

ANNALES SCIENTIFIQUES
DE L'UNIVERSITÉ DE CLERMONT-FERRAND 2
Série Mathématiques

J. A. MONJALLON

Les calculateurs analogiques itératifs

Annales scientifiques de l'Université de Clermont-Ferrand 2, tome 8, série *Mathématiques*, n° 2 (1962), p. 131-134

<http://www.numdam.org/item?id=ASCFM_1962__8_2_131_0>

© Université de Clermont-Ferrand 2, 1962, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Annales scientifiques de l'Université de Clermont-Ferrand 2 » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

LES CALCULATEURS ANALOGIQUES ITÉRATIFS

J. A. MONJALLON

Ing. Computer & Special systems european division of Beckman instruments

(Conférence prononcée au cours de la Journée des constructeurs de machines à calculer)

La présente communication a pour but d'exposer dans ses grandes lignes un matériel de calcul qui a généralement trait à un domaine très voisin de celui des Mathématiques, le domaine des Sciences Physiques. Ces ensembles de calcul sont connus sous le nom d'Analyseurs différentiels.

Le développement des "Analyseurs différentiels" et d'une manière plus générale, des ensembles communément placés sous le vocable de "Calculateurs Analogiques", pris naissance il y a environ 25 ans, pour répondre à la demande croissante de machines calculatrices, capables d'intégrer directement les systèmes d'équations différentielles. Depuis, de nombreux types de calculateurs et d'analyseurs différentiels ont été réalisés à partir de bases technologiques très diverses mais depuis de nombreuses années, nous pouvons constater que la prépondérance des efforts et des recherches faites en ce domaine, a été axée sur la conception et la réalisation d'ensembles calculateurs entièrement électroniques. Ceci est une conséquence naturelle de l'évolution considérable des techniques électroniques au cours des dernières années, en comparaison de celles de la mécanique. En effet, la technique électronique met désormais à notre disposition des circuits très élaborés, capables d'assurer à la fois rapidité, précision et sécurité.

Certes, les analyseurs différentiels mécaniques généralement basés sur le principe de l'intégrateur mécanique de Lord Kelvin présentaient l'énorme avantage de réaliser des intégrations en fonction de différentes variables, alors que les calculateurs par analogie directe et l'analyseur différentiel électronique ne pouvaient permettre l'intégration qu'en fonction d'une seule et unique variable de caractéristique "Temporelle" d'ailleurs dite "Temps Machine".

De nos jours, par suite de défauts résolument rédhibitoires, les analyseurs différentiels mécaniques sont pratiquement tombés en désuétude et à peu près complètement oubliés, en tant que principe de base des calculateurs de but général. Leur emploi se limite à des cas extrêmement spéciaux présentant des calculs peu complexes et lents. Parallèlement, quoiqu'un certain nombre de calculateurs par analogie directe soient encore en service et trouvent également leur application dans des cas très particuliers, ces types de calculateurs ont vu leur champ d'application se restreindre de plus en plus par suite de leur impuissance insurmontable à la simulation des phénomènes non linéaires.

L'apparition déjà ancienne maintenant d'analyseurs différentiels électroniques a permis de réaliser un outil de calcul puissant, beaucoup plus approprié à la résolution des nombreux problèmes mathématiques et physiques que pose la science moderne. Naturellement, les techniques électroniques, par leur extrême souplesse et leurs possibilités de réaliser de nombreux équipements de calcul non linéaire, furent d'une contribution extrêmement efficace dans leur essor.

Il ne saurait être question de procéder ici à une comparaison entre les méthodes de calcul dites "numériques" et les méthodes "analogiques", ce d'autant que les deux méthodes de calcul sont basées sur des principes "fonctionnels" totalement différents et qu'en aucun cas, ils ne peuvent être mis en concurrence mais plutôt à se compléter mutuellement.

Certes, les ensembles de calcul numérique avec leur très grande capacité de mémoire, leurs unités arithmétiques à grande vitesse et leur système de programmation simplifiée, sont des outils extrêmement puissants de la recherche opérationnelle mais, généralement, le calculateur analogique s'avère encore plus efficace en tant qu'instrument d'investigation et de synthèse. Ceci est dû aussi bien à sa grande vitesse de computation qu'à sa souplesse dans le changement de programme et dans la modification des divers paramètres.

Ce sont ces qualités qui, d'ailleurs, ont fait définir les analyseurs différentiels comme les "Simulateurs" par excellence du comportement des phénomènes physiques et des processus indus-

triels. A titre d'exemple, ils sont très précieux tant dans la recherche spatiale et aéronautique pour l'étude du comportement d'engins balistiques et d'avions ultra-rapides, que dans la recherche nucléaire pour la simulation de réacteurs à grande puissance et dans de nombreux autres domaines d'études dynamiques.

Technologiquement, au fur et à mesure que les performances exigées des analyseurs différentiels électroniques évoluaient vers une plus grande précision de leurs composants opérationnels, une restriction de la bande passante devait être imposée à ces machines pour satisfaire à cet impératif. Pour cette raison, l'analyseur différentiel ne peut être convenablement employé dans la recherche statistique. Certes, certains constructeurs ont réalisé des machines analogiques présentant une bande passante considérable, pour répondre à des demandes similaires. Mais, il faut immédiatement souligner que cette large bande passante se traduit en définitif, par une perte énorme en précision de calcul, car, d'une manière générale, la même machine ne peut atteindre les deux buts : très large bande passante et grande précision.

Dans le passé, la méthode de calcul analogique a énormément souffert de nombreuses lacunes dans la simulation des non linéarités, plus encore de son incapacité à s'adapter à la computation itérative ou impliquant simplement des équations aux dérivées partielles, bien que le domaine de calcul différentiel lui soit pratiquement entièrement dévolu.

Plus récemment, certaines possibilités des calculateurs analogiques avaient été accrues par un mode de calcul dit "Répétitif", mais ce dernier n'offrait toujours aucune solution constructive dans les domaines précités.

La notion extrêmement récente d'un nouvel élément opérationnel de calcul analogique :

L'Intégrateur Inverse ou Complémentaire

a considérablement changé la physionomie du calcul analogique.

En effet, l'application de ces opérateurs aux chaînes de calcul analogique, auquel s'adjoint évidemment une conception plus poussée des commandes fonctionnelles des calculateurs a permis un énorme accroissement de l'efficacité et de la capacité de résolution de tels ensembles de calcul, car les techniques de computation continue et incrémentielle, peuvent être simultanément mises en oeuvre. De plus, l'amélioration des contrôles fonctionnels permet encore la mise en service d'équipement à large bande passante et d'équipement normaux sur la même machine. Le nouvel équipement de calcul analogique né de cette technique peut être à proprement parlé défini par le terme : Analyseur différentiel itératif.

Ce calculateur conserve tous les avantages de l'analyseur différentiel classique mais en addition, il présente la faculté de fonctionner comme la version analogique d'un calculateur digital.

En réalité, l'analyseur différentiel itératif ne diffère de l'analyseur classique que par la logique de ses commandes fonctionnelles et par la particularité d'utilisation des intégrateurs.

Les deux types de machine possèdent des intégrateurs, des sommateurs, des multiplicateurs, diviseurs, résolveurs et générateurs de fonctions comme composants opérationnels chargés de réaliser autant d'opérations arithmétiques simples, telles que : sommation, soustraction, multiplication, intégration etc. nécessitées par la chaîne de calcul.

La différence fondamentale est établie par la notion d'Intégrateurs Complémentaires et cette notion a surtout trait à leurs conditions d'utilisation dans la chaîne de calcul, car pratiquement, les intégrateurs complémentaires sont de structure rigoureusement semblable à celle des intégrateurs normaux.

D'une manière générale, les intégrateurs complémentaires entrent en action pendant les phases répétitive ou itérative du calcul. Disons immédiatement que le terme "Répétitif" qui s'est introduit depuis quelques années dans le vocabulaire courant du calcul analogique ne correspond que partiellement au mode de fonctionnement propre à l'analyseur différentiel itératif.

Ce terme qui a d'ailleurs souvent présenté une certaine ambiguïté définit un mode de calcul basé sur un changement de rapidité dans l'échelle d'évolution du problème et un recommencement cyclique de sa computation à partir des mêmes données.

Le mode de fonctionnement de l'analyseur différentiel itératif peut être plus à proprement décrit comme la forme réelle d'itération au sens mathématique du mot, c'est-à-dire une suite de calculs de même forme dont chacun est refait à partir du calcul précédent.

On conçoit aisément que ce mode de calcul impose à la machine une certaine action de mémorisation des données fournies par chaque tranche de calcul.

Cette action de mémorisation est justement dévolue aux intégrateurs complémentaires.

En effet, le circuit résistance capacité de cet opérateur élémentaire en calcul analogique présente la propriété de suivre constamment et de pouvoir conserver l'information analogique qui lui est appliquée, pendant les intervalles de calcul ou pendant les temps d'arrêt et maintien du calcul (appelé souvent Figeage du problème). Il est donc tout à fait possible d'utiliser les intégrateurs comme élément de mémoire.

Dès lors il suffit de procéder à une constante commutation entre les réseaux d'intégrateurs normaux et d'intégrateurs complémentaires composant un circuit de calcul pour assurer une computation itérative.

Il est nécessaire de souligner ici l'importance des circuits logiques des commandes fonctionnelles assurant cette commutation et la marche du calculateur dans ces conditions. Cette logique doit assurer une commutation rapide et précise des organes de calcul entre les fonctions : "Conditions initiales - Départ Calcul - Arrêt et Maintien du Calcul" de la machine.

Pratiquement le découpage dans le temps de cette commutation assure aux éléments de calcul les positions respectives suivantes : "Lorsque les intégrateurs normaux sont en position "Calcul", les intégrateurs complémentaires sont en position "Conditions initiales" et inversement (voir figure).

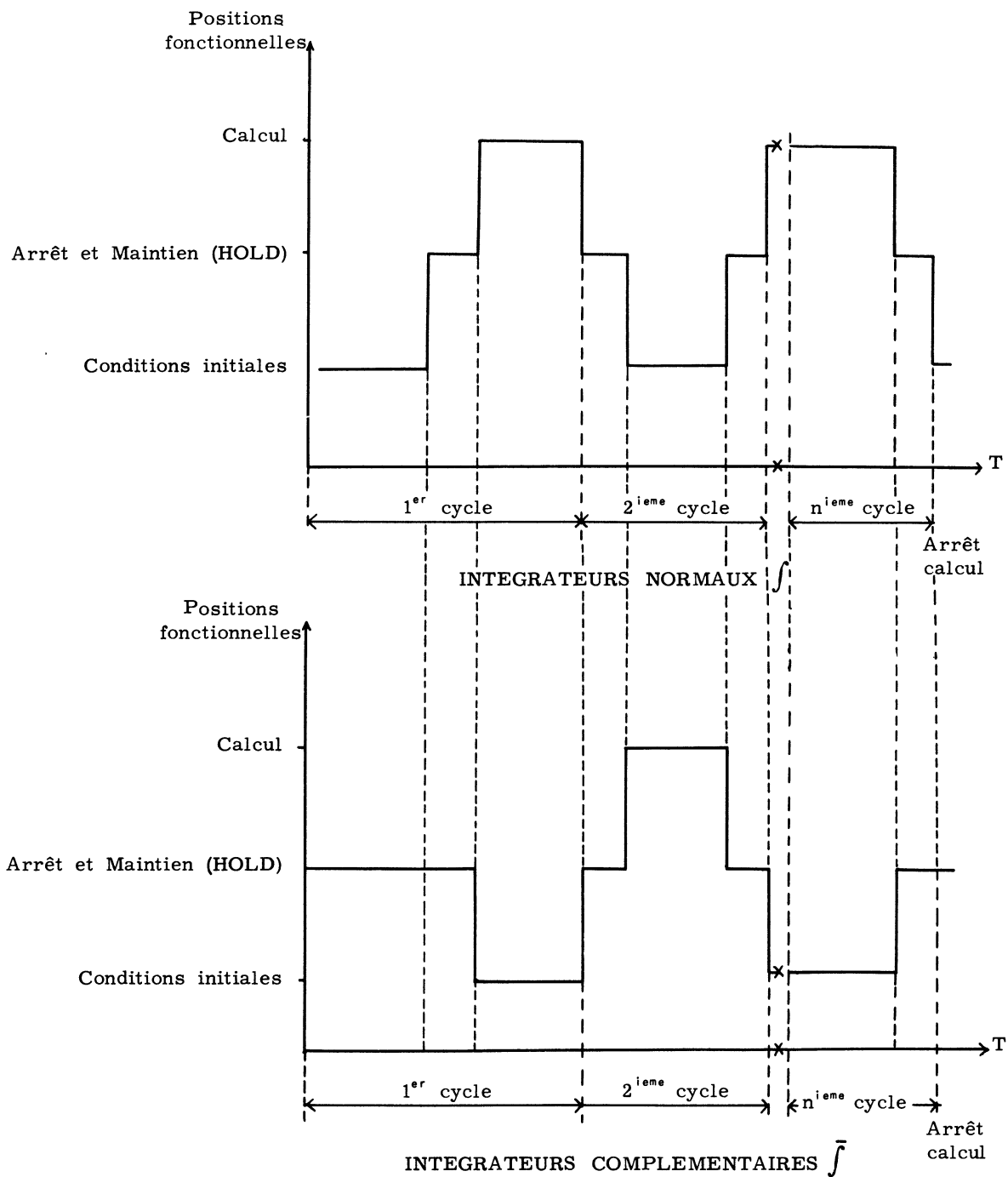
On remarque toutefois qu'à chaque cycle de commutation, le calculateur s'arrête un instant sur la position "Arrêt" et "Maintien du calcul", cet intervalle est nécessaire pour permettre un transfert convenable des informations entre les intégrateurs normaux et complémentaires. Il est bon de noter également que tout l'ensemble de commutation est contrôlé par un système d'horloge à présélection permettant l'ajustage très précis et indépendant des intervalles de "calcul" et de "conditions initiales".

De ce mode de fonctionnement alterné, il est très apparent que les données calculées par les intégrateurs normaux peuvent être utilisées comme conditions initiales ou données d'entrée sur les intégrateurs complémentaires et réciproquement, ainsi la computation peut être vraiment définie et décrite comme la solution de différents jeux d'équations dans lesquels les données sont interdépendantes, c'est-à-dire que les conditions initiales ou les données d'entrée pour chacune d'entre elles, dépendant des données calculées dans chacune des autres.

Cette définition du fonctionnement rejoint très bien, on le voit immédiatement, la définition de l'itération citée plus haut.

Il va de soi que la Technologie de ce nouvel équipement de calcul offre une complexité accrue, ainsi qu'une exigence plus grande vis à vis des performances de chacun de ses composants. En effet, l'utilisation des intégrateurs comme dispositif de mémoire, pose un certain nombre de problèmes si l'information doit être retenue pendant un nombre considérable de cycles d'itération ; la dérive de l'intégrateur par exemple prend une importance capitale car elle conduirait à une sérieuse imprécision des calculs. S'il ne nous est pas possible de nous appesantir ici sur tous les détails techniques propres à ce type de calculateur, nous nous bornerons néanmoins à signaler que par le jeu de nombreux artifices techniques, chacune des difficultés qui auraient imposé une limitation à la machine soit dans sa précision, soit dans son utilisation, ont été surmontées.

Quelles sont les perspectives offertes à ce nouveau type de calculateur ? Une ère nouvelle est ouverte au calcul analogique et nous pensons pouvoir affirmer que d'énormes possibilités lui sont ouvertes car il est indéniable que son mode opératoire permet un accroissement considérable des capacités de résolution des problèmes scientifiques par les voies analogiques. Il autorise également des perspectives d'un meilleur rendement d'ensembles de calcul, mixtes, utilisant les techniques numériques et analogiques par couplage de ces deux types de machines, de manière à prendre le maximum d'avantages sur un des plus sûrs ennemis du monde scientifique actuel "Le temps de calcul".



Description du mode de computation Itératif par commutation des Positions fonctionnelles du calculateur.