

A sunset over the ocean. The sun is low on the horizon, casting a warm glow across the sky. A pier with a small structure is visible on the right, and a sailboat is on the left. The foreground shows a dark, rocky beach.

# Les phénomènes astronomiques

cours de J.-E. Arlot  
SAPCB - juin 2023

# Qu'est-ce qu'un phénomène astronomique?

- Lever, coucher
- Passage au méridien
- Opposition
- Rétrogradation
- Elongation
- Conjonctions
- Marées
- Éclipses
- Occultations
- ...

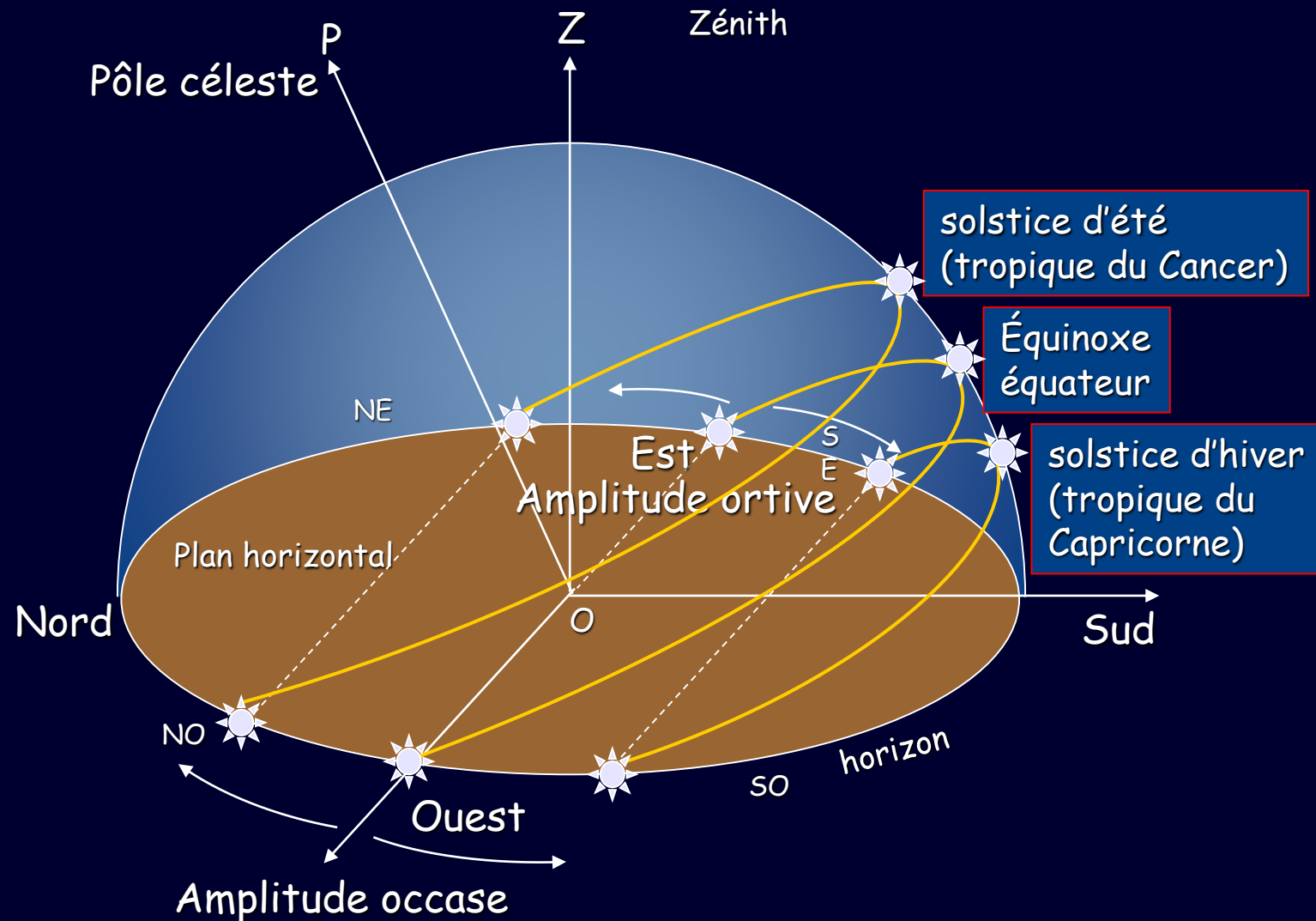
C'est une configuration particulière du système solaire qui peut donner lieu à une observation périodique ou rare, spectaculaire ou exceptionnelle.

# Un coucher de Soleil est un phénomène astronomique



Un phénomène astronomique, ça se prédit

# Lever, coucher, passage du Soleil

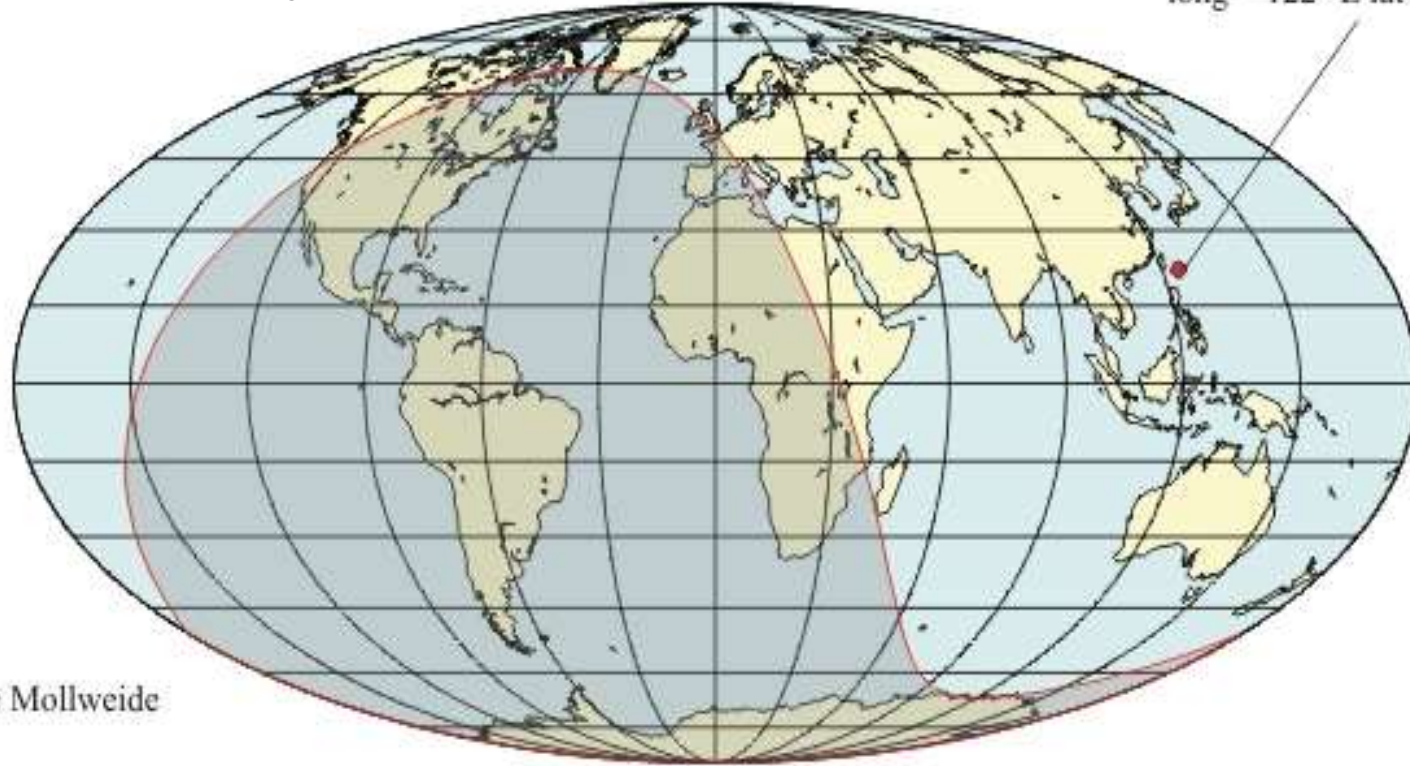


Le mouvement diurne du Soleil décrit des petits cercles sur la sphère céleste

# Aspect du terminateur au solstice d'été

**Le pôle reste toujours éclairé →**

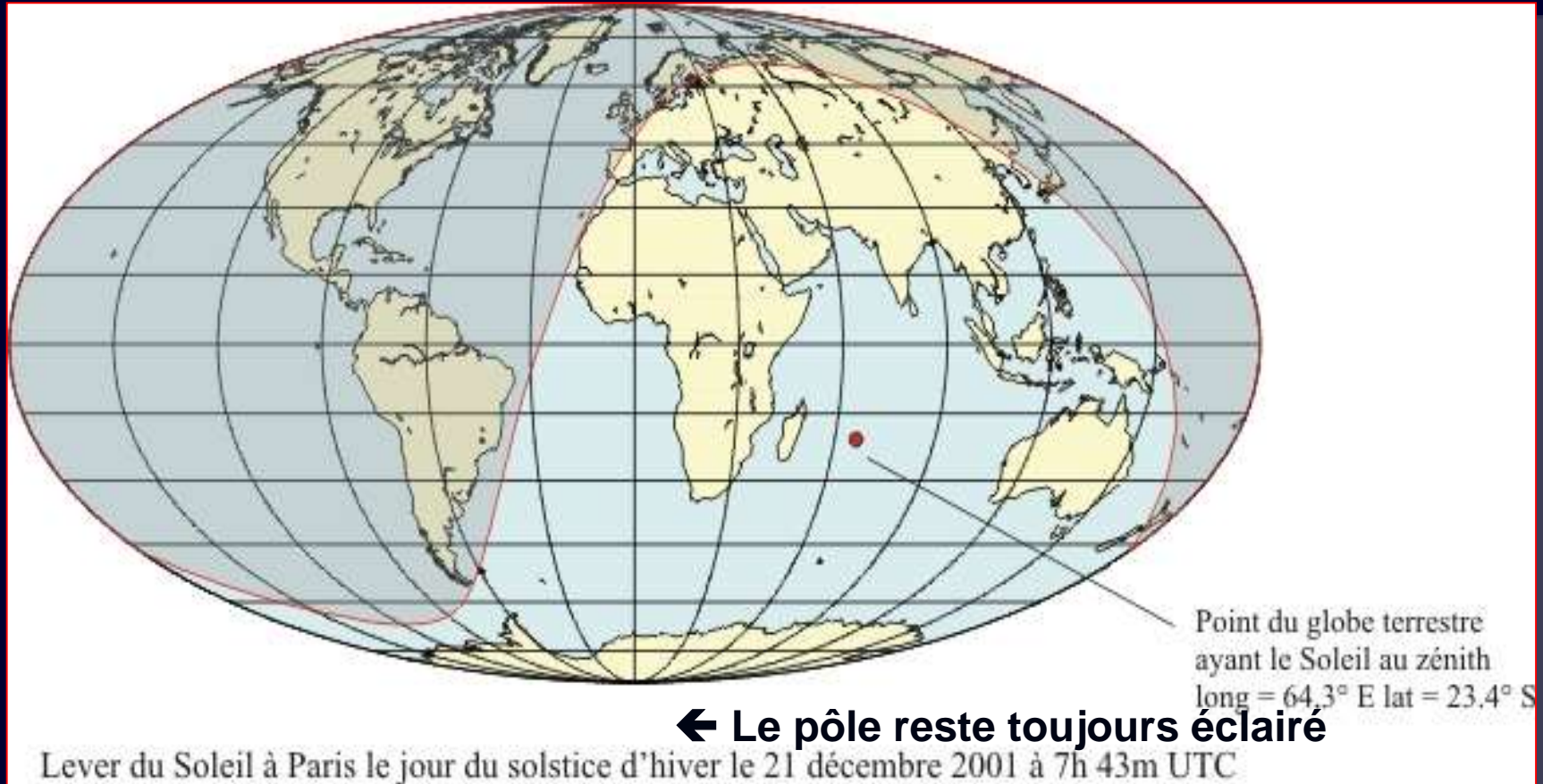
Point du globe terrestre  
ayant le Soleil au zénith  
long = 122° E lat = 23.4° N



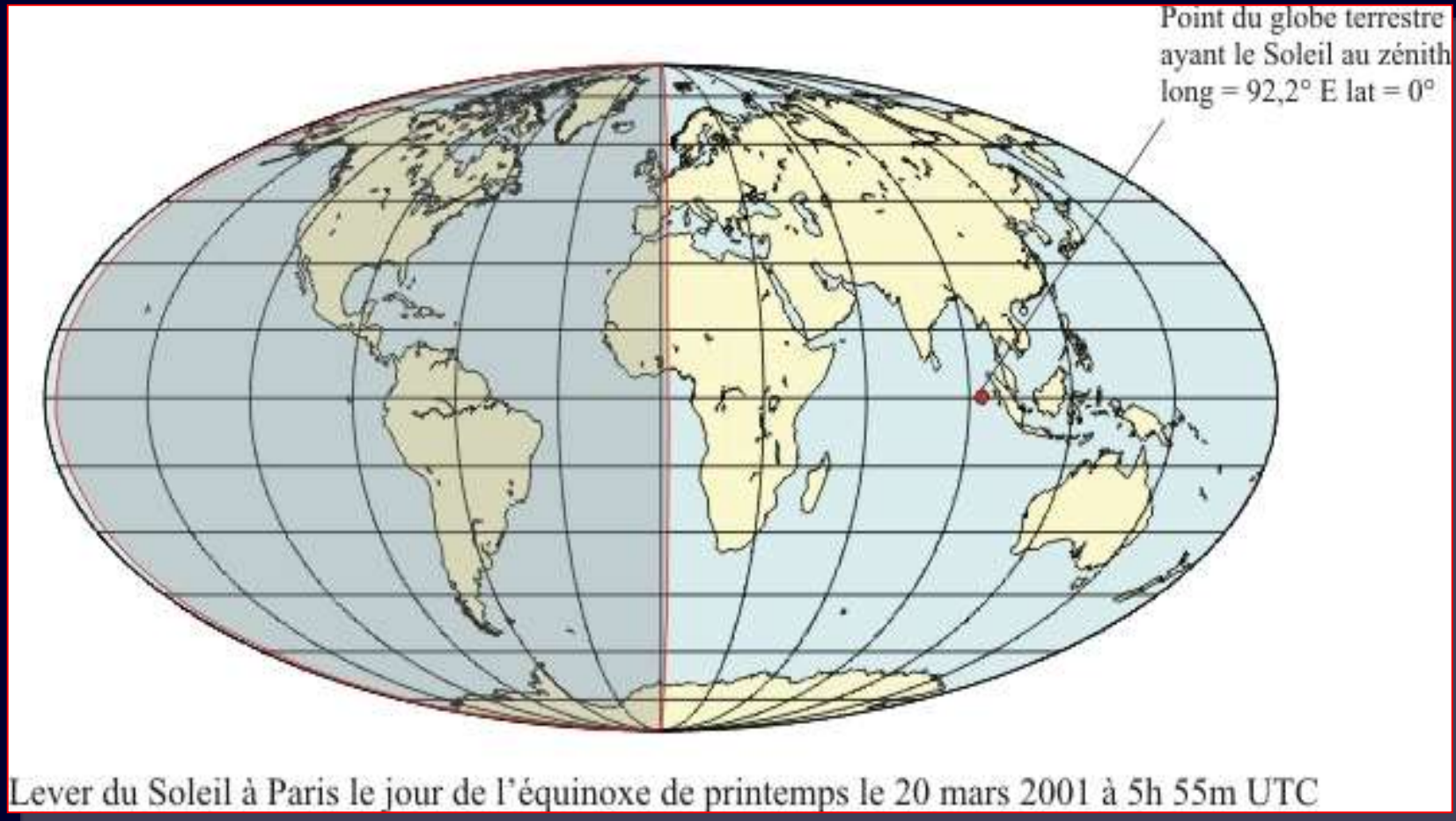
Projection de Mollweide

Lever du Soleil à Paris le jour du solstice d'été le 21 juin 2001 à 3h 49m UTC

# Aspect du terminateur au solstice d'hiver

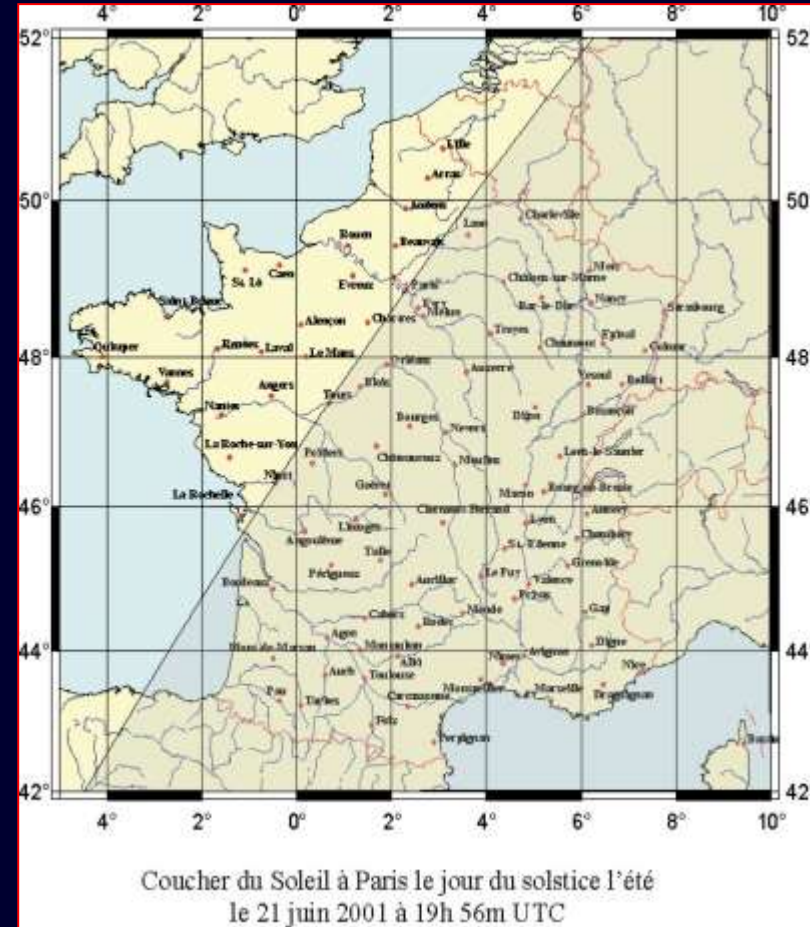
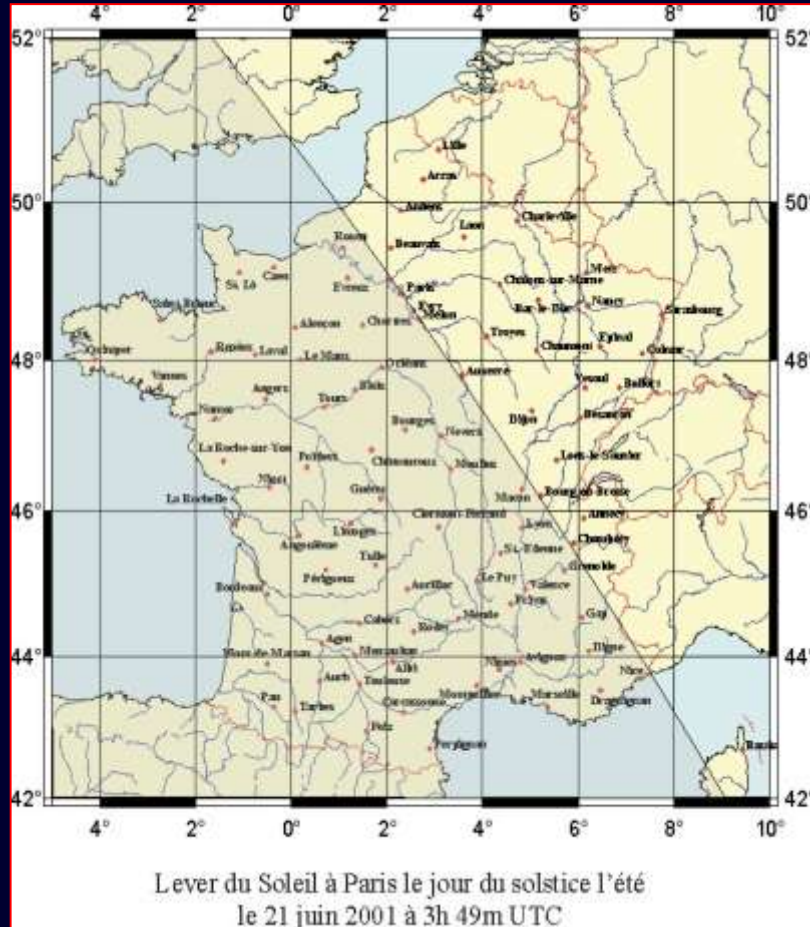


# Aspect du terminateur aux équinoxes



# Aspect du terminateur au solstice d'été

Le Soleil se lève plus tôt et se couche plus tard vers le Nord





# Aspect du terminateur au solstice d'hiver

Le Soleil se lève plus tôt et se couche plus tard vers le Sud



# Aspect du terminateur aux équinoxes

Le Soleil se lève et se couche à la même heure sur le même méridien



Lever du Soleil à Paris le jour de l'équinoxe de printemps  
le 20 mars 2001 à 5h 55m UT



Coucher du Soleil à Paris le jour de l'équinoxe de printemps  
le 20 mars 2001 à 18h 02m UT

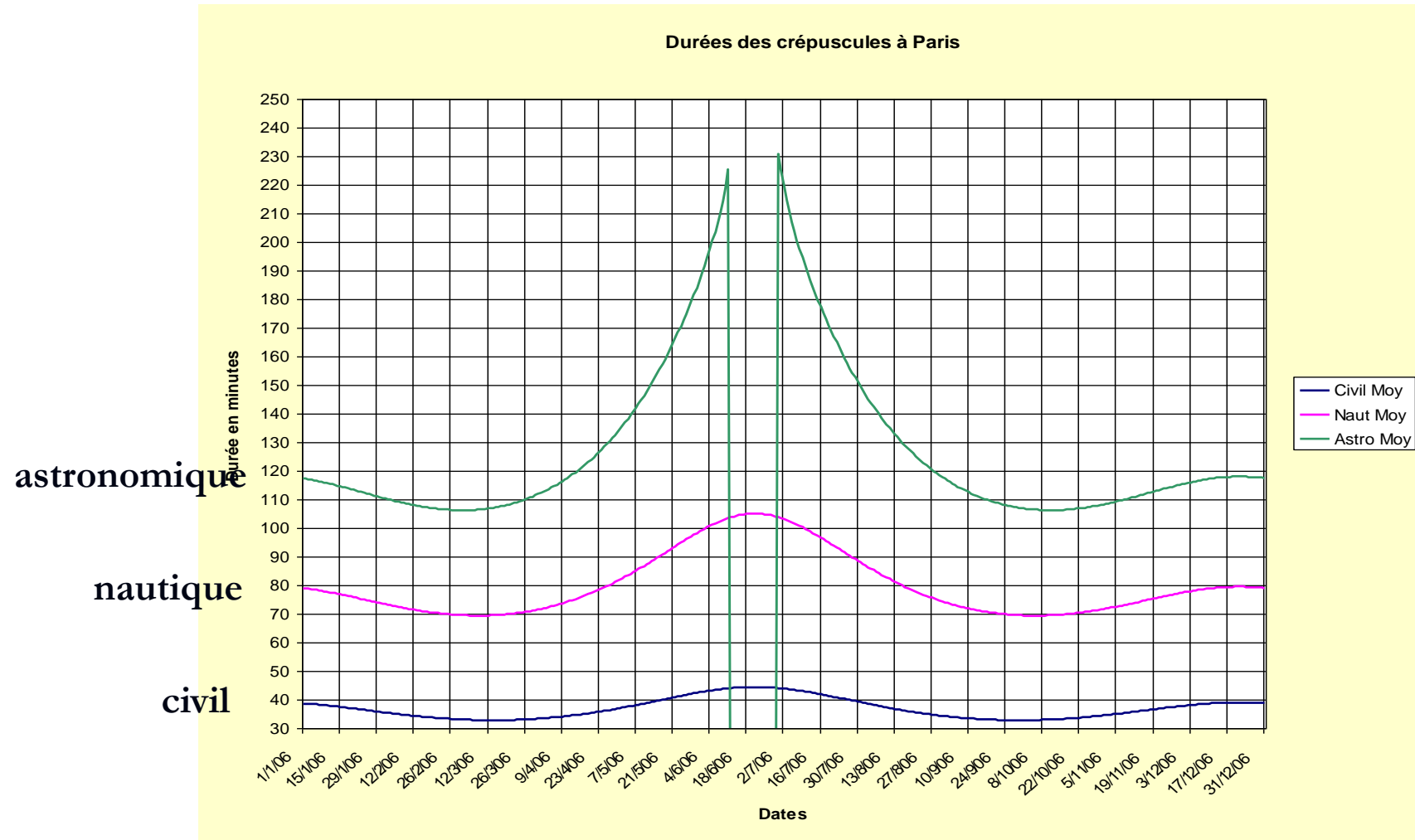
Définition:

Crépuscule civil :  $h_0 = -6^\circ$

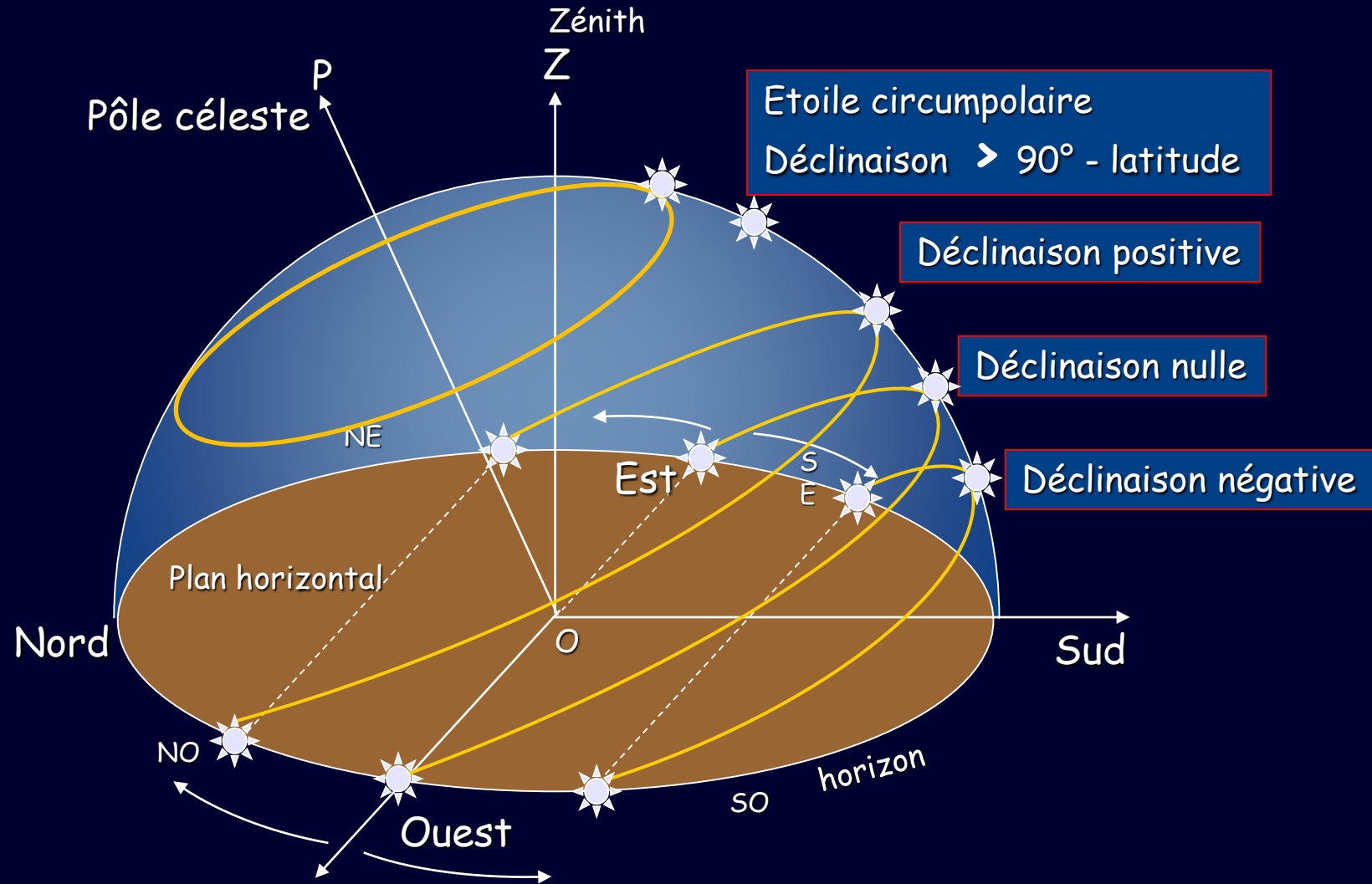
Crépuscule nautique :  $h_0 = -12^\circ$

Crépuscule astronomique :  $h_0 = -18^\circ$

# Crépuscules à Paris



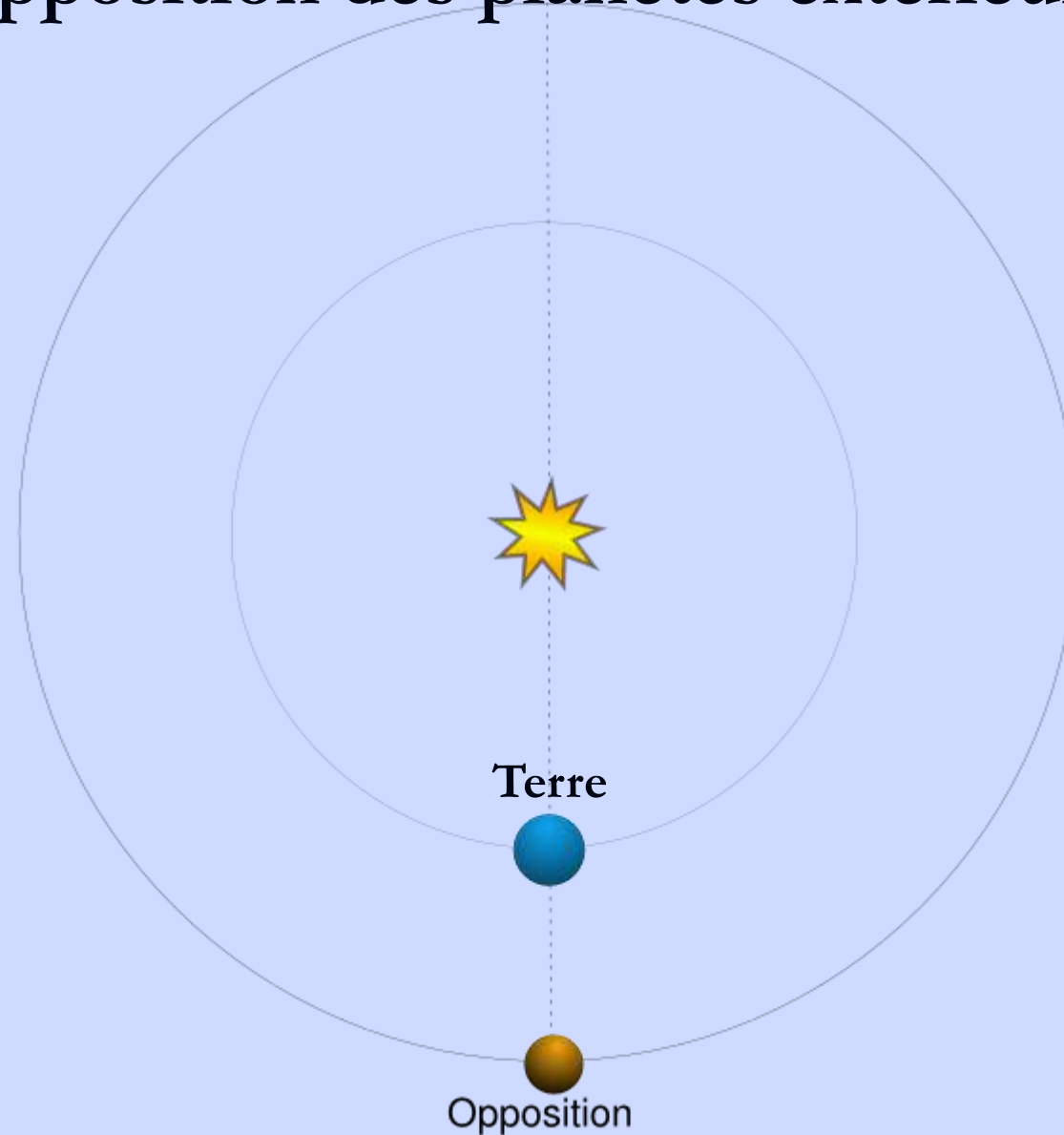
# Le passage au méridien



# Opposition, conjonction, élongation par rapport au Soleil

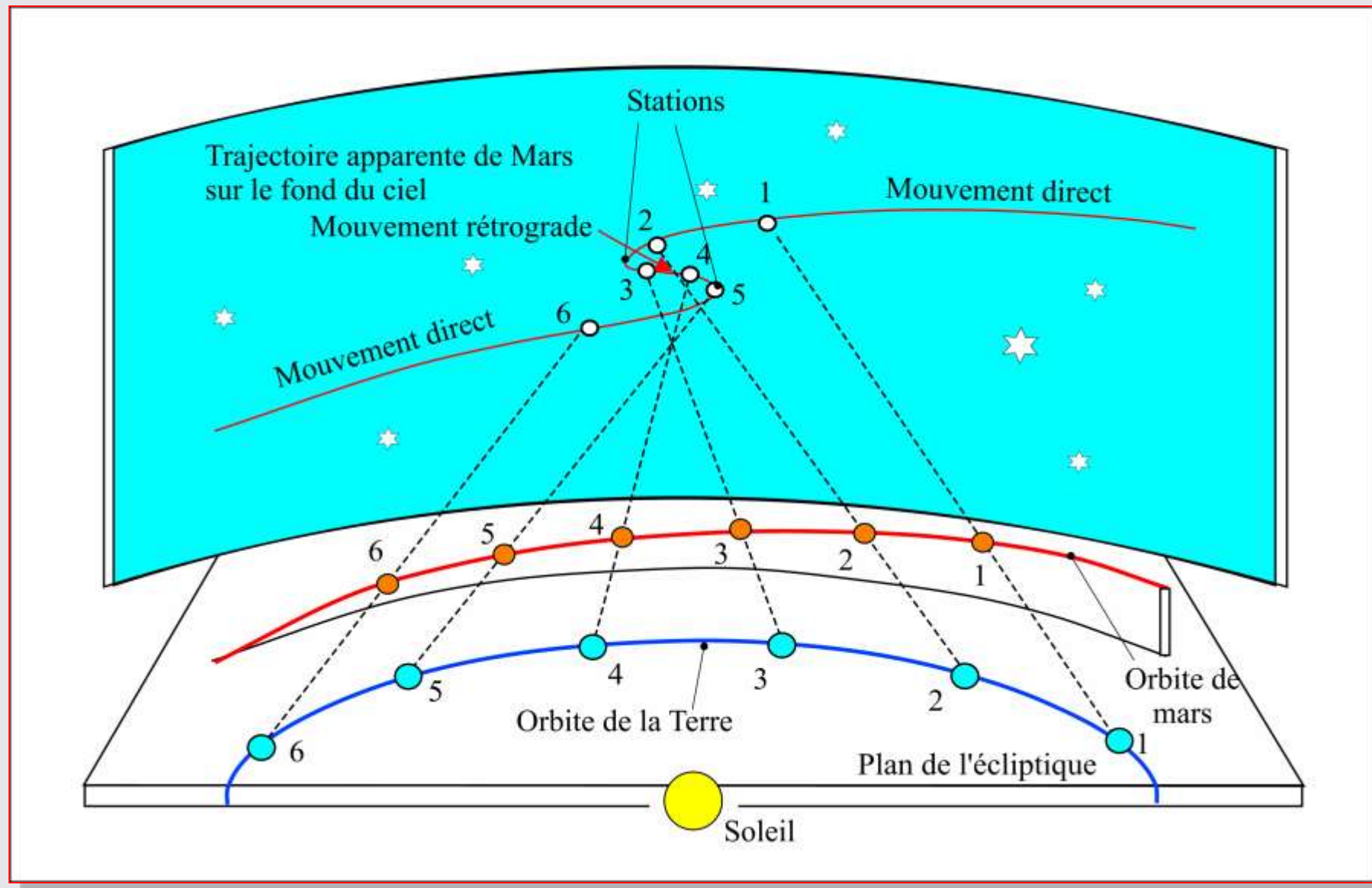
- Cela correspond à une position d'une planète par rapport à la Terre nous permettant de la voir au mieux (opposition, élongation) ou de ne pas la voir (conjonction), cachée par le Soleil

# Opposition des planètes extérieures



La planète est observable toute la nuit

# Stations et rétrogradations des planètes extérieures

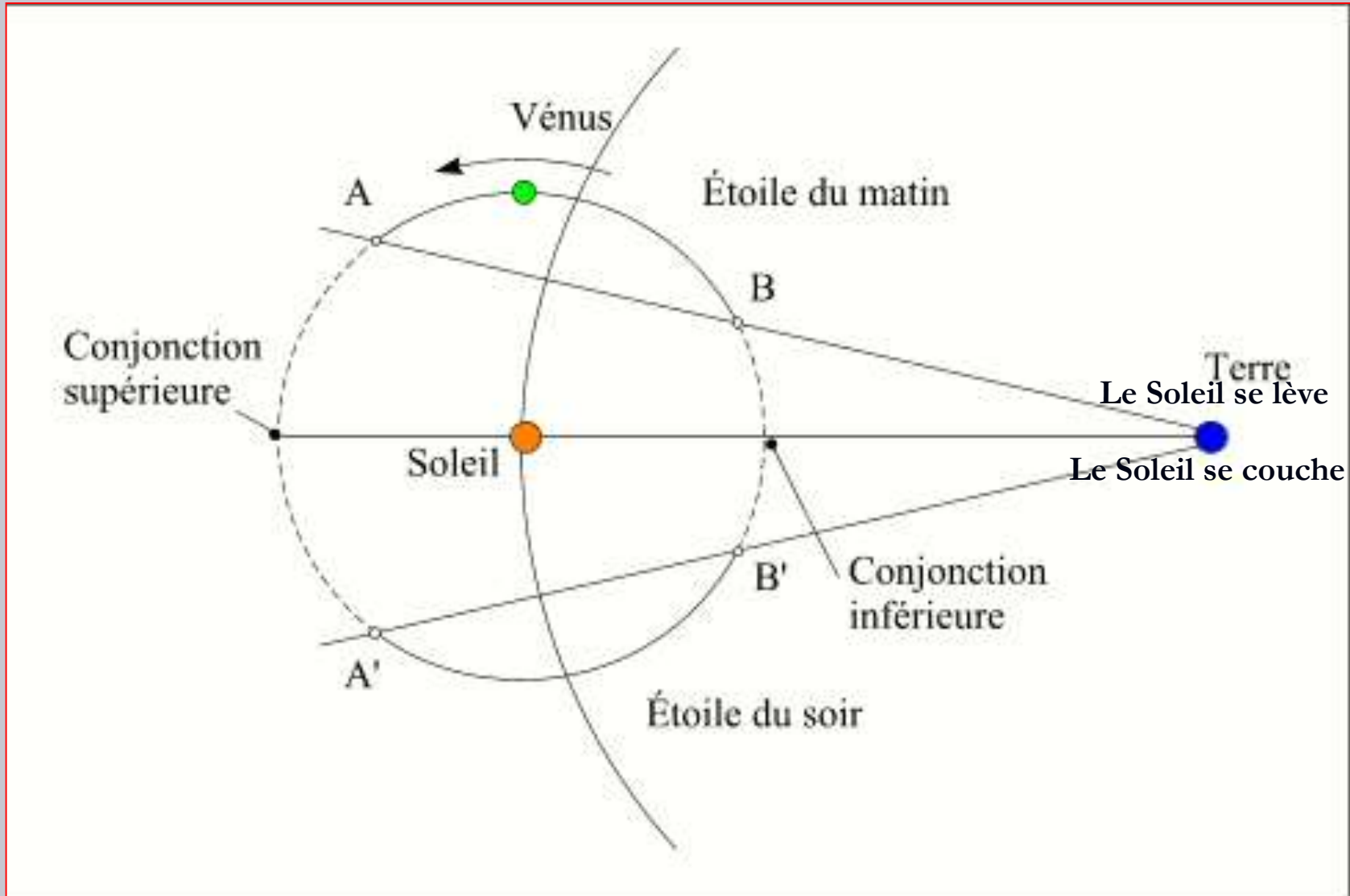


# Élongations des planètes intérieures

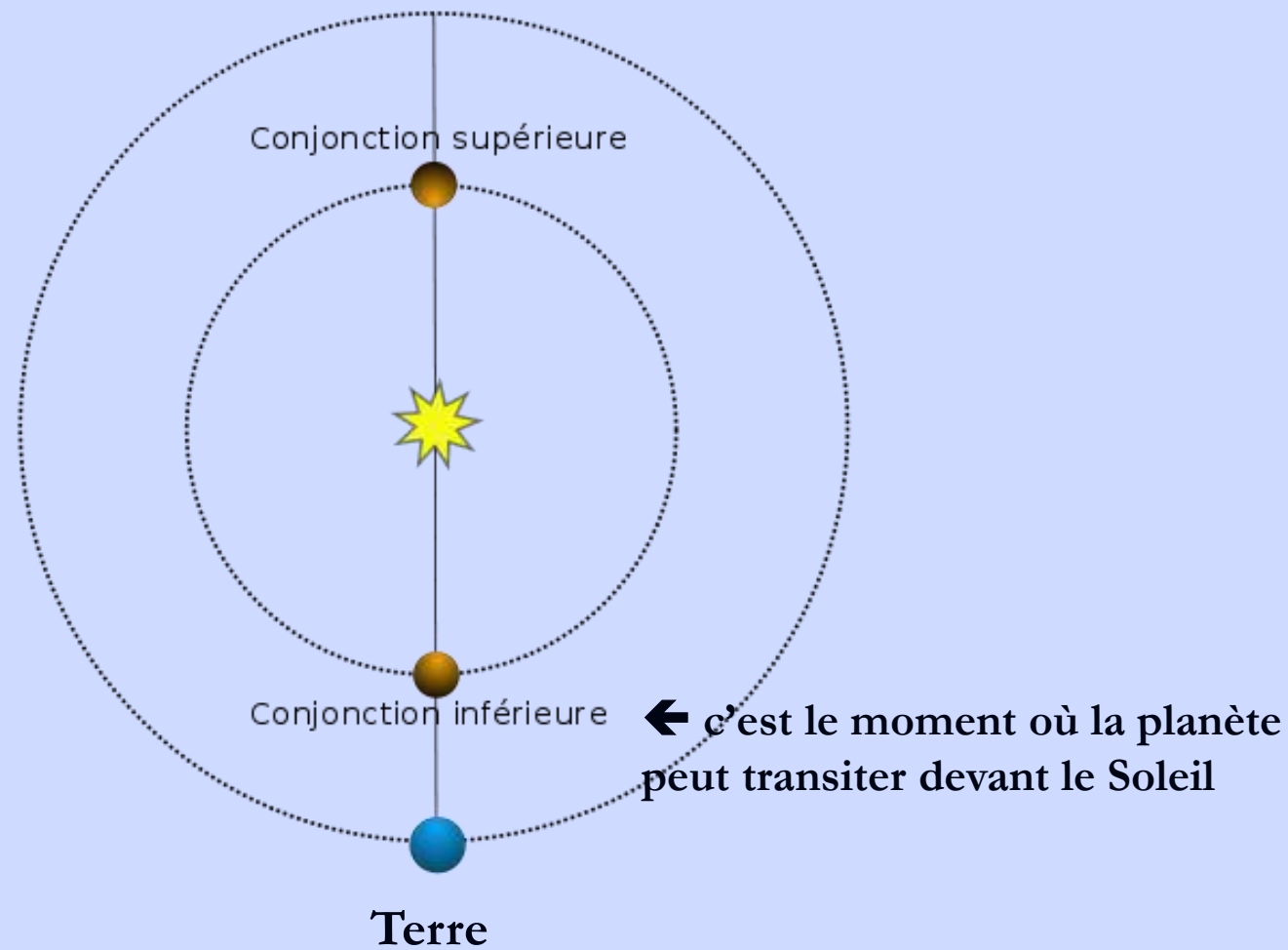




# Visibilité des planètes intérieures

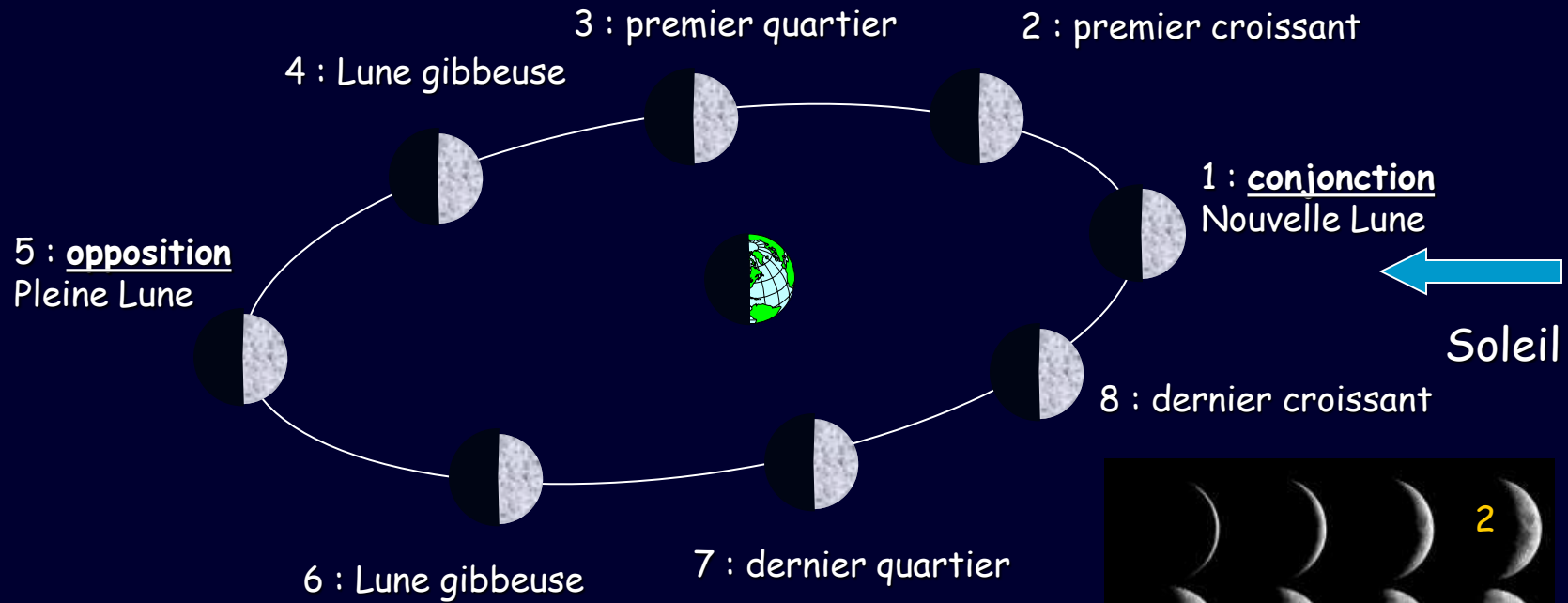


# Conjonctions des planètes intérieures



La planète n'est pas observable

# Les phases de la Lune

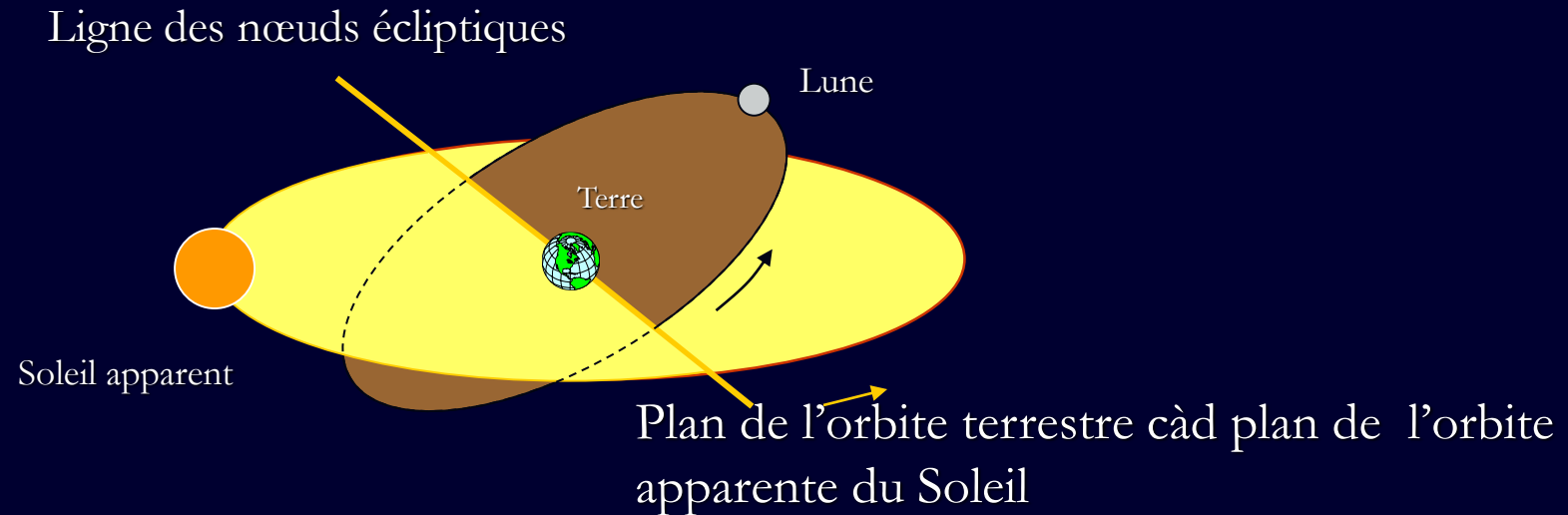


La conjonction et l'opposition s'appellent également les syzygies



# Le mouvement de la Lune

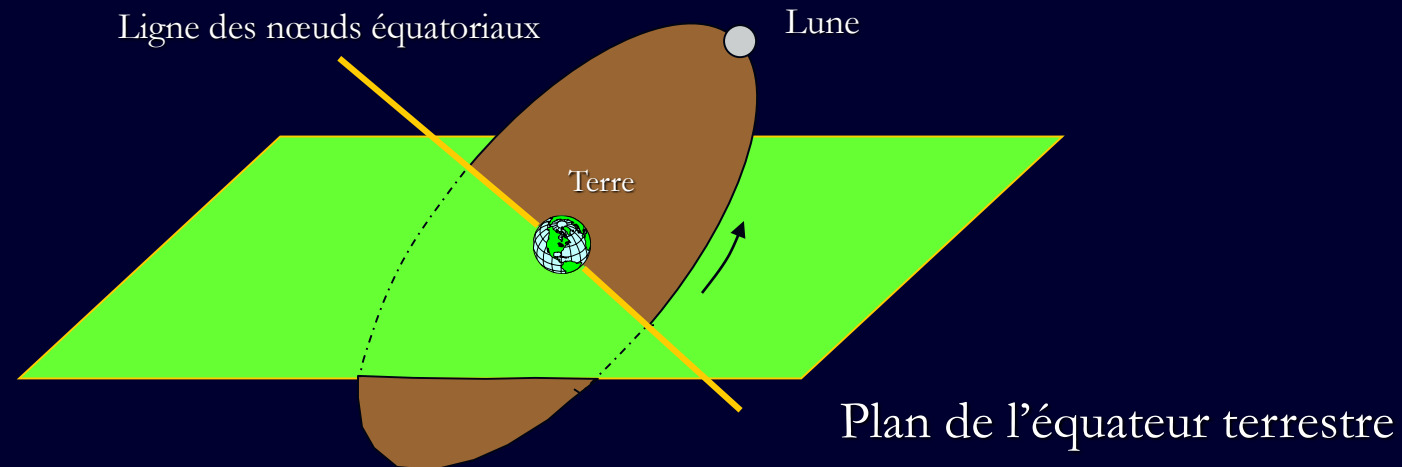
- L'orbite de la Lune n'est pas dans l'écliptique, donc son plan coupe le plan de l'orbite terrestre (écliptique) suivant une droite : la ligne des nœuds éclipse.



L'inclinaison de l'orbite de la Lune sur l'écliptique est de l'ordre de  $5^\circ$ .

# Le mouvement de la Lune

- L'orbite de la Lune n'est pas dans l'équateur, donc son plan coupe l'équateur suivant une droite : la ligne des nœuds équatoriaux.



L'inclinaison de l'orbite de la Lune sur l'équateur varie de  $18^\circ$  à  $28^\circ$ .

# Les périodes moyennes de révolution de la Lune

**Révolution sidérale moyenne** : retour de la Lune dans une même direction par rapport aux étoiles.

RS : 27,321661547 jours, soit 27 jours 7h 43m 11,56s.

**Révolution tropique moyenne** : retour de la longitude de la Lune dans la direction de l'équinoxe de printemps. L'équinoxe tourne de  $50,2877''$  par an dans le sens rétrograde (un tour en 25 771 ans).

RT = 27,321582241 jours, soit 27 jours 7h 43m 4,71s

**Révolution draconitique moyenne** : retour de la longitude de la Lune dans la direction de son nœud ascendant. La ligne des nœuds tourne de  $19.3413618^\circ$  par an dans le sens rétrograde (un tour en 18,61 ans).

RD = 27,212220817 jours, soit 27 jours 5h 5m 35,881s

**Révolution anomalistique moyenne** : retour de la longitude de la Lune dans la direction de son périhélie. La projection de la ligne des apsides tourne de  $40,690137^\circ$  par an dans le sens direct (un tour en 8,85 ans).

RA = 27,554549878 jours, soit 27 jours 13h 18m 33,11s

**Révolution synodique moyenne** : retour de la même phase lunaire, lunaison ou mois lunaire.

L = 29,530588853 jours, soit 29 jours 12h 44m 2,88s

# Les points importants pour la Lune

- La distance entre le centre de la Terre et le centre de la Lune varie:
  - Lune périgée : 357 200 km
  - Moyenne : 381 300 km
  - Lune apogée : 407 000 km
- La vitesse angulaire moyenne de la Lune est l'ordre de  $13,17^\circ$  par jour, donc le passage au méridien se décale en moyenne de 52 min par jour → le jour lunaire moyen est de 24h 52min. Il diffère du jour sidéral (23h56m) et du jour solaire (24h).

Cette complexité du mouvement de la Lune entraîne une difficulté pour calculer les phénomènes:

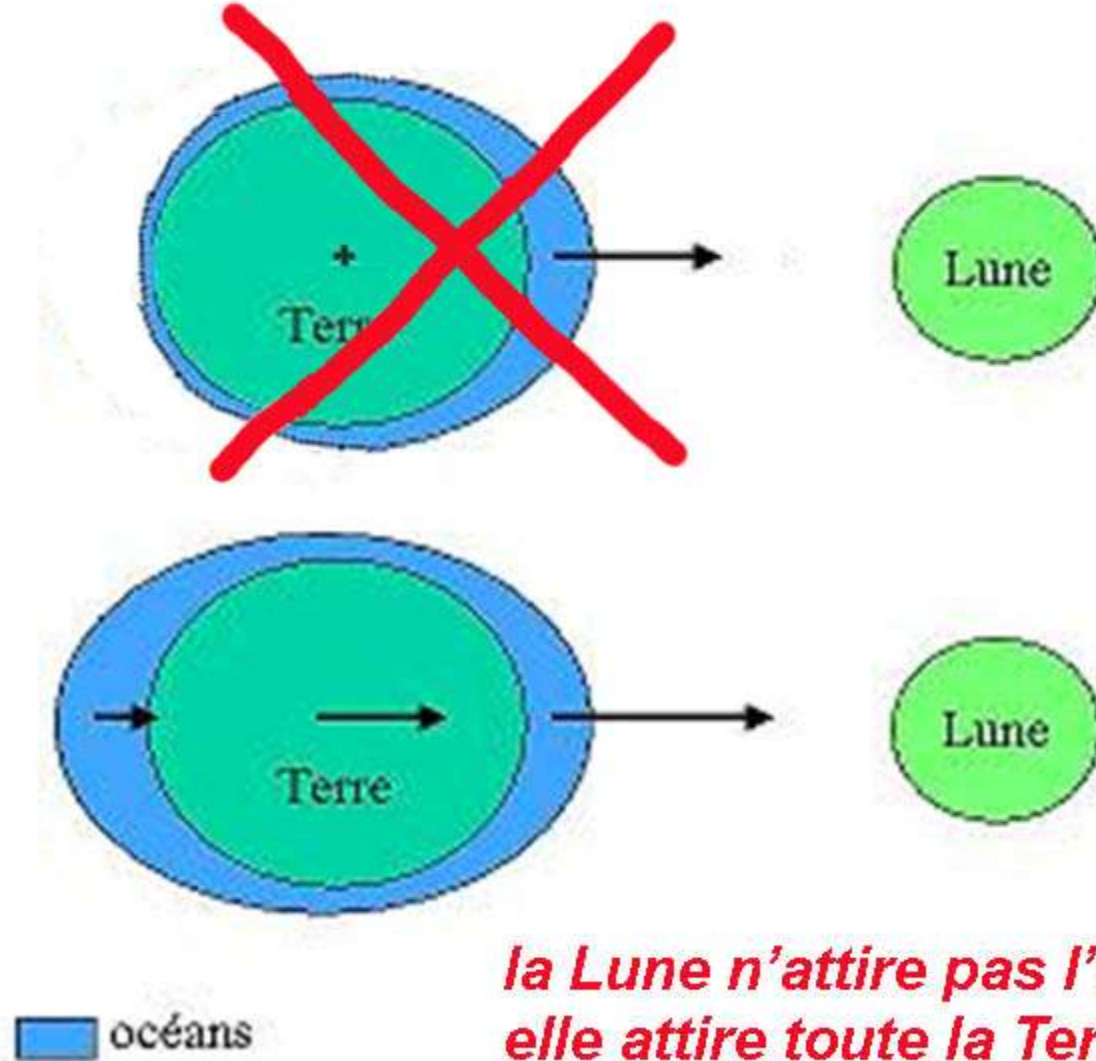
- Les marées
- Les éclipses



Un phénomène astronomique  
complexe: les marées



Un premier principe qui a été long à être compris



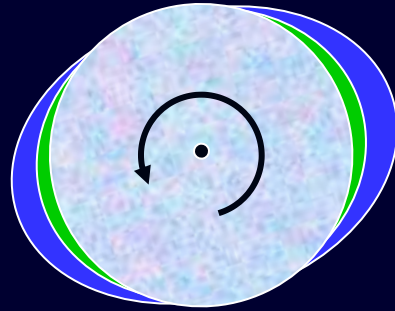
***la Lune n'attire pas l'eau:  
elle attire toute la Terre***

# Les marées

- Marée océanique pure (+30 cm rapide)
- Marée terrestre (+30 cm lente)
- Marée due à la Lune (la plus forte)
- Marée due au Soleil (la plus faible)

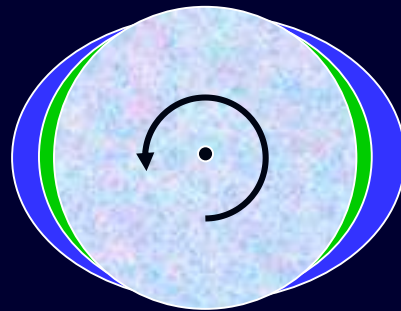
NL

Terre solide



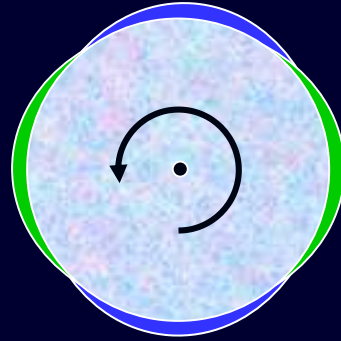
Syzygies

Terre liquide



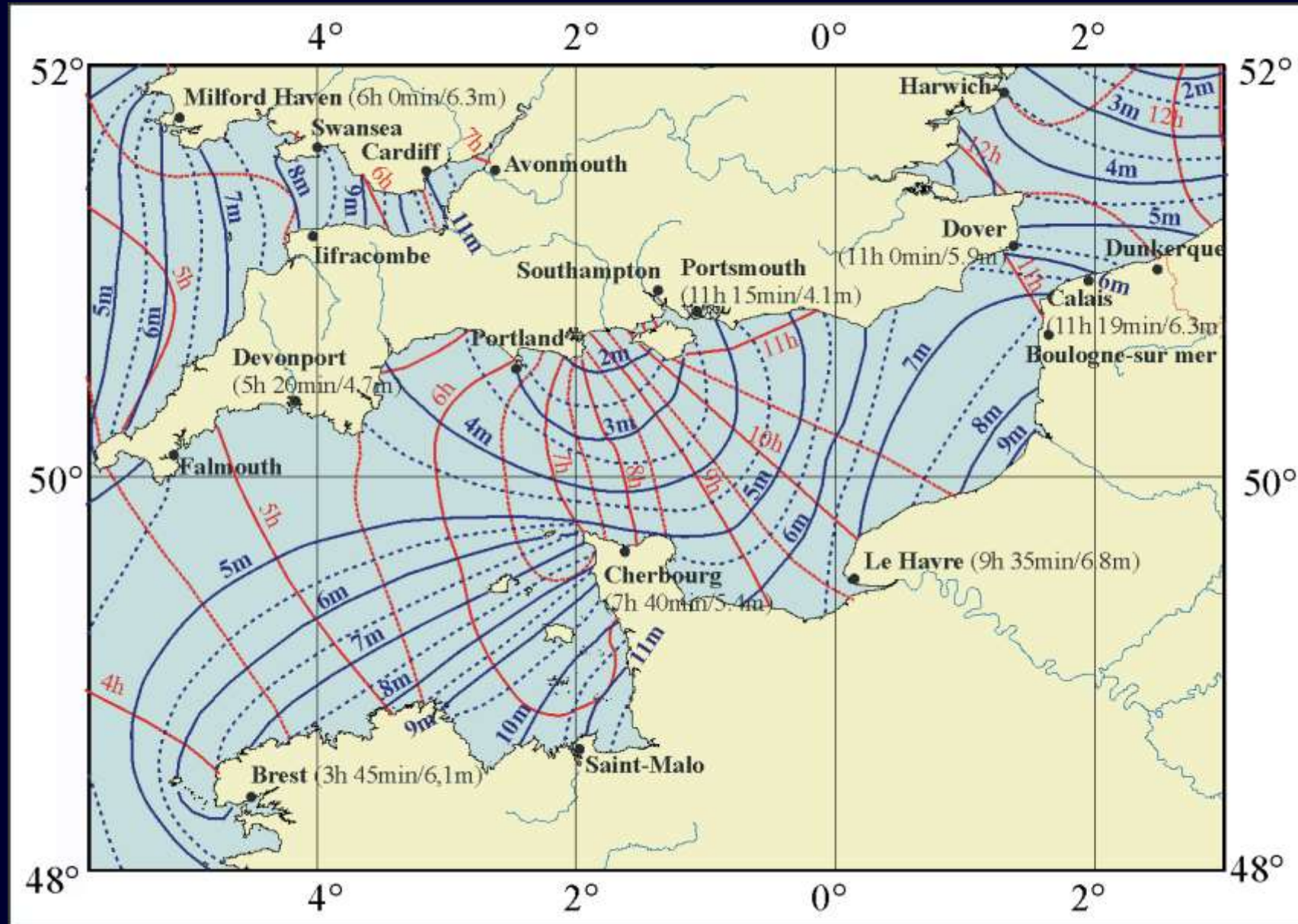
La Terre tournant très rapidement, il y aura deux marées par jour = marée semi-diurne  
MAIS...

# Quadratures



Le Soleil exerce une attraction plus faible mais qui perturbe le système!

# Marée en Manche par vive-eau moyenne



Et il y a le découpage des côtes et l'effet « piston »

# Description et observation de la marée semi-diurne

*Vocabulaire :*

**Marée océanique** : mouvement à allure périodique du niveau de la mer, dû aux effets de l'attraction gravitationnelle exercée par la Lune et le Soleil sur les particules liquides.

*La marée océanique observée est la différence entre la marée terrestre et la marée océanique pure.*

**Basse mer (BM)** : niveau le plus bas atteint par la mer au cours d'un cycle de marée.

**Pleine mer (PM)** : niveau le plus élevé atteint par la mer au cours d'un cycle de marée.

**Marnage** : différence de hauteur entre une basse mer et une pleine mer successives.

# Description et observation de la marée semi-diurne

*Vocabulaire :*

**Vive-eau (VE)** : Période pendant laquelle le marnage passe par un maximum après une syzygie (PL ou NL).

**Morte-eau (ME)** : Période pendant laquelle le marnage passe par un minimum après une quadrature (PQ ou DQ) dans les marées semi-diurnes.

**Revif** : phase d'augmentation du marnage.

**Déchet** : phase de diminution du marnage.

# Description et observation de la marée semi-diurne

*Vocabulaire :*

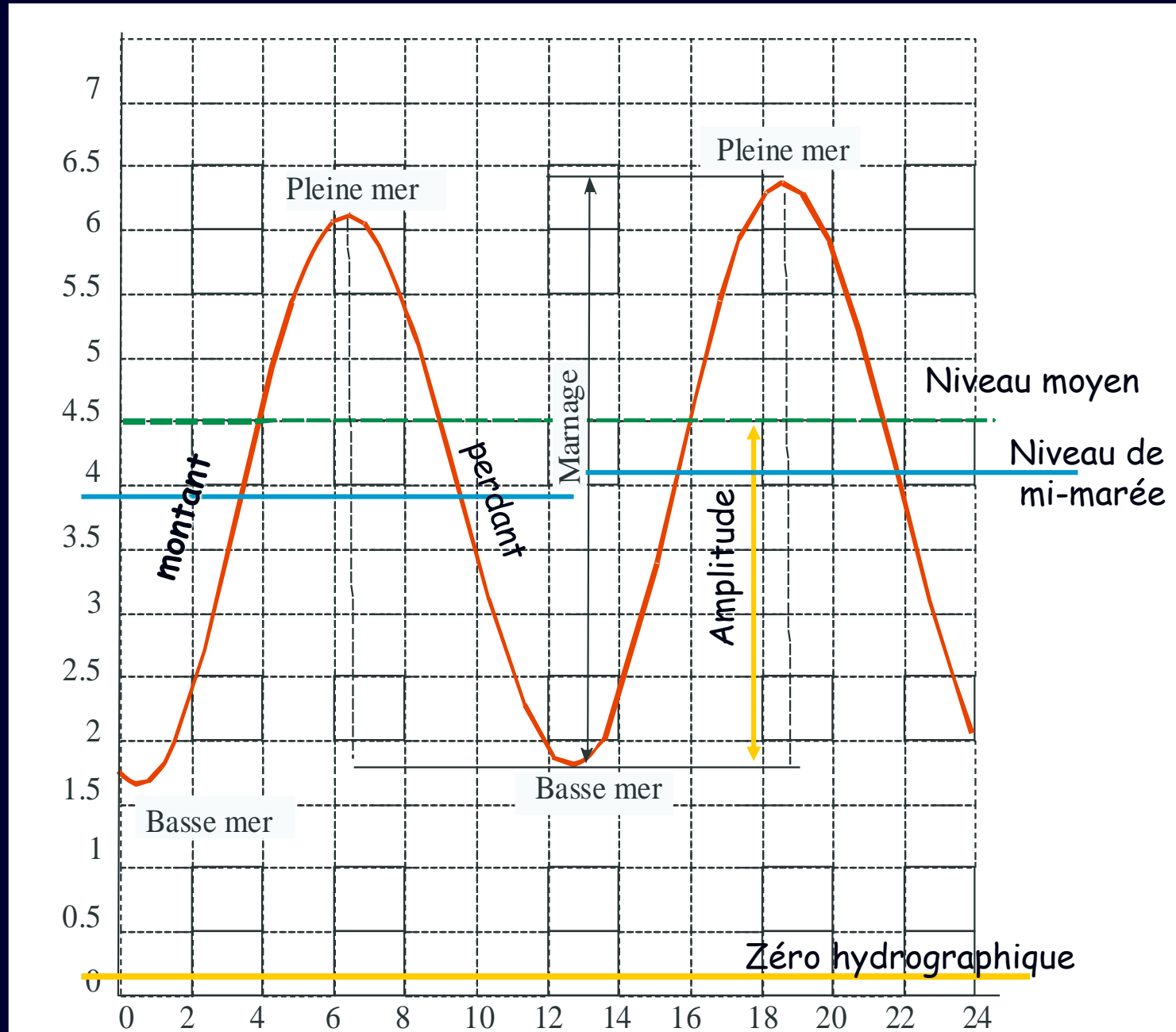
## *Courants de marée*

**Jusant ou reflux** : courant de marée qui commence entre la pleine mer et le mi-perdant et est maximum entre le mi-perdant et la basse mer.

**Flot ou flux** : courant de marée qui commence entre la basse mer et le mi-montant et est maximum entre le mi-montant et la haute mer.



# Description et observation de la marée semi-diurne



# Le coefficient de marée

L'usage d'un coefficient de marée est une particularité française.

$$C = \frac{H - N_0}{U} \times 100$$

C : coefficient de marée.

H : la hauteur de la pleine mer au-dessus du **zéro hydrographique**.

$N_0$  : la hauteur du niveau de **mi-marée** au-dessus du zéro hydrographique.

U : est l'unité de hauteur du port (propre à chaque port).

Si pour un port on connaît l'unité de hauteur U et le coefficient de la marée C, on en déduit la hauteur de la pleine mer et de la base mer.

$$H_{PM} = N_0 + \frac{C \times U}{100}$$

$$H_{BM} = N_0 - \frac{C \times U}{100}$$

Zéro hydrographique = plus basse mer astronomique observée

Zéro topographique = hauteur moyenne de la mer à Marseille

# Le coefficient de marée

Le coefficient de marée à Brest :

$$C = \frac{\text{amplitude onde semi-diurne}}{3.05} \times 100$$

C : coefficient de marée.

3.05 : est l'unité de hauteur à Brest.

Attention on ne tient compte que de la composante semi-diurne de la marée,  
Donc ne pas utiliser le coefficient de marée en dehors des marées semi-diurnes.

120 : marée exceptionnelle de vive-eau d'équinoxe.

95 : marée de vive-eau moyenne.

70 : marée moyenne.

45 : marée de morte-eau moyenne.

20 : marée de morte-eau la plus faible possible.

# Description et observation de la marée semi-diurne

La marée est plus ou moins forte en fonction des mers et des océans.

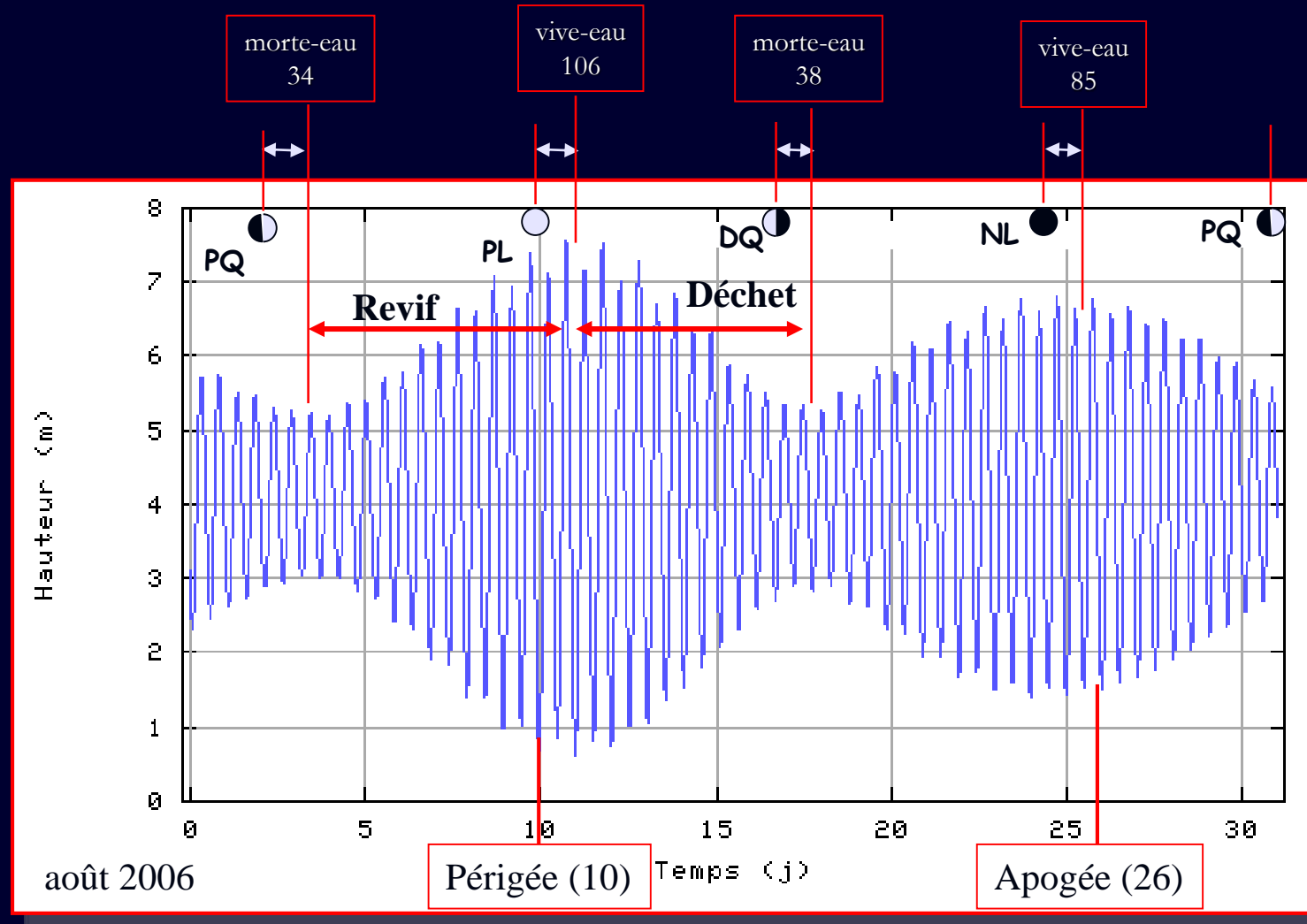
*Sur la côte atlantique française :*

Deux marées par jour (marée semi-diurne) avec un décalage d'environ 24h 52 minutes d'un jour à l'autre et de 12h 26min d'une marée à l'autre.

Il y a corrélation avec les passages au méridien supérieur et au méridien inférieur de la Lune.

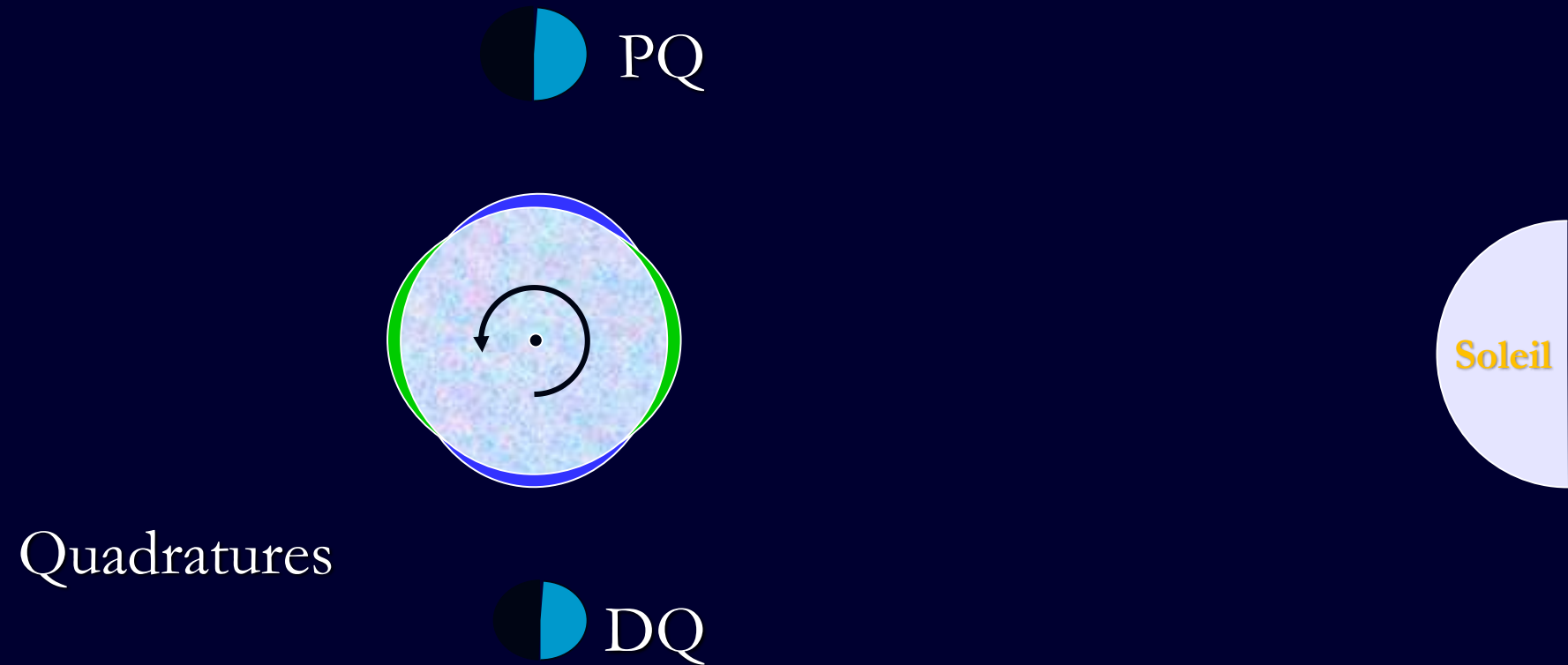
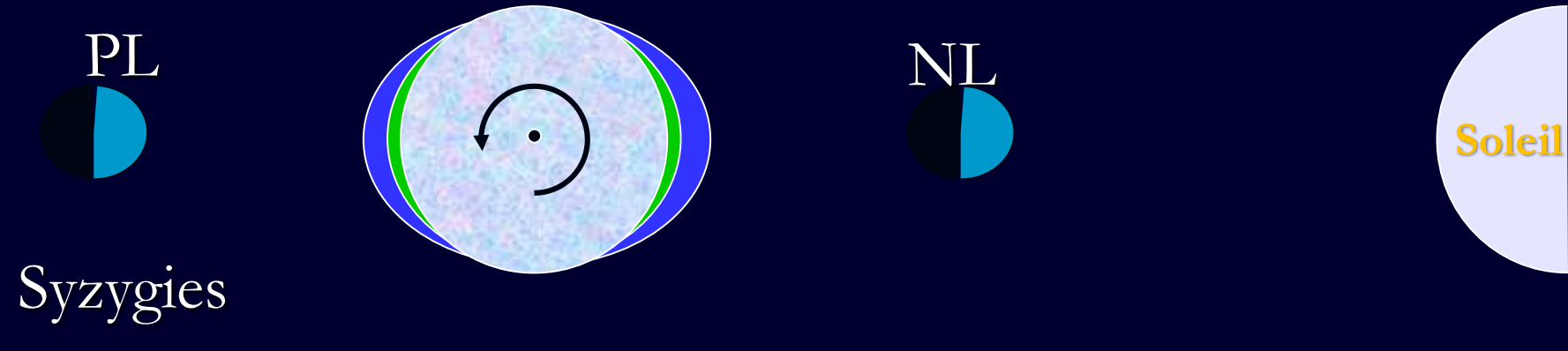
Le décalage entre l'heure des pleines mers et les passages de la Lune au méridien est appelé **établissement du port**

# Observation sur un mois de la marée semi-diurne à Brest



↔ : écart entre les phases et les marées de vive-eau et de morte-eau  
âge de la marée (~3 marées)

# Effet mensuel



# Les théories pour expliquer et prédire la marée océanique semi-diurne



# La marée dynamique



Pierre-Simon Laplace  
1749 - 1827

En 1775 il publie dans « La mécanique céleste » le développement de la force de marée statique en fonction de l'angle horaire, de la déclinaison et de la distance aux astres.

Il montre que la marée réelle est proportionnelle à la marée statique avec des décalages horaires. Les coefficients de proportionnalité et les déphases pour un lieu donné peuvent être déduits de l'observation de la marée.



# Les derniers développements

*H. Poincaré* (1854-1912) propose des solutions analytiques et théoriques des ondes de marées pour des océans séparés par des continents. Mais ces méthodes sont trop complexes pour l'époque.

En 1994 - 1995 *Hartmann et Wenzel* calculent un développement contenant 12935 ondes dont 1483 ondes directement dues aux effets des planètes. Ils prennent en compte les potentiels générateurs astronomiques de la Lune, du Soleil et des planètes Vénus, Jupiter, Mars, Mercure et Saturne.

# Méthode pour prédire la marée

1 - Observation de la marée: elle varie de jour en jour avec de nombreuses périodicités



2 – Calcul du spectre de la marée par analyse harmonique.

Chaque composant à une période, une amplitude et une phase.

Les harmoniques sont généralement répartis en quatre groupes

Les harmoniques semi-diurnes de périodes voisines de 12h.

Les harmoniques diurnes de périodes voisines de 24h.

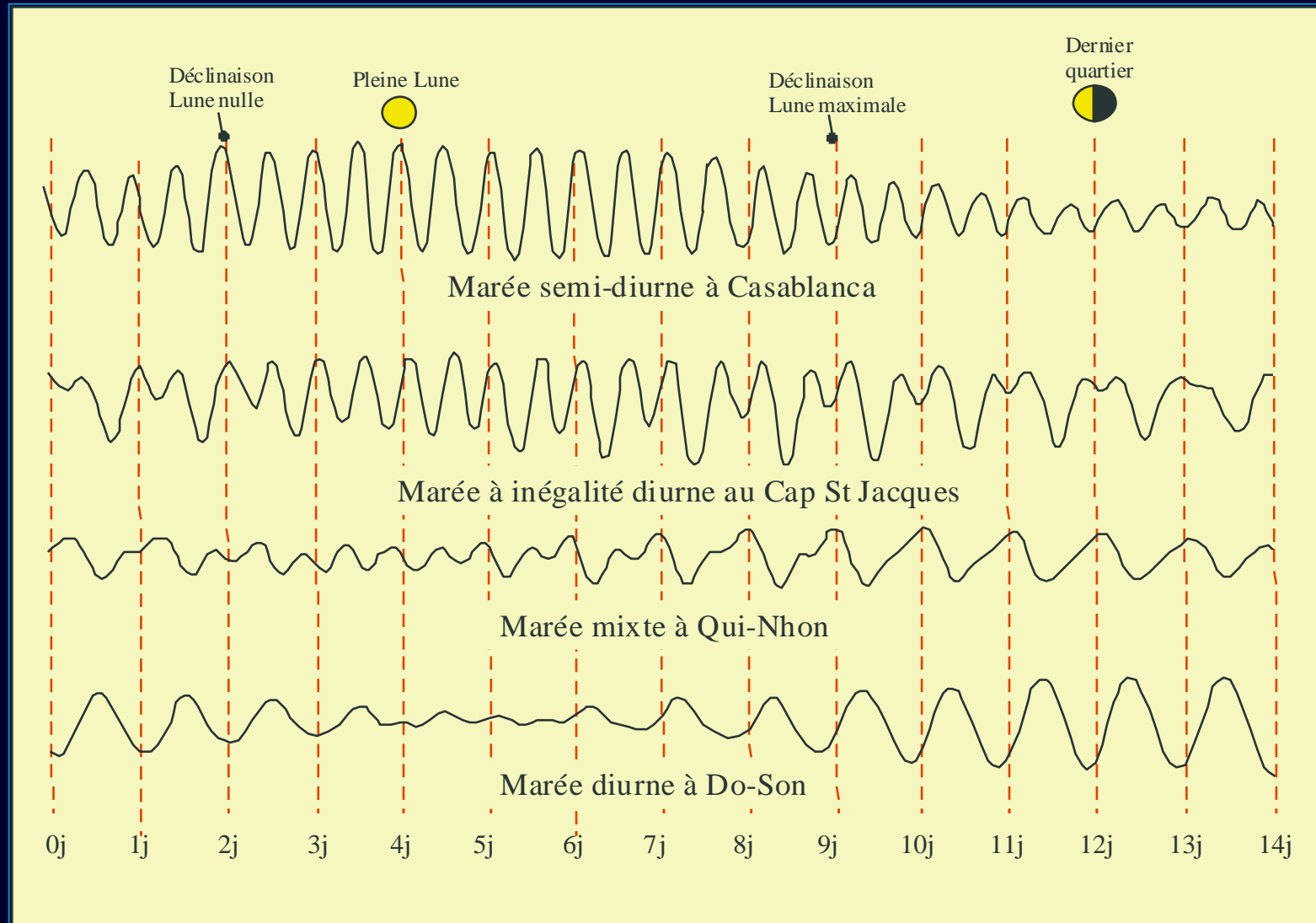
Les harmoniques de longues périodes : bimensuelle, mensuelle, semestrielle, annuelle...

Les harmoniques supérieures et composées de périodes quart-diurne, tiers-diurne

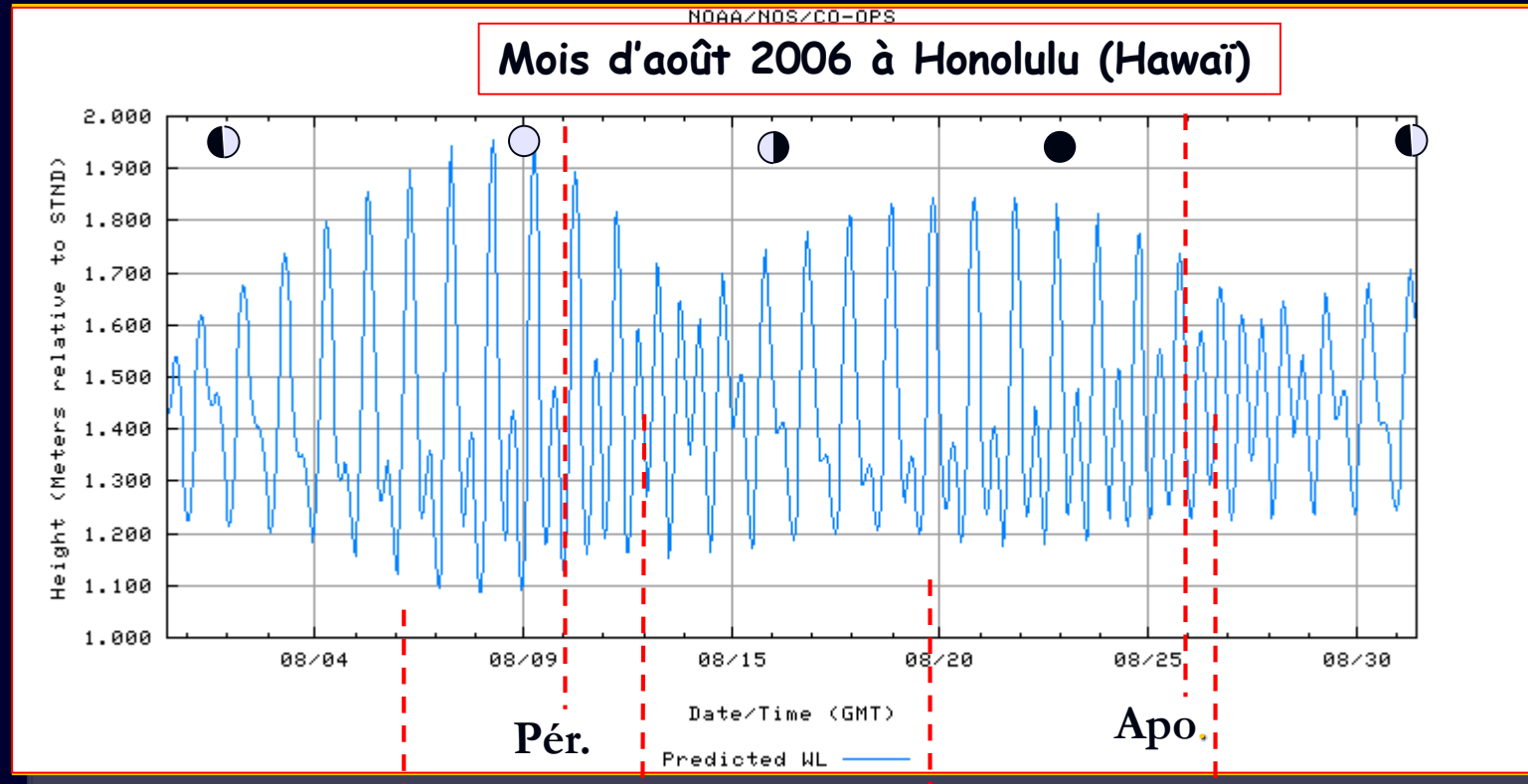


3 – Pour Brest : 143 composants harmoniques.

Si la marée principale est semi-diurne,  
il y a aussi trois autres types de marées.



# La marée semi-diurne à inégalité diurne



Déclinaison minimale  
 $-28^{\circ} 35,6'$

Déclinaison nulle

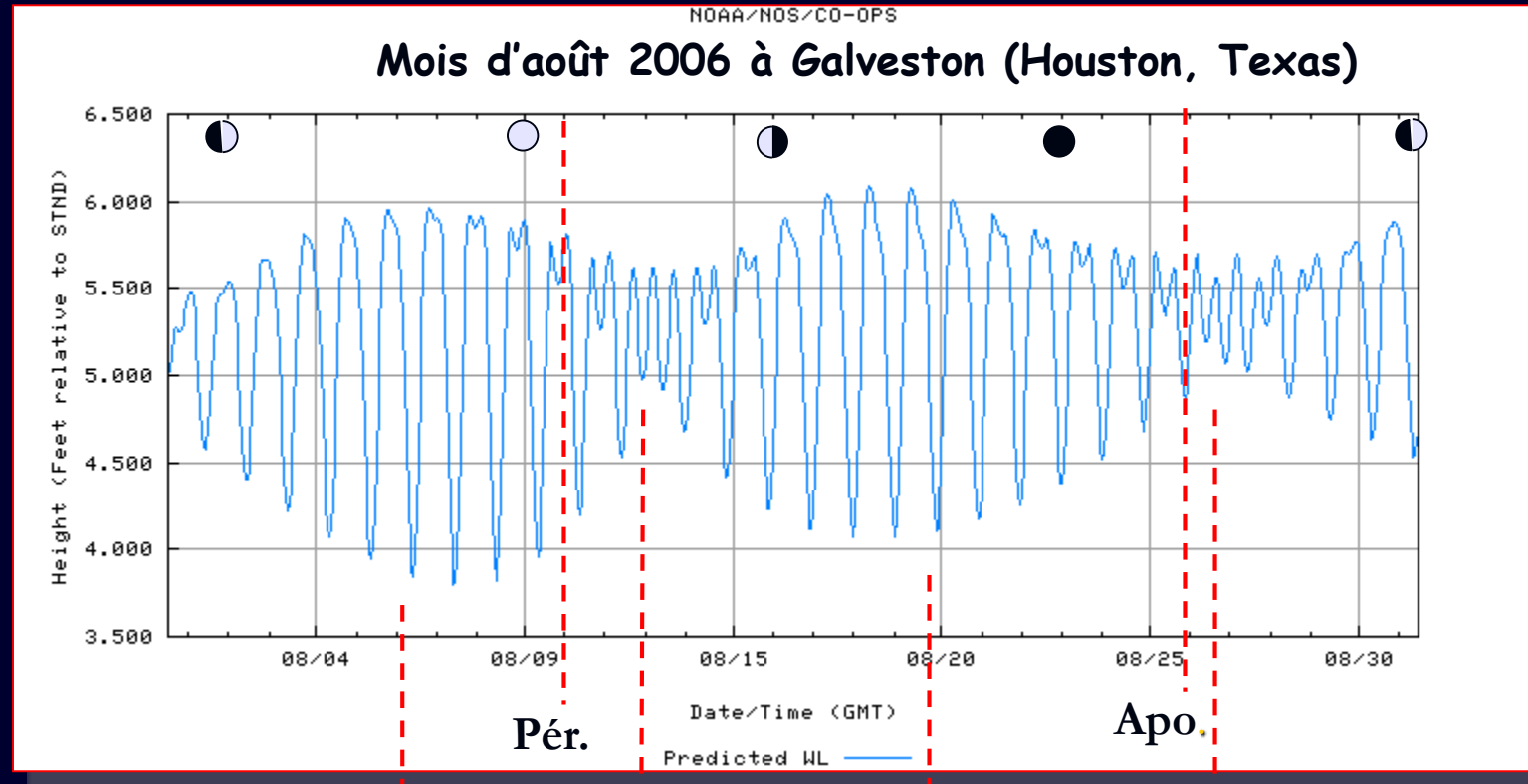
Déclinaison maximale :  
 $+28^{\circ} 38,6'$

Déclinaison nulle

**La marée semi-diurne à inégalité diurne** : les harmoniques diurnes ne sont plus négligeables devant les harmoniques semi-diurnes. On a encore deux pleines mers et deux basses mers par jour, mais les hauteurs de ces marées peuvent être très différentes (en BM ou en PM) : Cap St Jacques, océan <sup>44</sup>Indien et certaines parties du Pacifique.

\*

# La marée mixte



Déclinaison minimale  
 $-28^{\circ} 35,6'$

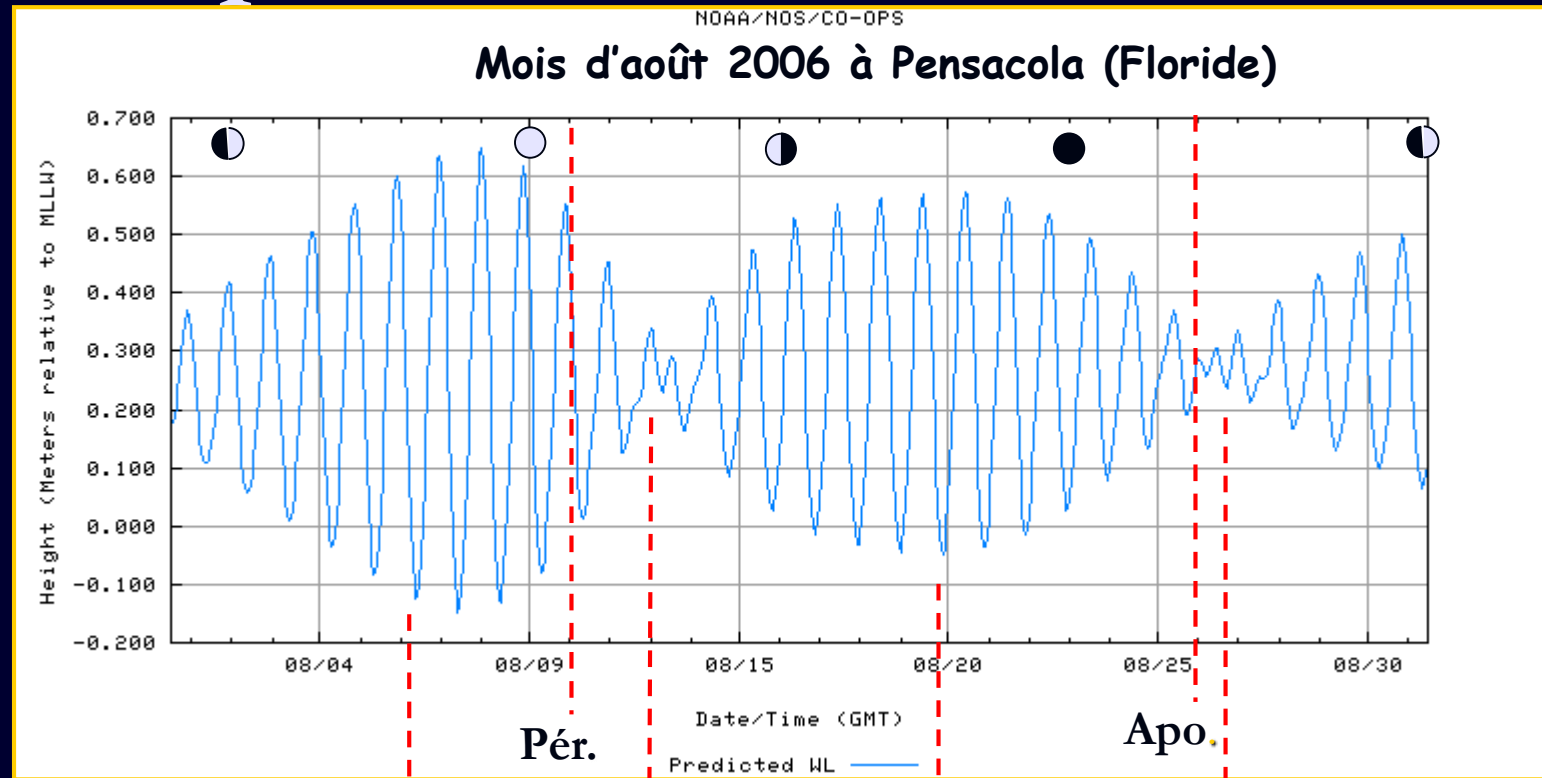
Déclinaison nulle

Déclinaison maximale :  
 $+28^{\circ} 38,6'$

Déclinaison nulle

**La marée mixte** : les harmoniques diurnes prédominent, mais les harmoniques semi-diurnes apparaissent en fonction de la valeur de la déclinaison de la Lune. On a ainsi deux marées par jour lorsque la Lune est proche de l'équateur (décl. = 0) et une seule marée par jour lorsque la déclinaison de la Lune est proche de son maximum (Indonésie, Viêtnam, Antilles, côtes de Sibérie et Alaska).

# La plus rare : la marée diurne



Déclinaison minimale  
 $-28^{\circ} 35,6'$

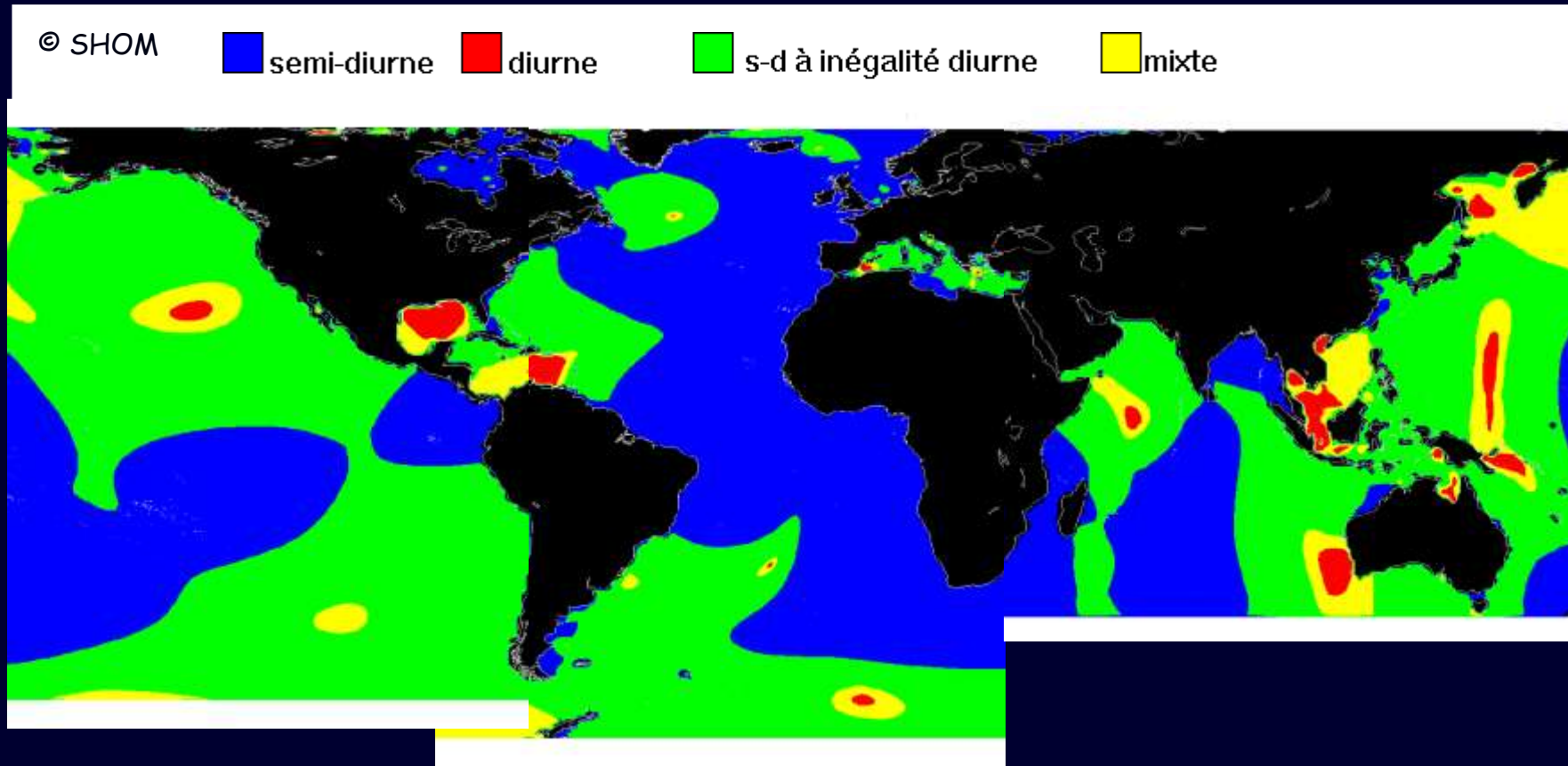
Déclinaison nulle

Déclinaison maximale :  
 $+28^{\circ} 38,6'$

Déclinaison nulle

**Les marées diurnes** : les harmoniques semi-diurnes sont négligeables devant les harmoniques diurnes, on n'a alors qu'une marée par jour (océan Pacifique et côtes de Sibérie orientale, golfe du Tonkin). Marnage maximal lorsque la Lune est dans les tropiques (déclinaisons extrêmes) « marée tropique », minimal lorsque la Lune est dans l'équateur.

# Les différents types de marée.



# En conclusion

- Les marées sont des phénomènes complexes que l'on prédit grâce aux ordinateurs puissants
- Les prédictions ne concernent que les ports, le découpage des côtes ne permet pas les prédictions locales.