

TRAITEMENTS DE DONNÉES EN M.P.I. EN RELATION AVEC LE PROGRAMME DE SCIENCES PHYSIQUES DE LA CLASSE DE SECONDE

RÉSUMÉ

L'acquisition de données, leur traitement et leur exploitation éventuelle sous forme de modélisations mathématiques constituent quelques unes des activités privilégiées du programme de M.P.I. Pour nos élèves de M.P.I., il est alors possible :

– de montrer que tout fichier de données peut être récupéré par n'importe quel tableur, de sorte que l'utilisateur n'est pas prisonnier d'un logiciel propriétaire, afin de faire "vivre" ces données par des graphiques convenablement constitués ;

– d'utiliser les ressources scientifiques quasi illimitées d'INTERNET qui permettent d'avoir accès à des données obtenues par des laboratoires ou de grands organismes publics.

Le professeur peut illustrer ainsi de façon spectaculaire des parties du programme de seconde de sciences physiques, ce qui contribue à renforcer au sein de la section M.P.I. les contenus de culture générale scientifique.

Nous allons donner quelques exemples de traitements possibles, non exhaustifs, qui portent sur quelques points du programme de sciences physiques et qui mettent en œuvre des compétences que les élèves de M.P.I. doivent acquérir.

1. ACTIVITÉ PRÉALABLE : LE FICHIER "TEXTE"

1. 1. Des mesures échantillonnées

Les premières séances en M.P.I. permettent de familiariser l'élève avec l'étude de grandeurs électriques à des fins d'observation et d'enregistrement de signaux d'origines diverses. Très rapidement, on apprend à distinguer les instruments de mesures *analogiques* des centrales d'acquisition *numériques*.

Dans tous les cas, il faut se fixer une "fenêtre temporelle" Δt_{obs} d'observation pour laquelle la grandeur étudiée peut être observée en *continu* ou de façon *discontinue* en prélevant N échantillons en des durées égales Δt_{mes} .

On fait alors sentir l'avantage de l'échantillonnage et de la numérisation d'un signal, qui est la technique la plus avantageuse pour mémoriser les mesures effectuées afin de les traiter en "temps quasi réel" ou pour mémoriser les mesures effectuées à des fins d'exploitation différée.

En effet les instruments analogiques traditionnels ne sont adaptés qu'à des phénomènes répétitifs de période suffisamment courte (oscilloscope analogique) ou à des phénomènes dont l'évolution est étudiée sur une longue durée (cylindres enregistreurs à stylets, tels les sismographes classiques).

Mais pour que l'échantillonnage et la numérisation du signal soient possibles, il faut qu'à l'interface du monde physique naturel et de la chaîne de mesure soit présent un *capteur* qui permet de délivrer une *tension électrique*, LA grandeur par excellence qui se prête à de tels traitements.

C'est cette problématique qui fixe les grandes lignes du programme de M.P.I.

1. 2. Obtention d'un fichier de données

Afin de familiariser au plus vite les élèves avec un appareil analogique (l'oscilloscope) et une centrale d'acquisition (carte interne ou module externe relié à un ordinateur), on peut observer puis enregistrer une tension électrique périodique.

Le "défi" est de paramétrer la centrale d'acquisition de sorte que la fenêtre d'observation soit la même que celle fixée par la base de temps de l'oscilloscope.

Mais, à ce stade, il est important d'enregistrer le signal en mode "points" pour bien faire sentir la notion d'échantillonnage.

On peut donc jouer sur le nombre de points N de mesures dans la fenêtre d'observation égale ici à 20 ms (ce qui correspond, sur un oscilloscope, à une durée de balayage de 2 ms / div).

Les données sont rapatriées (en général automatiquement) vers le logiciel qui sert de "grapheur" afin d'observer, parfois en "temps réel" l'acquisition du signal, le plus souvent selon un "affichage différé".

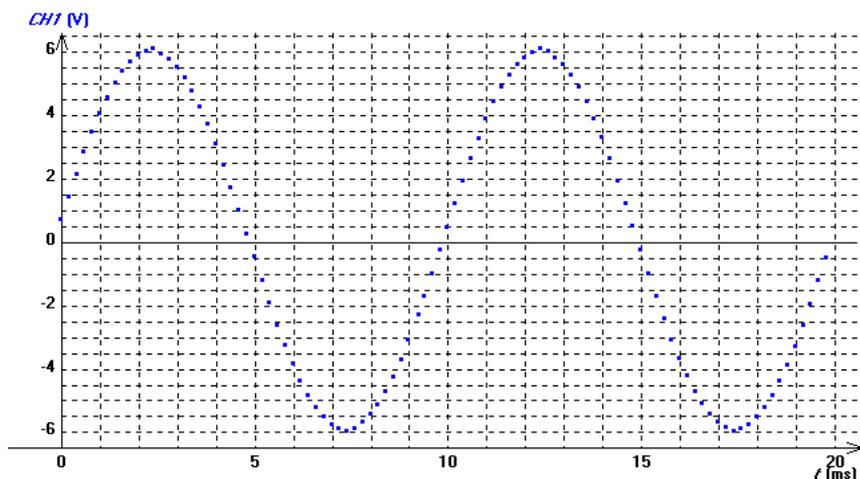


fig. 1 : Tension sinusoïdale échantillonnée par CANDIPLUS et observée dans REGRESSI

Les données sont mémorisées, ce qui permet éventuellement de “retravailler” la représentation graphique obtenue (voir figure ci-contre).

L'étape suivante est d'examiner le fichier de mesures obtenu depuis la centrale d'acquisition et le logiciel qui la pilote.

```
C:\PHYSIQUE\REGRESSI\CANDIBUS.EXE
Acquisition par Candibus

t          CH1
s          V

0          0.685
0.0002003 1.42
0.0003998 2.13
0.0006001 2.815
0.0008004 3.45
0.0009998 4.035
0.001199  4.555
0.0014     5
0.001599  5.365
0.001799  5.655
0.002001  5.875
0.0022     6.03
0.002399  6.085
0.002601  5.945
0.0028     5.755
0.002999  5.495
0.003199  5.16
```

fig. 2 : Un extrait du contenu d'un fichier texte issu d'une centrale d'acquisition

C'est un fichier qu'il est parfois possible de faire transiter par le presse-papier de Windows vers une autre application ou que l'on peut enregistrer dans ce format universel qu'est le fichier texte TXT (et parfois en fichiers de mesures DAT). On peut alors observer sa structure en l'ouvrant avec le bloc-notes de Windows, pour découvrir la présence de *lignes de commentaires* et de *tabulations* qui permettent, par un copier / coller vers un traitement de texte par exemple, de constituer un tableau.

À noter ici la présence de “points” au lieu de “virgules” pour les écritures des nombres décimaux (norme ASCII pour *American Standard Code for Information Interchange*). Si l'on utilise un tableur “francisé”, il faudra donc remplacer ces points par des virgules ! Voir sur le serveur le fichier [sinusoïde candibus.txt](#). *Tous les fichiers texte de type ASCII ont une telle structure. Une des difficultés rencontrées est de faire en sorte qu'ils soient correctement lus par l'application “tableur” utilisée.*

On peut alors mettre en œuvre une compétence attendue en M.P.I., à savoir utiliser un tableur généraliste tel EXCEL ou celui présent dans OPEN OFFICE afin de traiter les données issues de l'acquisition.

1. 3. Traitement du fichier de données dans un tableur généraliste

La plupart des tableurs généralistes possèdent un *assistant* qui permet d'importer les données d'un fichier texte. On ouvre le fichier texte dans le tableur et deux situations sont alors possibles :

- **L'utilisateur n'a rien à faire** si ce n'est “tourner” les pages par l'instruction SUIVANT de cet assistant. Dans ce cas, le tableur a reconnu les colonnes créées dans le fichier texte (plus exactement, les marques de tabulation). Les données s'inscrivent correctement dans les cellules du tableur.

C'est toujours le cas des fichiers TXT issus de REGRESSI, de SYNCHRONIE.

C'est aussi le cas du fichier de mesures pris ici comme exemple

- **Le fichier doit être retravaillé** pour faire apparaître les différentes colonnes.

Nous examinerons plus loin un tel exemple de fichier.

Voici donc le déroulement successif des opérations à réaliser dans le cas le plus favorable :

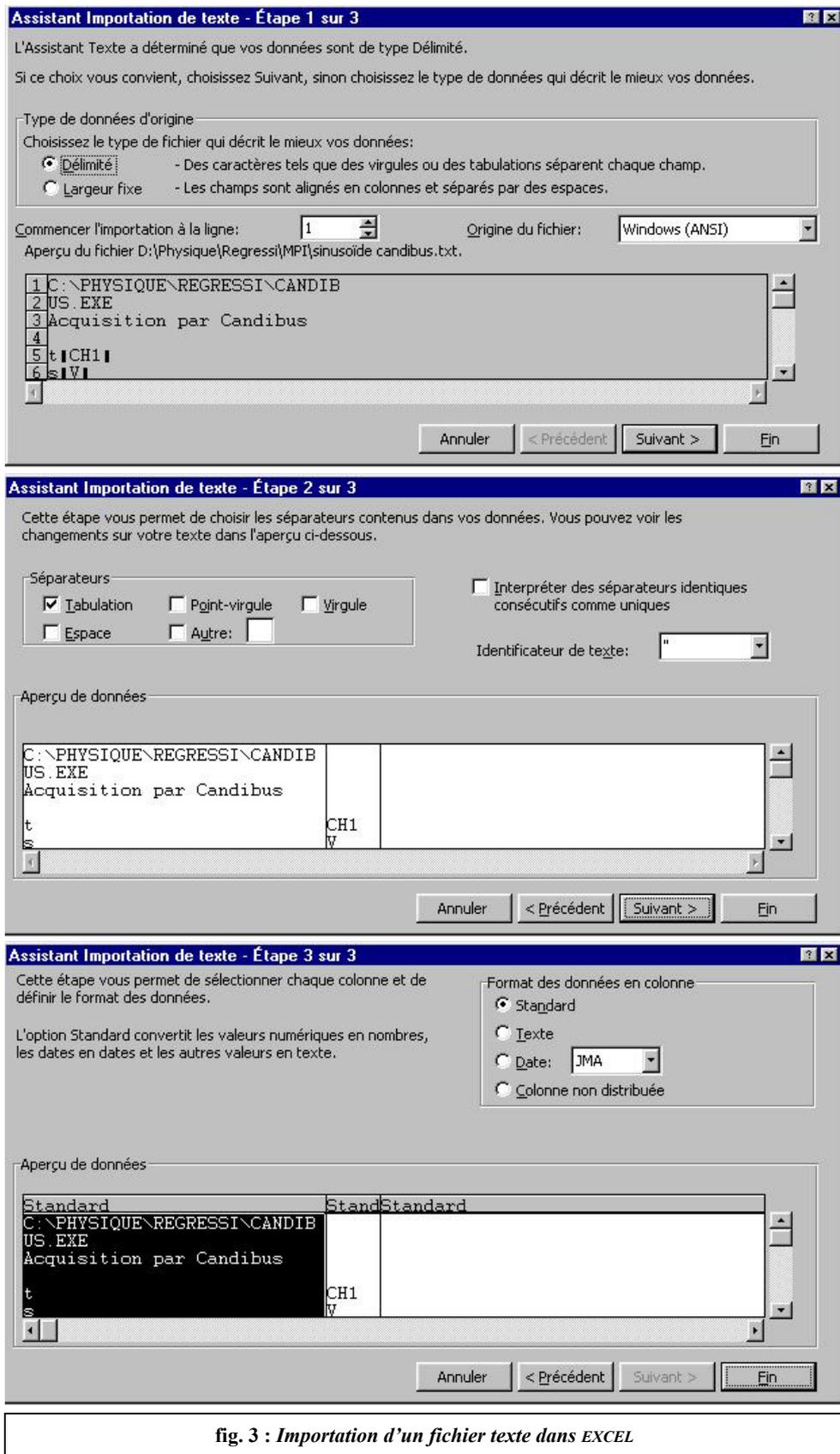


fig. 3 : Importation d'un fichier texte dans EXCEL

En validant la fin de cette importation, on obtient un fichier lu correctement par le tableur, à condition de remplacer les "points" par des "virgules", ce qui est l'occasion d'apprendre à faire usage, après sélection des données, de l'instruction " Rechercher / Remplacer ".

On fait appel ensuite aux fonctions graphiques “nuage de points” du tableur pour construire la représentation graphique qui donne l’évolution temporelle de la tension mesurée par échantillons successifs.

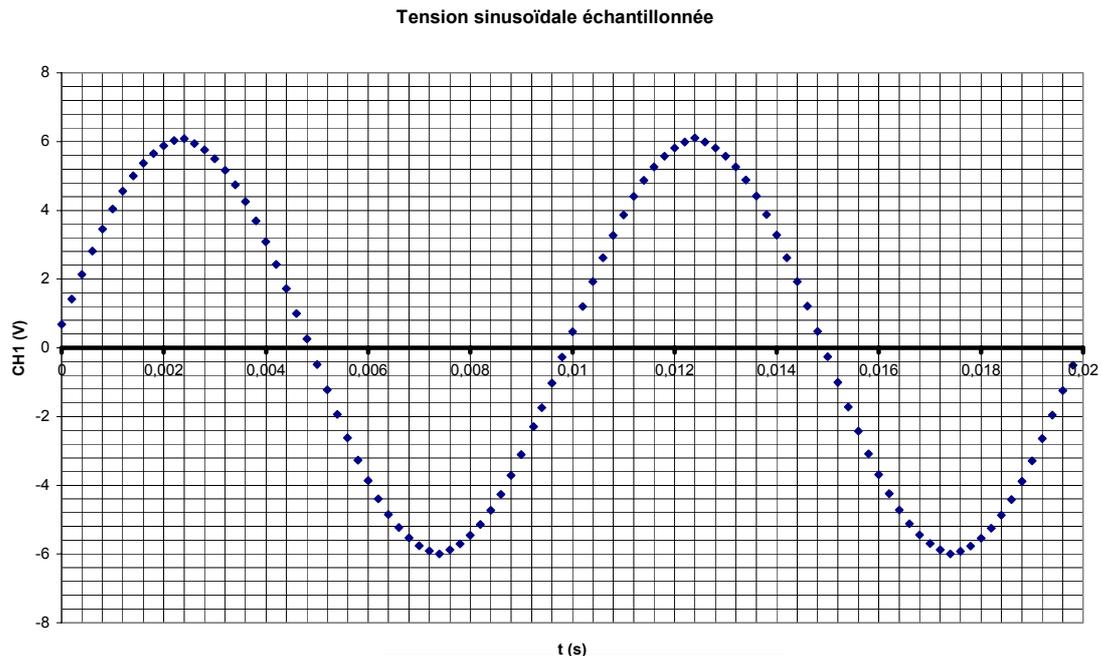


fig. 4 : Tension échantillonnée

1. 4. En conclusion

À l’issue de ces séances d’initiation, on a donc appris :

- à observer une tension variable dans une fenêtre temporelle de largeur adaptée à l’observation souhaitée ;
- à paramétrer un “pas” d’échantillonnage ;
- à exporter un fichier de mesures dans son format universel, le fichier texte TXT ;
- à réaliser une représentation graphique, selon les mêmes contraintes, avec des logiciels (tableurs) différents.

2. PREMIER EXEMPLE DE FICHIER DE DONNÉES ISSU D'INTERNET : MESURE DE LA DISTANCE TERRE – LUNE

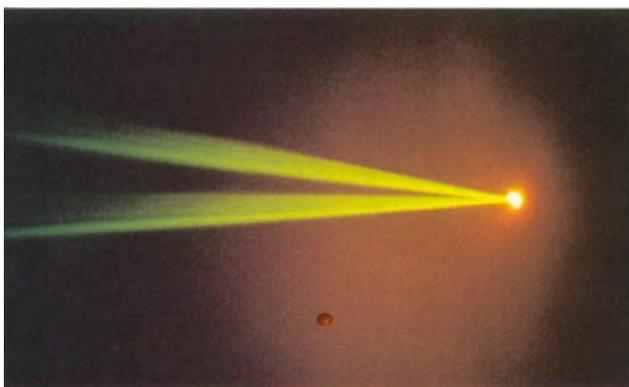


fig. 5 : Tir laser sur la lune (cliché CERGA)

La mesure de la distance Terre-Lune est réalisée par télémétrie laser à partir de quelques observatoires dans le monde parmi lesquels la station du CERGA située près de Grasse.

Le principe est simple : un double¹ faisceau laser est émis depuis la Terre et réfléchi sur la Lune par des réflecteurs déposés sur le sol lunaire lors des missions spatiales des années 1970, puis recueilli par la station émettrice. De la durée du trajet aller et retour mesuré avec une très grande précision, on déduit la distance.

La photographie ci-dessus permet de distinguer nettement les deux faisceaux convergeant en un

même point sur la Lune.

Cette méthode a permis d'atteindre une précision de quelques centimètres sur la mesure de la distance qui nous sépare de notre satellite naturel – une des meilleures performances mondiales.

Le laser utilisé au CERGA est un laser YAG qui émet une radiation dont la longueur d'onde dans le vide est égale à $\lambda_0 = 1,064 \mu\text{m}$. Par traversée d'un cristal, cette radiation subit un doublement de fréquence de sorte que sa longueur d'onde dans le vide est λ_0' : c'est cette radiation qui émerge à l'air libre.

Le laser ne fonctionne pas en continu : il émet, lors d'un "tir", une impulsion très brève (dont la durée d'émission est 0,3 nanoseconde) et de très grande puissance ; la cadence des tirs est de 10 tirs par seconde. Ce laser est solidaire d'un télescope, que l'on peut pointer vers les réflecteurs disposés sur le sol de la lune.

Avec une horloge d'une très grande précision, on mesure, quand c'est possible, la durée d'un aller-retour Terre – Lune d'une impulsion issue du laser. Un ordinateur détermine alors la distance entre la station de tir et le réflecteur.

2. 1. Mise en forme du fichier

En se connectant au site du CERGA <http://wwwrc.obs-azur.fr/cerga/laser/laslune/llr.htm>, on obtient des fichiers texte d'un type particulier (DAT) qui méritent d'être travaillés par le professeur avant de les confier aux élèves, à moins que ces derniers aient déjà acquis des compétences informatiques convenables (tout dépend des élèves et du moment choisi pour une telle activité).

En effet, l'ancien format international proposé (le plus commode) est codé de sorte qu'une ligne du fichier qui s'écrit par exemple :

5 1 1998 0213 2231 21731439026629923314973301910 80 1029 11 88610 11519 5320a 524

donne, dans l'ordre des caractères présents :

5 : l'identification du format ;

1 : la couleur du laser (1 : vert) ;

1998 0213 : la date (année, mois, jour, soit ici : 1998/02/13) ;

2231 : heure, minute (22 : 31) ;

217314390 : nanosecondes (au moment du tir) ;

26629923314973 : la durée d'un aller et retour en dixième de picoseconde !

3 : réflecteur (ici celui déposé par la mission Apollo XV) ;

Les autres données portent sur le rapport signal / bruit, la pression atmosphérique, la température, etc.

¹ La puissance de ce laser est tellement importante que pour éviter de détériorer les surfaces optiques traversées, tout en gardant le maximum d'énergie disponible, le faisceau est dédoublé à la sortie du laser.

Il est quand même assez facile d'extraire les données des fichiers du CERGA si on se limite aux informations qui portent sur la date et la durée de transit d'une impulsion laser.

Parmi tous les fichiers proposés, on peut choisir ceux qui se rapportent à une série de tirs réussis au cours d'une nuit donnée. Voir sur le serveur le fichier : [Mnc0111.dat](#).

L'importation du fichier DAT dans EXCEL s'opère de la façon suivante avec l'aide de l'assistant :

- ici, le type de fichier est de Largeur fixe ;
- il faut ensuite à la souris placer des curseurs qui délimitent la largeur des colonnes utiles (c'est l'opération la plus fastidieuse qui nécessite de compter soigneusement le nombre de caractères). (Voir recopies d'écran ci-après).

On remplace les points par des virgules, supprime ensuite les colonnes inutiles et on insère une ligne afin de nommer les colonnes restantes.

Enfin, on procède aux calculs intéressants, à savoir :

- celui de la date groupée dans une seule colonne que l'on intercale ;
- celui de la distance Terre-Lune, en km, sachant que $c_0 = 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (un bon exercice à faire sur tableur !) dans une autre colonne que l'on ajoute à droite de la précédente.

À noter la possibilité d'utiliser des fonctions avancées d'EXCEL, telles les fonctions DATE et TEMPS qui permettent de rassembler les informations horaires sous un format unique (à condition d'avoir pensé à convertir les nanosecondes en secondes).

On peut se contenter de calculer de façon classique le temps écoulé entre la première et la dernière expérience (voir copies d'écran).

Là encore, tout dépend du degré de familiarisation de l'élève avec le tableur utilisé.

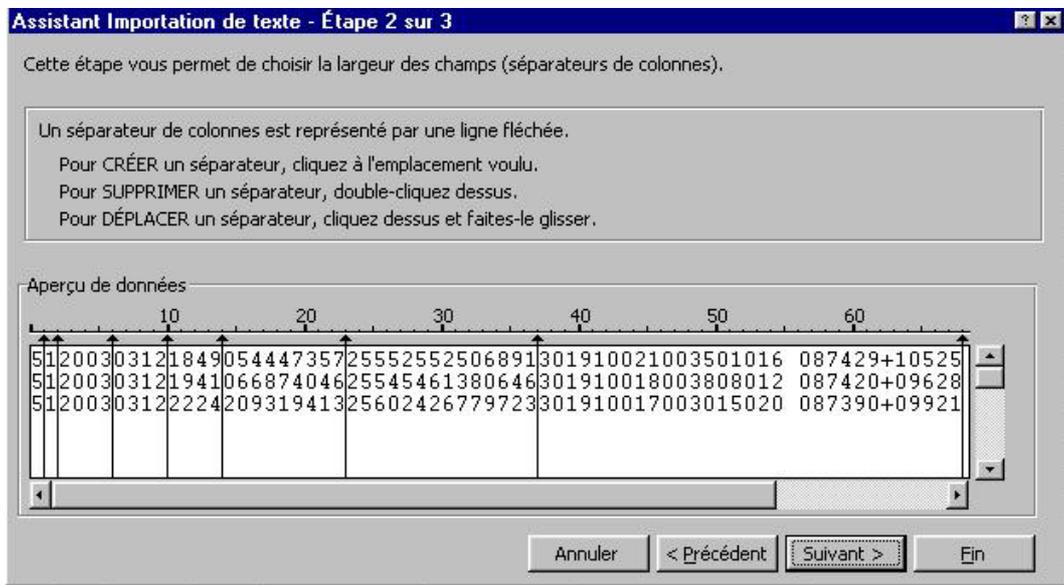
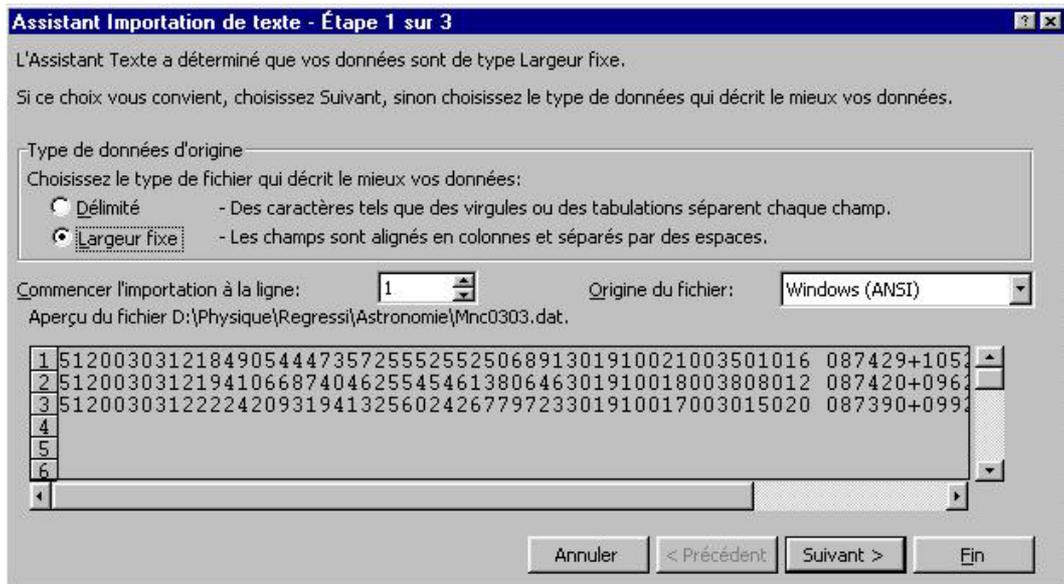


fig. 6 : Mise en forme du tableau de données

G3 =DATE(A3;B3;C3)+TEMPS(D3;E3;F3*0,000001)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Année	Mois	Jour	Heure	Min	Secondes à x 100 ns	Date t	Date t s	t A-R à x 0,1 ps	d km
2001	11	7	0	11	166941083,0000	7/11/01 0:11	676,6941	24655396612395,0000	369575,0977
2001	11	7	0	35	215459012,0000	7/11/01 0:35	2121,5459	24628003047059,0000	369164,4785
2001	11	7	0	47	341004451,0000	7/11/01 0:47	2854,1004	24612150592728,0000	368926,8561
2001	11	7	1	25	267608859,0000	7/11/01 1:25	5126,7609	24573889185084,0000	368353,3321
2001	11	7	1	59	55850175,0000	7/11/01 1:59	7145,5850	24546772445471,0000	367946,8624
2001	11	7	2	9	479487363,0000	7/11/01 2:09	7787,9487	24535717713116,0000	367781,1561
2001	11	7	2	20	502112582,0000	7/11/01 2:20	8450,2113	24530008128399,0000	367695,5716
2001	11	7	2	40	360526221,0000	7/11/01 2:40	9636,0526	24516542574595,0000	367493,7280
2001	11	7	2	54	379183337,0000	7/11/01 2:54	10477,9183	24525315985111,0000	367625,2381
2001	11	7	3	12	245848869,0000	7/11/01 3:12	11544,5849	24496117514096,0000	367187,5641
2001	11	7	3	21	565282070,0000	7/11/01 3:21	12116,5282	24494181324842,0000	367158,5413
2001	11	7	3	31	335577540,0000	7/11/01 3:31	12693,5578	24490152240169,0000	367098,1468
2001	11	7	3	48	353703446,0000	7/11/01 3:48	13715,3703	24481677032516,0000	366971,1067
2001	11	7	3	57	304726023,0000	7/11/01 3:57	14250,4726	24481560418213,0000	366969,3587
2001	11	7	4	10	356838268,0000	7/11/01 4:10	15035,6838	24478505424553,0000	366923,5655
2001	11	7	4	34	559920855,0000	7/11/01 4:34	16495,9921	24475125357218,0000	366872,8995
2001	11	7	5	50	240810843,0000	7/11/01 5:50	21024,0811	24483556172903,0000	366999,2743

fig. 7 : Fichier de données importé et traité dans EXCEL

2. 2. Traitement des données (voir copie d'écran précédente)

On condense le format des dates données sur 5 colonnes en appliquant dans la colonne **G** la formule **=DATE(A3;B3;C3)+TEMPS(D3;E3;F3*0,000001)** qui renvoie le résultat suivant : **7/11/01 0:11** (à condition, à l'issue du calcul réalisé par ces deux fonctions, de dérouler le menu **FORMAT CELLULE** par un clic droit dans la cellule visée et de sélectionner un des formats **DATE** proposés).

Dans la colonne **H** voisine, on procède à un calcul classique **=(3600*D3+60*E3+0,000001*F3)** qui porte uniquement sur l'instant du tir pour la nuit considérée (cela revient à appliquer la formule **TEMPS**).

Dans la colonne **J**, on procède au calcul de la distance *d* Terre-Lune, par la relation $d = c_0 \frac{t_{A-R}}{2}$.

Ce calcul nécessite de mettre en place une réflexion qui s'inscrit pleinement dans le programme de sciences physiques et qui porte sur les conversions d'unités et le nombre pertinent de chiffres significatifs (et donc du format que l'on imposera à l'affichage du résultat).

On constitue un graphique en nuages de points et l'on ajoute une courbe de tendance (polynomiale) pour assurer un lissage pertinent qui laisse de côté un point aberrant.

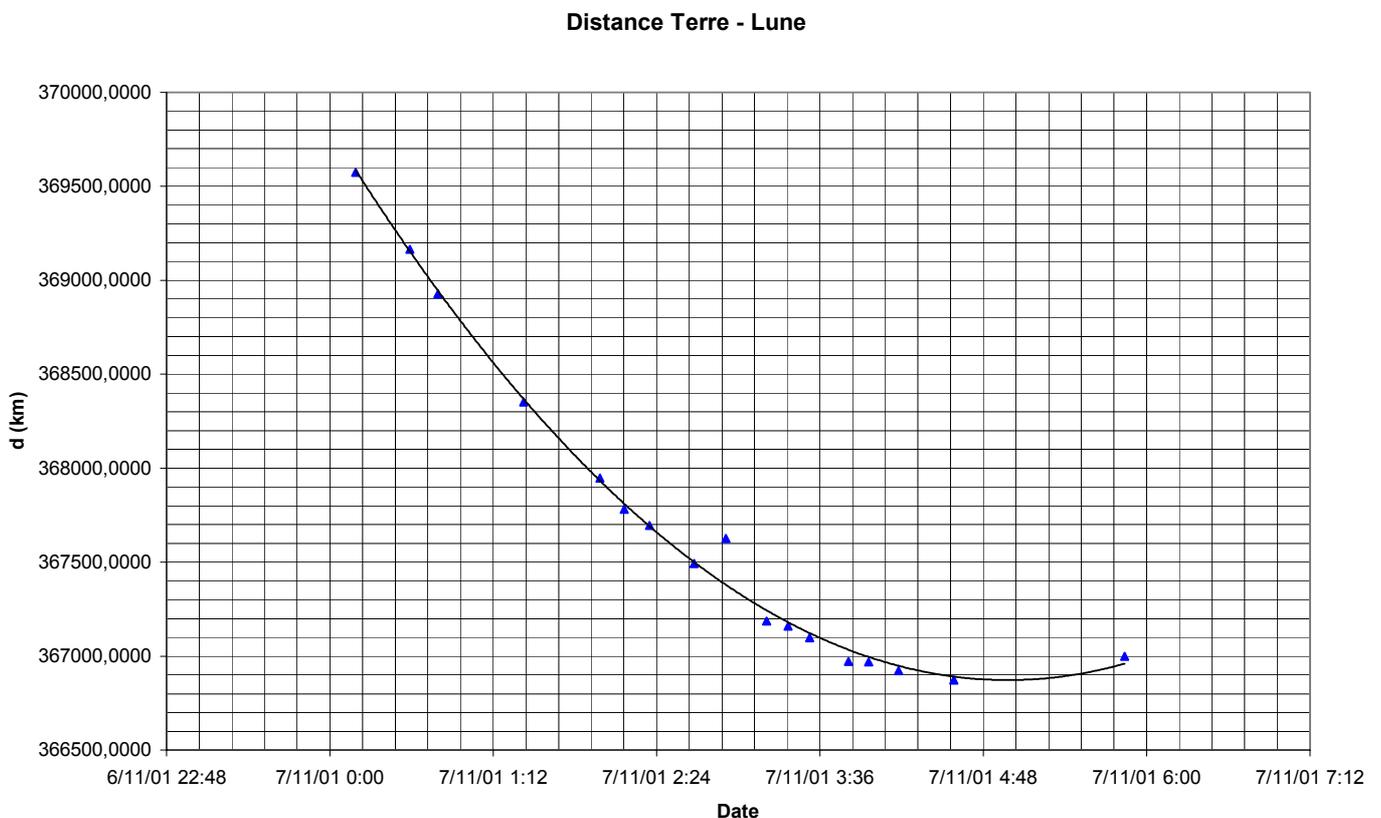


fig. 8 : Mesure de la distance Terre - Lune effectuée pendant une nuit par tirs lasers du CERGA

Voir sur le serveur le fichier : [02TirLaserLune1.xls](#)

L'exploitation du graphique obtenu est riche : comment expliquer qu'au cours d'une nuit la distance entre la plate-forme de tir et le sol lunaire sur lequel est posé le réflecteur ait pu varier ainsi, en passant par un minimum ?

Nous laissons aux soins du lecteur de le deviner.

En conclusion, cette activité nous paraît illustrer de façon intéressante pour les élèves de M.P.I. les parties du programme qui portent sur les Échelles de longueur et L'année de lumière.

3. DEUXIÈME EXEMPLE DE FICHIER DE DONNÉES ISSU D'INTERNET : SPECTRE D'UNE ÉTOILE

Les astronomes amateurs rivalisent d'ingéniosité pour réaliser des spectres d'émission ou d'absorption d'étoiles.

Pour débiter et comprendre le principe de la manipulation, les outils nécessaires sont réduits : fente, objectif photographique, réseau de diffraction et capteur C.C.D. d'une WEBCAM. Ce matériel peut être mis à disposition des élèves de M.P.I. afin d'obtenir le spectre d'une lampe à décharge. On peut même se contenter de montrer qu'une cellule telle une photodiode crée un signal électrique dans la partie du spectre où elle est placée.

La capture de l'image obtenue avec une caméra C.C.D. est possible avec REGAVI, module multimedia de REGRESSI qui permet également la lecture des images obtenues.

Le monumental site des astronomes amateurs, <http://astrosurf.com/> est très documenté sur les techniques d'obtention de spectres stellaires.

Citons, au sein de ce site, les pages personnelles suivantes :

- <http://astrosurf.com/astro-images/spectro-debut/spectro-debut.htm> où l'on expose de façon très claire le principe d'un dispositif expérimental accessible à des élèves de M.P.I. afin d'obtenir le spectre d'émission d'une lampe.
- <http://astrosurf.com/vdesnoux/spectrum.html> qui est un site consacré au logiciel VISUAL SPEC, destiné à l'exploitation des données issues de caméras C.C.D. en vue d'établir le spectre d'une étoile (ce n'est pas très simple, car le capteur C.C.D. utilisé doit impérativement être correctement "calibré" et "pondéré" pour que l'information soit correctement interprétée).
- <http://www.astrosurf.com/rondi/spectro/index.htm> qui fait une large place aux méthodes spectrométriques astronomiques, avec de nombreux exemples. En voici un, qui donne le spectre de l'étoile 34 de la constellation du cygne, étoile assez peu lumineuse de magnitude égale à 4,82.

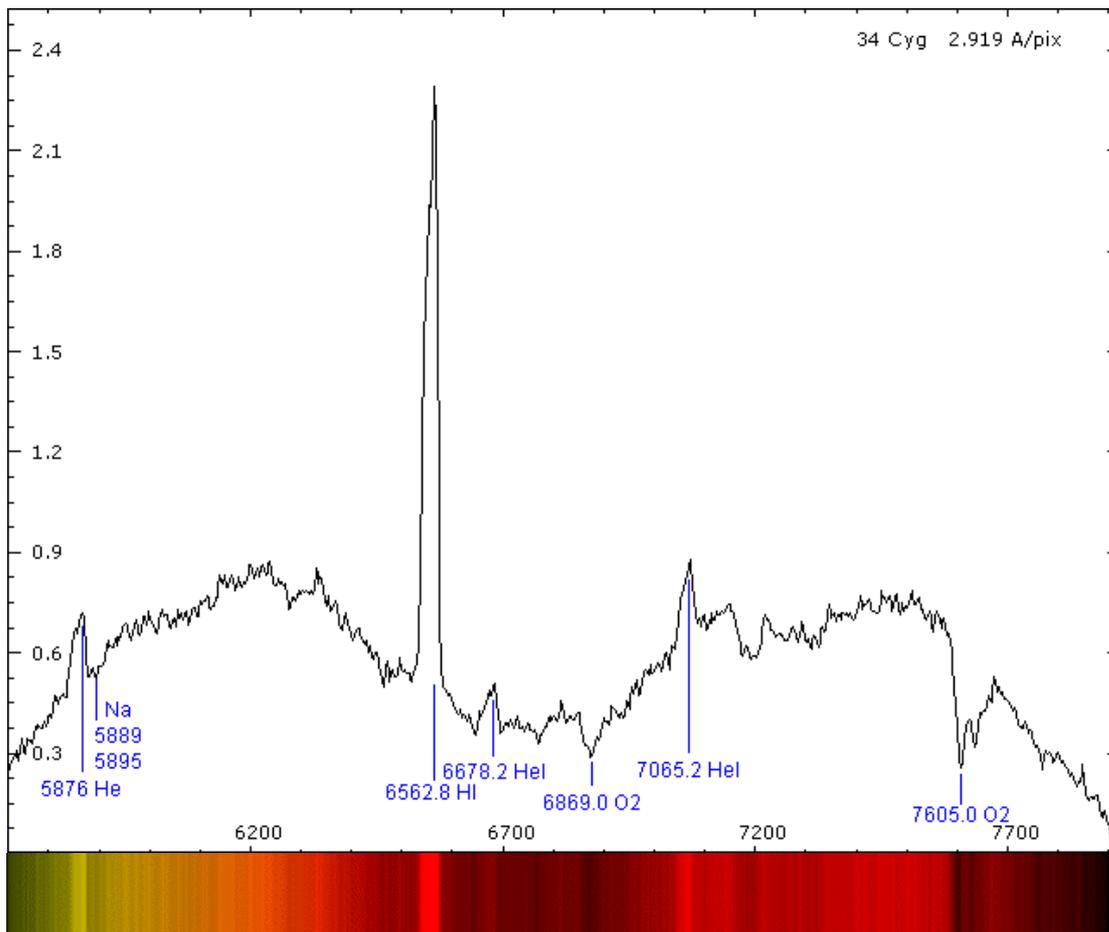


fig. 9 : Spectre de l'étoile 34 de la constellation du cygne

La juxtaposition du spectre optique et du spectre d'émission obtenu sur le capteur C.C.D d'une caméra AUDINE est particulièrement saisissante.

À noter que l'angström reste encore une unité très prisée des astronomes !

• <http://www.astrosurf.com/buil/>, formidable site de Christian BUIL, en constante évolution, qui est exhaustif sur le sujet.

Qui plus est, l'auteur fournit de nombreux fichiers de données, au format DAT mais respectant la norme ASCII, susceptibles d'être exploitées par des élèves de M.P.I.

Voici un exemple de traitement opéré sous EXCEL qui permet de reconstituer le spectre d'émission d'une nova, émettrice d'une lumière rouge intense.

Le fichier de données est importé ici dans EXCEL sans difficultés particulières, à partir du lien <http://www.astrosurf.com/buil/us/nmon/nmon.htm>.

Voir sur le serveur le fichier : [NovaSpectre.dat](#)

Spectre d'émission d'une nova

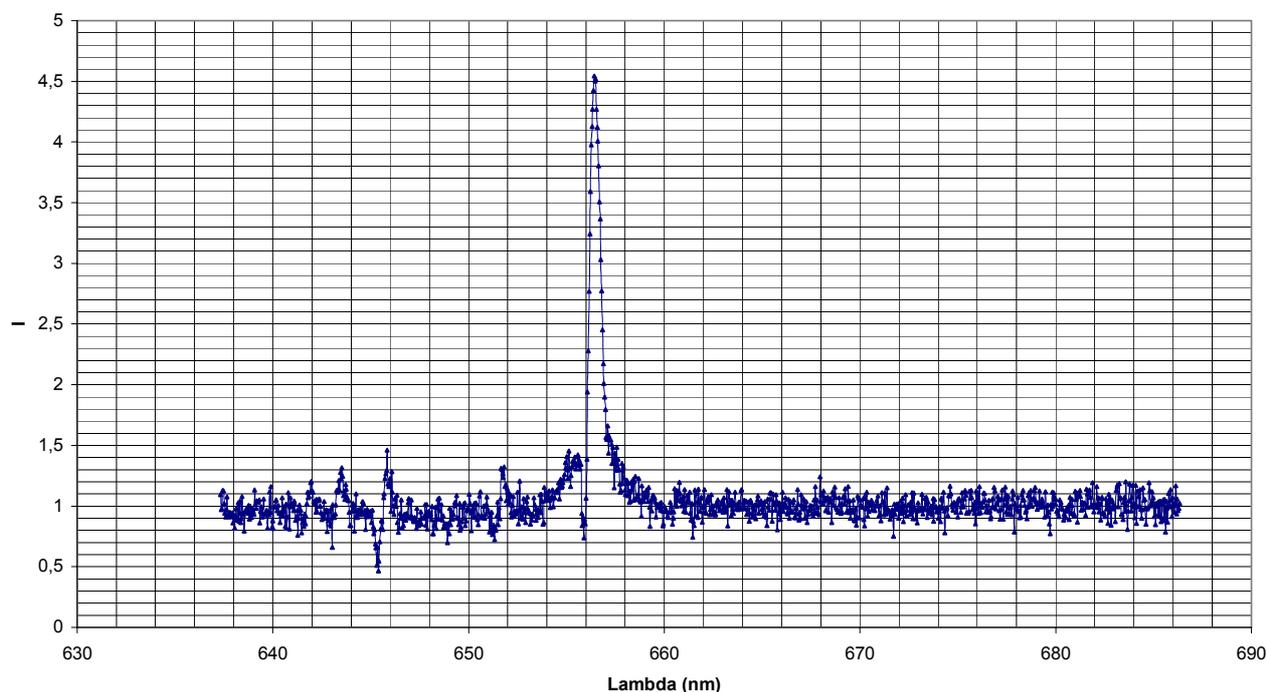


fig. 10 : Raie d'émission $H\alpha$ de l'hydrogène d'une nova

Voir sur le serveur le fichier : [NovaRaieHalpaha.xls](#)

On peut remarquer la forte raie d'émission $H\alpha$ de l'hydrogène à 656 nm.

En conclusion, cette activité s'inscrit pleinement pour les élèves de M.P.I. dans l'étude de la partie du programme de sciences physiques qui porte sur les "Spectres d'émission et d'absorption".

Elle peut venir en complément d'un protocole expérimental destiné à obtenir des spectres d'émission explorés par des capteurs de lumière (photodiode BPW 34 ou capteur C.C.D. d'une WEBCAM).

4. TROISIÈME EXEMPLE DE FICHIER DE DONNÉES ISSU D’INTERNET : ÉPHÉMÉRIDES DE POSITIONS

4.1. Référentiels et coordonnées

Le serveur du bureau des Longitudes permet d’effectuer des calculs des positions des planètes, satellites, comètes du système solaire relativement à des référentiels et des systèmes de coordonnées qu’il est possible de paramétrer.

On peut ainsi envisager d’illustrer en astronomie la notion de relativité du mouvement selon l’observateur, en prenant l’exemple du mouvement apparent d’une planète selon un référentiel héliocentrique (1), géocentrique (2) ou un référentiel local (3).

– Dans le premier cas (1), on utilise, par rapport au plan de l’écliptique, les coordonnées écliptiques (λ, β) , analogues au couple (longitude, latitude) [voir figures ci-dessous].

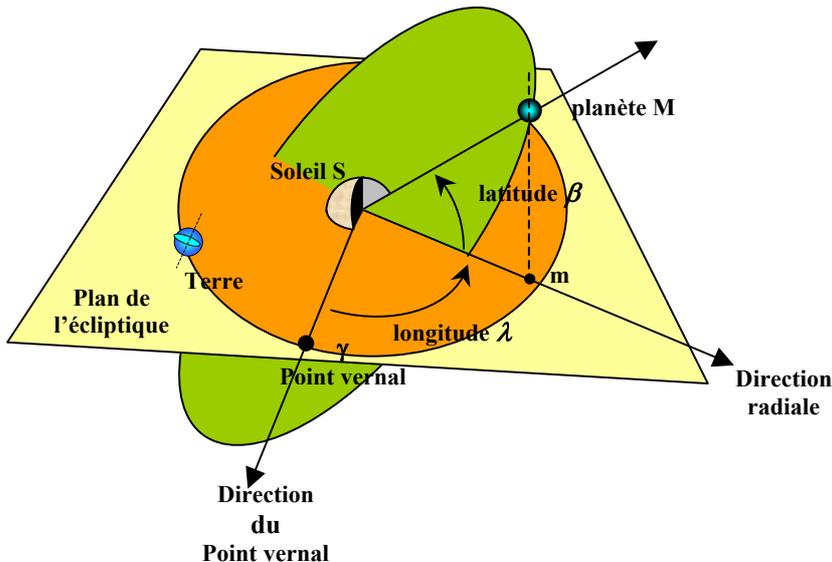


fig. 11

Aux équinoxes de printemps, le Soleil atteint sur l’écliptique le point vernal γ qui sert de référence pour beaucoup de systèmes de coordonnées célestes (voir fig. 11). On reporte, dans un référentiel héliocentrique, la direction du point vernal (qui est en fait celle du Soleil vu depuis la Terre au moment de l’équinoxe du printemps). La longitude écliptique héliocentrique est l’angle que fait cette direction avec celle du segment qui joint le Soleil à la planète P. Il faut noter que les plans des orbites des planètes du système solaire sont très peu inclinés par rapport au plan de l’écliptique : la latitude β peut donc être négligée.

Si l’on projette l’orbite de la planète sur le plan de l’écliptique, la longitude λ est égale à l’angle polaire θ qui définit la position instantanée de la planète M sur sa trajectoire héliocentrique (voir fig. 12).

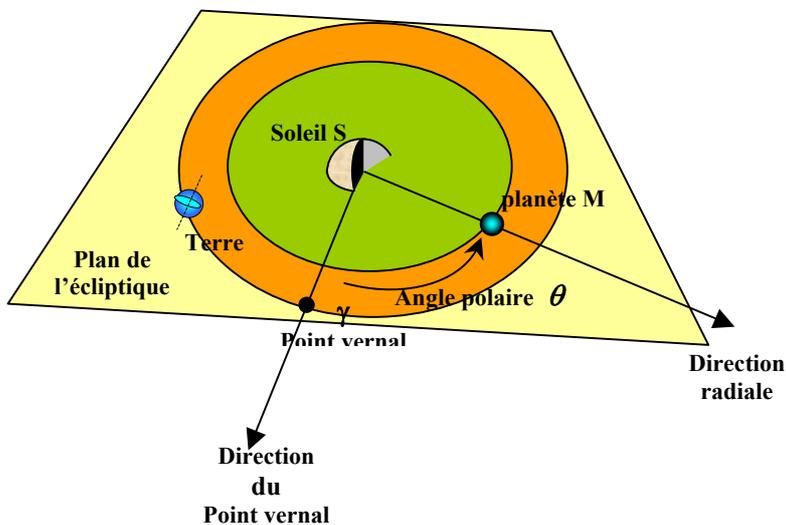


fig. 12

– Dans le deuxième cas (2), on change l'origine du repère en gardant les mêmes types de coordonnées qu'en (1).

– Dans le troisième cas (3), l'observateur local repère la planète dans le ciel, par rapport à un plan de référence qui est l'équateur céleste, par les coordonnées appelées équatoriales locales (δ , α), où δ est la déclinaison, qui est l'analogue de la latitude et α l'ascension droite, analogue à une longitude. Dans ce système de coordonnées, l'observateur est au centre d'une sphère céleste, dont l'axe polaire est celui de rotation de la Terre (le pôle nord est donc proche de l'étoile polaire).

On définit le plan équatorial de cette sphère céleste, qui coupe l'horizon astronomique en deux points W (ouest) et E (est).

Le *point vernal* γ qui appartient à l'équateur céleste (position particulière que franchit le Soleil aux équinoxes de printemps) sert d'origine pour compter l'angle α .

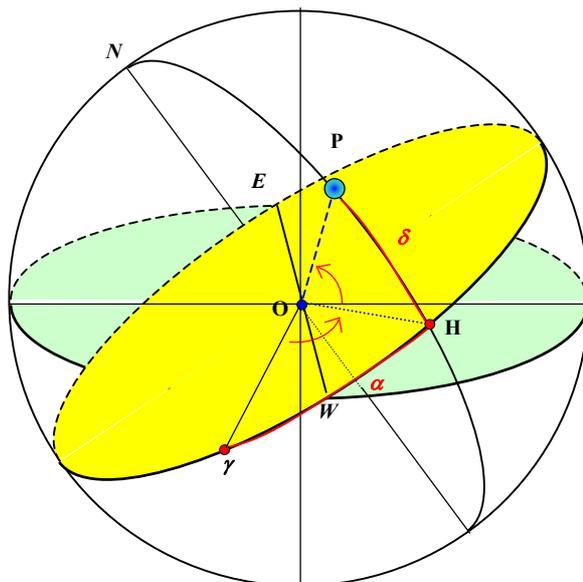


fig. 13 : L'observateur est au centre O de la sphère céleste. La position de la planète P est repérée, par rapport au plan de référence incliné (en jaune) équatorial, par la donnée des coordonnées α et δ .

Il est donc important de faire sentir que le repérage de la planète P nécessite les données de deux coordonnées angulaires. D'autre part, la distance entre la planète P et l'observateur est une donnée qui peut être obtenue lors de la consultation des éphémérides de position.

Enfin, le système de coordonnées locales fait intervenir la rotation de la Terre autour de l'axe polaire.

- En se connectant au serveur du Bureau des Longitudes, www.bdl.fr ou <http://portail.imcce.fr> il va être possible de tracer la trajectoire de la planète Mars dans des référentiels différents.

Les calculs opérés sont exprimés sous forme de fichiers, que l'on peut copier / coller afin de les enregistrer au format texte TXT dans tout tableur, traitement de texte ou le bloc-notes de WINDOWS.

Ces mêmes données sont transposables, à partir du serveur, sous forme de fichiers ASCII que certaines applications peuvent récupérer aisément.

- Deux stratégies sont possibles :

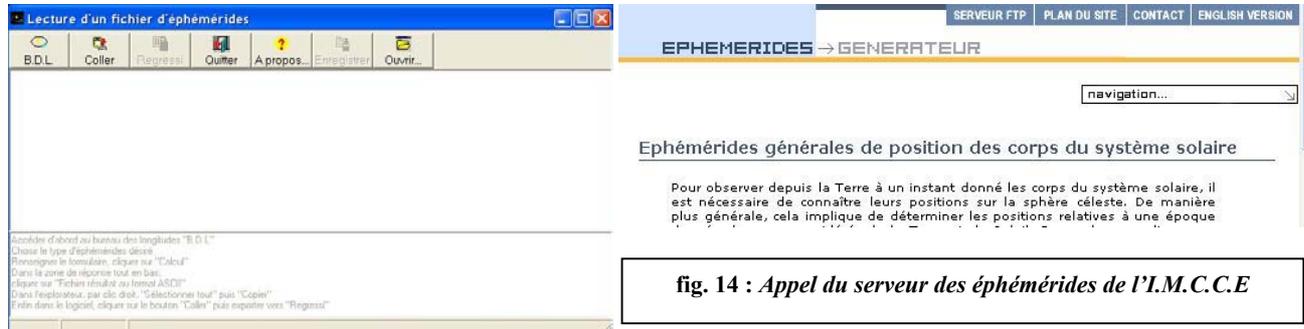
- traiter le fichier TXT enregistré avec un tableur, mais cela peut s'avérer difficile pour les élèves ;

- récupérer le fichier ASCII ou le fichier TXT enregistré pour l'envoyer vers un logiciel "dédié", chargé de la mise en forme des données. Tel est le rôle du petit logiciel EPHEMERIDES², gratuit, développé par l'auteur de REGRESSI et qui envoie directement les données traitées dans le grapheur de REGRESSI. Cette solution convient particulièrement bien aux élèves de MPI.

² <http://perso.wanadoo.fr/jean-michel.millet/>

4. 2. Trajectoire de Mars dans un référentiel héliocentrique

- Lancer le logiciel EPHEMERIDES.
- Remarquer la présence de la deuxième icône en partant de la gauche qui permet de coller des données.
- Le bouton B.D.L permet de se connecter au serveur du bureau des longitudes (site www.bdl.fr).



- Ouvrir le lien [Éphémérides générales de position des corps du système solaire](#).
 - Cocher Mars (voir **fig. 15**) ; dérouler cette page puis saisir les dates de calcul, à savoir ci-dessous la date courante mais pour les calculs ici considérés : le premier Janvier 2003 à 0 h pour l'instant initial .
- Sélectionner ensuite :
- un pas de mesure de 7 jours ;
 - un nombre de pas égal à 100 ;
 - centre du repère : héliocentre ;
 - plan de référence : écliptique ;
 - type de coordonnées : sphérique.

Formulaire d'interrogation bas de page ▾

► **Choix du corps**

Soleil Terre

▣ Planètes & Satellites naturels:

Charger une liste de corps:

ou

Mercure Vénus Mars Jupiter
 Saturne Uranus Neptune Pluton

► **Époque des calculs**

Chargez un fichier de dates...

ou

Année	Mois	Jour	Heures	Minutes	Secondes	
<input type="text" value="2005"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="28"/>	<input type="text" value="14"/>	<input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="39"/>	<input type="button" value="date courante"/> <input type="button" value="effacer"/>

► Nombre de dates : (< 5000)

► Pas d'échantillonnage :

► Format des dates :

► Format des résultats :

fig. 15 : formulaire d'interrogation

Lancer le CALCUL.

On obtient un fichier qu'il faut convertir au format A.S.C.I.I. (cliquer sur le lien qui apparaît pour opérer cette conversion : [Results file in ascii format](#)).

– Sélectionner les données de ce fichier A.S.C.I.I. par ctrl + A.

Les copier par ctrl + C.

– Les coller dans le logiciel EPHEMERIDES en cliquant sur l'icône prévue à cet effet.

– Les transférer dans REGRESSI : on observe alors immédiatement dans ce logiciel la trajectoire calculée !

Les distances sont données en U.A. ou unités astronomiques.

Remarque : on peut également copier l'ensemble des données obtenues à partir du serveur pour les copier vers un tableur, le bloc-notes, etc. et les enregistrer au format texte TXT.

On obtient alors le fichier suivant : [MarsHéliocentre.txt](#)

En examinant la structure du fichier TXT ou ASCII obtenu depuis le serveur du B.d.L., on comprend les difficultés à surmonter pour traiter les données dans EXCEL par exemple :

Theorie planetaire DE405/LE405												
Repere Moyen J2000												
Centre du repere : heliocentre												
Coordonnees ecliptiques (lambda, beta)												

		Date UTC			Long.			Lat.			Distance	
		h	m	s	o	'	''	o	'	''	ua.	
1	1	2003	0	0	0.00	201	30	33.0411	+00	52	10.2822	1.616434061
8	1	2003	0	0	0.00	204	45	59.6830	+00	46	31.2746	1.609728318
15	1	2003	0	0	0.00	208	3	6.4796	+00	40	40.2246	1.602676885
22	1	2003	0	0	0.00	211	21	59.7868	+00	34	37.8734	1.595300002
29	1	2003	0	0	0.00	214	42	45.8776	+00	28	25.0366	1.587619472
5	2	2003	0	0	0.00	218	5	30.9175	+00	22	2.6113	1.579658697
12	2	2003	0	0	0.00	221	30	20.9353	+00	15	31.5823	1.571442711
19	2	2003	0	0	0.00	224	57	21.7895	+00	8	53.0297	1.562998201
26	2	2003	0	0	0.00	228	26	39.1289	+00	2	8.1351	1.554353523
5	3	2003	0	0	0.00	231	58	18.3496	-00	4	41.8120	1.545538719
12	3	2003	0	0	0.00	235	32	24.5455	-00	11	35.4082	1.536585508
19	3	2003	0	0	0.00	239	9	2.4541	-00	18	31.1319	1.527527271
26	3	2003	0	0	0.00	242	48	16.3974	-00	25	27.3394	1.518399018
2	4	2003	0	0	0.00	246	30	10.2176	-00	32	22.2628	1.509237329

fig. 16 : fichier d'éphémérides

– Il faut, lors de l'importation de ce fichier dans EXCEL, délimiter les colonnes utiles comme cela a été décrit au § 3. 2. et éliminer celles qui sont sans intérêt ici (h, m, s et les dernières colonnes).

– Il faut condenser les dates par =DATE(C3;B3;A3) et recopier cette formule vers le bas.

– Les angles sexagésimaux doivent être mis sous forme décimale (ce que fait automatiquement le logiciel EPHEMERIDES). Ce n'est pas aussi simple qu'il y paraît, dans la mesure où certaines valeurs angulaires sont négatives (mais alors les parties minute et seconde doivent l'être également, ce qui est ici sous-entendu ; un problème inattendu apparaît car EXCEL interprète - 00 en 00.

Il faut alors faire preuve de beaucoup d'opiniâtreté pour lever ces difficultés !).

Dès le transfert des données depuis EPHEMERIDES vers REGRESSI, on visualise la trajectoire de Mars projetée dans le plan de l'écliptique, en coordonnées polaires :

De façon spectaculaire, on vérifie que la trajectoire héliocentrique de Mars est certes pratiquement circulaire, mais est excentrée par rapport à la position du Soleil !

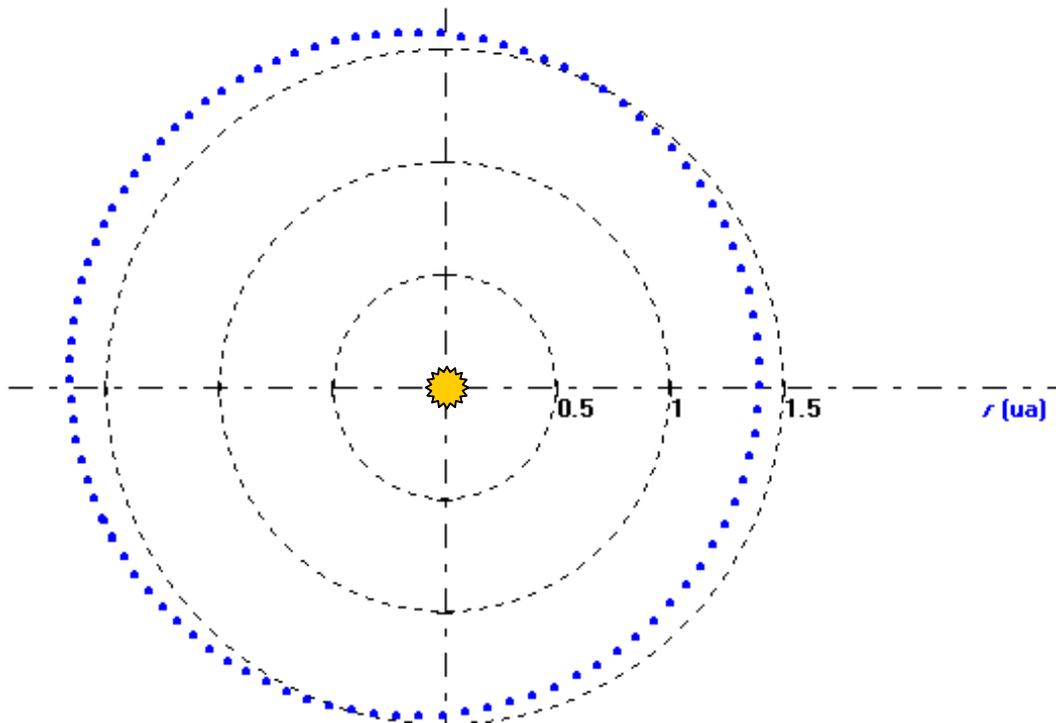


fig. 17 : Trajectoire héliocentrique de Mars.
*Les dates correspondant aux différentes positions n'ont pas été représentées (mais il est possible de le faire).
Pas : 7 j.*

4. 3. Trajectoire de Mars dans un référentiel géocentrique

On procède de même. Dans le formulaire à saisir, il faut évidemment cocher ☉ géocentre.

Le plan de référence peut être équatorial ou celui de l'écliptique (choisi ici).

On obtient le fichier suivant disponible sur le serveur : [MarsGéocentre.txt](#) que l'on copie dans EPHEMERIDES et renvoie vers REGRESSI. Dans ce cas, on peut donner plusieurs représentations graphiques :

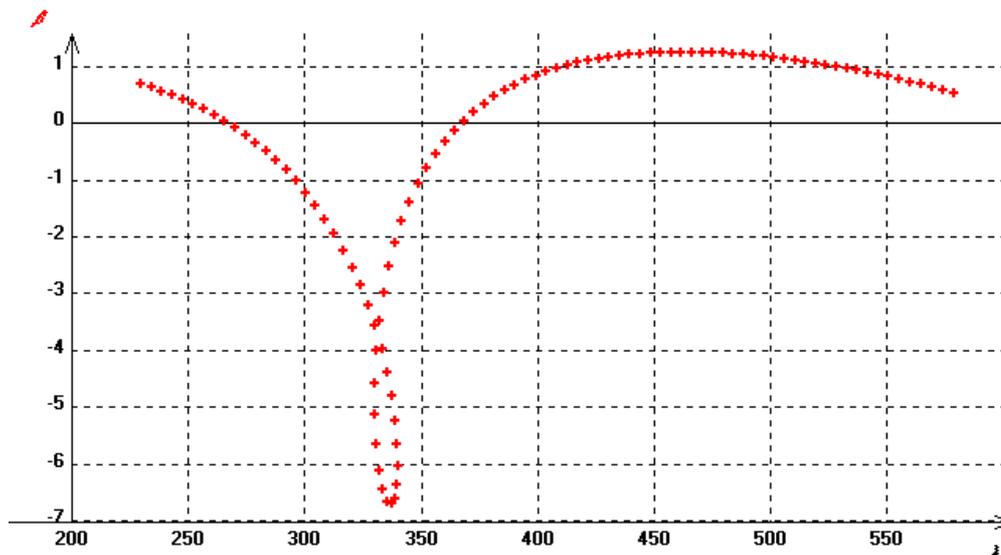


fig. 18 : Trajectoire géocentrique de Mars : latitude écliptique β exprimée en fonction de la longitude λ . Ici, par un test conditionnel, on ajoute 360° à la valeur de la longitude dès que celle-ci dépasse 360° (sinon, elle repart à zéro, ce qui provoque alors une cassure dans la trajectoire dessinée). Pas : 7 j.

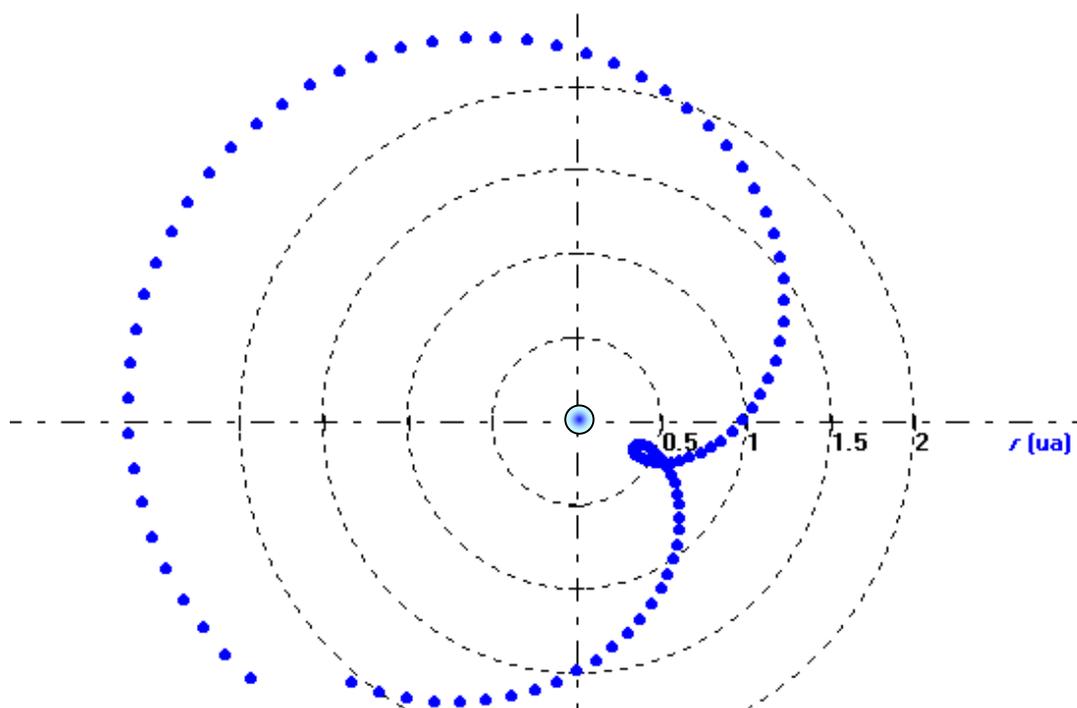


fig. 19 : Trajectoire géocentrique de Mars dans le plan de l'écliptique. Les dates des différentes positions n'ont pas été indiquées mais on pourrait constater que la Terre a été remarquablement proche de Mars en fin d'été 2003 (conjonction rare des deux planètes). Pas : 7 j.

De façon très évocatrice, on met donc en évidence la rétrogradation de Mars pour un observateur lié à un référentiel géocentrique.

4. 4. Trajectoire de Mars dans un référentiel local (Bordeaux)

Revenir dans le menu des Éphémérides de position.

Maintenant, il faut modifier certains des paramétrages précédemment effectués. Il s'agit de se placer dans le référentiel lié ici à Bordeaux-Floirac (latitude $44^{\circ} 50' 7''$ N et longitude $0^{\circ} 31' 39''$ W ; altitude : 4 m) ; cet observatoire a un code, accessible dans une table donnée sur le site même, qu'il faut saisir : code 999.

Le centre du repère est : topocentre ; le plan de référence : équateur ; le type de coordonnées : sphériques (d'autres choix sont possibles).

Voir le fichier obtenu sur le serveur : [MarsLocal.txt](#)

► Centre du repère

héliocentre
 géocentre
 Observatoire UAI code?
 Autres lieux:

► Plan de référence

équateur
 écliptique

► Type de coordonnées

sphériques
 rectangulaires
 dédiées à l'observation
 locales
 horaires
 dédiées à l'observation OA

fig. 20 : choix de l'observatoire

Les coordonnées pertinentes sont maintenant la déclinaison $DEC \delta$ (latitude) et l'ascension droite $RA \alpha$ (longitude), repérées par rapport au plan équatorial céleste.

Voilà ce que donnerait une observation effectuée pendant les 700 jours de la requête, l'observateur étant au "centre" de la sphère céleste.

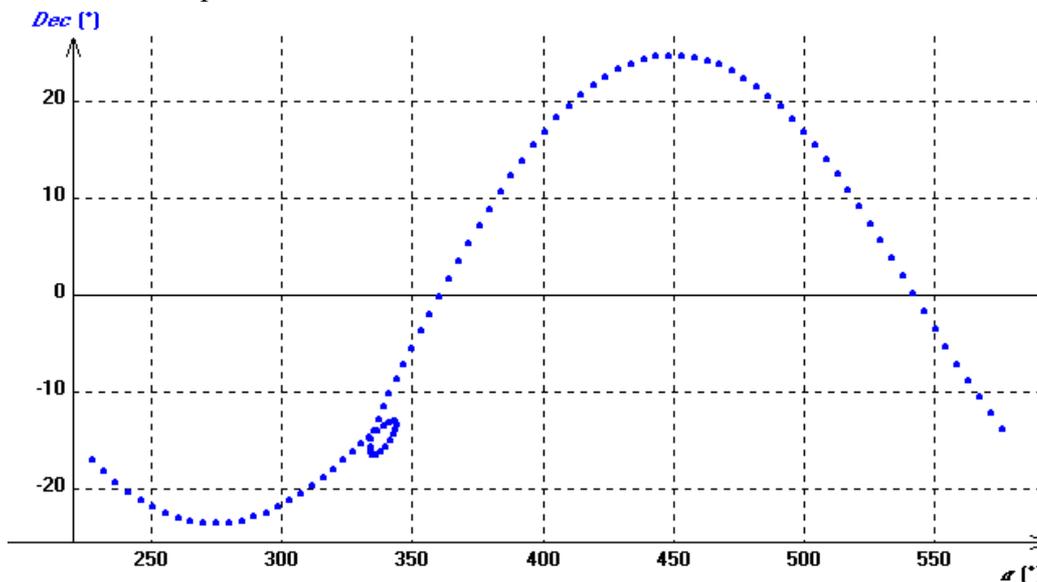


fig. 21 : Trajectoire topocentrique de Mars : déclinaison $DEC \delta$ exprimée en fonction de l'ascension droite α . Ici, par un test conditionnel, on ajoute 360° à la valeur de la longitude dès que celle-ci dépasse 360° (sinon, elle repart à zéro, ce qui provoque alors une cassure dans la trajectoire dessinée). Pas : 7 j.

On peut “zoomer” la courbe obtenue et indiquer les dates d’observation (qui sont automatiquement insérées dans REGRESSI) :

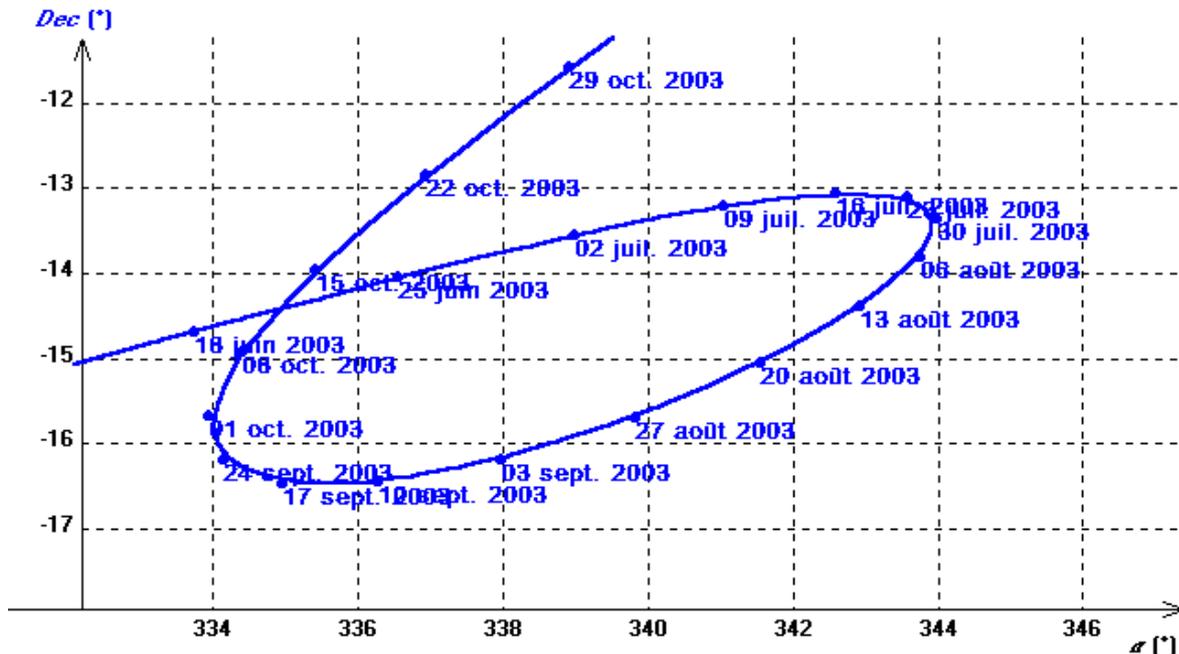


fig. 22 : Rétrogradation de Mars telle qu’elle a été observée dans le ciel pour un observateur basé à Bordeaux, de Juin 2003 à Octobre 2003.

4. 5. En conclusion

La notion de relativité du mouvement est ici illustrée de façon spectaculaire. Les compétences mises en œuvre sont conformes à celles que l’on doit déployer en M.P.I. : informations obtenues sur INTERNET, mise en forme de fichiers, traitement de données. Ici, l’utilisation combinée des logiciels EPHEMERIDES + REGRESSI permet de simplifier considérablement le travail à effectuer. Le passage par un tableur classique est plus délicat : il peut être évoqué, ne serait-ce que pour utiliser quelques fonctions particulières d’un tableur, comme DATE ou TEMPS.

Ce type d’activité est très bien accueilli par les élèves de M.P.I. et contribue à la formation de “leur esprit scientifique”, selon les mots de G. BACHELARD.

Voir fichier récapitulatif disponible sur le serveur dans REGRESSI :

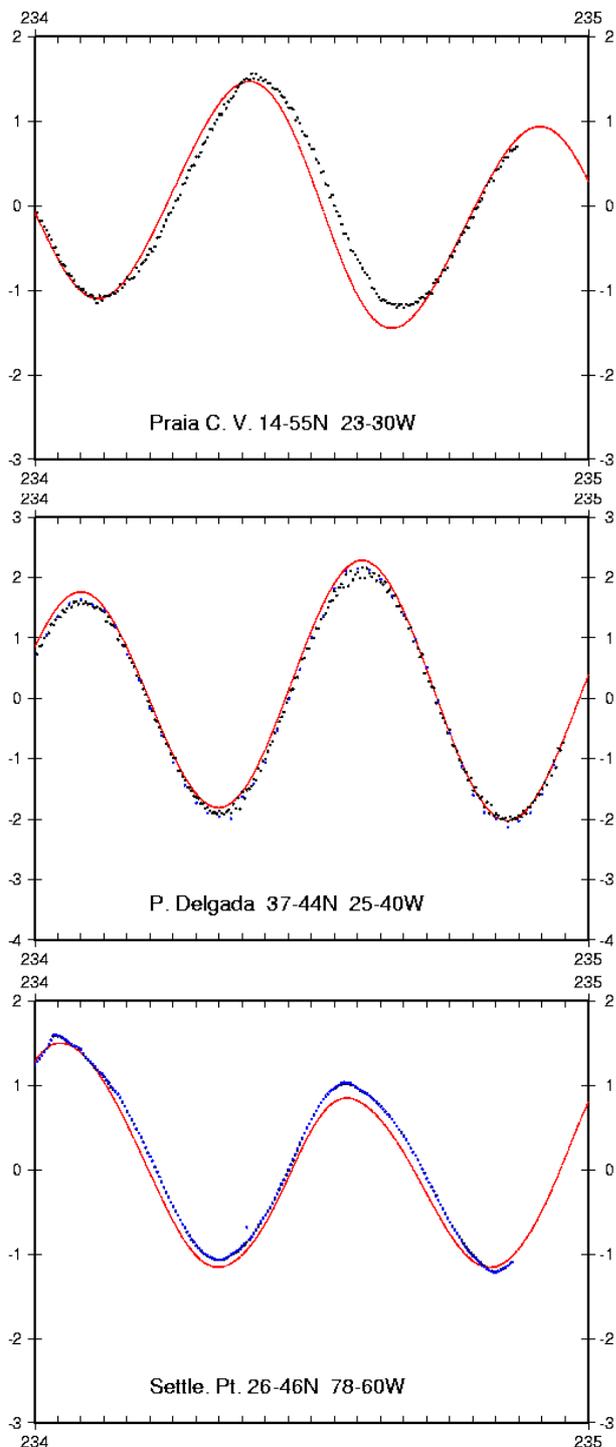
[03-04TrajectoiresMars.rw3](#)

5. AUTRES EXEMPLES

5. 1. Marées

Les services océanographiques de plusieurs pays ont de nombreuses ressources qui permettent de relever le niveau marin en différents lieux océaniques. Les fichiers de données sont cependant difficiles à dépouiller, à l'exception de ceux émanant du service hydrographique du Canada.

L'Université d'Hawaï donne des enregistrements en temps réel pour un ensemble de stations maritimes qui appartiennent à l'un des réseaux mondiaux de surveillance. En voici des exemples.



*Station de Praia
aux îles du Cap Vert
(non loin de Dakar au
Sénégal)
Lat. : 14,55 ° N
Long. : 23,30 ° O*

*Station de Ponta Delgada
aux îles Açores

Lat. : 37,44 ° N
Long. : 25,40 ° O*

*Station de Settlement Point
aux îles Bahamas
(au large de la Floride)

Lat. : 26,46 ° N
Long. : 78,60 ° O*

fig. 23 : Enregistrements des hauteurs de l'Océan Atlantique obtenus entre le 22 et 23 août 2002.
En traits pleins, ce sont les courbes calculées, en pointillés, les mesures effectuées par les marégraphes.
Le niveau zéro est fixé par une convention internationale.
Horizontalement, est indiquée l'heure locale (1 heure par division) et verticalement est indiquée la hauteur de l'océan en pieds (1 pied = 30,48 cm).

Ces enregistrements, qu'il est possible de bâtir à partir des données disponibles sur le site de l'Université d'Hawaï, illustrent un des points du programme de seconde : "Utilisation d'un phénomène périodique".

Repérer les marées hautes et basses, observer les décalages horaires des ondes de marées d'une station à une autre d'un même océan, sont des activités motivantes, y compris en classe de seconde où l'on initie l'élève à chercher une information scientifique à partir d'une représentation graphique.

Les instruments de mesures appropriés, ou marégraphes, reposent sur des principes très variés. Le plus ancien, à flotteur et cylindre enregistreur, est un instrument purement *analogique*.

Un instrument très intéressant pour les élèves de M.P.I. est le marégraphe à *capteur de pression*. Reposant sur le fond marin, il mesure la pression P qu'exerce sur lui une hauteur H d'eau de mer. Si le niveau H varie, il en sera de même pour P .

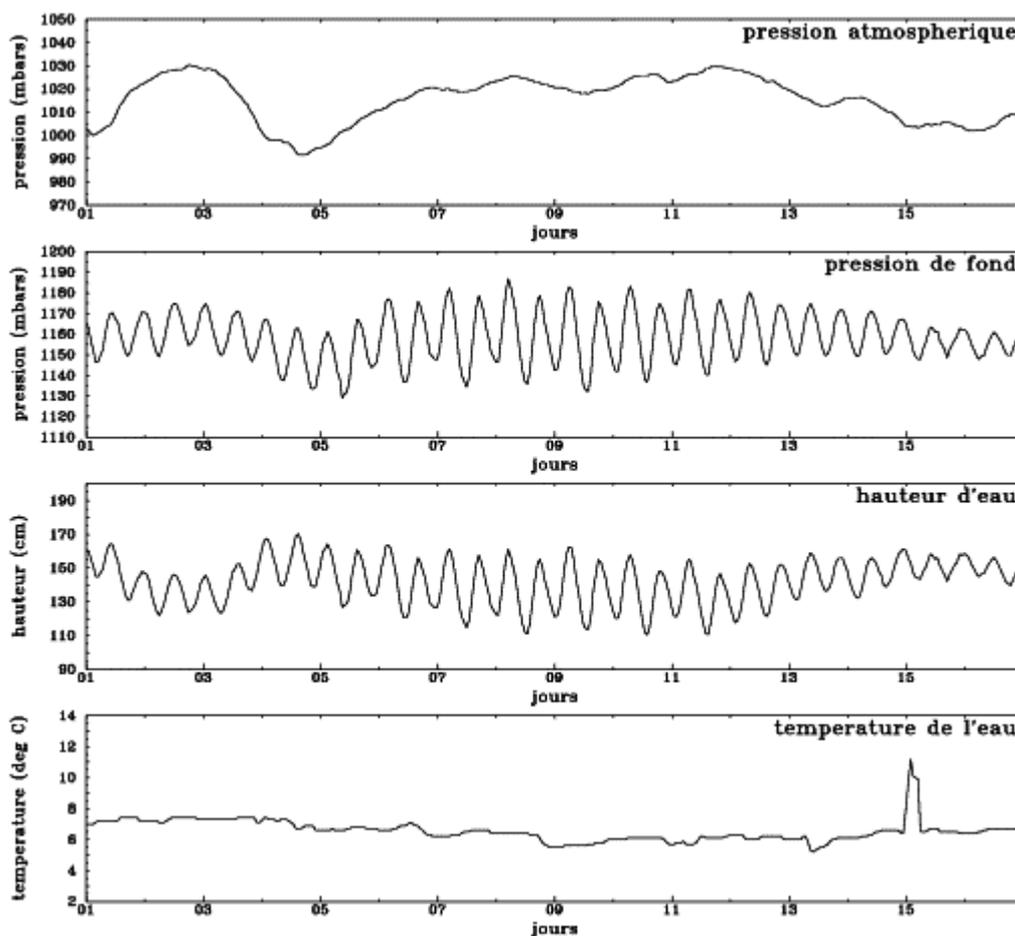


fig. 24 : Marégraphe à capteur de pression et sa station de mesure immergée au large de Brest.

La corrélation entre les variations de pression et celles de hauteur d'eau apparaissent très clairement sur cet enregistrement.

Voilà donc un exemple qui peut apporter un lien supplémentaire avec les thèmes d'étude des M.P.I. et ceux du programme de sciences physiques de seconde : "Capteur de pression" et "Notion de pression" et ceux du programme de S.V.T. : "Mouvements atmosphériques et océaniques".

Quelques liens utiles :

www.shom.fr : service hydrographique et océanographique de la marine.

www.bodc.ac.uk : british oceanographic data centre.

www.lau.chs-shc.dfo-mpo.gc.ca : service hydrographique du Canada.

<http://www.soest.hawaii.edu/> : université de Hawaï (lien University of Hawaii Sea Level Center).

5. 2. Autres exemples

- Les enregistrements de sismographes sont très nombreux sur INTERNET et sont parfois rassemblés dans des fichiers de données qu'il est possible de dépouiller (il est alors recommandé d'utiliser des logiciels spécifiques pour charger ces données).
- Il est possible de constituer une station météo qui rassemble un ensemble de capteurs étudiés en M.P.I. Les établissements dotés d'une telle station partagent leurs données sur le réseau INTERNET. L'académie de Lille est pionnière en la matière : <http://outils.mpi.free.fr>.
- La liste n'est pas exhaustive et laisse place à l'imagination de chacun !

6. CONCLUSION

Il nous paraît important d'élargir l'horizon scientifique des élèves de M.P.I. en prenant appui sur les prérequis développés dans l'enseignement de sciences physiques de la classe de seconde.

Loin de dénaturer l'esprit des programmes de M.P.I., ces activités que nous avons citées peuvent être associées à des études expérimentales de dispositifs qui sont, pour beaucoup, à développer.

Ainsi :

- *La mesure de la distance Terre-Lune* peut s'accompagner de l'étude du principe de fonctionnement d'un télémètre, quitte à le transposer dans le domaine des ultrasons (les capteurs CBL utilisés par TEXAS INSTRUMENTS ont déjà été abondamment décrits) ; et nous ne désespérons pas qu'à l'avenir nous pourrions proposer à nos élèves de véritables petits télémètres-pointeurs à diodes lasers qui existent déjà sur le marché !
- *L'étude de spectres d'étoiles* nécessite la compréhension des méthodes spectroscopiques. Réaliser un spectre et l'analyser avec un photocapteur (photodiode, cellule C.C.D.) est à la portée des élèves de M.P.I.
- *Le calcul et le tracé de la trajectoire de planètes* à partir d'un serveur d'EPHEMERIDES sont une bonne introduction à des problématiques aux facettes pluridisciplinaires propres à l'astronomie (histoire, SVT, mathématiques, physique).
- *Le phénomène des marées* se prête à nombreuses études interdisciplinaires. On peut poser la question de la mesure de la pression en un point d'un fluide au repos et de la vérification de quelques lois d'hydrostatique. La surveillance de la hauteur des océans met en œuvre des méthodes sophistiquées qui allient repérages par G.P.S, altimétrie par ondes hertziennes radar, étude des fonds marins par sonars.
- *La constitution d'une station météo* est un exemple de projet très abouti. On pourrait y associer l'étude de capteurs permettant de détecter un polluant.

Enfin, dans tous ces exemples, l'élève est amené à traiter des données sur un tableur, savoir-faire indispensable à un élève de M.P.I. : autant faire en sorte que ces données aient un contenu scientifique !

N'oublions pas enfin que les Olympiades de la Physique sont à l'origine d'un foisonnement d'idées qui peuvent inspirer les professeurs et les élèves de M.P.I.

De nombreux articles sur le Bulletin de l'Union des professeurs de Physique et de Chimie décrivent les meilleurs projets qui ont été développés à l'occasion de ce concours.

Bibliographie complémentaire non exhaustive :

- **Articles BUP**

Astronomie et Internet (GUY BOUYRIE, n° 840 p 79).

Exploitation de données par un tableur (GUY BOUYRIE, n° 848 p 1565).

Et pourtant ils tournent ou les satellites artificiels (PIERRE LE FUR, n° 860 p 79).

Référentiels et mouvements de satellites (PIERRE LE FUR, n° 869 p 1705).

- **Documents du GRISP** sur l'utilisation des éphémérides astronomiques (mis en ligne sur le site www.ac-creteil.fr/physique).

- **Sites dignes d'intérêt autres que ceux cités dans l'article**

Notre collègue de Pontarlier, habitué des Olympiades de Physique, Mr JUSSIAUX, a, de façon indépendante à cet article, exploité lui aussi les données du CERGA.

Voir son site très riche : www.perso.wanadoo.fr/jussiaux.software/index.html.

Remerciements :

Je tiens à remercier Mr J. BERTHIER, responsable du serveur des éphémérides du BdL, toujours à l'écoute de nos demandes, ainsi que Mr J.M. MILLET, créateur infatigable des logiciels utilisés dans cet article : Ephemerides et Regressi.

Mots clés pour la base de données :

1. M.P.I (Mesures physiques et Informatique)
2. Traitements de données
3. Tableur
4. Spectre d'une étoile
5. Distance Terre-Lune
6. Ephemerides
7. Mars
8. Marées

Guy Bouyrie

gbouyrie@modulonet.fr