

## Réduction de clichés de champs stellaires pris par télévision avec intensificateur d'image

H. Debehogne<sup>1</sup> et E. Van Hemelrijck<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Observatoire Royal de Belgique, avenue circulaire 3, B-1180 Bruxelles

<sup>2</sup> Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique, avenue circulaire 3, B-1180 Bruxelles

Reçu le 29 mars, révisé le 5 Juillet 1976

### Plate Reduction Study of Stellar Photographs Taken with a Television Camera

**Summary.** The analysis of the NO-II experiment, realised by the Belgian Institute of Space Aeronomy in September 1974 in collaboration with The Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) at the Kourou launching base in French Guyana, requires the determination of the altitude of the artificial clouds formed in the lower thermosphere.

The geographical position of the four observation sites was chosen as a function of the aims of the experiment and also of the characteristics of the different optical instruments. Two of these instruments were television cameras (focal distance: 500 mm; opening:  $f/4.5$ ), equipped with an image intensifier device and installed at Leblond and Météo. The distance between these observation sites was about 15 km.

In this paper we present the plate reduction study of static stellar pictures, taken by one of the television cameras and stored on magnetic tape during the nitric oxide release. Films of the television pictures were made in our laboratory by means of an Hasselblad camera (focal distance: 80 mm; opening:  $f/2.8$ ).

In order to obtain the best reduction results, we tested many transformation formulae which determine the relationship between the standard coordinates ( $X, Y$ ) and the measured coordinates ( $x, y$ ). In the past a similar study was also been made by the authors for instruments with various characteristics.

The obtained accuracies are very satisfactory for a first attempt of this kind in astrometry, since the arithmetic mean error on the position determination is of the order of 5 to 9" for the reference stars and 9 to 11" for the test stars.

**Key words:** television camera — plate reduction — polynomial transformations

### 1. Introduction

L'expérience NO-II consistait en le lâcher d'une quantité connue de monoxyde d'azote dans la basse thermosphère. La mesure de la chemiluminescence de la réaction  $\text{NO} + \text{O} \rightarrow \text{NO}_2 + h\nu$  permet alors la détermination de la concentration d'oxygène atomique.

Les trois charges utiles, lancées par des fusées Centaure IIC à partir du Centre Spatial Guyanais, se composaient de quatre bonbonnes de monoxyde d'azote qui s'ouvraient à des altitudes différentes entre 80 et 105 km par un système pyrotechnique. Un programmeur déterminait dans le temps la création des nuages artificiels quasi sphériques. L'observation se faisait à partir de quatre stations situées sur une base d'environ 100 km.

Les lancements des fusées ont eu lieu le 12 (2 tirs) et 13 (1 tir) septembre 1974 à partir de la base de lancement de Kourou.

Les sites d'observation comportaient essentiellement deux types d'instruments: pour la mesure de l'intensité lumineuse et pour la détermination de la position des nuages artificiels.

A cette occasion, l'équipement classique, mis en place lors de précédentes expériences, s'enrichissait de deux caméras de télévision avec intensificateur d'image. Il s'imposait d'utiliser celles-ci au mieux, c'est-à-dire non seulement pour observer l'évolution des formes et densités des nuages artificiels, but principal de leur mise en service, mais aussi pour des déterminations de magnitude et, si possible, de positions et de déplacements dont se déduisent les vitesses des vents régnant à l'altitude d'éjection des nuages.

Les caméras de triangulation IAS (500 mm,  $f/5$ ) et les caméras Gianini (76 mm,  $f/0.87$ ) pouvaient servir à elles seules pour calculer les altitudes et les vitesses des vents. Mais leur présence offrait aussi une possibilité de contrôle, par comparaison, des réductions de clichés ayant comme support des enregistrements de champs stellaires sur bandes magnétiques au moyen de caméras de télévision. Nul doute que la généralisation de

*Les commandes des tirés à part sont à envoyer à: H. Debehogne*

l'application des méthodes électroniques à l'astrométrie photographique classique se fasse attendre. Néanmoins, un premier pas pouvait et devait être fait. Une certaine crainte marqua le début des recherches du fait d'un manque total d'expériences du même genre, du moins à notre connaissance et à ce stade de précision. Les résultats en étant très encourageants du point de vue précision, il valait la peine de les publier.

## 2. Caractéristiques des instruments d'observation, de mesure et de calcul

Les caméras TV, équipées d'un objectif à miroir Zeiss Yena, de 500 mm de distance focale et ouvert à  $f/4.5$ , qui forme l'image des nuages et des étoiles sur la photocathode de l'intensificateur d'image sont de marque Westinghouse. La première, du type S IV 614, possède un détecteur SEC WL-30691 avec une photocathode S 20 couplé par fibres optiques à un intensificateur d'image WL 30677; la seconde, du type TEM 801E, possède le même intensificateur, mais son détecteur type WX-31792 EBS également avec une photocathode S 20, lui donne une sensibilité deux fois et demi plus élevée.

La résolution de ces deux caméras est de 625 lignes et le champ de visée vaut  $5^\circ$ . La cadence de prise de vue est de 50 images par seconde. Les résultats de ce travail se rapportent à la caméra la plus sensible, installée à Météo.

La caméra Hasselblad (servant à photographier l'écran de télévision) est un appareil photographique électrique dont l'objectif Zeiss de 80 mm de focale, ouvert à  $f/2.8$ , et le format (70 mm) du film utilisé donnent un champ de  $52^\circ$ . Le déroulement automatique du film se commande par impulsions électriques.

Les mesures  $x, y$  sur le film de la caméra Hasselblad, effectuées au moyen de l'Ascorecord Zeiss de l'O.R.B. (enregistrement automatique en  $0.1 \mu$ , échelle:  $1 \mu \approx 1''$ ) couvrent  $1,8 \text{ cm} \times 1,1 \text{ cm}$  ( $5^\circ \times 3^\circ$  de la caméra TV). La précision finale dépend de l'ensemble TEM 801 E et caméra Hasselblad; dimension moyenne des étoiles ( $m=8$  à  $10$ ):  $100 \mu$ , dimension des étoiles les plus brillantes ( $m=6$ ):  $200 \mu$ .

Les calculs afférents à ces recherches ont été faits sur IBM 360/44 et 1800.

## 3. Formules

Le principe général de la méthode de calcul a déjà été expliqué par Debehogne et Van Hemelrijck (1974a). Ici nous donnons seulement les relations qui ont fait l'objet de nos recherches et ont conduit aux résultats exposés plus loin.

### 3.1. Formules de passage des coordonnées équatoriales $\alpha, \delta$ aux coordonnées standard $X, Y$ (Smart, 1960)

$$X = \cos \delta \sin(\alpha - \alpha_0)/A \quad (1)$$

$$Y = [\sin \delta \cos \delta_0 - \cos \delta \sin \delta_0 \cos(\alpha - \alpha_0)]/A \quad (2)$$

avec:  $A = \sin \delta \sin \delta_0 + \cos \delta \cos \delta_0 \cos(\alpha - \alpha_0)$

$\alpha$  et  $\delta$  étant l'ascension droite et la déclinaison de l'étoile considérée,  $\alpha_0$  et  $\delta_0$  les coordonnées du centre du référentiel.

### 3.2. Formules inverses

$$\text{tg}(\alpha - \alpha_0) = X/B \quad (3)$$

$$\text{tg} \delta = \cos(\alpha - \alpha_0) (\sin \delta_0 + Y \cos \delta_0)/B \quad (4)$$

avec:  $B = \cos \delta_0 - Y \sin \delta_0$ .

### 3.3. Expression générale des formules polynômiales de transformation des coordonnées mesurées $x, y$ en coordonnées standard $X, Y$

$$X = \sum_{i+j=k=0}^n a_{ij} x^i y^j, \quad (5)$$

$$Y = \sum_{i+j=k=0}^n b_{ij} x^i y^j, \quad (6)$$

$n$  entier positif,  $i$  et  $j$  entiers, positifs ou nuls, tels que  $i+j=k \leq n$  où  $j$  croît et  $i$  décroît; les constantes du cliché  $a_{ij}, b_{ij}$  peuvent être nuls, égaux ou vérifier des relations de liaison. Si  $n=1$ , on a les équations de Turner (Rizvanov, 1975).

### 3.4. Formules de la distorsion à 6 constantes indépendantes du 3ème degré

$$X = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{20}x^2 + a_{11}xy + a_{30}x(x^2 + y^2) \quad (7)$$

$$Y = b_{00} + b_{10}x + b_{01}y + b_{11}xy + b_{02}y^2 + b_{21}y(x^2 + y^2). \quad (8)$$

### 3.5. Formules de la distorsion à 7 constantes indépendantes du 5ème degré

$$X = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{20}x^2 + a_{11}xy + a_{30}x(x^2 + y^2) + a_{50}x(x^2 + y^2)^2 \quad (9)$$

$$Y = b_{00} + b_{10}x + b_{01}y + b_{11}xy + b_{02}y^2 + b_{21}y(x^2 + y^2) + b_{41}y(x^2 + y^2)^2. \quad (10)$$

### 3.6. Formules de colinéation (Kisselev, 1970)

$$X = (a_{00} + a_{10}x + a_{01}y)/C \quad (11)$$

$$Y = (b_{00} + b_{10}x + b_{01}y)/C \quad (12)$$

avec:  $C = 1 + px + qy$

écrites aussi:  $X = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y - pxX - qyY$

$$Y = b_{00} + b_{10}x + b_{01}y - pxY - qyY.$$

Inutilisable en cas de distorsion importante (Debehogne, 1970a).

### 3.7. Représentation conventionnelle des formules de transformation polynômiales (5) et (6)

En général, si le degré maximum des polynômes  $X$ ,  $Y$  vaut  $n$ , si  $K$  et  $L$  sont les nombres des termes omis dans ces polynômes et si  $n_{xk}$ ,  $n_{yl}$  représentent les numéros d'ordre de ces termes, la formule de transformation sera désignée par: (Debehogne et Van Hemelrijck, 1974b)

$$(n; K, L; n_{x1}, \dots, n_{xk}, \dots, n_{xK}; n_{y1}, \dots, n_{yl}, \dots, n_{yL}). \quad (13)$$

La représentation des polynômes complets (où aucun terme pour  $X$  et  $Y$  n'est omis, soient  $K=L=0$ ) se fait par  $(n; 0, 0)$   $n$  étant le degré du polynôme et non simplement par  $(n)$  pour éviter de confondre avec les équations ou les formules de notre texte.

## 4. Résultats

### 4.1. Étoiles-tests et étoiles de base

Des étoiles-tests ont été utilisées comme dans les recherches précédentes de façon à ne pas se limiter à l'erreur interne obtenue par les résidus sur les étoiles de base (référence) (Debehogne, 1970b; Debehogne et Van Hemelrijck, 1974a).

Le référentiel comporte de 10 à 20 étoiles de base.

### 4.2. Graphiques

Les résultats portés en graphiques (fig. 1, 2 et 3) concernent l'enregistrement du premier tir (12 septembre 1974) par la caméra de télévision située à Météo.

Les réductions ont été effectuées par les expressions (5) et (6), [représentation des formules du 3e degré choisies et comportant 10 termes: (3; 0, 0)], par les formules de la distorsion à 6 et à 7 constantes indépendantes du 3e et 5e degré et finalement par les formules de colinéation.

La transformation polynômiale (3; 0, 0) (Barlier, 1970) donne les résultats les meilleurs: de l'ordre de  $10''$  en  $\alpha$  et  $\delta$  (fig. 1) ce qui rejoint les conclusions antérieures de Muller et Barlier (1960).

Pour les autres formules, il faut distinguer l'ascension droite  $\alpha$  de la déclinaison  $\delta$ :

en  $\alpha$ , la méthode de colinéation se révèle meilleure que la méthode à 6 constantes et surtout 7 constantes mais bien moins bonne que (3; 0, 0) (fig. 2).

en  $\delta$ , (7), (8), (9) et (10) fournissent au mieux des résidus de  $15''$  environ; les résidus dans (11) et (12) sont plus élevés (fig. 3).

L'axe des ascensions droites s'oriente approximativement suivant une ligne horizontale de l'écran de télévision. En analysant, sur les figures (2) et (3), les graphiques des résidus en  $\alpha$  et  $\delta$  obtenus par la formule (3; 0, 0) et par celle de colinéation, on constate l'existence d'une distorsion importante et davantage en  $\delta$  qu'en  $\alpha$ . En  $\delta$  (fig. 3), comme cette distorsion est résorbée par les formules de la distorsion à 6 et 7 constantes, elle est

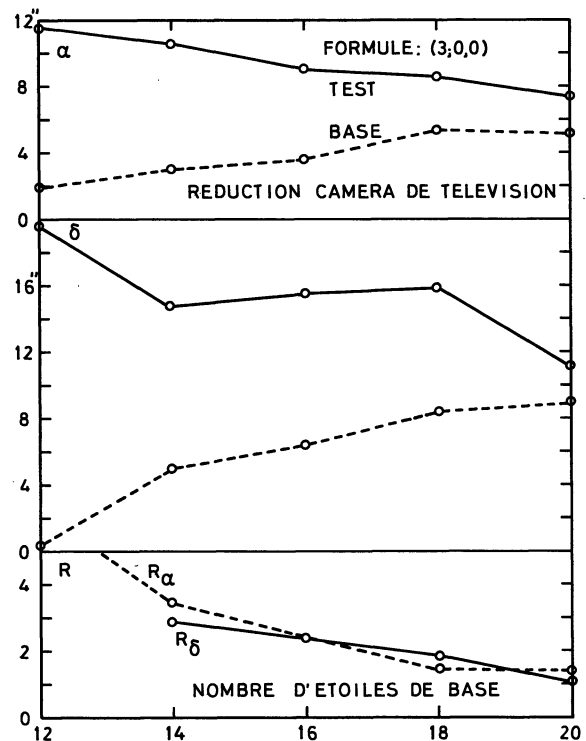


Fig. 1. Etude cliché caméra de télévision,  $f = 500$  mm, champ  $\sim 5^\circ$ . Formule testée: (3; 0, 0)

$$X = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{20}x^2 + a_{11}xy + a_{02}y^2 + a_{30}x^3 + a_{21}x^2y + a_{12}xy^2 + a_{03}y^3$$

$$Y = b_{00} + b_{10}x + b_{01}y + b_{20}x^2 + b_{11}xy + b_{02}y^2 + b_{30}x^3 + b_{21}x^2y + b_{12}xy^2 + b_{03}y^3$$

Cliché testé: Météo (1r tir, 12 septembre 1974). En abscisse: nombre d'étoiles de base: 12, 14, 16, 18 et 20. En ordonnées: moyennes arithmétiques des résidus sur les étoiles de base et de test, en  $\alpha$  et  $\delta$ ; rapports  $R_\alpha$  et  $R_\delta$  des moyennes obtenues en  $\alpha$  et  $\delta$ , sur les étoiles-tests aux moyennes obtenues sur les étoiles de base

du type radial. En  $\alpha$ , (fig. 2) les formules de la distorsion radiale étant inopérantes, la distorsion est surtout tangentielle. Si la formule de la colinéation donne de meilleurs résultats (fig. 2), cela est dû au fait que, dans cette formule, les équations en  $X$  et en  $Y$  sont traitées ensemble et non séparément comme dans les autres formules, chaque étoile de base donnant deux équations de condition, au lieu d'une dans les formules (5), (6), (7), (8), (9) et (10). Pour une semblable raison (rapport plus favorable du nombre d'équations de condition au nombre d'inconnues), les formules (7) et (8) donnent des résultats meilleurs que les formules (9) et (10), si les termes du 5e degré sont superflus pour résorber la distorsion.

Ces phénomènes sont probablement dus à un réglage de l'image de la télévision meilleur suivant les lignes verticales, ce réglage ayant été fait par comparaison avec les cartes de la SAO (Smithsonian

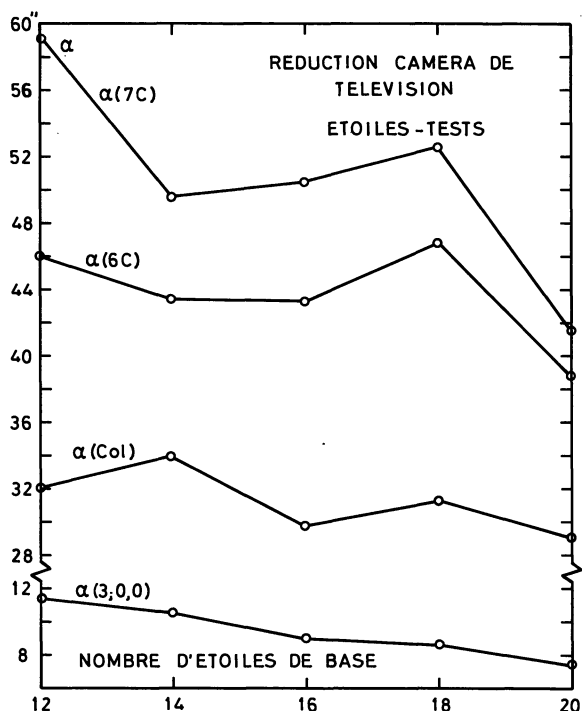


Fig. 2. Etude cliché caméra de télévision,  $f=500$  mm, champ  $\sim 5^\circ$ . Formules testées: (3; 0, 0), les formules de la distorsion à 6 et 7 constantes indépendantes du 3e et 5e degré et la formule de colinéation. Cliché testé: Météo (1r tir, 12 septembre 1974). En abscisse: nombre d'étoiles de base: 12, 14, 16, 18 et 20. En ordonnée: moyennes arithmétiques des résidus sur les étoiles-tests en  $\alpha$

Astrophysical Observatory) et dans des conditions suffisamment satisfaisantes, étant donné les résultats obtenus avec la formule (3; 0, 0).

## 5. Conclusions

La caméra de télévision avec intensificateur d'image présente, par rapport aux instruments de petites distances focales ( $\leq 500$  mm) l'avantage que le champ stellaire est plus riche (magnitude limite possible supérieure à 13) d'où plus grand choix d'étoiles de base (référence). Du fait que l'on peut stocker les images sur bandes magnétiques, on dispose d'une source d'information pratiquement inépuisable puisque la cadence des prises de vue de la caméra est de 50 images par seconde.

Une précision de l'ordre de grandeur de  $10''$ , tant sur l'ascension droite que sur la déclinaison se révèle très satisfaisante, particulièrement pour calculer l'altitude des nuages artificiels (Lloyd, 1971; Smith, 1963). Par comparaison, signalons qu'avec la caméra de triangulation IAS et la caméra Gianini, on obtient

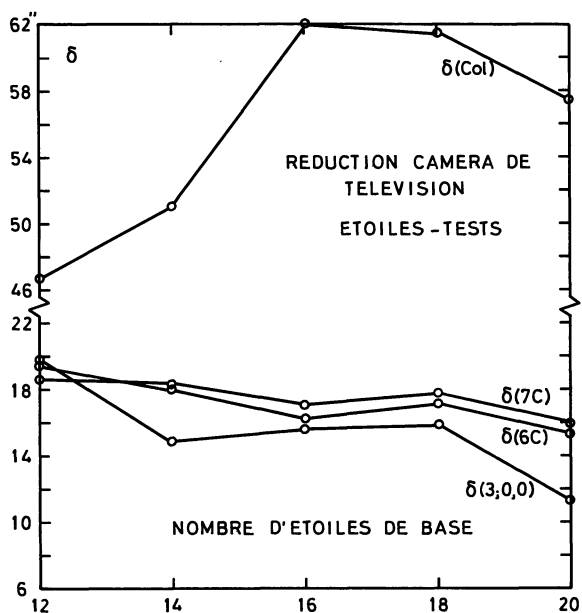


Fig. 3. Etude cliché caméra de télévision,  $f=500$  mm, champ  $\sim 5^\circ$ . Formules testées: (3; 0, 0), les formules de la distorsion à 6 et 7 constantes indépendantes du 3e et 5e degré et la formule de colinéation. Cliché testé: Météo (1r tir, 12 septembre 1974). En abscisse: nombre d'étoiles de base: 12, 14, 16, 18 et 20. En ordonnée: moyennes arithmétiques des résidus sur les étoiles-tests en  $\delta$

comme précision la plus favorable, respectivement  $0,8''$  et environ  $10''$ .

La formule de transformation polynômiale du 3e degré donne de loin les meilleurs résultats. Il n'est pas exclu qu'avec un réglage de l'image de la caméra de télévision plus élaboré les formules de la distorsion à 6 ou 7 constantes donneraient aussi de bons résultats.

*Remerciements.* Nous tenons à remercier C. Lippens et S. Schadeck pour les conseils et l'aide reçue lors de la prise de vue des clichés en laboratoire.

## Bibliographie

- Barlier, F.: 1970, *COSPAR Transactions* 7, 217  
 Debehogne, H.: 1970a, *Astron. Astrophys.* 8, 189  
 Debehogne, H.: 1970b, *COSPAR Transactions* 7, 107  
 Debehogne, H., Van Hemelrijck, E.: 1974a, *Acta Astron.* 24, 309  
 Debehogne, H., Van Hemelrijck, E.: 1974b, *Astron. Astrophys.* 36, 317  
 Kisselev, A. A.: 1970, *COSPAR Transactions* 7, 53  
 Lloyd, K. H.: 1971, *WRE-Technical Note-72 (WR & D)*  
 Muller, P., Barlier, F.: 1960, *Compt. Rend. Acad. Sci. Paris* 251, 2886  
 Rizvanov, N. G., Ourassine, L. A.: 1975, *Ann. Observ. Alger*, IV, 2, 11  
 Smart, W. M.: 1960, *Text-book on spherical Astronomy*, Univ. Press, Cambridge  
 Smith, F. J.: 1963, *Planetary Space Sci.* 11, 1311