

AVEC NOS ÉLÈVES

Un atelier astro de lycée en observatoire professionnel

Gilles Dodray, lycée Gaston Bachelard, Chelles

L'atelier scientifique d'astronomie du lycée Bachelard de Chelles

La structure d'atelier scientifique en lycée ou collège permet la pratique scientifique en toute liberté, notamment sans la contrainte d'un programme disciplinaire à respecter. En outre, elle permet une réelle découverte et la réalisation de projets à longs termes.



Fig. 1 Le groupe d'élèves avec leurs deux enseignants à l'observatoire de Floirac.

Depuis maintenant douze ans, chaque année, une quinzaine d'élèves s'inscrivent à l'atelier pour pratiquer l'astronomie et découvrir le ciel. Les séances sont hebdomadaires après les cours réglementaires et se déroulent au lycée. Avec notre matériel, les élèves apprennent à observer Soleil, Lune, planètes ; à les photographier avec une webcam ou un appareil photo numérique, voire leur téléphone portable ! En banlieue parisienne, la fréquence d'observations est d'une séance sur trois. Élèves et professeurs rêvent plus de nébuleuses ou de galaxies qu'ils n'en observent depuis le lycée en pleine banlieue parisienne. Le récent investissement pour 110 € d'un réseau Star-Analyser a transformé les observations de l'atelier : la faible lueur des étoiles devient "arc-en-ciel" et l'imagerie numérique permet d'affecter des nombres aux couleurs obtenues (figure 2). Bref, on peut faire de la science par un tout nouveau chemin, inconnu des élèves et aussi de leurs enseignants. Au lycée, on a commencé par "passer" au Star-Analyser les tubes luminescents de la salle de

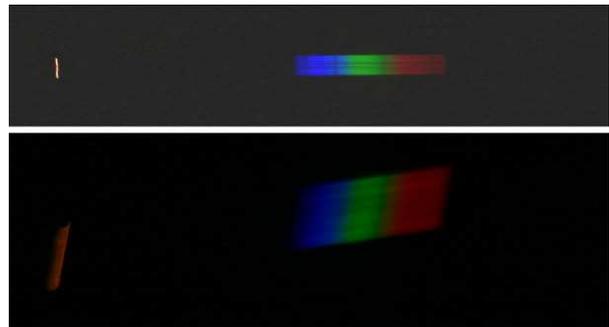


Fig. 2 en haut : le spectre de l'étoile Véga dans la Lyre. Trois raies d'absorption apparaissent : une dans le rouge lointain et deux dans le bleu ; ce sont les raies $H\alpha$, $H\beta$ et $H\gamma$ de l'hydrogène. Le trait blanc à gauche est l'image primaire de l'étoile, non déviée par le réseau. C'est la coupure du moteur de la lunette qui donne ce filé de l'étoile Véga ainsi que l'étalement vertical de son spectre. En bas : le spectre de la planète Vénus, déclinant tout l'arc-en-ciel mais ne présentant pas de raies à notre examen. L'image est floue car Vénus n'est pas du tout ponctuelle comme une étoile. On devine d'ailleurs son croissant sur le filé de l'image primaire à gauche.

classe, les lampadaires du centre commercial proche, et aussi quelques étoiles...

L'idée d'un projet à réaliser en observatoire a ainsi germé : mettre en correspondance les images de spectres obtenus avec les types d'étoiles étudiées. L'opération "Lycées de Nuit" de Planète-Sciences (<http://www.planete-sciences.org/astro/>) permet la réalisation d'une mission scientifique de plusieurs nuits dans un observatoire professionnel, en complète immersion dans un cadre de recherche contemporaine en astronomie et astrophysique. C'est une opportunité pour les élèves de donner une finalité à leurs envies d'observer et de découvrir. Les parrainages entre l'Observatoire de Paris et les établissements scolaires permettent d'affiner le projet envisagé, de lui trouver un cadre pour le réaliser. Dominique Proust à Meudon, en relation avec Caroline Soubiran à Floirac ont permis la concrétisation du nôtre. (<http://parrainages.obspm.fr/>).

Quelques séances furent consacrées au lycée à l'explication de ce message de la lumière : couleur et longueur d'onde, signature spectrale d'éléments chimiques. Ce fut tout, hélas, car le jour du départ en mission pour l'Observatoire de Floirac était arrivé. Nous sommes partis en minibus à 7 élèves

et deux enseignants, hébergés dans l'observatoire même comme les astronomes, avec les tâches ménagères à gérer : à tours de rôle, les élèves (mais aussi les professeurs !) devaient s'occuper du service et des repas.

La réalisation du projet de spectroscopie sur l'amas M44

Le projet était déjà bien avancé depuis Chelles, il n'y avait "pluka".

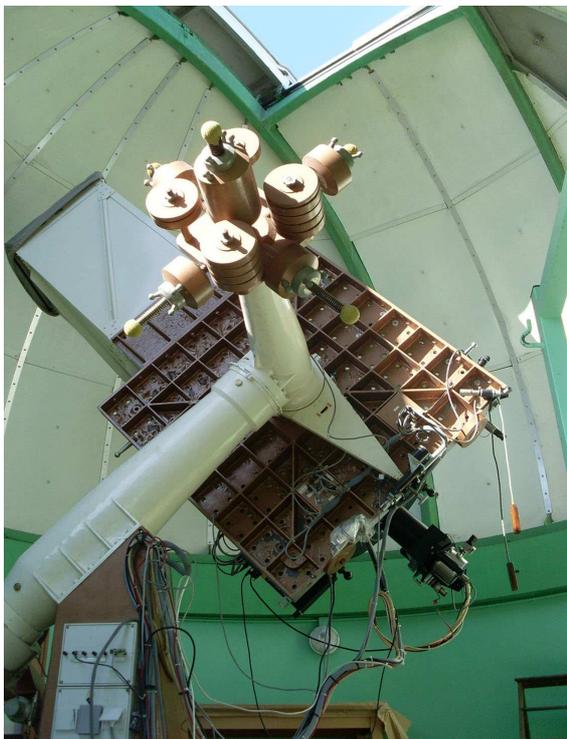


Fig. 3 Le télescope T60 de l'observatoire de Floirac.

Le télescope de 60 cm de diamètre (figure 3) nous a été réservé pour quatre nuits en mars 2009 avec pour cible l'amas ouvert d'étoiles M44 dans la constellation du Cancer. Une belle caméra CCD était aussi à notre disposition ; l'ingénieur Jean-François Le Campion a initié les jeunes au maniement du télescope et de la caméra avant de les laisser en complète autonomie. Le groupe d'élèves a été partagé en deux avec alternance au cours des nuits : un groupe pour prendre des images de l'amas avec le télescope de l'observatoire pendant que l'autre obtenait avec notre lunette des spectres d'étoiles parmi les plus accessibles puis des spectres d'étoiles dans l'amas M44 (figure 4).

Nous eûmes tout le temps de réaliser les observations prévues car le temps a été magnifique durant tout le séjour. On fit même des pauses dans les observations pour regarder l'astronome concepteur de la caméra CCD l'utiliser pour observer et mesurer le passage d'un satellite de Saturne au travers des anneaux. (figure 5)



Fig. 4 À gauche : des élèves utilisant le T60 ; à droite, au même moment d'autres élèves observaient avec notre télescope.



Fig5. Saturne volontairement surexposée par l'astronome pour observer le passage de satellites dans le plan des anneaux.

La partie photométrique du projet au T60

A partir d'images CCD prises au télescope avec un filtre ne laissant passer que le rayonnement bleu (figure 6) puis avec un autre ne laissant passer que le centre du domaine visible (autour de 550 nm),



Fig. 6 Le premier groupe d'étoiles de l'amas M44 pris avec un filtre bleu.

on peut déterminer le rayonnement dominant d'une étoile, c'est-à-dire sa température, et aussi son type spectral : l'indice B-V de l'étoile obtenu à partir de la différence entre ses magnitudes en bleu et en "visible" calculées avec les images. Voir le tableau en figure 7.

Pour chaque étoile, les notions d'indice B-V, de température de surface et de type spectral sont entièrement équivalentes comme le montre le

groupe	Étoile Tycho	Flux B	M _B	Flux V	M _V	Indice B-V	Type spectral
1	1999	66346	9,70146314	229604	9,31355138	0,38791176	F
1	2006	356622	7,87547967	4050982	7,6620118	0,21346787	A+
1	2963	754676	7,06159865	3246359	6,43750864	0,62409001	G
2	1677	418363	7,70211683	1269968	7,45651806	0,24559877	A+
2	2552	844676	6,93927461	2492898	6,72423873	0,21503589	A+
2	2733	1313753	6,4597157	3551739	6,33989739	0,11981831	A-
3	1993	367658	7,84238995	1134303	7,5791773	0,36321265	A+
3	2711	485268	7,54104587	1471040	7,29693879+	0,24410707	A+
3	2737	658701	7,20927919	2800832	6,59778235	0,61149684	G

Fig. 7 Ce tableau résumé présente les données obtenues sur les étoiles de M44 : le flux dans le bleu, puis le flux dans le visible et les magnitudes qui en découlent. L'indice B-V permet de déduire le type spectral de chaque étoile à partir du diagramme HR présenté en figure 8.

diagramme HR présenté en figure 8 où chaque étoile est repérée à partir de sa température (c.-à-d. son indice B-V, c.-à-d. son type spectral) en abscisse et sa magnitude visuelle en ordonnée telle qu'elle apparaîtrait vue d'une distance de dix parsecs.

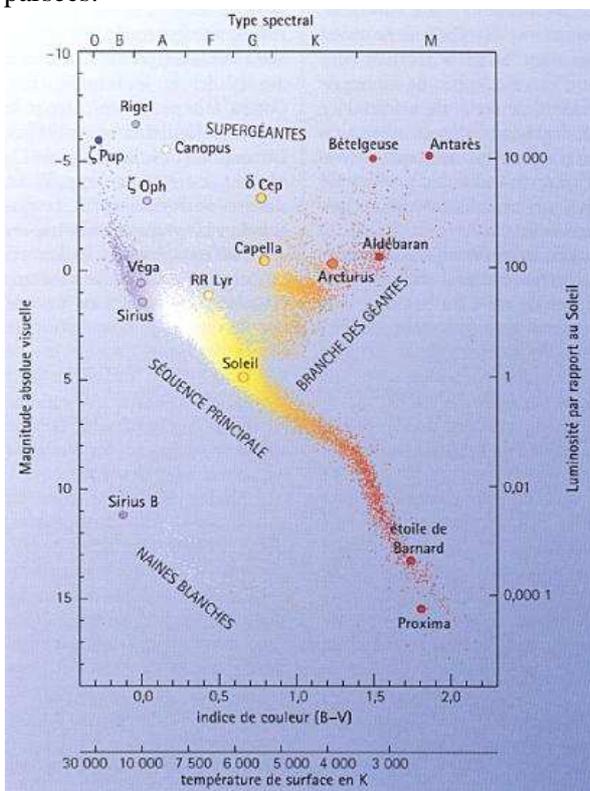


Fig. 8 Ce diagramme de Hertzsprung-Russell représente la position des étoiles en fonction de leur température en abscisse et de leur magnitude absolue en ordonnée. On remarque que l'axe des abscisses est aussi gradué, en bas, en indices B-V et en haut, en types spectraux car ces trois notions (température, B-V, type spectral) sont entièrement équivalentes.

La partie spectroscopique du projet avec notre lunette

L'obtention de spectres d'étoiles s'est faite avec notre propre matériel : une lunette motorisée, un appareil photo reflex placé au foyer et muni du réseau Star-Analyser. Des poses de quelques secondes suffisent (voir l'Astronomie de Septembre 2008 pour les détails sur la démarche à suivre). Nous

avons d'abord pointé Regulus dans la constellation du Lion pour peaufiner la focalisation et les temps de pose car nous avons remarqué précédemment que des raies d'absorption apparaissaient dans son spectre. Nous avons alors réalisé des spectres d'autres étoiles (figure 9).

L'analyse qui en a été faite est présentée dans un tableau en figure 10.

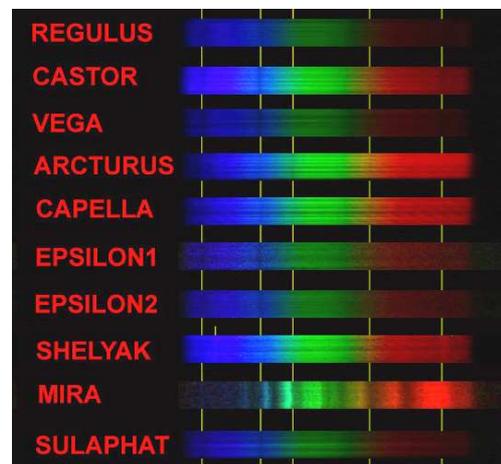


Fig. 9 Quelques spectres d'étoiles remarquables. On a placé des traits jaunes verticaux pour reconnaître des raies identiques sur des spectres différents. En plus des trois raies de l'hydrogène, on en a repérées deux autres : une dans le vert et l'autre dans le jaune.

Nous avons pu observer que ces spectres étaient différents les uns des autres, avec parfois des raies d'absorption aux mêmes endroits (donc aux mêmes longueurs d'ondes) comme pour Regulus, Castor, Véga, epsilon 1 et 2 de la Lyre, Sulaphat (γ Lyre). Dans le bleu, ce sont les raies H β et H γ de l'hydrogène. On peut parfois distinguer la raie H α dans le rouge lointain. Mira (omicron de la Baleine), étoile variable prise pendant l'hiver précédent, ne nous présentait pas de raies mais une alternance de zones sombres et zones claires. L'étoile Sheliak (β Lyre) est aussi très étonnante car elle révèle deux raies : une raie à la même place que H α des étoiles précédentes et une autre dans le jaune (en fait, la raie double du sodium) à la même place qu'une des raies de l'étoile Arcturus. Mais ces raies sont en émission au lieu d'être en absorption !

astre	Type spectral	Indice B-V	Type de spectres	commentaires
Arcturus	K2	1,23	Absorption	De nombreuses raies, mais très peu marquées Beaucoup de raies dans le vert Ondulations dans le rouge et dans le bleu
Capella	G5	0,80	Absorption	Peu de raies visibles (2 dans le bleu)
Castor	A2	0,03	Absorption	2 raies dans le bleu (Balmer ?) 2 raies dans le rouge raies dans le jaune ?
Epsilon 1	A3	0,16	Absorption	2 raies dans le bleu (Balmer ?) pas dans le rouge
Epsilon 2	A5	0,18	Absorption	2 raies dans le bleu (Balmer ?) pas dans le rouge
Mira	M 5-9	1,09		Très peu de bleu. Des raies étalées un peu partout
Sheliak	B2	0,04	Émission	3 raies en émission : rouge, orange, bleu
Véga	A1	0,00	Absorption	2 raies dans le bleu, 1 dans le rouge (Balmer ?)
Pollux	K	1,00	Absorption	Des raies un peu partout (on reconnaît 2 raies de Balmer dans le bleu)
Regulus	B	-0,11	Absorption	2 raies dans le bleu (Balmer)
Sulaphat	B9	- 0,03	Absorption	2 raies dans le bleu (Balmer)
Vénus				Spectre continu (toutes les couleurs)
M57 (neb Lyre)			Émission	Spectre non continu. Émission dans le bleu et le rouge. Près de M57, une étoile a un spectre ressemblant à celui de Mira ou d'Arcturus
Étoile près de M57 Tycho 2643	M	1,7		Cette étoile semble effectivement de type Mira Magnitude B : 10,6 ; magnitude V : 8,879 d'après Simbad

Fig. 10: Tableau qui résume l'examen des spectres effectués. Ce tableau inclut aussi le spectre de Vénus et celui de la nébuleuse annulaire M57 présenté plus loin

Les élèves en sont restés à cette étude qualitative de découverte de l'astrophysique, mais l'astronome Caroline Soubiran a pris le temps d'expliquer aux jeunes ce qu'ils avaient observé sur leurs images ainsi que les enseignements des spectres des étoiles : la signature d'éléments chimiques présents à la surface des étoiles.

Avec ces résultats très encourageants, et ces nouveaux bagages de connaissances, nous nous sommes lancés sur la spectrographie de l'amas M44 (figure 11).



Fig. 11 L'amas M44 mis en image à travers le réseau Star-Analyser. Les étoiles qu'on a étudiées sont celles situées vers le centre de l'image.

Les spectres sont beaucoup moins lisibles car on ne les a pas étalés comme les précédents pour ne pas brouiller encore plus la photo, avec des spectres qui se superposeraient. Plusieurs orientations différentes de spectres ont été choisies pour pouvoir tous les isoler. Les élèves ont pu remarquer que les raies H β et H γ de l'hydrogène étaient très souvent présentes, et que pour les autres étoiles, aucune raie n'était

visible. Allait-on pouvoir faire un rapprochement avec l'étude photométrique au télescope ?

Rapprochement des deux études

C'est ce qu'on fit au retour de Floirac, dans notre salle d'informatique : un travail de Bénédictins !

Il a fallu repérer les étoiles de l'amas à l'aide de l'atlas interactif Aladin sur le centre de données de Strasbourg (adresse : <http://cdsweb.u-strasbg.fr/>), repérer sur nos images quel spectre est associé à chaque étoile et analyser sur écran chaque spectre obtenu (figure 12).



Fig. 12 Les spectres d'étoiles de M44 que nous avons obtenus à partir de l'image en figure 12 et d'une autre prise avec une orientation différente car plusieurs spectres se chevauchaient. On a gardé les repères verticaux pour repérer les raies remarquées par ailleurs.

Benjamin a réalisé la synthèse des analyses sur tableur (figure 13).

nom	étoile	Nbre spectres utilisés	Indice B-V calculé	commentaires	Type spectral envisagé
M44	1677	2	0,246	2 raies ds le bleu, les mêmes que celles de Regulus	B
	1993	1	0,26	2 raies ds le bleu, (idem Regulus)	B
	2006	2	0,213	2 raies ds le bleu, idem Regulus et 1 dans le rouge	A
	2544	2		2 raies ds le bleu, idem Regulus et 1 ds le rouge	A
	2552	2	0,215	2 raies ds le bleu, idem Regulus et 1 ds le rouge	A
	2605	2		2 raies ds le bleu, idem Regulus et 2 dans le vert	K
	2711	1	0,244	2 raies ds le bleu, idem Regulus et 1 ds le rouge	A
	2733	1	0,12	2 raies ds le bleu, idem Regulus	B
	2737	1	0,61	Aucune raie perceptible	K
	2963	2	0,624	Spectre 1 : 2 raies ds le bleu, 1 ds le vert et 1 ds le jaune ; spectre 2 : 1 raie ds le bleu	?

Fig. 13 Le tableau résumé de l'examen des spectres étudiés dans l'amas M44. Le type spectral est évalué d'après l'aspect du spectre, en s'appuyant sur les spectres connus des étoiles présentées en figures 9 et 10.

On peut remarquer que les étoiles d'indices B-V comparables ont aussi des spectres comparables. A l'aide du diagramme HR de la figure 7, les élèves ont pu évaluer le type spectral de chaque étoile étudiée dans l'amas M44. Seule l'étoile TYC1395-2963 est restée récalcitrante dans cette étude avec deux spectres obtenus assez contradictoires. Les autres résultats, rapprochés de ceux obtenus en photométrie en figure 7 sont cohérents, voire très comparables.

La couleur dominante d'une étoile étant caractéristique de sa température en surface, et l'indice B-V étant un indicateur de cette température, on a pu remarquer que la présence ou l'absence de certaines raies dans les spectres des étoiles était aussi directement liée à la température en surface de l'étoile. Les étoiles de l'amas M44 sont pour la plupart des étoiles chaudes de type spectral A ou B, mais on note aussi la présence de quelques étoiles rouges de type K, à moins que ce ne soient des géantes rouges comme Arcturus, plus lointaines que l'amas M44, mais vues dans la même perspective.

Compléments

En marge de l'étude faite sur l'amas d'étoiles M44, on a tourné le télescope T60 vers la comète Lulin

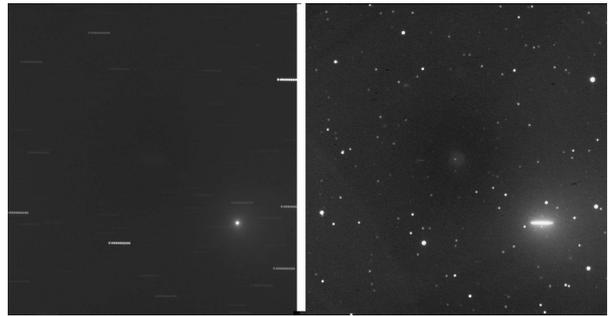


Fig. 14 Deux compositages par Dorine de 10 images de la comète Lulin prises au T60. A gauche en alignant les images sur la comète (les étoiles se sont déplacées en apparence par rapport à la comète). A droite en alignant les images par rapport aux étoiles (le déplacement de la comète dans le ciel est clairement mis en évidence, même en une dizaine de minutes de pose).

encore visible au télescope en Mars 2009 (fig 14).

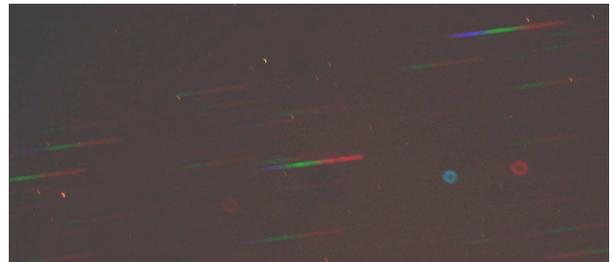


Fig. 15 Le spectre de la nébuleuse M57 de la Lyre pris dans les mêmes conditions que les précédents. Au lieu de toute une déclinaison des couleurs de l'arc-en-ciel, seules deux couleurs de spectre sont présentes: une rouge et une bleue, chacune en émission. La troisième image de M57 à gauche est l'image d'ordre zéro non déviée. L'image a aussi révélée par hasard une étoile vers le centre ayant un spectre très semblable à celui de Mira dans la

On a aussi tourné notre petit réseau Star-Analyser vers la nébuleuse M57 de la Lyre (figure 15) pour remarquer que des spectres peuvent aussi être uniquement en brillance (on dit en émission) au lieu d'être en absorption.

On a vu en figure 9 que l'étoile Sheliak avait les deux types de raies en absorption et en émission alors que M57 n'émet que dans deux longueurs d'ondes exclusivement: le rouge et le bleu. Pourquoi? L'atelier astronomie du lycée étant pérenne, les futures promotions d'élèves pourront certainement apporter des éléments de réponse, mais aussi amener de nouvelles questions... Site web de l'atelier : <http://ww3.ac-creteil.fr/Lycees/77/gastonbachelardchelles/astro/astro.htm>

B = magnitude dans le bleu, mesurée entre 390 et 490 nm

V = magnitude dite visible qui correspond au maximum de sensibilité de l'œil, mesurée entre 505 et 595 nm.