

# Traitement d'images et enseignement de l'astronomie

J. Vétois

CAI (MAMA) Observatoire de Paris

Les logiciels de visualisation et d'analyse d'images sont d'utilisation courante dans les laboratoires d'astronomie. La puissance de calcul des micros est aujourd'hui telle qu'elle permet souvent le fonctionnement de logiciels qui offrent des fonctions similaires à celles des logiciels scientifiques et qui deviennent disponibles pour l'enseignement tant dans les lycées que dans les universités. Il existe maintenant dans le Domaine Public des adaptations pour micro-ordinateur des logiciels utilisés en astronomie.

MacVisual est issu des travaux menés dans le cadre du CAI ( Centre d'Analyse des Images) qui assure le développement et le fonctionnement de la MAMA (Machine Automatique à Mesurer pour l'Astronomie)<sup>1</sup>, instrument conçu et mis en oeuvre par l'Institut National des Sciences de l'Univers pour l'exploitation informatisée des clichés astronomiques. La généralisation des stations de travail a nécessité la création de logiciels de visualisation des images numérisées par la MAMA dans les environnements standards sur ces machines Unix et X-Window:

- Visual comme application autonome lisant des fichiers images enregistrés sur disque
- AcqVisual intégré dans la chaîne des traitements de la MAMA par l'intermédiaire d'un réseau Ethernet

MacVisual est né de l'adaptation de ces logiciels à l'interface du Mac.

## La MAMA

Les plaques photographiques sont encore largement utilisées en astronomie car elles donnent accès à de larges zones du ciel et permettent par analyse des clichés anciens d'étudier les mouvements et les variations d'éclat des objets.

Aujourd'hui ce dépouillement des clichés est automatisé et des microdensitomètres ont été construits dans de nombreux pays (notamment en Angleterre, aux USA et en France). La MAMA est un des plus performants actuellement tant du point de vue rapidité que précision. Le principe de base est la lecture en transparence de plaques ou de films photographiques posés sur une table horizontale mobile selon deux axes ( voir figure 1). Une lampe munie d'un filtre monochromatique éclaire le cliché par en dessous et une optique lit le signal grâce à un détecteur Reticon multivoie de 1024 photodiodes. Avec un tel système, 1024 pixels sont lus simultanément et cet ensemble autorise l'analyse en quelques heures avec un pas de 10 microns d'un cliché de 35 centimètres de côté. La qualité mécanique de la table lui permet de faire des mesures extrêmement précises: meilleures que 1 micron en précision absolue et 0.2 microns en répétitivité géométrique<sup>2</sup>. La MAMA permet également malgré sa vitesse de traitement de faire de la photométrie photographique avec une bonne précision:le détecteur fournit une mesure du flux lumineux avec une erreur absolue de 2 %.

L'analyse des clichés à l'aide de la MAMA a déjà permis d'obtenir de nombreuses informations scientifiques. En astronomie, citons en vrac l'étude de la chromosphère du soleil, la détermination des trajectoires des satellites des planètes géantes (Jupiter, Saturne....), celle des mouvements propres des étoiles grâce à l'analyse comparative de clichés pris à des époques différentes, la détection de candidats quasars et l'étude des contre-parties optiques de sources détectées dans le domaine radio, X ou dans l'infra-rouge. Sur terre, la comparaison de photographies aériennes ou prises par le satellite Spot a mis en évidence l'évolution du littoral et de la couverture végétale ( Pointe d'Arçay en Vendée, Baie du Mont-Saint-Michel).

---

<sup>1</sup>Photographic Astronomy with MAMA

J. Guibert et O. Moreau

1991, The Messenger, 64, 69

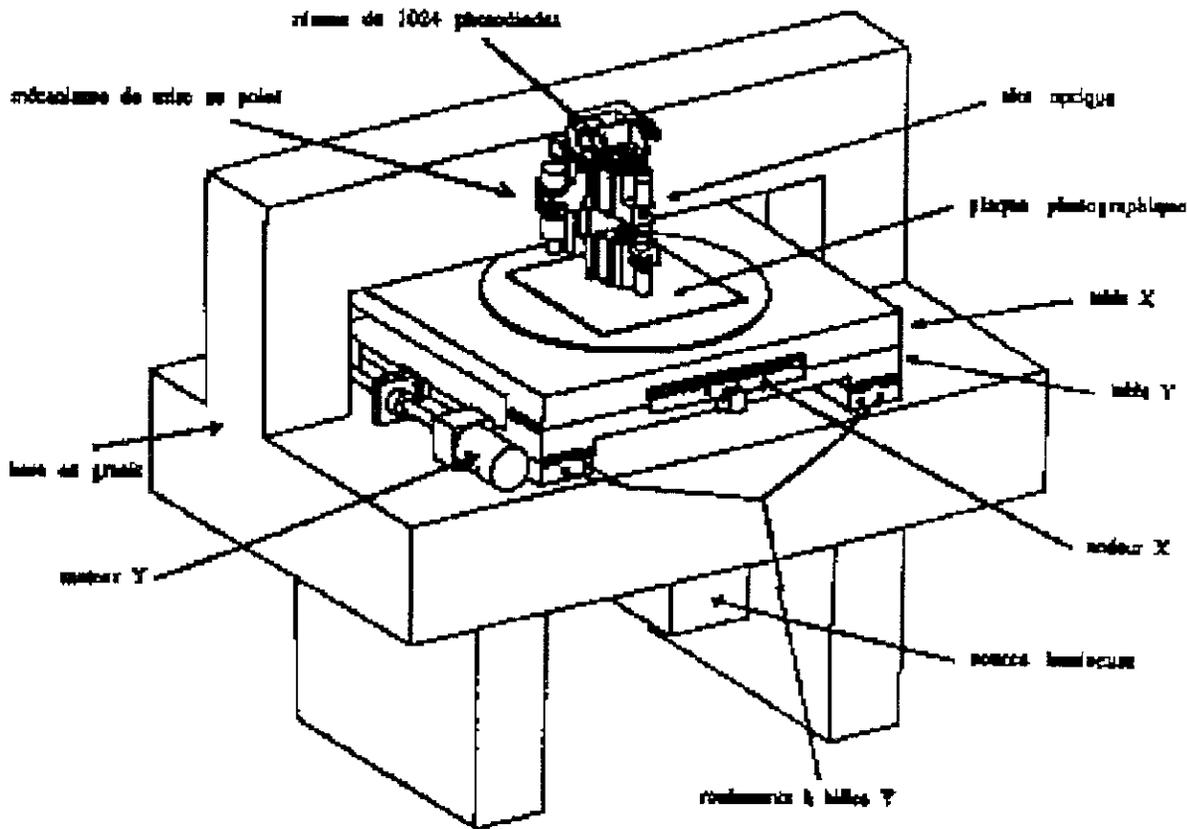


Figure 1

## La visualisation d'images avec MacVisual

MacVisual est un programme de visualisation d'images (en niveaux de gris). Il accepte les fichiers image sous un format quasi-standard en astronomie: FITS ainsi que sous les formats du monde Mac: PICT et TIFF. On peut lire également des images dans des formats différents en fournissant interactivement un certain nombre de paramètres de l'image (nombre de lignes, de colonnes, longueur de l'entête ...). Les images sont affichées avec 256 couleurs paramétrables par l'utilisateur. L'échelle des niveaux de gris est comprise entre 0 et 65536 pour les images 16 bits et entre 0 et 255 pour les images 8 bits.

L'interface de MacVisual ne surprendra pas un familier de l'univers Mac. Une documentation est accessible en ligne ( menu Aide sous Fichier) et explique le rôle des différents menus. Une fenêtre "Messages" affiche les commentaires de MacVisual aux actions entreprises par l'utilisateur (figure 2). Ces messages sont conservés dans un fichier "mouchard" de telle façon que l'utilisateur puisse conserver une trace de son travail.

MacVisual adapte l'image aux dimensions de l'écran et permet de faire des zooms de l'image entière (si cela est possible) ou de zones de l'image sélectionnées par l'utilisateur (voir figure 2 une vue d'un amas de galaxies dans la constellation de Coma). Celui-ci peut également modifier les dimensions des fenêtres et des vues en cliquant dans les cases de zoom ou de contrôle de taille de celles-ci. Les différentes vues ainsi obtenues sont gérées par une pile et à un instant donné, seule la dernière vue, au sommet de cette pile est accessible. Cliquer dans une fenêtre ramène celle-ci au sommet de la pile et la rend disponible.

Des fenêtres peuvent être effacées, soit par menu, soit en cliquant dans la case de fermeture de celles-ci. Trois tables de couleurs sont directement utilisables: une dite "Standard" correspond aux "fausses couleurs" utilisées ordinairement à la MAMA pour afficher les images, une dite "Noir et Blanc" permet de retrouver l'aspect des clichés astronomiques et enfin "Palette Système " est la palette par défaut des Macs avec moniteur 256 couleurs. L'utilisateur peut également modifier interactivement les tables de couleurs, enregistrer celles-ci sous forme de fichiers binaires et les rappeler suivant ses besoins.

Quelques tables sont fournies avec MacVisual dans le répertoire "Palettes".

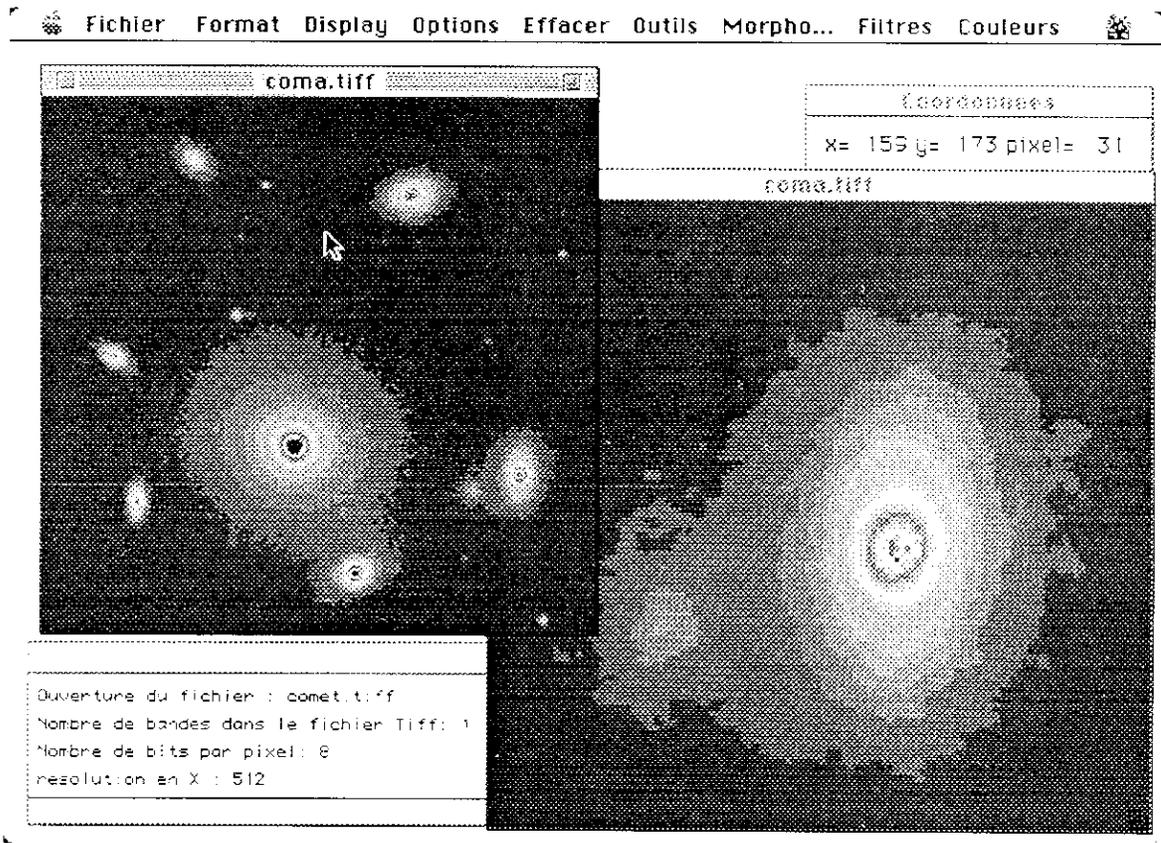


Figure 2

## Analyse et traitement d'images

MacVisual fournit un certain nombre d'outils facilitant l'analyse des images. Une fonction "Pointer" permet d'enregistrer les coordonnées et la valeur de chaque pixel cliqué par l'utilisateur dans un fichier éditable. On peut également calculer la moyenne et l'écart-type d'une zone de l'image choisie interactivement et la stocker également dans un fichier. Ces fonctions sont très utilisées en astronomie (pointés des objets, calcul du "fond de ciel" moyen ou mesure des plages de calibration des plaques photographiques). MacVisual affiche à la demande l'histogramme de l'image entière ou de certaines zones de celle-ci. De même, le profil d'une ligne de l'image ou la coupe d'un objet selon un axe quelconque sont immédiats. L'affichage en 3D d'une zone de l'image en dépit d'un temps d'exécution assez long sur Mac peut s'avérer utile dans certains cas.

MacVisual n'est pas un logiciel complet de traitement d'images qui demande une puissance de calcul sans commune mesure avec celle d'un Mac. Il offre néanmoins une palette d'outils qui ne se limitent pas à ceux utilisés couramment en astronomie:

- seuillage de l'image
- transformation d'une image en niveaux de gris en image binaire
- filtrage de l'image (Egalisation d'histogramme, filtre de la moyenne, filtre de la médiane)<sup>3</sup>.
- opérateurs classiques de convolution ( gradient, laplacien, de Gauss ....)
- opérateurs morphologiques ( érosion, dilatation, ouverture, fermeture)<sup>4</sup>.

Pour les images astronomiques, MacVisual fournit deux outils de base:

- calcul du "fond de l'image" et soustraction de celui-ci.

<sup>2</sup> Traitement de l'image sur micro-ordinateur

J.J. Toumazet

<sup>3</sup> Précis d'analyse d'images

M. Coster et J.L. Chermant

- calcul de certains paramètres des objets contenus dans l'image:  
aire ( en nombre de pixels), flux, boîte d'encadrement , coordonnées du centre de gravité ,  
coordonnées du centre d'inertie ,  
valeur et coordonnées d'un pixel de valeur maximale et paramètres de  
l'ellipse de dispersion des valeurs des pixels de l'objet ( a, b, excentricité, orientation en  
degrés).

L'utilisateur doit fournir le niveau de seuillage et l'aire minimale des objets à retenir. Ces paramètres sont enregistrés dans un fichier dont le nom est fourni par l'utilisateur. Une carte des objets du champ peut-être tracée.

## Deux exemples

-Etude de Saturne à partir d'un cliché CCD<sup>4</sup>

La figure 3 montre comment une coupe de l'image permet de déterminer approximativement la distance des anneaux visibles à partir d'un cliché fourni par un télescope d'amateur.

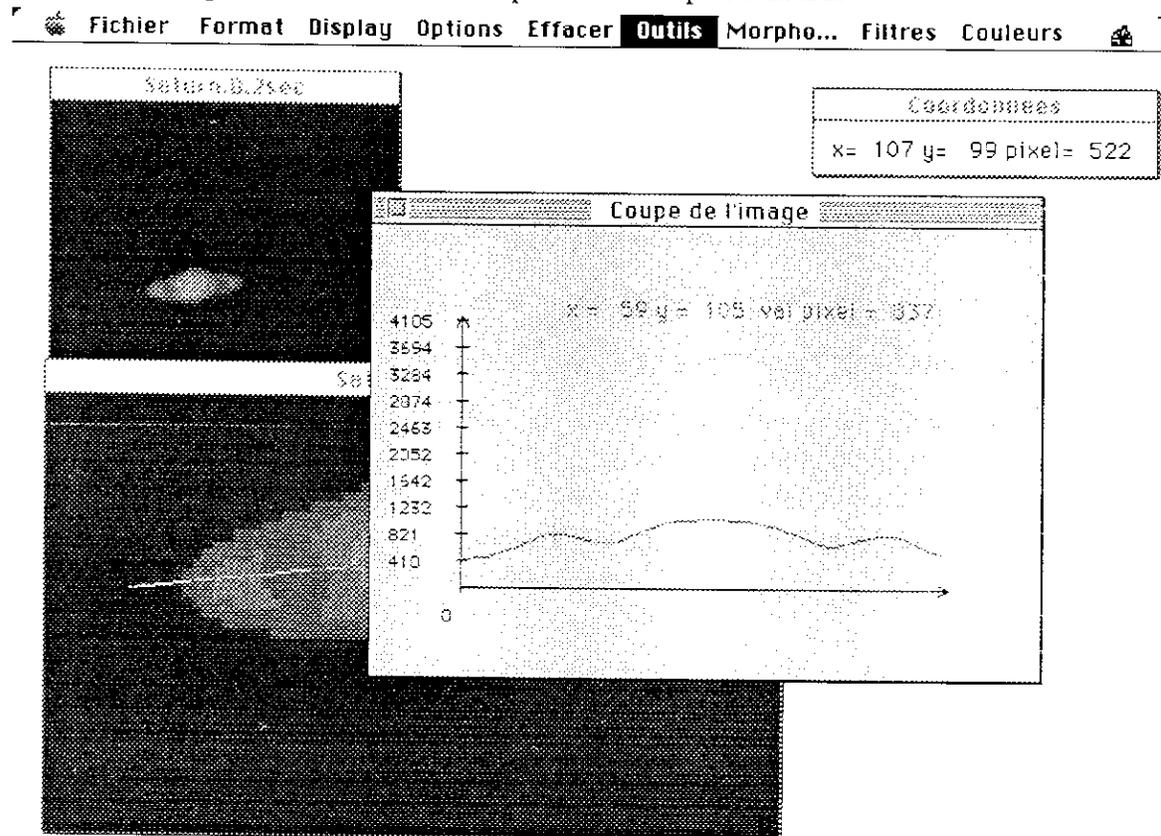


Figure 3

-Etude d'une image CCD du champ des Hyades<sup>4</sup>

La première étape consiste à calculer le "fond de ciel" du cliché et à le retrancher puis à rechercher les objets en fixant un seuil au dessus de ce fond. MacVisual fournit le flux ( somme des valeurs des pixels de l'objet) et les coordonnées du centre d'inertie et la carte des objets (figure 4).

Grâce à une carte du champ extraite d'un atlas du ciel, on essaie de retrouver dans la liste des objets fournis par MacVisual les étoiles les plus brillantes des Hyades ( $\alpha$  Tauri ....) dont la magnitude et les coordonnées équatoriales sont connues avec précision. Les résultats de cette recherche sont rassemblés dans le tableau ci-dessous:

<sup>4</sup> accompagnant le logiciel MIRA (Macintosh Image Reduction and Analysis) réalisé par Tim DeBenedictis

N°	Nom	mag	Flux	log Flux	xg	yg	α	δ
2		5.06	2044	3.311	53	31	3h48.3	11°08
3	λ Tauri	3.41	12076	4.082	139	70	4h00.7	12°29
5		5.92	1168	3.067	195	97	4h09.0	13°24
9	π Tauri	4.69	4138	3.617	314	138	4h26.6	14°43
10	ρ Tauri	4.65	3680	3.566	363	144	4h33.8	14°51
11		5.26	2210	3.345	273	147	4h20.6	15°05
13	γ Tauri	3.63	11238	4.051	266	162	4h19.8	15°37
14		4.49	6719	3.827	311	163	4h26.3	15°37
16		6.02	1260	3.100	347	171	4h31.9	15°51
18		4.78	4989	3.698	339	181	4h30.6	16°12
19		4.96	3713	3.570	324	185	4h28.4	16°21
21	α Tauri	0.86	109209	5.038	374	193	4h35.9	16°30

A partir de ces standards, on détermine la magnitude de tous les objets en calculant la droite des moindres carrés sur les couples de données (magnitude, log flux ). Ce calcul peut se faire tout simplement avec un logiciel du type tableur. La figure 5 montre le résultat du calcul sur les 12 objets retenus et on en déduit la relation 1

$$\text{magnitude} = -2.534 \log (\text{Flux} ) + 13.825 \quad \text{erreur commise} = 0.226 \quad (1)$$

qui est très proche de la relation théorique de définition de la magnitude apparente;

$$\text{magnitude} = -2.5 \log (\text{Flux} ) + \text{Cte}$$

En effet, le flux enregistré par la caméra CCD est une fonction linéaire du flux reçu par le récepteur. Ceci n'est plus vrai dans le cas des clichés photographiques et la relation magnitude, log (Flux ) peut être déterminée sous la forme de polynômes des moindres carrés du 3<sup>ème</sup> degré.

De même à partir des coordonnées (α , δ ) des étoiles standards fournis par le catalogue, on peut établir les relations linéaires donnant les coordonnées astronomiques des objets en fonction des coordonnées image (figures 5 et 6):

$$\begin{aligned} \alpha_{mn} &= 0.148 x_g + 220.237 & \text{erreur commise} &= 0.183 \\ \delta_{mn \text{ arc}} &= 2.010 y_g + 607.230 & \text{erreur commise} &= 3.159 \end{aligned}$$

A partir de cet exemple, d'autres travaux peuvent être imaginés : en rassemblant des clichés d'une même zone du ciel pris à des époques différentes, on peut après une analyse des objets contenus dans chaque cliché selon la procédure précédente, déterminer la courbe de luminosité d'objets variables tels des céphéides ou des RR Lyrae, calculer leur période par analyse de Fourier et en déduire leur magnitude absolue et une évaluation de leur distance.

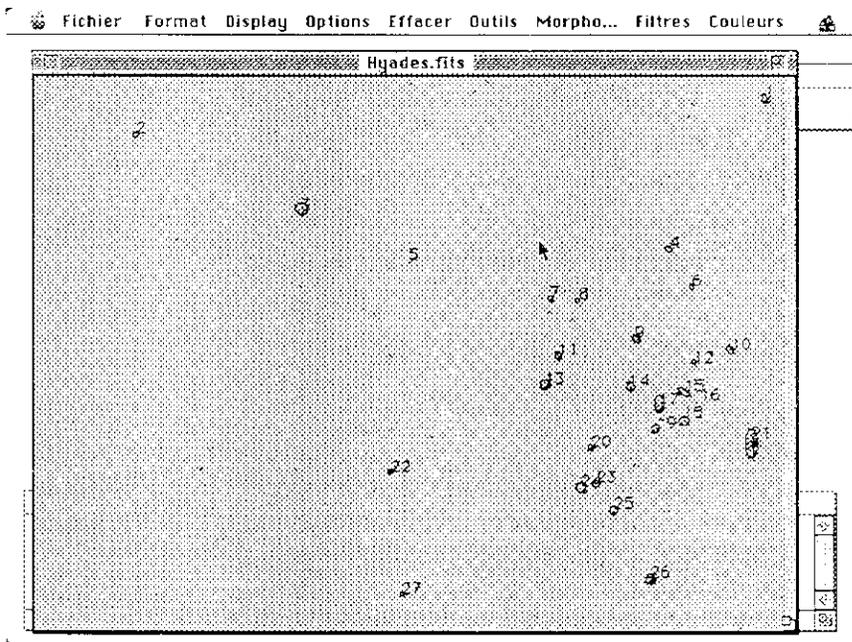


Figure 4

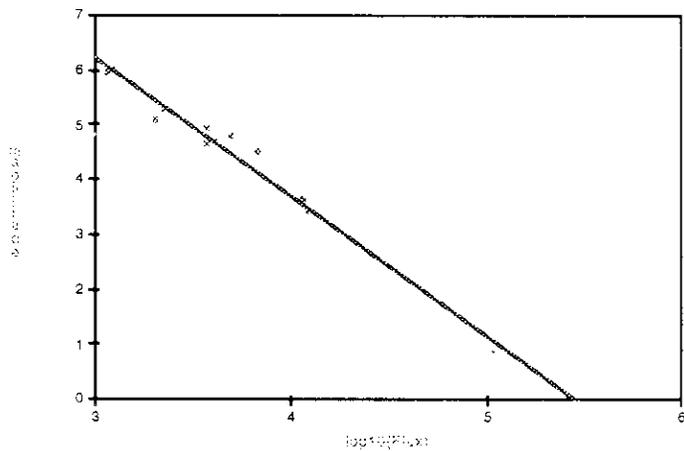


Figure 5

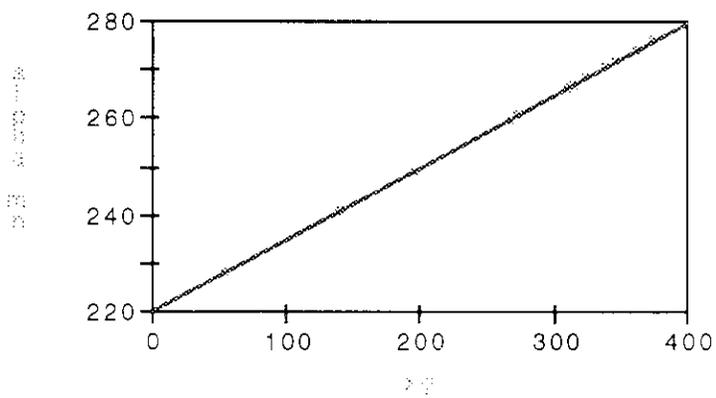


figure 6

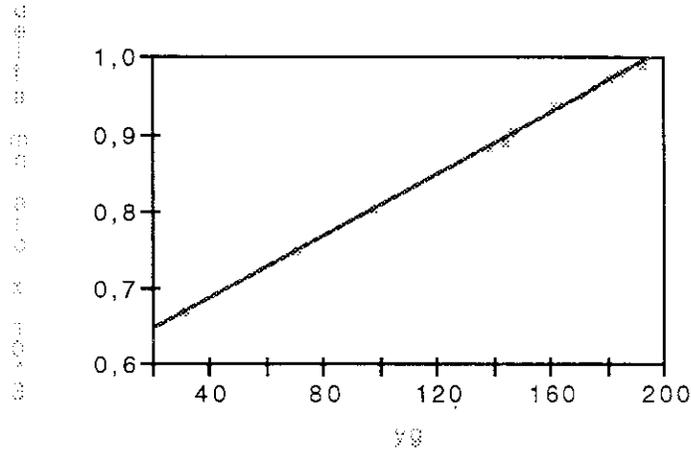


figure 7

### Comment se procurer MacVisual?

MacVisual nécessite pour fonctionner correctement un Mac avec un microprocesseur 68020 ou 68030 (Mac II, Mac LC ...), un écran 256 couleurs, 4Mo de mémoire RAM et une version du système 6.05 et au delà (système 7). Cette application appartient au Domaine Public (freeware), donc peut-être copiée et utilisée sans restrictions sauf pour usage commercial.

Pour en obtenir une version, envoyez-moi une disquette <sup>5</sup> en précisant si votre machine possède un coprocesseur arithmétique ou non. Les bugs non corrigés sont sans doute légion. Je vous serais reconnaissant de me les signaler ainsi que toutes les remarques et critiques que pourriez vous suggérer l'utilisation de MacVisual.

Souvenir d'un voyage en Pologne en 1992.

