

# SEPTIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

64/1



NICE du 28 MAI au 2 JUIN 1979

OPERATEUR MICROPROGRAMMABLE POUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL

B. CHABERT

Laboratoire d'Electronique et de Technologie de l'Informatique  
Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble, 85 X, 38041 GRENOBLE CEDEX

## RESUME

On présente un opérateur rapide et universel pour le traitement du signal basé sur l'utilisation de microprocesseurs en tranche.

Il comprend une unité arithmétique microprogrammable liée à un multiplieur rapide ; une mémoire dynamique à double accès, un coupleur assurant les mises au format et les échanges entre l'opérateur et un calculateur associé.

La version simplifiée de l'opérateur traite des données en virgule fixe sur 24 bits. Il est particulièrement adapté aux traitements répétitifs sur blocs de données (données réelles ou complexes) : addition de 2 blocs, multiplication de 2 blocs réels ou complexes, transformation de Fourier rapide.

Il est programmable à deux niveaux :

- au niveau microprogramme on crée des fonctions de base de type addition de bloc, FFT, etc.. Ces microprogrammes sont enregistrés en mémoire morte.
- au niveau macroprogramme on peut créer des macrofonctions par enchaînement des fonctions de base : par exemple calcul des auto ou interspectres sur plusieurs voies avec fenêtre de pondération. Ces macroprogrammes sont chargés en mémoire vive de l'opérateur.

Le champ des microinstructions est important, 64 bits assurant un bon parallélisme à l'exécution des fonctions élémentaires.

Le cycle de base des microinstructions est de 200 ns, la multiplication de 2 mots de 24 bits est de 300 ns. Ces caractéristiques confèrent à l'appareil de bonnes performances en vitesse.

La mémoire de l'opérateur comprend dans sa version de base 32 K mots de 24 bits, son adressage inclut l'inversion binaire des adresses.

## SUMMARY

We present an universal fast processor for signal processing based on the use of bit-slice microprocessors. It has a microprogrammable arithmetic unit with a fast multiplier, a double access dynamic RAM memory and a coupler assuring word-sizing and exchanges between the operator and a connected computer.

The simplified version of the operator processes 24 fixed-point data. It is particularly suitable to repeated processings on data-blocks (real or complex data) : 2-block addition, 2 real or complex block multiplication, Fast Fourier Transform.

It is 2-level microprogrammable :

- 1/ at microprogram level we create basis functions such as addition of blocks, FFT, etc... This microprograms are written in Read Only Memory.
- 2/ At macroprogram level we can create macrofunctions by chaining basis functions : for example : computing of auto or cross-spectrum on several channels with a weighting function. This macroprograms are loaded in the operator dynamic RAM.

The microinstruction field is important, this is a 64-bit microinstruction assuring a good parallelism in basis functions carrying out.

The microinstruction basis cycle time is 200 ns, the two 24-bit words multiplication time is 300 ns. This features involve good speed rates to the device. The basis version of the operator has a 32 k. words of 24-bit wide memory. The bit-reversed address is included to the memory.

Finally, a reduced mass of electronic is obtained by using bit-slice microprocessors, a LSI parallel multiplier and dynamic RAM's.

Extensions of this operator are also described : floating-point processing, memory extension.

# SEPTIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS



NICE du 28 MAI au 2 JUIN 1979

---

OPERATEUR MICROPROGRAMMABLE POUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL

B. CHABERT

Laboratoire d'Electronique et de Technologie de l'Informatique  
Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble, 85 X, 38041 GRENoble CEDEX

---

## RESUME

Enfin, la technologie retenue met en oeuvre des microprocesseurs en tranche, un multiplieur parallèle intégré et des mémoires dynamiques, ce qui conduit à un volume d'électronique réduit.

Des extensions de cet opérateur sont également décrites : traitement de données en virgule flottante, extension de la mémoire.

## SUMMARY

## I - INTRODUCTION

Le traitement du signal, effectué de façon numérique, consiste à faire subir certaines opérations plus ou moins complexes à une suite de valeurs numériques. Cette suite de valeurs numériques, issue d'un convertisseur analogique-numérique ou d'un traitement antérieur, peut être stockée sur un support quelconque ou traitée immédiatement.

Les problèmes rencontrés dans ces traitements peuvent être liés à :

- la précision des calculs effectués,
- la dynamique des variables traitées,
- la vitesse de répétition des traitements.

Les moyens mis à la disposition des utilisateurs sont actuellement nombreux mais ne répondent généralement qu'en partie à leurs exigences. En effet, les traitements peuvent être effectués sur des ordinateurs avec lesquels l'utilisateur pourra modifier ses algorithmes de calcul, avoir une bonne dynamique par l'utilisation de variables en virgule flottante, avoir une bonne précision en travaillant sur des mots en double longueur. Le principal inconvénient de cette méthode est la vitesse de traitement relativement lente due à la structure des calculateurs et aux tâches de gestion qui lui sont demandées. Elle est donc exclue dans les applications où le traitement en temps réel de signaux à fréquence moyenne ou élevée est nécessaire.

Dans le cas de traitement en temps réel sur des signaux haute fréquence, les moyens dont disposent les utilisateurs, sont des appareils étudiés et réalisés pour leurs applications particulières ou des appareils câblés standards, qui ne réalisent généralement qu'une fonction spécifique avec une précision et une dynamique données. Ces appareils, qui peuvent être très rapides, travaillent en général sur des mots de longueur fixe et réduite et manquent donc de précision et de dynamique. De plus, ils présentent l'inconvénient d'être très limités du point de vue du dialogue avec l'extérieur. Il existe de tels opérateurs spécialisés tels que corrélateurs, transformateurs de Fourier, convolveurs, etc., qui, pour obtenir des performances très élevées, deviennent des appareils volumineux, coûteux et avides d'énergie.

Les progrès technologiques réalisés dans le domaine des circuits intégrés à grande échelle et dans le domaine des microprocesseurs permettent de concevoir des appareils qui réalisent un bon compromis entre les différents problèmes rencontrés, l'aspect financier n'étant pas exclu des avantages obtenus. Sur le marché américain on peut déjà trouver de tels appareils

avec de bonnes performances. Par exemple : le MAP-200 qui est un appareil à plusieurs modules de traitement et plusieurs mémoires réalise une transformée de Fourier rapide sur 1024 mots en 12 ms ; l'opérateur AP-400 basé sur l'utilisation d'un microprocesseur en tranche et avec 2 unités arithmétiques réalise la même transformée de Fourier en 7,5 ms.

## 2 - PRESENTATION DU SYSTEME DE TRAITEMENT ET DE L'OPERATEUR MICROPROGRAMMABLE

L'appareil présenté ici a été étudié par le LETI (Laboratoire d'Electronique et de Traitement de l'Informatique) en collaboration avec la Société Intertechnique et la participation de la D.G.R.S.T.

Cette étude avait pour but de réaliser un opérateur rapide qui, couplé à un minicalcateur répondait aux problèmes discutés précédemment et pouvait être utilisé dans un grand nombre d'applications. Pour ce faire il devait donc répondre à des contraintes de souplesse, de vitesse, de consommation et de prix, donc de volume.

Le système sur lequel cet opérateur est couplé est constitué d'un minicalcateur MULTI 6 équipé d'un disque et d'un module d'acquisition. C'est donc le calcateur qui est chargé de gérer et d'exécuter l'acquisition. Il est également chargé de gérer l'opérateur, c'est-à-dire de lui transférer les tables, les paramètres, les données et les macroprogrammes dont il a besoin et de lui donner les ordres nécessaires à l'exécution. L'opérateur a pour tâche de gérer les accès à sa mémoire, et d'exécuter les programmes qui lui sont demandés. Le déroulement de ces derniers a lieu indépendamment du calcateur. Du point de vue logiciel le système est pourvu d'un langage évolué conversationnel facilitant l'écriture des macroprogrammes et simplifiant la gestion de l'opérateur.

Plusieurs structures ont été envisagées parmi lesquelles nous pouvons citer la structure multibus représentée par la figure 1.

Un microprocesseur assume les tâches de gestion. Une unité arithmétique spécialisée est programmée pour réaliser les tâches répétitives (papillon FFT par exemple). Ces deux modules sont reliés à la mémoire par un bus adresse et deux bus données. Avec un tel opérateur il est possible d'obtenir de très bonnes performances en vitesse. Pour rendre l'appareil plus souple on peut également remplacer l'unité arithmétique spécialisée par une unité arithmétique banalisée équipée d'un ou de plusieurs addeurs et d'un ou de plusieurs multiplieurs. Cet opérateur performant présente l'inconvénient de nécessiter un volume d'électronique assez important compte-tenu des contraintes industrielles.



## OPERATEUR MICROPROGRAMMABLE POUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL

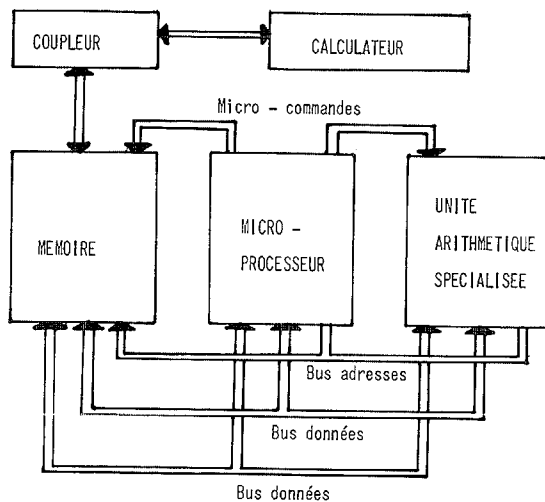


Fig. 1 OPERATEUR MULTIBUS

Les spécifications retenues ont donc conduit à la réalisation d'un opérateur monobus dont la version de base est implantée sur deux cartes de 220 x 380mm (fig.2). Une troisième carte permet de coupler cet opérateur au minicalculetur. La spécification de volume d'électronique (donc de prix) imposée à l'opérateur de base, a été la plus contraignante pour nous. L'organisation retenue est telle que des extensions de l'opérateur sont rendues possibles par adjonction de cartes supplémentaires (voir paragraphe 5).

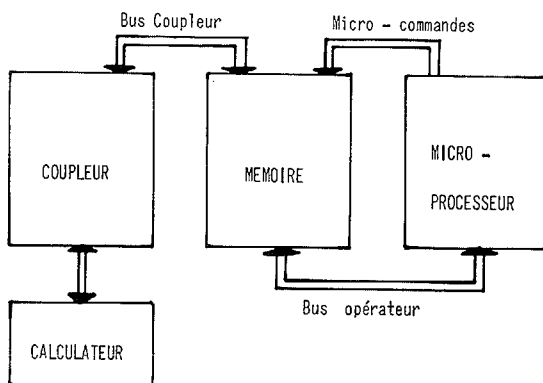


Fig. 2 OPERATEUR MONOBUS

## 3 - STRUCTURE DE L'OPERATEUR

Cet opérateur est construit autour du microprocesseur en tranche de la série Am2900. Il travaille sur des mots de 24 bits organisés en blocs de taille égale à une puissance de 2. Le choix de mots de 24 bits avec une caractéristique par bloc réalise un assez bon compromis

entre la dynamique et la précision. L'opérateur est microprogrammable à deux niveaux : d'une part il est microprogrammable de façon interne, ce qui permet de stocker les fonctions de base sur des mémoires mortes programmables ; d'autre part il est macroprogrammable par l'utilisateur qui peut exécuter l'enchaînement voulu des fonctions de base. Un exemple d'enchaînement est le suivant : sur 2 voies d'acquisition, multiplication de chacune des voies par une fenêtre de pondération, calcul des FFT sur les 2 voies, calcul des auto et des inter-spectres.

Cet opérateur (fig.3) comporte une mémoire permettant la lecture ou l'écriture de mots simples ou de mots doubles (mots complexes). De plus, cette mémoire est équipée d'un double accès : un accès par le bus coupleur et un accès par le bus opérateur.

L'accès par le bus coupleur permet les échanges de données entre le calculateur et l'opérateur. Ces données peuvent être :

- des données à traiter,
- des résultats de calcul,
- des caractéristiques de blocs,
- des tables de sinus, cosinus, etc...
- des paramètres,
- des macroprogrammes.

L'accès par le bus opérateur permet les échanges entre la mémoire et l'Unité Logique Arithmétique avec Multiplieur (ULAM) ou le séquenceur de microprogrammes.

Un système d'interruptions permet de synchroniser les tâches exécutées dans l'opérateur et celles exécutées dans le calculateur, celui-ci restant maître des opérations.

## 3 - 1. Mémoire-données

Cette mémoire a une capacité de 32 k.mots de 24 bits (mémoires dynamiques 16 k). Elle est divisée en deux parties, ce qui permet, dans de nombreux cas, de lire ou d'écrire 2 mots de 24 bits en un seul cycle mémoire (cas des mots complexes par exemple). Elle est reliée aux 2 bus par des registres d'E/S et des registres adresses. L'accès aux registres par le bus coupleur est indépendant de l'accès aux registres par le bus opérateur. Le séquençement de la mémoire est géré sur la carte elle-même par un système de priorité. L'adressage mémoire peut être direct ou avec inversion binaire pour permettre cette opération en cours de transfert.

Le double accès permet un travail en ping-pong sur deux blocs. Pendant que l'opérateur travaille sur un bloc (par exemple FFT) il n'utilise pas la mémoire à temps plein, on a donc en général le temps d'effectuer

le transfert d'un autre bloc de données du (et/ou vers) le calculateur.

### 3 - 2. Unité arithmétique

L'unité arithmétique est basée sur l'utilisation du microprocesseur AM2903 qui présente comme avantages, par rapport au circuit AM2901, de pouvoir augmenter le nombre de registres de calcul et de réaliser des fonctions spéciales. Il possède 16 registres internes auxquels ont été rajoutés 16 autres registres constitués par une RAM à double accès. En parallèle sur l'unité arithmétique est câblé un multiplieur rapide 24 bits x 24 bits. L'unité arithmétique est reliée au bus opérateur par un registre d'entrée/sortie.

### 3 - 3. Séquencement

Le séquencement des opérations est contrôlé par un circuit séquenceur de  $\mu$  programmes qui est chargé de fournir l'adresse de la  $\mu$  instruction à exécuter, à la mémoire  $\mu$  programme. Le champ des  $\mu$  instructions est de 64 bits, ce qui permet un parallélisme dans les commandes des tâches à exécuter. Le séquenceur utilisé permet :

- l'avance séquentielle du  $\mu$  programme
- les sauts :
  - . à une adresse contenue dans la  $\mu$  instruction
  - . à une adresse résultant du code opération d'une macroinstruction
  - . à une adresse résultant du vecteur d'interruption
  - . à une adresse sauvegardée dans une pile

Un contrôleur d'interruptions permet de gérer et de traiter les interruptions reçues par l'opérateur. Ces interruptions peuvent, soit provenir du calculateur, soit être générées par le coupleur, soit être générées par l'opérateur lui-même.

### 3 - 4. Coupleur

Le coupleur doit assurer la transmission des ordres et des données entre le calculateur et l'opérateur.

Les transferts de données, soit du calculateur vers l'opérateur, soit de l'opérateur vers le calculateur, se font toujours en accès direct à la mémoire. Le coupleur a pour rôle de calculer l'adresse opérateur et l'adresse calculateur où doit être lue ou rangée la donnée en cours de transfert. Il a également pour rôle de formater les données et éventuellement de les cadrer. Le coupleur peut, grâce à des commandes envoyées par le calculateur, générer un certain nombre d'interruptions à destination de l'opérateur. Il peut également générer une interruption vers le calculateur qui sera identifiée par la lecture du mot d'état du coupleur.

Avant chaque transfert de données, le coupleur est initialisé par une table d'échange contenant tous les paramètres nécessaires au transfert.

Le coupleur utilise lui-même un  $\mu$ processeur 2901

## 4 - OPERATIONS DE BASE

Cet opérateur réalise dans sa version de base un certain nombre de fonctions microprogrammées. L'exécution de chacune de ces fonctions sera déclenchée par une macro-instruction accompagnée de quelques paramètres. Plusieurs fonctions pourront être enchaînées en écrivant le macro-programme correspondant au traitement demandé.

### 4 - 1. Liste des macro-instructions de gestion

- synchronisation programmée
- attente de fin de transfert
- branchement
- changement de taille des blocs dans l'opérateur
- transfert d'un bloc dans un autre
- transfert d'une caractéristique de bloc
- expansion d'une caractéristique
- fin d'exécution
- attente de synchronisation calculateur

### 4 - 2. Liste des macro-instructions de calcul

- RAZ d'un bloc
- addition ou soustraction de 2 blocs
- multiplication de 2 blocs
- multiplication complexe conjuguée de 2 blocs
- division de 2 blocs
- FFT réelle sur des blocs de 128 à 8192 données réelles
- FFT complexe sur des blocs de 64 à 4096 données complexes
- FFT inverse de la FFT réelle
- FFT complexe inverse
- module carré

## 5 - EXTENSIONS

La version de base de cet opérateur répond à des contraintes d'encombrement et de prix de revient. Pour des applications plus particulières, des extensions sont envisageables.

### 5 - 1. Extension de la mémoire vive

Les boîtiers de mémoire dynamique 16 K constituant cette mémoire vive, pourront, dans un avenir très proche, être remplacés par les boîtiers de 64 K (ces circuits intégrés sont déjà échantillonnés). La capacité de cette carte mémoire peut donc facilement être multipliée par 4, soit une capacité de 128 k.mots de 24 bits. Une deuxième extension mémoire peut être réalisée par adjonction de cartes mémoire supplémentaires.



### 5 - 2. Extension de la mémoire microprogrammes

La mémoire microprogrammes de 2 k.mots de 64 bits peut être étendue avec une partie en mémoire vive. Cette partie de mémoire vive chargeable par le calculateur rend le système dynamiquement reconfigurable au gré de l'utilisateur. De plus, l'extension mémoire microprogrammes permet de rajouter d'autres fonctions de base telles que des traitements sur les matrices, des modules de filtrage numérique ou même des enchainements particuliers de fonctions de base existantes.

### 5 - 3. Calculs en format flottant

L'extension de la mémoire microprogrammes permet également d'introduire des traitements sur des mots représentés en virgule flottante. Pour cela une bibliothèque "virgule flottante" microprogrammée doit être écrite. Les points particuliers qui ralentissent trop les traitements microprogrammés de cette bibliothèque sont alors câblés sur cette carte extension.

## 6 - CONCLUSION

L'utilisation des microprocesseurs en tranche permet de réaliser des opérateurs rapides adaptés aux applications pour lesquels ils sont conçus.

Grâce aux progrès technologiques en cours, les fabricants de circuits intégrés fournissent et fourniront des microprocesseurs de plus en plus rapides. Ainsi, après le circuit Am2901 nous avons vu apparaître l'Am2901A, puis l'Am2901B dont le cycle de base est environ la moitié de celui de l'Am2901. Le circuit Am2901C, encore plus rapide, est déjà annoncé. Il en est de même pour le processeur Am2903 dont un modèle plus rapide est également annoncé.

Du point de vue logiciel il est concevable de développer des microprogrammes permettant de tester et d'entretenir le matériel et de développer de nouveaux microprogrammes pour d'autres applications.

La version simplifiée de base, incluant un minimum de matériel, couvre un grand nombre d'applications. Cette version peut être étendue par adjonction de nouvelles cartes permettant de résoudre des problèmes plus spécifiques tels que le filtrage numérique, le filtrage de Kalman, les traitements sur les matrices, les traitements d'images.

OPERATEUR MICROPROGRAMMABLE POUR LE TRAITEMENT SU SIGNAL

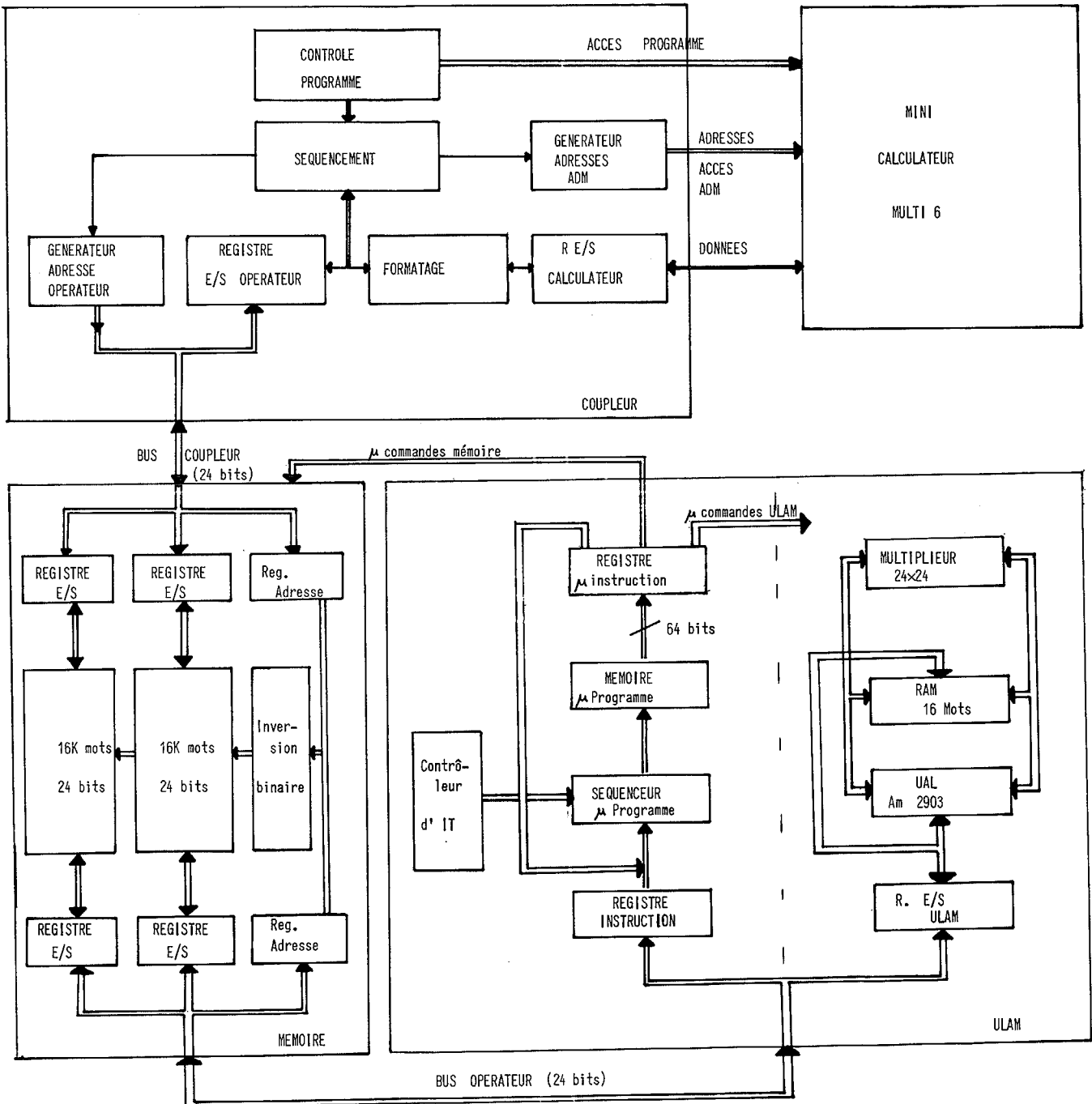


Fig. 3 STRUCTURE DE L'OPERATEUR