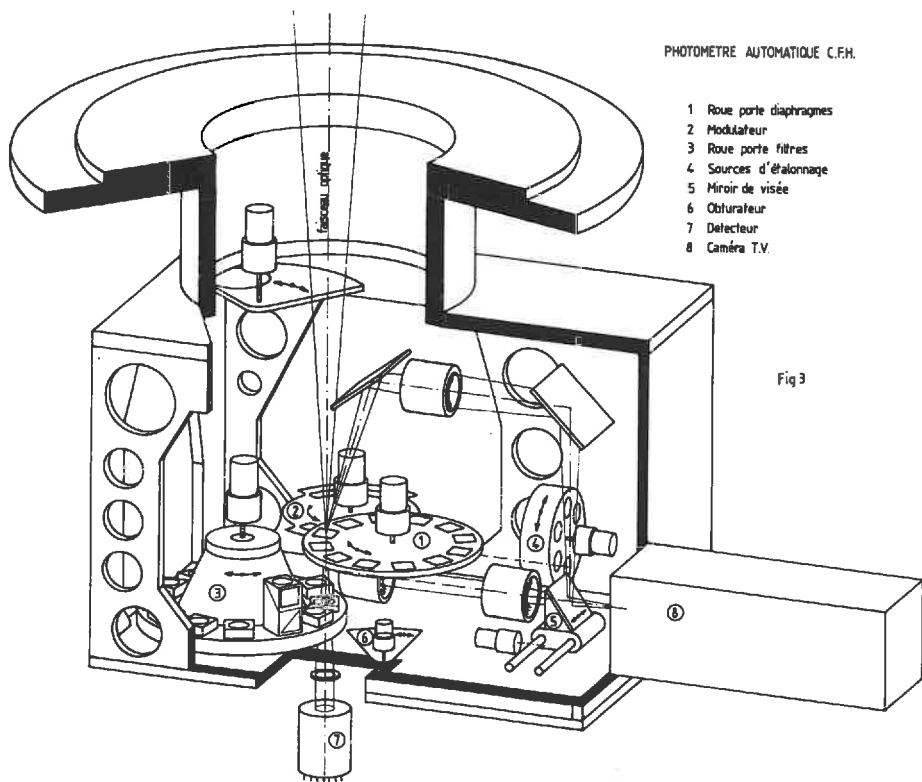
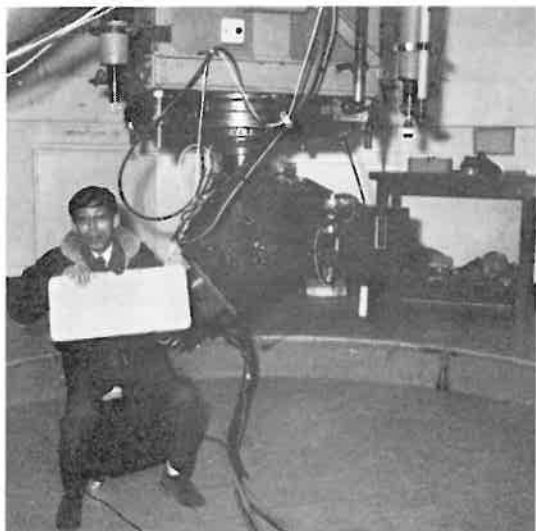


SOCIETE ASTRONOMIQUE DE LYON





N'GUYEN HUU DOAN
1925-1981

Notre couverture :

Photomètre automatique du Télescope Canada France Hawaï
de 3,60 m. à Hawaï.

N'GUYEN Huu Doan

28 janvier 1925 - 28 janvier 1981

Nous avons eu la tristesse de perdre tout récemment notre collègue DOAN, après quinze années de maladie qui ne l'ont jamais empêché de poursuivre son activité scientifique, sauf pendant quelques phases particulièrement aiguës. La mort l'a surpris alors, qu'après un léger mieux, il s'apprêtait à repartir en mission à l'Observatoire de Haute-Provence.

Né à Hanoï, il est venu poursuivre des études professionnelles en France comme élève de l'Ecole Supérieure de tissages de Lyon. Parallèlement, il mena à bien une licence de mathématiques et un Diplôme d'études supérieures d'Astronomie. Il possédait aussi un Diplôme de sériculture et un C.A.P. d'ajusteur. Entré à l'Observatoire de Lyon en 1956 comme chercheur au C.N.R.S., il devait soutenir sa thèse de Docteur d'Etat en 1963 et quelques années plus tard occuper un poste d'Astronome-Adjoint.

C'est sous la direction de Jean DUFAY qu'il prépara cette thèse sur « l'étude spectrophotométrique de la lumière du ciel crépusculaire et nocturne dans le visible », effectuant toutes ses observations à l'Observatoire de Haute-Provence. Dans le spectre du ciel nocturne, il s'attacha particulièrement à déterminer les variations saisonnières de la molécule OH, à montrer que le rapport d'intensité du doublet du sodium observé dépend d'une autoabsorption, à mettre en évidence l'existence et les variations de l'émission de la raie H α de l'hydrogène atmosphérique puis en déduire l'altitude de la couche émettrice. La recherche de l'émission atmosphérique de H α résulte d'un travail poursuivi en collaboration avec Jean et Maurice DUFAY.

Dans le spectre du ciel crépusculaire, DOAN évalua entre 2 et 8 milliards d'atomes de sodium émetteurs. Il montra que le lithium crépusculaire était perturbé par les essais thermo-nucléaires russes et américains. Il évalua ainsi à 10 kg le poids total du lithium libéré en novembre 1962. Il trouva que l'origine atmosphérique du calcium et du lithium non perturbé provient d'averses météoriques.

En 1957, avec J.H. BIGAY et M. DUFAY, tout en travaillant à sa thèse, il participa à des travaux d'observations de la comète Mrkos (1957 III) constituée : d'une queue courbe de poussières présentant un spectre continu intense dans le rouge et le proche infrarouge, et, d'une queue rectiligne montrant les bandes de l'oxyde de carbone ionisé et la raie jaune du sodium.

Après sa thèse, DOAN continua ses observations du lithium et du calcium ionisé dans le ciel crépusculaire. Pendant l'hiver 66-67 il mit en évidence l'existence de l'hélium à haute altitude. En 1970, il eut la chance d'observer une aurore à basse altitude.

A côté de ses travaux relatifs à la lumière du ciel, il consacra une partie de son activité à des recherches astronomiques : raies et bandes interstellaires d'étoiles fortement rougies, observation d'étoiles variables explosives de type UV Ceti en période calme et agitée, étude du spectre ultraviolet intense de la géante froide CH Cygni en activité.

DOAN fit réaliser à l'Observatoire de Lyon un monochromateur qu'il mit en service et dont il assura le bon fonctionnement tout en lui apportant constamment des améliorations. Avec cet appareil, il mit en évidence les variations rapides d'intensité des raies du ciel nocturne au cours de la nuit et étudia des spectres de nébuleuses planétaires. C'est avec cet instrument qu'au cours d'une mission d'observations à l'Observatoire européen austral il détecta, en collaboration avec Chon Truong HUA et G. COURTES, l'anhydride sulfureux et le sulfure de carbone dans l'atmosphère de Vénus.

Passionné par ses recherches, DOAN voulait faire partager ses connaissances au grand public. Ses conférences à la Société Astronomique de Lyon traitèrent de divers sujets : la lumière du ciel nocturne, les étoiles éruptives, la détermination du temps avant l'invention des horloges...

Si DOAN, malgré la maladie qui l'épuisait, a pu poursuivre ses recherches grâce à sa forte volonté, c'est aussi parce que sa famille l'a toujours encouragé à le faire en l'entourant d'une chaleureuse et aimante compréhension. Ses collègues présentent ici à Madame DOAN, à Franck et à Agnès leurs condoléances émues.

M. LUNEL, M.-Th. MARTEL

MODULE POUR LA COMMANDE DE PETITS SYSTEMES MECANIQUES

(PHOTOMETRE AUTOMATIQUE DU TELESCOPE C.F.H.
DE 3,60 M A HAWAI)

par M. H. LASSALLE, D. DUBET et G. TERRIER
Observatoire de Lyon

Une collaboration scientifique de la France, du Canada et de l'état d'Hawai (U.S.A.) a conduit les trois pays à réaliser un télescope de 3,60 m de diamètre situé au sommet d'un volcan éteint le Mauna-Kea (altitude 4 200 m) dans les Iles Hawai. L'instrumentation de ce télescope a été développée en grande partie dans des laboratoires astronomiques français et canadiens. L'Observatoire de Lyon, qui possède une expérience en photoélectricité instrumentale de plus de dix ans, s'est vu confier la charge de réaliser un photomètre entièrement automatisé, piloté par ordinateur et interfacé par un système CAMAC.

Le développement du photomètre a amené les services techniques de l'Observatoire de Lyon à réaliser un module CAMAC spécialisé dans la commande de petits systèmes mécaniques entraînés par des moteurs à courant continu. Ce module doit équiper d'autres instruments astronomiques liés au télescope et parmi ceux-ci un spectrographe en cours d'étude dans les services techniques de l'Institut National d'Astronomie et de Géophysique (I.N.A.G.). L'intérêt de ce module dépassant largement le cadre de l'astronomie, une société française ENERTEC SCHLUMBERGER s'est intéressée à son exploitation ce qui a amené un contrat de licence ANVAR.

I — SYNOPTIQUE DE L'ENSEMBLE PHOTOMETRIQUE (Fig. 2)

Le télescope représente un instrument de grande envergure et le photomètre qui lui est attaché doit pouvoir se mouvoir dans l'espace sur une sphère représentant un rayon de plusieurs mètres.

A l'intérieur de ce photomètre des systèmes opto-mécaniques sont appelés à se déplacer fréquemment et avec précision en translation ou rotation ce qui impose leur automatisation. Les exigences liées aux méthodes actuelles d'observation rendent indispensable un prétraitement en temps réel des mesures.

Enfin le télescope est susceptible de recevoir des instruments d'observation de types variés, les changements d'appareils devant se faire facilement et rapidement.

Toutes ces contraintes ont imposé l'utilisation d'un ordinateur pour la commande, le contrôle et l'acquisition des données du photomètre, avec comme interface un système qui se prête bien aux changements de configuration le « CAMAC ».

La configuration correspondant aux besoins propres du photomètre automatique est la suivante :

- le *calculateur* ;
- le *photomètre proprement dit équipé d'un détecteur de lumière* ;
- un *châssis auxiliaire de puissance* ;
- un *châssis CAMAC équipé de modules (commande de moteurs, échelles de comptage, acquisition, registres d'entrées sorties...)* ;
- un *pupitre spécialisé pour la commande du photomètre*.

II — LE PHOTOMETRE (photographie en couverture)

Le photomètre situé au foyer « Cassegrain » du télescope comprend des sous-ensembles mécaniques et optiques qui permettent d'envoyer sur la cathode d'un photomultiplicateur la lumière collectée par le télescope des objets célestes.

A l'intérieur d'un boîtier étanche à la lumière on trouve les organes asservis suivants :

- 1 — une roue porte-diaphragmes ;

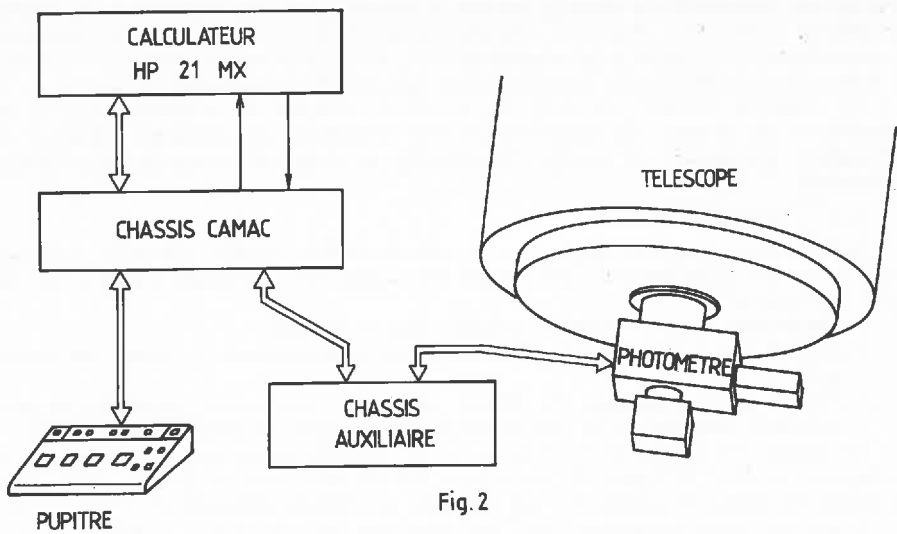


Fig. 2

- 2 — un modulateur pour l'observation séquentielle rapide d'une étoile et du fond de ciel à proximité de cette étoile ;
- 3 — une roue porte-filtres ;
- 4 — une roue porte-sources d'étalonnage avec obturateur ;
- 5 — un miroir de visée ;
- 6 — un obturateur de photomultiplicateur (7).

Les moteurs pas à pas n'ont pas été utilisés pour l'entraînement malgré leur simplicité de commande en numérique, car les inconvénients inhérents à leur type (échauffement, vibrations, encombrement) amènent une détérioration de la qualité optique des images.

De ce fait, les moteurs à courant continu leur ont prévalu, ce qui a amené le développement d'un module spécialisé assurant la commande et le positionnement des systèmes entraînés par ces moteurs.

III — LE « CAMAC »

Le photomètre représente un maillon de la chaîne constituée par le télescope et son instrumentation. Pour relier ce maillon il s'est avéré indispensable d'utiliser une technique d'interface connue mondialement qui puisse faciliter le dialogue entre des spécialistes de différents pays, tout en permettant des changements de configuration simples, évolutifs et rapides. Le CAMAC répondant parfaitement à ce critère a donc été choisi.

III.1. — Qu'est-ce que « CAMAC » ?

C'est un ensemble de règles élaborées par le comité ESONE (2) en liaison avec les centres scientifiques, définissant une liaison simple et générale entre un nombre quelconque de modules fonctionnels de prise d'information ou de prétraitement et un calculateur.

Les règles « CAMAC » concernent les spécifications mécaniques, électriques (signaux entrée-sortie, alimentation) ainsi que celles de la logique de communication avec l'extérieur et son « timing ». Ceci permet d'assurer la compatibilité entre des unités développées par différents laboratoires ou fabricants.

III.2. — Configuration générale

Les éléments de base sont des modules fonctionnels, chaque module est relié à une interconnexion par l'intermédiaire d'un circuit imprimé enfichable dans un

châssis. Un contrôleur de châssis permet la liaison entre les modules et l'extérieur du châssis « *branche* ». Plusieurs branches peuvent être reliées par l'intermédiaire de contrôleurs de branche à un organe central : « *le contrôleur de système* » qui fera la liaison au calculateur par l'intermédiaire d'un interface approprié à celui-ci.

Un système CAMAC est donc un ensemble complet de modules CAMAC, de contrôleurs de châssis, de branches et d'un contrôleur de système, reliés à un calculateur, permettant de traiter l'information en ligne pour une expérimentation déterminée.

III.3.— Fonctions CAMAC

Si nous considérons les lignes pour la commande d'un module, elles sont groupées sous forme de mots binaires. On trouve les ordres de commande « NAF » qui ont pour signification :

N représente l'emplacement du module dans le châssis ;

A permet après décodage, de différencier les sous-adresses au niveau de chaque module ;

F permet après décodage, de choisir parmi les commandes possibles la commande à exécuter, à la sous-adresse définie dans le module sélectionné.

De même des lignes d'informations et de contrôle permettent les échanges et dialogues : W et R. 24 lignes W transfèrent les données vers le module sélectionné, de même 24 lignes R transfèrent les données du module sélectionné.

Q est une ligne indication d'état qui constitue une réponse à un test ;

X spécifie que le module adressé a reconnu et accepté une commande CAMAC qui lui a été envoyée ;

L indique l'appel d'un module, cette ligne dénommée « LAM » est unique pour chaque module.

Des commandes générales « Z », « C », « I », ont respectivement les fonctions d'initialisation, RAZ et inhibition générales.

2 signaux d'échantillonnage S_1 , S_2 sont émis par le contrôleur de châssis pour assurer le transfert des informations à des instants bien définis du cycle « CAMAC ».

IV — MODULE CAMAC POUR LA COMMANDE DES MOTEURS A COURANT CONTINU SYNOPTIQUE (Fig. 4)

La réalisation de ce module correspond au besoin d'un interface logique n'existant pas jusqu'alors, répondant aux normes CAMAC, assurant la liaison entre un calculateur et des organes mécaniques entraînés par des moteurs à courant continu. Le module permet la commande simultanée de 6 organes pouvant être animés d'un mouvement circulaire ou linéaire et assure au maximum 16 positions définies d'arrêt pour chaque organe.

IV.1. — But

Il s'agit de réaliser un module assurant une gestion autonome de plusieurs périphériques avec comme avantages principaux :

— *la possibilité de positionner simultanément plusieurs organes mécaniques ;*

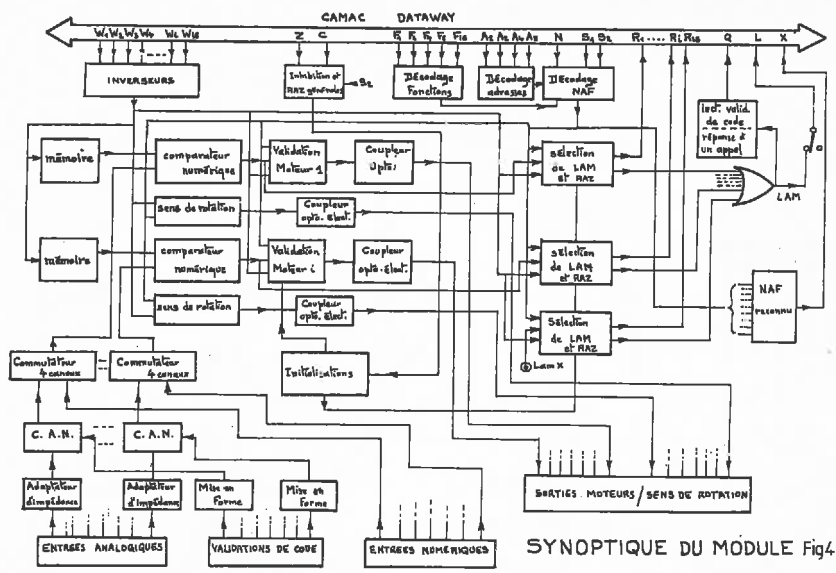
— *la faculté de décharger le calculateur pour des fonctions représentant un temps d'occupation machine important.*

Si nous prenons l'exemple de plusieurs roues et glissières entraînées par des motoréducteurs à courant continu et ayant la possibilité de s'arrêter sur des positions différentes, le temps nécessaire pour l'exécution de ces tâches est important, quelques secondes pour chaque système, alors que le temps de cycle du minicalcuteur est de l'ordre d'une microseconde.

On voit donc l'importance liée à la création d'un module CAMAC actif spécialisé, se chargeant des fonctions de commande et positionnement de plusieurs systèmes mécaniques simultanément.

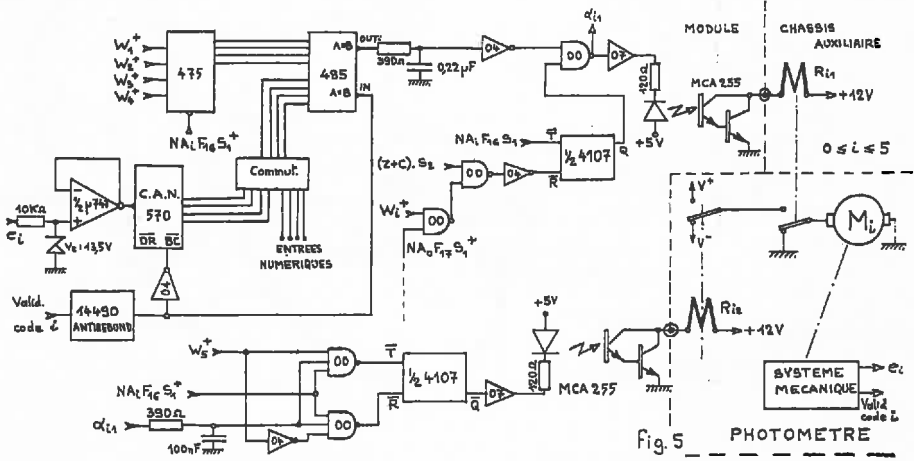
IV.2. — Fonctionnement

Le module remplit les fonctions de commande, contrôle et reconnaissance sur six dispositifs électromécaniques indépendants entraînés par des moteurs à courant continu M_i avec $0 < i < 5$.



Les entrées sont de type analogique ou numérique, la sélection se faisant par commutation d'un interrupteur de circuit placé sur la carte. Chaque sous-ensemble possède une entrée validation de code. Un couplage opto-électronique isole en sortie la partie logique de l'étage de puissance.

La recherche de position se fait à partir d'un comparateur numérique. A l'entrée de ce circuit on envoie la valeur demandée qui est stockée dans une mémoire et la valeur instantanée qui provient soit directement d'un codeur numérique, soit de la sortie d'un convertisseur CAN dans le cas d'une entrée analogique. Lorsque le comparateur binaire détecte l'égalité des mots A et B d'entrée, l'arrêt est commandé (Fig. 5).



Le sens de rotation des moteurs est déterminé par le calculateur pour une durée de mise en place minimale (optimisation du chemin parcouru). Une protection logique interdit le changement de sens de rotation lorsque le moteur est en rotation.

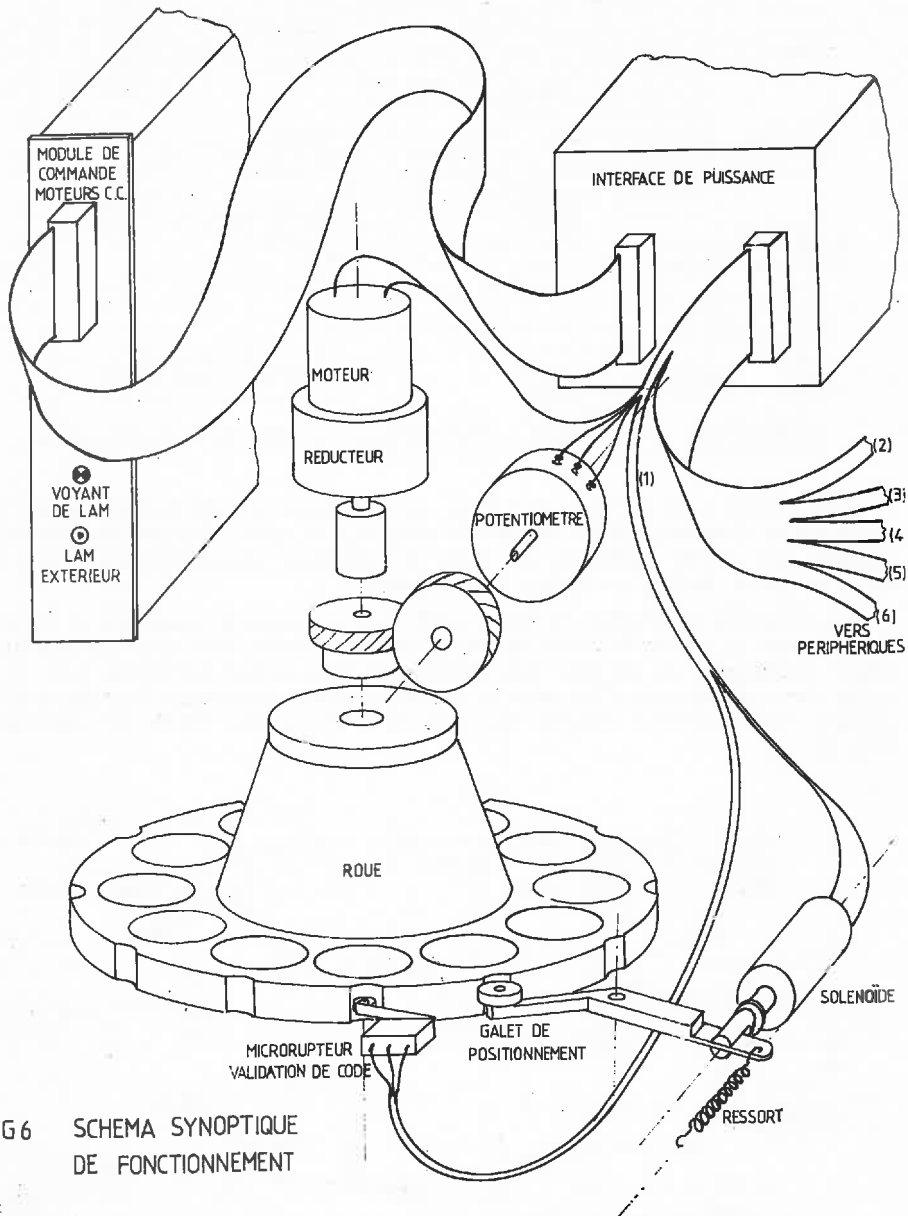


FIG 6 SCHEMA SYNOPTIQUE DE FONCTIONNEMENT

IV.3. — Exemple d'un système mécanique utilisant le module (Fig. 6)

Le moteur d'entraînement et le solénoïde sont couplés électriquement et de ce fait le galet se trouve escamoté lors des démarrages et au passage des encoches pendant la recherche de position. Il en résulte une diminution du couple de démarrage, la suppression des chocs et du matage des encoches.

La position désirée atteinte, on applique un court-circuit rotorique aux bornes du moteur ce qui provoque l'arrêt. A ce moment le ressort d'encliquetage exerce sa pression et met le galet en place dans l'encoche. Le positionnement et la répétitivité sont indépendants de l'influence des jeux et du sens de rotation ; la précision se trouve donc supérieure au 1/100^e de millimètre.

On peut remarquer que les avantages d'un encliquetage normal (fiabilité et précision de positionnement) subsistent alors que le solénoïde linéaire en supprime les inconvénients.

IV.4. — Appel du module au calculateur

Lorsqu'une demande de position est formulée et que l'organe mécanique a été amené à la valeur désirée, un appel dénommé LAM est généré. Sur le module CAMAC une seule ligne d'appel est autorisée ce qui conduit à prévoir une reconnaissance du sous-ensemble demandeur d'appel. D'autre part il est intéressant de pouvoir valider ou inhiber individuellement les appels ce qui est effectué par l'intermédiaire d'un registre sélectif de masque d'appel. Fig. 7.

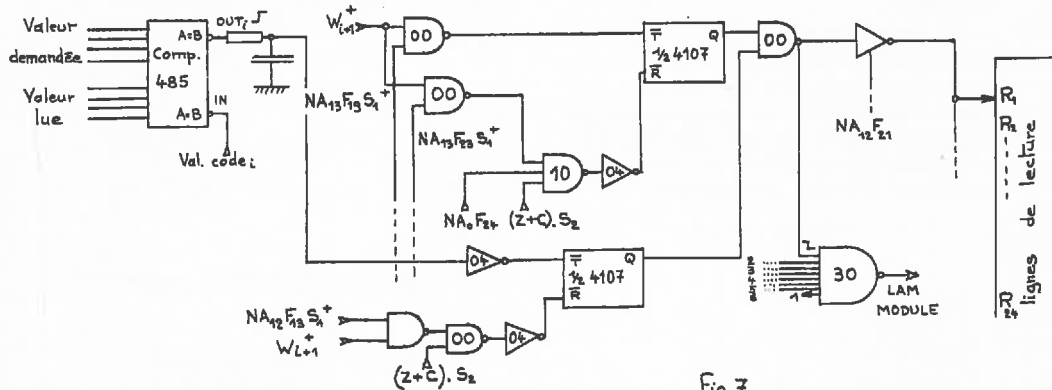


Fig. 7

IV.5. — Logiciel de commande du module

La commande du photomètre est réalisée dans un environnement logiciel permettant la multiprogrammation (Système RTE III sur HP 21 MX). A chaque périphérique du calculateur est associé un programme de gestion, le « driver », qui prend en compte les échanges de données et les interruptions.

La commande d'un moteur se déroule en trois temps.

Dans un premier temps le calculateur demande le positionnement en P du périphérique I en activant son moteur de commande. Cette instruction étant exécutée le calculateur est libéré pour accomplir d'autres tâches : calculs en temps réel, acquisition de données, contrôle, surveillance, etc... Lorsque le périphérique atteint la position désirée le Module CAMAC génère un signal sur la ligne LAM. Les modules contrôle du châssis et interface génèrent alors une interruption sur le calculateur.

Dans un deuxième temps l'interruption est prise en compte.

Dans le troisième temps si l'avance du programme ne peut se faire que lorsque le périphérique est en position, on vérifie que l'interruption est arrivée. Si ce n'est pas le cas on l'attend.

A chaque périphérique est associé un drapeau (Ressource number chez H.P.) en mémoire. Il est mis à 1 lors de la demande de positionnement et à 0 à la réception d'un LAM ce qui donne l'information d'une interruption reçue.

A chaque temps un sous-programme est associé.

Le sous-programme 1 Fig 8 vérifie la validité de la demande.

Il renvoie au programme principal un code de retour lui indiquant si la commande est exécutée.

Le sous-programme 2 Fig 9 prend en compte l'interruption générée par le module.

Pour tout le système CAMAC on dispose d'une seule ligne d'interruption. Le driver à la réception d'une interruption dialogue avec le CAMAC pour déterminer le module responsable. Dans le cas du module de commande des moteurs il se branche au sous-programme 2. Celui-ci effectue une lecture remise à zéro du LAM et positionne à zéro le drapeau correspondant.

Le sous-programme 3 (Fig. 10) teste le drapeau associé au moteur i.

Si ce drapeau n'a pas été mis à 0 par l'interruption, le programme se suspend jusqu'à ce qu'il soit mis à 0. Le calculateur pendant ce temps peut exécuter d'autres programmes.

Prise en compte du LAM "moteur"

Demande de positionnement

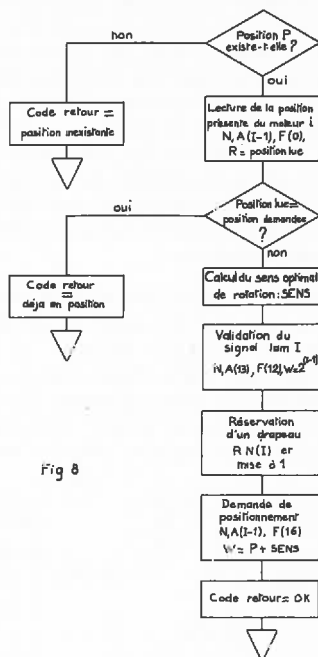
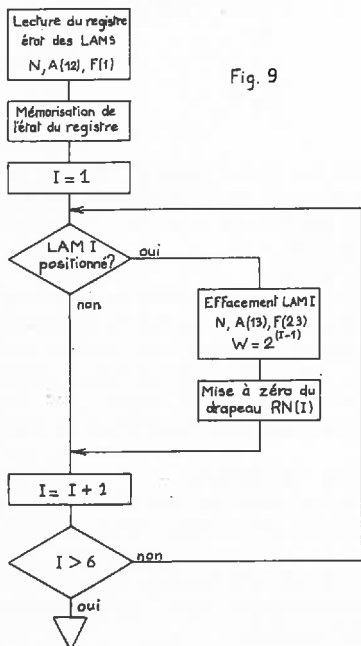


Fig 8

Fig 9



Vérification de la fin de positionnement

Fig 10



Un programme est exécuté un temps T après la demande de positionnement avec $T > t_{max}$ de positionnement. Il vérifie que l'interruption est arrivée, donc que l'ensemble « électronique mécanique » fonctionne correctement. Dans le cas contraire, l'alarme est donnée.

IV.6. — Commandes CAMAC du module

Les fonctions CAMAC référencées NAF permettent la commande du module.

1) Mise en marche des moteurs Mi avec sélection du sens de rotation :

$N.A_i.F_{16}.S_{1+}.OUT_{1+}.W_5^+$ sens direct

$$0 < i < 5$$

$N.A_{i+16}.S_{1+}.OUT_{1+}.W_5$ sens inverse

Cette fonction interdit un ordre de changement de marche lorsque le moteur est en mouvement.

2) Arrêt des moteurs Mi :

L'arrêt sélectif d'un ou plusieurs moteurs est une réponse à l'ordre :

$$N.A_0.F_{17}.W_{i+1}.S_{1+}$$

L'arrêt global des moteurs est effectué par initialisation et RAZ générales :

$$(Z + C).S_2 \text{ ou } N.A_0.F_{17} \sum_{i=0}^{i=5} W_{i+1}.S_{1+}$$

3) Lecture de la position des périphériques i :

La fonction CAMAC d'exécution de cette lecture est : $N.A_i.F_0$.

Sur les lignes de lecture R_1, R_2, R_3, R_4 on lit la position.

La ligne Q donne la valeur de la ligne validation de code à la réception de la

4) Appel LAM :

L'appel est généré pour chaque périphérique à son arrivée en position.

Une ligne spécialisée Lx permet l'appel extérieur d'un septième périphérique.

L'appel LAM répond à :

$$LAM = lam_1 + lam_2 + \dots lam_{i+1} + lam_x$$

5) Reconnaissance du périphérique générateur d'appel :

L'ordre CAMAC permettant la reconnaissance d'un périphérique arrivé en position est : $N.A_{12}.F_1$.

La lecture des lignes $R_1, R_2, \dots R_{i-1}$ donne l'identité du moteur concerné $M_0, M_1, \dots M_i$ ou la reconnaissance d'un appel extérieur.

6) Remise à zéro du lam_{i+1} :

Une remise à zéro générale se fait par initialisation ou par l'ordre CAMAC : fonction lecture.

$$N.A_{12}.F_{23} \sum_{i=0}^{i=5} W_{i+1} S_2^+$$

La remise à zéro sélective d'un ou plusieurs lam_{i-1} est commandée par :

$$N.A_{12}.F_{23}.W_{i+1}.S_2^+$$

7) Sélection du registre de masque de LAM :

Outre l'initialisation, l'ordre $N.A_0.F_{24}$ remet à zéro tous les registres.

La validation sélective se fait par : $N.A_{13}.F_{19}.W_{i+1}$.

S_{1+} .

La remise à zéro sélective répond à : $N.A_{13}.F_{23}.W_{i+1}.S_{1+}$.

8) Réponse Q :

Cette ligne omnibus est une réponse à l'ordre CAMAC de lecture de LAM $N.A_{12}.F_{1+}$ de même qu'à la lecture d'une validation de code $N.A_i.F_0$.

$$Q = N.A_{12}.F_{1+}$$

$$Q = N.A_{12}.F_{1+} (lam_1 + lam_2 + \dots lam_{i+1} + lam_x) + N.F_0 (A_0 + A_1 + \dots A_i)$$

9) Réponse X :

Tout ordre CAMAC reconnu et accepté par le module active une ligne omnibus X.

$$X = N A_{12} (F_1 + F_{23}) + A_{13} (F_{19} + F_{28}) + A_0 (F_{17} + F_{24}) + F.(A_0 + A_1 + \dots A_i) + F_{16} (A_0 + A_1 + \dots A_i).$$

V — CONCLUSION

Le système CAMAC ayant pris naissance dans les laboratoires de recherche nucléaire, ses avantages y sont mis pleinement à profit sur des installations complexes, très rapidement évolutives, réalisées en collaboration internationale, susceptibles d'une maintenance aisée. Actuellement les grands secteurs de recherche (CERN, CEA, CNRS ...) l'utilisent ainsi que certaines industries.

Un choix diversifié de modules est commercialisé par plus de 40 fournisseurs allemands, américains, anglais, français, hongrois, italiens, polonais ou suisses dont la liste est éditée régulièrement par le comité ESONE.

Le module réalisé à l'Observatoire de Lyon vient s'ajouter à une liste de modules standards. Son créneau d'utilisation couvre en premier lieu les besoins de l'instrumentation astronomique qui emploie dans des configurations CAMAC de nombreux dispositifs opto-mécaniques sur des appareils tels que : photomètres, polarimètres, spectromètres, monochromateurs...

On peut envisager de nombreux secteurs d'applications pour des procédés commandés par calculateurs : doseurs, distributeurs, automates divers...

L'utilisation des microprocesseurs dans des systèmes CAMAC ne peut qu'en favoriser l'extension et permettre leur mise en œuvre sur des installations jusque là privées de ces techniques pour cause de prix de revient trop élevés.

On peut souhaiter que les systèmes CAMAC offrant l'énorme avantage de présenter des normes internationales standardisées se développent, facilitant les dialogues et échanges entre électroniciens de tous pays.

LEGENDES DES FIGURES

Fig. 2. — Synoptique de l'ensemble photométrique

Fig. 3. — Photomètre automatique C.F.H.

- 1: Route porte-diaphragmes
- 2: Modulateur
- 3: Roue porte-filtres
- 4: Sources d'étalonnage
- 5: Miroir de visée
- 6: Obturateur
- 7: Détecteur
- 8: Caméra de télévision

Fig. 4. — Synoptique du module de commande des moteurs

Fig. 5. — Schéma logique d'un sous-ensemble

Fig. 6. — Schéma synoptique de fonctionnement

Fig. 7. — Schéma logique des circuits de génération du LAM

Fig. 8. — Organigramme de demande de positionnement

Fig. 9. — Organigramme de prise en compte du LAM « moteur »

Fig. 10. — Organigramme de vérification de la fin du positionnement

BIBLIOGRAPHIE

- « CAMAC ». — Documentation technique Schlumberger.
 EUR 4100 - EUR 5100. — CAMAC. Système modulaire d'instrumentation pour le traitement des informations.
 EUR 4600. — CAMAC. Organisation de systèmes multi-châssis.

LES AMAS GLOBULAIRES

par Mme M.T. MARTEL

Astronome à l'Observatoire de Lyon

15 mars 1980

Parmi la multitude d'étoiles ponctuelles qui tapissent le ciel, on distingue quelques astres flous : des nébuleuses et des amas d'étoiles.

Examiné rapidement au foyer d'un petit Instrument astronomique (lunette ou télescope), un amas globulaire présente l'aspect d'une étoile « diffuse » et ressemble à une étoile telle qu'on la voit lorsque l'oculaire n'est pas au point sur l'image que donne l'objectif. Il ne peut, cependant, y avoir confusion, car les étoiles environnantes du champ apparaissent comme des objets vraiment ponctuels. L'examen visuel d'un amas globulaire révèle donc qu'il s'agit en réalité d'une boule d'étoiles et non d'une étoile « floue ».

A l'œil nu, deux amas sont bien visibles dans le ciel austral : ω Centaure et 47 du Toucan, tous deux de la 4^e grandeur, soit en magnitudes visuelles de 3.6 et de 4.0. Sous nos latitudes boréales, nous pouvons repérer à l'œil nu M 22 dans le Sagittaire, M 5 dans le Serpent, M 4 dans le Scorpion près d'Antarès, M 13 dans Hercule de magnitudes visuelles 5.1, 5.9, 6.0 et 5.9. Ces astres, visibles dans le ciel d'été, se situent à nos latitudes, toujours très bas sur l'horizon, sauf M 13 commode à observer car assez haut et bien placé au début de nuit en juillet.

La photographie de l'amas d'Hercule M 13 est présentée sur la couverture du Bulletin de la S.A.L. n° 13. L'examen de cette photographie nous montre tout d'abord une partie centrale toute blanche, qui n'est pas résolue (même avec les plus grands télescopes).

Les étoiles sont si rapprochées que, ni la photographie, ni l'observation visuelle à un grand télescope, ne les séparent pas. Vers l'extérieur le nombre d'étoiles diminue, il est alors possible de les observer une à une séparément. Un amas globulaire n'a pas de limite avec le fond stellaire environnant.

Evaluer le nombre des étoiles d'un amas globulaire comporte bien des difficultés. Cependant, à partir des étoiles effectivement dénombrées dans les régions accessibles à cette mesure, il est possible de chiffrer leur population entre 100 000 et 10 millions.

NOMBRE D'AMAS

I — DANS LA GALAXIE

En 1799, il y a 131 amas dénombrés comme étant des amas globulaires appartenant à notre Galaxie. Les étapes des découvertes de l'ensemble des amas globulaires galactiques s'échelonnent ainsi :

1665 : Helevius remarque, dans le Sagittaire, M 22.

1679 : Halley découvre, pendant son séjour à l'île Ste-Hélène, ω Centauri, l'amas le plus brillant de tout le ciel.

1702 : Kirch trouve l'amas du Serpent M 5.

1714 : Halley observe pour la première fois l'amas d'Hercule M 13.

1782 : Messier publie le 1^{er} catalogue d'objets diffus. Ce catalogue recense actuellement 28 amas.

1888 : Dreyer publie le fameux catalogue NGC (New General Catalogue) de nébuleuses et amas d'étoiles qui compte 104 amas globulaires.

1895 : Dreyer publie un supplément au NGC qui contient 2 amas nouveaux.

1952 : Dufay et Bigay découvrent l'amas OHP 1 sur une photographie infrarouge du centre de la Galaxie.

1959 : Examen du Sky Atlas Palomar photographié au télescope Schmidt de 122 cm. Recensement de 118 amas.

1970 : Terzan trouve 8 amas nouveaux près du Centre Galactique sur des clichés infrarouges pris à l'ESO (Chili).

1979 : Harris et Racine dénombrent 131 amas dans leur publication parue dans Annual Review Astron. Astrophys, 19, pp. 241-274.

Quant au nombre réel d'amas globulaires les astronomes pensent que deux raisons empêchent leur recensement complet :

— Beaucoup d'amas échappent à l'observation du fait qu'ils sont trop obscurcis par la matière interstellaire. Nous ne les voyons pas, même sur les photographies prises dans le proche infrarouge à $0\mu.8$.

— D'autre part, le ciel n'a pas été complètement exploré dans toutes les régions pour déceler les amas distants du type Palomar.

Les travaux de Harris (1976) et de Oort (1977) montrent que les régions centrales peuvent cacher de 30 à 70 amas, situés pour la plupart du côté opposé au Soleil par rapport au centre galactique. Les calculs de Harris et de Oort aboutissent pour le ciel entier à une population totale d'amas globulaires de 160 à 200 pour la Galaxie.

II — DANS LES GALAXIES PROCHES

Nous verrons plus loin qu'il existe de nombreux amas globulaires dans les Nuages de Magellan, la nébuleuse d'Andromède et M 33 et dans presque toutes les galaxies du « Groupe Local ».

III — DANS LES GALAXIES LOINTAINES

Plusieurs milliers d'amas sont décelés dans M 87, nébuleuse du « Groupe Virgo » et dans la galaxie NGC 4594 appelée « Sombrero » à cause de sa forme ressemblant à un chapeau.

AMAS GLOBULAIRES GALACTIQUES

I — FORME

Ils présentent tous plus ou moins la symétrie sphérique bien qu'un net aplatissement soit très visible chez certains d'entre eux.

L'excentricité de l'ellipse (*) atteint 0,4 pour M 19 (le grand diamètre dépasse le plus petit de 9 %) et 0,55 pour 47 Toucan (le grand diamètre dépasse alors le plus petit de 20 %).

Enfin la répartition de la densité stellaire peut être différente à l'intérieur de l'amas par rapport à celle des régions plus extérieures comme le fait ressortir l'étude de Lindsay déduite de clichés obtenus en lumière bleue et infrarouge pour l'amas ω Centauri.

II — ECLAT, COULEUR

Dans un instrument de taille moyenne, un amas globulaire se présente comme une nébulosité peu étendue dont on peut évaluer la magnitude apparente ou magnitude intégrée de l'amas. Comparée à des étoiles de référence on peut donc déterminer la magnitude globale de l'amas en plusieurs couleurs (U, B, V par exemple).

On en déduit les valeurs intrinsèques des indices B - V et U - B c'est-à-dire des indices corrigés du rougissement interstellaire.

Pour les 131 amas globulaires galactiques $0,60 < B - V < + 2,77$;
— $0,14 < U - B < + 2,1$ mag.

Le rougissement interstellaire est déterminé à partir de l'excès de couleur défini par $(B-V)$ mesuré — $(B-V)_0 = E$.

Harris a mesuré le rougissement de tous les amas connus en 1976. Il a homogénéisé les résultats, déterminés à partir des mesures individuelles des étoiles les plus brillantes dont on connaît le diagramme couleur — magnitude. Pour certains amas restants on utilise une loi générale qui dépend de la latitude galactique.

(*) Rapport de la distance des foyers à la longueur du grand axe.

III — SPECTRE ET COMPOSITION

Le spectre de l'ensemble des étoiles d'un amas globulaire varie, en général du type F_5 à G_5 ; mais les étoiles sont de population II ou dites de population d'amas. On trouve de nombreuses étoiles variables dont les plus nombreuses sont les étoiles RR Lyrae appelées aussi « variables d'amas ». La relation période - luminosité de ces RR Lyrae a permis de connaître les distances des amas qui en contiennent.

IV — DIAMETRE

Il est aussi difficile de préciser le diamètre total des amas que de distinguer les derniers habitants d'une ville de ceux d'un faubourg avoisinant. Les diamètres apparents ne sont pas commodes à définir puisque la densité des étoiles projetées sur la photographie va en décroissant à partir du centre et que l'amas ne présente pas de limite nette.

Actuellement toutes les mesures, relatives aux amas, ont été revues par Harris et Racine et rendues homogènes pour les 131 amas galactiques connus. Les mesures du rayon limite r_1 et du rayon de la concentration centrale r_c reposent toutes sur les déterminations de magnitudes obtenues par méthode photoélectrique en utilisant des diaphragmes concentriques de plus en plus grands. r_1 correspond à l'asymptote de la courbe photométrique d'éclat et r_c à la distance angulaire pour laquelle les étoiles individuelles ne sont pas déceiables. Pour connaître les dimensions réelles d'un amas il faut auparavant déterminer sa distance.

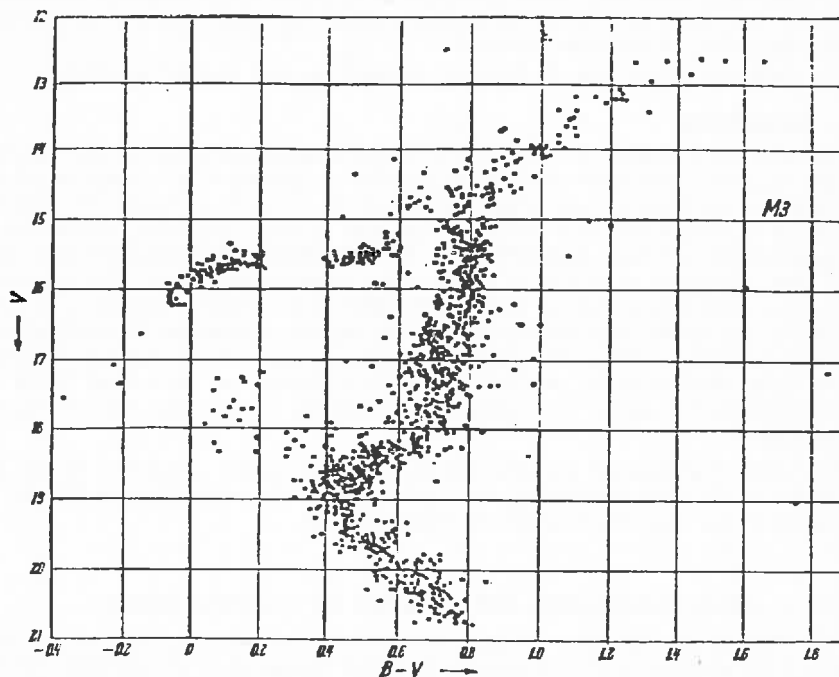


Fig. 1. — Diagramme « Couleur-Luminosité » de l'amas globulaire M 3 (d'après Johnson et Sandage Ap. J., 124, 1956, p. 386)

V — DISTANCE

Actuellement les distances de 78 amas sont déterminées par la méthode du *diagramme couleur - luminosité*. La figure 1 reproduit celui de M 3 où chaque point représente une étoile, définie par sa couleur (ou indice B-V) et par sa luminosité (ou magnitude visuelle V) puisqu'ici toutes les étoiles de l'amas se situent à la même distance.

Harris en 1976 a montré que les étoiles de la branche horizontale repérées par un X sur la figure 1 ont une magnitude absolue (*) de 0,6. La magnitude apparente visuelle V du point X se lit sur la verticale du diagramme, soit pour M 3, 15, 6. A partir de M et V, des relations mathématiques très simples permettent de déduire la distance de M 3 soit au Soleil 32 600 années de lumière, soit au centre de la Galaxie 40 450 années de lumière. Les distances de 113 amas globulaires galactiques s'échelonnent, à partir du centre galactique de 3 260 années de lumière pour NGC 6558 à 326 000 années de lumière pour NGC 2419, en supposant le soleil à la distance de 29 340 années de lumière.

18 amas n'ont pas de distances connues.

Les 113 amas restants se répartissent ainsi par rapport à la distance d au centre galactique :

- 78 d < 35 000 a. l. (années de lumière)
- 24 d < 70 000 a. l.
- 4 d < 100 000 a. l.
- 2 d < 200 000 a. l.
- 3 d < 300 000 a. l.
- 2 d < 300 000 a. l.

VI — AGE

On détermine l'âge d'un amas globulaire si on connaît son diagramme couleur - luminosité. Les amas globulaires se classent parmi les objets les plus vieux de la Galaxie entre 8 et 16 milliards d'années.

(*) Valeur de l'éclat pour la distance standard de 32,6 années de lumière.

VII — REPARTITION

Sur une carte tracée en longitude et latitude galactiques les points représentant les 131 amas globulaires galactiques donnent un graphique sur lequel on ne voit aucune région privilégiée. Les amas globulaires se trouvent à toutes les latitudes galactiques et constituent dans la Galaxie un *sous-système sphérique*. L'existence de ce sous-système est bien démontrée par les projections de l'ensemble des amas sur le plan galactique et sur deux autres plans perpendiculaires au plan galactique. Ces coupes galactiques établies comme les plans d'une maison, dessinant la coupe parallèle au sol et les façades perpendiculaires au sol, permettent de reconnaître la répartition sphérique des amas globulaires. Enfin il est curieux d'attirer l'attention sur les amas globulaires les plus lointains dont 4 d'entre eux se situent à des distances supérieures à celles des 2 galaxies voisines de la nôtre que sont les Nuages de Magellan.

La figure 2 représente les galaxies du « Groupe Local » projetées sur le plan galactique et 10 amas globulaires les plus lointains de notre Galaxie figurés par des points et par leur numéro NGC au Palomar (Pal).

AMAS GLOBULAIRES DES GALAXIES DU « GROUPE LOCAL »

Les *Nuages de Magellan* galaxies irrégulières, les plus proches de la nôtre, situées à 55 kiloparsecs (*) (kpc) pour le Grand Nuage et à 66 kpc pour le Petit Nuage, ont des amas qui sont très difficiles à classer comme globulaires. Dans les Nuages de Magellan il n'y a pas seulement 2 groupes d'amas comme dans notre Galaxie : les jeunes ou amas ouverts et les vieux ou amas globulaires, bien différents par leur diagramme couleur-luminosité. Il existe aussi des amas d'âges intermédiaires de structure analogue aux amas globulaires conventionnels. Les meilleurs critères de classification des amas globulaires des Nuages de Magellan sont leurs indices de couleur B — V et U — B. Des 141 amas du Grand Nuage et des 52 du Petit

(*) 1 kiloparsec = 3 260 années de lumière.

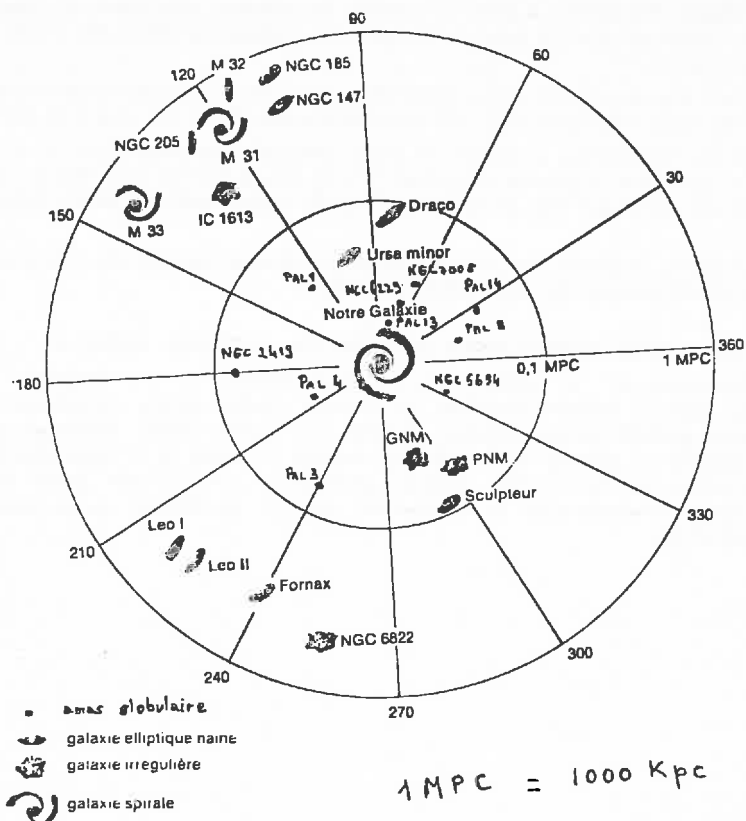


Fig. 2. — Projection sur le plan galactique des galaxies du « Groupe Local » et des 10 amas globulaires les plus lointains

Nuage, observés en UB V, Harris et Racine (1979) en ont retenu respectivement 17 et 10 qui ont des indices semblables aux amas globulaires de notre Galaxie avec $B - V > 0,50$ et $U - B > 0,10$ mag.

Le système *FORNAX*, galaxie spéroïdale naine, située à 160 kpc, possède 6 amas globulaires dont les mesures UB V satisfont aux critères de classification.

Les 2 galaxies de forme irrégulière *NGC 6822* et *IC 1613*, situées à 700 kpc n'ont pas d'amas globulaires connus.

Dans la galaxie spirale *M 33* de la Constellation du Triangle, située à 800 kpc, Hiltner et Kron ont sélectionné 23 amas. Seuls 6 d'entre eux répondent aux critères des indices $B - V$ et $U - B$.

La galaxie spirale *M 31* dans Andromède, à 830 kpc, présente une structure bien étudiée. Dès 1932, Hubble établit une liste de 140 amas qui ne sont pas tous globulaires. En 1977 Sargent publie une liste de 355 candidats amas globulaires de *M 31*, à partir de l'examen des clichés de *M 31*. Sargent choisit pour critère de sélection la structure diffuse et symétrique de l'image, seule donnée disponible de ces objets. Il faut souligner que les observations des amas à la distance de *M 31* sont extrêmement difficiles car leurs images photographiques ont au plus 10'' de large. Dans ces conditions il est difficile de distinguer les amas globulaires des autres amas de *M 31* et des galaxies sphéroïdales distantes qui se projettent sur le

fond du champ. On estime à 20 % le nombre de galaxies elliptiques et d'amas intermédiaires contenus dans la liste de Sargent qui compterait alors 300 ± 30 « vrais » amas globulaires.

Il existe également des amas globulaires dans les 3 galaxies satellites de M 31, toutes 3 de forme elliptique. *NGC 205* possède 8 amas, *NGC 147* en a 4 et *NGC 185*, 6.

Enfin en 1977, Ables a décelé un amas globulaire de magnitude $V = 16,56$ et $B - V = 0,67$ dans la galaxie irrégulière *WLM* située à 1 700 kpc. W.L.M. désignent les noms de ceux qui ont découvert et étudié cette galaxie : Wolf, Lundmark et Melotte.

Nous avons présenté les photographies de chaque galaxie du « Groupe Local » avec les identifications de leurs amas globulaires.

AMAS GLOBULAIRES AU-DELA DU « GROUPE LOCAL »

L'observation de 15 galaxies du « Groupe Virgo », à des distances de plus 6 500 kpc, soit 21 millions d'années de lumière, révèle encore l'existence de nombreux amas globulaires apparaissant comme des objets faibles stellaires autour de chaque galaxie. La galaxie la plus pauvre compte 21 amas et la plus peuplée M 87 plus de 6 000. Le recensement d'amas globulaires, extrêmement grand autour de M 87, résulte probablement de la position centrale privilégiée de la galaxie dans le Groupe Virgo.

SOCIETE ASTRONOMIQUE DE LYON

69230 SAINT GENIS LAVAL

SOMMAIRE

- 1 — N'GUYEN HUU DOAN
- 2 — MODULE POUR LA COMMANDE DE
PETITS SYTEMES MECANIKUES
- 11 — LES AMAS GLOBULAIRES

Prix : 10 Frs