HAL open science

Estimations historiques des éclats. Résumé des problèmes et des méthodes

Olivier Las Vergnas

To cite this version:

Olivier Las Vergnas. Estimations historiques des éclats. Résumé des problèmes et des méthodes. Bulletin d'Information du Centre de Donnees Stellaires, 1989, 36, pp.91-131. hal-00646008

HAL Id: hal-00646008

https://hal.science/hal-00646008v1

Submitted on 29 Nov 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

1989BICDS..36...91L

Bull. Inform. CDS n°36 (1989)

ESTIMATIONS HISTORIQUES DES ECLATS. RESUME DES PROBLEMES ET DES METHODES

O. LAS VERGNAS

Laboratoire de Statistiques Multidimensionnelles
Université P. et M. Curie,Paris

Abstract

Do bright stars have secular brightness variations ? Although this problem has been studied by some astronomers during the last centuries, no serious answer has been given to it. A hundred years ago, C. Flammarion collected old stars brightness estimates and published them in his book "Les étoiles et les curiosités du ciel". It was obvious to him that a great number of stars had secular variations. Since that time, Pickering (1895) and Zinner (1926) published two other compilations of star catalogues. They did not agree with Flammarion's opinion, but they were not really able to analyze the amount of genuine information the old data contained. No other study has been published since then.

New data analysis methods have been created in the last years, such as Correspondence Factorial Analysis, that allow further studies of large data tables. The aim of the work here presented is to appraise whether those methods can help us to solve this secular variations problem.

Some of those methods have already been tested on the basis of data published by Flammarion. They tend to prove that the real problem is to get rid of notation differences between observers. Therefore, special data coding methods must be used. It also seems that expected effects, such as Color observers' equations, cannot be visible. To improve the results of the analysis, we are now rebuilding the table of data, extracting them from original sources. After the completion of this work, new factorial analyses will be performed, thanks to new data coding methods. In order to draw astrophysical conclusions, it can be then useful to test some statistical treatment combining factorial and Fourier analyses. Such treatment could allow to get rid of phase information and open the way for periods correlation studies.

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

1. LE SUJET

1.1. L'historique de l'étude des variations séculaires

En 1880, Camille Flammarion publiait, à la suite de "l'Astronomie Populaire" [1], un guide d'observation des splendeurs célestes "les Etoiles et les Curiosités du ciel" [2]. Il y reprend les principaux catalogues d'éclats d'étoiles publiés depuis l'antiquité et les met en relation, complétés par ses propres observations. Se trouve ainsi réuni un corpus de onze séries de mesures de plus de mille étoiles brillantes observables sous nos latitudes, constitué par les estimations attribuées à :

attribution	date présumée	meilleure source actuelle (cote OP)
Ptolémée	+ 52	6442 Duckworth
(peut être Hipparque en	- 127)	
Abd Al Raham Al Sufi	+ 900	1176 Schjellerup
Ulugh Beigh	+ 1430	3058 Knobel
Tycho Brahé	+ 1590	20241 (ed. ori.)
Bayer	+ 1603	33 (ed. ori.)
Hévélius	+ 1660	18 (ed. ori.)
Flamsteed	+ 1700	121 Bailly
Piazzi	+ 1800	1301 (ed. ori.)
Argelander	+ 1840	120 (ed. ori.)
Heis	+ 1860	(ed. ori.)
Flammarion	+ 1880	(ed. ori.)

Ces mesures ont été toutes effectuées à l'oeil nu ou avec de petits systèmes optiques, sans utilisation de dispositif technique de comparaison. Pour notre auteur, pas de doute possible : les écarts constatés entre les différentes estimations des différents observateurs proviennent de variations physiques au cours des deux millénaires concernés ; il publie en fin de son ouvrage une table des "étoiles ayant varié depuis 2000 ans". Ce problème des variations séculaires avait d'ailleurs été posé plus tôt, en particulier par Sir William Herschell en 1795 [3].

Depuis 1880, qu'est devenue cette théorie ? Il semble qu'il soit maintenant admis que les étoiles brillantes ne varient pas avec des périodes de l'ordre du siècle, mais on ne trouve pas de publication qui ait vraiment établi ce fait. Deux auteurs ont refait le même travail de compilation que Flammarion, E. Pickering [4] et E. Zinner [5] (commenté en 1930, par K. Lundmark [6]), pour déterminer une magnitude actualisée pour les étoiles.
Seul Zinner consacrera quelques lignes à l'étude des variations séculaires; il cherche une variation monotone des étoiles, type spectral par type spectral, qu'il ne parvient pas à prouver. Enfin, dans sa postface à la réédition de l'ouvrage de Flammarion [7], J.C. Pecker n'analysera pas en détail ce problème, le qualifiant simplement de "considérations assez hasardeuses".

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

1.2. Le point de vue astronomique

Aujourd'hui, les astronomes sont familiarisés avec de nombreux types d'étoiles dont l'éclat varie, des Mira (avec des périodes de l'ordre de quelques années) aux Pulsars (dont les variations s'effectuent en quelques fractions de seconde). Cependant, la communauté astronomique semble s'accorder sur le fait qu'il n'existe pas de variables dont la période dépasse le siècle, hormis les étoiles explosives de type novae récurrentes dont l'amplitude d'éclat est de l'ordre d'un facteur 100 à 10 000. En dehors de celles-ci, deux étoiles variables "très lentes", seulement, sont connues : éta Carinae et P Cygni, dont les variations au cours des siècles derniers sont indiscutées.

La thèse de Flammarion impose l'idée d'un ou plusieurs nouveaux types de variation d'éclat, d'amplitude moyenne (un facteur 2 à 10) et de période beaucoup plus longue que tous les autres types (de l'ordre du siècle). Or, on ne connaît pas à l'heure actuelle de raison physique qui s'opposerait à l'existence de telles variations. L'étude des estimations historiques est alors le seul outil pour aborder ce problème et notre méconnaissance de ce type de variation vient sans doute de la difficulté à interpréter ces données.

1.3. Les causes des variations

Bien sûr, la variabilité physique des astres n'est pas la seule explication que l'on peut trouver aux écarts entre les valeurs notées dans les différents catalogues. Plusieurs causes non exclusives peuvent avoir contribué à les créer. En suivant la chaîne de l'émission au stockage, on peut citer :

Chaîne	cause potentielle d'écarts	Sigle
Astre	variation "astronomique"	VA
Milieu Interstellaire	variation d'opacité	VO
	variation de distance	VD
Atmosphère	variation d'opacité	VO
	différences dues aux sites	SI
Instrumentation éventuelle	différences dues aux fonctions d'instrument	IN
Observateur	différences dues aux équations personnelles	EQ
Codage	dispersion due au processus de mesure	ME
Identification Désignation	erreur d'identification	ID
	variation de la désignation	
Stockage Transmission	erreur de transcription	TM
	erreur de copie	

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

Ces causes peuvent être :

(VA) : les variations d'éclats "astronomiques" :

Les éclats intrinsèques des étoiles peuvent avoir réellement varié au cours des siècles. Ces variations peuvent être dues à toutes les causes classiques de variation des étoiles variables de plus courtes périodes, comme des pulsations physiques, des explosions récurrentes, des éclipses, ou l'émission d'une coque obscure. Plusieurs types de variables à longue période peuvent co-exister, leur diversité brouillant ainsi l'interprétation.

La plupart des causes de variations d'éclat doivent, comme pour les variables à plus courtes périodes, induire des relations entre des paramètres physiques intrinsèques et l'amplitude et la pseudo-période (relation période-luminosité des Céphéides par exemple).

(VO) : les variations d'opacité de milieu :

Les milieux (interstellaires ou atmosphériques) situés entre nous et les astres changent : la galaxie tourne, et nous rencontrons dans cette rotation plus ou moins de matière interstellaire opaque; l'atmosphère terrestre peut aussi avoir vu sa composition varier. Il peut en résulter des variations de l'éclat apparent des astres.

Ce type d'effet est sans doute variable en amplitude selon la couleur des astres. Une variation de l'opacité interstellaire peut avoir un effet localisé, d'autant plus probable que l'étoile est loin de la Terre. Une variation atmosphérique serait a priori sensible sur toutes les étoiles.

(DI) : la variation de distance des astres :

Le mouvement des astres modifie la distance Terre-astre. Selon les époques de mesure, les astres sont alors plus ou moins brillants (inversement proportionnelement au carré de cette distance). Il faut noter que l'ordre de grandeur des variations de distance nécessaire pour produire la différence d'éclat que nous constatons est très important. Il faudrait par exemple une variation d'un facteur 1,4 de la distance pour produire un éclat double sur 2000 ans. Même pour une étoile proche (typiquement 2 parsecs), il faudrait une vitesse de 1,5*10-3 année.lumière/an, soit 1,5*10-3 c. Ces valeurs sont à la limite du possible, pour quelques étoiles proches.

(SI) : les différences dues aux sites :

Tous les observateurs n'ont pas observé de la même latitude. Il peut en résulter un affaiblissement différentiel des étoiles, selon leur déclinaison dans le ciel. Le cas extrême de ce phénomène étant l'existence d'étoiles trop basses pour être observées pour les nordistes comme Tycho ou Hevelius. L'amplitude de cet effet est reliée à la couleur des astres, les étoiles rouges étant moins affaiblies que les autres.

(EQ) : les équations personnelles des observateurs ou les éventuelles fonctions instrumentales :

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

Les yeux des différents observateurs ou les instrumentations interposées peuvent avoir des réponses différentes aux divers astres, les éventuels instruments utilisés (collecteurs ou filtres d'intensité) peuvent également avoir des fonctions de réponses différentes (selon la couleur par exemple).

(ME) : la dispersion propre de la mesure :

L'estimation de l'éclat, même sous la forme d'un classement parmi 6 classes résulte d'un processus de mesure comme un autre, qui ne s'effectue pas de manière certaine. Les estimations peuvent sans doute se modéliser par une loi de répartition fonction entre autres de la valeur réelle de l'éclat et de la valeur la plus proche permise dans le codage en classes utilisé par l'observateur.

(ID) : les erreurs d'identification ou les variations de la désignation

Nombreuses sont les étoiles et fluctuantes les définitions des constellations. L'identification de la plupart des étoiles est loin d'être sûre. En particulier, des problèmes se posent pour les étoiles doubles, qui sont, selon les observateurs, agrégées ou non dans les catalogues.

(TM) : les erreurs de transcription ou de copie :

Les valeurs des éclats ont pu être modifiées par les transcriptions successives des catalogues ; cela peut ainsi être des erreurs de lecture, de copie, de traduction de symboles qui ont perturbé les données.

Ces causes ont pu jouer simultanément pour produire les écarts qui nous occupent aujourd'hui. Pour arriver à des conclusions astronomiques intéressantes, il nous faudrait déterminer leurs contributions relatives aux écarts dans les estimations d'éclats qui sont parvenues jusqu'à nous. Afin de permettre par la suite une analyse des causes plausibles, nous devons essayer de préciser quelles sont les "signatures" de ces différentes causes, c'est à dire les traces qui pourraient en être révélatrices dans les analyses des estimations.

Pour chaque cause, on peut préciser, au moins qualitativement, l'ensemble des étoiles touchées et les relations que les écarts présentent avec différents paramètres décrivant l'astre ou ses conditions d'observation. Il peut s'agir de relations entre des paramètres et l'amplitude des variations, ou de relation entre des paramètres et la pseudo-période. Ces deux types de relation peuvent concerner des paramètres directs décrivant physiquement l'astre ou les conditions d'observation ; cette relation peut être une relation quantitative (c'est à dire descriptible par une équation), monotone (M) ou non (E) ou simplement une dépendance selon des modalités d'indicateur qualitatif (I).
Certaines causes sont susceptibles de créer des extrema en phase (ou avec des relations de phase connues) pour toutes les étoiles touchées. On pourra alors observer des coïncidences du type maximum simultané de toutes les étoiles rouges.
Malheureusement, il est très difficile de quantifier ces éléments, aussi

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

bien en ce qui concerne les amplitudes pour chaque étoile qu'en ce qui concerne la relation de ces variations avec des paramètres.
On voit à la lecture du tableau suivant qu'il n'y a pas de moyen de caractériser de manière univoque une cause par une signature. On peut tout au plus signaler que la variation astronomique est la seule cause à induire une relation sur les pseudo-périodes.

cause potentielle d'écart		ensembles des étoiles touchées	ampli tude maxi-male	paramètres en relation		coinci-dences de dates d'extrêm.
				relation ave l'amplitude	relation ave pseudo-pério	
VA	variation "astro-nomique"	groupes selon param.physi	?	paramètres physiques intrins. ?	paramètres physiques intrins. ?	pas en phase
VO	opacité inter-stellaire	lointaines? selon coordonnées	?	couleur ? distance ?I	non	selon les positions
VD	variation distance	proches et tres rapid.	<1.0	distance M vit. rad. M	non	pas en phase
VO	opacité atmosph.	toutes	?	hauteur M couleur ?	non	selon couleur
SI	différ. sites	basses sur l'horizon	<	hauteur M couleur M	non	selon couleur
IN	fonction instrum.	toutes ?	?	couleur ?E	non	selon couleur
EQ	équations perso.	toutes ?	?	couleur ?I magnitude ?I	non	selon couleur
ME	processus mesure	toutes ?	?	?	non	?
ID	erreur identi-fication	régions denses et et. faibles	<1.0	éclat ?I	non	?
ID	variation désignat.	étoiles faibles	?	?	non	?
TM	erreur transcr.		?	?	non	?
CO	erreur de copie		?	?	non	?

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

2. LES DONNEES

Le tableau de données publié par Flammarion date de 1880. Pour l'actualiser, nous sommes amenés à travailler sur :

- l'introduction des données modernes,
- l'amélioration du choix des catalogues anciens,
- la vérification des désignations des étoiles,
- l'homogénéisation des codages des éclats.

Il s'agit de constituer un tableau exhaustif (de tous les catalogues datables donnant des estimations d'éclat sans données manquantes sur les 1000 plus brillantes étoiles), sans erreur sur leur identification.

2.1. les données modernes

Il faut compléter les données par des mesures effectuées depuis 1880. Le choix des catalogues à prendre en compte n'est pas simple : hormis la magnitude de la Revised Harvard Photometry [8] et l'indice V du catalogue de Nicolet [9], la plupart des catalogues modernes sont des compilations, ou des catalogues à la sensibilité spectrale très décalée, comme les catalogues photographiques (utiliser des catalogues réalisés avec des détecteurs ayant une sensibilité spectrale radicalement différente de celle de l'oeil ne pose a priori pas de problème particulier : en théorie, ils se distinguent des autres types par une sorte d'équation personnelle très décalée par leur sensibilité spectrale. Il faut simplement se demander où est la limite entre l'introduction de nombreuses séries très décalées en équations personnelles afin d'avoir des séries plus serrées dans le temps au XXième siècle et la simplicité de lecture des analyses, si l'on n'a que des catalogues visuels ou photo-visuels). Nous travaillons actuellement sur cette sélection.

2.2. les données anciennes

Flammarion n'a pas été exhaustif. Comme le montre E. Knobel dans sa "Chronology of Star Catalogues" [10], plus de 500 catalogues d'étoiles ont été publiés avant 1875. Parmi eux, seuls ceux qui concernent au minimum le millier de plus brillantes étoiles visibles de l'hémisphère nord, et qui présentent des estimations d'éclats homogènes et datables, nous intéressent. En effet, la plupart des catalogues anciens sont des catalogues de position, et dans beaucoup de cas, on ne sait rien sur les sources des indications d'éclat. Il semble également que pendant une longue période la catégorie d'éclat elle-même ait été utilisée comme un élément de repérage de l'étoile, comme on dit aujourd'hui "la faible sous la queue du Lion". On avait intérêt à recopier l'éclat de l'étoile dans les catalogues antérieurs, pour permettre une bonne identification.

Dans un premier temps, nous avons choisi d'intégrer dans notre corpus de données tous les catalogues susceptibles de comporter des données nouvelles d'éclat. Si les valeurs d'éclat s'avèrent être des copies d'un autre catalogue, les analyses des données le révéleront. La datation des valeurs d'éclat dans les catalogues n'est pas simple non plus : la date de publication, l'équinoxe choisi pour les coordonnées ne sont souvent pas la date des mesures de position et a fortiori pas non plus celle des estimations d'éclat. Dans un premier temps, nous avons fait confiance aux

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

indications de Knobel [10] et avons pré-sélectionné, comme catalogues pouvant être ajoutés à ceux de Flammarion, les catalogues anciens (t<1875) suivants :

Nom usuel du catalogue	nbre étoiles	date présumée	originalité	n° in Knobel	source
TABLES ALPHONSINES éd. Gauricius	1022	1251	?	28	20574
Tycho BRAHE - TABLES RUDOLPHINES	1000	1600	?	38	E.Blanchard
William DE HESSE	1034	1594	*	33	in Tycho
Sir William HERSCHELL	>1000	1770	**	non	2641
BRADLEY	3222	1760	**	96	Bessel 1323
BONNER DURCHMUNSTERUNG	?	1860	**	434	...

D'autres sont en cours d'étude, comme

APPIANUS (?)	1022	1550	?	30	?
LALANDE NORTH	1063	1790	?	135	
MOUGIN	1588	1802	?	156	
HARDING K.L.	60000	1822	?	178	
BERLIN STERNKARTEN	40059	1859	?	180	
CHABROL G.M.	600	1802	?	192	
BESSEL 1 + 2	62530	1825	?	257	
ASTRONOMICAL SOC.LONDON' CATALOG	2881	1830	?	294	
POND J.	1112	1830	?	296	[103]
MADRAS CATALOGUE	11015	1835	?	339	

2.3. les désignations des étoiles

Comme nous l'avons signalé, l'identification des étoiles pose problème : jusqu'à Bayer, les astres sont désignés par d'assez peu fiables descriptions liées à l'anatomie des constellations. Les lettres ou les numéros utilisés ensuite ne deviennent fiables que progressivement.

Pour effectuer le rattachement des catalogues, c'est à dire pour mettre en correspondance les étoiles, nous avons utilisé soit le nom moderne (Bayer, Flamsteed, HR) quand il est donné, soit la position mesurée : dans les catalogues anciens mentionnant des coordonnées (en général ecliptiques), il est plus fiable de les utiliser pour les identifications : on effectue le changement de coordonnées et d'équinoxe et la recherche automatique de l'étoile la plus proche dans le Bright Star Catalogue [11] (on en tire aussi des informations sur la qualité des mesures de position des différents catalogues).

2.4. Le codage et le concept de magnitude

Nos ancêtres ont classé les étoiles en 6 grandeurs (de 1 à 6) ; Pogson, qui définit au siècle dernier (1856) les bases de notre système actuel, est resté cohérent avec cette classification, en actualisant la définition de la magnitude mi par mi = -2.5 log (E) - Ki, dans laquelle -2.5 et Ki sont des constantes qui permettent avec le log de faire correspondre à des éclairements en lux (unité S.I.) des magnitudes cohérentes. C'est en fait progressivement dans l'histoire que s'est affirmée la notion de mesure

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

d'éclat; de Ptolémée à Flammarion, on passe d'une classification discontinue à une mesure d'une grandeur physique continue, proportionnelle (à un log près) à un éclairement envoyé par la source.

Le catalogue de Sir W. Herschell fournit des données sous une forme particulière: au lieu de noter directement l'éclat des étoiles, il les a classées par ordre de brillance dans chaque constellation, et a donné un indicateur de leur écart d'éclat avec certaines de leur voisines (un indice de proximité d'éclat, pouvant prendre quelques modalités qualitatives). Ceci constitue donc une série d'environ 6000 "comparaisons" d'éclat, portant sur près de 1000 étoiles dont certaines sont contradictoires. Ces données sont semblables à celles fournies par la méthode des degrés (usuellement appelée méthode d'Argelander).

Utiliser ces données nécessite de les rendre cohérentes avec celles des autres observateurs. Il faut les transformer pour les réduire à une estimation de grandeur de chaque étoile, avec un codage du type de celui des autres observateurs. Plusieurs modes de raisonnement sont possibles, tels que :

- le raisonnement "analyse des correspondances" (voir paragraphe 3.2.1.), qui impose de trouver une formule pour permettre de présenter les données sous la forme d'un tableau de correspondance (c'est-à- dire pour compléter les données), de façon que l'on puisse utiliser la coordonnée sur le premier facteur comme une estimation de magnitude au sens des autres observateurs,

- le raisonnement "maillage" qui consiste à optimiser la présentation des écarts le long d'une chaîne linéaire paramétrée par un indicateur de magnitude, en utilisant un formulaire (lequel ?) du type électrique (résistance) ou mécanique (ressorts),

- le raisonnement itératif, qui consiste à partir d'une série donnée de magnitudes arbitraires que l'on modifie par itération pour les faire s'accorder avec les estimations d'écart.

Une solution mixte peut être développée : remplissage des données manquantes par des valeurs extrapolées ou par un choix de modalités d'un indicateur qualitatif, puis analyse des correspondances.

On peut enfin envisager d'inverser le problème, et de rendre les données des autres observateurs homogènes avec celles d'Herschell. Des codages du type "écarts aux valeurs attendues" permettent cette solution.

3. LES METHODES

3.1. Premières réflexions méthodologiques

Formulons plus rigoureusement les objectifs d'une étude actuelle d'un tel sujet et les méthodes que nous allons utiliser pour les atteindre. On peut employer au moins deux stratégies différentes correspondant à deux types de questions de départ :

- une stratégie descriptive, pour laquelle la question générique est :

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

Q1 : Que peut-on tirer de ces écarts entre les estimations données par les divers catalogues historiques d'étoiles ?

Dans un premier temps, répondre à cette question Q1 n'impose pas de choix de modèle a priori, à part celui d'une métrique (c'est-à-dire d'une définition d'une mesure de l'éloignement et du comportement moyen). Elle peut se traduire par les deux sous-questions duales: d'une part, quelles sont les étoiles les plus éloignées du comportement moyen ? D'autre part, quels sont les catalogues qui sont responsables de ces éloignements ?.

Dans un second temps, pour arriver à interpréter ces regroupements ou ces éloignements, on souhaitera relier ces listes d'étoiles à des paramètres susceptibles d'expliquer les écarts, au sens où nous l'avons développé au paragraphe 1. Nous rechercherons alors les signatures des causes possibles. On peut en effet penser qu'il y aura parmi les étoiles éloignées du comportement moyen, des familles d'étoiles mettant en évidence certaines de ces signatures.

Dans cette optique, notre étude est heuristique : c'est la nature des éléments qui ressortiront de la description des écarts qui nous amènera à pouvoir (ou non) formuler des conclusions. Nous sommes simplement amenés à émettre des hypothèses sur les paramètres à prendre en compte et sur les types de signatures, mais nous ne leur donnons pas dans un premier temps de rôle actif dans les analyses que nous allons mener.

- une stratégie hypothético-déductive, pour laquelle la question générique est :

Q2 : Peut-on infirmer ou confirmer l'hypothèse de variation des étoiles brillantes émise par Flammarion ?

Répondre à la question Q2 impose de formuler une hypothèse et une batterie de tests discriminants par rapport à la véracité de celle-ci. Deux hypothèses sont particulièrement intéressantes à tester:

H1 : "il y a à coup sûr des variables à très longues périodes". Cette hypothèse pourrait être prouvée,

- soit en mettant en évidence des signatures spécifiques comme des relations entre les pseudo-périodes et les paramètres physiques de certaines étoiles (il s'agit là d'une condition suffisante, mais non nécessaire ; de plus les relations risquent d'être noyées, si plusieurs types de variables à très longues périodes existent : chaque type aura son propre jeu de relation),

- soit inversement, en montrant que la conjugaison de tous les autres effets n'est pas suffisante pour expliquer tous les écarts d'éclat (cette dernière solution n'est pas applicable car nous n'avons pas de moyens de majorer les différents effets),

H2 : "l'existence de variables à très longues périodes est absolument à rejeter". Cette hypothèse aurait pu être prouvée:

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

- en montrant l'absence de signatures de relation qui devraient être absolument visibles (cette piste H2 est sans issue, car nous avons vu en 1.2. qu'il n'existe pas de telles signatures).

Notre seule piste pour répondre à cette question Q2 est donc de tenter de vérifier l'hypothèse H1 en cherchant des relations entre des pseudo-périodes et des paramètres physiques. Or, comme dit plus haut, nous n'avons là qu'une condition suffisante.

Cette discussion montre que la solution la plus riche pour résoudre notre problème est double :

- Nous allons employer la première stratégie, pour répondre à la question Q1. Nous allons utiliser pour cela les méthodes de l'analyse des données et en particulier l'analyse factorielle des correspondances (3.2).

- Nous chercherons en parallèle à développer une méthode pour préciser ce qu'il est possible de tirer de la condition de vérification de H1. Elle devra mettre en évidence des relations avec les pseudo-périodes (3.4).

3.2. Les analyses factorielles et les classifications

3.2.1. *la place de l'a priori*

Les méthodes d'analyse de données, en particulier les analyses factorielles et les classifications automatiques permettent aujourd'hui d'analyser des grands tableaux de données comme ceux qui regroupent l'information disponible sur notre problème.

Le principe de ces méthodes est de partir sans a priori sur les données et de les décrire en analysant la hiérarchisation de l'information présente dans les données. Pour ce faire, les analyses factorielles étudient l'inertie du nuage de points ayant pour coordonnées les valeurs présentes sur les lignes du tableau de données. Ces méthodes correspondent donc à la stratégie que nous avons choisi d'employer.

La "morphologie du nuage" et la répartition des points sur chacun de ces axes d'inertie permettent alors de rendre lisible et hiérarchisée l'information contenue dans le tableau. Mathématiquement, après avoir centré et réduit le tableau de données que l'on a affecté d'un système de masse (par exemple, les sommes marginales de chaque ligne), on calcule la matrice d'inertie associée et on la diagonalise. On effectue alors un changement de base selon ses vecteurs propres, c'est à dire selon les axes principaux d'inertie du nuage de points. On projette alors les points figurant chaque ligne sur les nouveaux axes. L'ensemble de l'information est conservé, mais celle-ci est maintenant hierarchisée, axe d'inertie par axe d'inertie. L'histogramme des valeurs propres permet de voir le type de répartition de l'information entre les différents axes et l'étendue en dimension de celle-ci.

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

Figure Ext1 :
Etoiles atypiques 2° coor AQuantBrut très négatives
(Analyse Quantitative du tableau Flammarion Brut)

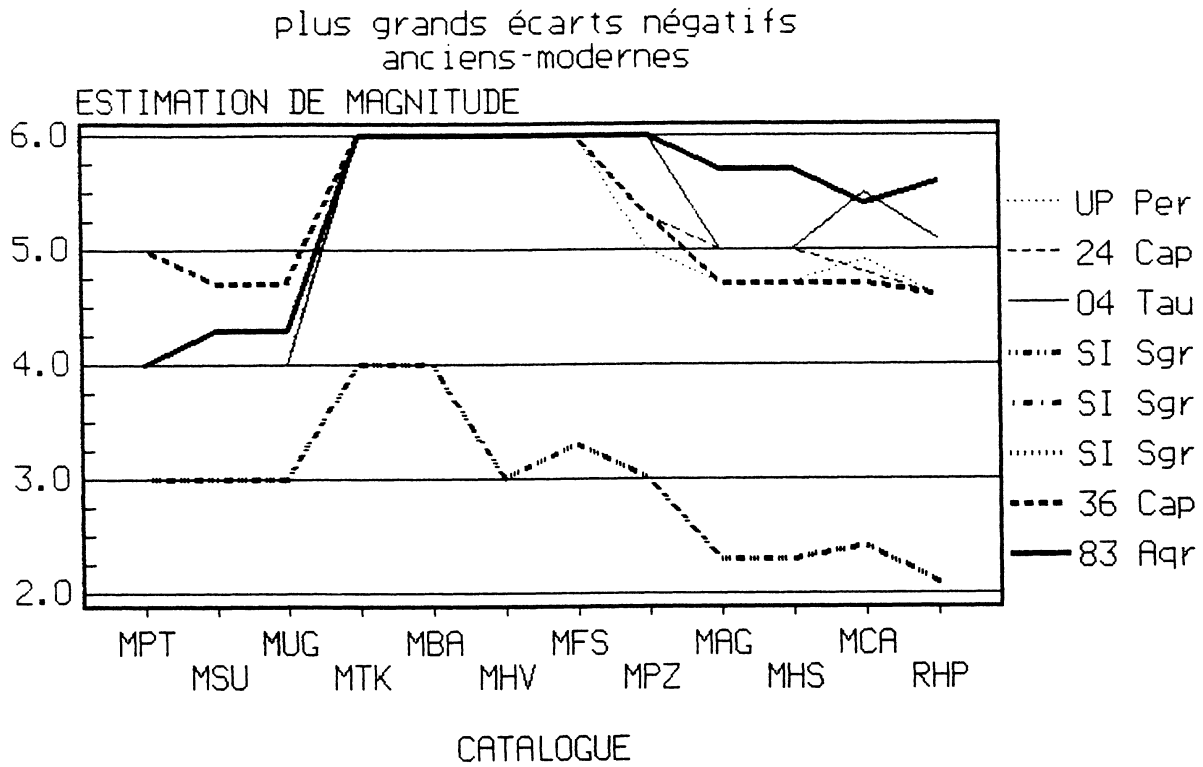
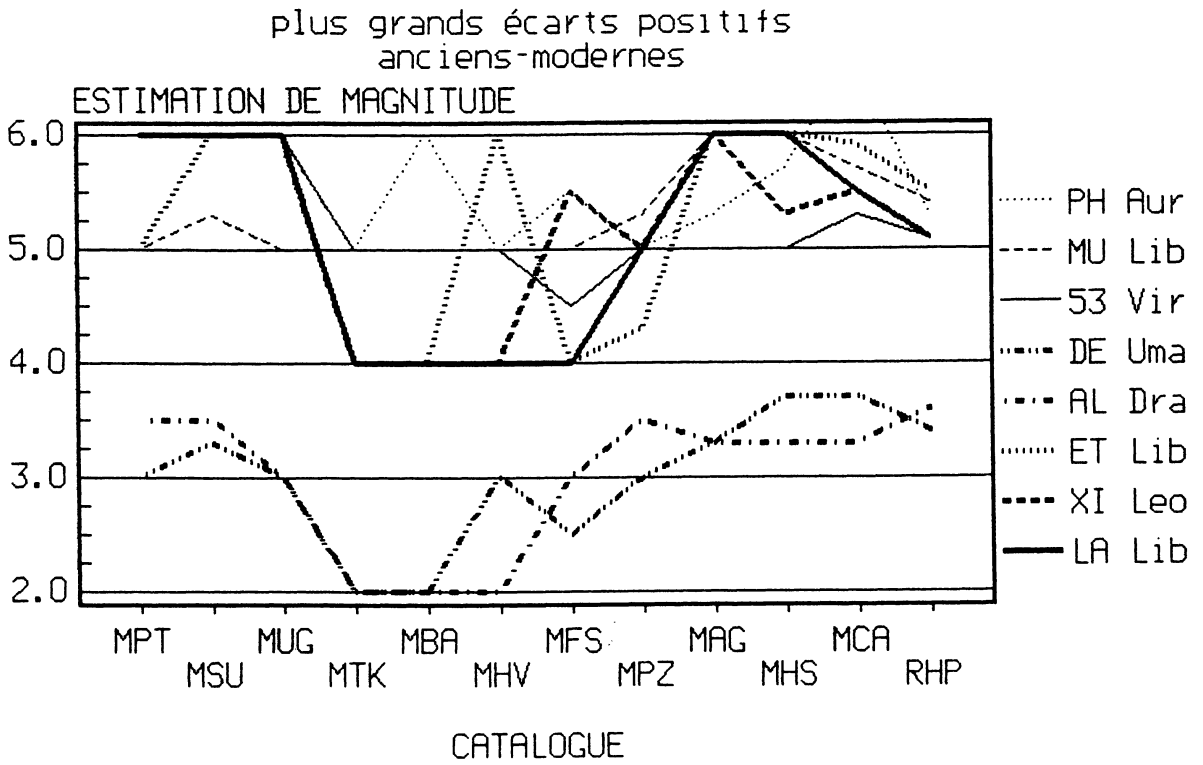


Figure Ext2 :
Etoiles atypiques 2° coor AQuantBrut très positives
(Analyse Quantitative du tableau Flammarion Brut)



Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

Le premier axe d'inertie oppose les points, c'est à dire les lignes du tableau (dans notre cas les étoiles) ayant les plus grandes distances ou "différences". La première valeur propre d'inertie, (associée à ce premier axe) mesure la quantité d'information présente le long de cet axe, c'est-à-dire dans cette opposition. On analyse ainsi les différents axes, en reconstituant progressivement la totalité des données.

Plusieurs méthodes d'analyse des correspondances existent, qui diffèrent par le type de représentation de l'information, c'est-à-dire de métrique, ou de système de masse qu'elles utilisent.

3.2.2. *l'analyse des correspondances*

L'analyse factorielle des correspondances (AFC), développée par J.P. Benzecri et ses collaborateurs [12] est la méthode que nous avons choisi d'utiliser, car la métrique qu'elle emploie (métrique du khi-deux : chaque ligne est affectée d'une masse qui est sa somme marginale, le tableau étudié est le tableau des profils des lignes) permet de représenter dans le même espace à la fois les deux nuages de points associés aux lignes et aux colonnes du tableau de données ; elle est par ailleurs très agréablement complétée par des outils de classification ascendante hiérarchique (CAH) qui permettent d'apporter des visions complémentaires, en particulier en construisant des arbres de classification des lignes ou des colonnes.

Pour chaque point représentatif des lignes ou des colonnes du tableau de données, nouvel axe par nouvel axe, on s'intéresse à ses nouvelles coordonnées, au cosinus carré de l'angle avec l'axe (ce qui est équivalent à un coefficient de corrélation), ainsi qu'à sa contribution à l'inertie expliquée par l'axe (c'est-à-dire à sa contribution à la création de l'axe). Le programme, que nous avons écrit en pascal pour effectuer ces analyses, publie en plus des graphiques des plans principaux, ces données dans un format compatible avec un programme de base de données relationnelles, ce qui permet de les exploiter de manière très approfondie (tri, filtrage, mise en relation par exemple).

Deux contraintes particulières sur les données sont à signaler :
d'une part, les tableaux ne peuvent comporter de cases vides et d'autre part, seules des valeurs positives sont permises. Afin d'utiliser l'AFC pour étudier notre problème, nous devons constituer -à partir des données d'éclat- des tableaux vérifiant ces caractéristiques. Il y a deux types de mise en forme des données possibles : constituer un tableau quantitatif ou un tableau qualitatif (constitué de 1 ou de 0).

Nous avons également à tenir compte des problèmes de masse de chaque ligne: compte tenu de la métrique du khi-deux employée par l'AFC, cette méthode accorde une importance plus grande aux lignes de somme marginale élevée. Si nous utilisons des tableaux quantitatifs et souhaitons équilibrer la contribution de chaque ligne au calcul de l'inertie, nous devons transformer le tableau pour assurer à chaque ligne une somme marginale égale. Pour ce faire, on peut dédoubler chaque ligne, en lui adjoignant un tableau de complément. A chaque valeur fij, on fait correspondre une valeur dédoublée k-fij, avec k >=max(fij).

Par l'AFC, il est tout autant possible d'analyser des tableaux contenant des mesures quantitatives (comme la magnitude par exemple) que des indications qualitatives, du type vrai-faux, ces deux types ne pouvant être

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

mélangés. Un cas particulier de la deuxième catégorie de tableau est constituée par les tableaux "disjonctifs" ; plusieurs variables constituent les colonnes : elles sont chacunes découpées en plusieurs modalités, dont une et une seule est vraie par individu.

3.2.3. *les lignes et les colonnes supplémentaires*

Lors d'une analyse factorielle, on peut rajouter des données "supplémentaires", c'est-à-dire que l'on ne fait pas intervenir dans le calcul de l'inertie, mais que l'on projette sur les axes. On peut ainsi introduire des descriptifs physiques des étoiles.

Dans le cas d'un tableau disjonctif, on pourra introduire des données supplémentaires qualitatives. Dans le cas d'un tableau quantitatif, afin de pouvoir interpréter les projections des points supplémentaires, il ne faut pas rendre inhomogènes les codages: il faudra introduire des étoiles fictives, centres de gravité de classes "types" d'étoiles, qui elles se projetteront en des points significatifs.

Nous pouvons donc utiliser cette possibilité des éléments supplémentaires pour compléter notre tableau "photométrique" par un tableau annexe des paramètres et indicateurs intervenant dans les signatures des différentes causes (au sens du paragraphe 1.2).

Ce tableau annexe (qui sera complété par la suite, selon l'allure des résultats des premières analyses, puisque les éléments qu'il contient n'interviennent pas dans les calculs d'inertie) est constitué des paramètres et indicateurs qualitatifs suivants :

Physique des étoiles :

V Magnitude relative V actuelle,
S Type spectral,
M Magnitude absolue,
I Indice spectral

Cause de perturbation des mesures et de leur transmission :

H Hauteur sur l'horizon,
C Facilité d'identification des étoiles dans le ciel,
T Sûreté de la désignation historique et de transmission,

Ces deux derniers paramètres sont des indicateurs qualitatifs, constitués pour l'occasion selon la densité locale d'étoiles confondables, l'âge de la dénomination et la position dans les figures mythologiques.

Tous les paramètres physiques intégrés pour l'instant sont des paramètres simples, directement observables. En fait, il ne semble pas probable qu'ils soient directement corrélés avec les variations réelles d'éclat. Les paramètres physiques qui interviennent dans la signature de la "variation réelle" ne sont sans doute pas des paramètres observationnels comme ceux-ci, mais plutôt des paramètres réellement intrinsèques -nous retrouvons ici le problème classique de la classification stellaire-.

Supposons que nous cherchions à détecter les variables à plus courtes périodes. Nous serions confrontés au problème de l'existence de plusieurs

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

familles ayant des caractéristiques et des signatures différentes :

- pour certaines modalités d'un paramètre physique (type spectral par exemple), les étoiles sont variables, et leur pseudo-période et amplitude dépend d'un autre paramètre (magnitude absolue par exemple),

- les paramètres qui sont reliés aux variations sont des paramètres composites, comme la classe de luminosité -qui est une fonction qualitative liée, mais pas de manière simple, au type spectral et à la magnitude absolue- par exemple.

- il y a des variables extrinsèques, comme les variables à éclipses, qui ne correspondent pas à des signatures particulières.

Il nous faudra, selon l'allure des premières analyses, décider de la meilleure stratégie pour mettre en évidence ces phénomènes. Il pourra s'agir de l'introduction de nouveaux indicateurs composites en éléments supplémentaires.

Dans le cas du tableau quantitatif, le centre de gravité des étoiles vérifiant chaque modalité est projeté en supplémentaire. Si l'indicateur en cause est corrélé à l'axe, il apparait que chacune des modalités qu'il peut prendre ne se projette pas à la même coordonnée.

Dans le cas d'une analyse qualitative, ce sont les lieux de projection des colonnes contenant les modalités de ces paramètres qui fournissent le même type d'information.

3.3. les analyses possibles dans l'espace temporel

3.3.1. *les problèmes des codages*

Comme nous l'avons déjà signalé, les estimations témoignent non seulement d'éventuelles variations, mais aussi de l'évolution du concept d'éclat des étoiles et de mesure d'éclat.

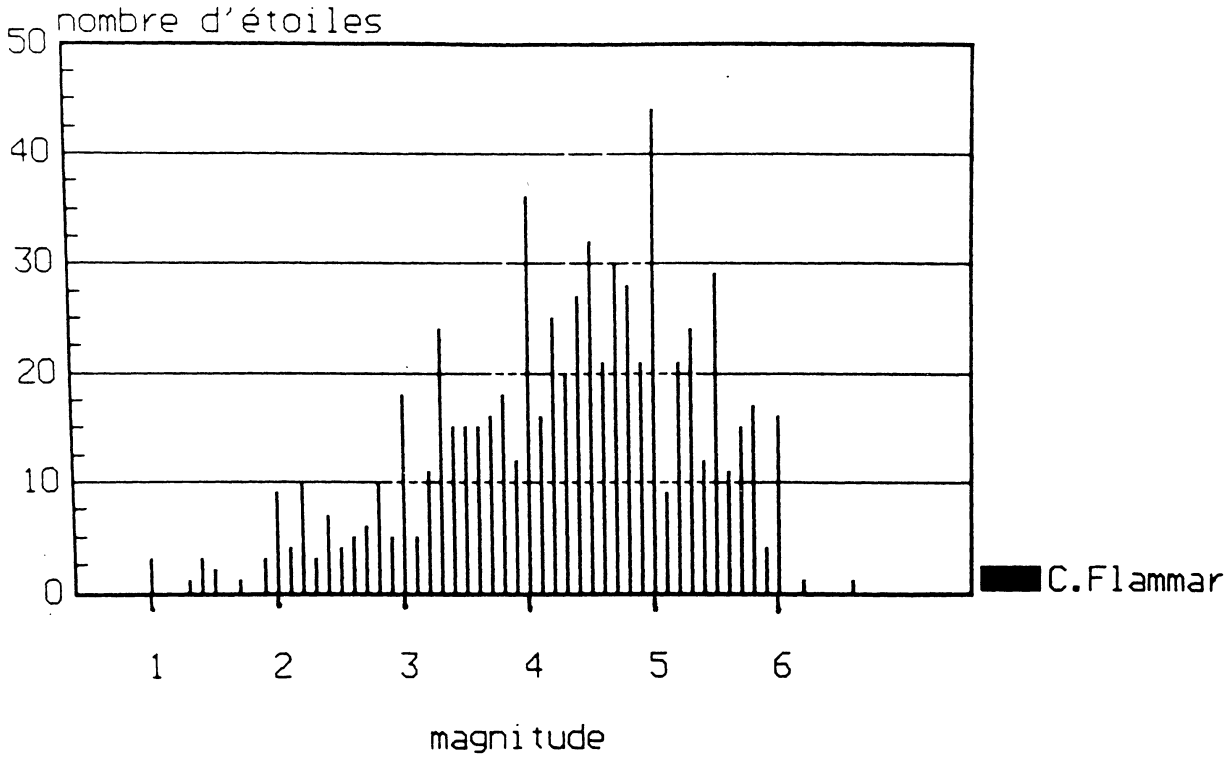
Les observateurs ont noté leurs estimations à l'oeil nu de l'éclat des étoiles. A l'exception de C. Flammarion, et de Sir William Herschell, attribuer un éclat à une étoile ne consistait pas à noter une estimation sous la forme quantitative, mais à placer l'étoile dans une classe d'étoiles (entre la première et la sixième grandeur). La plupart d'entre eux (en fait tous, hormis Ulug Beig, Tycho et Bayer) ont malgré tout utilisé des classes intermédiaires, à des fréquences plus ou moins importantes. C'est ainsi que Ptolémée, Al Sufi, Piazzi, Argelander et Heis utilisèrent deux classes intermédiaires possibles entre chaque valeur entière, Hévélius une et Flamsteed trois. Pour homogénéiser les tableaux et les analyses quantitatives, ces classes intermédiaires ont été assimilées à des classes à parties fractionnaires non nulles (respectivement ,33 et ,66 ou ,5 ou ,25 ,5 et ,75). Le cas spécifique de Sir William Herschell a déjà été signalé.

L'examen des fréquences des diverses valeurs d'éclats selon les observateurs (avec les données publiées par C. Flammarion) met bien en relief cette évolution partant de la classification par rattachement à des classes de "grandeur" et se terminant par la mesure d'une grandeur physique (Cf tableau). On remarque à ce propos que les classes non-entières sont

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

Figure Histl :
Histogramme des éclats (C. Flammarion)



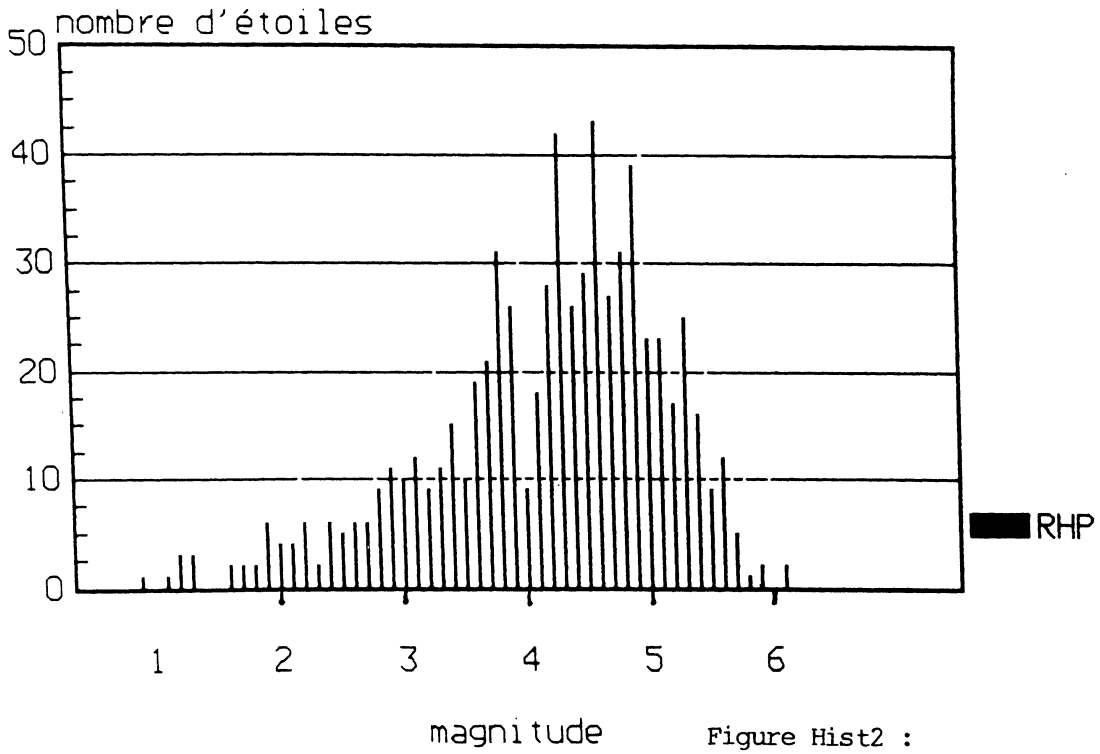


Figure Hist2 :
Histogramme des éclats (RHP)

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

sous-peuplées, et pour Camille Flammarion lui-même on constate encore une fréquence légèrement anormale des magnitudes de valeur entière. Les figures Hist1 et Hist2 montrent cet effet.

3.3.2. *les différentes analyses*

Il résulte de ce que nous venons de voir que plusieurs types de tableaux analysables par des analyses factorielles peuvent représenter nos données. Hormis les problèmes de masse et d'exhaustivité des données déjà signalés, la principale contrainte est que pour utiliser les méthodes d'analyse factorielle sans favoriser une série de mesure par rapport à une autre, il est indispensable d'employer des données homogènes, c'est-à-dire présentant un type de codage unique. Cela se révèle bien difficile, car nos premiers catalogues sont qualitatifs et les derniers quantitatifs.

Avec les données des catalogues, les analyses suivantes sont celles qui présentent le plus d'intérêt:

- analyse quantitative brute (AQuantBru)

On analyse le tableau brut des magnitudes notées par les observateurs. Afin d'éviter les effets de masse dûs à la métrique de l'AFC (importance croissante des étoiles en fonction de leur magnitude moyenne), chacune des 12 colonnes est complétée par une colonne qui contient son complément à 8 (la somme marginale de chaque ligne étant alors constante et égale à 8*12).

- analyse quantitative des écarts d'éclat (AQuantEcar)

On peut analyser directement les variations d'éclat, et non pas les valeurs brutes d'éclat. Pour que l'analyse soit possible, il faut ajouter une constante k > -min(fij), afin de transformer les valeurs négatives. Si l'on ajoute une constante assez grande, les écarts de masse entre les lignes deviendront négligeables.

Par rapport à l'analyse du tableau brut, l'intérêt de ce codage est de maximaliser la part d'inertie concernant la variation d'éclat : nous disposons de 100 % sur les variations. En fait, hormis les erreurs d'arrondis, considérer le sous espace perpendiculaire au premier axe donne le même résultat.

- analyse qualitative totale des modalités d'éclats (AQualiTot)

C'est la solution la plus exhaustive, et donc aussi la plus lourde : Le tableau est disjonctif, c'est à dire que chaque observateur se voit découpé en autant de colonnes qu'il a employé de modalités différentes pour noter les éclats (par exemple : 6 pour Tycho, 60 pour Flammarion). Pour chaque étoile, c'est à dire pour chaque ligne du tableau, une seule parmi la série de colonnes correspondant aux modalités possibles est vraie ; on la note 1 . Il y a toujours pour 12 observateurs, 12 cases valant 1 par ligne, soit une somme marginale constante, et égale à 12. Malheureusement, le nombre total de lignes est très important (de l'ordre de 200), surtout imposé par les mesures modernes, qui sont au moins au dixième de magnitude, imposant donc près de 60 modalités (celles qui ont une occurrence nulle étant supprimées) pour chacune. Or, plus nous avons de colonnes a priori non corrélées, plus nous aurons d'axes factoriels de contribution à

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

l'information significativement non nulle. Plus la dimension significative du nuage (dim) est importante, plus faible est la part d'inertie moyenne par axe (1/dim par axe) ; il en résulte que si l'on étudie le tableau disjonctif complet en dimension 200, nous avons en moyenne 0.5 % d'information par axe.

On peut éventuellement placer les modalités correspondant à un certain nombre d'observateurs en colonnes supplémentaires (par exemple les contemporains : Flammarion, RHP, Nicolet) pour réduire la dimension du problème.

- analyse qualitative des écarts aux valeurs attendues (AQualiAtt)

On peut également analyser directement "l'écart au codage attendu" : cela signifie que pour chaque étoile j, on note si l'estimation qui lui correspond dans le catalogue i prend bien la valeur attendue : ainsi pour les catalogues ne comprenant que des valeurs entières, si la magnitude est mi, on attend comme estimation E(mi+0.5). On note alors si l'estimation est juste, fausse d'une ou deux modalités par excès ou par défaut. Ce tableau est alors naturellement optimisé pour tous les codages, sauf pour les observateurs notant des valeurs continues (on peut alors considérer, comme dans le cas du codage AQualiTot, compte tenu des qualités des autres codages, qu'ils sont codés au 1/10 de magnitude).

Le tableau qui suit présente la synthèse de ces différentes méthodes :

Titre	Type	Masse	Nb.col	Problèmes
AQuantBrut	Quanti-tatif	dédoublé	2*Nb.Obs	1er axe : magnitude effet codage dominant
AQualiTot	Quali-tatif	disjonc-tif	>200	200 axes -> 0.5% d' inertie moy. par axe
AQuantEcar	Quanti-tatif	écarts négligea.	Nb.Obs	effet codage dominant
AQualiAtt	Quali-tatif	disjonc-tif	5*Nb.Obs	Interprétation délicate

Pour suivre la méthode que nous avons choisie, il nous faut effectuer plusieurs analyses, et selon les résultats trouver une stratégie de synthèse. Dans tous les cas, ces analyses se font avec des individus qui sont des étoiles et des éléments supplémentaires (lignes ou colonnes, selon que le tableau est quantitatif ou qualitatif). Elles permettront donc au mieux de signaler des étoiles extrêmes, c'est-à-dire ayant des variations "atypiques" par rapport aux catalogues. On pourra voir par ailleurs si ces étoiles "atypiques" sont corrélées à certaines modalités des indicateurs supplémentaires et rechercher ainsi les signatures révélatrices des différentes causes envisagées au paragraphe 1.2.

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

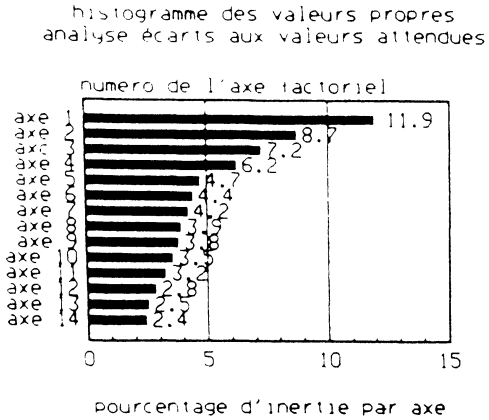


Figure ValP2 :
Histogramme des valeurs propres
de l'AQualiAtt
(Analyse Qualitative des
écarts aux valeurs attendues)

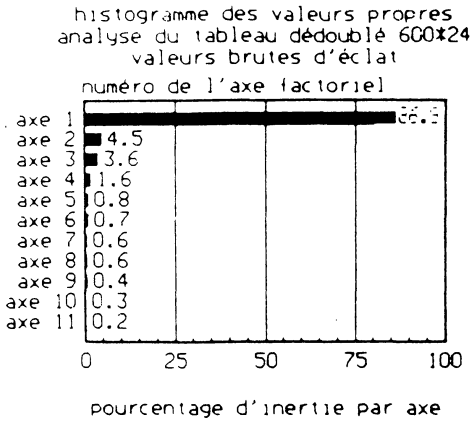


Figure ValP1 :
Histogramme des valeurs propres
de l'AQuantBrut
(Analyse Quantitative du
tableau Flammarion Brut)

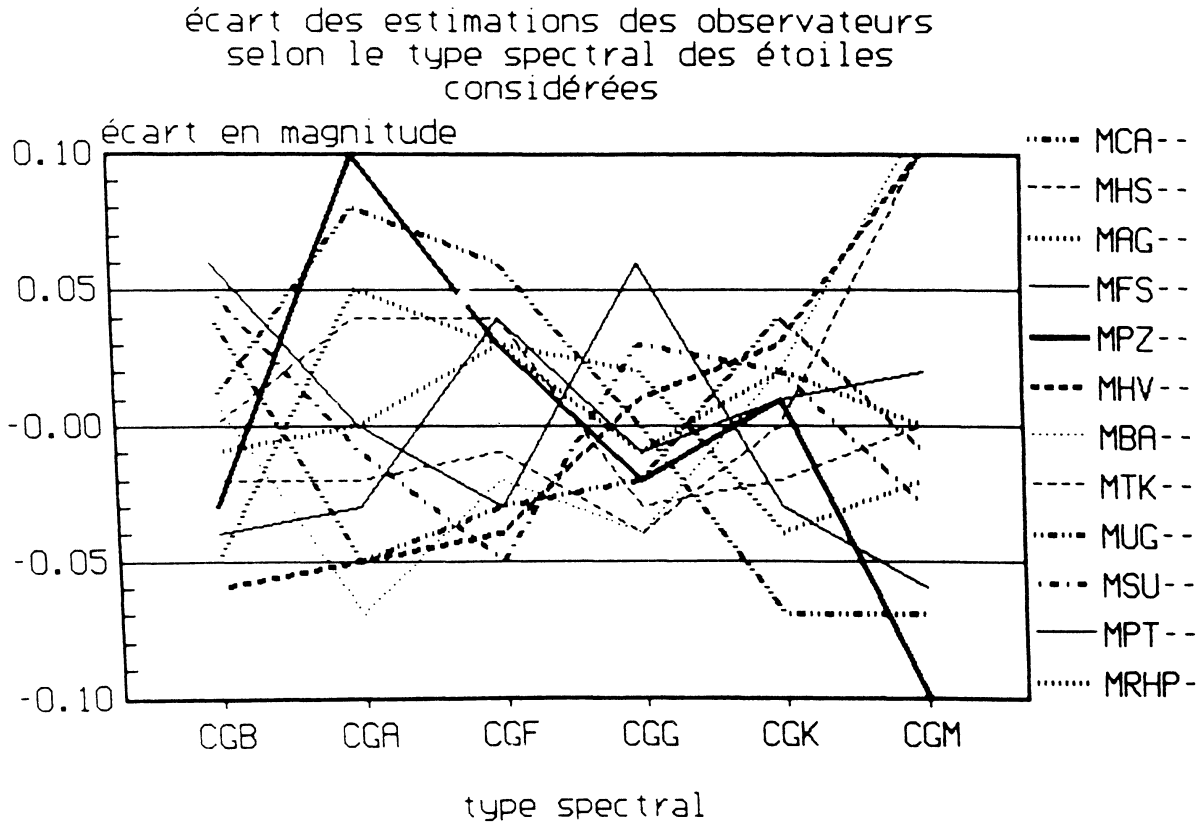


Figure Coull :
Ecart des estimations selon le type spectral

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

3.4. Les analyses dans l'espace frequentiel

Tous les tableaux que nous avons cités sont formés de colonnes qui correspondent à des dates précises et permettent comme nous l'avons vu l'analyse de coïncidences temporelles. En revanche, cette formulation des données ne permet pas de mettre en évidence des informations concernant les pseudo-périodes des éventuelles variations des étoiles.

Cette dualité entre l'événement temporel et l'analyse des fréquences n'est d'ailleurs pas spécifique à notre cas; elle se pose dans toute situation d'analyse de phénomènes qui intéressent par leur rythme ou par leur période, c'est-à-dire la plupart des phénomènes où l'origine des temps n'est pas définie. On peut citer: univers d'événements physiques à origines décorrélées (détections et analyse de comportement de particules après des chocs par exemple) ou univers d'événements à origines non précisées dans le temps, où les cycles se sont déphasés (ce problème est analogue à celui de l'analyse des speekle, pour réaliser des analyses d'images astronomiques à très haute résolution; ces conditions de circulation de l'air dans l'atmosphère terrestre, créent des images multiples décorrélées en phase entre elles; on recherche alors les fréquences spatiales présentes dans l'image.

Dans notre cas, comme dans ceux qui présentent cette difficulté, il y a nécessité pour analyser de telles situations de se doter d'outils d'analyse des spectres des lignes. Pour ce faire, il faut choisir une représentation paramétrée de ces lignes dans le temps. Elle peut être du type sinusoïdal dans le style transformée de Fourier, ou de type polynomial.

Par rapport au tableau de données directement temporelles, ce nouveau type de tableau présente un autre intérêt non négligeable. Il ouvre, dans certaines conditions à préciser la possibilité d'intégrer des catalogues incomplets, en tolérant plusieurs mesures d'étoiles à des dates non égales.

Le problème central est cet a priori du modèle. La seule information qu'il faut rajouter à celle du tableau temporel, est celle des espacements dans le temps des mesures. Chaque ligne du tableau n'est plus 12 mesures d'individus, mais 12 mesures à des périodes repérées les unes par rapport aux autres.

Le modèle qui doit être utilisé est un modèle qui élimine complètement l'information de phase, et conserve tout le reste. Un modèle général décrivant la situation de données digitalisées (avec des précisions variables) échantillonnées à des dates aléatoires assez performant pour permettre de mener des analyses factorielles constituera l'outil d'exploitation adapté au problème. Des méthodes connues, comme la transformée de Fourier [13] ou l'analyse des séries décalées [14] qui s'appliquent usuellement à des séries de mesures échantillonées régulièrement dans le temps sont à adapter pour des échantillonages aléatoires.

4. L'ETAT ACTUEL DU TRAVAIL

4.1. un jeu de données provisoires

Comme nous l'avons déjà signalé, nous n'avons pas à l'heure actuelle

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

terminé la constitution du tableau de données définitif. Afin de tester ces différentes méthodes d'analyse, nous avons constitué un jeu de données provisoires.

Du tableau de mesures publié par Flammarion, dans "les étoiles et les curiosités du ciel" nous avons extrait un sous-ensemble de 605 étoiles qualifiées ou quantifiées par les 11 observateurs historiques selon une classe, une note ou une mesure de 1 à 7. Ce tableau a été extrait du tableau total de Camille Flammarion, afin d'obtenir le maximum d'information avec le minimum de données manquantes.

On a choisi d'éliminer quatre catégories d'étoiles délicates :

- les étoiles déjà reconnues comme variables à courte période,
- les étoiles doubles ou multiples,
- les étoiles trop basses sur l'horizon,
- les étoiles non-observées par tous les observateurs, selon C. Flammarion.

De plus, pour actualiser les données, au tableau des magnitudes publiées par Flammarion, nous avons ajouté une colonne RHP (photométrie de Harvard révisée).

Avec ces données, et les paramètres supplémentaires que nous avons cités plus haut, nous avons mené des analyses tests, afin de voir l'allure des informations qui peuvent résulter de l'application des méthodes d'analyse de données. Compte tenu de leur caractère de test, nous ne donnons pas ici de compte rendu détaillé de ces analyses, mais quelques éléments indicatifs.

4.2. analyse quantitative brute

Avec ce jeu de données, nous avons d'abord analysé le tableau présentant les valeurs brutes des magnitudes. Nous avons donc dédoublé le tableau des données provisoires, pour résoudre les problèmes de masse constante de lignes déjà signalés, par un tableau contenant fi(j+12) = cte - fij, ce qui donne un tableau résultant de 600 étoiles x 24 colonnes.

Le tableau suivant donne la répartition de l'inertie sur les premiers axes (l'histogramme est donné dans la figure Vprop1), ainsi que les catalogues contribuant le plus à la création de chacun de ces axes :

n°	contr axe %	inert expli	grandeur représentée par l'axe	catalogues liés à la création de l'axe
1	86.8	86.8	magnitude moyenne	à peu près tous équivalents
2	4.5	91.5	partie fraction.	ancien <-> 16e siècle
3	3.6	94.8	partie fraction.	ancien <-> Piazzi+modernes
4	1.6	96.4	partie fraction.	Piazzi+Flamsteed <-> autres
5	0.8	97.2	partie fraction.	Piazzi <-> Flamsteed
		(...)		

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

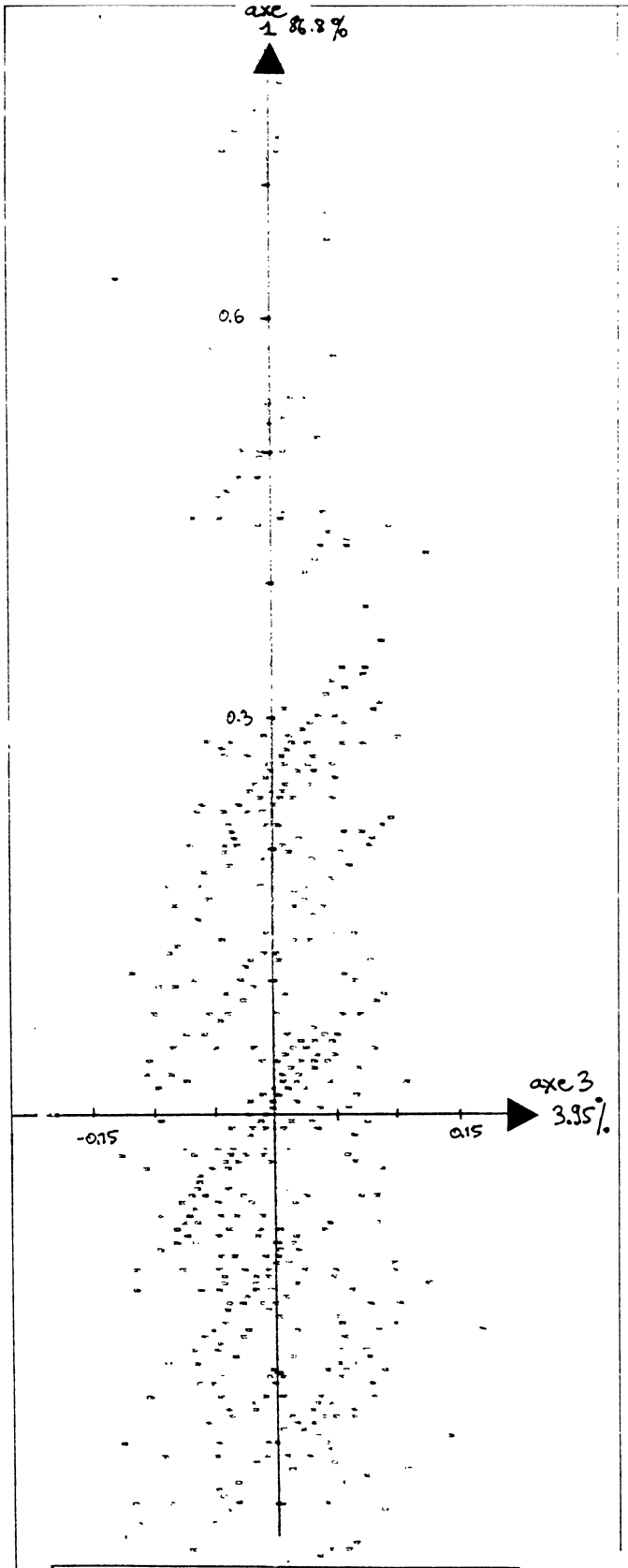


Figure AFC-2 :
Allure du Plan 1,3
de l'AQuantBrut
(Analyse Quantitative
du tableau Flammarion Brut)

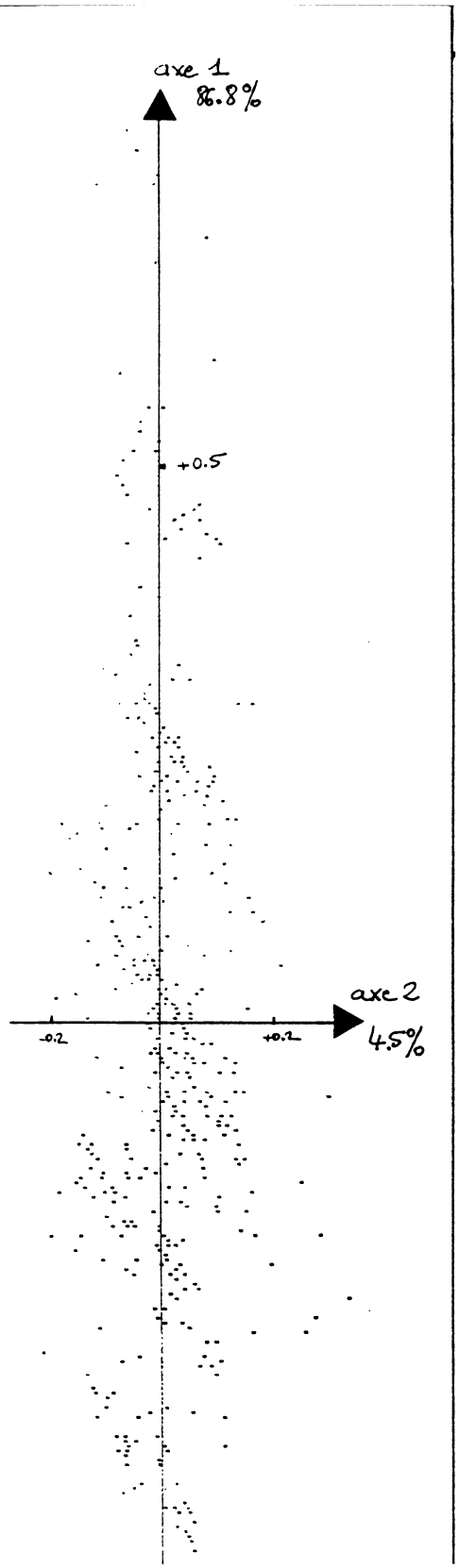


Figure AFC-1 :
Allure du Plan 1,2
de l'AQuantBrut
(Analyse Quantitative
du tableau Flammarion Brut)

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

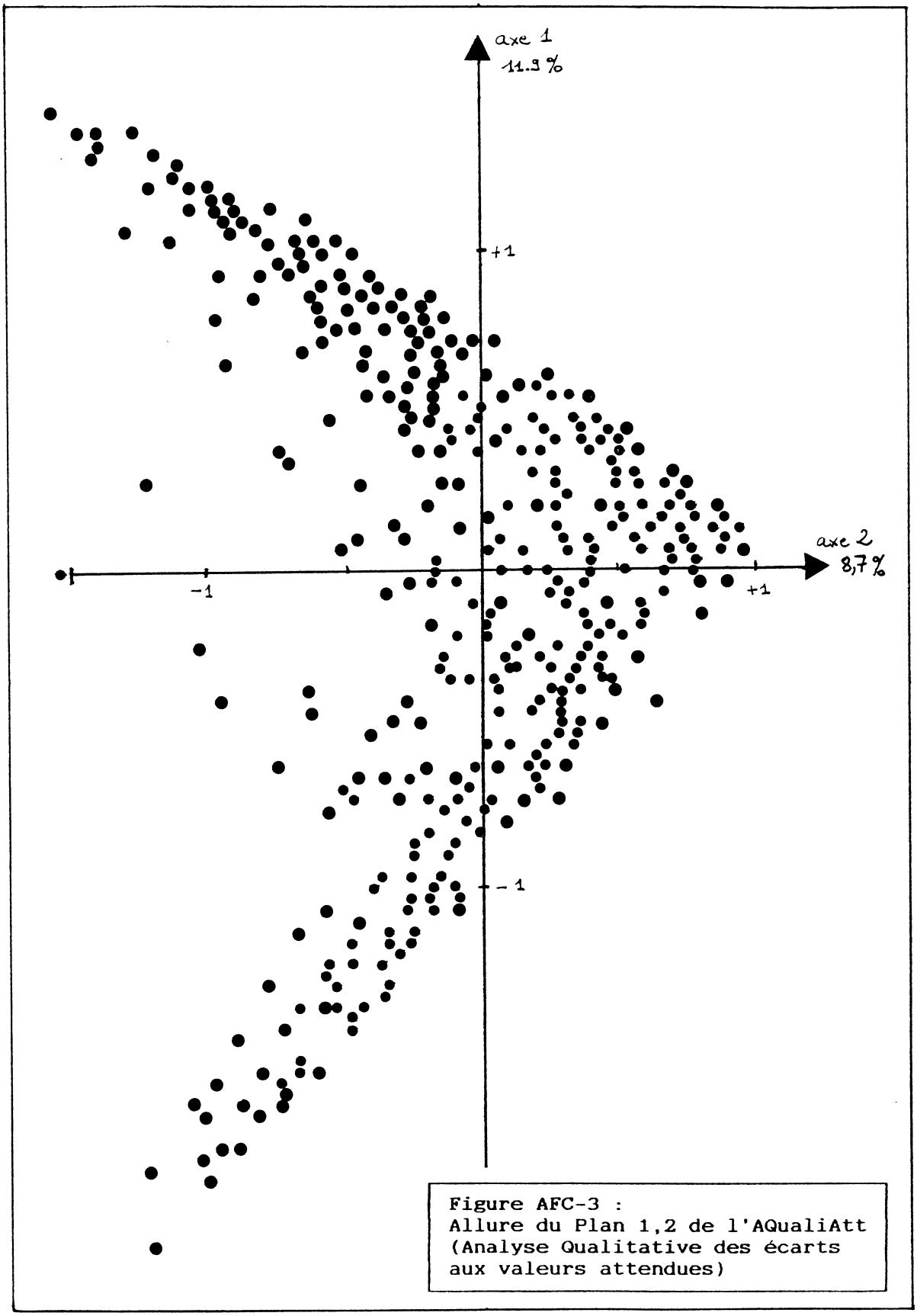


Figure AFC-3 :
Allure du Plan 1,2 de l'AQualiAtt
(Analyse Qualitative des écarts
aux valeurs attendues)

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

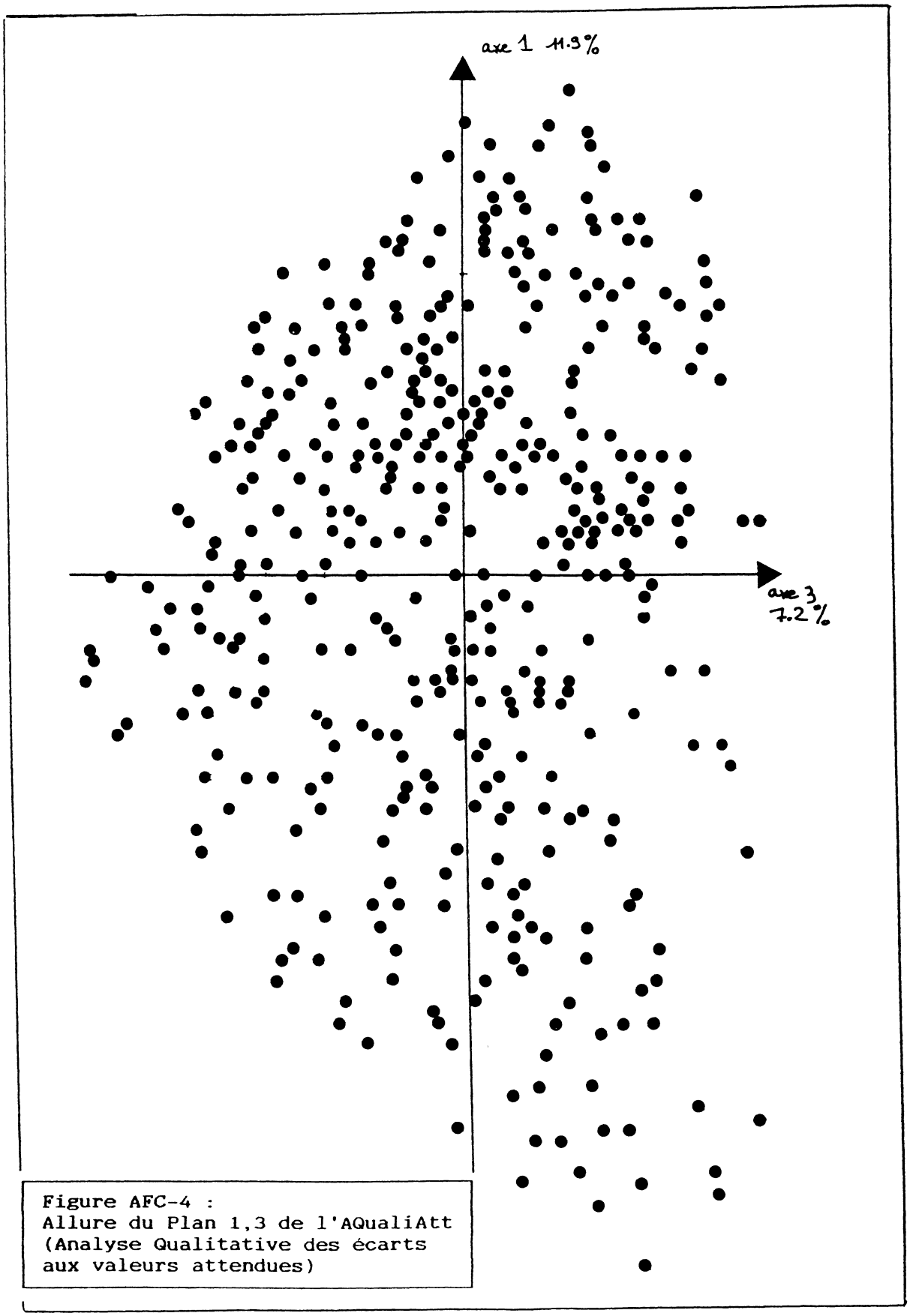


Figure AFC-4 :
Allure du Plan 1,3 de l'AQualiAtt
(Analyse Qualitative des écarts
aux valeurs attendues)

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

La partie fractionnaire, qui ressort sur les axes à partir du deuxième, est introduite par le codage en valeur entière ou demi-entière. Les figures AFC1 et AFC2 montrent l'allure des plans 1,2 et 1,3 de l'analyse, qui font apparaître des stries obliques, caractéristiques de la partie fractionnaire ou demi-fractionnaire : il s'agit d'un effet du codage dont voici le mécanisme : des valeurs entières (ou demi-entières) d'éclat ont été très majoritairement attribuées aux étoiles par nos ancêtres; il y a donc 6 valeurs entières et 6 demi-entières qui constituent l'espace possible.

Parmi la majorité des étoiles supposées fixes en éclat (à cause de la forte valeur de l'inertie du premier axe), celles qui sont admises maintenant comme ayant des magnitudes demi-entières et entières ont pu, pour la plupart, être classées sans écart entre nos observateurs. Elles sont donc très bien représentées par leur coordonnée sur le premier axe. Les autres, en revanche, sont elles d'autant plus éloignées du premier axe que leur partie fractionnaire ou demi-fractionnaire est élevée.

```
                        ^ axe 1 (magnitude moyenne)
                        |
                        |
                        |
                       2.0           2.0
                   2.1  |         2.1
                2.2     |      2.2
             2.3        |   2.3
          2.4           | 2.4           2.4
       2.5------------2.5------------2.5
    2.6           2.6  |         2.6
                2.7     |      2.7
             2.8        |   2.8
          2.9           | 2.9           2.9
-------3.0------------3.0------------3.0----------->
    3.1           3.1  |         3.1          axe (i)
                3.2     |      3.2             écarts entre
             3.3        |   3.3                observateurs
          3.4           | 3.4
       3.5------------3.5------------3.5
    3.6           3.6  |         3.6
                3.7     |      3.7
             3.8        |   3.8
          3.9           | 3.9           3.9
       4.0           4.0           4.0
    4.1           4.1  |         4.1
```

effet de stries
position possible des étoiles dans le plan 1-(i)
selon la partie fractionnaire de leur magnitude actuelle

Bien entendu en même temps, leur magnitude variant, elles sont situées plus ou moins haut sur l'axe 1. Toute la richesse de l'information est alors pour nous dans les extrémités des branches de l'arbre: il faut savoir pourquoi une étoile qui pourrait se situer plus près de l'axe sur la branche précédente ou suivante se situe plus excentrée sur sa branche, c'est-à-dire plus sur-estimée ou plus sous-estimée que ce qui ressort de l'effet du codage.

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

4.3. analyse des écarts aux codages attendus

Toujours avec notre jeu de données provisoires, nous avons analysé le tableau des écarts aux valeurs attendues. Nous avons limité la taille du tableau en ne considérant que 3 modalités pour les observateurs ayant une résolution d'une magnitude par modalité (codage par valeur entière), 5 modalités pour ceux ayant une résolution de 1/3 ou 1/2 magnitude par modalité, et 7 modalités enfin pour ceux ayant une résolution meilleure (Piazzi avec 1/4 et Flammarion avec 1/10 de magnitude par modalité).

Nous avons ainsi un tableau disjonctif de 605*55 éléments principaux. Pour cette analyse, nous donnons également un tableau montrant les toutes premières valeurs propres (où l'on voit apparaître l'effet Gutmann [12] caractéristique du tableau disjonctif).

n°	contr axe %	inert expli	modalités du côté positif de l'axe	modalités du côté négatif de l'axe
1	11.9	11.9	extrêmes positifs	modalités extrêmes négatives
2	8.7	20.6	extrêmes + et -	modalités centrales (Obs=)
3	7.2	27.8	1 modal par exces	modalités centrales
4	6.2	34.0	1 modal par defaut	toutes les autres modalités
5	4.7	38.7	extrêmes anciens	toutes les autres modalités
		(...)		

Signalons qu'il faut attendre le 27ème axe pour dépasser 90% d'inertie expliquée. Cet effet de dilution de l'information est caractéristique d'un tableau qualitatif avec beaucoup (ici 55) de colonnes principales (Rappelons qu'ici nous avons une inertie moyenne par axe qui vaut: 100/55 = 1.82 %). Les figures AFC3 et AFC4 montrent l'allure des plans 1,2 et 1,3, marqués par l'effet Gutmann.

4.4. les résultats provisoires

Cet article s'intitule "Problèmes et Méthodes". Nous n'avons pas actuellement de résultats à publier. On peut simplement rapporter à titre indicatif les éléments suivants, qui ressortent des deux analyses avec les données provisoires :

- la plus grosse partie de l'information du tableau (86.8% au sens défini par l'AFC brute du tableau dédoublé) correspond à la stabilité des étoiles;

- il y a des étoiles que l'on peut appeler "atypiques" -c'est-à-dire des étoiles qui s'éloignent, plus que ne l'expliquerait l'effet du codage, du comportement moyen. Elles forment les extrémités des stries des plans 1,2 et 1,3 de l'analyse quantitative brute et s'éloignent du centre de gravité du nuage pour l'analyse qualitative des écarts aux valeurs attendues-. Les figures Ext1 et Ext2 donnent chacune l'allure des écarts des estimations

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

d'éclats de 8 étoiles parmi les plus "atypiques", au sens de l'analyse quantitative brute.

- il n'y a pas de rupture claire entre les étoiles "atypiques" et les autres: on passe de l'une à l'autre de manière continue. On qualifie simplement d'atypiques les étoiles qui sont plus loin de l'axe 1 que ne l'explique l'effet du codage, c'est-à-dire qui ne se situent pas sur leur strie "naturelle".

- il n'y a pas de relation simple entre les caractéristiques de ces étoiles atypiques et des paramètres physiques ou d'identification simples (type spectral, indice spectral, magnitude absolue, indices de confusion, hauteur sur l'horizon).

- il n'y a pas non plus de relation simple entre les équations personnelles des observateurs et les couleurs des étoiles (la figure Couleur1 montre que les effets de couleurs sont inférieurs à + ou -0.1 magnitude), et d'une manière plus générale, au sens où nous l'avons défini au paragraphe 1.2., il n'y a pas de signatures clairement visibles qui permettraient d'incriminer une ou plusieurs causes.

4.5. les prochaines étapes

Dans l'ordre, nous allons donc effectuer les travaux suivants :

- Terminer la sélection des catalogues (anciens et modernes),
- Rendre cohérents les catalogues spécifiques (Sir W Herschell),
- Compléter le tableau avec ces nouvelles données,
- Définir rigoureusement les éléments supplémentaires qui doivent être intégrés,
- Effectuer les analyses dans l'espace temporel avec ce tableau,
- Mettre au point les méthodes d'analyse dans l'espace des fréquences,
- Effectuer l'analyse dans l'espace des fréquences.

Avec la grille des causes, il nous restera alors à interpréter les résultats des analyses. Dans le cas où l'on ne verrait pas apparaître clairement de conclusion positive, le plus délicat sera de déterminer ce qui est de l'absence de résultat (pas de conclusion possible) et ce qui est du résultat négatif (conclusion négative quant à l'hypothèse de variation par exemple). Se reposera alors le problème de la définition de tests discriminants.

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

REFERENCES

[1] L'astronomie Populaire
Camille Flammarion
Editions Flammarion, 1880, Paris
Ré-édition par J.C. Pecker, 1975

[2] Les étoiles et les curiosités du ciel
Camille Flammarion
Editions Flammarion, 1882, Paris
Ré-édition par J.C. Pecker, 1981

[3] On the Methods of observing the Changes that happen to the Fixed Stars; with some Remarks on the Stability of the light of our Sun. To which is added, a Catalogue of comparative brightness, for ascerting the Permanency of the Lustre of the Stars.
Sir William Herschell
Phil. Trans. 1796 p 166

Collected Works
Sir William Herschell
Part I : pp 530-584
Part II : pp 22-30 et pp 628-649
1781-1798

[4] Harvard Photometry
Pickering
Harv. Ann. 14, pt II p 360
1885,
Base de la photométrie dite "HP"

[5] E. Zinner
Helligkeitsverzeichnis von 2373 Sternen bis zur 5.50
Bamberg, 1926
Remeis-Sternwarte zu Bamberg

[6] Handbuch der Astrophysik
Band V : Das Sternsystem
Erster Teil
Verlag von Julius Springer
1930, Berlin
(Chapter 4: Luminosities, Colours, Diameters, Densities, Masses of the stars by Knut Lundmark-Lund)

[7] Les étoiles et les curiosités du ciel, Camille Flammarion
Commentaires de J.C. Pecker p I - XXII
Editions Flammarion
Ré-édition J.C. Pecker
1981, Paris

[8] Revised Harvard Photometry (RHP)
Pickering
Harv. Ann. Vol 50

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

[9] Nicolet
Nicolet Catalogue
A & A Supp,
34, 1, 1978

[10] Chronology of Star Catalogues
E. Knobel
Memoirs of the RAS
Vol XLIII 1877

[11] The Bright Star Catalogue (Fourth revised Edition)
containing data compiled through 1979
Dorrit Hoffleit, with the collaboration of Carlos Jaschek
Yale University Observatory
1979
Yale, New Haven, Connecticut

[12] :

Pratique de l'analyse des données
J.P. Benzecri et coll.
Tome I : analyse des correspondances
Dunod

Pratique de l'analyse des données
J.P. Benzecri et coll.
Tome II : abrégé théorique; étude de cas modèle
Dunod

Pratique de l'analyse des données
J.P. Benzecri et coll.
Tome III : langue, linguistique et lexicologie
Dunod

Histoire et préhistoire de l'analyse des données
J.P. Benzecri
Dunod

Classification automatique
Tomes I et II
M. Jambu et M.-O. Lebeaux
Dunod

[13] Fourier Analysis with Unequally-spaced data
T.J. Deeming
Astrophysics and Space Science Review, D Reidel, Holland
36 (1975) 137 - 158

[14] L'analyse des séries chronologiques décalées :
principes d'interprétation sur des cas modèles
A. Quaqazeh
Cahiers de l'Analyse des Données Paris, 1987 vol XII, n°4

Exemple de l'histoire monétaire de la France 1910-1945
J. P. Benzecri
Cahiers de l'Analyse des Données Paris, 1987 vol XII, n°3

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

[Autres sources de références]

Standard Values and Information in Data Banks
C. Jaschek
in
Calibration of Fundamental Stellar Quantities
(Proceedings of the 111th Symposium of the IAU, May 1984-
Como - Italy)
edited by Hayes - Pasinetti - Davis Philip
D. Reidel Publishing Company
1984, Dordrecht

Astronomy of Star Position
H. Eichhorn
Ungar editions
1974, New York
(Chapter 3 : General Discussion of Star Catalogues)

Landolt and Bornstein
Chapter 5.2.6.1. Helligkeits-Katalogue Catalogues of Magnitudes

L'Astronomie dans l'antiquité classique
Edité par G. Aujac et J. Soubiran
Collection d'Etudes Anciennes, Les Belles Lettres
1979, Paris

Applications of Early Astronomical Records
F.R. Stepheson et D.H. Clark
Adam Hilger Ltd, Bristol and
Oxford University Press, New York
1978

The Place of the Astronomy in the ancient World
Royal Society and British Astronomical Association
Kendall, Pigott, King Hele, Edwards
British Academy and Oxford University Press
1974,

Les sources astronomiques :
Textes, tables, instruments
Emmanuel Poulle,
1981, Brepols, Turnhout, Belgium

Analyse Factorielle : Programmation
T. Foucart
Masson

Algorithmes de classification
M. Roux
Masson

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System

1989BICDS..36...91L

TABLE DES MATIERES

page 91 Abstract

page 92 1. **LE SUJET**

page 92 1.1. L'historique de l'étude des variations séculaires
page 92 1.2. Le point de vue astronomique
page 93 1.3. Les causes des variations

page 97 2. **LES DONNEES**

page 97 2.1. Les données modernes
page 97 2.2. Les données anciennes
page 98 2.3. Les désignations des étoiles
page 98 2.4. Le codage et le concept de magnitude

page 99 3. **LES METHODES**

page 99 3.1. Premières réflexions méthodologiques

page 101 3.2. Les analyses factorielles et les classifications

page 101 3.2.1. *La place de l'a priori*
page 103 3.2.2. *L'analyse des correspondances*
page 104 3.2.3. *Les lignes et les colonnes supplémentaires*

page 105 3.3. Les analyses possibles dans l'espace temporel

page 105 3.3.1. *Les problèmes des codages*
page 107 3.3.2. *Les différentes analyses*

page 110 3.4. Les analyses dans l'espace fréquentiel

page 110 4. **L'ETAT ACTUEL DU TRAVAIL**

page 110 4.1. Un jeu de données provisoires
page 111 4.2. Analyse quantitative brute
page 116 4.3. Analyse des écarts aux codages attendus
page 116 4.4. Les résultats provisoires
page 117 4.5. Les prochaines étapes

page 118 **REFERENCES**

Centre de Données astronomiques de Strasbourg · Provided by the NASA Astrophysics Data System