

ATELIER SCIENTIFIQUE D'ASTRONOMIE

I. HISTORIQUE

1° Avant l'atelier scientifique

Un club astronomie a été créé au lycée Gaston Bachelard dans le but de faire partager aux élèves notre passion pour l'astronomie. Un collègue de mathématiques, Borgnon Frédéric et moi-même avons réalisé cette création en 1989. Une subvention conséquente du Foyer Socio-Éducatif (FSE) du lycée a permis l'investissement immédiat dans une lunette astronomique motorisée.

Un groupe de 5 à 10 élèves suivant les années participait régulièrement aux activités du club. Ce groupe était élargi pour des événements astronomiques comme les éclipses.

L'essentiel des activités consistait en observations astronomiques depuis le lycée, quelques sorties en proche campagne organisées ainsi que des séjours d'une semaine dans le Queyras (2 fois), à l'observatoire d'Aniane dans l'Hérault, et à Saint Gervais en Haute Savoie. Ces séjours alliaient astronomie, randonnées et vie autonome en collectivité.

La découverte du ciel, de ses objets, de leurs mouvements ainsi que le fonctionnement de la lunette ont nécessité qu'on apporte des compléments d'interprétation théoriques auprès des jeunes. Ces compléments étaient limités car ils ne se situaient que dans le cours d'observations en extérieur.

Les mauvaises conditions climatiques en région parisienne amenaient des séances d'observations très erratiques au cours d'une année scolaire. On a voulu organiser des séances régulières d'astronomie au lycée pour avoir un club plus vivant et permettant une progression plus efficace. Du fait de la journée continue au lycée, cela n'a pas réellement bien fonctionné, à l'exception de l'année de construction de notre télescope (1994) : une demi douzaine de séances, notamment les Mercredi après-midi, furent nécessaires pour cette construction. Un astronome amateur avait construit son propre télescope de 200mm de diamètre, de type Dobson, et en avait réalisé le plan. Nous avons suivi ce plan pour sa réalisation et cet amateur est venu nous aider pour le montage final et les réglages. Les miroirs et le matériel ont été achetés avec une nouvelle subvention du FSE du lycée, et nous l'avons construit avec les élèves. La construction a permis de comprendre le fonctionnement optique d'un télescope, même si les raisons de la conception dans son ensemble sont restées étrangères aux élèves et à nous-mêmes. Ce télescope a donné de magnifiques images en visuel durant des années. Il ne permettait pas la photographie car il n'était pas motorisé. Les aléas des travaux successifs et parfois imprévus réalisés dans le lycée ont amené la casse partielle de ce télescope par négligence. Il nécessiterait une remise en état.

Ces huit années de club, malgré les difficultés de fonctionnement, ont permis de réaliser de belles observations, de se former à la technique photographique et d'asseoir les bases théoriques d'un enseignement à venir.

Les points forts en furent les observations à la montagne et les réalisations d'images d'éclipses de Soleil en 1994 et 1997, d'éclipses de Lune en 1996 et 1997, des comètes Hyakutaké et Hale-Bopp en 1996 et 1997 et la construction du télescope de 200mm de diamètre. L'éclipse partielle de Soleil en 1997 fut la première observation publique réussie sur le lycée avec une vingtaine d'observateurs un Samedi après-midi.

Cette vie de club n'était cependant pas assez active : l'absence de séances hors des observations limitait l'apprentissage de l'autonomie aux élèves. Elle fut cependant bien acquise pour François, John, Jasmine et Séverine qui suivirent le club durant toute leur

scolarité au lycée. Les élèves étaient généralement insuffisamment acteurs : les professeurs pointaient souvent les objets, préparaient les montages photographiques. La réalisation de clichés est une activité trop fermée quand la technique est acquise et initiée aux élèves. Comment dépasser le simple plaisir de regarder ou de montrer une belle image ?

2° La création de l'atelier scientifique

Pour permettre des projets plus intéressants, j'ai désiré institutionnaliser mon expérience : bénéficier d'horaires fixes, de subventions, et que mon activité soit reconnue comme enseignement. J'ai donc créé l'atelier scientifique d'astronomie en Juin 1997 (Voir le projet déposé et présenté en annexe 1).

Cette création fut le prolongement de l'analyse que j'avais portée sur le club d'astronomie : poursuivre l'expérimentation et l'apprentissage de la prise de vues pour pouvoir bâtir des projets scientifiques ; les séances régulières permettent l'acquisition de savoirs théoriques.

Les activités présentées dans le projet constituèrent la trame principale de mon enseignement. J'envisageais jusqu'à une dizaine de projets par an : c'était trop ambitieux. La première année, trois mémoires furent réalisés, avec un contenu représentant la synthèse de plusieurs activités. Et quatre thèmes d'exposition furent réalisés.

Par la suite, deux thèmes généraux furent développés : un au cours de l'année, et un deuxième réalisé dans une mission astronomique.

Le cahier des charges des ateliers scientifiques nécessite un chercheur, éventuellement une entreprise, qui parraine et aide aux travaux de l'atelier.

Ne connaissant pas de chercheur en astronomie, j'ai dû démarcher un peu. Au cours d'un stage d'astronomie à Meudon, Dominique Proust, astrophysicien au CNRS, me fut conseillé comme partenaire éventuel. Nous nous rencontrâmes le jour même. Les bases de notre partenariat furent jetées ce jour là ; le partenariat perdure à l'heure actuelle, avec une amitié réciproque en plus.

Pour un soutien technique, un second partenariat se fit avec l'entreprise Objectif Véga spécialisée en matériel d'astronomie amateur, avec Eric Marquis également directeur du magazine d'astronomie "Éclipse". Ce partenariat fonctionna bien pendant deux ans, jusqu'à un projet d'investissement en matériel pour l'atelier au moment de difficultés financières (inconnues de ma part) de l'entreprise. Il fallut user de stratagèmes pour récupérer les 23000F de commande de la part du lycée Gaston Bachelard.

L'intérêt des partenaires scientifiques sera développé plus loin, mais il apparaît que "trouver" des partenaires n'est ni aisé, ni fiable.

Cette première année d'enseignement se déroula comme prévu dans le « projet de création d'un atelier scientifique » présenté en annexe : des observations en plein air en cas de beau temps et des activités intérieures ou compléments de cours théoriques en cas de mauvais temps.

Les heures hebdomadaires d'astronomie ont lieu après les cours, de 17H15 à 19H15. En début d'année scolaire, le Soleil est observable ; les astres nocturnes le sont de Novembre à Février. Les séances d'observations permettent la découverte du matériel d'astronomie, des planètes et de la Lune. Les séances de Mars à Mai sont bien occupées à la préparation du projet annuel, sa réalisation et sa valorisation.

N'ayant pas de références pour enseigner l'astronomie, je me suis basé cette première année sur la trame que j'avais préparée et présentée avec le projet de création. La base était les connaissances nécessaires à la compréhension des fonctions élémentaires d'une lunette ou d'un télescope, les rudiments d'optique photographique ainsi que la photométrie pour calculer

des distances d'étoiles. Tout ce que je n'avais pu réaliser précédemment, mais que ces horaires fixes et cette reconnaissance permettaient dorénavant.

Douze élèves sur la quinzaine d'inscrits, suivirent l'enseignement toute l'année : 3 élèves de terminales STT, 2 élèves de terminale S, 1 de terminale ES, 1 de terminale L, 3 de première S, et 2 élèves de seconde. Ce « melting pot », jamais renouvelé par la suite, fut très intéressant par la complémentarité des compétences de chacun. Je fus très étonné par le caractère « emprunté » des élèves de classes scientifiques : la peur de mal faire semblait les paralyser ; ces élèves avaient certainement plus l'habitude de bien dominer le contexte expérimental. Ici, tout l'univers était à découvrir, avec un matériel (lunette et appareil photo) qui l'était autant. Les élèves de STT notamment, ont pratiqué l'astronomie sans recul, pour le plaisir : ils étaient plus dynamiques et adroits pour pointer les objets et réaliser les photos. Aux moments des activités intérieures d'analyse des observations effectuées et de travaux de synthèse, les rapports étaient inversés : les élèves scientifiques, plus concentrés, ont fait preuve d'une bien meilleure efficacité dans l'analyse, avec des motivations égales et excellentes cependant. J'ai été très étonné aussi par la motivation des élèves non scientifiques à effectuer les calculs complexes à la calculatrice, ou à appliquer des notions géométriques comme Pythagore ou Thalès : le but final d'une mesure à obtenir donnait toute l'énergie nécessaire. Mon dernier étonnement fut de découvrir combien les élèves de toutes séries étaient en difficulté pour investir d'eux-mêmes leurs connaissances dans une situation très simple donnée, mais de contexte inhabituel. Par exemple, trouver la quatrième proportionnelle ou appliquer Pythagore. Les élèves étaient certainement en situation différente de l'enseignement habituel, où une notion est présentée, illustrée. Les exemples qui suivent la leçon reprennent alors la situation standard étudiée. Dans le cadre de l'atelier scientifique, les élèves ne savent pas quels acquis culturels ils pourront réinvestir, et c'est aussi parfois le cas de leur enseignant !

Dans l'atelier d'astronomie, l'enseignement théorique est resté connexe avec la pratique expérimentale : connaissance du temps et du calendrier pour orienter correctement le moteur de la lunette, notions d'optique pour comprendre les problèmes rencontrés en photographie, classification spectrale et magnitudes des étoiles pour calculer des distances d'étoiles. L'intérêt, l'écoute et la mise en application ont toujours été de qualité. La finalité des cours n'était cependant pas toujours présente à l'esprit des élèves. C'est principalement le contenu très différent de celui des programmes usuels qui était la cause de l'intérêt suscité.

Un projet à réaliser en observatoire fut préparé : comment calculer à quelles distances sont les étoiles ? Ce projet fut préparé par l'observation au lycée du spectre du Soleil avec un réseau, par l'étude spectrale des étoiles et celle des notions de magnitudes apparente et absolue. La réalisation devait se faire à l'Uranoscope de Gretz-Armainvilliers-77-. Il fit mauvais temps, hélas, les trois soirées organisées dans ce but. Le projet ne fut donc pas réalisé ; comme valorisation, un mémoire fut réalisé par Jérémy et Christian, élèves de Terminale scientifique, expliquant en détails le principe du calcul. L'expérimentation y était cependant présente avec le compte rendu de l'observation du spectre solaire.

Des sorties en campagne à quelques kilomètres de Chelles furent organisées pour observer nébuleuses et galaxies avec notre télescope fabriqué. Après la mutation de Frédéric Borgnon en 1995, un autre collègue de mathématiques, Jean-Pierre Casalta, a participé aux observations en campagne et au lycée la dernière année du club et la première de l'atelier scientifique. Il ne s'estimait, hélas et à tort, pas suffisamment aguerri pour enseigner l'astronomie. Il muta à son tour en 1998 ; le transport des élèves et du matériel était assuré avec nos véhicules personnels, comme au temps du club astronomie précédent. Ces sorties en campagne s'effectuent le samedi soir, selon la disponibilité de chaque élève.

Plusieurs séances en fin d'année furent consacrées à la journée de valorisation des ateliers scientifiques organisée au Musée de l'Air du Bourget. Les élèves se sont groupés par deux ou trois autour d'un thème parmi ceux abordés dans l'année : distance Terre-Lune avec François

et Xavier Le, phases lunaires avec Dimitri et Stéphane, hauteurs de reliefs lunaires avec Frédéric et Xavier La, distances d'étoiles avec Jérémy et Christian, constellations et mythologie avec Célia et Aurélia. Chaque groupe était responsable de sa présentation sous forme de panneau manuscrit et illustré. J'ai aussi préparé moi-même un diaporama des images de l'année et de celles du club précédent l'atelier.

Hors des heures d'enseignement à l'atelier, les groupes ont aussi rédigé chacun un mémoire sur leur thème choisi. Ces mémoires furent examinés par Dominique Proust, notre astrophysicien partenaire, et rendus avec annotations de félicitations et d'encouragements à poursuivre. Que leur travail soit lu par une personne extérieure et on ne peut plus compétente a été déterminant dans leur motivation pour la rédaction.

Durant cette première année d'atelier scientifique, le vécu a globalement correspondu à mes attentes. Les projets développés sont restés modestes, ce qui a permis leur nombre assez important (5). Le laboratoire photographique du lycée n'a pas pu démarrer suffisamment tôt pour que les élèves puissent développer eux-mêmes leurs clichés. Les développements furent confiés à un professionnel.

Cette première année fut suffisamment positive, et les attentes des élèves et de leur enseignant importantes pour renouveler l'expérience.

3° Photographie argentique et découverte de la CCD

Les deux années suivantes, l'atelier garda la même organisation, avec des effectifs d'élèves plus réduits : une dizaine environ avec les élèves des années antérieures et une nouvelle génération d'élèves de seconde. Peu de filles suivirent l'atelier ces années ; les élèves inscrits étaient plutôt scientifiques dont trois élèves de STI (2 en BTS et un en terminale).

La remise en état du labo photo et le concours de Michelle Toucas, professeur d'Espagnol et spécialiste en développement photo, a permis aux élèves de tenir la chaîne de l'imagerie astronomique de bout en bout, depuis le choix des oculaires pour l'agrandissement jusqu'à la détermination du temps de fixation des épreuves. Une pellicule noir et blanc de grain très fin est spécialement adaptée à l'astronomie et requiert un développement manuel. L'atelier vécut une phase de « marche arrière », le temps aux élèves de maîtriser le développement des photos d'astronomie, avant d'obtenir de meilleurs résultats que les développements du commerce en imagerie planétaire. Le temps d'effectuer les développements étant très long (plusieurs mois), des pellicules couleur furent encore portées à développer. Les négatifs noir et blanc étaient tirés assez rapidement pour avoir le résultat concret des observations. En prévision de la finalisation des projets, le tirage sur papier s'effectuait au printemps quand les observations ne pouvaient plus se faire depuis le lycée pour cause d'allongement du jour. Les élèves « passaient au labo » par roulements de trois ou quatre pendant que le reste du groupe travaillait sur le projet à réaliser en observatoire : distances de galaxies en 1998-1999 et distances de nébuleuses gazeuses en 1999-2000.

L'association ANSTJ (actuellement Planète-Sciences) organise tous les ans le concours « Lycées de Nuit » à destination de lycéens et aussi par la suite de collégiens désirant, avec un de leurs professeurs, réaliser un projet scientifique en astronomie. Les meilleurs projets se réalisent dans un observatoire professionnel. Tous les projets sont soutenus par l'ANSTJ, autant d'un point de vue matériel que par l'octroi d'un animateur « suiveur » du projet et aidant à sa réalisation.

J'ai inscrit l'atelier d'astronomie à ce concours en 1998 avec l'objectif de calculer des distances de galaxies. Le projet fut retenu pour être réalisé à l'Observatoire de Haute Provence (OHP) avec un télescope de 80 cm de diamètre et une caméra CCD. Six élèves y participèrent. Le transport s'effectua avec le minibus du lycée tout nouvellement doté par le

Conseil Régional d'Ile de France. Pour pouvoir être à deux conducteurs, un collègue de mathématiques du lycée : Louis De Maximy, participa aussi à cette mission, découvrit l'astronomie expérimentale à cette occasion et participa activement à l'encadrement.

La démarche pour établir ces distances avait été élaborée au lycée à partir du calcul de distances d'étoiles de notre Galaxie présenté en cours théorique, puis les élèves durent élaborer par eux-mêmes une stratégie pour obtenir les distances de deux galaxies extérieures. L'immersion complète dans un univers scientifique professionnel, le respect apporté sur place à notre projet, ont été un vrai choc culturel pour les élèves : leur projet préparé dans un cadre scolaire devenait un projet scientifique « officiel ». Cela a induit une grande responsabilité pour eux de bien le comprendre, le mener à bien, et d'assumer certains choix effectués. Le matériel était impressionnant et la technique CCD (caméra numérique) une nouveauté. Les élèves se sont immédiatement incarnés en astronomes ! Un technicien de coupole à leur unique disposition durant les demi-nuits à notre disposition, leur a présenté les fonctionnements du télescope et de la caméra CCD. L'animateur ANSTJ leur a montré comment traiter les images numériques de façon à obtenir une image fidèle à la réalité. Je leur avais présenté en cours comment calculer la distance d'une étoile d'après la mesure de son rayonnement sur image.

Les élèves, pour la plupart déjà familiarisés avec l'informatique mais dans un cadre ludique, ont pu découvrir son apport scientifique. Ils ont immédiatement mis en regard leur technique photographique traditionnelle (encore utilisée en astronomie professionnelle dans les années 1960) et cette nouvelle technologie, à la fois précise et rapide, où tout est nombre.

Le beau temps fut au rendez-vous trois nuits sur quatre, et le projet réalisé au-delà de toute espérance. Il faut aussi signaler que le cadre de l'OHP est de toute beauté.

Avant leur départ, les élèves devaient retransmettre aux autres astronomes présents et à l'autre groupe d'élèves de l'ANSTJ. Cela permit à chacun de connaître son sujet sur le bout des doigts, même si aucun astronome présent à l'observatoire n'assista à la retransmission. Les élèves assistèrent aussi à la retransmission de l'autre groupe et eurent un effet miroir de leur propre activité, même si elle se situait dans un domaine très différent.

La réussite de ce séjour, l'apport formateur de l'utilisation de l'informatique m'ont convaincu de renouveler ce type d'expérience chaque année.

L'année suivante, en 2000, par la même structure, nous avons réalisé une mission au tout nouvel observatoire TJMS de Buthiers-77- dans le but de calculer des distances de nébuleuses gazeuses. L'idée principale utilisée fut celle d'un élève de seconde donnée au lycée lors de la préparation du projet. Une image CCD de la nébuleuse M27, avec filtres colorés, fut acquise mais aucune autre image complémentaire nécessaire au calcul de distance ne put être acquise à cause de l'arrivée du mauvais temps. Plusieurs heures de travail sur ordinateur furent nécessaires pour transformer la série d'une cinquantaine d'images diverses acquises en une image numérique en polychromie ; cette expérience, décevante quant au projet envisagé, mit en germe un autre projet : celui de réaliser des images numériques, d'en faire un objectif similaire à celui de la photographie argentique.

Ces deux années scolaires 1998-1999 et 1999-2000 permirent la réalisation de projets aussi bien en imagerie traditionnelle qu'en imagerie numérique. Ils furent l'objet d'expositions et de mémoires.

1998-1999 : distances d'étoiles (CCD), dimension de la Voie Lactée (CCD), distances des galaxies M104 et NGC4565 (CCD), images de nébuleuses (photo argentique).

1999-2000 : axe et période de rotation du Soleil, étude de taches solaires, calcul de la distance Terre-Lune à l'aide d'images de l'éclipse de Soleil du 11/08/1999 (photos argentiques), réalisation d'une image numérique d'astronomie en trichromie (CCD).

4° Imagerie numérique en webcam

L'utilisation de caméras CCD en missions m'a fait prendre conscience de l'importance de l'intégration des nouvelles technologies dans l'enseignement. L'investissement dans une caméra CCD me semblait, sinon utopique pour l'atelier d'astronomie, du moins lointain. A l'occasion d'un stage d'astronomie en Juin 2000 à Buthiers, les astronomes amateurs Michel Collard et Sylvain Weiller présentèrent comment faire de la photo astronomique avec une webcam. Les images étaient très correctes mais limitées aux objets les plus brillants comme planètes, Lune, Soleil. Elles étaient cependant de nature identique aux images en CCD : des images numériques, c'est-à-dire des tableaux de nombres.

Malgré l'aspect rudimentaire de ces images, je décidai d'orienter l'atelier en 2000-2001 vers l'imagerie webcam avec l'investissement d'un ordinateur portable grâce au FSE du lycée, et d'une webcam de coût très modique (450F) à la différence d'une caméra CCD (12000F). L'avantage, autant en CCD qu'en webcam est que l'image est vue en direct ou presque. On sait immédiatement si l'image est réussie, on en voit aussi les défauts éventuels qu'on peut analyser et corriger immédiatement. L'impact pédagogique est immédiat : la vitesse de progression technique instrumentale est décuplée pour les élèves. Les défauts ou insuffisances sont immédiatement corrigés au lieu d'une attente de plusieurs semaines et sa part d'oubli.

Une salle informatique me fut accordée pour permettre les traitements numériques. Le lycée balbutiait encore ses mises en réseau, aussi la mise en place de cette nouvelle activité fut souvent problématique, et ceci, plusieurs années durant. Elle fut cependant largement praticable pour les élèves, malgré les ratés de certaines séances.

Cette initiation à l'imagerie en webcam fut aussi une aventure vécue en direct par les élèves. Elle était une activité de pionniers en 2000. Des astronomes amateurs créaient leurs propres logiciels de traitements d'images, découvraient des techniques d'amélioration des images. Suivant moi-même de très près les évolutions sur la liste internet Astrocams, j'initiai immédiatement les élèves aux nouvelles techniques de traitements et aux nouveaux logiciels. Entre 2000 et 2002, les webcams sont devenues de véritables mini caméras CCD, permettant les mêmes activités scientifiques, en moins précis, certes, mais avec des images directement en couleurs.

Le site web de l'atelier d'astronomie qui est intégré à celui du lycée, présente l'évolution des images prises par les élèves pendant ces années, en l'occurrence : 2000-2001 et 2001-2002.

Le traitement d'images portant initialement sur quelques dizaines d'images est passé à un traitement sur plus de 1000 images brutes pour une seule image finale.

L'imagerie webcam transforme aussi radicalement l'observation astronomique: au lieu de regarder l'un après l'autre derrière l'oculaire du télescope, tout le monde se presse pour regarder ce qui apparaît sur l'écran de l'ordinateur portable.

Une soirée publique d'observation fut organisée au lycée à l'occasion de l'éclipse de Lune du 9 Janvier 2001 au soir. Une trentaine de personnes assista à la séance. Dans l'attente de l'éclipse, les planètes Vénus, Jupiter et Saturne furent observées: la webcam branchée derrière la lunette et reliée au portable, lui-même relié à un vidéoprojecteur, donnait les images sur le mur du préau. Tout le monde observait simultanément et en direct ces trois planètes. L'éclipse de Lune fut ensuite observée à l'œil nu et photographiée en traditionnel car les webcams ont un champ très réduit, idéal pour les planètes mais trop petit pour la Lune ou le Soleil en intégralité.

Pour pouvoir intégrer pleinement l'imagerie webcam dans l'enseignement, les cours théoriques sont réduits, notamment ceux sur l'optique qui sont supprimés car l'empirisme suffit en webcam où un calcul précis était nécessaire en photo traditionnelle. Le contenu d'une image numérique doit cependant être clairement expliqué aux élèves.

En 2004, l'imagerie webcam semble avoir atteint l'âge adulte, avec des techniques fiables standard, des logiciels quasi définitifs. L'émergence des appareils photos numériques (APN), surtout Reflex, amène une nouvelle révolution technologique et une plus grande

simplification encore des techniques d'acquisitions d'images. Cela aura, j'espère, une répercussion rapide sur l'atelier d'astronomie.

Parallèlement à l'acquisition des techniques d'imagerie en webcam, l'année 2000-2001 fut l'année du premier projet réussi de mesures conjointes réalisées avec le réseau Internet, avec le calcul de la parallaxe de Mars développé plus loin.

Un projet "Lycée Passion" auprès du Conseil Régional d'Ile de France a aussi permis l'investissement d'un excellent télescope motorisable et polyvalent. On peut, avec ce télescope, réaliser à la fois des gros plans de planètes, et en changeant sa configuration, effectuer de longues poses sur des nébuleuses. Ce télescope réalisa ses premières images sur la planète Mars lors de son opposition de 2001.

L'année 2001-2002 permit, grâce à la maturité technologique d'imagerie et aux capacités du nouveau télescope, de réaliser de bons clichés de planètes. Avec le calcul de la distance Terre-Soleil effectué l'année précédente, ces clichés ont permis de calculer les distances des principales planètes du système solaire au Soleil, et donc aussi à la Terre.

5° Les projets de mesures conjointes

L'histoire de l'astronomie est jalonnée de voyages et d'expéditions qui ont permis de mesurer l'univers nous entourant.

Eratosthène a mesuré la Terre à partir d'Alexandrie au Nord et d'Assouan au Sud de l'Egypte. Des arpenteurs furent mobilisés par le pharaon pour calculer la distance de base entre ces villes.

Le 18^{ème} siècle fut celui de ces mesures : parallaxe lunaire pour que les navigateurs déterminent précisément leur position, parallaxe de Mars et passages de Vénus pour calculer la distance Terre-Soleil. Des expéditions furent envoyées par les puissances européennes aux "quatre coins du monde" pour réaliser ces calculs par mesures conjointes.

Le développement d'Internet permet maintenant d'effectuer ces mesures sans déplacer d'équipes. Des lycées ou des amateurs peuvent se mettre en relation pour effectuer chacun leurs mesures et les envoyer aux autres lycées partenaires.

Le premier projet de mesure conjointe qu'on tenta fut celui de la distance Terre-Lune à l'aide de l'éclipse de Soleil du 11 Août 1999. La page web de l'atelier d'astronomie fut créée dans ce but en 1998-1999 et la distance Terre-Lune obtenue de cette façon en 1999-2000, on verra avec quelles péripéties.

Le deuxième projet fut le calcul de la parallaxe de Mars en 2000-2001 qui occupa toute une année scolaire.

Le troisième projet court à l'heure actuelle: nous mettre dans la situation des astronomes en 1761 ou 1769 ; aller dans l'archipel du Spitzberg dans l'Océan Arctique observer le passage de la planète Vénus devant le Soleil le 8 Juin 2004; par comparaison de nos images avec celles de partenaires, calculer la distance Terre-Soleil. On aura "recruté" ces partenaires à l'aide d'Internet pour qu'ils suivent un protocole qu'on aura décidé et amendé.

Ce projet fut lancé dès l'année 2002-2003 par l'observation du passage de Mercure devant le Soleil le 7 Mai 2003. Ce passage ne permettait pas un calcul précis du fait de la trop grande distance de Mercure, mais constituait un test grandeur nature du protocole envisagé pour la prise d'images.

II. LES CONTENUS

1° Les objectifs de l'atelier

Ils sont présentés en annexe dans le projet de création de l'atelier scientifique d'astronomie du Lycée Gaston Bachelard.

2° Les partenaires

L'un des critères déterminants pour un atelier scientifique est l'accord d'un chercheur ou d'un ingénieur pour aider l'atelier dans sa démarche. Ayant l'expérience antérieure d'un club d'astronomie, je n'ai pas ressenti la nécessité de la présence d'un chercheur pour m'aider dans mon atelier. Ne connaissant à priori aucun chercheur, de surcroît en astronomie, j'ai d'abord pris cette exigence comme une épreuve à surmonter.

C'est à l'observatoire de Meudon même, et au cours d'un stage "Mercredis de Meudon" que j'ai exposé ma demande à l'astronome animatrice du stage. Celle-ci m'a déclaré connaître bien peu d'astronomes qui seraient volontaires pour ce partenariat, surtout en étant de part et d'autre de Paris. Une seule personne serait peut-être disponible: Dominique Proust, astrophysicien CNRS à l'Observatoire de Meudon, spécialiste sur les galaxies. Je pus le rencontrer le jour même. Je lui ai expliqué le fonctionnement des ateliers scientifiques, mon projet de réaliser des observations et d'en déduire des résultats scientifiques. Je lui précisai que son intervention serait modeste : que j'aurai probablement besoin de compléments de connaissances ou simplement d'un avis compétent sur nos travaux. Dominique Proust fut tout de suite d'accord sur ce projet, avec d'autant plus d'enthousiasme que mes élèves étaient dans un lycée dit de "zone sensible", et donc d'origines assez modestes. Le principe fut aussi lancé de deux visites réciproques au cours de l'année: une fois Dominique se rendra dans notre lycée et présentera un diaporama d'astronomie en expliquant son métier et ses travaux. Une autre fois, l'atelier se rendra à Meudon, et Dominique nous fera visiter l'observatoire et on observera avec de gros télescopes s'il fait beau.

Depuis sept années scolaires que nous travaillons ensemble, nous avons gardé ces deux axes d'information et de visites réciproques.

Son concours est précieux quand nous travaillons sur les étoiles et les galaxies, ses contacts professionnels le sont autant quand nous travaillons sur les planètes ou la Lune. Nous correspondons généralement par méls. J'ai tenté l'expérience de questionnements d'élèves par méls au sujet de notre projet en cours. Il est très difficile de formuler une question par écrit et en dehors de tout contexte. Plusieurs échanges furent nécessaires pour se comprendre, et sur plusieurs semaines. Les questionnements en direct lors de visites réciproques étaient bien plus efficaces.

Le partenariat avec un chercheur a eu deux impacts importants que je n'avais pas envisagés :

- * l'importance de côtoyer un chercheur, de discuter de son métier, de sa formation, d'astronomie aussi. La possibilité pour un jeune de faire de la recherche scientifique devient palpable.

- * cette forme de reconnaissance de l'atelier scientifique est un Sésame pour nombre de projets, notamment de demandes de financement. Le partenariat est à la fois une garantie de sérieux de l'atelier et aussi d'une certaine pérennité de son activité.

Parallèlement au partenariat avec le CNRS, j'ai envisagé un partenariat avec l'entreprise Objectif Véga et Eric Marquis. J'attendais beaucoup de ce partenariat, notamment en aide instrumentale ou technique photographique. Les rapports sont restés essentiellement mercantiles ; je ne m'en aperçus que plus tard. Un point très positif de ce partenariat fut un article paru dans le magazine "Eclipse", dirigé par Eric Marquis, que j'écrivis pour présenter l'atelier scientifique, les activités des élèves et la structure sous-jacente. Ce partenariat pris fin au bout de deux ans pour des problèmes de malversations. Je ne dus la poursuite de l'atelier

qu'à un coup de chance pour récupérer notre matériel et l'investissement fait par le lycée et le FSE.

Le partenariat n'est donc pas une garantie de plus qualitatif pour un atelier. Il dépend surtout des deux partenaires. Son intérêt repose principalement, à mon avis, dans le contact entre le monde scolaire et le monde de la recherche; un contact essentiel pour créer des vocations. Ce type de contact s'est aussi créé lors de nos missions réalisées à l'Observatoire de Haute Provence ou à l'Observatoire de Floirac près de Bordeaux.

3° Les séances hebdomadaires et sorties

Dans le but que d'autres enseignants créent un atelier scientifique d'astronomie ou une structure analogue, il me semble important de décrire l'organisation de celui que j'enseigne. Elle fut le résultat de plusieurs années d'expérience de club d'astronomie, et enrichie par le vécu de l'atelier.

Le but principal que je m'assignais à l'atelier était d'observer. La météorologie assez défavorable en région parisienne ne le permet pas pour chaque séance, loin s'en faut; des horaires non fixes ou déconnectés des heures scolaires ne permettent pas aux élèves de s'y intégrer. La plage horaire 17H15-19H15 un soir de semaine permet le meilleur compromis: Septembre et Octobre en heures d'été sont consacrés à l'observation du Soleil et aux premiers apprentissages expérimentaux, plus aisés à réaliser de jour. Étoiles et planètes sont observables de Novembre à Février. Les mois suivants sont bien occupés par les projets ou bien une activité sur le Soleil peut aussi se réaliser en Avril-Mai. La fréquence des soirées dégagées est d'environ 30%. D'autres activités doivent donc relayer les observations. Ces activités ne peuvent être de seuls passe-temps sous peine de voir rapidement les effectifs s'évaporer. Une activité scientifique ne pouvant se réduire à de l'observation, les séances avec temps couvert sont utilisées pour des cours théoriques, du traitement des observations, de la préparation de projets. La règle a toujours été: "s'il fait beau, on observe". Le ciel astronomique est très changeant : visibilité des planètes ou de la Lune, occultations, éclipses... Il vaut mieux saisir l'opportunité d'une observation réussie, même si elle ne cadre pas à priori avec le projet envisagé, que de forcer la préparation d'une autre observation qui échouera pour cause de mauvais temps. En Décembre 1997, on travaillait sur la façon de calculer les distances d'étoiles. Une soirée fut belle et permis des photos de Jupiter, Saturne et surtout de la Lune idéalement placée au premier quartier. Le projet sur les étoiles ne put se réaliser pour cause d'intempéries, mais les images de la Lune furent utilisées pour déterminer les hauteurs de montagnes sur la Lune.

Les séances d'astronomie n'ont donc pas un cours linéaire mais assez erratique. Un carnet de bord est nécessaire pour chaque élève. Il garde la mémoire de tout ce qui a été fait, même si parfois plusieurs mois séparent le début d'une activité de sa reprise. Il est toujours difficile d'exiger un carnet de bord aux élèves pour une activité qu'ils considèrent à juste titre comme étant de loisir. Certains élèves le tiennent cependant de façon très soignée et le garderont certainement de nombreuses années. Il m'est indispensable de tenir moi-même mon propre carnet de bord avec le contenu, les résultats, et les questionnements de chaque séance ; il joue alors le rôle du cahier de texte de l'enseignant et aussi de carnet d'appel. Les carnets de bord facilitent les synthèses réalisées en Février et en Mai. Ils suivent l'élève en mission en observatoire, parfois aussi pour des sorties en campagne. Ils constituent toute l'histoire de l'année scolaire pour le moins. Les séances d'activités intérieures ont beaucoup évolué en sept ans. De cours exclusifs la première année, ils furent alternés avec des séances de labo photo les deux années suivantes, avec un professeur animateur. Ces séances étaient très appréciées des élèves par l'originalité de cette activité, faite en milieu noir et clos, et parce que se

matérialisait dans un bain leur cliché pris avec tant d'application quelques semaines auparavant.

Les séances de labo photo furent remplacées à partir de l'an 2000 par des séances de traitement d'images sur ordinateurs. Les fichiers images étant en réalité des films, une salle d'ordinateurs en réseau était nécessaire : les films sont transférés de l'ordinateur portable servant aux acquisitions vers une disquette zip puis transférés sur l'un des ordinateurs de la salle. Le réseau permet alors à chaque élève d'aller chercher le film à traiter sur l'ordinateur serveur. Les planètes sont filmées durant 1 à 2 minutes. Le traitement consiste à décomposer le film en images individuelles, sélectionner les meilleures images du film, effectuer la moyenne des images sélectionnées (on a affaire à des images numériques!), appliquer des algorithmes faisant ressortir les détails comme le masque flou, les ondelettes ou Vancittert. Les élèves actuels aiment tout ce qui est informatique, et le jeu consistant à transformer une image "bruitée" en une image propre les intéresse beaucoup et permet l'émulation pour connaître celui qui obtiendra la plus belle image. En trois années, le "travail d'orfèvre" s'est bien automatisé avec des logiciels toujours plus sophistiqués. L'intervention humaine est plus limitée et l'ordinateur bien plus sollicité.

La mise en place des traitements d'images fut problématique : le réseau était une nouvelle technologie, les systèmes de protection étaient testés en situation réelle et les nouveaux logiciels nécessitent toujours plus de rapidité de la part de l'ordinateur. Le fait que cette activité soit pour une grande part d'avant-garde en a fait supporter les balbutiements. Cette époque pionnière révolue, l'atelier se recentrera sur les bases de l'astronomie ; le traitement des images devenant plus accessoire, avec une technologie sans faille.

4° Les missions en observatoires

Le temps fort de chaque année est la mission organisée en observatoire. L'opération "lycées de nuit" organisée par Planète-Sciences permet aux élèves de l'atelier, si leur projet est sélectionné, de le réaliser dans un observatoire, soit professionnel, soit amateur mais de grande qualité. L'aspect "concours" de cette opération rend son organisation très problématique pour l'enseignant. Les élèves travaillent plusieurs mois sans savoir où, ni quand leur projet sera réalisé. On ne peut dire aux parents des élèves et à l'administration du lycée, le lieu, la date et le montant du séjour qu'une dizaine de jours avant sa réalisation. C'est le gros défaut de cette structure, qui me fait hésiter à m'engager chaque année. Mes remarques faites à Planète-Sciences à ce sujet n'ont pas pu être prises en compte jusqu'à présent.

Ces missions en observatoire professionnel, et à degré moindre amateur, ont toujours été une expérience exceptionnelle pour les élèves y participant. En cette période de déficit de vocations scientifiques, toute action de promotion est intéressante et va au-delà de ses acteurs par les actions de valorisations qui y sont liées.

La première mission en observatoire eut lieu au printemps 1999 à l'Observatoire de Haute Provence. Le transport fut très facile : le lycée venait d'être doté d'un minibus de neuf places par le Conseil Régional d'Ile de France. Six élèves se sont inscrits (le projet était limité *a priori* à quatre élèves). Deux professeurs étaient nécessaires pour conduire le minibus. Il y eut quelques péripéties au retour, car le tout nouveau minibus tomba en panne à Villefranche sur Saône. L'assurance MAIF du lycée permit heureusement le rapatriement des élèves la nuit même par taxi.

Le projet fut préparé durant l'hiver 1998-1999. Les observations au télescope du début d'année ont fait découvrir aux élèves que des taches nébuleuses aux jumelles se révèlent parfois être des groupements d'étoiles. D'autres taches sont résistantes à l'observation. Une question phare

du projet était toute indiquée et elle fut posée en bons termes par les élèves : "le grossissement du télescope est-il insuffisant pour résoudre ces nébuleuses en étoiles ?"

Tous les élèves connaissent la règle générale de "arpenter l'univers" qui est de calculer des distances d'objets célestes sans aucun recours à des résultats extérieurs. Les galaxies sont des nébuleuses qu'on ne peut résoudre en étoiles même avec une instrumentation professionnelle "moyenne". Le but fut donc de calculer des distances de galaxies, en espérant pouvoir répondre à la question initiale. Pour l'exploration du ciel lointain, je pensais à l'étude d'étoiles Céphéides ; mais sans nous décourager, Dominique Proust émit des réserves sur la réussite de cette stratégie : Hubble réussit avec le grand et lumineux télescope du Mont Wilson et plusieurs années d'observations. Seuls les calculs de distances d'étoiles étudiés en début d'année semblaient applicables, mais de quelle façon, avec une nébuleuse qu'on ne peut résoudre en étoiles ? Les élèves connaissaient les objets célestes que sont les galaxies et les nébuleuses gazeuses par leur propre culture et aussi les diaporamas présentés à l'atelier. Cette connaissance fut d'un grand secours dans l'élaboration de la stratégie, mais elle ne pouvait intervenir dans le contenu du projet.

On est donc partis de l'hypothèse que les galaxies sont des amas d'étoiles semblables à notre Voie Lactée, mais trop éloignées pour être résolues en étoiles, avec l'espoir de réussir à valider cette hypothèse. Les élèves font régulièrement la confusion entre ce qu'ils connaissent en astronomie et ce qu'ils ont réussi à prouver. Je ne leur en tiens pas du tout rigueur, au contraire : l'appui sur des connaissances antérieures est un tremplin vers de nouvelles explorations. Je suis cependant le "gardien" de l'éthique du projet dans sa réalisation pratique. Le projet s'est alors orienté vers le calcul des dimensions de la Voie Lactée. En supposant les galaxies comme étant identiques à la Voie Lactée, la connaissance du diamètre réel de la Voie Lactée et le diamètre angulaire apparent d'une galaxie (NGC4565 en l'occurrence), donne immédiatement la distance de la galaxie. L'épaisseur de la Voie Lactée sera obtenue à partir de la distance de la plus lointaine étoile dans la direction perpendiculaire au disque galactique. Il fallut encore toute une étude du ciel à l'œil nu, avec simulation logicielle et surtout manipulation d'un miniciel cartonné pour déterminer la position de la Terre, et donc de nous-mêmes dans la Voie Lactée.

Le projet était ainsi prêt, élaboré par les élèves, avec mon aide, celle de Dominique Proust ainsi que de l'animateur ANSTJ, Thomas August-Bernex, qui était aussi jeune chercheur en astronomie, et qu'on revit par hasard trois ans plus tard en poste à l'observatoire de Floirac.

Quand nous apprîmes que notre atelier avait été choisi, avec un autre de l'Essonne, pour aller réaliser son projet à l'OHP avec un télescope de 800mm de diamètre et une caméra CCD, nous nous mêmes, élèves et enseignant à rêver : comme il y a des amas globulaires d'étoiles dans notre galaxie, ne pourrait-on pas en voir dans d'autres galaxies ? Les élèves découvrirent ainsi un projet parallèle : mesurer la distance et la dimension angulaire d'un amas globulaire de la Voie Lactée. Avec le télescope de l'OHP, repérer si possible des amas globulaires d'une autre galaxie et mesurer leurs diamètres apparents. Par la même méthode que la précédente, on déduit la distance de l'amas globulaire extra-galactique, et par voie de conséquence, la distance de la galaxie qui l'héberge.

A l'Observatoire de Haute Provence, nous étions exactement "à la même enseigne" que les astronomes venant y réaliser leur mission: hébergement et restauration identiques, un technicien de coupole affecté au télescope pour nous aider à la réalisation. Il fallait en fait expliquer aux élèves le fonctionnement du télescope, de la caméra CCD, et des logiciels d'acquisitions ou de traitements d'images. Huit personnes étant un nombre trop important pour travailler efficacement dans une coupole, les élèves furent divisés en deux groupes par alternance : un groupe en coupole pour travailler sur le projet et un deuxième avec notre propre matériel pour pratiquer de l'astronomie amateur : observations et photographies de nébuleuses, notamment de celles choisies dans le projet. Je me suis retrouvé mobilisé par les

observations avec notre matériel et déconnecté de la plus grande partie de la réalisation pratique du projet. Inquiet au début de cette situation, j'ai rapidement compris qu'elle était certainement la meilleure. Les élèves étaient les uniques détenteurs de leur projet, et je cessai de tout organiser. Ils se sont sentis pleinement responsables de sa réussite. Ils ont vite cherché à être autonomes. Ils y parvinrent sans problèmes par l'aide simultanée du technicien de coupole, de l'animateur ANSTJ connaissant les logiciels utilisés, et celle de mon collègue "chauffeur", découvrant à la fois l'astronomie et ce projet, mais très motivé et attentif à la cohérence des opérations. Les groupes se relayant me rendaient compte de leurs problèmes rencontrés, et il y en eut... puis de leurs observations et acquisitions.

Un peu de traitement d'images était effectué parallèlement aux acquisitions mais le plus gros travail de dépouillement et d'analyse était effectué en après-midi, le lever ayant lieu peu avant midi.

Pour toutes les autres missions en observatoire, j'ai conservé cette organisation, où j'étais en retrait et les élèves responsables pleinement de leur travail sur le projet. Le faible effectif (quatre au maximum) à travailler simultanément en coupole est aussi facteur à la fois d'intégration au projet et de sa réussite. Ces minis groupes ont aussi leur vie autonome, où chacun trouve sa meilleure place et son champ de responsabilité. Jonathan au "rapatriement" des images du télescope sur un ordinateur PC, Laetitia au traitement des images, Stéphane et Xavier aux mesures photométriques...

L'enseignant n'a pas à motiver le groupe, encore moins à vérifier pas à pas l'avancement du travail. C'est à la préparation du projet que doit naître cette motivation. C'est aisé avec des élèves ayant accompli la démarche de faire de l'astronomie en plus de leurs études. Les clés me semblent être l'intégration du groupe au projet en amont, ainsi que la faisabilité et l'accessibilité du projet. Les élèves ne pourraient pas être autonomes dans un projet les dépassant; les conditions de la mission apporteraient toujours du plaisir à manipuler les différentes instrumentations sans en saisir la finalité, mais pour quel intérêt pédagogique ?

La réussite du projet envisagé n'est pas une nécessité absolue pour en tirer un bilan positif. L'état d'esprit individuel et collectif est cependant tout à fait différent quand le projet réussit que lorsqu'il échoue, même si l'échec a des raisons autres que l'activité de l'ensemble du groupe et de ses partenaires. Il vaut donc mieux parfois s'adapter pour obtenir un projet faisable et ayant les meilleures chances de réussite.

Pour ce projet à l'OHP, le principal problème fut de trouver des étoiles pour mesurer l'épaisseur galactique. La région visée est la plus pauvre du ciel en étoiles ! Le télescope utilisé avait un trop fort grossissement pour notre usage: son champ très réduit limitait les chances de capturer des étoiles, et cette capture devait se faire au hasard. Quatorze étoiles furent obtenues en trois nuits d'efforts au lieu des centaines attendues. La précision du résultat s'en ressentit mais la méthode ne fut pas remise en cause.

Le deuxième projet fut lancé en secours éventuel : l'obtention d'une image détaillée de galaxie changeait un peu des "remontées de filets" vides d'étoiles. Le télescope donnait alors toute sa potentialité et des amas globulaires furent suspectés dans la galaxie M104 du Sombrero. Nous n'eûmes pas le temps de mesurer les distances d'étoiles constituant l'amas globulaire M13 de notre galaxie, mais ses dimensions angulaires avaient été obtenues avec notre matériel d'observation. La valeur courante de 26000al prise comme distance de M13 fut comprise comme une nécessité pour aller au bout de ce projet de calcul de la distance de M104. Elle ne fut pas une hypothèse arbitraire, mais uniquement un "joker". Les élèves purent ainsi mener à bien le deuxième projet, avec le même sentiment de réussite que pour le premier.

Tout fut fait pour que l'ensemble des résultats attendus soient acquis avant notre départ, avec tous les résultats intermédiaires. Bien nous en pris, car le transfert des fichiers fut défectueux et un certain nombre fut détérioré ou perdu. De retour au lycée, on s'aperçut de la faiblesse des deux résultats basés sur l'hypothèse que notre Voie Lactée et les galaxies sont des objets

similaires. Ce fut l'occasion d'illustrer un moyen d'obtenir un fait scientifique. Les deux projets basés sur des méthodes indépendantes donnent le même résultat : les galaxies sont des objets extérieurs à notre Voie Lactée car distants de 80M et 4M d'al pour une Voie Lactée de 170000al de diamètre. L'unique hypothèse posée initialement peut donc être validée : Voie Lactée et galaxies sont des objets similaires. Les galaxies sont donc en particulier extérieures à la Voie Lactée.

L'ensemble du projet ainsi complété fut présenté à la Journée de Valorisation des Ateliers Scientifiques de l'Académie de Créteil en Mai 1999 ainsi qu'aux Journées du Ciel et de l'Espace à la Cité des Sciences de Paris en Octobre 1999.

Les autres missions en observatoires se firent avec les mêmes objectifs et les mêmes méthodes.

En 2000, à l'observatoire de Buthiers-77- récemment construit et pas encore inauguré, nous testâmes le nouveau matériel à cette occasion. La première partie de nuit permit de prendre les images nécessaires à l'obtention de la nébuleuse M57 en trichromie ainsi que de la galaxie M51. Les deux autres nuits furent couvertes et le projet de calcul de la distance d'une nébuleuse comme M57 ne put se réaliser. Seules les observations du Soleil purent se faire en après-midi avec notre matériel, avec des randonnées à pieds ou en VTT en forêt de Fontainebleau, ainsi que la visite du château de Fontainebleau. Les soirées d'attentes vaines d'éclaircies furent utilisées à mener à bien un projet précédent n'ayant pas pu aboutir : le calcul de la distance Terre-Lune avec nos photos de l'éclipse de Soleil de 1999 et celles découvertes dernièrement par hasard sur le site web de l'observatoire solaire de Meudon. Un jeu de culture générale en astronomie eut aussi du succès comme chaque fois en cas de mauvais temps...

Le bilan de cette mission fut très positif par l'intérêt de tout le travail d'acquisitions d'images en trichromie et ce projet préparé en 1998-1999 par tous les élèves présents à la mission et qui trouvait son aboutissement.

Les qualités du matériel, de l'hébergement sur la base de loisirs, la proximité de Buthiers depuis Chelles et la possibilité de réserver les dates d'observations pour cet observatoire me l'ont fait choisir l'année suivante.

Deux week-ends distincts furent réservés avec comme priorité la parallaxe de Mars et éventuellement les distances de nébuleuses. Le premier week-end fut annulé pour raison météo. Le deuxième était à peine plus favorable mais il était notre dernière opportunité de réussite de la parallaxe de Mars par mesures conjointes ; il fut donc maintenu. Nous eûmes le temps de régler le matériel d'observation avant l'arrivée de la pluie. Mais deux partenaires, l'un dans l'Hérault: Raymond Poncy, et l'autre dans l'île de la Réunion avaient réussi leurs images. On put à notre retour, calculer la distance Terre-Soleil grâce à ces images. Ici encore, les élèves gardèrent le sentiment de réussite de leur projet. A juste titre, car si notre observation avait échoué ce soir-là, elle avait réussi à deux reprises précédentes, mais pour nous seuls, hélas, et donc inexploitable.

En 2002, une nouvelle génération d'élèves s'inscrivit à l'atelier, avec un regard neuf. Le travail au lycée ayant principalement porté sur les distances dans le système solaire, un projet en observatoire basé sur les distances d'étoiles avait tout son intérêt. Le projet "distances de nébuleuses" fut réactivé et diversifié par des méthodologies différentes. Le cours de photométrie n'avait pas eu le temps d'être traité avant la mission. Le concours "lycées de nuit" nous affecta à l'observatoire de Floirac avec un télescope de même type que celui de l'OHP. Une nouvelle fois, notre projet n'était pas adapté au matériel ; sur les conseils de l'astronome et de l'ingénieur de la base nous parrainant sur place, il évolua en calcul de la distance de la nébuleuse et amas ouvert M44. L'emploi du temps était d'alternance entre observations en coupole et observations avec notre matériel, maintenant institutionnalisé. Les cours suivis en journée le furent avec d'autant plus d'attention que leur assimilation était vitale

pour réussir. Le beau temps fut aussi notre partenaire, avec un ciel citadin un peu comme au lycée. Deux élèves de seconde, Pauline et Delphine, acceptèrent de rédiger un article présentant cette mesure. Cet article fut publié dans le magazine "L'astronomie" de la Société Astronomique de France.

L'observatoire de Floirac est réputé pour sa lunette méridienne, une lunette ne pouvant viser que vers le Sud exactement. Mais elle permet des calculs très précis de positions d'astres. Cette lunette nous fut, hélas, totalement inutile en 2002.

J'ai donc cherché pour l'année 2003, un projet basé sur les positions d'étoiles, pouvant se réaliser grâce à une lunette méridienne.

Un projet élémentaire m'était venu précédemment en lisant une histoire de l'astronomie. Je l'avais rejeté pour la complexité technique de sa mise en place. L'astronome anglais Bradley voulant mesurer des distances d'étoiles jusqu'alors inconnues (on était en 18^{ème} siècle), attacha son télescope à une cheminée dans une position fixe et mesura, au lieu de parallaxes attendues, un mouvement de va et vient de l'ensemble des étoiles sur un an: cela apportait la preuve expérimentale d'un résultat acquis : la Terre tourne autour du Soleil.

Le thème annuel de l'atelier fut : "qu'est-ce qui tourne ?". Plusieurs travaux intéressants furent effectués depuis le lycée en liaison avec la définition de jour. Les mesures se sont faites avec notre matériel. La compréhension des notions de jours et d'années était nécessaire. L'éthique conservée de tout faire par nous-mêmes nécessitait aussi de mesurer un jour sidéral, un jour solaire vrai, un jour solaire moyen, une année sidérale, une année tropique. Ce projet d'apparence élémentaire, était en fait le plus complexe qu'on ait eu à réaliser. Il mobilisa l'atelier de façon quasi exclusive toute l'année, heureusement avec des aspects très variés comme l'observation des ombres solaires, photos du Soleil, chronométrage de passages d'étoiles. Ces mesures jetèrent le trouble sur l'ensemble des élèves: leurs notions de jour et d'année vacillaient. Il fallut tout interpréter à partir des mouvements de la Terre autour du Soleil mais aussi de façon entièrement équivalente du Soleil autour de la Terre! Toutes leurs connaissances astronomiques élémentaires étaient à...terre. Leur envie de retrouver leurs convictions antérieures, certainement avérées mais non prouvées, était très grande. La mesure de Bradley, réalisable à l'observatoire de Floirac avec la lunette méridienne s'imposait alors.

Son principe est simple et fut rapidement compris par les élèves, mais il repose sur des mesures très précises, d'au moins une seconde d'arc, impossible en station mobile.

Les mesures nécessitent un suivi des étoiles sur plusieurs années. Les élèves purent effectuer des mesures d'instant de passage durant leur séjour à Floirac. Les étoiles étaient choisies de telle sorte, qu'elles étaient aussi régulièrement suivies depuis l'observatoire. Le logiciel associé à la lunette corrige habituellement les irrégularités sur les positions des étoiles. Or, on s'intéressait justement à l'une de ces irrégularités. Il fallut déprogrammer en quelque sorte l'ordinateur pour qu'il sorte des données brutes sur les positions d'étoiles repères observées en 2001, 2002, 2003. Le concours de Michel Rapaport et celui de Jean-François Le Campion furent complets : ils comprirent notre projet, trouvèrent les moyens de le réaliser, nous fournirent l'aide théorique nécessaire et entretenirent un suspense tout à fait pédagogique. Je pense que ce retour aux sources de l'astronomie intéressait aussi beaucoup ces astronomes professionnels : est-ce bien la Terre qui tourne autour du Soleil ?

Les élèves effectuèrent les mesures de positions sur trois étoiles avec la lunette méridienne. Un fichier avec les positions de ces trois étoiles durant trois ans fut édité. Au lieu du va et vient annuel attendu, les positions décroissaient systématiquement. Pourquoi ?

Depuis le lycée, le mouvement de précession des équinoxes avait été étudié sur logiciel en se basant sur des centaines d'années. On ne pensait pas le retrouver d'un jour sur l'autre. Michel Rapaport nous mit alors sur la bonne voie. Notre calcul de précession effectué au lycée fut réinvesti à point nommé, les nouvelles valeurs entrées dans les calechettes des élèves. Les tracés des courbes sur les petits écrans étaient tous identiques à ce qu'on en attendait : une

courbe de période un an avec un maximum quand l'étoile passe plein Sud à minuit vrai. C'est bien la Terre qui tourne.

Il existe cependant un phénomène supplémentaire moins important de nutation lié à la Lune. Notre observation ne l'ayant pas mis en évidence, il fut ignoré. Partir de l'expérimental permet de négliger ce qui doit l'être, alors que ce choix n'est pas du tout évident pour qui part d'un modèle théorique ; la situation est alors souvent bien plus compliquée que le nécessaire, avec certains obstacles à franchir par les élèves qui sont inutiles.

Un commentaire à propos des calculettes très sollicitées au cours de toutes les mesures astronomiques faites par l'atelier : elles sont un auxiliaire indispensable. Bien qu'étant enseignant de mathématiques, mon but n'est pas d'illustrer un cours disciplinaire. Les élèves ont des niveaux d'études très différents et ne possèdent pas nécessairement les bases théoriques des fonctions utilisées à la calculette comme les logarithmes ou les statistiques à deux variables. L'intérêt réside dans la découverte de ces fonctions, des résultats qu'elles permettent d'obtenir. Le cours de mathématiques à venir en sera crédibilisé. L'expérience a montré que les élèves savaient très bien manipuler ces fonctions, interpréter les résultats, même sans en connaître encore les fondements mathématiques. Par exemple, la fonction écart-type statistique est très parlante pour les élèves les plus expérimentés de l'atelier. En effet, chaque année on mesure des distances ; chaque élève effectue ses mesures ; le moment critique est le rapprochement des résultats obtenus : la moyenne bien sûr, qui donne le nombre, mais aussi l'écart-type qui quantifie les disparités des résultats. Un rayon de deux fois l'écart-type est significatif quant à l'incertitude sur le résultat final. La force du nombre d'opérateurs est aussi mise en évidence car la multiplication des élèves effectuant les mesures resserre l'incertitude sur la moyenne finale obtenue.

Le projet de l'année 2003-2004 en cours est de faire comme les astronomes voyageurs du 18^{ème} siècle: aller à un bout du monde observer le passage de Vénus devant le Soleil dans le but d'en déduire par mesures conjointes la distance Terre-Soleil.

5° Les réalisations de mesures conjointes

La généralisation de la technologie permet de penser à la réalisation de mesures conjointes en astronomie : reprendre la mesure d'Eratosthène, par exemple, sans bouger de chez soi.

Un évènement exceptionnel permet d'espérer faire une première expérience: l'éclipse de Soleil du 11 Août 1999. Des images simultanées prises en deux lieux différents permettaient d'en déduire la distance Terre-Lune.

Dans le but de rechercher des partenaires, une page web de l'atelier d'astronomie fut créée sur le site du lycée. Henri Gentil, collègue d'histoire- géographie et webmestre du site, permit cette réalisation : un résumé des activités en images et le projet d'observation de l'éclipse avec appel à partenaires. Il n'y eut aucune réponse par la voie du site. Les contacts de la SAF et du CLEA ne donnèrent rien non plus. Se présenter en tant que club scolaire n'était peut-être pas assez crédible ; ou bien mes messages envoyés par internet se sont perdus dans les arcanes de ces associations. Il faut dire qu'en 1998, la communication par internet n'était pas encore suffisamment institutionnalisée.

L'éclipse ayant lieu pendant les vacances scolaires, un rendez-vous fut proposé aux élèves qui désiraient observer l'éclipse avec leurs parents sur la ligne de centralité. Jonathan répondit à cette proposition, mais la "fièvre" du jour de l'éclipse empêcha la réalisation du rendez-vous. De très belles images furent cependant acquises et présentées à la rentrée sur le site web. Avec le même insuccès. Les mois passèrent, quand, visitant avec les élèves le site du DASOP (département d'astrophysique solaire) de Meudon, nous découvrîmes que l'observatoire avait pris des photos de l'éclipse quasiment au même moment que les miennes. Le projet put ainsi

se réaliser avec ce coup de pouce. Cette stratégie, prise ici par hasard, peut être renouvelée pour un événement astronomique exceptionnel : consulter les sites web d'amateurs, et contacter les auteurs en cas d'images intéressantes à utiliser.

Poursuivant son "arpentage de l'univers", l'atelier était bloqué sur le système solaire par le calcul de la distance Terre-Soleil. Une première méthode basée sur la photométrie des étoiles avait été tentée mais était imprécise. La recherche historique des calculs antérieurs amena plusieurs autres méthodes possibles. La méthode d'Hipparque utilisant un quartier de Lune est la plus ancienne ; son résultat fut conservé plus de mille ans, malgré sa grande imprécision. Le 18^{ème} siècle apporta deux nouvelles méthodes nécessitant des voyages lointains : la parallaxe de Mars ou d'un astéroïde, et le passage de Vénus devant le Soleil. Internet permettant de remplacer les voyages transocéaniques par l'envoi de messages électroniques, ces mesures devenaient possibles en activités scolaires. L'acquisition d'images, maintenant numériques, permet aussi de remplacer les calculs astronomiques par de simples comptages de pixels sur un écran d'ordinateur.

La planète Mars étant en position très favorable au printemps 2001, le projet principal de l'année 2000-2001 fut de calculer la distance Terre-Soleil par comparaison de deux images de Mars prises simultanément de deux lieux très éloignés sur Terre.

Ayant tiré les leçons de l'échec relatif de la mesure analogue envisagée pour l'éclipse de Soleil, je décidai de chercher à priori des partenaires. Me doutant de la nécessité d'affiner le protocole envisagé, des difficultés de météo et d'emplois du temps des partenaires, la mesure fut lancée dès le mois de Novembre 2000. Le contact d'associations permit de trouver un partenaire avec un position favorable: Maximo Suarez, observateur variabiliste espagnol aux îles Canaries. Ce fut par l'intermédiaire de l'AFOEV (Association Française des Observateurs d'Etoiles Variables) dont Dominique Proust est adhérent : celle-ci contacta des associations analogues à l'étranger.

Etant inscrit sur des listes internet d'astronomes amateurs, j'obtins une vingtaine d'autres observateurs de cette façon, essentiellement par la liste AUDE (Association des Utilisateurs de Détecteurs Electroniques). Ces observateurs étaient tous, hélas, situés en France métropolitaine.

Quatre mesures furent organisées de Novembre à Mars, avec problèmes de météo, manque d'observateurs, confusion de jour... Les dates étaient choisies de telle sorte qu'une étoile lumineuse soit très proche de Mars. Tout type d'image pouvait ainsi être pris : photo traditionnelle, webcam, caméra CCD. Tout type de lunette ou de télescope, même de petit diamètre, pouvait être utilisé.

Aucun passage d'étoile n'était prévu par la suite. Le projet allait échouer quand un des partenaires, Raymond Poncy, me proposa une dernière date avec un nouvel observateur, Robin Chassagne, situé dans l'île de la Réunion. Cet observateur amateur est renommé internationalement pour ses découvertes de Supernovae.

Seuls, de bons télescopes avec caméra CCD pouvaient être utilisés pour pouvoir capter des étoiles faibles avec Mars. Le télescope de Buthiers fut réservé auprès de l'ANSTJ pour ce week-end de la dernière chance. Un protocole spécifique fut préparé et envoyé sur les listes Aude et Astrocam . Nous ne fûmes pas heureux une nouvelle fois à Buthiers mais les images de Poncy et Chassagne furent réussies. La base du triangle de calcul formé par le Sud de la France et l'île de la Réunion était suffisamment généreuse pour obtenir un résultat assez précis. Un jeune observateur, Florent Dubreuil, réussit aussi ses images, avec une webcam de surcroît, mais nous reçûmes ses images trop tard pour pouvoir les utiliser.

Les protocoles de mesures furent discutés et mis au point avec les élèves, mais la correspondance électronique n'a pas pu se faire par eux. Le nombre et la fréquence des messages (plus de 200 en tout) ne pouvait se faire avec les seules séances hebdomadaires. J'informais cependant régulièrement les élèves des partenaires que nous avions pour chaque

tentative, ainsi que de leurs bonnes ou mauvaises fortunes. L'idéal pour l'avenir serait une liste d'enseignants désirant faire des mesures conjointes, où d'autres lycées pourraient participer. Cela s'est déjà fait entre enseignants de physique pour le calcul du rayon solaire exclusivement. Cette liste devrait être internationale et comporter plusieurs centaines de membres pour qu'une proposition quelconque puisse recevoir un écho suffisant.

La réussite de cette mesure permit la réalisation d'un article par Vincent. Cet article fut publié par les Cahiers Clairaut du Comité de Liaison Enseignants Astronomes, qui m'avaient contacté dans ce but. Cette mesure avait eu un certain écho puisque je fus aussi contacté par la SAF et une autre magazine : Pulsar. Je reçus le prix Gabrielle et Camille Flammarion de la SAF pour la réalisation de cette mesure. Le contact était enfin établi avec la SAF et le CLEA, qui sont des interlocuteurs privilégiés pour tout projet scientifique amateur. Ces deux associations sont d'ailleurs en relation étroite avec notre projet actuel d'observation du passage de Vénus depuis le Spitzberg. C'est le troisième projet de mesures conjointes organisées par l'atelier.

En recherchant des méthodes de calcul de la distance Terre-Soleil, je découvris ces épopées des astronomes du 18^{ème} siècle. La réussite des projets précédents, depuis Chelles en banlieue parisienne, me donna envie de revivre avec mes élèves un peu la même aventure scientifique: aller au bout du monde pour mesurer la distance Terre-Soleil avec le passage de Vénus devant le Soleil le 8 Juin 2004. L'Europe et l'Afrique sont idéalement placées ainsi que l'Ouest de l'Océan Indien avec Madagascar et l'île de la Réunion. Sachant qu'il y aura certainement des observateurs dans ces régions, notre meilleur site est le Grand Nord, au plus près des méridiens de Madagascar ou de la Réunion, lieux d'observateurs francophones. Parmi les terres polaires du Grand Nord, le Spitzberg en Norvège m'a semblé le plus accessible comme région habitée, et pays partenaire de la communauté européenne. Mon espoir était aussi, qu'avec un projet autant emblématique, on puisse plus facilement trouver des partenaires prêts à suivre notre protocole de mesures qui n'est pas standard pour cet événement.

Le parlais déjà de ce projet aux élèves en Février 2003 comme d'un rêve pour lequel je ferai le maximum pour qu'il se concrétise.

Une première étape fut le passage de la planète Mercure devant le Soleil le 7 Mai 2003. Ce passage est très comparable à celui du passage de Vénus, mais ne permet pas un bon calcul de la distance Terre-Soleil car Mercure est trop éloignée de la Terre. Il a permis cependant un test grandeur nature de notre projet de mesure : au lieu de chronométrer les instants de contacts de la planète avec le Soleil, on photographiera tout le passage avec une webcam pour reconstituer la trajectoire de la planète devant le Soleil. Cette trajectoire est obtenue en réalisant un chapelet du passage, c'est-à-dire en superposant toutes les images obtenues. La comparaison avec la trajectoire obtenue par un observateur très distant sur Terre, permet d'en déduire, avec uniquement des calculs élémentaires, une bonne évaluation de la distance Terre-Soleil. Ce projet de mesure associé fut publié dans "l'Astronomie" d'Avril 2003, avec appel à partenaires. J'eus une dizaine de réponses d'observateurs, ayant eu des fortunes diverses avec leur chapelet : le respect du protocole proposé est impératif; celui-ci a bien fonctionné cependant, et sera inchangé à quelques détails près pour le passage de Vénus.

Notre observation du passage depuis le lycée fut très réussie : il a fait un temps magnifique, l'organisation prévue a tenu : une lunette avec la webcam et le passage visible en direct sur un écran d'ordinateur portable, et une autre lunette pour l'observation visuelle. Ce passage ayant lieu durant les heures d'ouverture du lycée, un Mercredi matin, de nombreux élèves "badauds" ainsi que plusieurs classes vinrent observer le phénomène. Le nombre d'observateurs est estimé à 200 personnes cette matinée : le record de l'éclipse de Lune de 2001 était pulvérisé.

Nos images prises permirent la réalisation d'un chapelet et de tester la faisabilité de la méthode. Steve Annet, du club de Caudry dans le Nord, effectua un excellent chapelet. Ces deux chapelets furent étudiés par l'atelier à la rentrée pour tester notre méthode envisagée

pour Vénus et évaluer sa précision. Nous eûmes quelques surprises bonnes et mauvaises: notamment que les trajectoires obtenues avec des observateurs distincts n'étaient pas exactement parallèles, et que pour des observateurs sur un même méridien, il suffisait de prendre l'écart vertical entre les images des observateurs.

Ainsi armés de notre stratégie d'acquisition de la mesure, on l'a simulée avec le logiciel Redshift en superposant les images et en effectuant les mesures comme on espère pouvoir le faire en Juin prochain. Les observateurs virtuels ont été choisis au Spitzberg bien sûr, et à Madagascar en position favorable et pour laquelle nous avons déjà des partenaires déclarés. La simulation du calcul de la distance Terre-Soleil sera faite à plusieurs reprises pour bien la comprendre.

Parallèlement à ce travail effectué avec les élèves au long de l'année scolaire, j'ai préparé à la fois l'organisation matérielle du voyage au Spitzberg et l'organisation pratique de la mesure.

Le coût du projet étant très élevé, comme je m'en rendis rapidement compte, il fallait trouver des partenaires financiers. Je rédigeai une fiche projet et l'adressai aux institutionnels scientifiques ainsi qu'aux associations (5000€) ne permet pas de subventionner intégralement l'expédition, mais elle en permettra la réalisation. D'autres petites subventions la complètent, et l'approche de l'évènement permettra, je l'espère, la déclaration d'autres partenaires. Fin Mai 2004 : une subvention de 1000€ et une seconde du même montant permettent de boucler le budget de ce projet qui sera ainsi réalisé.

L'organisation de la mesure est aussi problématique : celle-ci étant faite à l'initiative de l'atelier d'astronomie, celui-ci doit apporter des garanties de sérieux et de fiabilité, et pouvoir répondre très rapidement aux questions et sollicitations. Les élèves n'ont pas pu être acteurs de l'organisation du projet, même s'ils sont tenus informés de tous les états d'avancement ou d'évolution. Ils s'y sentent pleinement intégrés car leur responsabilité est grande: les observations reposent sur eux, et cette expédition fera l'objet de manifestations de valorisation ou de rédaction d'article comme ce fut le cas par le passé.

Des établissements et observatoires se sont déclarés partenaires de notre mesure dont liées à l'astronomie. La presse audio-visuelle fut aussi sollicitée. Tout ceci sans succès car l'évènement était lointain et la conjoncture économique actuelle guère favorable.

A la rentrée de Septembre 2003, je déposai un projet "Innovation Educative" auprès du Conseil Régional d'Ile de France qui eut un accueil favorable. L'aide allouée l'observatoire des Makes à la Réunion et l'observatoire du Pic du Midi.

Un protocole de mesures polyvalent fut élaboré avec mon concours par Pierre Causeret du CLEA et le calcul de la distance Terre-Soleil à l'aide du chapelet du passage du passage a été présenté devant la Société Astronomique de France. La page web de l'atelier d'astronomie a été actualisée pour présenter le projet, présenter l'atelier, susciter partenaires et mécènes.

Ce projet d'expédition au Spitzberg connut cependant une très grosse déception en Novembre 2003 : le passage de Vénus ayant lieu en Juin, il fallait espérer que la date soit compatible avec celles décidées pour le Bac 2004. Lorsqu'elles parurent fin Novembre, la participation des élèves de Premières et de Terminales de l'atelier (les plus anciens) dut être annulée. Malgré l'énorme déception, ce fut aussi un soulagement pour eux de passer le bac dans des conditions normales. Il fut décidé que ces élèves feraient la mesure depuis le lycée avec le meilleur matériel de l'atelier, qui n'est guère transportable. Grâce à Planète-Sciences, un jeune astrophysicien, Patrick Gaulme, sera là pour les aider ainsi qu'un professeur du lycée, Frédéric Brechenmacher, ayant participé à l'animation de l'atelier en 2001-2002.

Seuls les élèves de Secondes partiront, avec mon collègue Stéphane Garel co-animant l'atelier depuis trois ans, et moi-même. L'implication de mon collègue est complète pour l'enseignement et les sorties de l'atelier. Mais préparant un concours interne de promotion, il ne put s'impliquer autant jusqu'à présent dans l'organisation de l'expédition. Il sera mobilisé

dès la rentrée des vacances de printemps pour les partenariats et l'organisation pratique du séjour.

Les probabilités de beau temps ne sont pas excellentes pour le Spitzberg ; la deuxième équipe au lycée et les autres partenaires en France métropolitaine, laissent augurer cependant la réussite de la mesure. Quant à la précision du résultat qu'on obtiendra, elle est le cœur de ce projet et aussi sa réelle difficulté; la réussite de la mesure au Spitzberg y est déterminante.

6° Les valorisations

Avec l'expérience des années d'enseignement de l'atelier scientifique, les actions de valorisations m'apparaissent comme les éléments dynamiques de l'atelier. Comme indiqué précédemment, les projets envisagés ont eu des qualités de réussite très diverses. Avec un projet réussi, les élèves et moi-même avons une très grande envie de le faire partager. Avec un projet qui a échoué ou qui fut profondément remanié, c'est la perspective de la manifestation qui permet de rebondir. En effectuant un retour sur lui-même, l'atelier redécouvre des activités de l'année et en mesure mieux les qualités.

Présenter à un public l'ensemble des activités de l'année décuple les forces de chacun pour des raisons bien compréhensibles : si l'élève se sent bien dans l'atelier, il a envie de valoriser au mieux ce qu'il y a fait, et la démarche des enseignants est analogue.

Les actions de valorisations évoluent au gré des années. Seules deux constantes restent :

* la journée "portes ouvertes" du lycée Gaston Bachelard: la présence de l'atelier est bien sûr souhaitable, mais faire une première synthèse à la moitié de l'année s'avère nécessaire pour plusieurs raisons. Les élèves, surtout les nouveaux, ne saisissent pas forcément la continuité de l'enseignement de l'atelier par la diversité des observations et des activités d'intérieur, et cette première exposition permet de déjà mener certains projets à leur fin. Le projet de mission est présenté pour la première fois à cette occasion. C'est donc un facteur de motivation et de mobilisation pour ce projet. Cela permet aussi aux "nouveaux" de devenir pleinement "propriétaires" de l'atelier, de pouvoir présenter eux-mêmes leur travail dans un cadre encore familial.

* la journée de valorisation des ateliers scientifiques de l'académie de Créteil : c'est la manifestation la plus importante car elle regroupe tous les ateliers scientifiques académiques. Qu'elle ait lieu dans un grand site scientifique est valorisant pour les élèves et donc aussi très motivant. C'est un réel plaisir pour les élèves d'expliquer à ceux d'autres ateliers ce qu'ils ont fait. Cette journée est assez stressante pour l'enseignant car il doute de la qualité de ce qu'il va présenter; il doute aussi de la venue de ses propres élèves, déjà en période d'examens scolaires ou périscolaires pour la plupart.

Il m'a toujours semblé important que les élèves aient une finalité à leur activité ; que la journée de valorisation ne pouvait, seule, répondre à cet objectif. J'ai fait rédiger des mémoires par les élèves par groupes de deux ou trois comme en 1998,1999, 2000. Dominique Proust les lut et les annota. Ce fut à chaque fois un réel challenge pour eux d'effectuer une synthèse scientifiquement correcte de leur travail. Il ne s'agissait pas d'obtenir une bonne note d'évaluation, car il n'y en avait pas, mais d'engager sa propre personnalité dans la réalisation de ce mémoire.

A partir de 2001, les mémoires ont évolué en articles pour magazines comme la parallaxe de Mars par Vincent Marandon en 2001 dans les "Cahiers Clairaut" et la distance de l'amas de la crèche en 2002 par Pauline Pérez et Delphine Cros. Les grèves de 2003 empêchèrent la réalisation d'articles sur les distances dans le système solaire et la Terre qui tourne autour du Soleil. Un article sur le passage de Vénus depuis le Spitzberg est en projet pour l'automne 2004 dans le magazine "L'astronomie".

Au cours des années, les projets sont devenus plus ambitieux et ont pu faire l'objet d'articles publiés très valorisants pour les élèves les ayant rédigés. Ces articles ne mobilisent cependant pas chaque élève de l'atelier. Les dernières années, il n'y eut que deux projets au maximum réalisés par an, empêchant la rédaction d'un mémoire ou d'une partie de mémoire par chaque élève.

Les élèves sont par ailleurs souvent sollicités collectivement pour présenter leurs travaux comme aux "Journées du Ciel et de l'Espace" de l'Association Française d'Astronomie à la Cité des Sciences de la Villette en Novembre 1999 sur les distances de galaxies ; la participation à la "Semaine de la Science" au Palais de la Découverte en Octobre 2001 et 2002, avec une intéressante subvention de participation; cette initiative ne fut pas renouvelée, hélas, en 2003. L'exposé de la distance Terre-Soleil avec la parallaxe de Mars en Octobre 2001 devant la SAF. Je reçus le prix Gabrielle et Camille Flammarion de la SAF en Juin 2002 pour cette mesure.

Planète-Sciences favorise aussi les actions de valorisation, puisque chaque mission astronomique s'achève par une retransmission. Celle de 2002 à Floirac faite par les élèves seuls, sans aucun protocole, aux deux astronomes nous parrainant, fut d'un intérêt particulier: toute la problématique y fut clairement exposée, les résultats bien présentés, et la conclusion irréfutable. Je la vis aussi comme une forme de remerciement que les élèves adressaient à ces astronomes pour l'activité qu'ils avaient déployée à la réussite du projet sur le mouvement de la Terre.

L'exposé au bilan de l'opération "lycées de nuit" en Septembre 2003 sur ce thème fut mieux présenté, avec l'utilisation d'un vidéoprojecteur, mais de qualité moindre : seuls, deux élèves participants étaient présents, et n'avaient plus, après quatre mois, la même conviction qu'à Floirac ou au musée des Arts et Métiers.

L'intégralité des activités de mesures astronomiques réalisées par les élèves durant ces années d'atelier scientifique, fait l'objet d'un livre que j'ai écrit et qui est paru en Mai 2004 chez l'éditeur Vuibert sous le titre "arpenter l'univers" identique à celui du projet de l'atelier. Les activités pratiquées par l'atelier y sont présentées avec leur vécu et les problèmes méthodologiques rencontrés. Le contexte historique de nombreuses mesures est rappelé, comme il le fut à l'occasion pour les élèves de l'atelier. Un court extrait est présenté en annexe

III. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

J'espère par cette monographie, avoir réussi à retranscrire la vitalité et l'enthousiasme de l'atelier scientifique d'astronomie du lycée Gaston Bachelard.

Au cours des séances, il n'est pas question de pédagogie comme lors d'un cours disciplinaire, mais de passion partagée. Il faut de la passion pour observer jusqu'à -10°C après plusieurs échecs par temps doux et pluvieux ! Mais cette notion de partage induit par elle-même la pédagogie. L'objectif de mesurer un objet céleste étant assigné, il faut que les élèves puissent atteindre cet objectif, avec leurs propres connaissances. Ils doivent, avec l'aide des adultes associés, constituer une démarche cohérente. Le projet ne peut aboutir (les élèves doivent en assumer la valorisation) que s'il est accessible et si les élèves ont réussi à en comprendre le contexte et les pré-requis. Le résultat obtenu n'a que peu d'importance. C'est la démarche d'acquisition qui l'est. De par les responsabilités qu'ils ont d'assumer l'ensemble de leur travail, c'est toute la démarche scientifique qui est mémorisée ainsi qu'une confiance incomparable qu'ils acquièrent dans les méthodes rencontrées. Je me suis toujours placé dans un cadre de loisir scientifique, mais la façon mature qu'ont les élèves de l'atelier pour travailler m'interpelle quand je la mets en regard de la superficialité trop souvent présente dans mon enseignement de mathématiques. Les élèves de l'atelier ont certes accompli une

démarche volontaire, mais ne sont pas différents de leurs autres camarades, comme j'ai pu le remarquer dans les séquences de vie en collectivité.

L'atelier d'astronomie est un exemple d'activités de découverte et de sciences expérimentales pouvant se situer dans des contextes très différents comme les sciences de la vie, les mathématiques, la physique. J'espère avoir aussi contribué à prouver que l'astronomie est une science expérimentale praticable en milieu scolaire. Son caractère de science primale, aux résultats signifiants pour chacun et aux débats liés à l'humanité dans toute son histoire, en font une science à l'attrait universel pour la jeunesse. Elle mérite, sous sa forme expérimentale, une plus grande place dans l'enseignement.

ANNEXES

Annexe1: projet de création de l'atelier scientifique

INTRODUCTION

La transmission des connaissances est de nos jours de plus en plus médiatisée et même parfois virtuelle avec les nouveaux moyens de communication.

On sait que la Terre est ronde ou que la Lune est distante d'environ 300000 kilomètres mais en a-t-on eu véritablement la preuve directe ?

La somme de connaissances accumulées est telle que le contact avec la réalité de la nature se perd un peu trop.

Une pratique de l'expérimentation pour observer les phénomènes naturels, les décrire, reconnaître les lois éventuelles, expliquer ou tenter d'expliquer ces lois permet de retrouver ce contact.

L'astronomie offre un vaste champ d'expériences: observer le ciel, apprendre à la reconnaître, maîtriser les instruments d'observation et la technique photographique, avoir une démarche scientifique, mener des activités d'observation et de recherche dans leur intégralité.

OBJECTIFS

- par la pratique de l'expérimentation, utiliser la photographie, parfois le dessin, et les mesures à l'aide de gnomons comme preuves scientifiques pour la découverte de la nature céleste, de ses lois et la mise en évidence de résultats.
- la photographie astronomique requiert tout un savoir faire, des connaissances spécifiques et pluridisciplinaires.
- le ciel est toujours changeant autant dans son aspect cosmique que terrestre. Les astres se déplaçant d'environ 15 degrés par heure, réussir un cliché en 10minutes de pose à faible grossissement ou en 2 secondes de pose à fort grossissement requiert tout un apprentissage, une connaissance du matériel, du ciel, des qualités personnelles et...de la pratique.
- avec des objectifs modestes et compatibles avec ceux des programmes de mathématiques du second degré, illustrer l'intérêt des connaissances et des outils mathématiques dans cette pratique par de la trigonométrie, de la géométrie dans son sens premier de "mesure de la Terre" et des statistiques.
- établir un dossier mémoire pour chaque groupe de 2 ou 3 élèves, illustré et argumenté sur un thème choisi sera la grande motivation dans cet enseignement. Ce dossier sera établi semaine après semaine au cours des séances pour rester dans le cadre d'activités expérimentales.

MISE EN PLACE

Cet enseignement d'astronomie expérimentale est très proche dans l'esprit et les contenus de l'option Sciences expérimentales en classe de première scientifique puisqu'il regroupe toutes les parties liées à l'astronomie, la mécanique céleste, la spectroscopie, le processus chimique en photographie pour les sciences physiques, la connaissance des astres, des planètes, de la Terre et de ses rythmes pour les sciences de la vie et de la Terre.

Je suis professeur agrégé de mathématiques, passionné d'astronomie depuis de nombreuses années, animant le club astronomie du Lycée Gaston Bachelard depuis 2 ans, et j'ai suivi les stages d'astrophysique(40 heures) et d'histoire de l'astronomie (24heures) de la MAFPEN

ainsi que 6 stages d'un jour des "Mercredis de Meudon" organisés par l'Observatoire de Meudon et le Ministère de l'Éducation Nationale à destination notamment des enseignants.

La participation à la formation astronomie (dans sa partie spectroscopie) organisée par le CNED me permettrait la mise en place effective dans de bonnes conditions de compétences de toutes les activités liées à la spectroscopie.

L'expérimentation étant l'élément central de cet enseignement, je compte aussi utiliser les outils modernes disponibles dans mon établissement comme l'informatique pour pratiquer des simulations ou bien utiliser les nouveaux modes de communication, par exemple INTERNET, pour des expériences concertées avec des établissements étrangers, notamment pour obtenir les distances Terre-Lune et Terre-Soleil. Les connaissances en langue anglaise seront réinvesties avec une motivation scientifique.

L'enseignement sera de 2,5 heures hebdomadaires pour un effectif de 15 élèves au maximum. Les séances auront lieu de préférence en fin de journée, avec une certaine souplesse cependant pour pouvoir bénéficier de conditions favorables d'observation.

Environ 50% de l'enseignement aura lieu en plein air dans l'établissement, et 50% à l'intérieur pour l'acquisition des techniques astronomiques, analyse des documents obtenus, mesures et calculs, interprétations.

L'enseignement étant lié pour une grande part à des phénomènes naturels et passagers, beaucoup de temps m'est nécessaire pour la préparation des TP, pour étudier les périodes de visibilité des astres, calculs journaliers, conjonctions et occultations. Du temps pour l'analyse préalable des documents avant étude par les élèves et la prise de compléments photographiques(par exemple: photographier une rétrogradation de mars sur deux mois alors que le ciel n'est pas dégagé plusieurs semaines de suite pour les soirs du TP d'astronomie!). De plus, du temps doit être consacré à préparer, entretenir, gérer le matériel, tirer ou faire tirer des clichés. Une demi-heure hebdomadaire intégrée à mon emploi du temps me permettra d'assurer ces tâches.

Le matériel nécessaire pour le démarrage de cet atelier est :

- cartes du ciel, diapositives, vidéos
- ouvrages généraux d'astronomie
- platine pour photo en parallèle
- lunette guide, oculaires
- spectroscopie
- deux paires de jumelles 7X50
- deux appareils photographiques reflex avec objectifs
- logiciels sur CD-ROM et disquettes et salle équipée pour l'informatique
- filtres interférentiels, solaires et colorés
- armoire blindée
- horloge
- aménagement d'un gnomon
- crédits pour l'achat et le développement de pellicules
- matériel consommable de papeterie

Le matériel du club astronomie du FSE de l'établissement(lunette FS102 motorisée EM10 de Takahashi avec accessoires) sera utilisé dans un premier temps mais il faudrait un matériel propre à l'atelier(télescope, monture, accessoires). Deux appareils d'observation équivalents et complémentaires apporteraient de bien meilleures conditions d'enseignement pour les élèves.

D'autres activités pourraient être développées ultérieurement, notamment l'utilisation de l'informatique en astronomie par l'achat d'une caméra CCD et de l'instrumentation afférente.

CONCLUSION

Le contact direct avec la nature, ses lois et ses mystères par l'astronomie doit éveiller encore plus la curiosité scientifique des élèves. L'astronomie expérimentale leur permettra de concevoir les sciences physiques, naturelles et mathématiques sous des aspects certainement nouveaux d'outils performants pour de nouvelles découvertes et de synthèses de découvertes historiquement plus anciennes.

Le fait que les expériences se situent dans un cadre naturel et donc non figé à priori, aidera les élèves à être plus autonomes. Ils seront les seuls véritables acteurs de leurs investigations, de leurs questions et de leurs conclusions.

ANNEXE A : activités intérieures

Chaque thème nécessite une ou deux séances de 2,5 heures. Cette durée est modulable dans les deux sens et sera réduite suivant la qualité des conditions météorologiques pour permettre le maximum d'observations et d'expériences en extérieur.

- présentation de l'instrumentation, rôles des différents éléments, manips
- présentation des objets du ciel, diaporama
- mécanique céleste: précession, jour sidéral, calculs
- mise en station de la monture, temps sidéral, manips
- coordonnées célestes, pointer un astre, manips
- constellations et étoiles: utilisation de cartes, repérage
- éléments du relief lunaire, repérage
- optique géométrique: lentilles, oculaires, focale, manips
- optique photographique: ouverture, grandissement et grossissement, temps d'exposition et sensibilité, manips
- examen de clichés d'étoiles: repérage, mesures de magnitudes
- trajectoire d'une planète d'après documents photos, période synodique
- analyse spectroscopique de quelques étoiles
- planètes du système solaire: diaporama et description
- mesures des pics des cratères lunaires d'après documents
- simulation de la trajectoire d'une planète, d'une comète, d'un astéroïde sur CD-ROM
- lois de Képler: applications
- vidéos

de sorties sont envisagées au planétarium du Palais de la Découverte, à l'observatoire de Paris et à l'observatoire radio-astronomique de Nançay

ANNEXE B : activités extérieures

Ces activités ne peuvent se réduire en séances car plusieurs types de photos peuvent être prises à la même séance pour être analysées par la site lors de thèmes très différents. D'autre part, un même thème d'étude sera abordé lors de plusieurs séances d'observations.

Cette liste n'a pas valeur de programme mais est un ensemble de thèmes de recherches. Ces thèmes seront discutés et enrichis avec les deux partenaires: Observatoire de paris et entreprise Objectif Véga; notamment en fonction de l'actualité astronomique prévue.

Une dizaine de thèmes abordés dans l'année me semble un objectif raisonnable. Il sera plus réduit en cas de thèmes très féconds.

- mesure du relief lunaire, identification du relief
- étude comparée des différentes planètes du système solaire: forme, satellites, déplacement apparent, diamètre apparent, phases éventuelles
- étude des taches solaires, rotation du Soleil(période)
- étude des satellites de Jupiter: rotation, suivi, période
- variations de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Lune; photos aux pôles
- librations de la Lune; photos des bords latéraux
- dimensions de la Lune
- observation d'astéroïdes ou de planètes non visibles à l'œil nu
- classification des types de nébuleuses
- détermination des constituants des étoiles
- mise en évidence d'étoiles doubles, variables
- calcul de la distance Terre-Soleil
- tailles d'ombres du Soleil; conséquences
- détermination d'un jour solaire, d'un jour sidéral
- mesures qualitatives et quantitatives de la position du Soleil suivant les saisons
- comparaison es prédictions astrologiques avec les positions des planètes dans les différentes constellations
- magnitude visuelle d'une étoile
- loi de réciprocité d'un film; effet Schwartzchild
- détermination des distances des planètes au Soleil; masses; lois de Képler
- phases de la Lune; phénomènes de marées

Annexe 2 : introduction à "arpenter l'univers"?

Annexe 3 : présentation de l'atelier dans le magazine "Eclipse".

Annexe 4 : article sur la distance Terre-Soleil avec la parallaxe de Mars paru dans "les cahiers Clairaut"

Annexe 5 : article sur la distance de l'amas de la crèche paru dans "L'astronomie"

Annexe 6 : extrait d'activités de "arpenter l'univers".

Annexe 7 : exemples d'images de l'atelier.