

INTRODUCTION A LA MECANIQUE PAR L'ASTRONOMIE ET SON HISTOIRE

Eric Lindemann

maître de physique au CESSOUEST, 1260 Nyon, Suisse.

Exposé présenté à Lyon le 24 octobre 1992 à l'occasion des Journées Nationales de l'Union des Physiciens, dans le cadre des Ateliers pédagogiques sur "la place de l'astrophysique dans l'enseignement des sciences physiques" dirigés par Lucienne Gouguenheim.

Il est uniquement question ici de décrire l'expérience personnelle d'une approche originale des début de la physique destinée à des élèves a priori peu motivés. Il n'y a donc aucune prétention d'illustrer la place de l'astronomie dans l'enseignement de la physique en Suisse ou dans le Canton de Vaud.

PLAN DE L'EXPOSE:

1. Buts et raisons de la démarche
2. Méthodes et moyens
3. Sujets du cours
4. Expériences et exemples
5. Evaluation

1. Buts et raisons de la démarche

Elèves concernés:

Classes non-scientifiques se trouvant à 2 ou 3 ans du baccalauréat et ayant 2 leçons hebdomadaires de physique (Sections: latin-anglais, latin-grec, langues modernes ou économique).

Raisons de l'expérience:

Ma conviction est que ce type d'élèves mérite une approche différente de celle qui est en vigueur dans les classes scientifiques; et qu'il est insuffisant de se contenter d'adapter pour eux le programme des classes scientifiques en l'allégeant et en l'abrégeant simplement.

Ces élèves ont des moyens d'expression et de compréhension mathématique relativement limités; il se pose en conséquence un problème de langage.

Ils commencent généralement la physique avec un sentiment de méfiance (voire d'aversion!) pour les branches scientifiques et sont handicapés par des préjugés profonds quant à leurs capacités de comprendre ces branches d'où des attitudes de démission souvent prématurées et injustifiées.

But:

De manière générale:

Aborder la physique de manière plus humaniste, mieux la situer dans notre culture et dans son histoire. Changer de langage. Aborder et faire comprendre les idées fondamentales en "démathématisant" le plus possible afin de les rendre plus accessibles et d'éviter le souvenir trop fréquent: "physique = formules".

Plus particulièrement:

Traiter le premier thème du programme officiel: le mouvement et ses causes.
Bien saisir la notion de modèle.
Mieux comprendre le monde (cosmique) qui nous entoure.

2. Méthode et moyens.

Méthode:

La mécanique est replacée dans un contexte historique pour faire comprendre ce qu'ont été les démarches et les méthodes de la science.

Le programme officiel est traité par le biais des mouvements célestes et de l'histoire de leur compréhension. On part de l'observation visuelle des déplacements célestes et des différents modèles qui ont été imaginés. Survient ainsi le problème du mouvement ou de l'immobilité de la Terre. La physique aristotélicienne fait comprendre qu'on ne pouvait envisager de modèle autre que géocentrique, celle de Galilée et Newton permettra de concevoir, grâce au principe d'inertie, une Terre en mouvement, donc un modèle héliocentrique réaliste.

L'astronomie et son histoire sont présentées sous la forme d'un cours normal (avec exercices et travaux pratiques) en tentant de corréler sans cesse théories et observations, tout en se situant dans divers contextes historiques (en s'aidant parfois de textes originaux et de simulations de découvertes observationnelles historiques).

Moyens:

Matériel audiovisuel standard (rétroprojecteurs et projecteur de diapositives).

Macintosh avec écran à cristaux liquides pour rétroprojection.

Maquettes et petit planétarium de démonstration.

Suggestions d'observations personnelles (visuelles ou à la jumelle) et de pauses photographiques sur le ciel nocturne.

Observations au télescope de l'école et simulations d'observations au moyen du logiciel "VOYAGER".

3. Sujets du cours.

Programme résumé:

1. L'Univers tel qu'on le perçoit.

Panorama général et vulgarisé sur la constitution et la répartition de la matière dans l'Univers.

Les observations astronomiques évidentes: rotondité de la Terre, mouvements diurnes, mouvement et phases de la Lune, mouvement annuel du soleil dans le zodiaque, mouvements des planètes parmi les étoiles. Simulations à l'aide du programme Voyager.

Contenu physique: mouvements périodiques et grandeurs associées, notion de référentiel.

2. L'Univers tel qu'on l'a conçu.

Définition de la notion de modèle en physique.

Les premiers modèles cosmologiques grecs. Influences de la pensée de Pythagore et de celle de Platon sur la conception de l'Univers. Les sphères homocentriques d'Eudoxe tentent de "sauver les apparences".

La physique d'Aristote: Composition de la matière. Ordre et hiérarchie du monde. Les mouvements naturels et violents. Le principe mécanique (lien entre force motrice et vitesse). Le mouvement comme phénomène transitoire vers un repos ordonné. Les dogmes de base et méthode d'approche des phénomènes. Cohérence et globalité de la théorie. Difficultés et erreurs. Conséquences: incompatibilité de cette mécanique avec le mouvement de la Terre. Le dogme de l'immobilité de la Terre assure le succès du géocentrisme. Amélioration et complexification du modèle d'Eudoxe.

Le modèle de Ptolémée: Introduction des épicycles par Hipparque, systématisation de leur emploi par Ptolémée. La relative précision et la cohérence de ce modèle lui assurent sa pérennité.

Autres modèles antiques, héliocentrisme avec Aristarque de Samos et problème des parallaxes invisibles.

Mesures des dimensions relatives dans le système solaire.

Reprise et synthèse du problème du mouvement de la Terre.

Contenu physique: relation théorie-observation, mécanique aristotélicienne, mouvements circulaires et combinaisons.

3. L'Univers tel qu'on le conçoit.

Le modèle de Copernic: héliocentrisme mais conservation des mouvements circulaires.

La démarche originale de **Tycho Brahé** et ses extraordinaires mesures.

Képler et ses trois lois: abandon du dogme des mouvements circulaires uniformes; recherches vaines des causes des mouvements orbitaux. **Galilée:** une démarche nouvelle. Ses observations et découvertes astronomiques donnent des arguments au modèle de Copernic. Ses recherches expérimentales préparent l'arrivée de la mécanique Newtonienne. **Newton:** sa mécanique et la loi de la gravitation expliquent les mouvements.

Aperçu de cosmologie contemporaine.

Contenu physique: Mesures et incertitudes, mouvement de chute, mouvement balistique, dynamique de Newton, gravitation, limites de la physique classique.

4. Expériences et exemples.

Expériences surprenantes:

Au départ, la confusion de vocabulaire des élèves est étonnante (mélanges planètes, étoiles, galaxies), comme leur ignorance de faits particulièrement simples (ex.: causes des saisons, compréhension des phases de la Lune).

On remarque aussi leur manque quasi-total de curiosité d'observation.

Exemples d'exercices particuliers:

Calcul du rayon terrestre (Eratosthène).

Calculs de dimensions dans le système solaire (Hipparque).

Détermination de la hauteur de montagnes lunaires (Galilée).

Exercices "chorégraphiques" pour la compréhension du mouvement rétrograde des planètes et des mouvements orbitaux et diurnes de Mercure et Vénus.

Propositions d'observations de la Lune: heures de lever ou de coucher selon les phases.

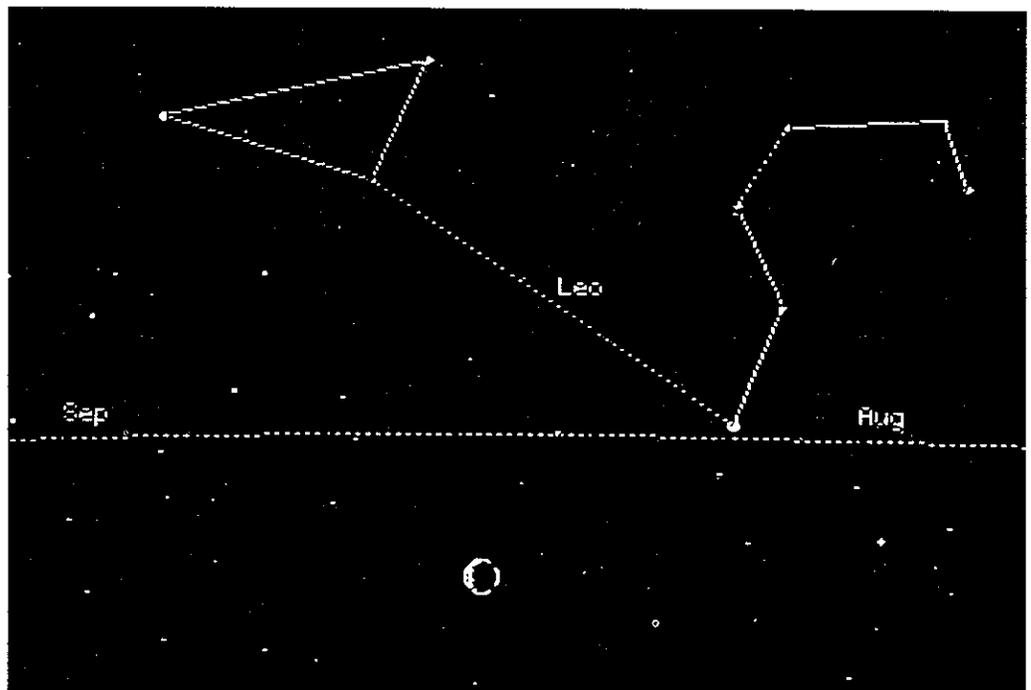
Jeux de rôles sur la base de textes de Galilée.

Quelques exemples d'utilisation du didacticiel "VOYAGER":

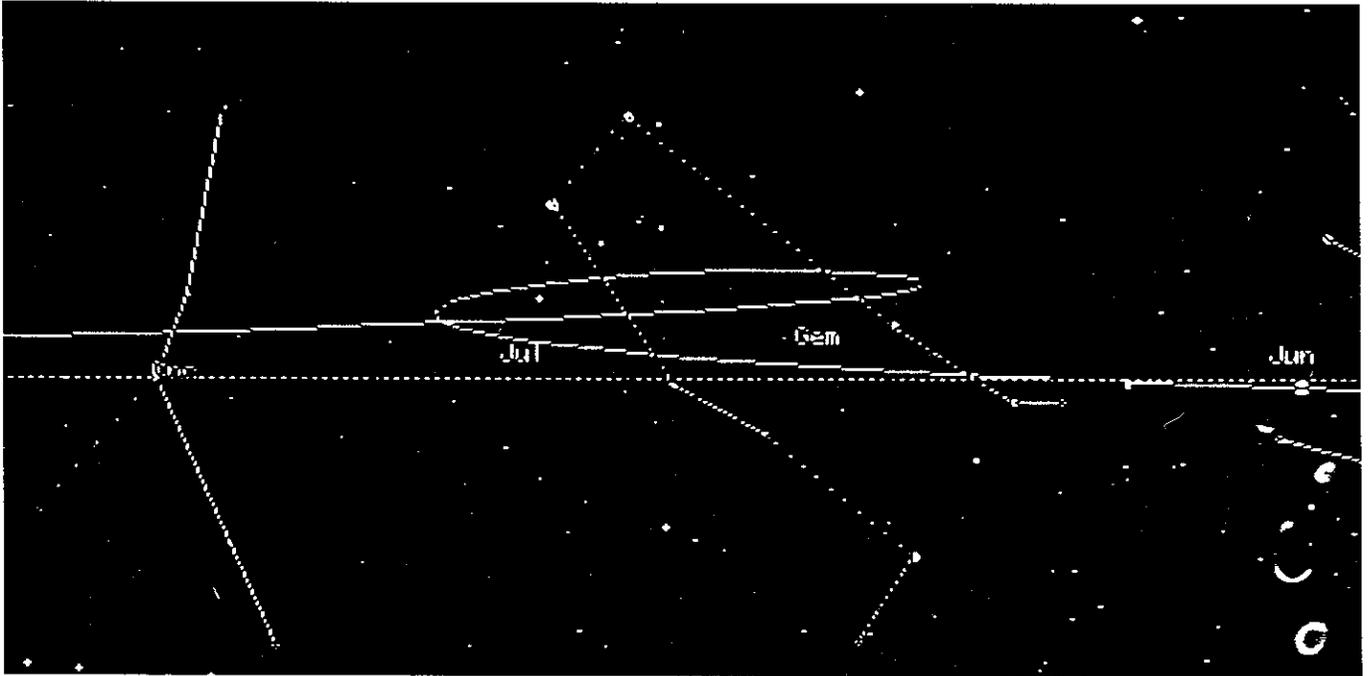
1) Simulation du mouvement de la Lune dans les constellations:

Position de la Lune:
22/10/92 à 03h00 HEC

Le logiciel permet de donner ses positions ultérieures par pas de une heure par exemple. On voit alors sur l'écran la Lune se déplacer pas à pas dans la constellation.



2) Simulation du mouvement rétrograde de Mars:



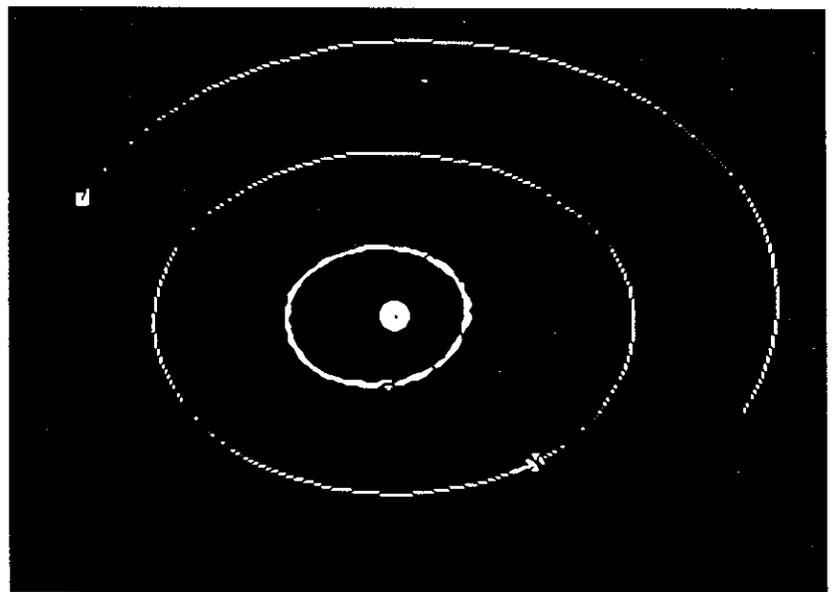
Mouvement de Mars dans la constellation des Gémeaux pour la période de l'hiver 1992-93. Lors de la simulation, Mars avance devant les étoiles par pas successifs de une semaine et l'on voit défiler ses positions aux diverses dates.

3) Influence du référentiel sur l'apparence de la trajectoire:

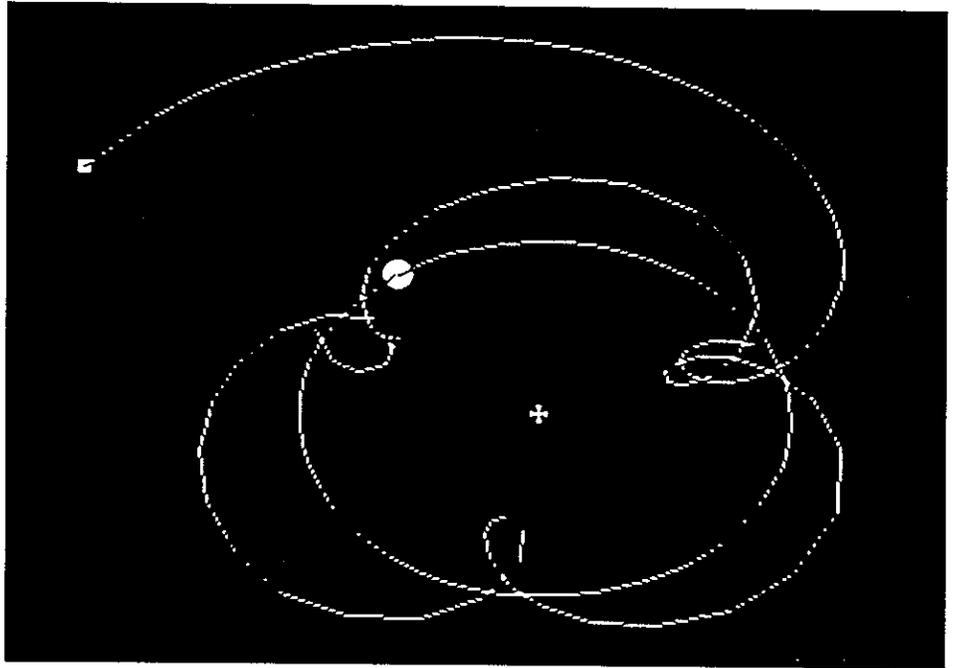
On se place en un point d'observation hors du plan de l'écliptique, à 25 UA du Soleil, par 45° de latitude et 0° de longitudes écliptiques et l'on observe les positions du Soleil, de Mercure, de la Terre et de Mars à la date choisie (ici le 21/10/92).

On peut alors simuler les mouvements en choisissant son référentiel.

En choisissant un référentiel lié au Soleil, on fait démarrer l'animation montrant les mouvements orbitaux des trois planètes. On perçoit bien les différentes vitesses et périodes orbitales et l'on peut stopper le mouvement après un an pour obtenir l'image ci-contre:

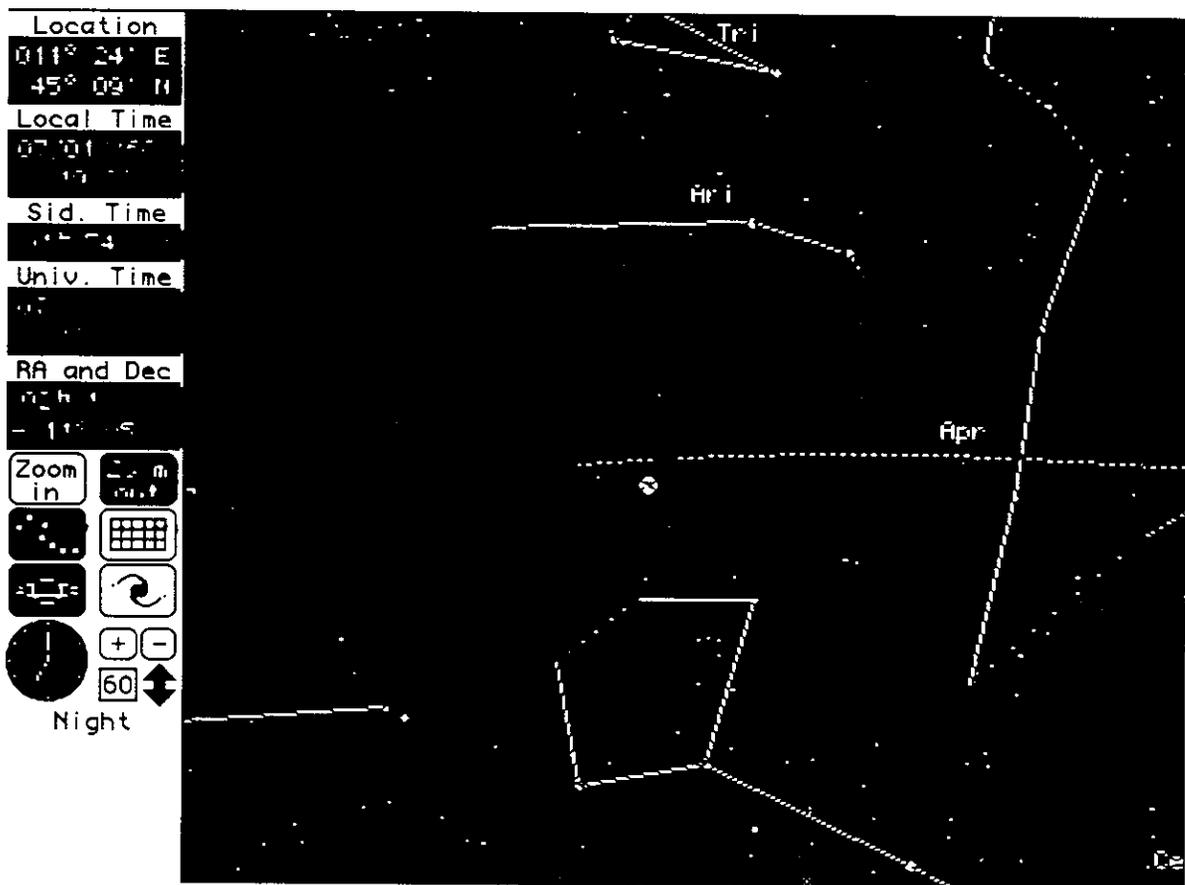


En choisissant un référentiel lié à la Terre, l'animation permet de voir le mouvement apparent du Soleil et les mouvements rétrogrades se dessiner peu à peu. Après une année de simulation on obtient l'image ci-contre:

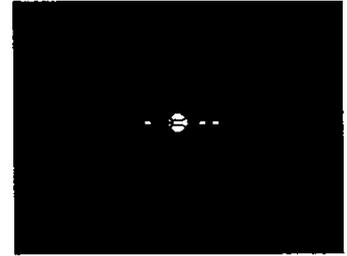


4) Simulation de la découverte des satellites de Jupiter par Galilée:

On demande au logiciel de se situer à Padoue en date du 7 janvier 1609 à 19 heures (Galilée a écrit qu'il avait fait cette observation *dans la première heure de la nuit*). On "pointe" ensuite sur Jupiter que l'on voit non loin de l'écliptique:



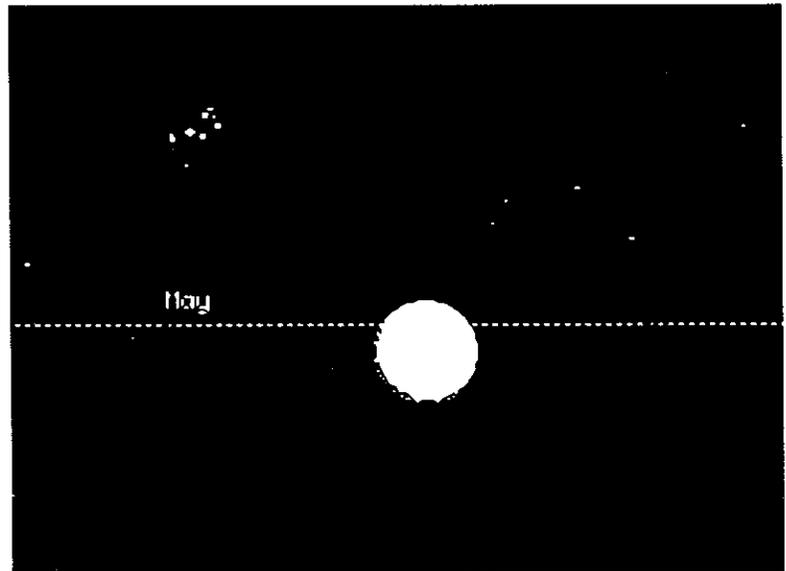
Pour simuler l'observation avec la lunette, on "zoome" et l'on obtient l'image de Jupiter avec 3 de ses satellites dans des positions conformes aux dessins qu'en a fait Galilée dans son "Siderus Nuncius". On peut ensuite simuler les observations effectuées les jours suivants et comparer les positions des satellites avec les dessins de Galilée.



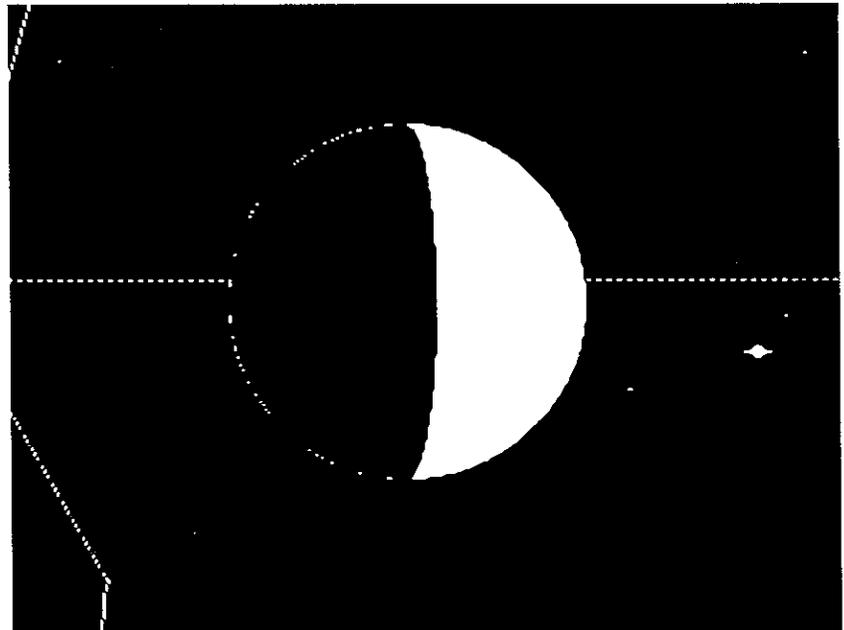
5) Les phases de Vénus telles que les a vues par Galilée:

Voyager permet d'agrandir Vénus par rapport au reste du ciel afin de percevoir ses phases:

Aspect de Vénus le 10 mai 1610 à 22h00 dans le ciel de Padoue:



Vénus le 1er janvier 1611 (élongation maximum) avec le même agrandissement que dans la figure précédente:



On rappellera l'importance de cette observation de Galilée dans son argumentation en faveur du système de Copernic; en effet, dans le modèle de Ptolémée, le Soleil ne pouvant jamais se trouver entre la planète et la Terre, les phases très pleines comme celle de la première figure sont impossibles.

5. Evaluation.

Bien que l'expérience ne soit pas encore vraiment achevée je peux risquer une évaluation relativement sûre.

Réactions des élèves:

Par leur attitude et leurs réactions, on peut affirmer qu'elle semble très positive, car le sujet est attrayant et "observable".

Ils ont fait preuve d'une curiosité aiguisée et parfois leurs questions montrent un désir d'en savoir encore plus (surtout dans les classes de langues anciennes).

Leur étonnement exprimé face à la pluridisciplinarité du sujet, (corrélations avec des thèmes traités dans d'autres cours: philosophie, histoire, géographie) fait penser que tombent enfin quelques cloisonnements entre disciplines.

Avantages de la démarche:

La combinaison et l'interaction d'éléments scientifiques et d'éléments de l'histoire intellectuelle est très bénéfique à une conception plus humaniste de la culture.

L'approche des lois du mouvement, souvent sèche et abstraite dans une démarche plus orthodoxe, devient beaucoup plus attrayante et accessible.

La compréhension des lois de Newton est facilitée par le fait qu'elles succèdent à une description de la mécanique d'Aristote et la contredisent fondamentalement.

Inconvénients:

La pratique des exercices classiques de cinématique et de dynamique est plus restreinte que dans un cours traditionnel, d'où un acquis de formalisme et de capacité opératoire plus faible. Mais si les idées générales sont bien acquises, la compréhension d'applications plus particulières devrait en être facilitée lors d'un éventuellement prolongement de physique dans le premier cycle universitaire (en médecine ou en d'autres facultés accessibles à ces élèves).

Bibliographie succincte:

Pour illustrer la démarche du cours et les exercices:

B. M. CASPER and R. J. NOER, **Revolutions in Physics**, Ed. W. W. Norton & Company, New-York, 1972.

Collectif, **HAVARD PROJECT PHYSICS (HPP)**, Ed. IRP/Vuibert, Montréal, 1979.
vol 1: **Les concepts du mouvement.**
vol 2: **Les mouvements célestes.**

A. Meessen, **Gravitation**, Ed. De Boeck Wesmael, Bruxelles, 1989.

L. Gouguenheim, **Méthodes de l'astrophysique, comment connaître et comprendre l'Univers**, Ed. Hachette, Paris, 1981.

The Physics Teacher, périodique de l'American Association of Physics Teachers. AAPT, 5112 Berwyn Road, College Park, MD 20740-4100, USA.
Nombreuses suggestions de travaux pratiques et d'exercices originaux dans la rubrique astronomique mensuelle.

VOYAGER The Interactive Desktop Planetarium, Carina Software, 830 Williams Street, San Leonardo, California 94577, USA, Phone: (415) 352-7358

Pour les textes originaux:

Françoise BALIBAR, **Galilée, Newton lus par Einstein**, Ed. PUF, Paris, 1984.

Galilée, **Le messager des étoiles (Siderus Nuncius)**, Ed. Seuil, Paris, 1992.

Galilée, **Dialogue sur les deux grands systèmes du monde**, Ed. Seuil, Paris, 1992.

Galilée, **Discours concernant deux sciences nouvelles**, Ed. Armand Colin, Paris, 1970.

Isaac Newton, **Principia Mathematica**, Ed. Christian Bourgois, Paris, 1985.

Pour l'histoire de l'astronomie:

J.L.E. DREYER, **A History of Astronomy from Thales to Kepler**, Ed. Dover, New-York, 1953.

Thomas Kuhn, **La révolution copernicienne**, Livre de Poche/biblio/Essais no. 4146, Paris, 1992.

A. Koestler, **Les somnambules, Essai sur l'histoire des conceptions de l'Univers**, Livre de Poche, Paris, 1960.

J.-P. Verdet, **Une histoire de l'astronomie**, Ed. Seuil, Paris, 1990.

J. R. Roy, **L'astronomie et son histoire**, Ed. Masson, Paris, 1982.