

Films accélérés : méthodes d'acquisition et traitements

PROJET AURORE

36b, avenue de l'Observatoire - 25000 Besançon

<http://www.projet-aurore.asso.fr/>

RÉSUMÉ

Nous décrivons dans cet article les diverses méthodes que nous avons explorées pour réaliser des films en accéléré à budget limité (moins de 450 €). L'objectif est de permettre l'observation et l'étude de phénomènes lents (plusieurs minutes à plusieurs jours) en les photographiant à intervalles de temps réguliers. Quelques résultats quantitatifs sont présentés pour illustrer les capacités du traitement d'image sur les données ainsi obtenues.

1. MOTIVATIONS ET OBJECTIFS

Nous voulons pouvoir analyser, à moindre frais, des phénomènes lents observés de façon visuelle. Une méthode de parvenir à cet objectif est par la visualisation de films accélérés. Nous décrivons ici deux méthodes d'acquisitions d'images que nous avons mis en œuvre, et quelques méthodes de traitements ultérieurs possibles. Nous avons choisi, pour des raisons évidentes de budget, de travailler sur ordinateurs compatibles IBM. La spécificité de nos applications (acquisition à intervalles de temps réguliers d'images, éventuellement activation d'un relais entre deux prises d'images) nous pousse à écrire ou modifier nos propres logiciels : la disponibilité des codes sources des logiciels que nous utilisons est donc fondamentale.

Nous avons donc choisi de travailler sous le système d'exploitation Linux, ou sous DOS dans le cas où la machine n'est pas assez puissante (lorsqu'un logiciel libre pour ce système d'exploitation est disponible). De plus, le très grand nombre d'images à traiter ultérieurement (plusieurs milliers) requiert un système d'exploitation stable sur lequel tourne un langage de scripts puissant. Là encore, un système de type Unix est approprié : il permet de traiter, par quelques lignes de commandes, un très grand nombre de fichiers selon une procédure découpée en quelques fonctions de base déjà disponibles (outils NetPBM⁽¹⁾), ou simples à programmer. La disponibilité de formats bien documentés, faciles à exploiter et pour lesquels de nombreux outils sont déjà disponibles gratuitement (PNM et PGM) est un atout supplémentaire.

(1) Disponibles sur : <http://netpbm.sourceforge.net/>

2. ASPECTS MATÉRIELS

Nous avons exploré deux voies pour l'obtention d'images numériques du phénomène observé : l'utilisation d'une caméra de vidéoconférence, et l'utilisation d'une caméra amateur PAL reliée à un ordinateur au moyen d'une carte d'acquisition vidéo. Ces deux solutions ont des coûts sensiblement équivalents, et le choix de la méthode dépend principalement du matériel déjà disponible.

2.1. La caméra de vidéoconférence

Elle est la première solution que nous avons testé. Nous avons utilisé une caméra noir et blanc, la Connectix Quickcam (Connectix appartient aujourd'hui à Logitech, et cette caméra n'est plus disponible dans le commerce). La disponibilité de drivers gratuits pour Linux et DOS, son faible coût et son faible encombrement (possibilité de l'installer sur un télescope) en faisaient un outil idéal. Un grand nombre de caméras de vidéoconférence sont aujourd'hui disponibles sur le marché, généralement en couleur. Il faut prendre soin cependant de choisir une caméra pour laquelle un driver est disponible sous Linux. En effet, il n'existe pas à notre connaissance de driver Windows fourni par le constructeur permettant l'acquisition périodique d'images tel que le requiert notre projet. Les caméras se connectant au port USB sont donc à sélectionner avec le plus grand soin, peu de ces périphériques étant aujourd'hui supportées par les Unix libres. Les caméras se connectant au port parallèle sont préférables, d'autant plus qu'elles peuvent se connecter à un ordinateur portable et sont généralement simples à programmer. Leur coût est de l'ordre de 80 €.

2.2. La carte d'acquisition vidéo (*frame grabber*)

Elle permet de numériser les images issues d'une caméra analogique (caméscope VHS par exemple). Cette solution est très souple et permet aussi, par exemple, de brancher une caméra CCD telles que celles montées sur les microscopes optiques de laboratoires. Il faut cependant compter le coût de la caméra en plus du coût de la carte d'acquisition (de l'ordre de 80 € pour le bas de gamme, suffisant pour notre projet). La tête de lecture/enregistrement des caméscopes étant généralement la partie la plus fragile de ce type d'instruments, ce système permet de récupérer des caméras considérées comme inutilisables. Les images ainsi réalisées étant plus grandes et de meilleure qualité que les images obtenues par caméra de vidéoconférence, il faut prévoir un disque plus grand (1,5 à 2 GB nous semble une taille raisonnable) que dans le cas précédent. De plus, il faut prendre soin à ce que sa carte vidéo soit compatible avec la carte d'acquisition vidéo (dans notre cas, l'utilisation d'un frame grabber Miro PCTV Pro⁽²⁾ semble incompatible avec une carte vidéo AGP et semble nécessiter une carte vidéo PCI avec laquelle la carte d'acquisition communique directement). Plusieurs standards de cartes d'acquisition sont

(2) Description complète sur :

http://www.pinnaclesys.com/ProductPage.asp?Product_ID=103&Langue_ID=7

disponibles, le plus commun étant celui basé sur le composant BT84x : le logiciel pour contrôler ce type de périphérique est disponible pour Linux et fonctionne parfaitement. Nous avons aussi eu des résultats positifs sous Linux avec un frame grabber fabriqué par Matrox.

Il nous semble donc que, si le matériel d'acquisition vidéo doit être acheté, la souplesse d'utilisation de la carte d'acquisition vidéo et la large gamme de caméras qui peuvent y être connectées en font un outil adéquat pour le type de travail que nous décrivons. Le logiciel est plus simple à trouver ou à programmer, et la qualité des images est généralement meilleure, permettant ainsi un traitement efficace des données obtenues.

3. ASPECTS LOGICIELS

Les logiciels proposés par les constructeurs de cartes d'acquisition vidéo (Miro PCTV) pour Windows ne nous ont pas convenu (incapacité à sauvegarder périodiquement une image) et nous nous sommes donc tourné vers les logiciels libres disponibles sur Internet. Nous avons utilisé et modifié selon nos besoins un logiciel développé indépendamment sous Linux et DOS et permettant de contrôler la Quickcam (noir et blanc). L'avantage de travailler sous DOS est la possibilité d'utiliser un ordinateur peu puissant et comportant peu de mémoire (avantage appréciable lorsque cet ordinateur doit être mobilisé plusieurs jours ou semaines pour l'acquisition d'une longue séquence d'images). Le logiciel d'acquisition périodique d'images au moyen d'un frame grabber à base du composant BT84x est disponible sous le nom *bttvgrab* sous linux (disponible à <http://ich.bin.kein.hoschi.de/bttvgrab/>). Nous n'entrerons pas dans les détails de l'utilisation de la caméra de vidéoconférence, les détails techniques étant trop longs et spécifiques pour être abordés ici. Nous allons plutôt nous concentrer sur la carte d'acquisition vidéo (dans notre cas la Miro PCTV Pro), facilement disponible :

- ◆ après avoir connecté la caméra sur l'entrée vidéo de la carte d'acquisition (connecteur SYNCH), nous commençons par effectuer tous les réglages de la prise de vue (luminosité, placement de l'échantillon...) en observant les résultats à l'écran au moyen du logiciel *xawtv* ;
- ◆ une fois l'image observée satisfaisante, nous lançons l'acquisition des images par la commande : `bttvgrab -N PAL -Q -s 60 -o jpg -p quality=200 -S 1 -f p%05d.jpg` pour sauver toutes les soixante secondes (option *-s*) une image au format JPEG (gain de place) avec une qualité raisonnable (option *quality=* sur le port vidéo (option *-S 1*) de la carte d'acquisition.

Il est possible, en quelques lignes de scripts, d'utiliser les fonctions de délai (*sleep*) Unix pour effectuer l'acquisition d'une image à intervalles de temps pré-définis (option *-l 1* de *bttvgrab* pour se limiter à la sauvegarde d'une seule image) plutôt que le délai d'attente proposé par *bttvgrab* (option *-s*). Il est alors possible d'effectuer d'autres opérations entre deux prises de vues (nous avons par exemple expérimenté l'utilisation de deux caméras sur une seule carte d'acquisition en utilisant un relais contrôlé par le

port parallèle pour sélectionner la caméra active, ou l'allumage et l'extinction d'une petite lampe halogène pour n'illuminer la scène que lors des prises de vues). Nous allons voir dans la section suivante les traitements possibles à effectuer sur la séquence d'images ainsi obtenues.

4. TRAITEMENTS ET RÉSULTATS

Le premier traitement possible, une fois la suite d'images obtenues, est l'obtention d'un film au format MPEG (concaténation et compression de la suite d'images) au moyen du logiciel libre *mpeg_encode*⁽³⁾ (qui nécessite aussi *djpeg* pour lire les images au format JPEG). Cette application est illustrée à la figure 1 qui présente deux séquences d'un film d'une centaine d'images au totale du mouvement des satellites de Jupiter au cours d'une nuit. L'acquisition des images a été réalisée au moyen d'une caméra de vidéoconférence Connectix Quickcam montée sans objectif au point focal d'une lunette Zeiss (63 mm de diamètre, 840 mm de longueur focale) motorisée. La position des satellites par rapport à la planète est prédite par le logiciel *xephem* sous Unix.



Figure 1 : Images de début et de fin d'un film en accéléré illustrant le mouvement des satellites de Jupiter au cours de la nuit du 28 mai 1997.

De gauche à droite (*i.e.* d'Ouest en Est) : Europe, Callisto émergeant au cours de la nuit, et à l'est de Jupiter Io (Ganymède, le quatrième satellite jovien visible, et hors du champ à droite de ces images).

Images réalisées par le club astronomie de l'École Normale Supérieure de Lyon

Bien que l'analyse visuelle d'un film soit un outil incontournable pour aborder le problème étudié, elle ne permet pas l'obtention de résultats quantitatifs. Nous allons donc présenter les méthodes de base que nous avons utilisé pour permettre le traitement des images obtenues.

La méthode générale que nous utilisons pour traiter le grand nombre d'images acquises (typiquement de l'ordre de quelques milliers par phénomène analysé) est l'utilisation d'un script en un shell unix (*sh*, *csh*...) pour effectuer automatiquement une suite d'opérations que nous avons testé sur quelques images « typiques » du phénomène. Nous utilisons pour nos conversions de format les outils fournis par *netpbm* (passage de n'importe quel format bitmap ou postscript au format PNM/PGM et réciproquement). Il est

(3) Disponible sur : http://bmrc.berkeley.edu/frame/research/mpeg/mpeg_encode.html

bon de noter que contrairement à beaucoup de formats d'images bitmap compressées (GIF, TIFF) où il n'y a pas de perte d'informations liée à la réduction d'espace occupé par les données, le format JPEG est un format avec perte qu'il est bon de manipuler avec soin ou tout au moins en comprenant correctement les causes des pertes d'informations (élimination des composantes de hautes fréquences des transformées de Fourier de blocs de 16×16 pixels de l'image d'origine). Des outils adaptés à la conversion de JPEG à d'autres formats sont *djpeg* et *cjpeg*.

Les traitements se font soit au moyen de ImageMagick⁽⁴⁾ soit de programmes C que nous développons pour agir sur des images au format PNM (format très simple où l'image est décrite par une suite de trois octets représentant les composantes R, G et B de chaque pixel).

Nous avons pu analyser la séquence d'images observant la rotation d'un haricot lors de sa croissance : extraction par seuillage⁽⁵⁾ sur la composante verte de l'image de la tige du haricot du fond rouge de l'image, mesure de l'angle de la tige et tracé de l'évolution de cet angle avec le temps (connaissant l'intervalle de temps entre deux prises de vues). Les différentes étapes de ce traitement sont visibles sur la figure 2.

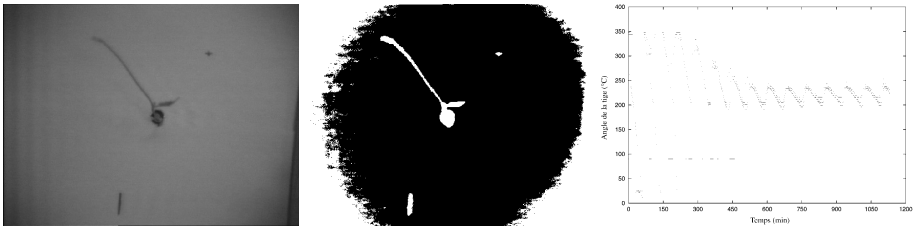


Figure 2 : De gauche à droite : image originale, image après seuillage sur la composante verte pour l'extraction de la tige, et évolution de l'angle de la tige du haricot avec le temps.

*Expérience réalisée sous la direction de B. MILLET,
laboratoire de chrono-biologie, Besançon*

Dans le cas d'images noir et blanc, la somme des valeurs des pixels informe sur l'intensité lumineuse émise ou transmise par l'image analysée. Nous avons ainsi, par ce procédé très simple de traitement, pu observer une éclipse de l'étoile binaire Algol [1] (cf. figure 3 ci-après), et les variations en transmission d'intensité d'un fluide électrorhéologique (liquide contenant des particules polarisables) soumis à un champ électrique (formation d'une structure fibreuse parallèle au champ électrique alternatif appliqué, figure 4). Une analyse quantitative est fondamentale car dans ces deux cas, aucune variation de luminosité n'est visible à l'œil nu de façon convaincante à la visualisation des films. Algol est un système binaire qui s'éclipse avec une période de 2,9 jours, durant

(4) Disponible sur : <http://www.imagemagick.org/>

(5) Traitement consistant à ne conserver que les pixels dont une des composantes de couleur rouge, verte ou bleu, dépasse un certain seuil. Ici, la tige est sélectionnée par rapport au fond rouge par choix des pixels ayant une forte composante verte.

lesquels une variation d'1,2 ordres de magnitude est observable sur une durée de huit heures). Nous avons, dans notre cas, centré la fenêtre d'observation sur une de ces périodes : la variation de luminosité d'Algol (β Persei) est bien visible, et nous vérifions qu'il ne s'agit pas d'un effet parasite en traçant simultanément l'évolution de l'intensité d'une étoile de référence visible dans le même champ, ρ Persei. Cette dernière courbe est constante et garantit l'absence de variation dans les conditions d'observation, tandis que les deux chutes de niveau lumineux au début de la courbe sont dus à des passages nuageux et informent sur le niveau de bruit de fond de notre méthode de mesure de l'intensité lumineuse (absence des étoiles lors du traitement numérique des images).

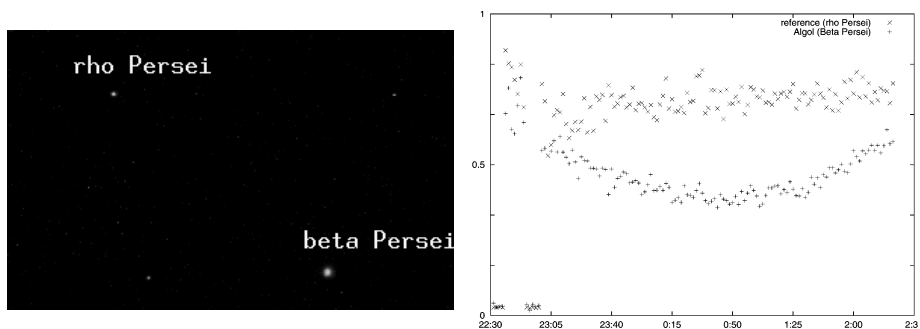


Figure 3 : À gauche : image brute observée en sortie de la lunette astronomique.
À droite : évolution de l'intensité lumineuse observée de l'étoile binaire à éclipses Algol,
et courbe de référence de l'étoile ρ Persei
(nuit du 7 au 8 septembre 1997, objectif de 50 mm adapté à une Connectix Quickcam).

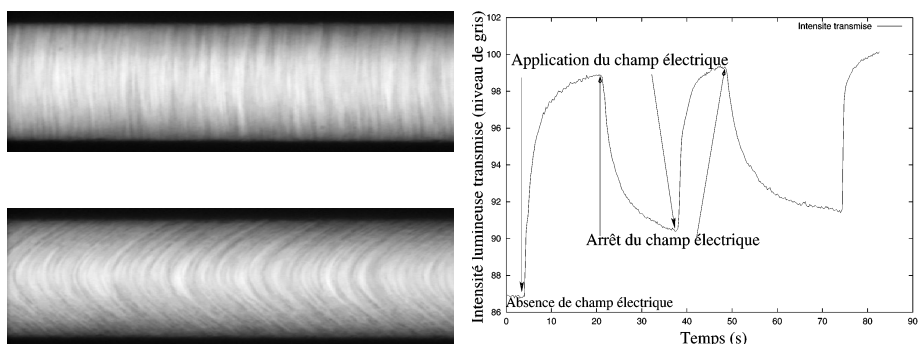


Figure 4 : À gauche : images brutes du fluide électrorhéologique en présence (en haut)
et en l'absence (en bas) de champ électrique (désorganisation de la structure fibreuse
sous l'effet d'un écoulement).
À droite : évolution de l'intensité lumineuse transmise par le fluide électrorhéologique
en fonction de la présence ou de l'absence d'un champ électrique alternatif.

Images obtenues par C. THIÉBAUD, LOPMD, Besançon

Un exemple de mise en évidence d'un phénomène trop lent pour être clairement perçu est la formation de motifs géométriques dans la réaction oscillante de Belousov-Zhabotinsky (décrite par exemple dans le BUP n° 742, mars 1992). Cette réaction se déroule durant quelques minutes, mais la formation et l'interaction des ondes de concentration des diverses espèces chimiques devient spectaculaire lorsque le phénomène est filmé lentement (de l'ordre d'une image toutes les cinq secondes) puis visualisé en accéléré (de l'ordre de quinze images/secondes). Quelques clichés composant ce film sont présentés dans cet article (*cf.* figure 5).

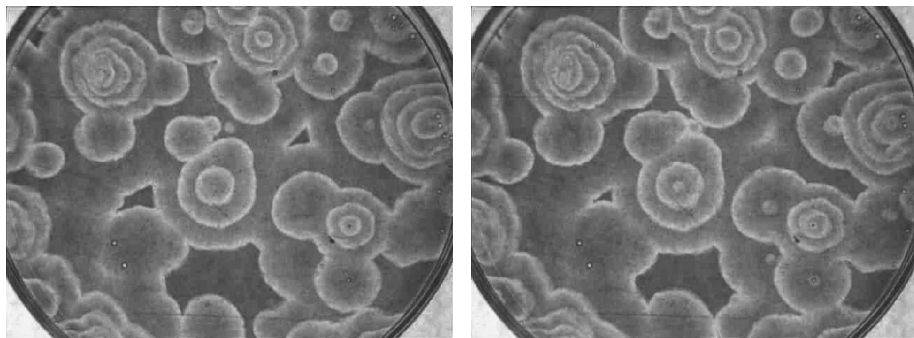


Figure 5 : Deux images successives de la réaction de Belousov-Zhabotinsky.

Expérience réalisée par D. et K. LEQUOC, Laboratoire de biochimie, Besançon.

Une condition nécessaire à l'obtention de bons résultats par traitement d'images est l'obtention préalable d'images avec une luminosité uniforme, sans ombres, avec de forts contrastes (ou variations de couleurs). Il faut donc prendre un soin particulier à l'éclairage et se protéger des variations de luminosité lors de la journée (éclairage naturel négligeable devant l'éclairage artificiel utilisé).

CONCLUSION

Il nous semble que les méthodes décrites dans ce document offrent un très large spectre d'applications, dont nous avons voulu illustrer quelques aspects qui nous ont permis d'aborder des notions de base d'acquisition et de traitement d'images ainsi que quelques réalisations électroniques contrôlées par le port parallèle pour illuminer la scène observée ou pour activer une parmi plusieurs caméras. Leur utilisation en travaux pratiques dans diverses matières (physique, chimie ou sciences pour l'ingénieur), éventuellement combinées à d'autres types de capteurs, en font sans aucun doute un outil intéressant à maîtriser.

Grâce à l'expérience acquise, la mesure de phénomènes rapides peut être envisagée avec l'achat d'une caméra à haute fréquence d'acquisition et de la carte de numérisation associée. En contraste avec l'équipement disponible, ce type de matériel est beaucoup plus cher : quelques dizaines de milliers de francs pour 700 images/seconde.

ADDENDUM

En plus des deux options présentées ici (utilisation de webcam et de caméras connectées à un frame grabber), une troisième option est devenue attractive ces derniers mois : l'utilisation d'un appareil photo numérique. En effet, les prix de ces appareils ne cessent de chuter (désormais disponibles pour moins de 300 €), tout en offrant une excellente qualité d'image (nettement supérieure aux deux exemples décrits précédemment) et en conservant la possibilité d'être totalement pilotés par ordinateur. Nous avons pu ainsi expérimenter avec un appareil numérique de type Olympus Camedia C-860L qui offre une résolution allant jusqu'à 1280 × 960 pixels pour une définition des couleurs sur 24 bits et la capacité à sauvegarder les images sans compression induisant des pertes d'information (condition nécessaire à un traitement d'images ultérieur efficace). Un outil sous Linux, *photopc*⁽⁶⁾, permet de totalement contrôler cet appareil *via* un câble connecté au port série et ne comportant que trois fils : la masse, transmission et réception de données (le câble de connexion au port série que nous utilisons est par exemple décrit sur http://CameraHacker.tripod.com/Olympus_C-2500L/serial_pin-out.html). Il a ainsi été possible de transmettre des commandes et de récupérer les photos prises par l'appareil d'une distance de plus de 15 m, condition parfois souhaitable lorsque la présence de l'opérateur peut modifier les conditions expérimentales (par exemple photos d'animaux ou d'insectes). *photopc* permet de contrôler, en ligne de commande, tous les paramètres de l'appareil, et d'automatiser la prise de vue à intervalles de temps réguliers. Le traitement d'images se fait de la même façon que décrite précédemment, par conversion du format TIFF (compression sans perte d'informations - éviter le format JPEG qui ne permet pas un traitement d'images efficace) vers le format PNG qui est beaucoup plus simple d'emploi (absence de compression des données). Un exemple d'application est la prise de vue automatique à intervalles réguliers (supérieurs à trente secondes - temps de transfert des images de l'appareil photo vers l'ordinateur) d'une vallée alpine pour en étudier l'évolution de la couverture nuageuse.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier D. et K. LEQUOC et B. MILLET pour leur aide à la réalisation des expériences décrites dans la partie « Résultats ».

BIBLIOGRAPHIE

- [1] MENZEL D.H. et PASACHOFF J.M. *Stars and Planets (Updated through 1995)*. Peterson Fields Guides, 1990.

(6) Disponible sur : <http://sourceforge.net/projects/photopc/>