

Lycée d'Altitude 05100 Briançon

Partenaires

Projet « La Collégiale des Lycées d'Altitude »

Pendule de Foucault Théorie

Pourquoi Patrick Favrichon ne croit pas que la rotation du pendule de Foucault est due aux accélérations de Coriolis ?

Réponses: (c'est la bonne réponse)

- 1) Parce que c'est un emmendeur.
- 2) Parce que c'est un comploteur.
- 3) Parce qu'il est nul en mécanique et qu'il se prend pour un dieu.
- 4) Parce qu'au Pôle Nord (ou au Pôle Sud) le pendule n'est pas "soumis" à une vitesse d'entraînement (par la Terre) et de ce fait l'accélération de Coriolis est nulle. Pourtant le plan d'oscillation du pendule tourne par rapport à la Terre sans doute à cause (ou grâce) à ces fameuses accélérations.

Raisonnement:

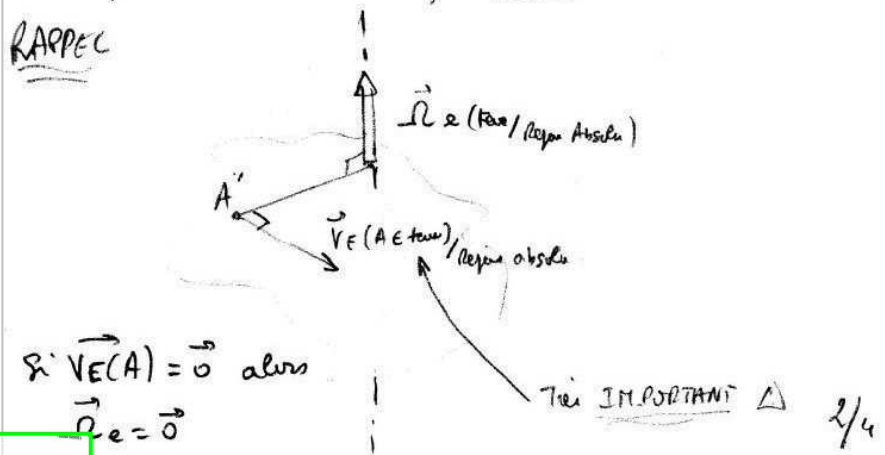
On nous dit que la rotation du plan d'oscillation du pendule est due à "Coriolis" et ce quelque soit la position du pendule sur la Terre.

Les accélérations de Coriolis "apparaissent" dans la théorie de la cinématique du SOLIDE.

$$\vec{a}_c = 2 \vec{\Omega}_e \wedge \vec{v}_r \quad (a)$$

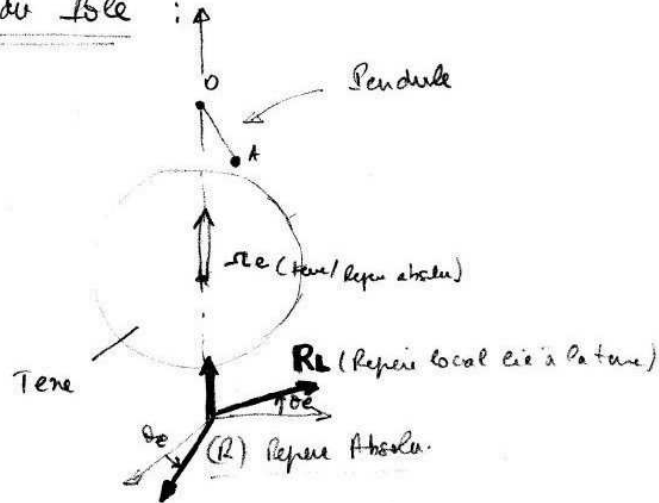
Pour que l'accélération de Coriolis "apparaisse", il faut qu'il y ait deux "composantes" (voir la formule mathématique (a)) $\vec{\Omega}_e$ = vecteur rotation instantané d'ENTRAÎNEMENT et $\vec{v}_r$ = vitesse relative de déplacement dans le repère local.

RAPPEL



Théorie

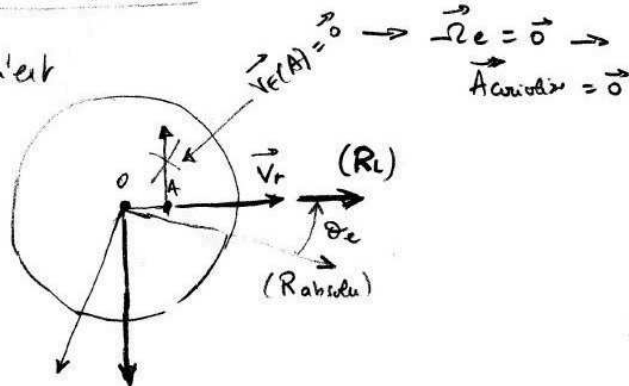
CAS du Pôle :



⚠ Le point A n'est pas en liaison DIRECTE avec la terre mais tenu par le fil du pendule dont une des extrémités est placée sur l'axe de rotation de la terre / Repère Absolu. || Le n'est pas le fil qui va pouvoir IMPOSER $\vec{V}_E(A)$!!!

Vue de dessus (de la terre) :

Le point A n'est pas soumis à $\vec{r}_e$!



3/4

Théorie

La terre n'entraîne pas le ~~pendule~~ ^{pendule} dans son mouvement car le pendule (point A) n'est pas en contact avec la terre !

Donc le pendule terre/terre dans lequel il y a pas d'accélération de Coriolis !

En fait, si le pendule était soumis à l'accélération de Coriolis, le plan d'oscillation du pendule resterait fixe par rapport à la terre car ce sont ces mêmes accélérations qui feraient tourner le pendule dans le repère Absolu !

Conclusion : le pendule de Foucault tourne au pôle (/ terre) justement parce qu'il n'est pas soumis aux accélérations de Coriolis.

CQFD.

4/4

////

mercredi 17 février 2021

17/02/2021

patrick_favrichon

yves_cordier

stephane_ferraris

Bonjour Patrick,

merci pour ton retour.

Je suis admiratif de la rédaction de ton raisonnement.

Je vais tenter de l'assimiler.

Avec les élèves, pour le moment, au niveau explication, nous utilisons le PIN (Principe d'inertie de Newton) comme tu me l'as recommandé par téléphone.

Bien à toi, Denis

PS : même Andrée s'y met ! Elle m'a conseillé de remplacer « tout pendule **lancé** sans vitesse oscille dans un plan fixe » par « tout pendule **lâché** sans vitesse oscille dans un plan fixe »

////

De : "Yves CORDIER"

A : denis.vialette@laposte.net

Envoyé: mercredi 17 Février 2021 16:58

Objet : Re: L'écho du projet HdA à la Collégiale n°009 : Réunion avec les guides. //// PIN

juste un petit lien intéressant : <https://www.youtube.com/watch?v=YhXLxc1hzxM>

Yves

////

Théorie

F

18/02/2021

/////
De : "patrick favrichon"
A : "denis.vialette" , [yves_cordier](#)
Envoyé: jeudi 18 Février 2021 08:59
Objet : Re: L'écho du projet HdA à la Collégiale n°009 : Réunion avec les guides.

Bonjour à tous,
Je viens, par ce mail, vous donner la réponse à la question posée dans mon mail précédent.
Même si cela n'est pas très glorieux pour moi, la bonne réponse est la réponse numéro 3, à savoir : 3° Parce qu'il est nul en mécanique et qu'il se prend pour un Dieu.

Pour essayer de me défendre, je dois dire que j'ai étudié la mécanique GÉNÉRALE de Newton dans mes études (lointaines !) mais que pendant toute ma carrière j'ai appliqué cette théorie uniquement aux SOLIDES INDÉFORMABLES.
Le pendule de Foucault oscille toujours dans le même plan par rapport à un repère galiléen (absolu).
Celui-ci ne subit pas d'accélération absolue qui l'obligerait à dévier de son plan d'oscillation d'origine.
Ici tout va encore bien sur ce que j'ai dit, mais j'en ai déduit un peu trop vite que l'accélération de Coriolis était de ce fait nulle.
Le modèle de Newton nous dit : (la somme suivante est vectorielle)

Accélération absolue = Accélération d'entraînement + Accélération RELATIVE + Accélération de Coriolis

Accélération absolue = 0
Accélération d'entraînement = 0 (au moins la tangentielle et l'autre est incluse dans g)
donc : Accélération RELATIVE = - Accélération de Coriolis

Dans le repère local le pendule subit une accélération relative correspondant exactement à l'opposé de l'accélération de Coriolis.
J'aurais dû réfléchir avant de parler !

Amitiés.
Patrick

////

Théorie

F

18/02/2021

/////
De : "patrick favrichon"
A : "denis.vialette" , [yves_cordier](#)
Envoyé: jeudi 18 Février 2021 20:27
Objet : Re: L'écho du projet HdA à la Collégiale n°009 : Réunion avec les guides.

Re-bonjour à tous !

Il est faux de dire que le plan d'oscillation du pendule reste fixe (ou en translation) dans le repère galiléen.
La question qui me taraudait encore était de savoir si la gravité a un effet sur la direction du plan d'oscillation.
Et c'est le cas ! Encore malheureusement pour moi.

Toutefois je me permets encore de risquer cette affirmation. L'oscillation de départ du pendule placé à l'équateur dans une direction orientée sud-ouest / nord-est m'a convaincu que lors de la rotation de la terre le plan d'oscillation du pendule ne peut pas rester parallèle au plan d'oscillation d'origine.

De ce fait, des forces agissent afin de modifier la trajectoire du pendule (rotation) dans le repère galiléen. Et la seule force qui varie en direction lors de la rotation de la terre est l'attraction terrestre (et par conséquent l'action du fil).

Le plan d'oscillation tourne par rapport au plan d'oscillation d'origine autour d'un axe horizontal placé dans le repère local et qui coupe l'axe de rotation de la terre.

Sa fréquence de rotation vaut : Fréquence de rotation de la terre multiplié par le cosinus de la latitude.

Cette rotation ne change en rien la mesure de l'angle de rotation du plan d'oscillation du pendule autour de l'axe vertical du repère local (car ce dernier est perpendiculaire au premier).

Il s'avère compliqué d'expliquer à tout un chacun que le plan d'oscillation de départ qui se met à tourner est un plan de référence pour la mesure !

Toutefois c'est le cas.

Comme vous pouvez le constater, je suis à donf sur le sujet ! J'avance doucement mais sûrement ! Merci pour ce casse-tête, c'est très stimulant intellectuellement !

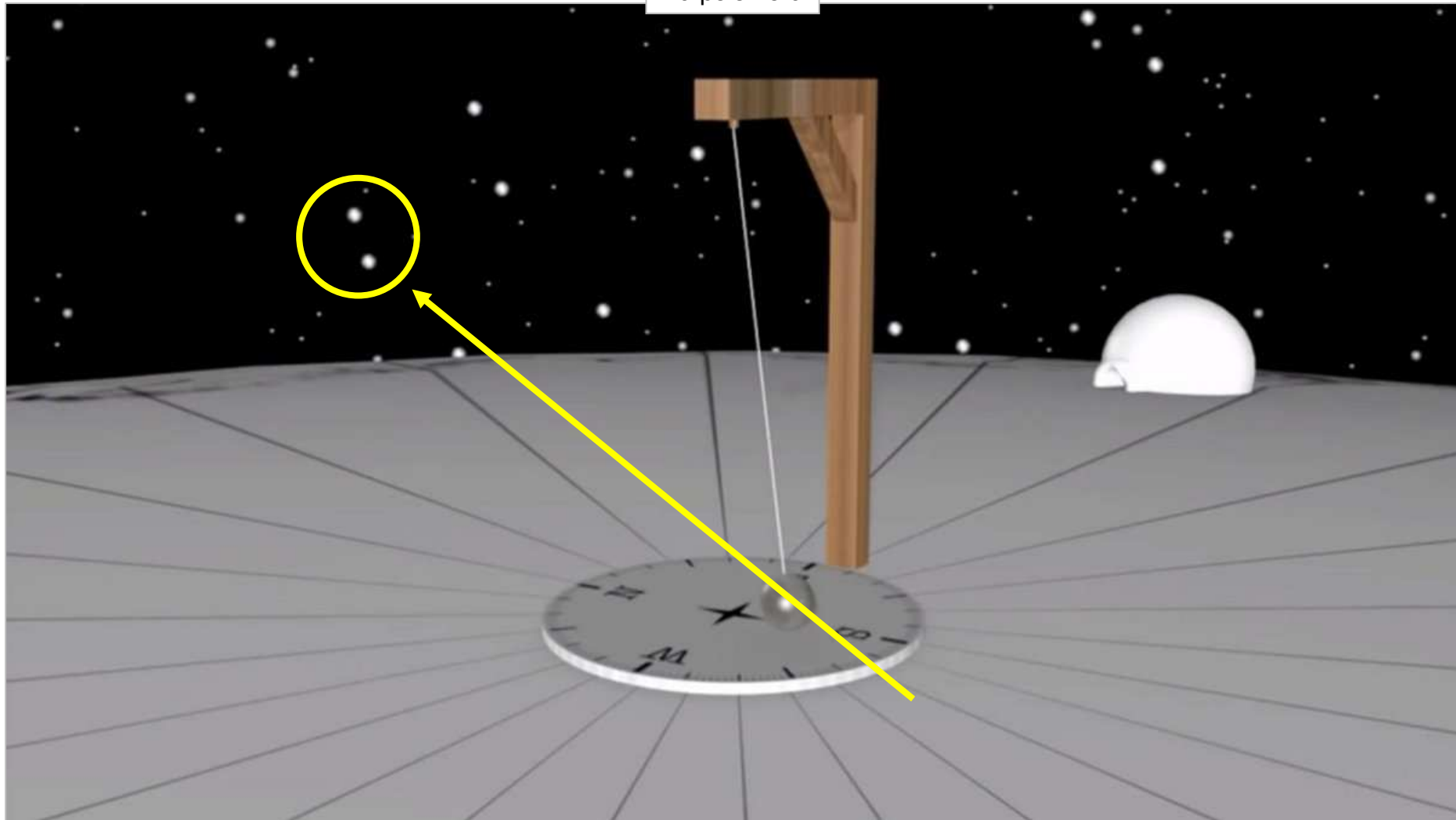
Amitiés Patrick

////

Théorie

F

Au pôle nord

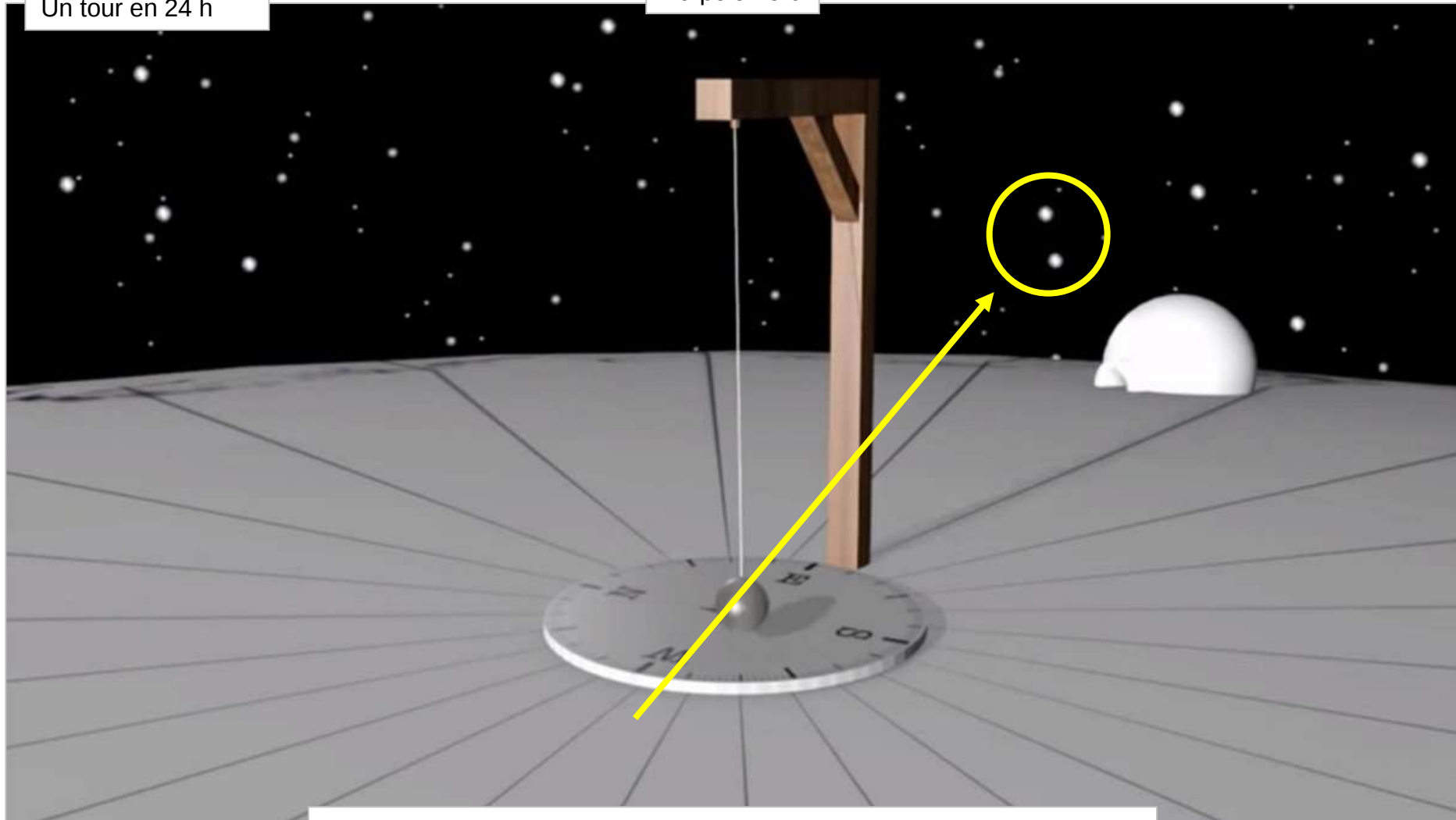


Le pendule est lâché vers ces deux étoiles.

Latitude : 90°
15° par heure
360° par 24 heures
Un tour en 24 h

18/02/2021

Au pôle nord

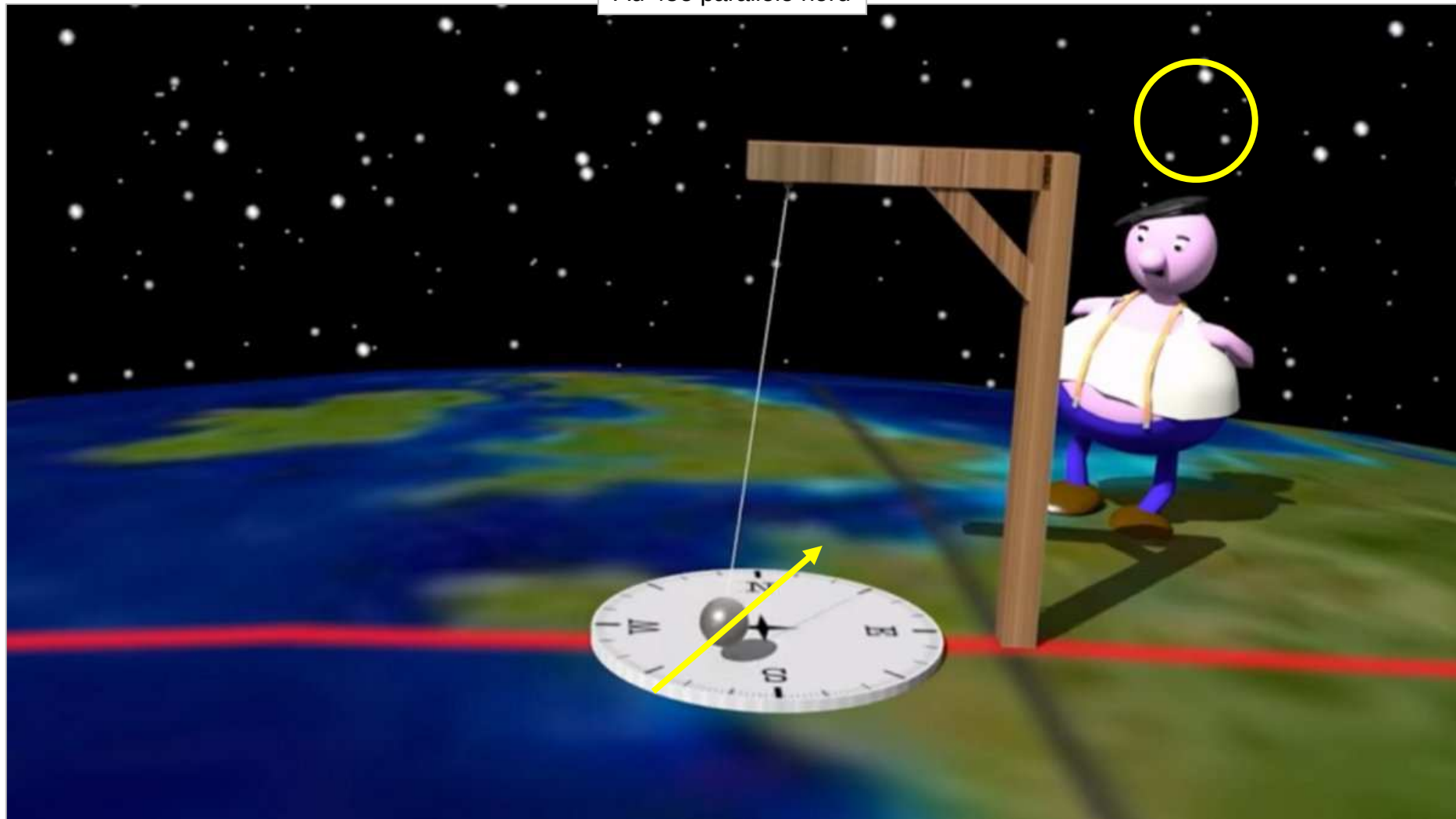


Le plan d'oscillation du pendule suit ces deux étoiles dans le sens horaire.

Le plan d'oscillation du pendule fait un tour en 24 heures * !

* En fait : 23 h 56 min 04 s...

Au 45e parallèle nord

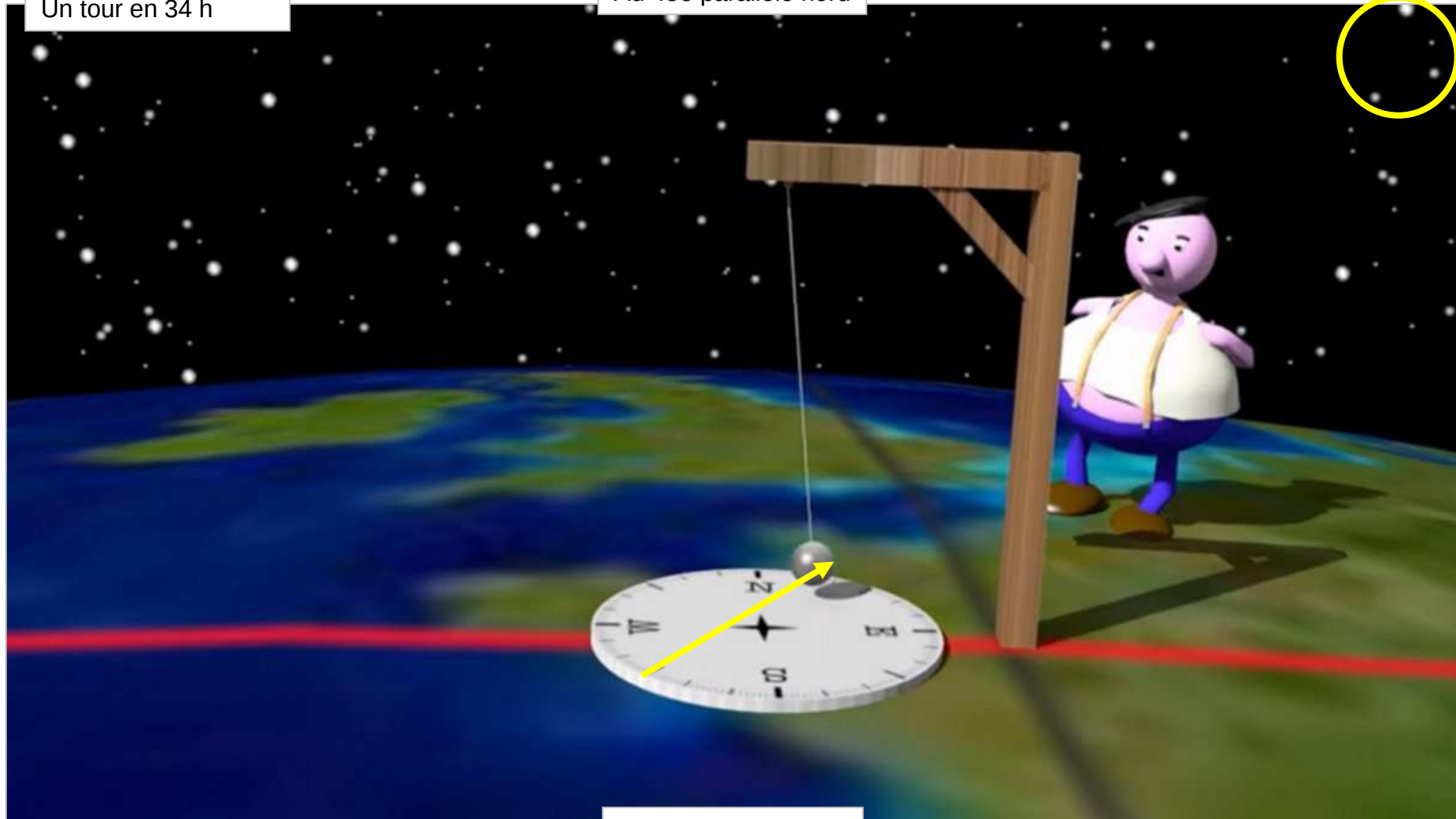


Le pendule est lâché vers ces trois étoiles.

Latitude : 45°
10,59° par heure
254,1° par 24 heures
Un tour en 34 h

18/02/2021

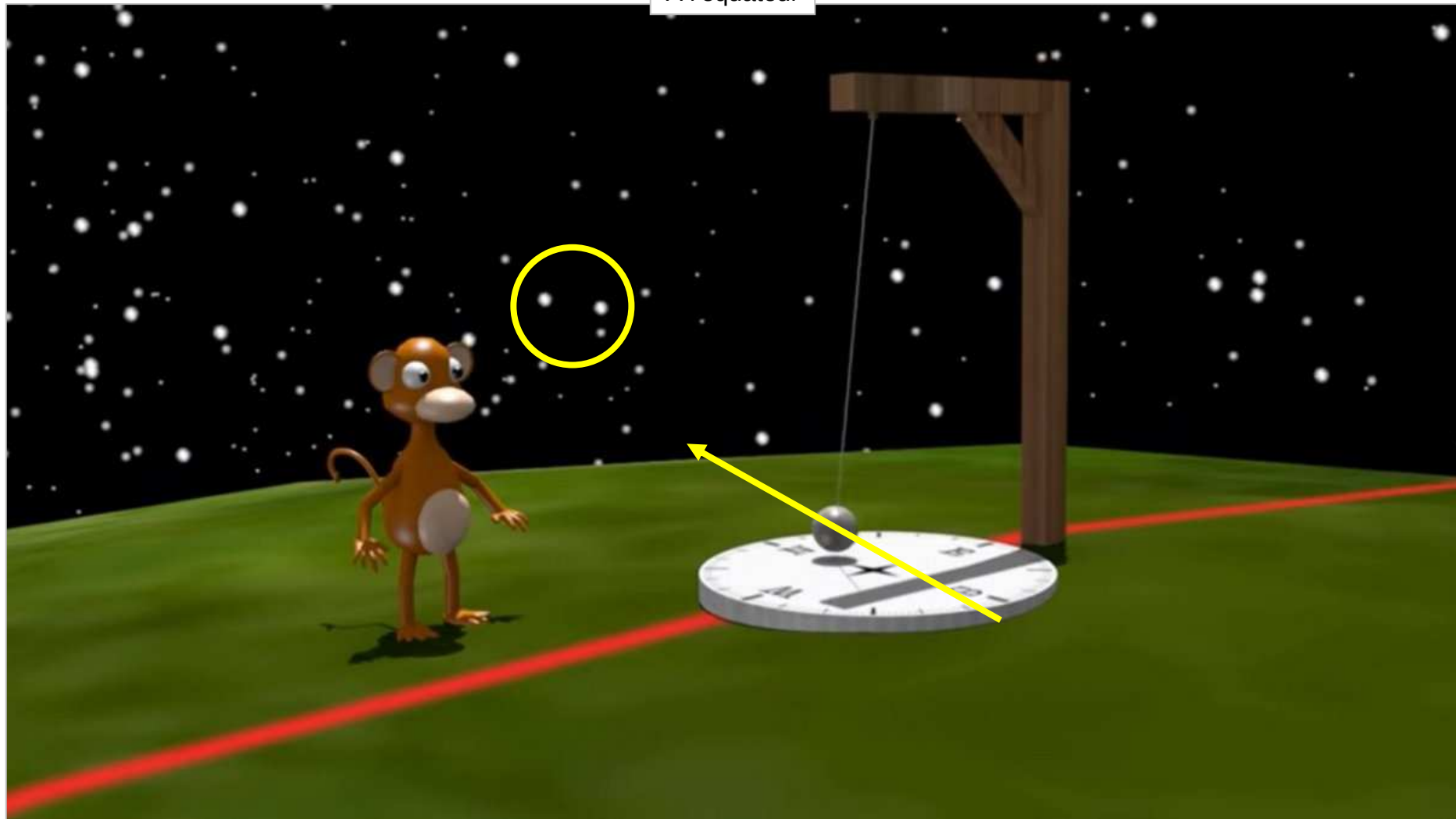
Au 45e parallèle nord



Dans le sens horaire

Le plan d'oscillation du pendule fait un tour en... 34 heures !

A l'équateur

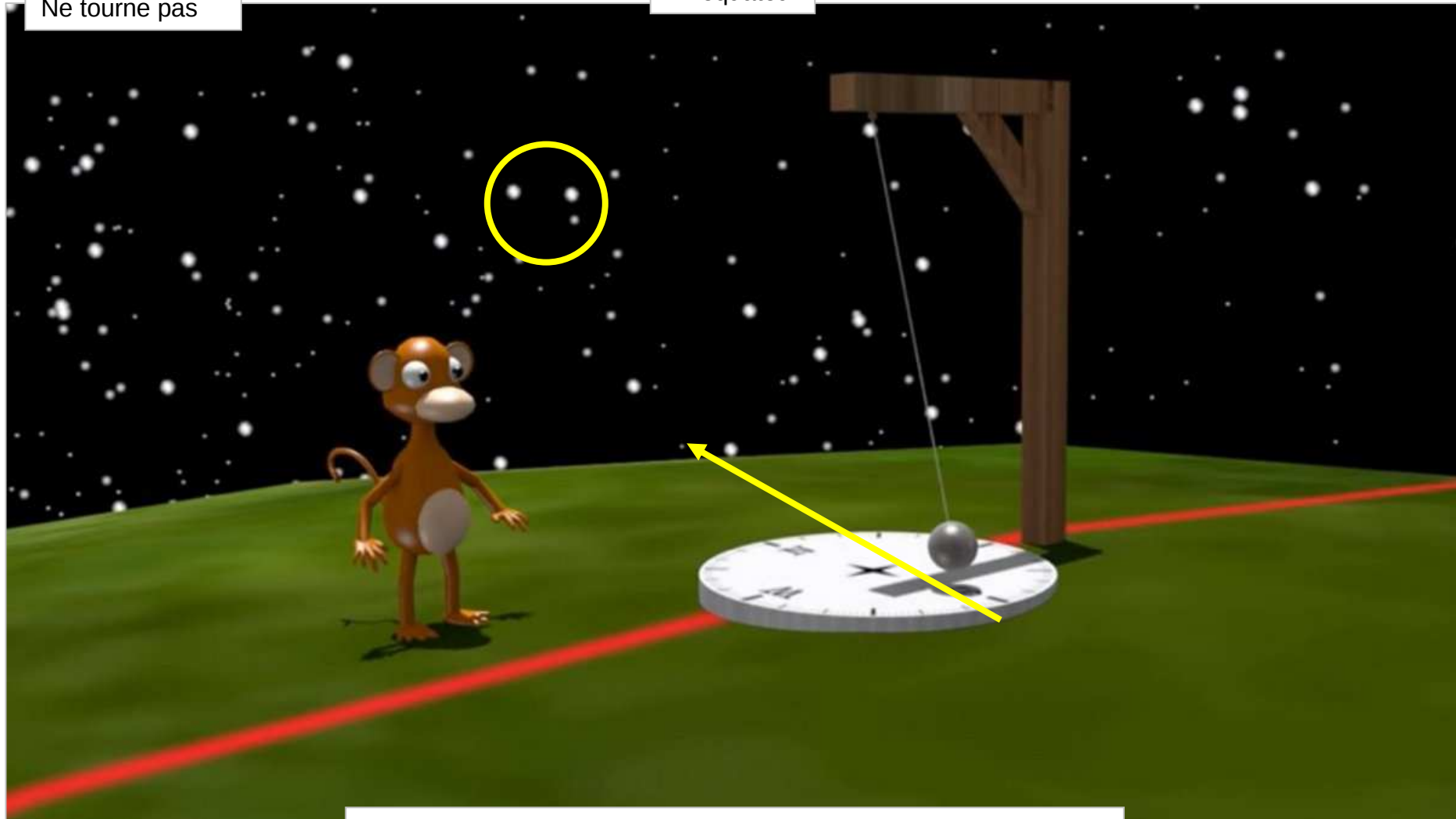


Le pendule est lâché vers ces trois étoiles.

Latitude : 0°
 0° par heure
 0° par 24 heures
Ne tourne pas

18/02/2021

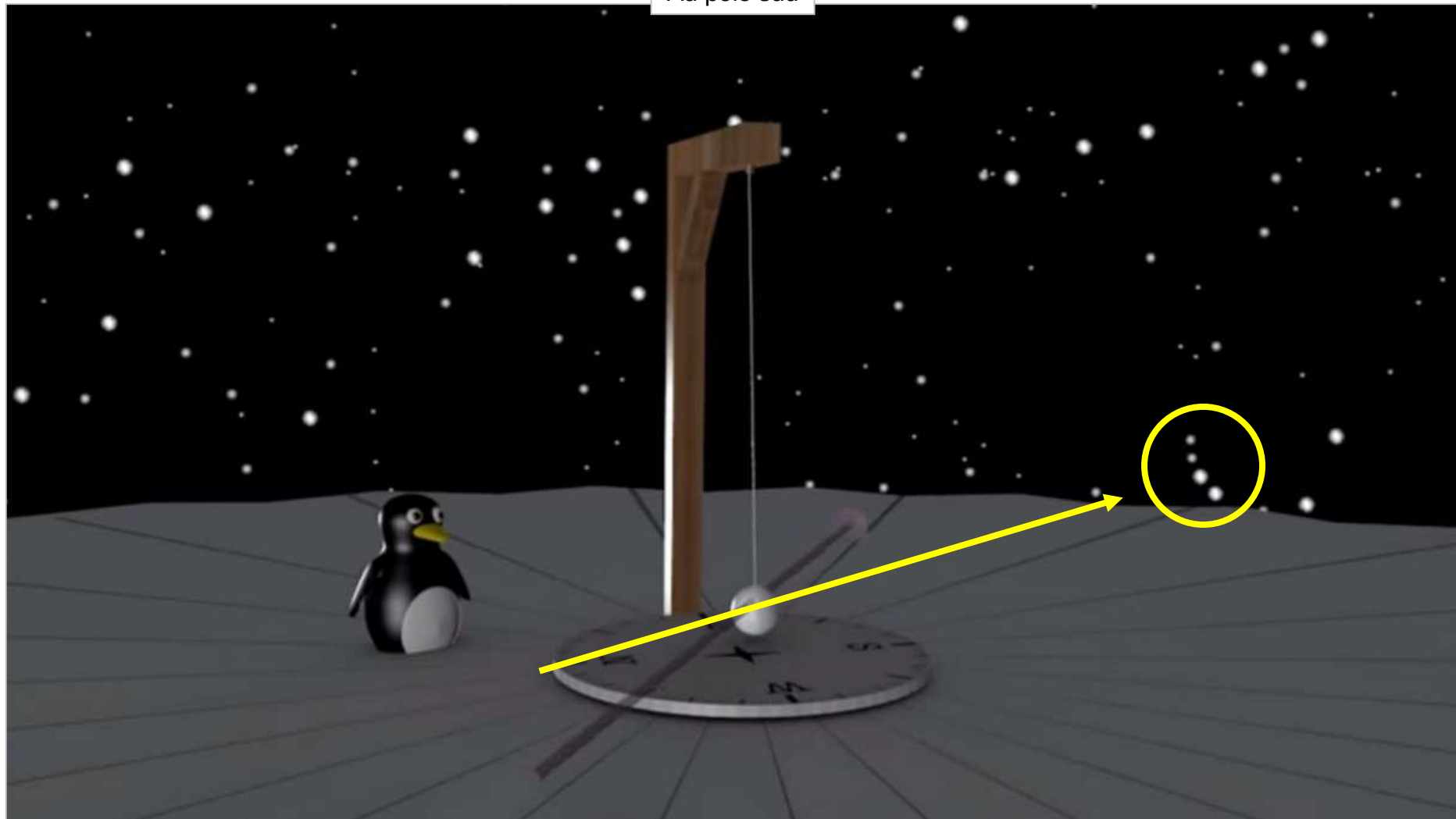
A l'équateur



Le plan d'oscillation du pendule **est fixe** par rapport à l'observateur !

Le plan d'oscillation du pendule ne tourne pas !

Au pôle sud

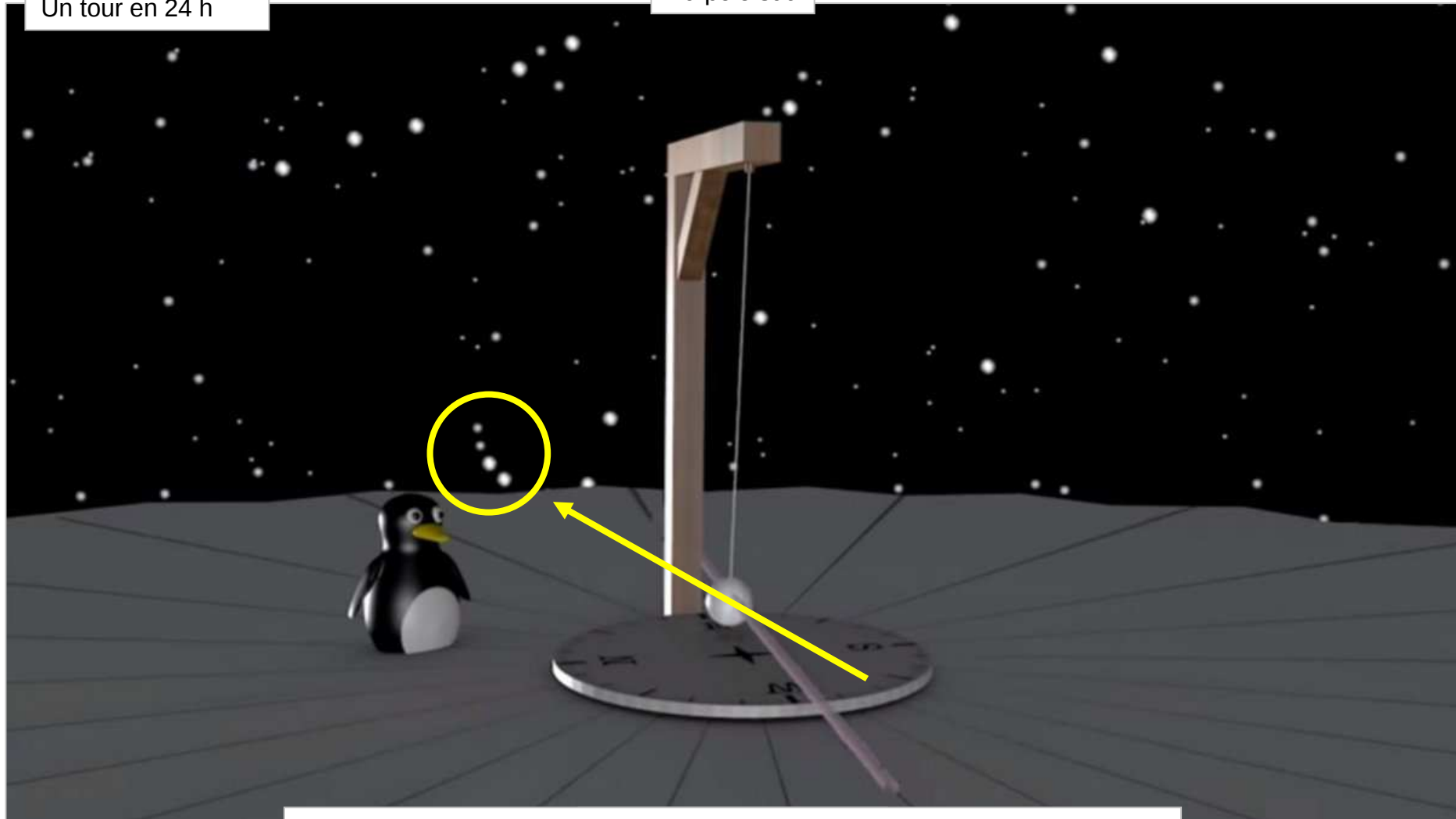


Le pendule est lâché vers ces quatre d'étoiles.

Latitude : -90°
15° par heure
360° par 24 heures
Un tour en 24 h

18/02/2021

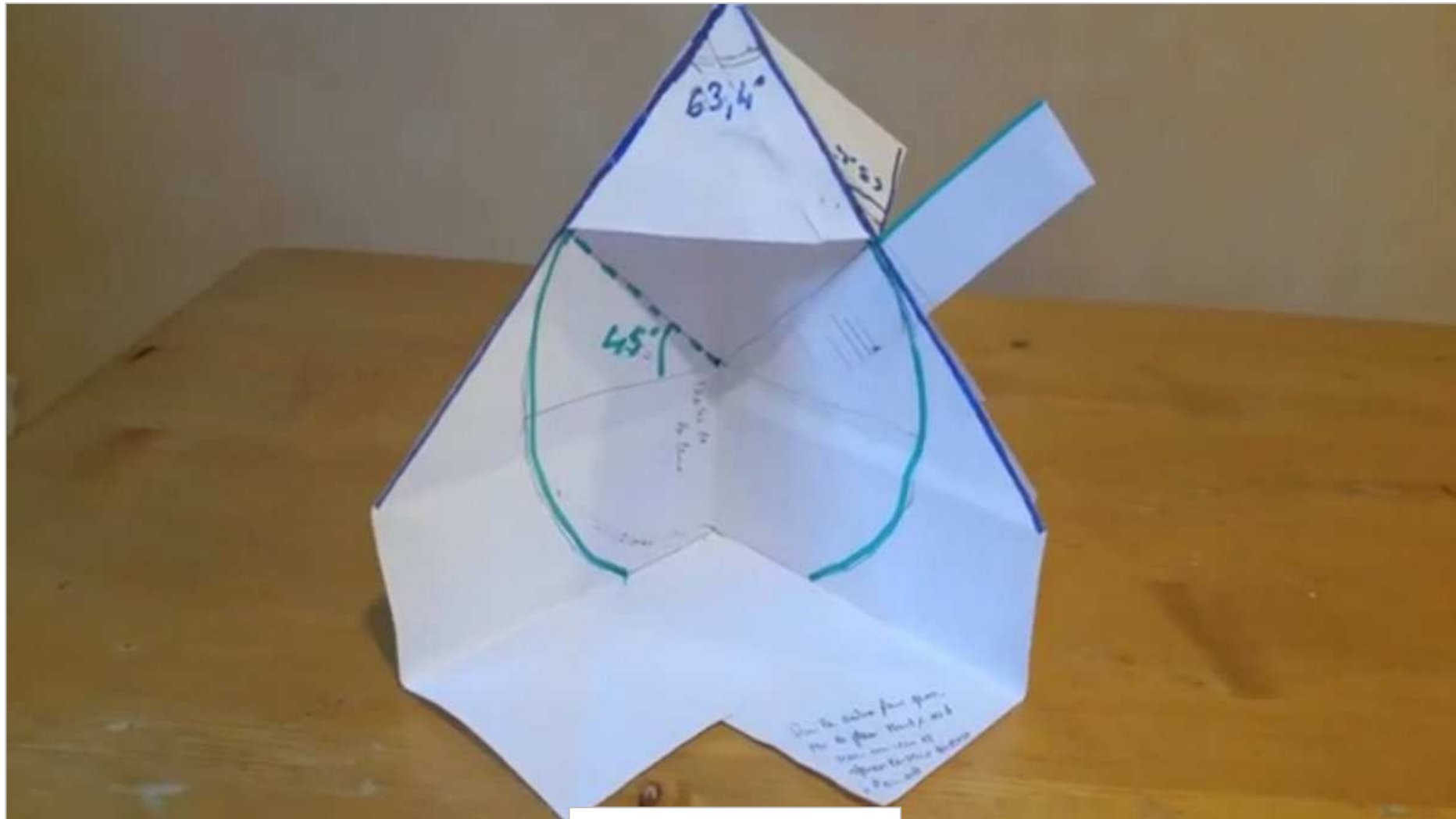
Au pôle sud



Le plan d'oscillation du pendule suit ces deux étoiles dans le sens anti-horaire.

Le plan d'oscillation du pendule fait un tour en 24 heures * !

* En fait : 23 h 56 min 04 s...



Source : Patrick Favrichon.

Voir le lien <https://youtu.be/k0pGsDkCqtQ>

////

De : "David Dureisseix"

A : "denis vialette"

Envoyé: mardi 9 Mars 2021 09:32

Objet : Re: PENDULE DE FOUCAULT ET EFFET DE CORIOLIS

09/03/2021

Bonjour Denis,

Waouh !

De mon côté, je n'avais vu que les pendules du Panthéon et du Musée des Arts et Métiers à Paris...

Et ça m'a amené à réfléchir un peu dessus.

Pour expliquer le pendule, il est vrai que ça peut rapidement devenir compliqué, mais c'est parce que les physiciens font moins d'approximations et parlent plus de lois que de modèles (un modèle est toujours un peu faux...)

Une explication au 1er ordre me semble assez suffisante.

Sur le fond, je dirais que ça illustre bien la devise "tout est relatif" (peut être bien d'Einstein, ça ; -)

L'idée est que parler de mouvement n'a pas de sens, c'est toujours le mouvement par rapport à quelque chose.

On peut alors se dire la chose suivante : qui agit sur le pendule ?

- la tension dans le câble (dirigée le long du câble)

- la pesanteur (dirigée vers le "bas")

[et là, sans le dire... on néglige : le frottement de l'air (OK si la vitesse est faible), l'attraction de la lune, du soleil... et on peut en lister plein. D'où l'idée de ne regarder que les influences principales !]

Donc si on écarte le pendule de la position d'"équilibre", toutes les actions sont dans un même plan. Si on le lâche sans vitesse initiale, alors tout est vraiment dans le même plan de symétrie. Alors la symétrie doit être conservée et tout le mouvement doit rester dans le même plan !

[Là aussi, on ne parle pas de systèmes déterministes chaotiques, à plusieurs solutions ou instables...]

09/03/2021

Si on dit : la Terre est "fixe" (par rapport à quoi ? ça c'est philosophique...) dans une première approximation, alors le pendule devrait rester dans le même plan (ce qui semble juste si on regarde pendant peu de temps). Mais si on regarde un peu plus longtemps, on voit que le plan dans lequel oscille le pendule "tourne". Ce n'est pas normal ça vu nos hypothèses de symétrie...

Alors ça veut dire que c'est la Terre qui "tourne" sur elle-même sinon le plan de la trajectoire devrait rester fixe par rapport à la Terre... [mais fixe par rapport à quoi ? Le Soleil ? Oui mais... le soleil peut bouger par rapport à la galaxie, etc... en terme plus mécanique (de Newton) la question est : pendant la durée de ce qu'on veut voir ou prédire, quel référentiel peut être considéré comme Galiléen ? Pour les machines courantes, la Terre suffit. Pour le pendule qu'on regarde longtemps, les satellites, le soleil suffit, pour la sonde Voyager je pense que ça ne suffit plus...]

D'ailleurs, concernant l'eau d'un lavabo (de taille raisonnable), ça me fait penser que j'avais vu passer la dessus des contre-arguments disant que ce n'était pas systématique en pratique que l'eau qui se vide tourne toujours dans le même sens dans le même hémisphère...

Je me disais que c'est le cas d'un système instable (ou du moins d'une trajectoire instable, celle où l'eau ne tourne pas) : une petite perturbation au début initie la trajectoire dans un sens ou dans l'autre, ces deux trajectoires étant symétriques, mais stables, on reste sur celle qui à commencée.

Le coup de dire qu'il faudrait un très grand lavabo correspondrait peut être au fait que le système dynamique pourrait rechanger de trajectoire avec la sollicitation de Coriolis, ce qui ferait quitter une orbite stable vers une autre...

Mais je ne maîtrise pas bien les systèmes dynamiques...

Et je m'aperçois que j'ai dit "sollicitation de Coriolis" ce qui est idiot... Coriolis n'est en fait pas une force mais une accélération... parce qu'on regarde le mouvement par rapport à un référentiel qui n'est pas Galiléen !

Je me rappelle qu'un collègue de Cachan a d'ailleurs dit dans une discussion au café qu'au lieu de dire que la "loi" de Newton était : somme des forces = masse fois l'accélération par rapport à un référentiel Galiléen, que cela n'était que la définition d'un référentiel Galiléen, et donc que la "loi" de Newton était en fait : "il existe un référentiel Galiléen !" (comme quoi les discussion au café sont hautement philosophiques parfois).

Bon, désolé de la longueur de la réponse, pas très synthétique,
Amicalement,
David

////

Théorie

F

////

De : "Gérard ELIE"

A : denis.vialette@laposte.net

Envoyé: mardi 9 Mars 2021 10:18

Objet : Re: me dire simplement

09/03/2021

Bonjour Denis

J'ai fais une note en considérant 3 positions de l'observateur sur le globe : en France, à l'équateur et au Cap dans l'hémisphère sud.

En France et dans tout l'hémisphère nord le soleil se lève à l'est et va se coucher à l'ouest. Comme il est toujours en dessous du zénith on l'observe en regardant vers le sud et il va de gauche à droite.

A l'équateur il faut distinguer les deux périodes entre les équinoxes : aujourd'hui le soleil est en dessous du zénith et il faut donc l'observer en regardant vers le sud. Il va de gauche à droite de l'est vers l'ouest.

Après le 22 mars il sera au-dessus du zénith, il faudra observer vers le nord ; il ira de droite à gauche mais il se lèvera toujours à l'est !

Dans l'hémisphère sud il faut toujours l'observer vers le nord ; son mouvement est inversé et il ira de droite à gauche mais il se lèvera toujours à l'est.

Conclusion : dans tous les cas il se lève à l'est et se couche à l'ouest.

J'espère avoir été explicite mais n'hésite pas à me demander des précisions si besoin.

Je regarde pour le pendule de Foucault ; c'est un effet extrêmement complexe et difficile à expliquer simplement.

Amitiés

Gérard

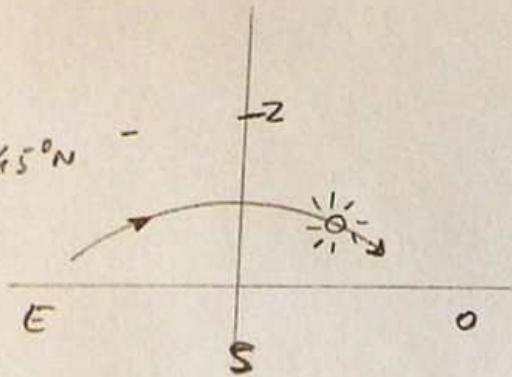
////

Théorie

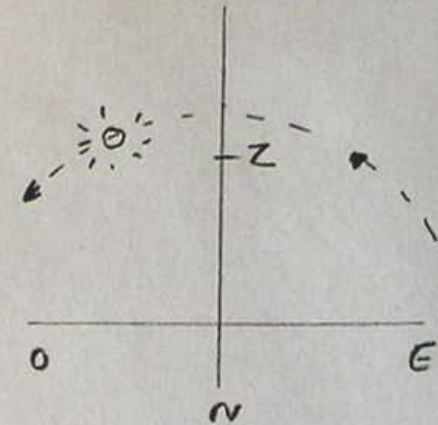
F

TRAJECTOIRE DU SOLEIL (ET PLANÈTES) SELON LA LATITUDE POUR LE 10 MARS !

Latitude 45°N
FRANCE

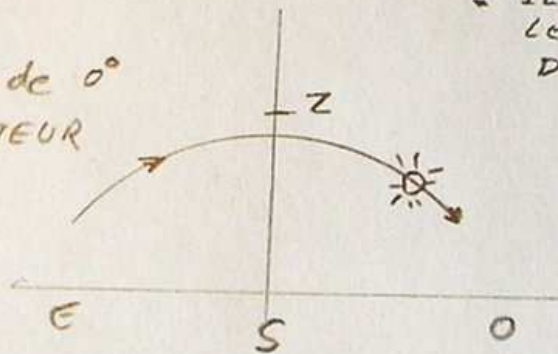


Vue vers Sud



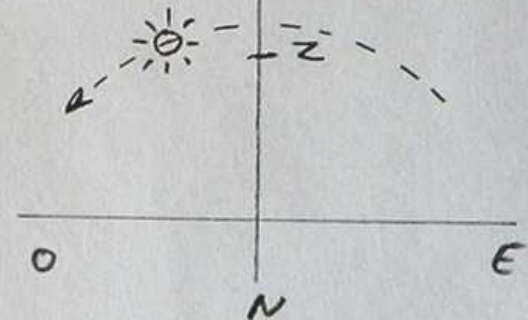
Vue vers Nord

Latitude 0°
EQUATEUR

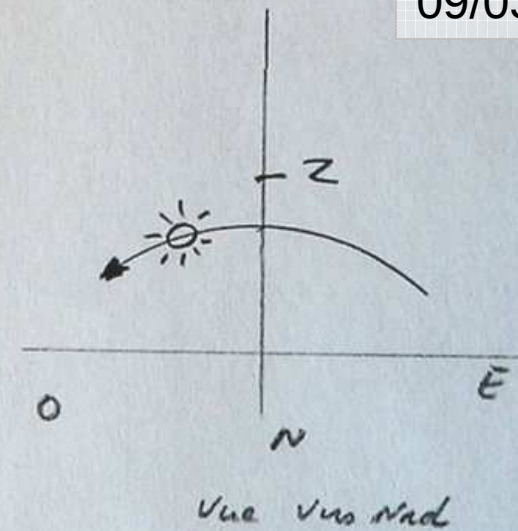
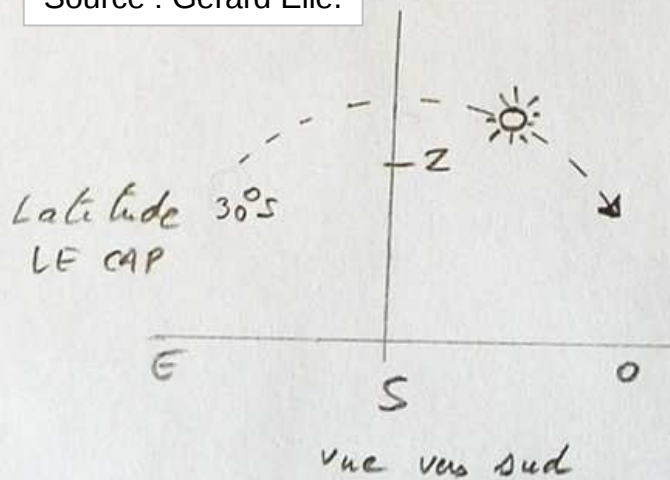


Vue vers Sud

- schéma valable de septembre à mars
- IL FAUT REGARDER VERS LE NORD D'AVRIL À AOÛT, AVEC LE SENS DE MOUVEMENT INVERSE MAIS TOUJOURS DE L'EST VERS L'OUEST.



Vue vers Nord



- Z = zenith = point à la verticale du lieu
- LE SOLEIL SE LÈVE TOUJOURS À L'EST ET SE COUCHE À L'OUEST
- À L'EQUATEUR LE SOLEIL PASSERA AU ZENITH LE 22 MARS (EQUINOXE)
- DANS L'HEMISPHERE SUD IL FAUT OBSERVER LE SOLEIL ET LES PLANETES EN REGARDANT VERS LE NORD. LE SENS DU MOUVEMENT EST INVERSE MAIS TOUJOURS DE L'EST VERS OUEST.

LE PENDULE DE FOUCAULT V 1.0

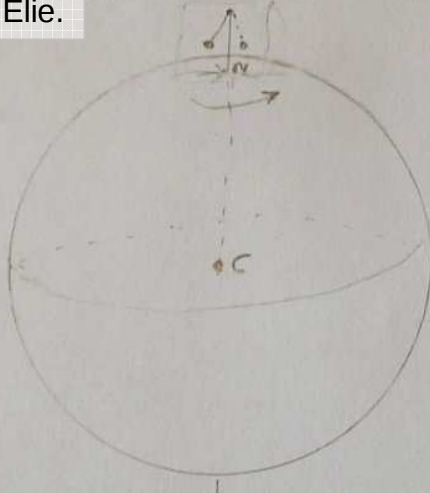
1/2

QUELQUES RAPPELS PRELIMINAIRES :

- PENDULE SIMPLE : MASSE PONCTUELLE SUSPENDUE A UN FIL SANS MASSE DE LONGUEUR CONSTANTE, SOUS L'ACTION DE LA FORCE DE PESANTEUR D'ORIGINE LE CENTRE DE LA TERRE. S'IL N'EST SOUS L'AUCUNE AUTRE FORCE, S'IL EST ECARTÉ D'UN PETIT ANGLE ET SI ON NEGLIGE LES FROTTEMENTS, ALORS IL OSCILLE INDEFINIMENT TOUJOURS DANS LE MEME PLAN PASSANT PAR LE CENTRE DE LA TERRE.
- PRINCIPE D'INERTIE (OU 1^o LOI DE NEWTON)
TOUT CORPS RESTE A L'ETAT DE REPOS OU GARDE SON MOUVEMENT RECTILIGNE UNIFORME (DONC EN LIGNE DROITE SANS ACCELERATION) SAUF SI UNE FORCE AGIT SUR LUI ET LE CONTRAINT A CHANGER D'ETAT.

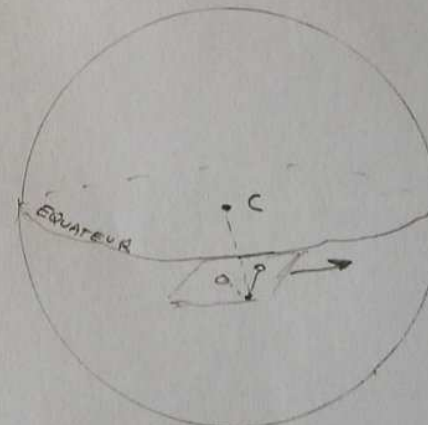
11/3/21
G.E.

PENDULE AU PÔLE N (OU SUD)



LE PENDULE OSCILLE
DANS UN PLAN FIXE
PAR RAPPORT AUX ÉTOILES
ET VOIT SOUS LUI LA
TERRE (OU INVERSEMENT
UN OBSERVATEUR SUR
TERRE VOIT LA TRAJECTOIRE
DU PENDULE) TOURNER EN
FAISANT UN TOUR COMPLET
EN 23h 56' 4" (JOUR
SIDÉRAL)

PENDULE À L'ÉQUATEUR



LE PENDULE OSCILLE
TOUJOURS DANS UN PLAN
FIXE. IL NE VOIT PLUS
LE SOL TOURNER MAIS
IL EST ENTRAÎNÉ EN
MÊME TEMPS, DANS UN
MOUVEMENT RECTILIGNE
UNIFORME. D'APRÈS NEWTON
IL GARDE SON ÉTAT ET SA
TRAJECTOIRE NE TOURNE PLUS.

DONC

AU PÔLE :

LA TRAJECTOIRE DU
PENDULE TOURNE DE
360° EN 1 JOUR SIDÉRAL

À L'ÉQUATEUR :

LA TRAJECTOIRE DU
PENDULE EST FIXE
PAR RAPPORT AU SOL.
FOUCAULT SERAIT DÉFUS!

ET SI POUR UNE POSITION
INTERMÉDIAIRE DU PENDULE SUR LA TERRE ---->

11/3/21
G.E.

SOIT LE PENDULE DANS UNE POSITION INTERMÉDIAIRE.

DISONS PARIS

DE LATITUDE $48,86^\circ$.

NOUS AVONS
ALORS CIRCULATION
DES 2 EFFETS AU

"PÔLE" ET À
"L'ÉQUATEUR":

LE PENDULE
VOIT LE SOL

TOURNER SOUS

LUI MAIS AUSSI

EST ENTRAÎNÉ PAR LUI.

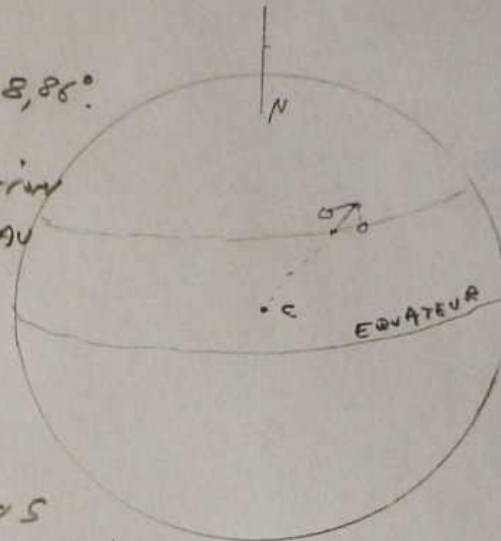
IL SUBIT UNE FORCE
(CORIOLIS) QUI INFLUE

SUR LA ROTATION DE

SA TRAJECTOIRE QUI EST

MOINS QUE 360° /JOUR MAIS

PLUS QUE 0°



LES CALCULS

SONT COMPLIQUÉS

MAIS ON MONTRÉ

QUE LA LATITUDE

DU LIEU INFLUE

SUR LA ROTATION

DE LA TRAJECTOIRE

DU PENDULE COMME
LE SINUS.

PAR EXEMPLE À

PARIS, LA ROTATION

DE LA TRAJECTOIRE

EST POUR UNE

JOURNÉE:

$$360^\circ \times \sin 48,86 = 271^\circ$$

$$\text{ou } 11,3^\circ/\text{heure}$$

POUR BRIANÇON LA ROTATION SERAIT DE

$$360 \times \sin 49,8994 = 254,44^\circ$$

$$\text{ou } 10,6^\circ/\text{heure}$$

11/3/21
G.E.

BRIANCON et son pendule de Léon FOUCAULT



Une production HDA HORLOGES D'ALTITUDE

Une introduction !

Questions diverses ! Les réponses sont regroupées à la fin de cette présentation !

1. Pourquoi y a-t-il un point commun entre ces villes : Kourou, Cape Canaveral, Boca Chica, Baïkonour, Colomb-Béchar, Woomera, Tanegashima ???
2. Pourquoi la Grosse Bertha a-t-elle raté ses cibles parisiennes pendant la Grande Guerre 1914-1918 à plus de 100 km de distance ?
3. Pourquoi le lieutenant Miguet a-t-il détruit six des huit canons italiens sur le Chaberton depuis Briançon le 21 juin 1940 ?
4. Pourquoi les anticyclones circulent-ils dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère Nord et inversement dans le Sud ??

Quel est le rapport entre ces observations et Léon FOUCAULT ?

Réponse : LE PENDULE DE FOUCAULT !

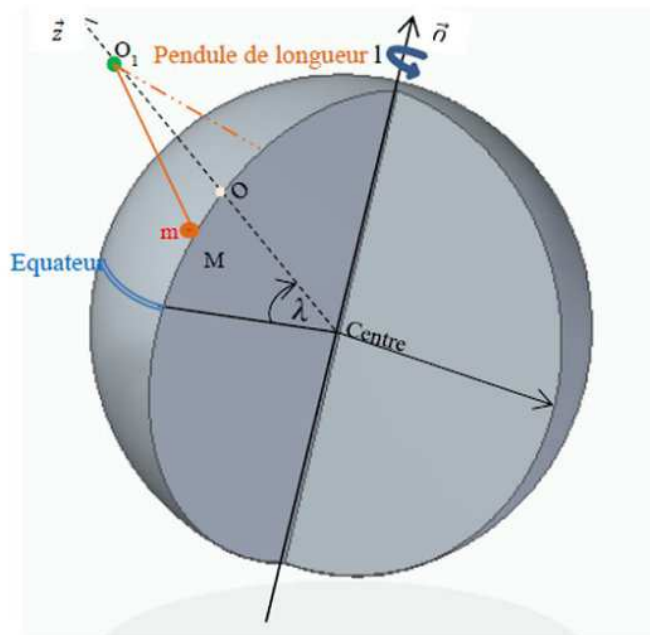
Une explication !

Source : Jean-Pierre Lamiral.

Voir le lien http://projet.hda.free.fr/ressources_076_jean-pierre_lamiral.pdf

Le pendule de Foucault cas général

Présentation



*Etude largement inspirée de la vidéo
E-Learning Physique MP/PC
Mécanique en référentiel non
Galiléen postée sur Youtube*

*L'origine locale du pendule
est le point de fixation O_1 !*

1 Introduction.

Source : Jean-Pierre Gaschin.

Voir le lien http://projet.hda.free.fr/_ressources_077_jean-pierre_gaschin.pdf



Voir le lien https://youtu.be/tj_hzaOVzC8



Voir le lien https://youtu.be/pZsd674Z4_I

