes » (précisons qu'il s'agit là d'une machine déjà ancienne, l'O.M.E. 111 fabriquée en 1950). Ce chiffre, élevé aux yeux d'un profane, ressort aussi des statistiques de certains laboratoires de calcul aux Etats-Unis, et c'est lui qui justifie les recherches américaines en vue de réaliser l'automatisme de l'exploitation; nous nous sommes également posé ce problème, mais devant un certain nombre de conditions impératives qui doivent être satisfaites pour que nous puissions avoir une confiance totale dans les dispositifs permettant de réaliser cet automatisme, et devant le coût de cette opération (les organes d'affichage représentant facilement le double du coût de la partie consacrée au calcul), nous avons préféré équiper les machines de panneaux fonctionnels amovibles de préaffichage. La mise en place du problème, préparé à l'avance alors que la machine en résoud un autre, est très rapide, et la durée d'immobilisation de la machine très réduite. D'autre part, une fois le problème traité, ces panneaux peuvent être stockés, ce qui permet de reprendre le même problème, à n'importe quel moment, avec un minimum de temps de préparation et d'immobilisation de la machine (ceci par exemple pour comparer les résultats de l'expérimentation à ceux des calculs).

Ceci est la première raison impérieuse qui nous a conduits à la conception d'un nouvel ensemble, la deuxième est la recherche d'une plus grande précision. Comme nous l'avons vu précédemment, il reste une limitation due aux éléments passifs, et, pour améliorer la précision, il faut conserver les éléments passifs à une température constante à quelques degrés près. L'ensemble O.M.E. P2 peut être équipé d'une climatisation des éléments passifs.

Ces deux raisons, impérieuses au stade actuel de l'évolution des calculateurs analogiques, ont entraîné une modification de la conception structurale de la machine.

Les interconnexions fonctionnelles devant se faire au niveau des amplificateurs, ceux-ci ont été groupés (quatre sur un châssis désigné platine fonctionnelle) de façon à réduire le nombre de ces interconnexions. Ainsi pour un ensemble de

(3) Article de M. ESCURSAN, ingénieur au Groupe technique de Cannes de la S.N.C.A.S.E., « Exposé pratique relatif à l'utilisation d'un opérateur mathématique électronique au Groupe technique de Cannes », paru dans *Technique et Science aéronautique*, tome 6, 1954.

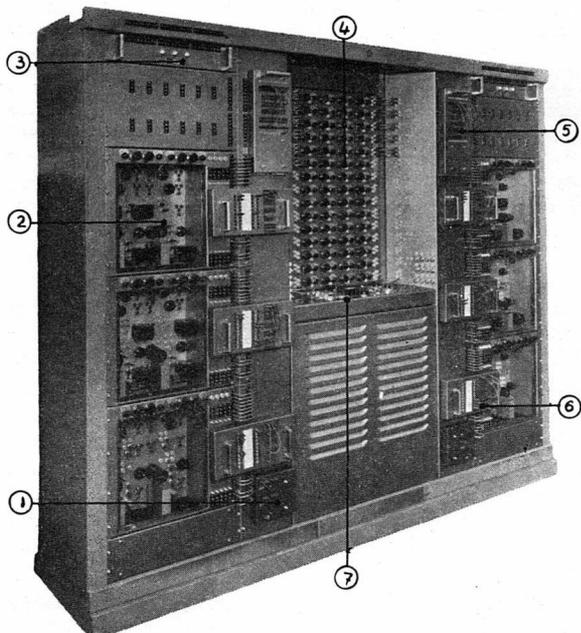


FIG. 2. — Ensemble O.M.E. P2, vue côté fonctionnel. 1 : panneau amovible d'interconnexions des relais fonctionnels; 2 : platine fonctionnelle associée à quatre amplificateurs; 3 : platine de signalisation de saturation et de dérèglement des amplificateurs; 4 : platine de potentiomètre d'affichage; 5 : panneau amovible d'interconnexions des amplificateurs et potentiomètres; 6 : panneau amovible d'interconnexions des éléments fonctionnels; 7 : pupitre de commande de contrôle et d'affichage.

24 amplificateurs (ensemble désigné conventionnellement O.M.E. P2), on dispose de 6 panneaux amovibles d'interconnexions fonctionnelles (panneaux horizontaux) :

- les interconnexions entre plusieurs ensembles O.M.E. P2, ainsi que l'affectation des potentiomètres, se font à l'aide de deux panneaux par ensemble (deux panneaux verticaux dans le haut de l'armoire, fig. 2);
- les interconnexions des commandes fonctionnelles se font à l'aide de deux panneaux (deux panneaux carrés dans le bas de l'armoire, fig. 2).

Pour permettre la climatisation, les platines fonctionnelles ont été groupées et leur superposition forme une cheminée où viennent prendre place les éléments passifs en boîtiers enfichables (fig. 4).

Au point de vue des caractéristiques techniques, les éléments constitutifs de l'O.M.E. P2 ont, à peu de choses près, les mêmes spécifications que l'ancien matériel, puisque pour les principes de conception, l'expérience est venue confirmer en tous points la théorie.

Pour la réalisation, ont servi de guide les mêmes grandes lignes que pour la conception du matériel standard ancien modèle, et l'expérience de trois années d'exploitation de ce matériel a permis d'éliminer les quelques défauts constatés sur ce matériel et imputables en majeure partie à certaines pièces détachées médiocres. La sélection des pièces détachées a donc été encore plus sévère.

1. L'amélioration de la précision peut donc, comme nous l'avons vu, être obtenue en climatisant tous les éléments passifs;

— la réduction du nombre des éléments constitutifs, en particulier suppression des groupes tournants d'alimentation en puissance (fig. 3);

2. L'augmentation de la sécurité et la facilité de la maintenance sont encore améliorées par :

- la réduction du nombre des régulateurs (seulement 2 régulateurs + 250 V et - 250 V d'alimentation en haute tension des amplificateurs (identiques d'ailleurs) (fig. 3);
- la réduction des éléments constituant l'amplificateur et les régulateurs.

La maintenance également est plus aisée puisque l'amplificateur est constitué de deux blocs enfichables, l'un étant l'amplificateur à liaison directe, l'autre l'amplificateur à modulation (fig. 4).

3. La souplesse d'utilisation n'a pas été modifiée par rapport à la solution initiale, par contre la rapidité de mise en place d'un problème, et sa mise en mémoire grâce aux panneaux amovibles de préaffichage fonctionnel, ont été soulignées au paragraphe précédent.

Notons en passant un point important ayant trait à la sécurité d'exploitation fonctionnelle. Les panneaux horizontaux, face aux platines fonctionnelles, sont équipés de porte-étiquettes qui permettent de repérer les grandeurs d'entrée au niveau de chaque entrée fonctionnelle de sommation, chaque entrée pouvant être coupée individuellement à ce niveau sans toucher aux interconnexions réalisant le schéma de calcul (fig. 5).

Ce principe permet à l'utilisateur, muni du « bloc-diagramme » de son problème, de se repérer rapidement lors de l'affichage ou de la vérification de chaînes partielles, lorsqu'il faut supprimer certaines connexions, sans pour autant toucher à la structure fonctionnelle du schéma établi, et de garder en mémoire les connexions supprimées en cours d'affichage ou de discussion, et par conséquent d'éliminer toutes les er-

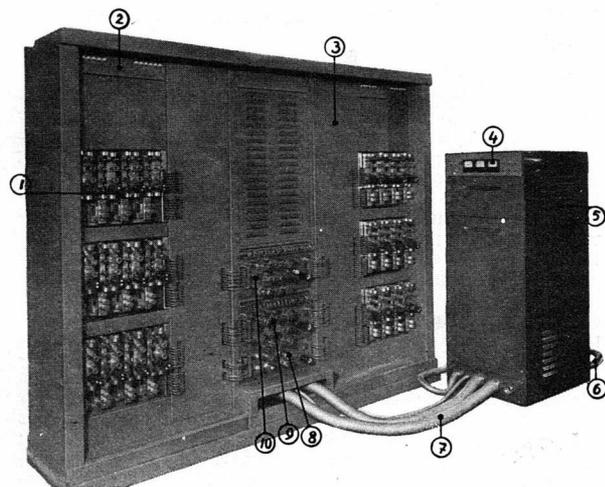


FIG. 3. — Ensemble O.M.E. P2 vue côté alimentation et armoire d'alimentation générale. 1 : vue arrière de la platine fonctionnelle équipée de quatre amplificateurs; 2 : signalisation de dérèglement des amplificateurs; 3 : bandeau recevant tout le câblage d'alimentation; 4 : platine de contrôle des alimentations; 5 : armoire d'alimentation; 6 : alimentation secteur triphasé 220 V 50 c/s; 7 : liaisons d'alimentation; 8 : platine du régulateur de tension - 400 V; 9 : platine du régulateur de tension - 250 V; 10 : platine du régulateur de tension + 250 V.

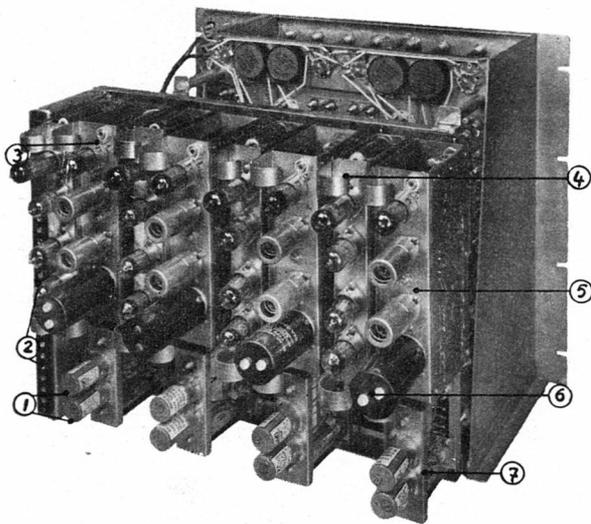


FIG. 4. — Vue arrière d'une platine fonctionnelle équipée de quatre amplificateurs fonctionnels. 1 : relais de commutations fonctionnelles; 2 : douilles d'alimentation; 3 : douille de contrôle de l'amplificateur à modulateur; 4 : bloc enfichable, partie amplificateur à liaison directe; 5 : bloc enfichable, partie amplificateur à modulateur; 6 : relais modulateur; 7 : bloc enfichable de commutations fonctionnelles.

reurs entraînés par la suppression involontaire d'une connexion (quel est en effet l'utilisateur d'un calculateur analogique qui n'a pas perdu des heures à la recherche d'une panne qu'il s'est créée lui-même?), et enfin de visualiser entièrement de la sorte le « bloc-diagramme » du problème affiché.

La diminution du prix de revient n'a pas été perdue de vue dans cette réalisation :

— La machine peut être presque entièrement câblée sur table. Un bandeau amovible reçoit tout

le câblage fonctionnel (fig. 2). Un autre bandeau amovible reçoit tout le câblage d'alimentation (fig. 3);

— Chaque platine fonctionnelle forme un tout équipé de 4 amplificateurs et pouvant recevoir les boîtiers amovibles constituant les éléments passifs; ceci permet une mise au point rapide et complète de chaque platine séparément;

— Les amplificateurs ont été scindés, comme nous l'avons dit plus haut, en deux blocs, ceci afin de pouvoir fabriquer ces éléments en plus grande série, le bloc enfichable de l'amplificateur à liaison directe équipant d'autres machines (en particulier l'O.M.E. L2, machine de la gamme de précision de 1 % à 0,5 %);

— Les deux blocs constituant l'amplificateur sont traités en câblage imprimé pour réduire au minimum le contrôle à la sortie de fabrication, technologie amplement éprouvée dans nos calculatrices numériques des types C.A.B.

Scindées en éléments simples, les opérations de fabrication et de contrôle sont facilitées et la mise au point de l'ensemble est rapide.

CAPACITÉS DE L'ENSEMBLE ET CARACTÉRISTIQUES DE L'AMPLIFICATEUR O.M.E. P2

L'ensemble O.M.E. P2 est alimenté à partir d'un réseau triphasé avec neutre, 220 V entre phases 50 c/s (fig. 3).

Tous les organes de commande, de signalisation et de contrôle, soit d'alimentation soit fonctionnels, sont groupés sur un pupitre central (fig. 6).

L'ensemble est équipé de 24 amplificateurs à liaison directe groupés par 4 sur 6 platines fonctionnelles.

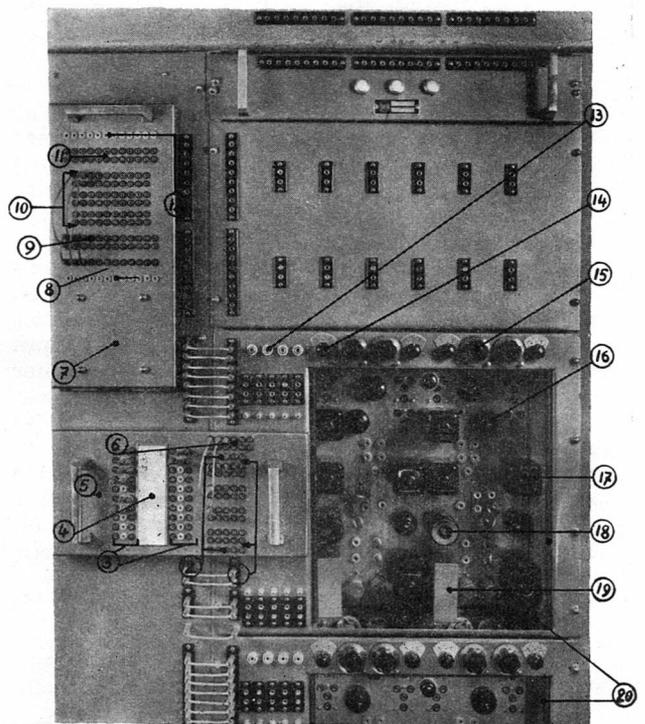
A chaque platine fonctionnelle sont affectés 14 potentiomètres d'affichage (10 potentiomètres sur le panneau central des potentiomètres, et 4 sur la platine d'affichage), et 24 éléments passifs avec possibilité de répartition sur les 4 amplificateurs (soit donc un maximum de 24 entrées possibles sur un même amplificateur), 4 autres éléments

FIG. 5. — Détail d'une platine fonctionnelle et des panneaux amovibles d'interconnexions. 1 : entrée de sommation avant coupure; 2 : renvois de curseur de potentiomètres; 3 : coupure à l'entrée de sommation; 4 : étiquette repère des grandeurs d'entrée; 5 : panneau amovible d'interconnexions des éléments fonctionnels; 6 : douilles de multiplage; 7 : panneau amovible d'interconnexions des amplificateurs et potentiomètre; 8 : renvois multipliés au niveau de chaque platine fonctionnelle; 9 : renvois de sorties des 12 amplificateurs de droite; 10 : renvois des points hauts de potentiomètres; 11 : renvois de sorties des 12 amplificateurs de gauche; 12 : renvois vers d'autres ensembles O.M.E. P2 ou vers les éléments non linéaires; 13 : douilles de sortie de 4 amplificateurs de la platine fonctionnelle; 14 : sélecteurs de signe pour l'affichage des valeurs initiales; 15 : potentiomètres d'affichage des valeurs initiales ou d'affichage du gain; 16 : bouchon répartiteur d'affectation de l'amplificateur (intégrateur ou sommateur); 17 : boîtier résistances de précision; 18 : relais spécial de commutation fonctionnelle; 19 : boîtier condensateur de précision; 20 : colonne réservée à la climatisation.

La disposition des éléments passifs et des interconnexions correspond à la résolution d'une équation différentielle du 2^e ordre :

$$y'' \pm by' + cy = 0$$

$$\text{avec } \begin{cases} y(0) = 0 \\ y'(0) = 1 \end{cases}$$



passifs (résistances ou capacités) sont affectés respectivement aux 4 amplificateurs (impédance de contre-réaction).

Tout système d'équations algébriques linéaires, ou d'équations intégrées-différentielles à coefficients constants nécessitant au maximum les éléments ci-dessus est susceptible d'être traité par cette machine. C'est seulement pour fixer les idées, sans que cette énumération ait un caractère restrictif, que nous donnerons quelques exemples des possibilités de la machine.

Résolution de systèmes d'équations algébriques linéaires

- 8 équations à 8 inconnues ou inversion d'une matrice d'ordre 8.
- Un panneau-matrice spécial que l'on peut associer à l'O.M.E. P2 permet d'ailleurs la résolution de 12 équations à 12 inconnues complètes ou l'inversion d'une matrice d'ordre 12.

Résolution de systèmes d'équations intégrées-différentielles à coefficients constants

- 6 équations du 2^e ordre complètes (où figurent tous les coefficients et tous les signes);
- 8 équations du 2^e ordre incomplètes (où figurent tous les signes, mais incomplètes au point de vue coefficients).

En général, elle permet d'aborder des problèmes à 24 variables (en comprenant dans ce nombre les dérivées), chacune affectée d'un seul signe. Dans de nombreux problèmes physiques, la proportion des déphaseurs est de l'ordre de 25 %, ce qui permet donc de traiter des problèmes à 18 variables sans qu'il soit nécessaire de se préoccuper de la question des signes.

A titre illustratif, la figure 5 donne la disposition des éléments passifs et des interconnexions fonctionnelles nécessaires à la résolution d'une équation différentielle du 2^e ordre.

Signalons qu'à cet ensemble, on peut associer des éléments non linéaires (tels que multiplieurs, générateurs de fonction, écrêteurs, etc.), certains même pouvant prendre place sur l'ensemble O.M.E. P2 à l'emplacement d'une platine fonctionnelle, et également associer autant d'ensemble du même type qu'il est nécessaire pour la résolution du problème, ce qui permet de sortir du cadre linéaire et confère à l'ensemble un caractère universel.

L'amplificateur, constitué en fait par la mise en parallèle d'un amplificateur à liaison directe de gain 30 000 et d'un amplificateur à modulation de gain 2 000 (4) présente une particularité intéressante : l'entrée de l'amplificateur à liaison directe se fait par capacité. Ceci permet de diminuer en particulier l'effet du courant grille de l'étage

(4) Voir un article de l'auteur paru dans *Mesures et Contrôle industriel* de décembre 1954, qui traite de ces types d'amplificateurs à liaison directe.

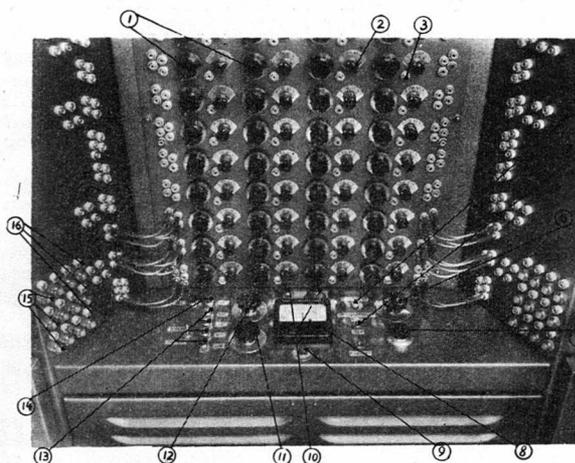


FIG. 6. — Pupitre de commande, de contrôle et d'affichage. — 1 : potentiomètres d'affichage; 2 : sélecteurs de l'affaiblisseur associé aux potentiomètres; 3 : douille de sortie d'affaiblisseur pour affichage au pont de mesure; 4 : entrée du pont de mesure; 5 : sélecteur de sensibilité du pont de mesure; 6 : sélecteur de contrôle des tensions d'alimentation et de la référence; 7 : potentiomètre étalon associé en pont de mesure; 8 : multimètre; 9 : sélecteur de sensibilité du multimètre; 10 : signalisations générales de défaut de l'ensemble fonctionnel; 11 : contacteur de commande des cycles de résolution; 12 : contacteur de commande des amplificateurs « test-calcul »; 13 : lampes témoin; 14 : commande du contacteur de mise sous tension; 15 : lampes de signalisation de saturation des amplificateurs; 16 : douilles de contrôle de sortie des amplificateurs.

d'entrée (l'impédance d'entrée restant fixe dans ce cas). L'étage de sortie peut délivrer ± 100 V dans une résistance de 6 000 ohms. Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- Gain à la fréquence nulle : $6 \cdot 10^7$;
- Fréquence à 0 dB : 1,6 Mc/s;
- Déphasage : inférieur à 85° dans la bande de 0 à 1,6 Mc/s;
- Stabilité du zéro à court terme (1 heure) : 100 μ V;
- Stabilité du zéro à long terme (15 jours) : 200 μ V;
- Dérive en intégrateur (RC = 1) : au max. 30 mV après 30 minutes.

* * *

L'ensemble O.M.E. P2, dont le développement est basé sur les sept années d'expérience de notre Société dans le domaine de la réalisation et de l'exploitation d'ensembles de calcul analogique, est apte à apporter une aide puissante à la résolution et à la discussion de nombreux problèmes qui se posent dans les domaines les plus variés de la recherche technique et scientifique. Sa première présentation, lors des *Journées Internationales de Calcul Analogique de Bruxelles* en septembre dernier, nous semble avoir suscité un grand intérêt.