

Les Cahiers Clairaut

Hiver 2009 n° 128

Éditorial

L'année 2009 a été déclarée année mondiale de l'astronomie en l'honneur de Galilée qui, il y a 400 ans, eut le premier l'idée d'observer le ciel étoilé à l'aide d'une lunette astronomique de sa fabrication. Il nous a semblé utile de consacrer une grande partie de ce numéro des Cahiers Clairaut aux instruments astronomiques. L'histoire de ces instruments nous est racontée (p. 11) mais bien avant ces instruments le premier "capteur de lumière" est l'œil nu. Dès la maternelle il permet déjà "d'apprendre le ciel et de rêver" (p. 7). Au collège ou au lycée des séances d'observations astronomiques sont possibles avec des élèves, pour les préparer vous lirez les indications données (p. 27).

Certains lycées comme le lycée Branly à Créteil proposent aux élèves de construire un instrument mythique : un astrolabe en laiton (p. 29). Au lycée de Chelles les élèves prolongent l'étude de la spectroscopie au programme par des approfondissements (p. 2). D'autres encore observent le Soleil avec les précautions qui s'imposent (p. 25). Dans le domaine de la recherche l'Europe vient de décider de construire un télescope géant, le E-ELT dont la surface collectrice aura 42 m de diamètre (p. 20). Ce télescope utilisera les techniques modernes de l'optique adaptative et active (p. 16) Nous vous souhaitons d'effectuer de très bonnes observations du ciel.

Christian Larcher
Larcher2@wanadoo.fr

À vos agendas !

La prochaine Ecole d'Eté d'Astronomie
aura lieu à Col Bayard (Gap)
du mardi 17 août au mardi 24 août 2010.

Pensez à renouveler votre abonnement

Avec nos élèves

Un atelier astro de lycée en observatoire professionnel

Gilles Dodray p 2

Avec nos élèves

Apprendre le ciel et rêver avec Callisto **Monique Saint Georges**

p 7

Thème : LES INSTRUMENTS

p 10

Histoire

Histoire de lunettes et télescopes (1)

Daniel Bardin p 11

Article de fond

Instruments du futur : les enjeux

Cécile Ferrari p 16

Mots croisés

p 19

Article de fond

E-ELT futur télescope géant européen au sol

Eric Pantin p 20

Solutions mots croisés

p 24

Observation

Observation du Soleil

Roger Meunier p 25

Observer avec les élèves

H. Faivre, R. Cavaroz, P. Causeret p 27

Avec nos élèves

Fabriquer un astrolabe au lycée

Thierry Boucher p 29

Ciel d'hiver

Pierre Causeret p 32

Reportage

Pêcheur d'étoiles en Méditerranée

Christian Larcher p 33

Lecture pour la Marquise

Christian Larcher p 35

remue-méninges

p 35

Les éclipses de l'hiver

p 36

Solution remue-méninges

p 36

Vie de l'association

EEA 2009

Francis Berthomieu p 37

Jacques Berlioux

R. Fustier ; Suzy Collin-Zanh ; G Bouteville p 38

CLEA et AMA09 dans le Lot

Jean Ripert p 39

Un atelier astro de lycée en observatoire professionnel

Gilles Dodray, lycée Gaston Bachelard, Chelles

L'atelier 2
r

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. Elèves 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 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.obsppm.fr/>).

–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 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.obsppm.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.

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 α , H β et H γ 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.

CC n° 128 hiver 2009

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).

CC n° 128 hiver 2009



Fig. 4 A 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.

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)

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), 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

3

| 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 |



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

| | | | | | | | |
|---|------|---------|------------|---------|-------------|------------|----|
| 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.

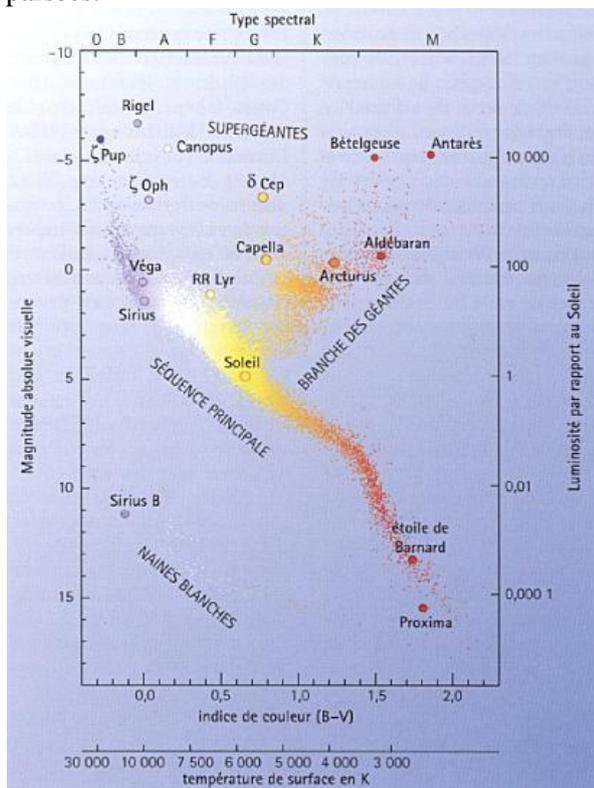


Fig. 8 Ce diagramme de Hertzsprung-Russell représente la position des étoiles en fonction de leur température en abscisse et de leur magnitude absolue en ordonnée. On remarque que l'axe des abscisses est aussi gradué, en bas, en indices B-V et en haut, en types spectraux car ces trois notions (température,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

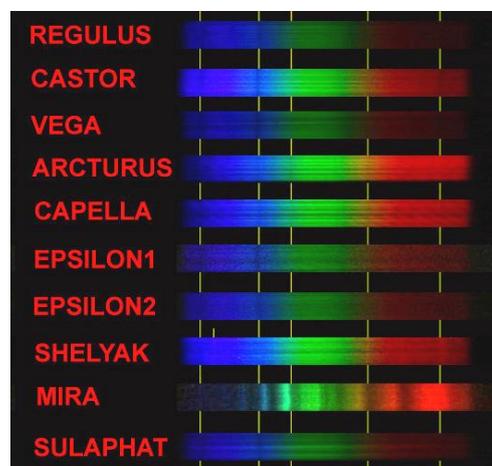


Fig. 9 Quelques spectres d'étoiles remarquables. On a placé des traits jaunes verticaux pour reconnaître des raies identiques sur des spectres différents. En plus des trois raies de l'hydrogène, on en a repérées deux autres : une dans le vert et l'autre dans le jaune.

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, Vega, 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

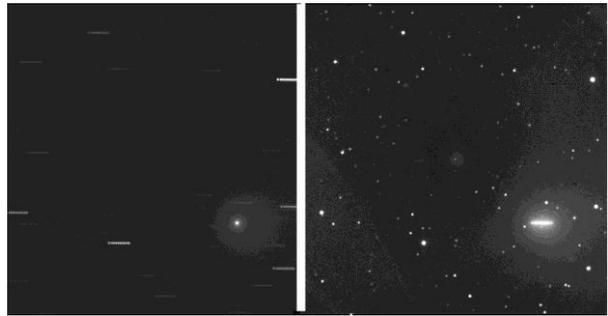


Fig. 14 Deux compositages par Dorine de 10 images de la comète Lulin prises au T60. A gauche en alignant les images sur la comète (les étoiles se sont déplacées en apparence par rapport à la comète). A droite en alignant les images par rapport aux étoiles (le déplacement de la comète dans le ciel est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

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

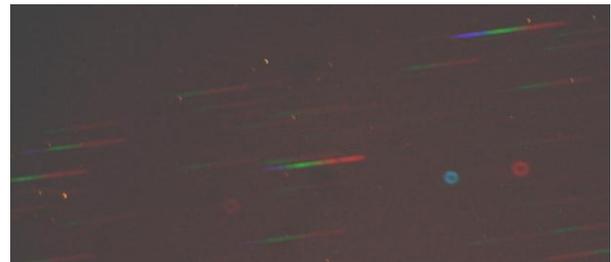


Fig. 15 Le spectre de la nébuleuse M57 de la Lyre pris dans les mêmes conditions que les précédents. Au lieu de toute une déclinaison des couleurs de l'arc-en-ciel, seules deux couleurs de spectre sont présentes: une rouge et une bleue, chacune en émission. La troisième image de M57 à gauche est l'image 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 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/ast>

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.

ro.htm.

Apprendre le ciel et rêver avec Callisto

Monique Saint Georges, Limoges

Cet article décrit un tissage subtil entre le réel et l'imaginaire. L'approche scientifique du réel repose sur l'observation, l'approche explicative sur les mythes primitifs. Ce va et vient entre légende et réalité favorise la mise en place d'une méthodologie d'observation. Imaginer permet de mieux apprendre tandis qu'apprendre nourrit l'imaginaire.

L'école maternelle est un lieu d'expériences diverses où les enfants observent, réfléchissent, imaginent, mémorisent. On peut citer, à ce propos, les récents programmes : *"Elle élargit leur univers relationnel et leur permet de vivre des situations de jeux, de recherches, de productions libres ou guidées, d'exercices riches et variés qui contribuent à enrichir la formation de leur personnalité et leur éveil culturel"* (BO hors série n°3, 2008).

La découverte du ciel, telle qu'elle a été proposée à des enfants d'une école maternelle du Limousin (école maternelle Jolibois de Bellac) a permis de réaliser ce tissage subtil mettant en résonance le réel et l'imaginaire : imaginer pour mieux apprendre, apprendre pour nourrir l'imaginaire.

Les séances ont été réalisées en moyenne et grande section. Elles proposent une première approche des phénomènes astronomiques (course apparente du Soleil dans le ciel pendant la journée, rythme cyclique des jours et des nuits, mouvement apparent des constellations pendant la nuit). Le choix a été fait de mener en parallèle l'approche scientifique (basée sur l'observation) et l'approche par les mythes ou les contes "explicatifs" (comme on le verra plus loin dans le cas du Soleil). Le domaine de l'imaginaire, qui est sollicité ici, n'est pas celui des simples histoires (si ce n'est à l'occasion des situations d'entrées, habituelles à l'école maternelle) mais plutôt celui des mythes et des contes, premières explications des phénomènes célestes depuis les temps les plus anciens. Les deux domaines contribuent à l'apprentissage : l'approche scientifique par l'acquisition de méthodes et de quelques connaissances fondamentales sur le caractère cyclique des phénomènes astronomiques, l'approche mythologique par l'implication profonde de chaque individu dans des histoires fortes, qui le motivent et le concernent.

Les mythes attachés aux phénomènes célestes parlent aussi des hommes, et les enfants peuvent s'y retrouver parce qu'ils parlent d'eux.

Le jour et la course du Soleil

Au début de la séquence, les enfants de moyenne et grande section sont répartis dans différents groupes où leur sont lues des poésies, des contes et des comptines à propos du Soleil. Les enseignants leur demandent de parler du Soleil, de le dessiner. Puis, "ils vont au soleil" et jouent avec les ombres. Dans la cour, il y a beaucoup d'arbres et, selon l'heure des jeux, leurs ombres ne sont pas à la même place. Une décision collective est prise : il faudrait faire des observations plus précises. On convient d'un endroit où se placera un enfant observateur (chacun à son tour), et on note quel est l'arbre qui lui cache le Soleil. Conclusion : *"le Soleil, il a bougé"*.

C'est alors que la maîtresse raconte l'histoire de Hô-hi l'archer, inspirée des "Contes des quatre vents" (de Natha Caputo, Nathan, 1987)¹. Ce conte parle de la course du Soleil : ce dernier, craignant l'archer Hô-hi (assez habile pour l'atteindre de ses flèches), monte prudemment dans le ciel puis se cache le soir derrière les collines quand il craint le retour de Hô-hi.

Les enfants sont bien conscients que c'est une légende : *"Si on visait le Soleil avec une flèche, on le toucherait pas, il est bien trop haut !"*.

¹ Il y a eu beaucoup de discussions entre les enseignants de l'école à ce moment là : la première idée était de raconter le mythe grec de Phaéon, fils d'Hélios ; contre l'avis de son père, le héros conduisit le char du Soleil mais ne put maîtriser les chevaux et, après être monté dans le ciel, fut précipité dans les eaux d'un fleuve. Mais la fin tragique de Phaéon, fils aventureux et imprudent, a été jugée trop dure pour les enfants.

Mais alors, pouvons-nous repérer si le Soleil monte vraiment dans le ciel, puis redescend ? On discute : il faudrait pouvoir se souvenir de toutes ses positions dans la journée. L'enseignant reproduit alors, en plusieurs exemplaires, l'horizon tel qu'on peut l'observer depuis la cour avec ses multiples repères d'arbres et de bâtiments. Les enfants, toujours du même point d'observation notent la position du Soleil, matin midi et soir : *"C'est comme dans l'histoire d'Hô-hi, on dirait que ça monte et que ça redescend"*.

Le va-et-vient entre légende et observation a donné un sens à la mise en place d'une méthode d'observation, avec choix des repères et relevé de résultats.

La nuit et la ronde des étoiles

Le thème de la nuit est abordé comme celui du jour, par des contes ou des poésies. Tout ceci prépare la prochaine surprise : dans une des classes, on a monté un planétarium, grande bulle gonflable sous laquelle les enfants vont venir à plusieurs reprises par groupe de quinze. C'est un présentateur extérieur à l'école qui anime la première séance, soulignant ainsi le caractère exceptionnel, les enseignants de l'école prennent le relais pour les séances suivantes.



Première "nuit" : la Grande Ourse

Les enfants se familiarisent vite avec la bulle, la touchent, tournent autour et acceptent tous d'y entrer. L'obscurité se fait progressivement, comme si le Soleil se couchait. La situation d'observation, au départ, correspond au coucher du Soleil ce jour là. Elle donne la possibilité d'un échange éventuel entre enfants et parents qui observeraient le ciel, de chez eux, à ces moments-là. A l'époque où cette séquence a été menée, c'était l'hiver.

Le présentateur avec le pointeur, désigne les étoiles les plus brillantes de la Grande Ourse et montre, à plusieurs reprises, comment trouver l'étoile Polaire. Les enfants accompagnent le déplacement du pointeur en répétant spontanément les consignes. Puis

la lanterne de projection est mise en route : *"Les étoiles, elles tournent !"*. On cherche de nouveau la Grande Ourse puis l'étoile Polaire : on voit toujours la constellation, même quand elle est bas dans le ciel... et ceci jusqu'à ce que le soleil réapparaisse. La lumière revient et le présentateur raconte l'histoire de Callisto/la grande Ourse ; c'est une version simple, qui se termine par : "Jupiter envoya Callisto dans une partie du ciel où il pourrait la voir à tout instant, toutes les nuits, tout près de l'étoile polaire autour de laquelle elle tourne indéfiniment". La version qui a été choisie fait explicitement référence au caractère circumpolaire de la constellation. Les enfants de moyenne et grande section racontent ensuite l'histoire à leurs camarades de la petite section. Voici leur récit, consigné et recopié sur une affiche par l'enseignant, après un travail sur le texte, avec toute la classe.

La Grande Ourse

Jupiter est un dieu très puissant. Il fait tomber la foudre et gronder le tonnerre. Mais Jupiter s'ennuie ; il fait la connaissance d'une belle jeune fille qui s'appelle Callisto. Ensemble, ils ont un enfant, un petit garçon du nom d'Arcas. Mais la femme de Jupiter n'est pas contente et, folle de jalousie, elle attrape Callisto par les cheveux et la transforme en Ourse. Jupiter ne peut supporter ça et va chercher l'ourse et son fils. Il les emmène dans le ciel pour les transformer en étoiles. Ainsi, il peut toujours les voir.

Deuxième et troisième "nuits" : Cassiopée et Orion

Le lendemain puis le surlendemain, nouvelles visites sous la "bulle" : tout le monde est à l'aise, on joue avec l'acoustique un peu particulière, on s'exerce à retrouver les constellations que l'on connaît déjà (un enfant guide la main de l'enseignant qui tient le pointeur, avec l'accord des autres). Les enfants découvrent ensuite Cassiopée (associée au mythe d'Andromède et Persée).

A la sortie du planétarium, ils représentent le "W" de cette façon :



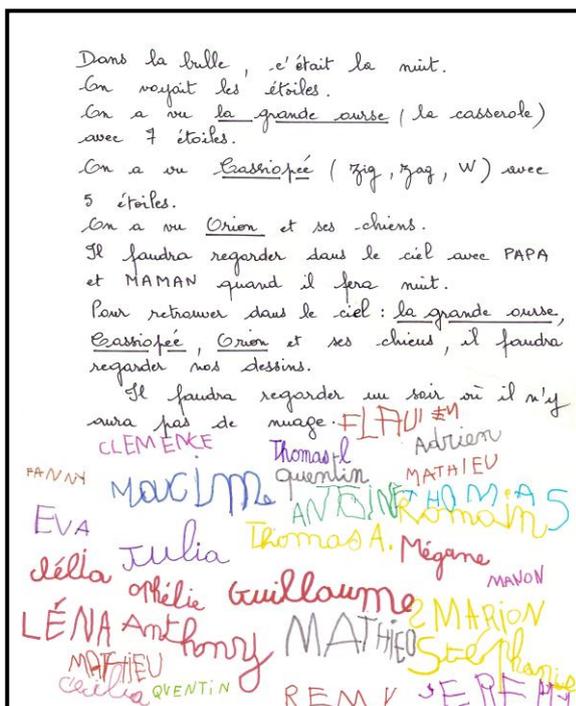
Mais celui qui les fascine le plus (lors de la troisième séance), c'est Orion, et le combat sans merci qu'il livre au Scorpion. Le caractère figuratif du "grand chasseur" est très évocateur pour leur imaginaire.



Pour sortir du planétarium, il faut dire le mot de passe : il est choisi par le groupe parmi les noms de constellations qu'on sait reconnaître.

Et après ces trois nuits...

Après chaque présentation, les enfants ont représenté les constellations observées. A l'issue des trois séances, chacun présente sa production aux autres et la classe fait un bilan collectif des observations réalisées sous le planétarium ; l'enseignant écrit sous la dictée, sur une affiche où



chacun appose sa signature.

Pour clore la séquence, les enseignants demandent cette fois-ci de représenter les constellations qu'ils ont observées, "le plus fidèlement possible". Pour répondre à cette consigne, les enfants demandent du papier noir et de la peinture blanche.



Certains choisissent leur constellation préférée (on voit souvent Orion, représenté en général de façon très figurative), d'autres préfèrent les représenter toutes sur la même feuille.

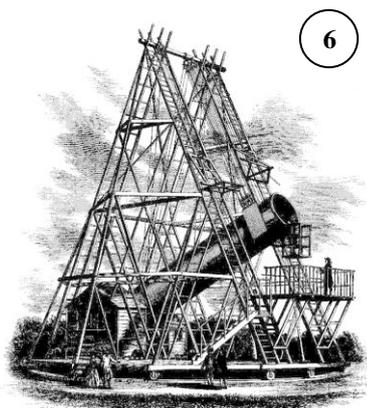
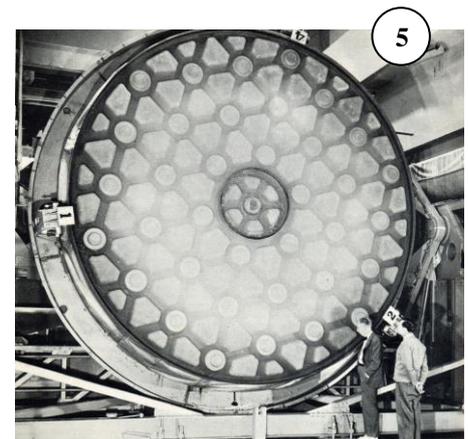
Les enfants de maternelle sont rentrés avec enthousiasme dans ce projet astronomique. Ils ont beaucoup aimé jouer avec les mots nouveaux que sont les noms des constellations. Mais que reste-t-il de cet apprentissage quelques mois plus tard ? Qu'est-ce qui a été mémorisé ? Le mythe ? La connaissance du ciel ? Est-ce qu'il n'y a pas eu risque d'amalgame ?

Rendez-vous donc, dans notre prochain article : "Le retour du planétarium"

L'affiche reproduite ici figure dans l'ouvrage qui retrace en détail les séquences évoquées dans l'article : « le ciel et l'imaginaire », Monique Saint-Georges et Marie Thérèse Chastagnol, collection Doubles Pages ; SCEREN, CRDP du Limousin.

Le planétarium utilisé dans l'école a été emprunté à l'IUFM du Limousin. Deux modèles sont actuellement accessibles au prêt : le Starlab (le plus ancien) et le Cosmodyssée (acquisition récente, fabriqué par RSA, Clermont Ferrand).

THEME : LES INSTRUMENTS



1 Télescope spatial Hubble (crédit NASA) ; **2** Lunette de Yerkes (crédit wide world) ; **3** Télescope du Mont Wilson (crédit Andrew Dunn) ; **4** Very Large Telescope de l'ESO (crédit ESO) ; **5** Miroir de 5 m du Mont Palomar (crédit California Institute of Technology) ; **6** Télescope de Herschel ; **7** Lunette de James Gregory (crédit J-P. Martin) ; **8** Réplique du télescope de Newton (crédit Andrew Dunn).

Histoire de lunettes et télescopes (1)

Daniel Bardin

Un parcours au travers des derniers siècles indique comment l'optique astronomique a permis de découvrir un univers jusque-là insoupçonné ; bouleversements des idées, inventions, progrès techniques et scientifiques se succèdent et continuent de nos jours, bien évidemment. Vous trouverez aussi dans ces pages quelques notes sur les aberrations optiques, les améliorations apportées par les verriers et les opticiens, les différentes combinaisons optiques, les tests de contrôles et les montures des instruments. Ce numéro des Cahiers Clairaut ne contient que la première partie de cet article. Vous trouverez la suite sur les télescopes et les montures dans le prochain numéro.

Depuis l'émergence de la conscience humaine, nos très lointains ancêtres ont forcément tourné leurs regards vers le ciel. Toutes les grandes civilisations historiques nous ont légué des traces de leurs découvertes, quelquefois balbutiantes : expériences, méthodes, calculs, mesures et instruments ingénieux qui témoignent de l'insatiable curiosité des hommes pour le ciel. Néanmoins, l'œil nu resta bien longtemps le seul capteur de la lumière venant des astres. À la fin du 16^e siècle, une invention optique allait permettre de scruter et de déchiffrer la voûte céleste avec une acuité jusqu'alors impensable, ouvrant ainsi la voie à la démarche scientifique moderne.

La lunette de Galilée

Les bésicles destinées à la correction des défauts de la vue étaient en usage dès la fin du 13^e siècle, au moins. Par ailleurs, dans un contexte assez embrouillé, les historiens citent les noms d'artisans lunetiers hollandais (Lipperhey, Mélius, et Janssen, entre autres) comme constructeurs des lunettes d'approche, à la fin du 16^e siècle. Considérées comme de simples curiosités, ces lunettes furent d'abord utilisées en secret par les militaires. En 1589, Giambattista Della Porta, souvent cité comme inventeur de la lunette, esquaissa une théorie de l'appareil à deux lentilles dans son ouvrage "Magia Naturalis". Galilée (1564-1642) n'apprit qu'en avril ou mai 1609 l'existence de la lunette grâce à ses correspondants Fra Paolo Sarpi et, à Paris, Jacques Badouère (alias Jacob Badovere). Aidé par ses élèves dans son atelier de Padoue, Galilée entreprit aussitôt la construction d'une première

lunette grossissant modestement 3 fois ; le Musée de l'histoire de la science de Florence en expose deux autres qui grossissent 14 et 20 fois.



Fig. 1 Une lunette de Galilée. C'est avec un instrument de ce type, environ 30 mm de diamètre et 1m à 1,5 m de focale que Galilée a révolutionné l'astronomie.

Galilée utilisa aussitôt ces tubes optiques pour explorer le ciel. Parmi les lunettes construites par Galilée, la plus puissante avait un grossissement de 30. Satellites de Jupiter, relief lunaire, phases et diamètre apparent variable de Vénus, étoiles innombrables dans la Voie Lactée : dès le milieu de 1610, la physique d'Aristote était définitivement ébranlée. Les objectifs ont une trentaine de millimètres de diamètre et les distances focales évoluent aux alentours de 1 mètre à 1,50 mètre ; les oculaires, **divergents** et situés en avant du plan focal de l'objectif donnent une image à l'endroit c'est-à-dire conforme à l'objet observé.

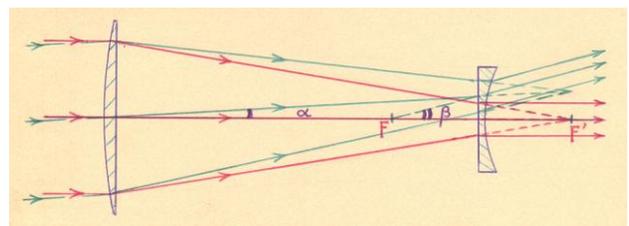


Fig. .2 Principe de la lunette de Galilée (objectif convergent et oculaire divergent). F', le foyer de l'objectif, coïncide avec le foyer arrière de l'oculaire; le grossissement est égal au rapport des angles β/α .

Avantages et inconvénients de sa lunette

Le verre des objectifs doit être clair et homogène, le polissage soigné ; ces lentilles simples et de faible diamètre captent cependant 20 à 25 fois plus de lumière que l'œil, ce qui permet de voir des astres invisibles à l'œil nu. En outre, les grossissements permis par des focales encore modestes sont néanmoins suffisants pour aboutir à un pouvoir séparateur bien meilleur que celui de l'œil limité à 1 minute d'angle ; la lunette révèle des détails, des formes et des surfaces là où l'œil ne voit qu'un point.

Cependant, lorsqu'on examine dans notre entourage un objet à l'aide d'une lentille divergente, cet objet est vu **plus petit qu'à l'œil nu, un peu flou et à l'endroit** ; c'est le cas de l'objectif de la lunette (pupille d'entrée) vu depuis l'oculaire. Le premier inconvénient de la lunette de Galilée reste donc l'étroitesse du champ observé : au travers de ses instruments, le génial pisan ne pouvait voir, au mieux, qu'une portion de ciel de 15 à 18 minutes d'arc de diamètre. Heureux hasard qui facilita la découverte : le ballet des satellites autour de Jupiter se déroule dans un champ comparable.

Contemporain de Galilée, Johannes Kepler (1571-1630) proposa dès 1611 de remplacer l'oculaire de Galilée par une lentille convergente nommée depuis "oculaire de Kepler". Cette formule optique ne fut vraiment adoptée qu'un demi-siècle plus tard en particulier sous l'impulsion de Christiaan Huygens (1629-1695) : elle donne un champ plus large où l'image est retournée (rotation de 180° dans son plan) et permettait déjà de placer au foyer des objets fins qui étaient les précurseurs des micromètres. À notre époque, l'observation visuelle utilise toujours des oculaires convergents mais composés de plusieurs lentilles donc beaucoup plus performants (voir le paragraphe sur les oculaires).

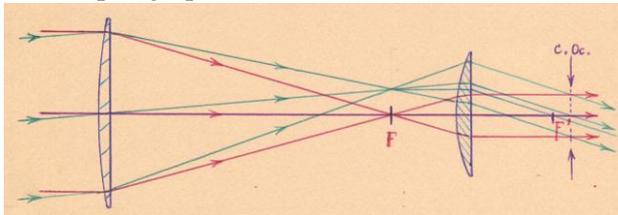


Fig. 3 F est le foyer image de l'objectif mais aussi le foyer objet de l'oculaire ; les faisceaux qui émergent de la lunette sont chacun faits de rayons parallèles et se croisent au niveau du cercle oculaire, là où passe toute la lumière qui a traversé l'objectif.

Progrès optiques

Les premières lunettes présentaient de nombreux défauts (voir l'encadré sur les aberrations à la fin de

cet article). Il a fallu plusieurs siècles pour arriver à les corriger presque en totalité.

Les astronomes du début du 17^e siècle observaient des champs célestes peu étendus et des objets assez brillants, compte tenu du faible diamètre des objectifs de lunettes et des oculaires à champ étroit (cf. § sur les oculaires). Ces observateurs découvrirent, par expérience, que la netteté des images s'améliorait sensiblement si l'on adoptait des focales très longues au regard du diamètre des lentilles, donc un très grand rapport F/D. Ils corrigeaient ainsi quelque peu, les aberrations chromatiques et celles de sphéricité ; ainsi, Chrysale eut l'occasion de brocarder "les longues lunettes à faire peur aux gens" en 1672 (Molière, Les Femmes Savantes, II, 7).

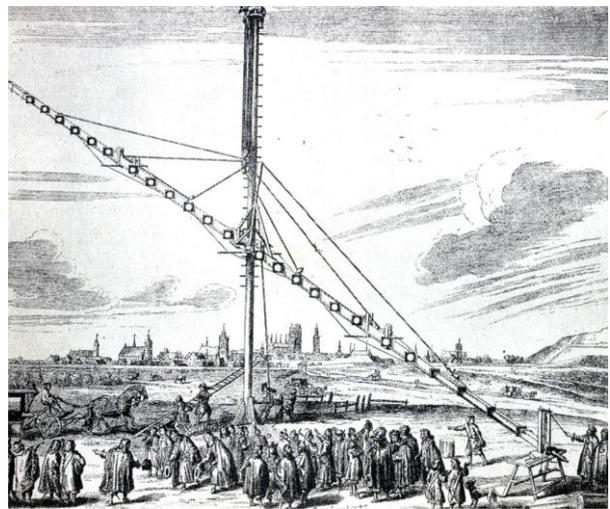


Fig. 4 La lunette du Polonais Hévelius (1611-1687) construite à Dantzig en 1673.

Comme toujours en sciences appliquées, et particulièrement en astronomie où les objets étudiés ne se trouvent pas à portée de main, les progrès émergent souvent des trouvailles techniques. Les verriers du 18^e siècle savaient produire du « verre au plomb » (le flint, comparable au cristal) plus réfringent que le verre ordinaire (le crown). C'est un avocat de Londres, Chester Moor Hall (1703-1771), qui démontra en 1733 qu'on pouvait tailler dans ces verres un objectif à deux lentilles : la convergente en crown et la divergente en flint (63 mm de diamètre à $F/D = 11$ environ pour ses premières lunettes). Leonhard Euler (1707-1783) avait proposé en 1747 des solutions étonnantes, certaines peu satisfaisantes : deux lentilles de verre enchâssant une lentille d'eau par analogie avec l'intérieur de l'œil humain. Après une longue polémique avec les idées d'Euler, John Dollond (1706-1761) construisit, à partir de 1758, des lunettes achromatiques convenables malgré des

diamètres encore modestes (il était alors difficile de produire de grands disques homogènes de flint).

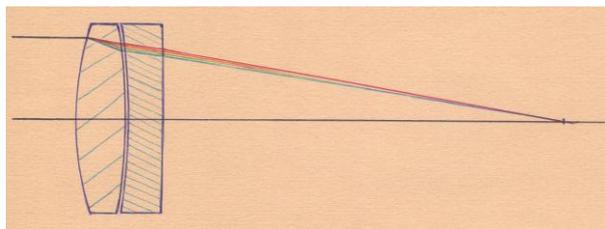


Fig. 5 La correction du chromatisme n'est pas réalisable de manière égale dans tout le spectre ; pour l'observation visuelle, on choisit la meilleure correction autour de la longueur d'onde du vert-bleu qui correspond à la sensibilité dominante en vision nocturne.

En jouant sur les courbures des lentilles et sur les indices des verres, de nombreux physiciens s'occupant de dioptrique (partie de l'optique concernant la réfraction) produisirent des formules variées pour construire des objectifs composés ; Alexis Clairaut (1713-1765), dans trois mémoires fondamentaux sur les perfectionnements optiques des lunettes, puis Jean Le Rond d'Alembert (1717-1783) établirent les bases rigoureuses de ces calculs. Parmi leurs continuateurs, on trouve John Herschel (1792-1871), Carl-Friedrich Gauss (1777-1855), Joseph Johann von Littrow (1781-1840) et Ernst Abbe (1840-1905).

Il faut aussi citer quelques trouvailles ou réalisations qui constituent des avancées notables. Le Suisse Pierre-Louis Guinand (1748-1824) mit au point un remuage du verre en fusion qui permettait de couler des disques homogènes et exempts de défauts. Le physicien allemand Joseph von Fraunhofer (1787-1826), inventeur du spectroscope, construisit en 1824 une lunette pour l'observatoire de Dorpat (actuellement Tartu, en Estonie) : excellent objectif achromatique de 24 cm de diamètre et de presque 3 m de focale, monture équatoriale "allemande" qui servit de modèle novateur. Avec cet instrument, Wilhelm Struve mesura 3000 étoiles doubles, dont 2300 découvertes par lui.



Fig. 6 La lunette de Dorpat.

James Lick (1796-1876), millionnaire américain, décida à l'automne de sa vie de faire construire un observatoire sur le mont Hamilton (Californie) à 1400 m d'altitude. Après bien des péripéties, de 1876 à 1888, la lunette (91 cm de diamètre et 17,60 m de focale) voit sa première lumière : Saturne. Les grandes lunettes atteignirent leur apogée en cette fin du 19^e siècle avant d'être abandonnées. À cela plusieurs raisons : les résidus d'aberrations ne sont plus négligeables lorsqu'on augmente le diamètre des objectifs, l'homogénéité des disques de verre est malgré tout délicate à obtenir et surtout les lentilles se déforment sous l'action variable de la gravité lorsqu'on incline la lunette en visant le ciel puisqu'elles ne sont maintenues que par leur bord. Pour ne pas réduire à néant la précision du polissage qui doit atteindre environ 1/30 de micromètre dans le cas des lentilles, on serait tenté d'adopter une grande épaisseur de verre pour rigidifier celles-ci mais le verre épais absorberait beaucoup de lumière ! La plus grande lunette toujours en service a 102 cm de diamètre pour 19,30 m de focale, elle se trouve à l'observatoire de Yerkes, à Williams Bay, non loin de Chicago (U.S.A.).

Les oculaires

En observation visuelle dans une lunette ou un télescope, l'oculaire moderne est convergent et joue un rôle précis : il sert de loupe pour examiner les détails minuscules de l'image fournie par l'objectif. Le grossissement de l'instrument doit être adapté à l'objet observé mais aussi à la turbulence atmosphérique locale ; c'est pourquoi il faut toujours disposer d'un lot d'oculaires soigneusement choisis et de focales différentes.

L'image aérienne de l'objectif donnée par l'oculaire se nomme le cercle oculaire (noté C.Oc. sur la figure 3) ; c'est le lieu où passent tous les rayons collectés par l'objectif, où l'œil doit se situer et qui ne doit pas mesurer plus que le diamètre de la pupille de l'œil, soit 6 mm. Le grossissement minimum γ – dit équipupillaire – d'un instrument a donc pour valeur le diamètre D de l'objectif en millimètres divisé par 6 ; la focale correspondante de l'oculaire vaut la mesure de D divisée par γ . Dans tous les cas, le grossissement se mesure également par le rapport des focales F / f (cf. fig.3). Le grossissement résolvant, intermédiaire, vaut D exprimé en millimètres ; c'est le cas où l'œil peut voir sous un angle de 1' les détails de l'image fournis par l'objectif. Pousser le grossissement un peu plus loin procure un certain confort mais ne s'avère nécessaire que dans des cas bien définis (en planétaire ou en détection et mesure d'étoiles

doubles par exemple) et si tous les autres paramètres sont optimums. En effet, des considérations mettant en regard les caractéristiques de l'instrument, la luminosité et le contraste de l'objet observé, le pouvoir séparateur de l'œil et les lois de la diffraction permettent de situer la valeur du grossissement maximum à $D \times 2,5$ dans le cas où le

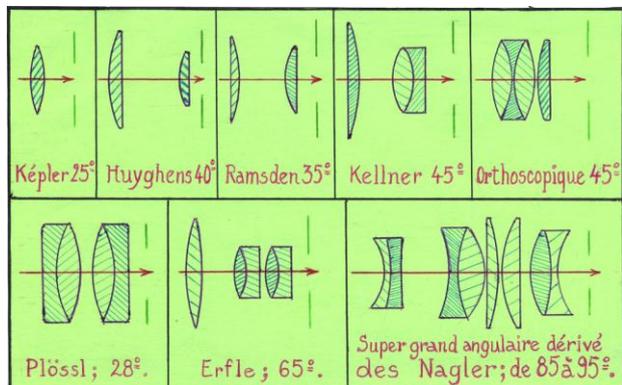


Fig. 6 Les principaux types d'oculaires.

télescope (ou la lunette) peuvent être considérés comme « parfaits » et l'atmosphère strictement limpide et calme (D étant toujours en mm).

Les progrès dans la conception des oculaires ont suivi ceux des objectifs ; de la lentille simple proposée par Kepler aux oculaires modernes composés de 8 lentilles, on a vu les aberrations de mieux en mieux corrigées et le champ de vision s'élargir à l'aide de formules optiques très élaborées. Le tableau de la figure 6 présente la vue en coupe de quelques oculaires avec indication moyenne du champ propre de chaque formule ; le champ observé sur le ciel vaut la valeur du champ propre de l'oculaire divisé par le grossissement de la lunette. Sur chaque schéma le trait interrompu vert, perpendiculaire à l'axe optique rouge, figure l'endroit où se trouve le cercle oculaire de chaque modèle.

LES ABERRATIONS

Les lentilles présentent un certain nombre de défauts qui sont détaillés ici. Dans un montage optique, toutes les aberrations sont présentes et additionnées à des degrés divers ; en fonction de l'usage qu'on prévoit de ce montage, la correction de certaines d'entre elles peut être moins poussée que d'autres.

Dans les croquis, certaines proportions et angles sont exagérés pour une meilleure lisibilité des phénomènes décrits.

L'aberration chromatique

Elle concerne toutes les lunettes réalisées avec des objectifs à lentilles simples : les images du ciel s'agrémentent de couleurs parasites qu'on ne peut attribuer aux objets visés. Ces auréoles bleues ou rouges qui bordent les étoiles sont dues à la réfraction de la lumière par les lentilles : le phénomène (cité depuis longtemps comme "phénomène des couleurs dans le verre cassé", en particulier par Sénèque) a été expliqué par Isaac Newton (1642-1727) qui montra à l'aide de prismes la décomposition de la lumière blanche par réfringence.

D'ailleurs, Newton comparait fort justement le bord d'une lentille convergente vue de profil au bord anguleux d'un prisme vu lui aussi de profil

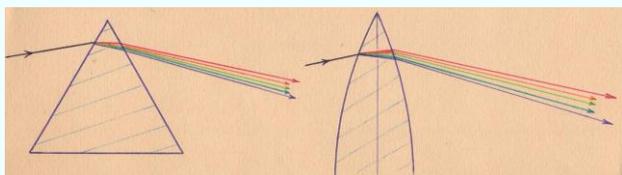


Fig. 7 Réfraction dans un prisme et une lentille.

Les rayons bleus, plus déviés, sont focalisés plus près de l'objectif que les rayons rouges ; l'angle dépend l'indice de réfraction des milieux traversés et des différentes longueurs d'ondes de la lumière.

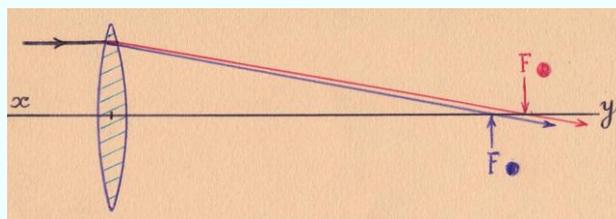


Fig. 8 Foyer rouge et foyer bleu.

On démontre que si le rapport entre focale et diamètre d'une lentille simple (F/D) s'accroît, l'aberration chromatique devient beaucoup moins gênante car les courbures des faces sont moindres.

Les autres aberrations

Les surfaces des lentilles et des miroirs destinés à l'optique sont obtenues par abrasion et polissage ; les gestes techniques de ces opérations aboutissent toujours dans un premier temps à des portions de sphères. L'analyse géométrique des trajets lumineux sur l'axe et en dehors de l'axe optique principal était loin d'être résolue à l'époque de Newton. Les opticiens modernes ont su, depuis, calculer et générer des surfaces paraboliques, hyperboliques et même asphériques qui sont destinées à corriger nombre de défauts dus aux surfaces sphériques. Voici quelles sont ces aberrations dites géométriques qui concernent autant les lentilles que les miroirs :

L'aberration de sphéricité

Elle est décrite et mesurée **sur l'axe optique** ; les rayons marginaux ont un foyer plus proche de l'objectif que les rayons centraux (figure 10). Le volume qui englobe le faisceau des rayons dans la zone focale se nomme la caustique. Comme pour l'aberration chromatique, mais pour une raison toute différente, l'aberration de sphéricité s'amenuise quand le rapport F/D de la lentille ou du miroir s'accroît.

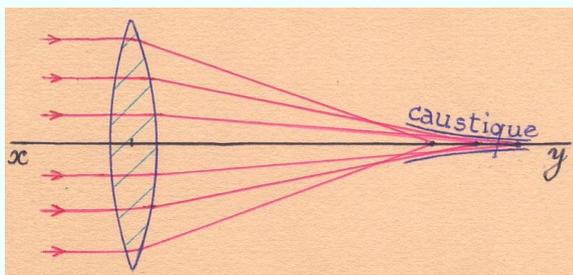


Fig. 10 Aberration de sphéricité

D'autres aberrations sont **hors de l'axe** optique :

L'astigmatisme

Dû à des différences de marche dans des plans croisés de rayons (ABF perpendiculaire à CDG sur la figure 11), ce défaut concerne les faisceaux lumineux qui atteignent l'objectif sous certaines inclinaisons mais peut aussi se trouver sur l'axe si l'objectif subit des contraintes mécaniques et ne conserve pas très précisément sa forme de révolution (problème des barillettes des lentilles ou des supports des miroirs).

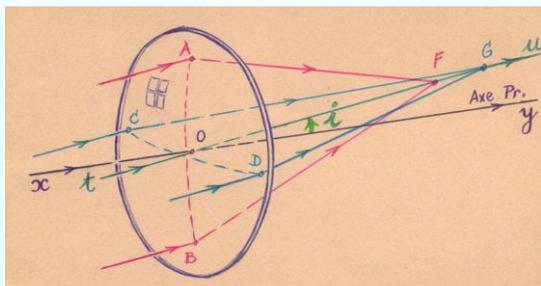


Fig. 11. L'axe principal de cette lentille se trouve en xy . Dans un faisceau incliné de l'angle i par rapport à xy , on distingue deux plans perpendiculaires ayant l'axe t en commun : un plan horizontal qui passe par C, G et D et un plan vertical qui passe par A, F et B. Les foyers de chacun des plans ne sont pas à la même distance de la lentille.

La courbure de champ

Les images hors de l'axe sont nettes sur une surface concave et non pas dans le plan théorique qui passe par le foyer F (figure 12).

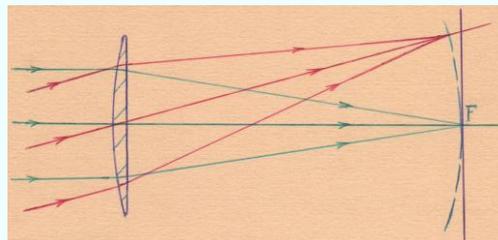


Fig 12. La courbure de champ.

La distorsion (figure 13)

Ce défaut est toujours difficile à combattre, à notre époque, dans les objectifs photographiques nommés "à grand angle" (90° de champ et plus) ; on y parvient assez bien par des combinaisons sophistiquées de lentilles multiples. En astronomie de position, pour des champs plus étroits (quelques degrés tout au plus), cette aberration doit être ramenée le plus près possible de zéro.

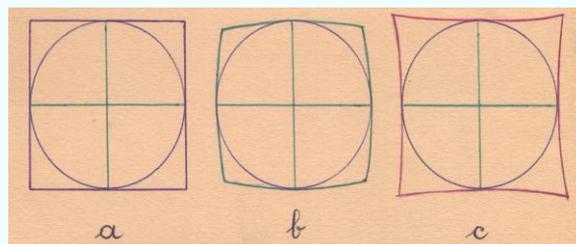


Fig. 13. Une mire *a*, strictement rectangulaire, est transformée en une image à bords incurvés par l'objectif : en "coussinet" en *b* et en "croissant", ou "barillet", en *c*.

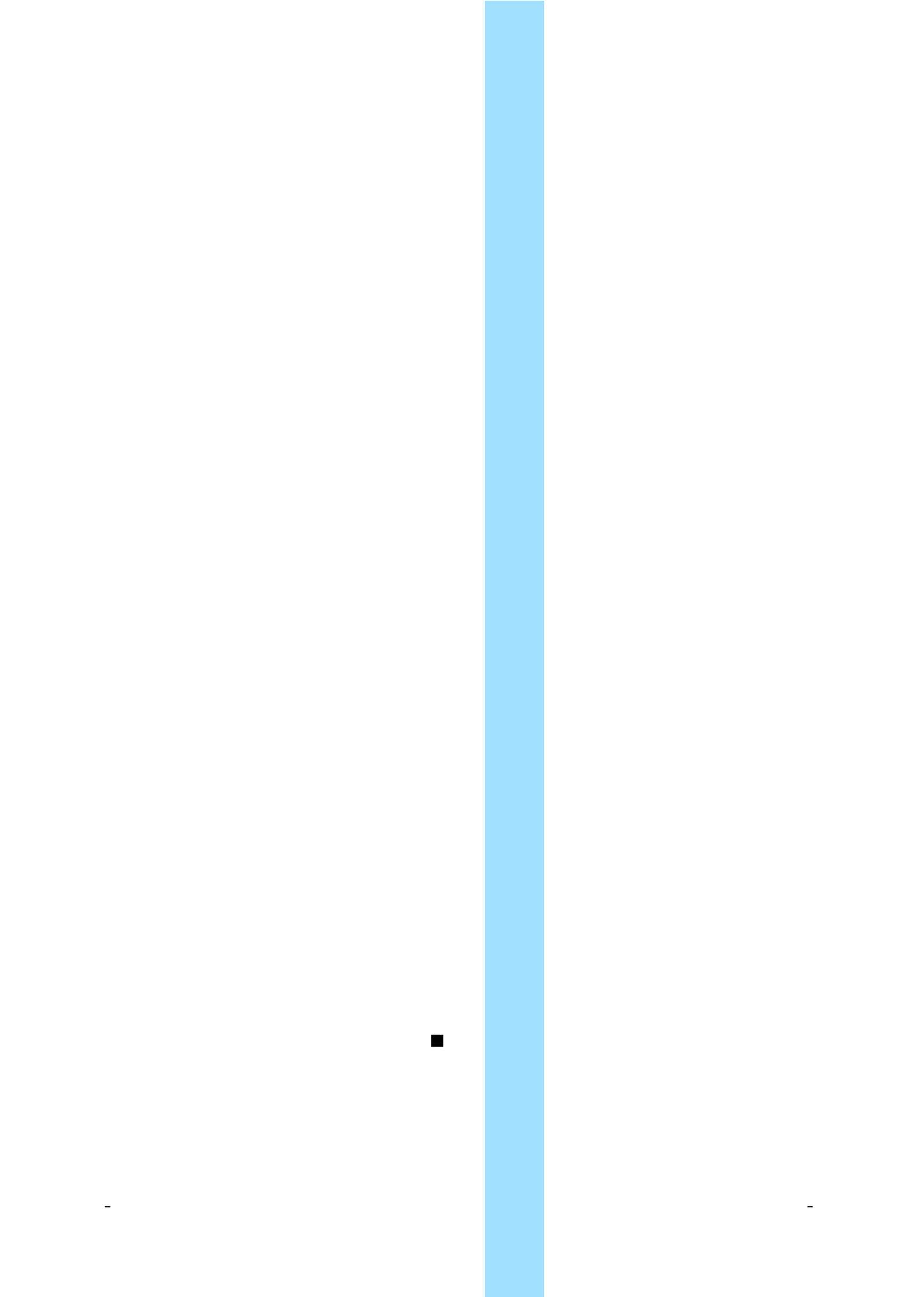
La coma

Il s'agit d'une aberration extra-axiale mettant en jeu une succession de taches de diffraction qui s'étalent et s'affaiblissent, faciles à détecter sur les images d'étoiles en bordure d'un grand champ : des aigrettes en forme d'oiseaux dont la pointe et l'axe sont dirigés vers le centre du champ.



Fig. 14 La coma

NDLR : Nous n'avons pas assez de place pour passer entièrement l'article de Daniel Bardin. Vous trouverez la suite sur les télescopes et les montures dans le prochain numéro des Cahiers Clairaut.



Instruments du futur : les enjeux

Cécile Ferrari, Professeure à l'Université Paris Diderot

De son vaisseau Terre, l'humanité scrute désormais l'Univers dans tous les domaines de longueurs d'onde. Le rayonnement thermique des corps les plus chauds aux plus froids de l'Univers inonde en effet tout le spectre électromagnétique. Outre les photons, de nombreux noyaux d'atomes interagissent avec l'atmosphère terrestre et son champ magnétique sans compter tous les processus d'accélération de particules et de réactions nucléaires qui complètent l'émission du ciel.

L'atmosphère terrestre agit comme un filtre. Ses molécules absorbent les photons dans de larges gammes d'énergie et rendent l'Univers pour bonne partie invisible du sol. Les fenêtres ouvertes vers le ciel depuis la surface terrestre laissent passer les photons du domaine visible, du domaine infrarouge moyen et du domaine des longueurs d'ondes radio. Les molécules dioxygène O_2 et d'ozone O_3 absorbent essentiellement les rayonnements X et ultraviolet alors que la vapeur d'eau absorbe le rayonnement infrarouge au-delà de $1 \mu m$, laissant quelques fenêtres ouvertes jusqu'à $20 \mu m$. Le dioxyde de carbone CO_2 et le méthane CH_4 absorbent aussi une partie du rayonnement infrarouge venu du ciel. La vapeur d'eau redevient transparente au rayonnement dans le domaine millimétrique et la fenêtre radio est grande ouverte au-delà de 1 cm de longueur d'onde.

La conquête du ciel "invisible" n'a donc pu se faire qu'en envoyant des satellites en orbite, dédiés à l'observation des différents rayonnements. Elle a été progressive depuis le début des années 1970 et a pris son véritable essor dans les années 1980 avec les satellites pionniers :

- Cos-B (1975-1982), réalisé par l'Agence Spatiale Européenne, dédié à la détection des sources dans le domaine du rayonnement gamma autour du GeV ;
- Sigma (1989-1994), lancé par l'URSS, pour observer l'Univers dans le domaine des rayons X et gamma (entre 1 keV et 1 MeV environ) ;
- IRAS (lancé par la NASA en 1983) pour découvrir le ciel infrarouge entre 10 et $100 \mu m$.

Ces télescopes-satellites ont leur descendance : le télescope Fermi (NASA-2007) scrute actuellement le ciel dans le domaine des rayonnements gammas, XMM et Chandra (NASA) travaillent de concert dans le domaine des rayons X. A la suite des satellites IRAS et ISO, les télescopes Spitzer et Herschell scrutent l'Univers en infrarouge avec des sensibilités et résolutions spectrales toujours accrues.

Les enjeux de développement des instruments du futur sont extrêmement divers suivant les domaines de longueurs d'onde. Ils tiennent tout autant à la méthode de détection des photons incriminés qu'à leur collecte par un télescope adapté. Chaque domaine mériterait d'être développé. Les enjeux de l'évolution des télescopes dans le domaine visible sont présentés ici.

La résolution spatiale d'un télescope

Le télescope d'un satellite ou d'un observatoire au sol focalise la lumière vers les détecteurs aptes à capter la longueur d'onde d'observation. La sensibilité de l'équipement dans son ensemble dépend évidemment de la sensibilité des détecteurs embarqués et de la capacité du télescope à transmettre toute l'énergie qu'il reçoit. Cependant un des paramètres essentiels reste la taille de la surface collectrice, c.-à-d. celle du miroir principal, puisque l'énergie provenant du ciel et interceptée par le télescope est proportionnelle à cette surface. Plus il sera grand, plus de photons seront détectés.

Longueur d'onde et énergie.

L'énergie d'un photon est égale à $E = h \nu$ où h est la constante de Planck et ν la fréquence du photon. Fréquence et longueur d'onde sont liées par la relation $\lambda = c/\nu$. L'énergie d'un photon dans le domaine des rayons X et gamma est usuellement exprimé en eV plutôt qu'en Joule, sachant que $1 \text{ J} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ eV}$.

L'avantage d'une grande surface collectrice pour un télescope est aussi d'accroître sa capacité à distinguer des objets proches l'un de l'autre, autrement dit sa résolution spatiale. En effet, le miroir circulaire ne capte qu'une portion circulaire de l'image du ciel. Le miroir se comporte comme une pupille diffractante et l'image d'une étoile ponctuelle est une tache, appelée tache d'Airy (figure 1).

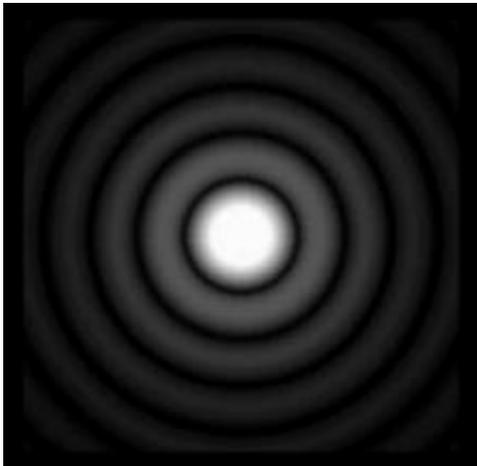


Fig. 1 Tache d'Airy d'une source ponctuelle diffractée dans le plan focal d'un télescope. On distingue les cinq premiers anneaux. Deux sources sont résolues quand le maximum de la tache de diffraction de la 2^e tombe au plus près à la distance du premier minimum sombre.

On y distingue au centre un maximum d'intensité et des anneaux concentriques séparés de zones sombres. Le premier anneau sombre est à la distance angulaire $a_0 = 1,22 \lambda/D$ où D est le diamètre du télescope et λ la longueur d'onde d'observation. Deux étoiles proches dans le ciel seront séparées si le maximum de la tache d'Airy de l'une tombe au mieux sur le premier anneau sombre de la tache de l'autre. On définit ainsi a_0 comme la résolution spatiale d'un télescope. La résolution spatiale d'un télescope de 8 m de diamètre dans le proche infrarouge, à $\lambda = 1,65 \mu\text{m}$, est $a_0 = 0,05''$ (" désigne la seconde d'arc qui peut aussi s'abréger en as). Dans l'infrarouge moyen à $\lambda = 10 \mu\text{m}$, $a_0 = 0,3''$ (ou 0,3as) c.-à-d. la Tour Eiffel vue de la Lune.

La formule $1,22 \lambda/D$ montre bien que, plus grand est le diamètre, meilleure est la résolution.

Optiques adaptative et active

La température de l'atmosphère terrestre change en fonction de l'altitude et ceci provoque un trouble dans les images des objets du ciel : c'est le phénomène de turbulence atmosphérique. L'atmosphère peut être modélisée comme la superposition de couches transparentes d'indice de réfraction variable, chacune modifiant le chemin d'un rayon lumineux de manière aléatoire, suivant la loi à l'interface $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$.

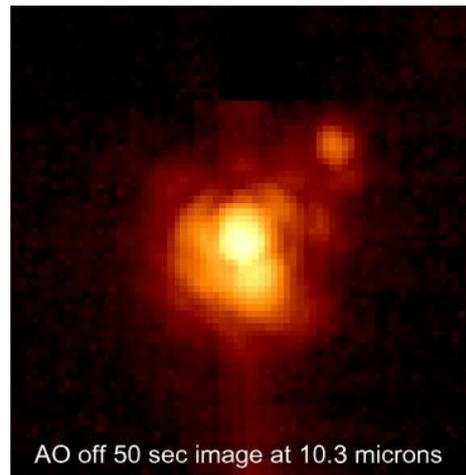


Fig. 2 Images d'une étoile observée en infrarouge, à $10,3 \mu\text{m}$ de longueur d'onde par le télescope MMT de l'Université d'Arizona, d'un diamètre de 6,5 m, situé au sommet du Mont Hopkins. L'image a été acquise sans le système d'optique adaptative. (Crédit MMT-University of Arizona and Smithsonian Institution)

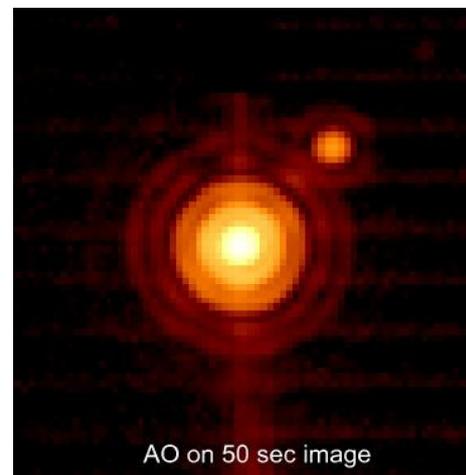


Fig. 3 Image de la même étoile, prise avec le même télescope, corrigée de la turbulence atmosphérique grâce au système d'optique adaptative. (Crédit MMT-University of Arizona and Smithsonian Institution)

La tache de l'objet sur le détecteur sera alors diffuse et très étalée, de l'ordre d'une seconde d'arc dans le domaine visible ("le seeing"), quelle que soit la taille du télescope (figure 2). Il arrive que le "seeing" soit suffisamment faible pour que la tache d'Airy à elle seule limite la résolution.

En observant en même temps la cible d'observation et un objet ponctuel proche d'elle, on peut mesurer en direct sur l'objet l'effet des turbulences dans l'image. On peut donc déterminer en quelques centièmes de secondes la nature de la déformation induite par la turbulence et corriger le chemin lumineux des rayons entre le miroir primaire et le détecteur pour reconcentrer le flux lumineux de l'objet en un point. Ceci se fait en déformant à bon escient le miroir

secondaire du télescope. De tels systèmes, dits "d'optique adaptative", ont été mis au point dans les années 1990 et sont maintenant installés sur les plus gros télescopes du monde. (figure 3).

Pour que les miroirs conservent une certaine rigidité malgré une taille grandissante, ils devraient avoir une épaisseur importante. Il serait alors difficile de les manoeuvrer. Les miroirs sont donc désormais soit segmentés en miroirs plus petits, soit très fins et souples, soit alvéolés pour les alléger, mais toujours en verre. Ils sont équipés d'un système d'optique active qui permet de contrôler la qualité de leur surface (leur écart à la forme parabolique idéale) toutes les 10 secondes environ. Des pistons actionnés par ordinateur permettent de maintenir la surface du miroir primaire contre toute déformation mécanique et thermique, c'est ce que l'on appelle "l'optique active".

Repousser les limites de résolution spatiale

Peut-on construire des instruments toujours plus grands pour faire des images toujours plus précises des objets les moins lumineux ? Les projets de grands télescopes au sol tels l'ELT (voir article d'E.

Pantin) vont être confrontés à une mise en œuvre mécanique difficile. De tels engins pesants doivent être stables dans leur pointage et facilement maniables pour balayer une zone du ciel avec précision. Le gain obtenu en sensibilité et en résolution par augmentation de la taille ne doit pas être sacrifié. Ceci reste un challenge à l'heure actuelle.

L'autre solution, utilisée désormais dans les domaines radio, submillimétrique, infrarouge et visible est l'imagerie à synthèse d'ouverture. Ryle et Hewish ont obtenu le prix Nobel en 1974 pour l'avoir mis au point dans le domaine des longueurs d'onde radio. Les images de télescopes de diamètre D , disséminés sur un vaste périmètre, appelée "pupille" dont on notera le diamètre B , sont recombinaisonnées et interfèrent, telles les lumières de différentes sources. La résolution spatiale du télescope équivalent est celle d'un télescope de la taille de la pupille, donc de l'ordre de λ/B . Le dispositif AMBER de synthèse d'ouverture des 2 ou 3 télescopes de 8 m du VLT (Very Large Telescope de l'ESO, l'observatoire européen austral) permet d'obtenir une résolution spatiale de l'ordre de 2 milliarcsec (mas) avec une base de $B = 200$ m dans le proche infrarouge.

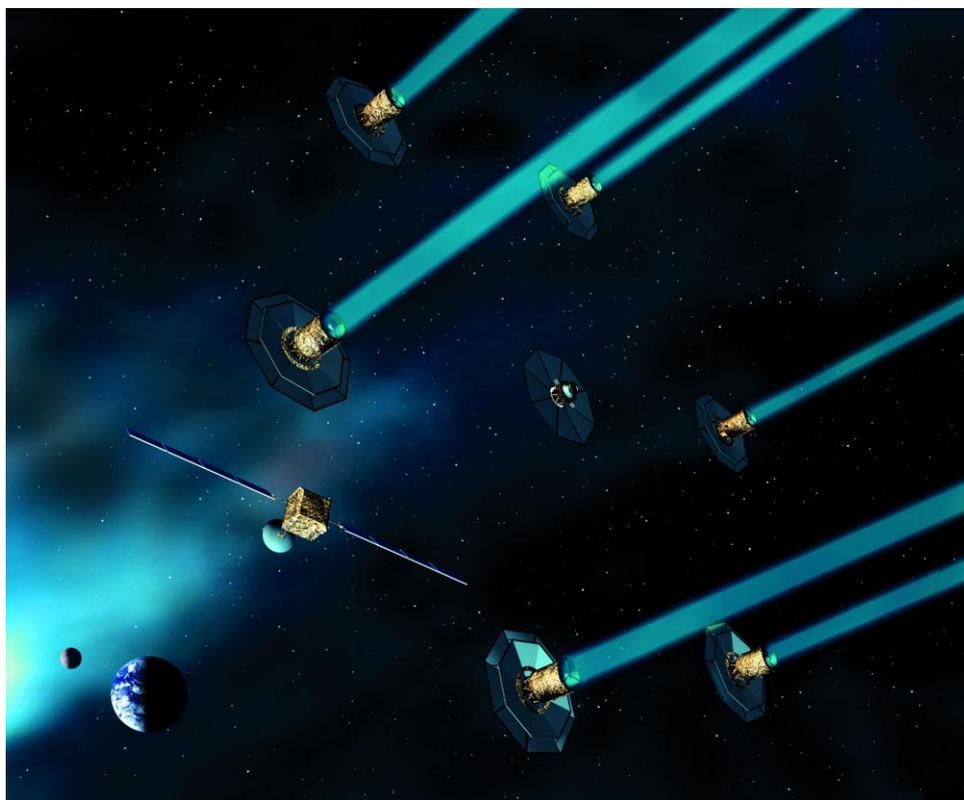


Fig. 3 Le projet Darwin de l'Agence Spatiale Européenne – Six télescopes de 3 ou 4 m de diamètre en formation avec un satellite réalisant la synthèse d'ouverture et un satellite centralisateur en liaison avec la Terre. Les observations se feront dans l'infrarouge moyen pour rechercher des exoplanètes plus facilement, là où le contraste entre le flux de l'étoile et celui de la planète n'est plus que d'un facteur 10^4 à 10^6 .

Des hyper-télescopes en orbite.

La course vers une meilleure résolution et une meilleure sensibilité passe par la taille des télescopes, par l'étendue du champ de télescopes en synthèse d'ouverture (1) ou par la course vers les hauteurs désertiques, là où la couche atmosphérique absorbante et turbulente devient plus sèche et plus fine. L'ultime étape est la mise en orbite de flottilles de télescopes fonctionnant en synthèse d'ouverture. Ce concept, développé au sol pour l'instant, est appelé à être déployé dans l'espace là où le poids et l'atmosphère ne sont plus des contraintes. La difficulté viendra du maintien en formation n de l'ensemble des télescopes à la précision nécessaire.

Les projets TPF (Terrestrial Planet Finder - NASA) et Darwin (ESA), tous deux à la recherche d'exo-planètes de type terrestre s'appuient sur ce concept de vol en formation de plusieurs télescopes de quelques mètres de diamètre, se répartissant sur une zone d'étendue variable, de 10 m à 1000 m pour obtenir des résolutions de 5 à 500 fois supérieure à celle du Télescope Spatial actuel. Le positionnement relatif

des télescopes devra être précis à 10 μm près.

Le concept d'hyper-télescopes développé par A. Labeyrie repose sur la synthèse d'ouverture mais avec une distribution en trois dimensions des miroirs, sur une sphère ou un fond de cratères par exemple. Cette évolution permet d'obtenir une imagerie directe à une résolution de 0,1 mas pour un diamètre de "pupille" d'un kilomètre et d'avoir une luminosité plus importante comparée à la synthèse d'ouverture classique. Avec un tel instrument, une planète de la taille de Jupiter en orbite autour d'une étoile située à 10 années de lumière de nous, soit plus de 650 000 UA, pourrait être résolue (1 UA = distance Terre-Soleil = 8 min-lumière).

L'astrophysique vit depuis trente ans une révolution scientifique grâce aux progrès technologiques dans tous les domaines, de l'aéronautique, de la physique des matériaux jusqu'à l'optique moderne la plus poussée. L'investigation scientifique provoque l'innovation et en bénéficie. La pause n'est pas pour demain.

(1) : procédé d'interférométrie permettant d'obtenir une images à partir d'images du même objet obtenues par plusieurs télescopes. Cette image a la même résolution angulaire que celle qui serait obtenue par un télescope de la taille de l'ensemble.

Mots croisés sur les instruments

Horizontalement

1. Défauts des lentilles simples. 2. Tente. Indispensable sur une lunette comme sur un télescope pour observer.
3. Affreux. 4. Réfracteur. Comme des clichés après une bonne mise au point. 5. Numéro d'Henri. Comme une lunette sans accessoires. Comme le marteau. Marré. 6. Poulie inversée. Dernier élément. Pour avoir des billets. 7. Classement sportif. Il gère plus d'une dizaine de gros télescopes. Dixième. 8. Réflecteurs. 9. Chef religieux. Devrait aider à la répartition des richesses mondiales. Alpha Virginis. 10. C'est la partie essentielle d'un instrument astronomique. Comme un cliché de la Lune avant traitement. 11. A soustraire de l'image brute pour éliminer les pixels chauds. Comme une photo de la Lune après un passage par IRIS ou Registax.

Verticalement

1. À faire avant d'utiliser un télescope. 2. Inutilisable. Partiellement capté par un appareil photo. Rythme. 3. Il filtre, mais ni les UV, ni les IR. Comme le Soleil à l'horizon. 4. Gâche le plaisir. Prince. 5. Indispensable pour une lunette comme pour un télescope. 6. Pas loin (2 mots). Système de reconnaissance pour lunette ou télescope. 7. La plupart des petits télescopes en possèdent un. Certains oculaires à focale variable permettent de le faire. 8. Coule du côté de chez Agnès. Fabriqué dans les supernovae. Pas Mac. 9. Saint musicien. Dieu n'en a pas, d'après Einstein. Double. 10. Aussi bien en station qu'au point pour une bonne photo astro. Exempt de pollution lumineuse. 11. Bout de verre. Il pourrait être représenté par Phobos ou par Déimos. Sent. 12. Il vaut mieux ne pas la régler au maximum sur son APN pour éviter le grain.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 1 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | ■ | | | | | | | | |
| 3 | | ■ | | | | | | | | | ■ | |
| 4 | | | | | | | | ■ | | | | |
| 5 | | | ■ | | | | ■ | | | ■ | | |
| 6 | | ■ | | | | ■ | | | ■ | | | |
| 7 | | | | ■ | | | | ■ | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | ■ | |
| 9 | | | | | ■ | | | | ■ | | | |
| 10 | | | | | | | | ■ | | | | |
| 11 | | | | | ■ | | | | | | | |

ARTICLE DE FOND

L'E-ELT, futur télescope géant européen, au sol,

Un nouvel outil pour caractériser les exo-planètes

Éric Pantin Professeur à l'Université Paris Diderot

Les programmes VLT (Very Large Telescope avec ses 4 télescopes de 8,2 m de diamètre) et VLTI avec son réseau interférométrique unique au monde ont été de grands succès. La communauté européenne astronomique prépare actuellement leur successeur, l'E-ELT (European Extremely Large Telescope). Ce télescope géant de 42 m de diamètre (ce qui donne la largeur d'un "petit" terrain de football !) est actuellement conçu sous la maîtrise d'œuvre de L'ESO². Il est composé de 906 segments de 1,45 m² pour former une surface collectrice de 1 300 m². Sa masse sera de l'ordre de 5 500 tonnes et son coût d'environ de 1 milliard d'euros.

Il est en effet impossible, contrairement au VLT, de réaliser son miroir primaire d'un seul tenant.

La fabrication d'un aussi grand miroir n'est pas réalisable sans parler de son transport. De plus, il se briserait sous son propre poids lors des mouvements du télescope.

Il sera à l'horizon 2018 le télescope optique le plus grand au monde (les projets américains GMT et TMT ne feront "que" 30 m de diamètre). Le site d'implantation (Chili, Argentine, ou Iles Canaries) ne sera déterminé qu'en 2010.

Observant depuis le proche ultraviolet jusqu'à l'infrarouge thermique (20 μm), il permettra d'observer l'Univers avec une précision jamais atteinte jusque là. En effet la taille d'un télescope influe directement sur deux critères de performance. Tout d'abord, un télescope plus grand offre une surface collectrice plus importante. Il lui est donc possible d'observer des objets plus faibles ou, à luminosité fixée, des objets plus lointains (critère de sensibilité). Deuxièmement, un diamètre plus grand de miroir primaire donne aux **instruments**

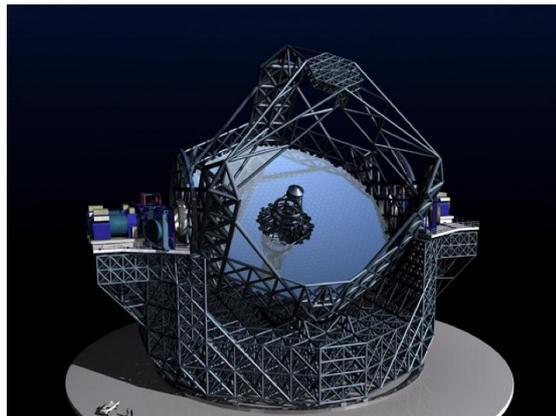


Fig.1 Dessin conceptuel de l'E-ELT. Les instruments seront installés aux foyers Nasmyth (1) situés au niveau des deux plateformes de part et d'autre du miroir primaire. L'échelle est indiquée par la voiture et les personnages situés en bas à gauche de l'image.

une **résolution angulaire** plus grande (voir article de C. Ferrari). Cette capacité est particulièrement cruciale pour être capable d'observer des objets faibles, proches d'un objet brillant (par exemple une exo-planète en orbite autour d'une étoile). L'E-ELT sera capable de distinguer, dans le domaine de l'infrarouge proche, des détails de l'ordre de 7 millisecondes d'arc, ce qui correspond à la taille angulaire d'une pièce de 1 euro vue à 500 km de distance ! Toutefois, ces performances ne peuvent être atteintes que grâce à l'usage intensif de techniques **d'optique adaptative** (voir article de C. Ferrari). L'un des challenges pour l'E-ELT réside très certainement dans le développement complexe de ce système d'optique adaptative qui requiert de nombreuses études.

En 2005, le groupe de travail ESO-OPTICON a défini les thèmes scientifiques astronomiques prioritaires avec les questions fondamentales associées qui (comme par exemple : "en quoi notre système solaire serait plutôt commun ou atypique ?") justifient la construction d'un télescope géant, sa

² L'ESO (European Southern Observatory) est un organisme européen regroupant 14 pays et en charge de concevoir, construire et exploiter les moyens d'observation au sol Européens.

(1) voir www2.iap.fr/vlt/public/telescope.html

taille étant définie par rapport à des objectifs bien précis. Parmi ces thèmes, on trouve l'étude de la formation des premières galaxies et la caractérisation des exo-planètes. C'est pourquoi, une majorité d'instruments est conçue autour de ces 2 thèmes.

L'instrumentation de l'E-ELT

Afin de répondre au "cahier des charges" scientifique défini par les thèmes prioritaires précédemment cités, l'E-ELT doit être doté d'un ensemble d'instruments choisis pour leurs performances, le type d'objets astronomiques qu'ils permettent d'étudier, ainsi que pour leur complémentarité. Le plan actuel de l'E-ELT comprend 8 instruments, chacun ayant ses propres spécificités. La table 1 (*fin d'article*) décrit brièvement chacun des instruments de première génération et indique le champ d'application scientifique visé. Ces objectifs scientifiques ne sont qu'indicatifs ; comme très souvent en astronomie, il est possible qu'un instrument soit finalement "détourné" pour obtenir des observations autres que celles initialement prévues ! C'est aussi ce qui fait la richesse de l'observation astronomique.

Les 8 instruments décrits en table 1 (*fin d'article*) sont en cours de phase A (stade d'étude et d'évaluation). Courant 2010, l'ESO décidera lesquels rentreront en phase B, phase lors de laquelle la conception de l'instrument est finalisée. Ces instruments sont étudiés par des consortiums regroupant plusieurs instituts européens ou bien directement par l'ESO (EPICS et CODEX par exemple) avec l'appui de certains instituts.

L'E-ELT, un outil de choix pour l'étude des exo-planètes

De par son acuité extrême, l'E-ELT est particulièrement bien adapté à l'étude des exo-planètes. Plusieurs instruments tels que EPICS, METIS, ou HARMONI en font un thème scientifique prioritaire. D'ici 2018, date prévue de la mise en service il est probable que le nombre de planètes détectées dépassera le millier (373 à la date du 12/10/09). Il faut citer à ce sujet les projets SPHERE (VLT) ou GPI (Gemini Nord) qui sont basés sur des systèmes **d'optique adaptative** extrême dédiés à la recherche et à la caractérisation partielle d'exo-planètes. Dans ce contexte, les capacités de détection de nouvelles planètes ne seront plus tellement importantes. L'important sera la capacité à caractériser les exo-planètes déjà connues. En effet, si l'on sait aujourd'hui, grâce à la **méthode des vitesses radiales**, détecter des objets de masses relativement faibles y compris les

planètes telluriques les plus massives (par exemple GL 581, cf. [1]), leurs caractéristiques (taille, densité, présence d'atmosphère, composition, vitesse de rotation etc. ...) sont encore très mal connues. Les analyses partielles qui ont été possibles dans de rares cas (HD189733b, cf. [2]) ont montré des caractéristiques se démarquant nettement de celles que nous connaissons dans le système solaire.

Deux instruments appartenant au plan d'instrumentation de l'E-ELT (table 1) ont mis l'accent sur la caractérisation des planètes extra-solaires, EPICS et METIS. Leur **conception** a été soigneusement pensé pour permettre l'observation de ces objets très faibles autour d'étoiles beaucoup plus brillantes qu'eux.

L'instrument EPICS, observant à des longueurs d'ondes entre 0,8 et 1,8 μm , devra être capable d'observer des exo-planètes qui sont 10^9 à 10^{11} fois plus faibles que leur étoile (2).

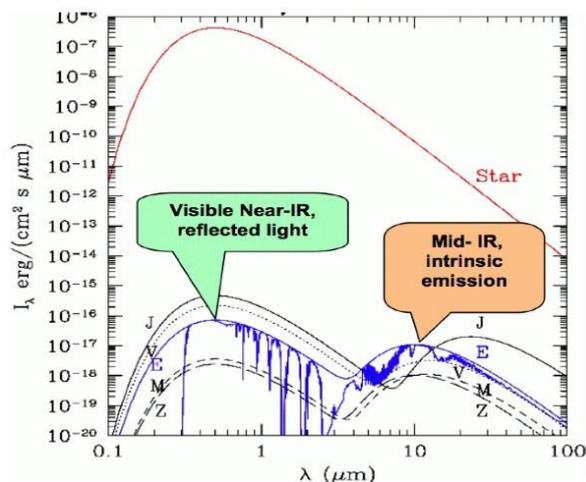


Fig. 2. Diagramme montrant, en fonction de la longueur d'onde, les intensités relatives d'une planète (J:Jupiter, V: Venus, E: Terre, M: Mars, Z: lumière zodiacale) par rapport à l'étoile centrale.

Pour cela, cet instrument sera équipé d'un système d'optique adaptative extrême, système complexe dont les performances ont été poussées au maximum de ce que la technologie est capable de faire. Cet instrument utilise principalement un mode de détection à base de **spectroscopie intégrale de champ** ce qui permet d'obtenir des spectres d'exo-planètes grâce à une méthode de **déconvolution spectrale**.

Les spectres obtenus entre des longueurs d'onde de 0,95 et 1,8 μm permettent d'étudier l'atmosphère des planètes observées en analysant la lumière de l'étoile **réfléchi**e par la planète. De manière directe ou bien grâce à la comparaison avec des modèles physiques, il sera possible de déterminer masse, température, composition et structure atmo-

sphérique. Etant donné les performances d'EPICS, cet instrument caractérisera essentiellement des géantes gazeuses (des "Jupiter") et des géantes glacées (des "Neptune"). Dans le cas probablement rare de conditions très favorables (étoile proche et planète à la fois suffisamment massive et relativement éloignée de son étoile), EPICS pourra même détecter les planètes telluriques les plus grosses appelées "super-Terres" qui sont jusqu'à 2,2 fois plus grosses et 10 fois plus massives que la Terre.

L'instrument METIS observera entre les longueurs d'onde de 2,7 et 13,8 μm . Ce domaine est appelé infrarouge thermique car contrairement aux longueurs d'ondes plus courtes, on détecte la lumière propre émise par l'objet concerné (rayonnement thermique). A ces longueurs d'ondes, le contraste entre étoile et planète n'est "plus" que de l'ordre de 10^5 à 10^7 (figure 3). Les contraintes sur la conception et les choix technologiques d'un instrument sont donc assouplies.

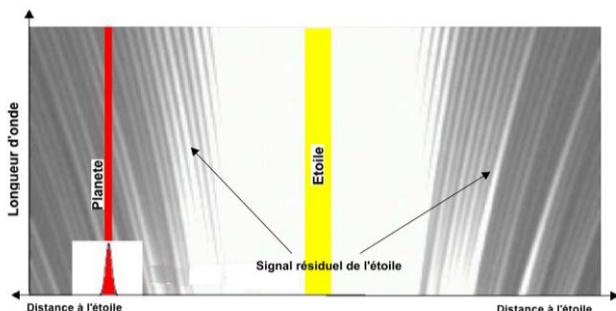


Fig. 3: Schéma illustrant le principe de la déconvolution spectrale. La lumière émise par l'étoile produit des lignes (tavelures) obliques en fonction de la longueur d'onde, la distance d'une tavelure à l'étoile étant proportionnelle à la longueur d'onde. Par contre une planète produira une ligne strictement verticale. Il est donc relativement facile de séparer les deux signaux avec ce mode d'observation.

Cependant, l'observation directe par imagerie reste impossible ; pour atteindre de tels contrastes il faut utiliser un dispositif spécifique. METIS sera équipé de deux dispositifs coronagraphiques qui permettent, un peu à la manière d'un cache, "d'éteindre" partiellement la lumière de l'étoile. Il est alors possible d'observer un objet faible dans son voisinage. Les dispositifs coronagraphiques équipant METIS sont novateurs car ils utilisent une technique de suppression de la lumière de l'étoile par interférences destructrices. Schématiquement, la lumière reçue de l'étoile est séparée en deux parties d'intensités égales. L'onde correspondant à l'une de ces deux composantes est déphasée d'une demi longueur d'onde grâce à un dispositif optique. Elle se recombine ensuite de manière destructive avec l'autre composante. L'avantage sur un simple

masque circulaire qui cacherait l'étoile (coronographe de Lyot) est la possibilité d'obtenir de l'information très près de l'étoile. Dans le cas précis de METIS, il sera possible d'observer une planète à une distance angulaire d'environ 0,1 seconde d'arc de son étoile, soit à distance de 1 UA de son étoile pour un système éloigné de 10 parsec. Les performances estimées montrent que METIS pourra observer plusieurs types de planètes :

- des planètes géantes gazeuses de masses comprises entre 2 et 13 masses de Jupiter autour d'étoiles relativement âgées et proches ($d < 20$ parsecs)
- des planètes géantes gazeuses de type Jupiter dans des systèmes relativement jeunes et proches (âge compris entre 10 et 100 millions d'années, $d < 80$ parsecs)
- des géantes gazeuses de 1 à 2 masses Jupiter "chaudes" ou "Pégasi tièdes", très proches de leur étoile (0,1 à 1 UA)

Qu'en est-il des planètes telluriques, probablement plus propices que les planètes géantes gazeuses à héberger la vie ? Même dans le cas des super-Terres les plus grosses, METIS ne sera généralement pas assez sensible pour être capable de les détecter. Cependant il existe une situation particulière où METIS pourrait observer celles-ci relativement facilement. Nous savons aujourd'hui que le système solaire est passé par une phase très chaotique alors qu'il était âgé de 700 à 800 millions d'années. Durant cette phase appelée "Bombardement Tardif Massif", des dizaines de milliers d'objets de taille kilométrique appartenant à la proto-ceinture de Kuiper ont été éjectés de leur orbite lorsque Jupiter et Saturne sont entrés en **résonance orbitale** ([3]). Toutes les planètes du jeune système solaire ont alors subi une véritable "pluie" de **planétésimaux** arrivant avec des vitesses relatives de plusieurs centaines de km/s. C'est notamment lors de cet épisode que les principaux cratères de la Lune ont été formés. A cette époque, la pluie de météores était telle que la croûte terrestre était quasiment en fusion. Si l'on suppose qu'un épisode identique est susceptible de se produire dans des systèmes exo-planétaires, de telles planètes telluriques chauffées au rouge seraient alors facilement détectables par METIS. La probabilité d'observer de tels objets dépendra de la durée du phénomène et du temps de refroidissement des planètes. Les modèles actuels montrent qu'une planète ayant une atmosphère relativement dense se refroidirait en quelques millions d'années ([4]). Dans ces conditions, les

astronomes estiment qu'une dizaine de planètes de ce type pourraient être observées.

Les quelques observations directes que nous avons d'exo-planètes géantes montrent que leurs caractéristiques peuvent être très différentes des planètes de notre système solaire, ce qui témoigne probablement de processus de formation et d'évolution très différents. Récemment, un processus de formation des anneaux de Saturne s'inscrivant lui aussi dans le cadre du "Bombardement Tardif Massif" a été proposé ([5]). Dans ce scénario, les anneaux de Saturne ont été formés lors d'une ou plusieurs collisions titanesques entre des objets provenant de la proto-ceinture de Kuiper et un satellite relativement massif en orbite autour de Saturne, un processus de diffusion visqueuse ayant ensuite étalé la matière sur plusieurs dizaines de milliers de kilomètres pour former les anneaux observés aujourd'hui. Il est permis d'imaginer qu'un tel processus se produise aussi dans le cas d'une super exo-Terre. Nous venons de montrer qu'un tel anneau serait stable sur des échelles de

temps de quelques milliards d'années. Etant donné la surface d'un anneau et les températures de ses particules de poussières plus élevées que celle de la surface planétaire, celui-ci serait aisément détectable en infrarouge thermique à l'aide de METIS.

Conclusions

L'E-ELT sera le plus grand télescope de sa génération. Il permettra sans nul doute à l'astronomie européenne d'accomplir de grandes avancées. Nous sommes encore à l'aube (la découverte de la première exo-planète ne date que de 1995 !) d'une ère où nous allons pouvoir étudier de nouveaux mondes situés au-delà de notre système solaire. Dans ce domaine, l'E-ELT sera un outil de choix. Les toutes premières observations que nous avons pu faire avec les moyens actuels nous ont montré une diversité que nous n'aurions jamais osé espérer. Nul doute que les exo-planètes nous réservent encore de grandes surprises !

Bibliographie

- [1] Udry, S., et al., 2007, "The HARPS search for southern extra-solar planets. XI. Super-Earths (5 and 8 M_T) in a 3-planet system", *Astronomy and Astrophysics*, 469, L43-L47
- [2] Tinetti, J., et al., 2007, "Water vapour in the atmosphere of a transiting extrasolar planet", *Nature*, 448, 169-171
- [3] Gomes, R., Levison, H. F., Tsiganis, K. & Morbidelli, A., 2005, "Origin of the cataclysmic late heavy bombardment period of the terrestrial planets." *Nature* 435, 466-469.
- [4] Elkins-Tanton, L. T. , 2008, "Linked magma ocean solidification and atmospheric growth for Earth and Mars", *Earth and Planetary Science Letters*, 271, 181-191.
- [5] Charnoz, S., et al., 2009, "Did Saturn's rings form during the Late Heavy Bombardment?", *Icarus*, 199, 413-428

Lexique

Caractériser une exo-planète: étudier une exo-planète afin d'en obtenir des informations sur sa structure, composition, son mouvement orbital.

Champ de vue: portion du ciel délimitée par le détecteur d'un instrument.

Déconvolution spectrale: pour distinguer la lumière provenant d'une exo-planète "noyée" dans le signal de l'étoile, il est possible de jouer sur la "forme" du signal attendu lorsque l'on observe avec un spectromètre intégral de champ. Le signal dû à l'étoile a une forme oblique (car la distance à l'étoile du signal produit par l'étoile dépend de la longueur d'onde) alors que le signal d'une exo-planète se trouvera à une distance constante (voir figure 3).

Instrument : dispositif optique et électronique attaché à un télescope. On peut faire le parallèle entre un télescope et l'objectif d'un appareil photo ainsi qu'entre un instrument et le boîtier. L'instrument contient l'un des composants les plus importants, le détecteur, qui permet de convertir les photons en signal électrique.

Méthode des vitesses radiales: tout objet, même de relative faible masse, en orbite autour d'un autre objet plus massif provoque un "mouvement réflexe" du dernier (petits cercles ou ellipses). La méthode des vitesses radiales est basée sur la mesure du "mouvement réflexe" de l'étoile dû à une exo-planètes, grâce à l'effet Doppler.

Pegasi (ou jupiters chauds) : planètes géantes gazeuses en orbite très proche de leur étoile. Ce nom provient de la première exo-planète découverte de ce type autour de 51 Peg.

Planétésimal: petits corps de tailles 10 à 100 km. Ce sont à la fois les premiers corps massifs à avoir été formés et en même temps les briques de base de la formation des planètes. La ceinture de Kuiper actuelle est un "réservoir fossile" de planétésimaux.

Résonance orbitale (de moyen mouvement): résonance mécanique entre deux corps (planètes) en orbite autour d'un troisième plus massif (une étoile par exemple). Cette résonance se produit lorsque les 3 corps concernés se retrouvent alignés périodiquement. En d'autres termes, pendant un temps donné, l'un des 2 corps accomplit n tours alors que le 2e en fait m (résonance n/m).

Rayonnement thermique : tout corps ayant une température supérieure au zéro absolu émet ce rayonnement. Son intensité et sa distribution spectrale se calculent par la loi de Planck. Un corps humain à 37°C émet la majeure partie de son rayonnement autour de 10 µm.

Spectroscopie intégrale de champ : En principe, un spectre à haute résolution ne peut s'obtenir qu'en plaçant une fente de largeur λ/D (λ longueur d'onde, D diamètre du télescope) ce qui pose un problème pour observer des objets plus étendus spatialement que cette fente. On peut alors balayer avec la fente l'objet mais au prix d'une perte d'efficacité. La spectroscopie intégrale de champ consiste à découper une image en tranches avant d'en disperser la lumière. On obtient alors un spectre de l'objet étendu en tout point du champ de vue.

Table 1 : description des différents instruments actuellement en phase-A d'étude pour l'E-ELT.

| Instrument | Type d'instrument | Longueurs d'ondes | Applications scientifiques prioritaires |
|----------------|---|-------------------|---|
| CODEX | Spectrographe haute résolution et haute stabilité | 0,37-0,72 µm | Expansion de l'Univers Matière intergalactique |
| EAGLE | Spectrographe moyenne résolution, infrarouge proche grand champ | 0,8-2,4 µm | Formation des premières galaxies |
| EPICS | Imageur et spectrographe pour la caractérisation d'exoplanètes | 0,8-1,8 µm | Exo-planètes |
| HARMONI | Spectrographe moyenne résolution intégral de champ | 0,8-2,4 µm | AGNs (<i>noyaux actifs de galaxies</i>) Cinématique des galaxies à haut redshift |
| METIS | Imageur et spectrographe infrarouge thermique | 2,7-13,8 µm | Exo-planètes et leur formation Disques circumstellaires |
| MICADO | Imageur infrarouge proche | 0,8-2,4 µm | Trou noir de la Voie Lactée Populations stellaires Formation d'étoiles galaxies proches |
| OPTIMOS | Spectromètre multi-objets | 0,37-1,7 µm | Multi-usages |
| SIMPLE | Spectromètre haute résolution infrarouge proche | 0,8-2,5 µm | Exo-planètes Nucléosynthèse primordiale Enrichissement chimique des galaxies lors de la ré-ionisation |

Solutions des mots croisés de la page 19

Horizontalement :

1. Chromatismes. 2. Ose. Oculaire. 3. Ignobles. 4. Lunette. Nets. 5. IV. Nue. Os. Ri. 6. Aer (réa). ZR (Zirconium, dernier dans l'ordre alphabétique). DAB (Distributeur Automatique de Billets). 7. ATP. ESO (l'observatoire européen austral gère en particulier le VLT au Mont Paranal). Déci. 8. Télescopes. 9. Imam. OMC. Epi (ou Spica dans la Vierge). 10. Optique. Brut. 11. Noir (traduction du dark pour les astrophotographes). Traitée.

Verticalement :

1. Collimation. 2. HS. UV. Tempo. 3. Rein. Aplati. 4. Gêne. Emir. 5. Montures. 6. A côté. Scout (le sky scout est un nouveau système qui permet d'identifier l'objet pointé). 7. Tube. Zoomer. 8. Ill (du côté de chez Agnès Acker). Or. PC. 9. Saens. Dé (Dieu ne joue pas aux dés, a dit Einstein à propos de la physique quantique). Bi. 10. Mise. Désert. 11. Er. Trac (dans la mythologie, Phobos est l'incarnation de la peur et Déimos de la crainte). Pue. 12. Sensibilité.

OBSERVATION

Observer le Soleil

Roger Meunier, Le Châtelet en Brie

Le Soleil n'est qu'une étoile parmi les autres, de taille et de température moyenne. Sa particularité tient à sa proximité à la Terre. Nous lui devons tout ce qui nous permet de vivre, c'est pourquoi il occupe une place privilégiée. D'autre part, c'est la seule étoile dont nous pouvons observer des détails avec une grande précision ; jusqu'à 100 km de résolution dans le visible et un peu moins dans les autres domaines de longueur d'onde. Le Soleil constitue ainsi un laboratoire de physique exceptionnel, grâce aux conditions de température et de pression qui y règnent, impossibles à réaliser sur Terre.

Précautions pour l'observation

Tout le monde a constaté que le Soleil était déjà éblouissant à l'œil nu, il faut donc faire encore plus attention dès que l'on amplifie la lumière avec un dispositif optique ! Deux solutions : l'observation par projection ou bien à l'aide d'un filtre s'adaptant à l'avant de l'instrument. Il existe maintenant des filtres de verre de bonne qualité et de prix raisonnables fabriqués dans les diamètres courants. Il ne faut pas utiliser les filtres "sun" à visser sur l'oculaire qui peuvent se fendre sous l'effet de la chaleur. Le système par projection se prête bien à l'observation collective, il est prudent de neutraliser le chercheur de l'instrument en lui posant son bouchon d'objectif afin d'éviter toute distraction... ; penser aussi au Solarscope, qui a fait l'objet d'un article dans le n°123 des Cahiers Clairaut.



Observation par projection



et avec un filtre pleine ouverture

Emission lumineuse du Soleil

Le Soleil émet sur tout le spectre électromagnétique, depuis les ondes radio jusqu'au rayonnement gamma ; en général on débute par l'observation en lumière blanche et on atténue d'environ 100 000 fois l'intensité lumineuse sans chercher à privilégier une longueur d'onde particulière.

Une lunette de petit diamètre, 50 ou 60 mm d'ouverture peut déjà donner des résultats intéressants mais il est sûr qu'une lunette de 100 mm de

diamètre permettra d'observer beaucoup plus de détails à la surface du Soleil.

La taille du disque solaire visible à l'oculaire dépend de la focale de l'instrument, 600 à 800 mm de focale est un minimum.

Une fois que l'on aura acquis une certaine familiarité avec l'observation en lumière blanche, il peut être intéressant de sélectionner une partie du rayonnement visible (de 400 à 700 nm environ) à l'aide de filtres à bande passante relativement étroite (environ 10 nm par exemple) pour obtenir un meilleur contraste de certaines parties de la photosphère (taches, facules, granulation...).

Il ne faut pas oublier que le Soleil chauffe votre instrument, le sol et les habitations environnantes et crée ainsi de la turbulence... C'est le principal facteur qui gêne l'obtention de bonnes images surtout avec de forts grossissements...

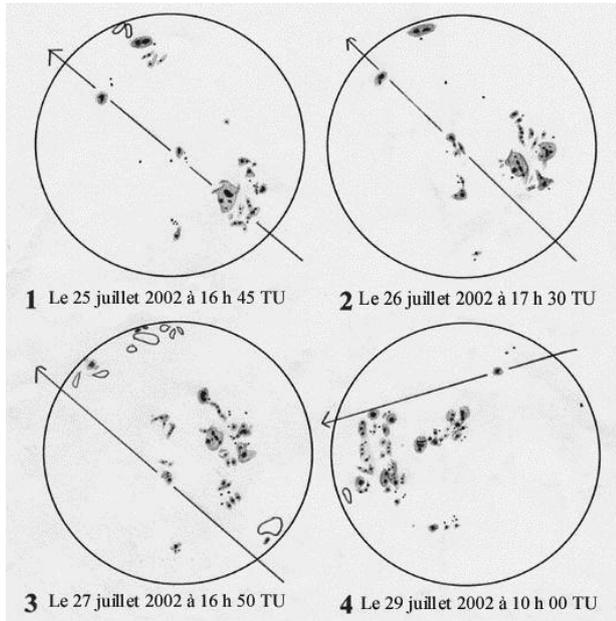
Que peut-on observer ?

Tout d'abord les taches solaires, facilement identifiables. Mais en ce moment, le Soleil tarde à redémarrer son activité magnétique : les taches sont très rares et de petite taille. Lorsqu'elles seront plus importantes, on pourra suivre leur évolution tout au long d'une journée ou sur plusieurs jours.

Précisons que les taches sont des régions restreintes du Soleil où le champ magnétique est intense (plusieurs milliers de gauss alors que le champ sur la photosphère n'est que de quelques gauss), qu'elles comportent une région centrale, l'ombre, beaucoup plus sombre que la photosphère, et une région intermédiaire la pénombre. Les températures dans l'ombre et la pénombre sont plus basses que dans la photosphère (respectivement 4 000 K, 4 500 K et 5 700 K), quant aux tailles des taches, elles peuvent varier de 5 000 à 50 000 km.

Les taches sont rarement isolées mais évoluent plutôt en groupes qui naissent, se développent en

quelques jours ou quelques semaines et perdurent jusqu'à quelques mois pour les plus tenaces. Une observation au fil des jours permettra la mesure de la rotation du Soleil par pointages successifs de la position des taches. S'il en existe à des latitudes différentes, on pourra constater, et peut être mesurer, la rotation différentielle solaire puisque le Soleil ne tourne pas sur lui-même d'un seul bloc : à l'équateur, il fait un tour en 25 jours alors que cela nécessite environ 30 jours aux hautes latitudes.



Taches dessinées par un jeune lycéen observant, derrière un petit télescope de 115 mm de diamètre. On attend avec impatience un Soleil aussi actif (dessins Julien Nillon).

Certains amateurs assidus, depuis de nombreuses années, mesurent l'activité du Soleil en calculant le nombre de Wolf tous les jours (s'il fait beau, bien sûr !) avec la formule suivante :

$$W = 10g + n$$

Où W est le nombre de Wolf,

g = nombre de groupes de taches (une tache isolée est considérée comme un groupe),

n = nombre total de taches que l'on peut compter sur le Soleil.

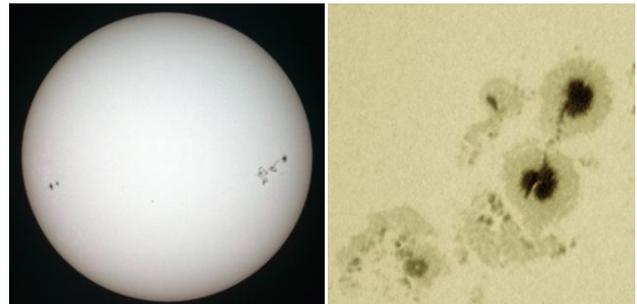
On établit ainsi un graphique avec les valeurs calculées, ce qui permet de suivre l'évolution de l'activité solaire et de la comparer avec celle des cycles précédents.

On peut observer également les facules, zones plus brillantes que le fond photosphérique (température environ 7 000 K) qui sont surtout visibles sur le bord du disque solaire.

Enfin, l'observation de la chromosphère et des

protubérances nécessite l'acquisition d'un filtre H-alpha qui ne laisse passer que la longueur d'onde de 656,28 nm avec une bande passante étroite (inférieure à 0,1 nm). On arrive ainsi à assombrir suffisamment le Soleil alors que les protubérances, qui émettent dans cette longueur d'onde, restent visibles.

Si on veut se lancer dans la photographie du Soleil, il faut distinguer la photographie du disque entier qui n'offre pas de grandes difficultés, surtout si l'on dispose d'un reflex numérique et la photographie de détails de la surface tels que les taches et qui sont un peu plus délicates à réaliser.



Le Soleil photographié en août 2004 avec un boîtier reflex derrière une lunette (filtre Mylar)

Image d'un groupe de taches obtenue en juillet 2004 avec une webcam au foyer d'un télescope.

Si l'on dispose d'une lunette de bonne qualité optique, il est passionnant d'observer des détails dans les taches lorsque celles-ci sont complexes et de taille importante. Il ne vous reste plus qu'à guetter le retour de l'activité solaire ...

Sur le Web...

Un des moyens les plus efficaces est d'aller sur le site de Bass 2000/Meudon (bass2000.obspm.fr) et d'aller voir dans Galerie Multimédia qui permet d'accéder à de nombreux documents passionnants ou d'aller dans Web Solaire qui vous dirige vers tous les grands observatoires solaires mondiaux ; ceux-ci ont souvent des galeries d'images solaires accessibles au grand public.

Dans les Cahiers Clairaut

Pour photographier le Soleil : avec un APN non reflex (CC 116), avec un boîtier reflex (CC 53)

Exploitation de relevé de taches solaires et calcul de la vitesse de rotation (CC 9)

Et dans les comptes-rendus des écoles d'été, des articles anciens mais toujours utilisables :

Petite étude des taches solaires (1979)

Observation des taches solaires (1981) ■



OBSERVATION

Observer avec des élèves

Hervé Faivre, René Cavaroz, Pierre Causeret

Il existe de nombreux groupes travaillant sur l'astronomie dans les établissements scolaires que ce soit des ateliers, des clubs, des TPE... La découverte de l'Univers se fait souvent à partir de livres, de sites Internet ou de logiciels. Mais il est dommage de faire de l'astronomie sans observer, il manque une relation directe avec le réel. Il n'est pas simple d'organiser une sortie de nuit avec des élèves.

Un exemple d'atelier d'astronomie

Depuis 2005-2006 au collège C. Perceret de Semur-en-Auxois (Côte d'Or), il existe un atelier d'astronomie. Nous avons démarré avec un groupe d'élèves motivés et avec le matériel des uns et des autres, en général des petits réfracteurs que les élèves avaient commandés au père Noël. Il y avait aussi un télescope 115x900 qui était dans un carton au laboratoire de sciences. À l'époque au collège, la tradition était de libérer un maximum d'élèves les deux dernières heures de la semaine pour les options (atelier patrimoine, sections sportives, groupe Droits de l'Homme...)

Un rendez vous hebdomadaire de deux heures a été mis en place. L'assiduité des élèves est sans faille, leur motivation et leur envie d'en découdre avec toutes sortes de problèmes sont impressionnantes. Des élèves de 3^e s'attaquent à la spectroscopie quand des 4^e gravissent les lois de Kepler par la face nord. En même temps, les plus jeunes sont plutôt tentés par des réalisations matérielles et construisent des maquettes du Soleil ou du système solaire. Bien d'autres thèmes ont été abordés, comme la mesure de la constante solaire. Dès la première année, des soirées ont été mises en place de façon à peu près régulières dès le printemps aux premiers quartiers de Lune. Nous avons, entre temps, appris à utiliser des logiciels de carte du ciel pour préparer les soirées. Et les *stars* de ces soirées sont bien sûr la Lune, les planètes et aussi quelques objets moins lumineux du catalogue Messier.

En 2006-2007, sur un concours de projet, nous avons été dotés de matériel très performant par Sciences à l'École (Schmidt-Cassegrain de 200 mm) et Eu-HOU (webcam modifiée). Le thème choisi pour nous était justement les objets de Messier. Notre but était de réaliser avec une webcam des images des objets les moins sombres du catalogue de Messier comme M 32, 13, 57, 45, 51 dans un premier temps. Les résultats ont été assez modestes avec l'utilisation de la webcam modifiée longue pose. Les élèves sont restés bien motivés malgré les températures très basses que nous avons eues cette année. Seuls les plus grands ont assisté aux soirées d'acquisition d'images. Un autre groupe s'est formé vers l'observation diurne, aidé par l'acquisition d'une PST Coronado par le foyer socio-éducatif du collège. Malheureusement, le Soleil est bien calme depuis ! Gageons qu'il va s'y mettre cette année.

En 2008, c'est surtout l'observation des planètes et les images en webcam qui nous ont occupés, ainsi qu'un spectroscopie (basse résolution). Mais la disparition des créneaux réservés au collège nous prive de nouvelles recrues et nous continuons notre atelier avec une quinzaine d'élèves qui s'apprentent à quitter le collège pour leur futur lycée. Ceux qui vont au lycée voisin (cité scolaire) participent aux sorties. J'enseigne sur les deux établissements et cela permet de faire le lien entre les élèves, entre atelier IDD et TPE. Depuis nous avons redémarré l'atelier avec un groupe toujours très motivé et



Le 5 mars 2007.

Le 4 mai 2008

Le 3 avril 2009

Images de Saturne par l'atelier d'astronomie de Semur-en-Auxois (C8 + Barlow $\times 2$ + ToUCamPpro2)

assidu de jeunes collégiens en 6^e et 5^e. Ils sont aussi toujours intéressés par les observations, les planétariums, et les réalisations matérielles,... Plusieurs de leurs travaux ont été présentés au concours organisé par le muséum de Dijon.



Cette année, le démarrage est plus compliqué en raison des changements dans la gestion des moyens donnés pour l'action culturelle. Tout le monde est prêt à démarrer mais l'administration ne peut pas nous donner le feu vert car elle doit compter ses moyens à répartir entre les différents ateliers ... Mais ce n'est plus de l'astronomie.

Hervé Faivre, enseignant en Sciences Physiques

L'organisation de sorties d'élèves pour des observations d'astronomie

Les dispositions qui s'appliquent à tous les types de sorties éducatives organisées officiellement par le Chef d'établissement dans le cadre d'une action éducative ayant lieu en tout ou partie pendant le temps scolaire sont définies par différents textes de référence (RLR, recueil des lois et règlements) dont la circulaire n° 996-248 du 25 octobre 1996 (BO n°39 du 31 octobre 1996) et le BO hors série n°7). Vous les retrouverez sur le site du CLEA (<http://www.ac-nice.fr/clea/SommCC128.html>).

La sortie doit répondre à des critères pédagogiques et éducatifs et son élaboration être la plus précise possible ainsi que les modalités d'encadrement et de surveillance. Nous devons savoir qu'en cas de problème, la première question posée par les enquêteurs est toujours : qui a organisé la sortie ?

En plus des dispositions juridiques il est utile de consulter l'analyse de la MAIF (qui assure de nombreux établissements scolaires) pour les déplacements : www.maif.fr/etablissements-enseignement/nos-solutions/assurance-association-sco-onglet-1.html

Quelques conseils pratiques :

Ouvrir un club d'astronomie au Foyer Socio-Educatif, à la coopérative, en action culturelle lors de la 1^{ère} ou 2^e séance du Conseil d'Administration...

Utiliser le plus possible le matériel associatif.

Avoir toujours avec vous les numéros de téléphone des principales personnes à contacter (établissement, secours...) ainsi que la liste des élèves placés sous

vos responsabilités avec la composition de chaque groupe confié à une personne de l'encadrement...

La nuit, un balisage de faible luminosité permet aux élèves (et aussi au public) de se déplacer plus facilement.

René Cavaroz, proviseur retraité, délégué CLEA pour la Basse Normandie. Cavaroz.rene@orange.fr
Avec tous mes encouragements pour faire apprécier, en toute sécurité, les beautés du ciel,

Quelques idées d'observation en vrac

Une observation nocturne peut servir dans un premier temps à découvrir le ciel, ses constellations et son mouvement apparent. Avec un instrument, on pourra commencer par découvrir la Lune, Jupiter, Saturne, Vénus et Mars mais aussi quelques nébuleuses, amas ou galaxies.

Pour les objets lumineux (Lune et planètes), il est intéressant de fixer une webcam privée de son objectif à la place de l'oculaire. On peut observer l'image sur un écran d'ordinateur et même la projeter en grand format avec un vidéoprojecteur (si on dispose de courant). Cela permet d'observer à plusieurs, de montrer certains détails et d'enregistrer l'image.



Une observation peut aussi être à l'origine de projets. En voici quelques exemples :

- Photographier le ciel en pose (30 min par exemple) et calculer la période de rotation des étoiles.
- Mesurer la hauteur de l'étoile Polaire pour connaître sa latitude.
- Photographier la Polaire avec un téléobjectif (longue pose) et mesurer son écart au pôle Nord céleste.
- Photographier les satellites de Jupiter plusieurs soirs de suite pour essayer de comprendre leur mouvement.
- Suivre le mouvement apparent d'une planète au milieu des constellations.
- Photographier une phase de la Lune et étudier la forme du terminateur.

Pour faire de la photo astro numérique simple, vous pouvez consulter les Cahiers Clairaut n°116.

D'autres projets plus complexes demandent à travailler avec d'autres observateurs comme la mesure de la distance de la Lune (voir CC n°114) ou la mesure de la distance de Mars, nettement plus difficile (voir CC n°95).

N'hésitez pas à parler de vos observations dans votre revue ou sur la liste, ni à demander conseil.

Pierre Causeret, enseignant en mathématiques ■

Fabriquer un astrolabe au lycée

Thierry Boucher et ses collègues (*), lycée Edouard Branly Créteil

Tenir un astrolabe du Moyen-Age dans ses mains est une expérience inoubliable. C'est avant tout un objet qui fascine par sa beauté. Témoin de l'ingéniosité de l'esprit humain, il représente à lui seul une vision de l'Univers tout entier. Croisé dans les musées, le "roi des instruments mathématiques", comme il a souvent été considéré, suscite nombre d'interrogations. Qui l'a conçu et à quelle époque ? Quel est son principe ? Comment fonctionne-t-il ? Comment le fabrique-t-on ? Chargé d'histoire, il est le résultat d'une riche et longue évolution scientifique et artistique. Cette richesse nous a poussés à le choisir comme thème pluridisciplinaire pour un projet mené avec des élèves de seconde. Concevoir, fabriquer et savoir utiliser un astrolabe forment les axes de notre action.

Le lycée général et technique Edouard Branly se situe en banlieue parisienne à Créteil où, comme pour d'autres lycées français, une partie des élèves manque de motivation pour leurs études. Nous faisons face à un absentéisme important et une désaffection pour les filières scientifiques. Or, pour être motivé, il faut donner du sens à ce que l'on fait et parfois notre enseignement peut paraître trop abstrait et trop cloisonné, sans lien évident entre les différentes matières. Le choix de travailler sur un astrolabe n'est pas neutre, c'est un instrument scientifique et il ne peut qu'avoir du sens, il est utile (il sert à quelque chose). En fin d'année scolaire, il sera la matérialisation, le symbole concret, de l'ensemble de nos travaux impliquant les mathématiques, la physique, l'histoire, le français et la productique. Nous voulons, à travers lui, montrer aux élèves l'unicité des savoirs. Ce qui est appris dans une matière doit servir dans les autres, il y a une complémentarité entre chaque enseignement. La compréhension, l'utilisation et la fabrication nécessitent la mobilisation de ces différents savoirs et vont permettre de donner du sens aux contenus que nous apportons. Cela permet de valoriser nos matières respectives tout en valorisant nos élèves.

Dans un premier temps, nous travaillons sur l'histoire de l'astrolabe, le "preneur d'étoiles" selon l'étymologie grecque. Une recherche sur les représentations de l'Univers depuis l'antiquité jusqu'à nos jours est proposée. Cela s'effectue autour de deux thèmes : l'harmonie du monde et les systèmes du monde.



On prend ainsi conscience que les Grecs ont fait appel aux notions d'organisation, d'ordre et d'harmonie pour construire leur vision de l'Univers (le cosmos par opposition au chaos). Un groupement de textes autour de "cosmogonie et mythologie" permet d'aborder, en français, les enjeux culturels voire philosophiques des différentes représentations de l'Univers. Les solides platoniciens permettent de rebondir en mathématiques (géométrie dans l'espace) et les différents systèmes du monde sont abordés en physique afin de rendre compte de la structure générale de l'Univers. En histoire, le travail effectué repose sur la connaissance des transferts de savoirs entre les peuples autour du bassin méditerranéen (l'intérêt de l'astrolabe pour les musulmans, les contacts entre cultures musulmanes et occidentales aux XI^e et XII^e siècle, l'histoire du calendrier et la réforme grégorienne de 1582).

Le principe de conception d'un astrolabe repose

(*) Agnès Pradalier professeur d'histoire-géographie, Philippe Dutarte professeur de mathématiques, Mariem Zaabani professeur de mathématiques, Gérard Delaforge professeur de productique et Thierry Boucher professeur de sciences physiques

sur une représentation du système géocentrique de Ptolémée. Le procédé géométrique de la projection stéréographique qui permet de représenter "à plat" la sphère des étoiles fixes est vu dans le cadre des mathématiques. L'une des pièces de l'astrolabe, "l'araignée", est le résultat de cette projection du ciel sur le plan de l'équateur céleste.



Chaque pointe y représente une étoile importante. De même les cercles du "tympan", pièce fixe située sous l'araignée, sont calculés par la même projection stéréographique. Ils sont caractéristiques d'une latitude donnée et figurent, pour situer les étoiles, les différentes hauteurs entre l'horizon (0°) et le zénith (90°). C'est la rotation de l'araignée sur le tympan qui reproduit le mouvement du ciel en 24 heures autour d'une Terre fixe. Les notions de trigonométrie et de géométrie dans l'espace données pour l'élaboration de l'instrument ne sont pas simples mais l'attention et l'intérêt des élèves de seconde sont soutenus par la réalisation, en parallèle de chaque calcul, d'une maquette en bristol. Ainsi la théorie débouche sur la pratique avec pour but final l'utilisation de l'instrument.

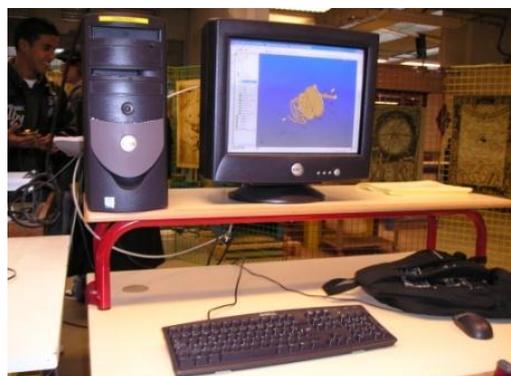


Nous avons la chance d'enseigner dans un lycée technique dont l'atelier dispose de machines à commandes numériques (Les premiers astrolabes ont été fabriqués sur des machines "Charlyrobot" très

répandues dans les lycées et collèges). Le choix était de réaliser un bel objet, ceci nous a conduit à utiliser un matériau traditionnel : le laiton, métal dense et de couleur chaude. Les plaques sont tout d'abord gravées selon un procédé de photogravure chimique.



Puis, à partir du second trimestre, en productique, les élèves, en binômes, fabriquent par étapes successives toutes les pièces de l'astrolabe. Ils utilisent pour cela des machines à commandes numériques pilotées par ordinateur. Ils découvrent ainsi toutes les phases du processus de fabrication et vivent un scénario réel de production portant sur un produit cohérent et motivant. Réelle satisfaction pour eux, de voir leur astrolabe se créer petit à petit!



La réunion parents-professeurs du second trimestre se déroule dans l'atelier où les élèves fabriquent leur astrolabe. Les professeurs présentent les actions menées et les élèves montrent à leurs familles leur travail et son cadre. Ceci montre aux parents l'unité de l'équipe pédagogique autour de la réussite des élèves. De plus, la réalisation concrète de l'astrolabe permet de revivifier l'intérêt des parents pour ce qui se passe au lycée.

En parallèle de la fabrication, les élèves apprennent les différentes utilisations de l'instrument. Tout d'abord, ils utilisent l'astrolabe pour lire l'heure selon la hauteur du Soleil pour le jour ou bien d'une étoile repérée sur l'araignée

pour la nuit. Il faut aborder à ce moment la différence entre heure solaire vraie et heure de la montre. Une étude sur l'équation du temps est menée à cette occasion en physique. Puis, le principe étant compris, les élèves sont capables de déterminer les heures de lever et de coucher du Soleil ou des étoiles. Dans la pratique, il convient bien sûr d'avoir quelques notions d'astronomie. Il faut apprendre à se repérer dans le Ciel la nuit.



Enfin, par son carré des ombres, l'astrolabe permet de mesurer des distances inaccessibles. Les élèves l'utilisent pour mesurer la hauteur d'une maison mitoyenne au lycée. Cette séance se fait lors de travaux pratiques communs entre mathématiques et physique. Une application bien concrète du théorème de Thalès !

Un tel projet pluridisciplinaire permet de proposer à nos élèves une ouverture culturelle, loin de leur environnement quotidien au travers de nombreuses sorties ou interventions extérieures. Nous avons visité la magnifique collection d'astrolabe du musée de l'Institut du Monde Arabe, ainsi que celle du musée du Conservatoire National des Arts et Métiers. Deux musées pour lesquels nos élèves ont d'ailleurs fabriqué des astrolabes servant d'objets de démonstration. Enfin la présentation de leur travail lors de concours ou de manifestations comme "la Fête de la Science" ont apporté une autre dimension au projet.



Ces moments d'échanges entre élèves et adultes sont très fructueux. Les élèves sont alors très heureux de montrer ce qu'ils savent et, ainsi valorisés, participent davantage aux activités proposées. Des adolescents se sentant parfois en situation d'échec scolaire se voient récompenser pour leur travail et la qualité de leurs explications : des instants émouvants pour les enseignants qui peuvent ainsi mesurer l'impact du travail effectué.

Le but de notre action qui était de décroisser les savoirs, d'ouvrir les esprits et d'aiguiser les curiosités a été dans une large mesure atteint. Chaque enseignant, dans le cadre de son cours, a souvent fait appel à des connaissances qui avaient été dispensées dans un autre cours. Les références ou retours d'expériences sur l'astrolabe sont courantes et illustrent parfaitement nos propos en classe. C'est avec fierté, que nos jeunes "astrolabistes" montrent leur production et parlent du Ciel d'Aristote, même plusieurs années après avoir participé au projet. Il faut aussi souligner les intérêts « humains » de ces actions, en effet, les élèves voient se constituer et fonctionner une équipe de professeurs vraiment soucieux de travailler ensemble. Cet exemple où la responsabilité de chacun des adultes du projet est engagée clairement vis-à-vis du travail des autres donne un esprit d'équipe à l'ensemble de la classe. Les rapports entre élèves et enseignants se trouvent changés et sont plus sereins.

Un tel succès nous a encouragé à développer cette expérience et depuis septembre 2008, trois projets différents sont menés au lycée, avec trois classes de seconde : l'astrolabe, le nocturlabe et les anneaux astronomiques. Trois équipes différentes d'enseignants pour trois projets bien concrets.

Pour aller plus loin :

Publications :

"L'astrolabe au carrefour des savoirs". IREM de Paris-Nord, Villetaneuse, 2000 ISBN : 286240-100-6.

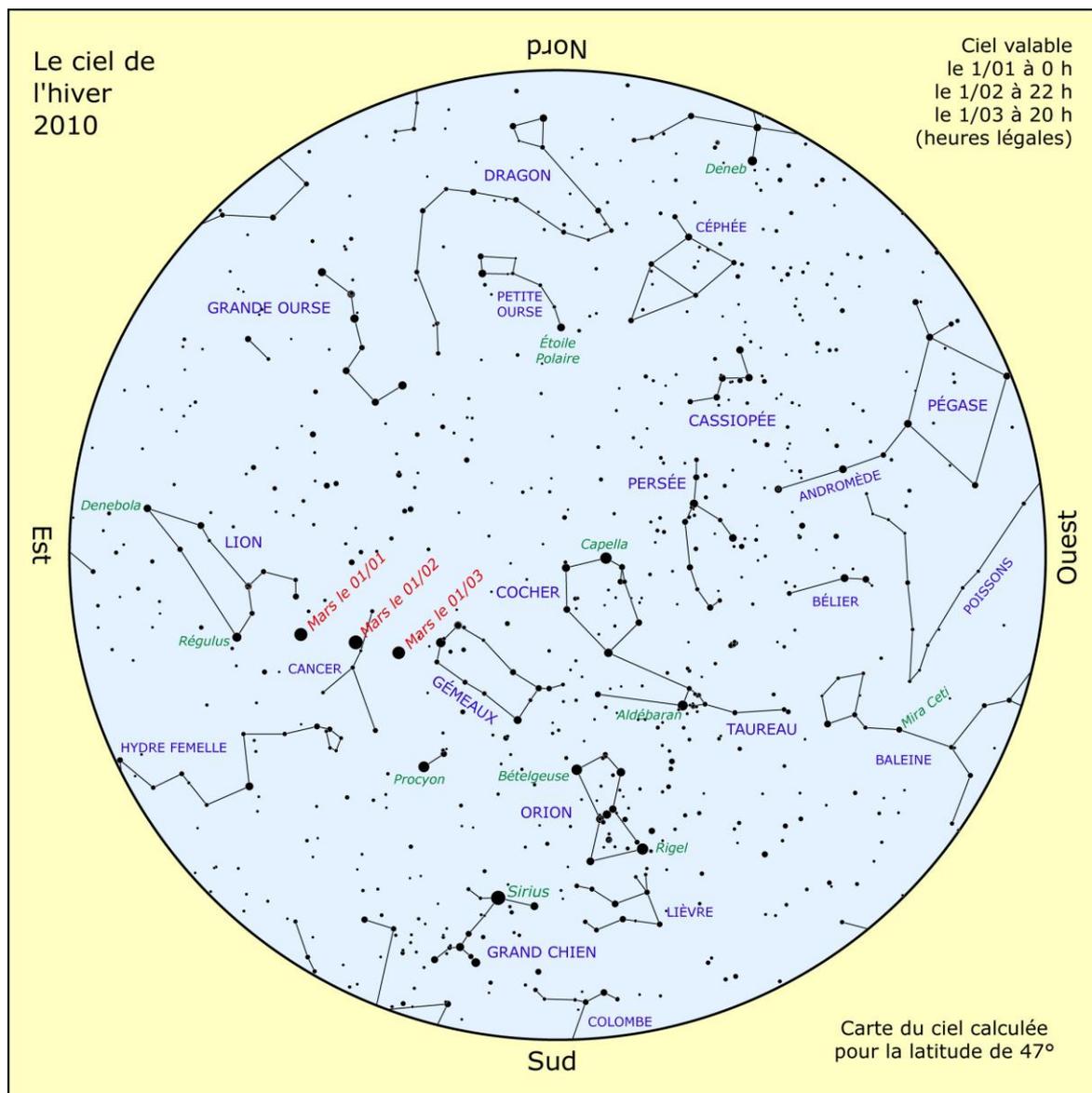
"Instruments scientifiques à travers l'histoire" de Collectif, Sous la direction d'Elisabeth Hébert, Ed ellipses, 2004.

"Les instruments de l'astronomie ancienne : de l'Antiquité à la Renaissance" de Philippe Dutarte, Préface d'Ahmed Djebbar, Ed Vuibert, 2006.

Sites Internet :

<http://astrolabe-visions-du-monde.chez-alice.fr/>
<http://www.ac-creteil.fr/lycees/94/ebbranlycreteil/>

Le ciel de l'hiver 2010



Visibilité des planètes

Mercury pourra être observée le matin fin janvier (élongation maximale le 27/01/2010).

Vénus passe derrière le Soleil le 11 janvier (conjonction supérieure) et est donc inobservable une bonne partie de l'hiver. On la retrouvera dans le ciel du soir en mars.

Mars est la planète de l'hiver. Elle passe à l'opposition le 29 janvier, son diamètre apparent est alors de 14". Avec un grossissement de 100, elle apparaîtra aussi grosse que la Lune à l'œil nu. La calotte polaire nord devrait être bien visible.

Au début de l'hiver, Jupiter sera encore visible en tout début de soirée à l'horizon ouest. Mais elle disparaît rapidement derrière le Soleil (conjonction le 28 février).

Enfin Saturne est à observer en deuxième partie de

nuit en décembre mais elle se lève de plus en plus tôt et sera plus facile à observer à la fin de l'hiver, dans la constellation de la Vierge (opposition le 22 mars).

Quelques événements (en heure légale)

21/12 : Solstice d'hiver à 17 h 46 TU.

31/12 : Eclipse partielle de Lune (voir page 36).

3/01 : Périhélie : la Terre passe au plus près du Soleil, à 147 098 000 km.

15/01 : Eclipse annulaire de Soleil, invisible en France métropolitaine (voir page 36).

12/02 : Rapprochement Lune Mercure le matin.

20/03 Equinoxe de printemps à 17 h 31 TU.

Lune

Pleine Lune : 31/12, 30/01, 28/02.

Nouvelle Lune : 15/01, 14/02, 15/03.

Pêcheur d'étoiles en Méditerranée

Christian Larcher, Le Perreux

Cet article est rédigé après une visite effectuée au CPPM (Centre de physique des particules de Marseille) et au terminal du télescope ANTARES (Astronomy with a Neutrino Telescope and Abyss Environmental Research) qui se trouve à la Seyne sur Mer : Var (Provence-Alpes-Côte d'Azur).

Le télescope ANTARES est destiné à détecter l'origine des neutrinos de très hautes énergies, qui proviennent de l'espace intergalactique.

Ces particules s'échappent des régions denses de l'Univers et se propagent en ligne droite. Elles sont susceptibles de fournir des informations précieuses sur les cataclysmes cosmiques : les restes de supernova, les micro quasars, les galaxies actives, les sursauts gamma. Les neutrinos constituent des messagers idéaux pour mieux comprendre la structure de l'Univers.

Leur analyse permettrait de déterminer ce qu'est la "matière noire". Celle-ci pourrait être constituée par des WIMP (Weakly interacting massive particles), sorte de reliques du Big Bang ; des chercheurs font l'hypothèse que ces particules se seraient accumulées au cœur d'étoiles comme le Soleil et produiraient des neutrinos par auto-annihilation.

La Terre est bombardée en permanence par un flux très important de neutrinos.

Les neutrinos (petits neutres en italien) sont des particules parfois qualifiées de particules fantômes. Elles sont insensibles à l'interaction forte. Elles sont électriquement neutres donc insensibles aux champs électromagnétiques. Leur masse extrêmement faible les rend insensibles à l'interaction gravitationnelle.

La seule interaction à laquelle sont soumis les neutrinos est l'interaction faible. Elles ne subissent donc quasiment pas d'absorption et n'interagissent qu'avec une section efficace "fantastiquement faible" (Hans Bethe). Il est nécessaire d'instrumenter un très grand volume et d'utiliser la Terre comme cible pour que quelques uns d'entre eux soient détectés. La Terre laisse passer les neutrinos mais arrête les autres particules.

Parmi ces neutrinos de hautes énergies qui traversent la Terre, quelques uns interagissent avec des noyaux d'atomes à proximité des détecteurs pour donner différentes particules dont des **muons électroniques**

qui se déplacent dans la même direction que le neutrino d'origine.

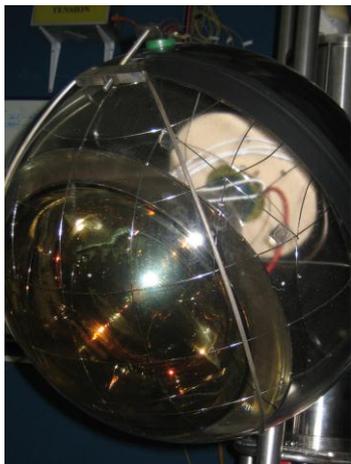
Ces muons sont des particules chargées dont la masse est environ 200 fois celle de l'électron. Ces particules peuvent parcourir jusqu'à une dizaine de kilomètres dans la croûte terrestre. En émergeant dans l'eau, ils laissent derrière eux un sillage très faiblement lumineux, une belle fluorescence bleue due à l'effet Tcherenkov. C'est ce sillage ascendant laissé par un muon que détectent les beaux "yeux" d'Antarès. A partir de ce rayonnement on peut retrouver les directions initiales des neutrinos tandis que la quantité de lumière reçue donne une estimation de leur énergie.



Le dispositif, localisé à 42° 50' N et 6° 10' E, est situé à 10 miles nautiques au Sud de l'île de Porquerolles en méditerranée, à une profondeur de 2 500 mètres. Il s'étend sur une superficie de 200 x 200 m². L'appareil est un réseau tridimensionnel constitué par 12 lignes de 450 mètres de long.

Chaque ligne contient 25 étages et à chaque étage 3 capteurs disposés à 120 degrés. Sur une ligne il y a donc 25 x 3 = 75 capteurs. Au total ANTARES dispose de 900 yeux ou "fish-eye" constitués par des modules optiques protégés par une sphère de verre capable de résister à une pression de 250

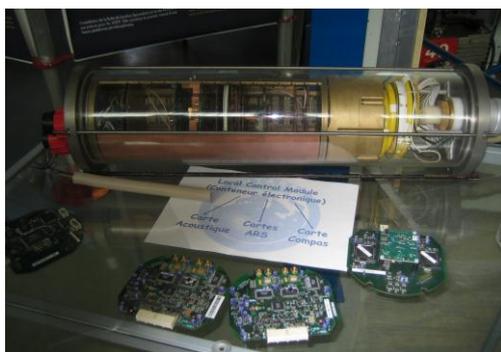
bars. Ces modules optiques sont des photomultiplicateurs. Ils peuvent enregistrer les traces lumineuses infimes provoquées, dans cette eau très "pure", par l'arrivée de particules électrisées.



Les 2 500 mètres de hauteur d'eau au dessus du dispositif permettent d'obtenir une obscurité complète mais ils servent surtout de blindage naturel contre le bruit de fond provenant d'autres particules, par exemple des muons atmosphériques.



ANTARES est très pudique, ses 900 yeux regardent vers le fond de la mer pour observer seulement les "muons montants" ceux qui correspondent à des neutrinos qui ont traversé la Terre. C'est donc un télescope qui regarde **le fond de la mer** pour étudier



le ciel de l'hémisphère SUD. Cette région du ciel est particulièrement intéressante car elle inclut le centre de notre Galaxie, là où se produisent les phénomènes les plus énergétiques.

L'ensemble des lignes d'ANTARES ondule sous l'action des courants marins. Or il faut pouvoir déterminer très précisément la position exacte de chaque capteur. Pour cela on utilise des balises acoustiques.

Les signaux sont traités et numérisés directement à chaque étage puis acheminés au moyen de fibres optiques jusqu'à une station terrestre située à 40 kilomètres de là dans un bâtiment de l'institut Michel Pacha (1), à la Seyne sur Mer. Ce bâtiment possède une façade originale de style mauresque. Il abritait auparavant l'Institut de physiologie marine. ANTARES développe également des synergies avec les sciences de la mer pour étudier les phénomènes de bioluminescence, la radioactivité du potassium 40, les secousses sismiques...

La logistique à grande profondeur est confiée à IFREMER.



- (1) *Michel Pacha dont le véritable nom est Marius Michel, Comte de Pierredon, (1819-1907) fut nommé en 1855, directeur des phares et balises de l'Empire ottoman par le sultan Abdul Mejid. Il construisit une centaine de phares et reçut le titre honorifique de Pacha. En 1889 il fournit le terrain et le matériel nécessaire pour construire un Institut de biologie marine à condition que l'édifice porte son nom. C'est dans ce bâtiment que se trouve actuellement la station terrestre ANTARES.*

Sitographie :

<http://antares.in2p3.fr/index-fr.html>
http://irfu.cea.fr/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast_technique.php?id_ast=368
<http://www.science.gouv.fr/fr/actualites/bdd/res/2256/le-telescope-antares-ouvre-les-yeux-vers-le-ciel/>
http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/physique-1/d/antares-naissance-dun-telescope-a-neutrinos-au-fond-de-la-mediterranee_8593/

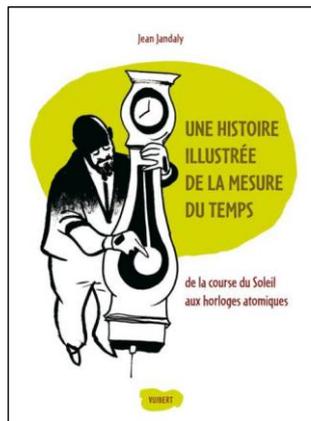
LECTURE POUR LA MARQUISE

Christian Larcher, Le Perreux

Une histoire illustrée de la mesure du temps

(De la course du Soleil aux horloges atomiques),
Jean Jandaly ; Vuibert 2009-11-04

Le titre même de l'ouvrage propose une "histoire" et s'inscrit donc dans une chronologie : il n'y aurait pas d'histoire s'il n'y avait pas de temps.



L'auteur pose la question : le temps existe-t-il indépendamment de l'homme ou est-ce un concept inventé par l'homme pour justifier les changements et le devenir ? Si nous ne savons pas ce qu'est le temps, nous savons cependant le mesurer avec une horloge dont le rôle est d'effectuer un comptage.

L'auteur développe les différents aspects de la mesure du temps au cours des quatre premiers chapitres (*Le découpage du temps*, *Le temps mathématisé*, *Le temps mesuré*, *Le temps relativisé*) avant de consacrer le dernier chapitre (*Le temps orienté*) à une interrogation sur la linéarité du temps et le déroulement des phénomènes dans le temps.

La première partie "*Le découpage du temps*" repose sur les données astronomiques et présente les tout premiers dispositifs de mesure.

La deuxième partie "*Le temps mathématisé*" concerne les travaux de Galilée et de Newton ("Le temps absolu, vrai et mathématique, sans relation à rien d'extérieur, coule uniformément et s'appelle durée" dit Newton dans les Principia).

"*Le temps mesuré*" décrit les dispositifs successifs de mesure du temps, du pendule de Huygens à l'horloge

atomique.

"*Le temps relativisé*" aborde la pluralité des temps.

Le livre s'achève par des considérations de nature quantique. L'auteur rappelle que les énergies négatives de Dirac devraient être associées à des particules qui se propagent en arrière dans le temps, que de telles particules sont contraires au principe de causalité qui veut que les causes précèdent les effets, mais que l'introduction des antiparticules a permis de sauver ce principe fondamental.

Les chapitres sont courts, clairs et concis. De nombreuses notes en bas de pages apportent des précisions intéressantes. On indique par exemple que le mot précession provient du fait que le retour de l'année tropique (l'année des saisons) **précède** un peu celui de l'année sidérale. Des extraits de textes historiques, judicieusement choisis, illustrent les propos de l'auteur. Il y a de nombreux schémas ainsi que des dessins d'objets crayonnés par l'auteur.

Il y a quelques points discutables ; par exemple affirmer (page 75) "*que Newton est né en 1642 – l'année même de la mort de Galilée*" est une erreur courante, liée au fait que l'Italie adopta le calendrier Grégorien en 1582 alors qu'en Angleterre il fallut attendre 1752. Si l'on choisit le calendrier Julien la naissance de Newton est le 25 décembre 1642 alors que la mort de Galilée est le 29 décembre 1641 ; dans le calendrier Grégorien ces deux dates sont respectivement le 4 janvier 1643 et le 8 janvier 1642.

Par ailleurs le chapitre sur la pluralité des temps n'est pas facile à lire : sa brièveté n'aide pas à la compréhension. Cependant la question sur la désintégration des muons y est bien traitée avec une proposition de reformulation permettant de lever des ambiguïtés.

On regrette l'absence de couleurs pourtant évoquées dans le texte, et la présence de sigles inutiles (ADDO, ADLR, ADDR).

Cet ouvrage sera utile aux étudiants et aux enseignants qui souhaitent disposer de bases solides et précises sur une histoire de la mesure du temps. ■

Remue-méninges

Le 31 décembre, nous aurons droit à une éclipse de Lune pour le dernier jour de l'année 2009.

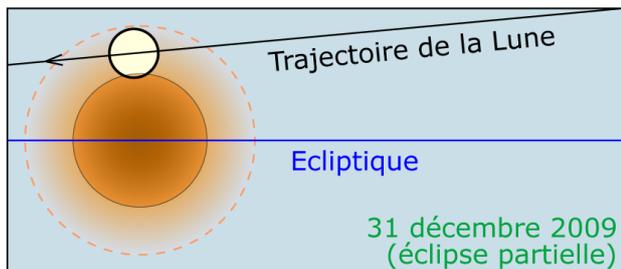
Cette éclipse peut amener à se poser ces deux questions :

- Les éclipses ont-elles toujours lieu à la même époque de l'année ?
- Quand aura lieu la prochaine éclipse de Lune coïncidant avec la fin (ou le début) de l'année civile (31 décembre ou 1er janvier) ?

LES ECLIPSES DE L'HIVER

Eclipse partielle de Lune le 31/12/2009

Il s'agit d'une minuscule éclipse d'intérêt assez limité (grandeur 0,08).



On a représenté sur ce schéma l'ombre de la Terre en orange et la pénombre en pointillés, comme si on avait placé un écran dans l'espace à la distance de la Lune. En réalité, on ne peut voir ni l'ombre ni la pénombre sauf lorsqu'elles se projettent sur la Lune.

Les horaires de l'éclipse

Entrée dans la pénombre : 18 h 17

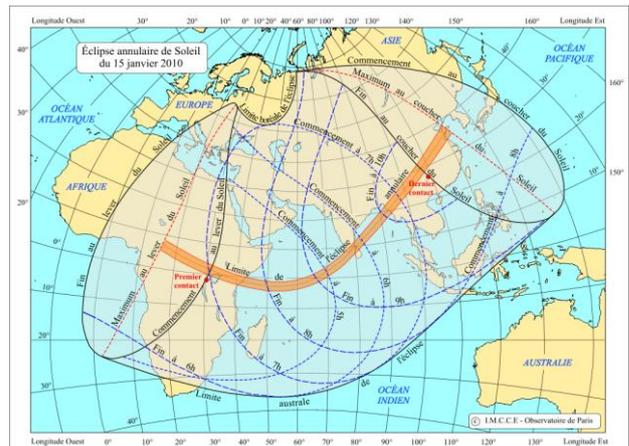
Entrée dans l'ombre : 19 h 52

Maximum à 20 h 22 (heure légale). Seule une toute petite partie de la Lune sera éclipsée.

Sortie de l'ombre : 20 h 53

Sortie de la pénombre : 22 h 28

Eclipse annulaire de Soleil le 15/01/2010



Il s'agit d'une éclipse annulaire. Le diamètre apparent de la Lune sera de 29,5' (distance 405 000 km) et celui du Soleil de 32,5' (147 160 000 km de distance). En France, l'éclipse se terminera avant le lever du Soleil. En Grèce ou en Italie, le Soleil se lèvera légèrement éclipsé. La zone d'où l'on verra une éclipse annulaire va de l'Afrique à la Chine. Nos amis de l'île de La Réunion verront le Soleil obscurci à plus de 30%.

Les horaires à St Denis de La Réunion :

1^{er} contact : 4 h 35 TU (8 h 35 heure locale)

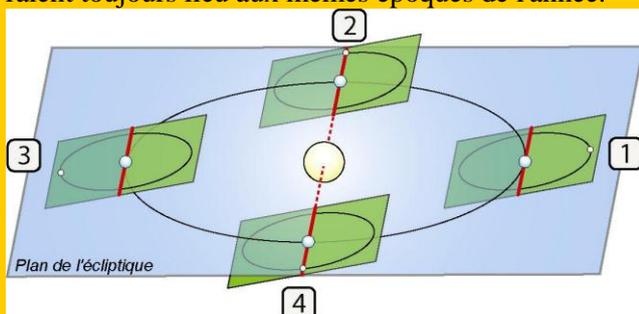
Maximum : 6 h TU (10 h heure locale)

4^e contact : 7 h 37 (11 h 37 heure locale)

Pierre Causseret

Réponse remue-méninges page 36

Comme vous le savez sans doute, il n'y a pas d'éclipse à chaque pleine Lune car le plan de l'orbite lunaire est incliné par rapport au plan de l'écliptique. Pour qu'il y ait éclipse, il faut que la ligne des nœuds, intersection de ces deux plans, passe approximativement par le Soleil. Si cette ligne était fixe dans l'espace, cela se produirait exactement deux fois par an et les éclipses de Lune ou de Soleil auraient toujours lieu aux mêmes époques de l'année.



Le plan de l'orbite de la Lune est en vert, le plan de l'orbite terrestre ou plan de l'écliptique en bleu et la ligne des nœuds, intersection de ces deux plans, est en rouge. Dans les positions 2 et 4, on peut avoir une éclipse de Lune alors qu'en 1 et 3, la pleine Lune passe au-dessus ou en dessous l'ombre de la Terre.

Mais rien n'est fixe dans l'espace et la ligne des nœuds se déplace dans le sens rétrograde en 18,6 ans. C'est pour cette raison que les dates des éclipses avance chaque année d'une vingtaine de jours en moyenne. Tous les 9 ans, la ligne des nœuds passe par le Soleil à peu près aux mêmes dates. Mais pour qu'il y ait éclipse de Lune, il faut que ce soit la pleine Lune. Entre deux éclipses, on a forcément un nombre entier de lunaisons. Or, 9 ans, c'est 111 lunaisons et 9 jours. Il ne peut donc pas y avoir d'éclipse de Lune le 31 décembre 2018. Il se trouve que les phases de la Lune se répètent aux mêmes dates tous les 19 ans. C'est ce qu'on appelle le cycle de Méton qui contient précisément 235 lunaisons. Par un heureux hasard, ce cycle est très proche des 18,6 ans, période de révolution de la ligne des nœuds. Cela signifie qu'après 19 ans, on retrouve les phases de la Lune aux mêmes dates et la ligne des nœuds dans une position proche. Et 19 ans après l'éclipse du 31 décembre 2009, on trouve une éclipse totale de Lune le 31 décembre 2028, en début de soirée. Encore 19 ans plus tard, nous aurons une éclipse de Lune le 1er janvier 2048 au matin.

LA VIE ASSOCIATIVE

Bref compte-rendu de l'école d'été 2009

Francis Berthomieu, Montfort sur Argens



L'école d'été du CLEA s'est déroulée cette année du 20 au 27 août. Une fois de plus, c'est le centre d'oxygénation du col Bayard près de Gap qui a accueilli les stagiaires. Motivé(e)s par l'Année Mondiale de l'Astronomie, ce sont presque 50 passionné(e)s d'astronomie et d'astrophysique qui ont participé. Constituée majoritairement d'enseignants, l'assemblée accueillait aussi des amateurs œuvrant en association, quelques autodidactes et 8 astronomes professionnels.

La météo, particulièrement clémente, a permis de scruter le ciel presque quotidiennement : œil nu, jumelles, lunettes et télescopes, ont rivalisé pour repérer constellations, planètes, satellites et objets du ciel profond ... Emouvant instant que celui où le Dobson de Daniel Bardin, judicieusement pointé, permit à Cécile de prendre un contact visuel direct avec son vieil ami Neptune !

Traditionnellement consacrées aux cours, les matinées furent denses et studieuses : à côté des indispensables présentations des connaissances de base, nous avons pu être témoins de la "science en train de se faire", avec les présentations passionnantes de nos 8 professionnels.

Une fois n'est pas coutume, nous avons eu la chance de suivre un exposé dans la langue de Shakespeare : "Dark matter, dark energy, and other dark affairs", présenté par Alexander Unzicker, venu tout droit d'Allemagne.

Laurent Nottale a été très sollicité : au delà de sa présentation sur les conséquences astrophysiques et cosmologiques de la Relativité d'échelle, il a participé avec enthousiasme à de multiples débats, parfois improvisés entre poire et fromage...

Une autre innovation prévoyait deux après-midi "allégées" afin de permettre à chacun d'approfondir telle ou telle notion, consulter la bibliothèque ou simplement se reposer un peu : A la demande générale, cet espace de liberté a été transformé en ateliers "free lance" au cours desquels chacun put demander ou proposer un sujet de son choix...

C'est ainsi qu'au lieu des deux ateliers quotidiens, beaucoup se sont retrouvés avec ... trois ! Inutile de préciser que cette charge de travail fut librement consentie...

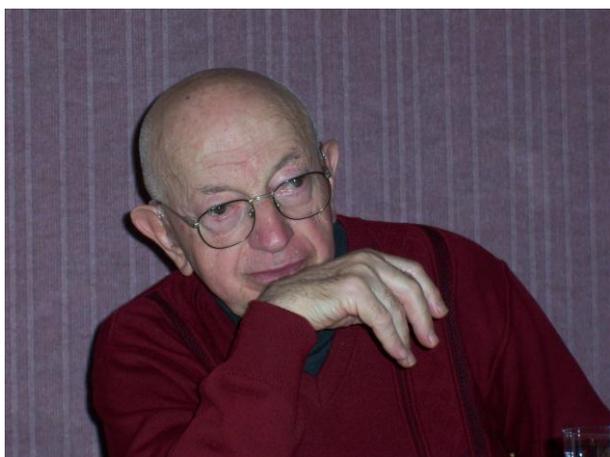
Enfin, une conférence ouverte au public clôturait cette semaine : Alain Brémond y présentait Galilée, astronome "moderne". Une petite ombre au tableau : nous voulions offrir au public une observation en direct du ballet des satellites de Jupiter, mais à la fin de la conférence, un fin brouillard s'était installé sur notre zone d'observation...



Et c'est avec la traditionnelle fête de fin de stage que nous avons poursuivi la soirée : après le traditionnel diaporama de Lionel et quelques sketches, la guitare de Daniel a prouvé une fois encore qu'ici aussi "tout finit par des chansons" ...

Jacques Berlioux

Jacques nous a quittés. Bien que malade, il était venu avec Marie-Thérèse son épouse, à l'AG de Dijon. Il était professeur de physique et passionné par l'astronomie. En 1983, avec Guy Mourlevat, il a fondé l'Association des Amis de l'Astronomie en Auvergne. Il participait aux activités de l'Association des Astronomes Amateurs d'Auvergne que Jean Chapelle créa en 1983. Nous laissons la parole à ceux qui l'on bien connu.



J'ai connu Jacques Berlioux à Blaise Pascal. Il a même été un trimestre mon conseiller pédagogique.

Il était intéressé par la physique et l'astronomie plus sur le fond que sur les aspects technologiques.

Il savait faire simple tout en ayant une très bonne culture scientifique.

La philosophie des sciences l'intéressait peut-être parce qu'il était croyant et passionné par le spectacle de la nature.

Ce n'est pas un hasard s'il a consacré beaucoup de son temps à l'astronomie et plus généralement à l'univers.

Il a été un fidèle de l'UdP

Roland Fustier, enseignant

C'est avec une très grande tristesse que j'ai appris le décès de Jacques Berlioux. Je savais qu'il était malade, mais je ne pouvais imaginer que Jacques disparaisse, il était trop "vivant" pour cela. Je l'avais rencontré deux ou trois ans plus tôt, et tous

les premiers janvier, depuis de nombreuses années, nous nous parlions au téléphone, nous donnant des nouvelles mutuelles. Il me parlait en particulier de son désir de retourner une fois encore au Paranal, qu'il avait visité avec son épouse Marie-Thérèse dès la mise en service des quatre très grands télescopes, visite dont il gardait un souvenir émerveillé.

J'avais rencontré Jacques dans les années soixante dix pour la première fois à Lanslebourg, où mes collègues Lucienne Gouguenheim, Lucette Bottinelli, et Michèle Gerbaldi, animaient un stage qu'elles avaient créé, stage destiné à initier à l'astronomie les professeurs de sciences des lycées et des collèges. Les participants étaient des passionnés, car on y travaillait le jour en suivant des cours et en construisant des instruments, et la nuit on ne dormait pas car on observait les étoiles. Jacques y prit part pendant plusieurs années je crois. Par la suite je l'ai revu, soit à Paris, où il vint plusieurs fois nous visiter, soit à Clermont-Ferrand, où il m'invita à donner des conférences. Chaque fois, lui et Marie-Thérèse me recevaient chez eux comme un membre de leur famille, et j'ai pu apprécier ainsi leur affabilité à tous les deux. J'ai retrouvé cette gentillesse dans un épisode personnel, lorsque ma mère a dû se faire opérer des yeux à Clermont-Ferrand où elle ne connaissait personne, et qu'ils sont allés la voir à l'hôpital et ont pris soin d'elle.

Après sa retraite, Jacques s'était plongé dans la cosmologie, et il suivait avec enthousiasme les développements de cette science fascinante. Il avait même insufflé sa passion de l'astronomie à son fils, puisque celui-ci était venu faire son stage de fin d'école d'ingénieur à l'Observatoire de Meudon. Mais il avait dû par la suite retourner vers des travaux de chimie plus en rapport avec ses études.

Chez Jacques, j'appréciais non seulement la bonté et la modestie, mais aussi la passion qu'il avait pour la science, pour l'astronomie, et pour les questions philosophiques, passion qu'il avait gardée intacte toute sa vie. Jacques était un sage, comme on en rencontre rarement maintenant.

Suzu Collin-Zahn, astrophysicienne ■

L'assemblée générale du CLEA a eu lieu le 29 novembre 2009 à l'Université Paris-Diderot.

L'élection du nouveau Conseil a été suivie de l'élection d'un nouveau Bureau.

Comme il l'avait annoncé l'an dernier, Georges Paturel a quitté la présidence. L'équipe de rédaction des Cahiers Clairaut le remercie pour l'énorme travail qu'il a accompli en portant seul les Cahiers Clairaut pendant de nombreuses années.

Le compte rendu de l'AG sera mis sur le site du CLEA, dès qu'il sera disponible.

CLEA et Année Mondiale de l'Astronomie dans le Lot

Jean Ripert, Pradines

Dans le cadre de l'AMA09, j'ai tenu à ce que le CLEA soit présent sur le Lot, département dans lequel existe un triangle noir (peu de pollution lumineuse).

Avec d'autres partenaires (Carrefour des Sciences et des Arts - CCSTI du Lot, le Club d'astronomie de Gigouzac, la compagnie d'Acétés, l'Inspection d'Académie), nous avons proposé un projet "une astronomie durable dans le Lot" (1) qui a été labellisé par le comité national.



Le projet comportait des stages de formation pour les enseignants, des conférences dans quelques villes, 10 fêtes de l'astronomie dans 10 villes plus petites avec observation du Soleil (filtre d'ouverture et filtre H α), une visite commentée d'une expo panneaux sur le système solaire, des séances de planétarium, une pièce sur le mythe de Persée (1h et gros succès) et des observations nocturnes avec trois télescopes deux 300 mm et un 200 mm, une participation aux manifestations nationales, la réalisation d'une exposition qui devait être mise sur l'aire d'autoroute "des Causses du Quercy", développant en particulier la pollution lumineuse.



Notre projet a été soutenu financièrement par la Région Midi-Pyrénées, deux mairies, 5 Conseillers

Général et le dépassement de budget par le CCSTI du Lot. Le Conseil Général du Lot ayant refusé tout financement, nous n'avons pas pu réaliser l'exposition, ainsi qu'un regroupement de classes ayant mené un projet d'astronomie.



Quels ont été les apports du CLEA ?

J'ai animé avec Jean Petit un stage sur l'astronomie pour les professeurs de collège et lycée de l'académie de Toulouse au lycée de Saint-Orens. Le stage annoncé dans le cadre de l'action culturelle avait pour but de donner des idées afin de mener des actions avec les élèves au cours de l'année. L'hétérogénéité du groupe n'a pas permis de mener à bien ce que nous souhaitions faire, mais a enrichi le débat. Je sais que des actions ont été menées dans l'Ariège et au lycée de Saint-Orens une soirée avec élèves et parents a été organisée. Nous avons même eu la chance de voir passer l'ISS suivie de la navette.



J'ai animé avec les conseillers pédagogiques sciences 5 stages pour les professeurs des écoles du Lot. De gros efforts et moyens ont été déployés par l'Inspection d'Académie pour la formation en sciences des enseignants. J'ai traité les parties au

gramme : jour et nuit, ombres et lumière, phases de la Lune, saisons. Evidemment les maquettes CLEA ont été à l'honneur. Il faut tout de même remarquer que les enseignants ont peur de se lancer, ils trouvent l'astronomie difficile. Ayant découvert certaines manips intéressantes, les conseillers pédagogiques ont fait réaliser une vingtaine de mallettes contenant du matériel. Le Bureau du CLEA a approuvé ma proposition de rajouter du matériel pour compléter ces mallettes.



Le CLEA a également prêté le planétarium qui a été utilisé pendant les "Fêtes de l'astronomie".



Celles-ci consistaient à s'installer dans une petite ville de 9h à minuit et de proposer : visite d'une exposition panneaux sur le système solaire, observation du Soleil, séance de planétarium, pièce de théâtre sur le mythe de Persée (conte musical



burlesque) et observations nocturnes.



Nous avons fait 86 séances de planétarium pour 1280 jeunes et 325 adultes ; l'exposition commentée a été visitée par 1082 jeunes et 1376 adultes. Aux observations nous avons eu 950 jeunes et 910 adultes.

Le conte burlesque "on veut Persée" a été apprécié par près de 700 jeunes et 500 adultes.

Dans chaque commune nous avons remis au maire un document sur la pollution lumineuse. On peut toujours espérer. Pour en savoir plus sur ces Fêtes de l'astronomie :

<http://carrefour-sciences-arts.over-blog.com/>

Nous avons organisé 3 conférences regroupant 230 personnes, participé aux 100 heures d'astronomie en faisant éteindre les lumières sur le Pont Valentré (250 personnes), à la Fête du Soleil (270 personnes) et à une veillée dans le Parc naturel régional (95 personnes). La nuit d'observation des satellites galiléens s'est transformée en un diaporama pour cause de pluie.



Ce fut une très belle expérience et une grande joie de partager une passion tout au long de l'année en allant au plus profond du territoire. Heureusement que nous avons trouvé des animateurs compétents qui ont assuré plus de 300 h d'animation.

Crédit photos : Ch Farreny , J Ripert.

(1) <http://www.ast.obs-mip.fr/projets/ama09-mip/PDF/Fiche-AstroLot.pdf>