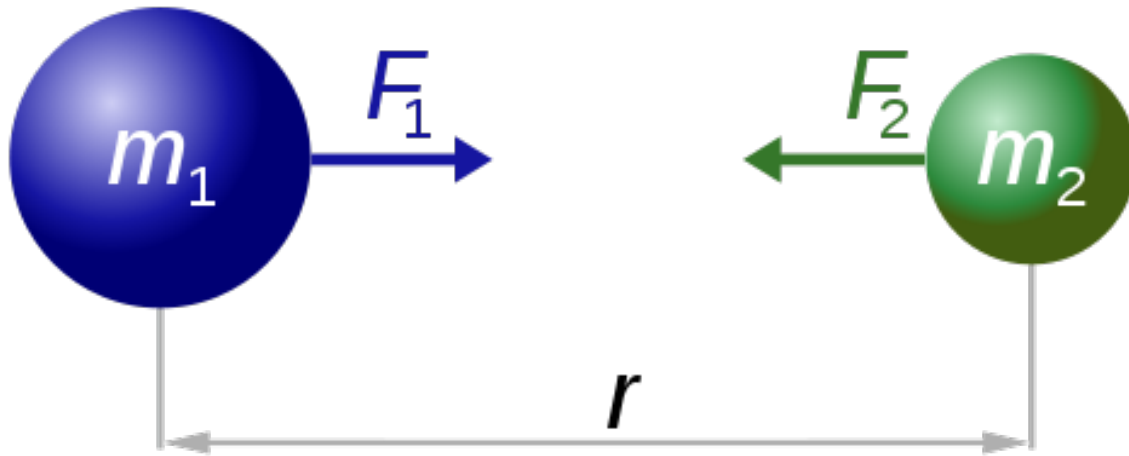


# Les marées

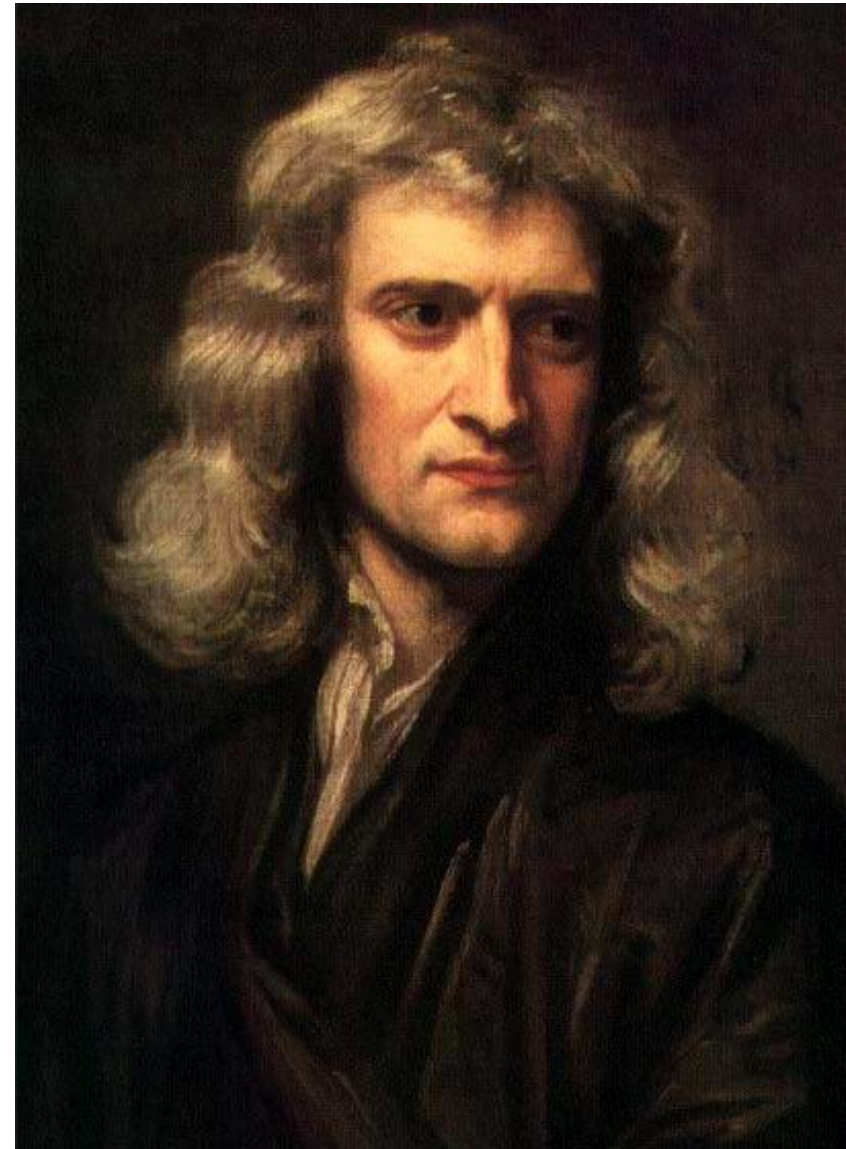
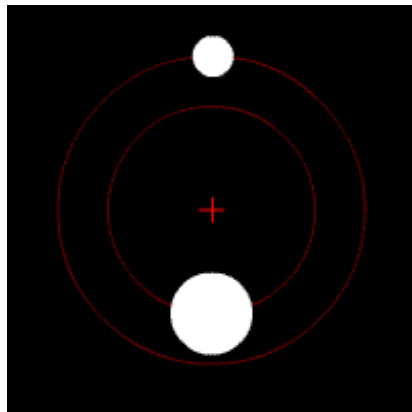




# Gravitation

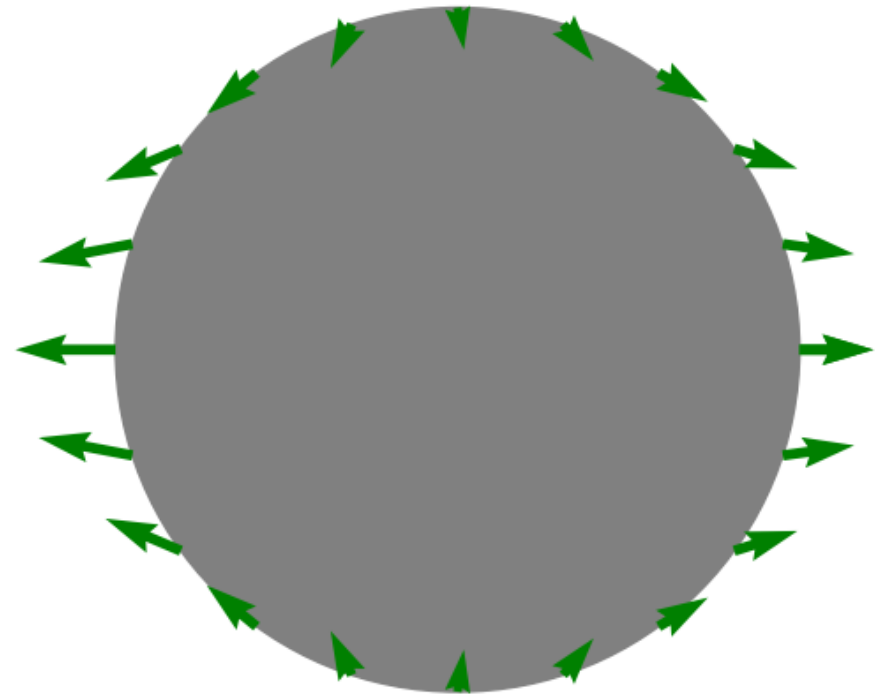
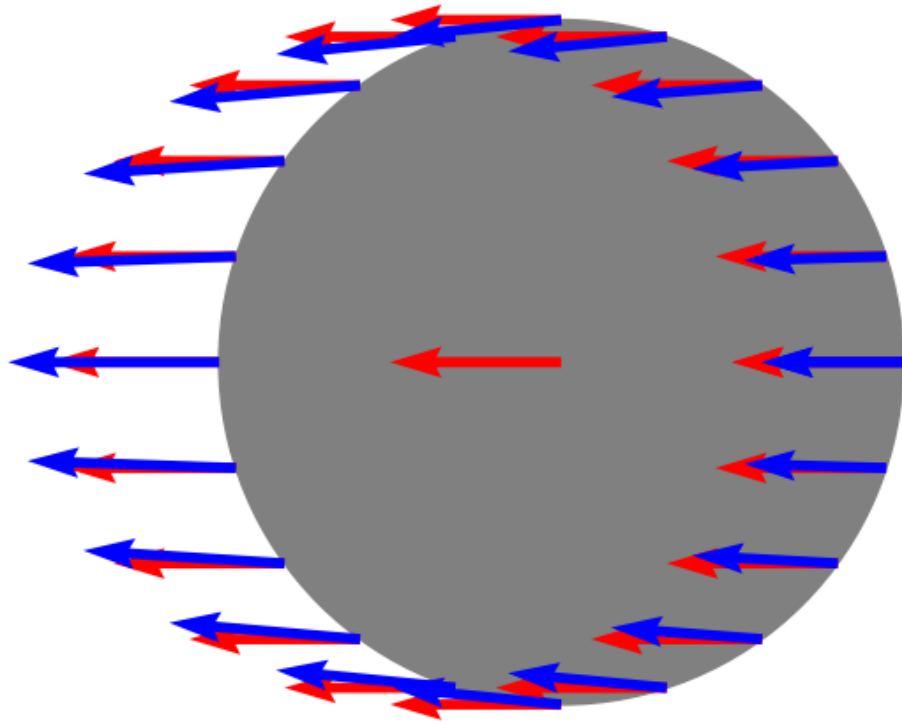


$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$



1643-1727

Différences de gravité => déformation

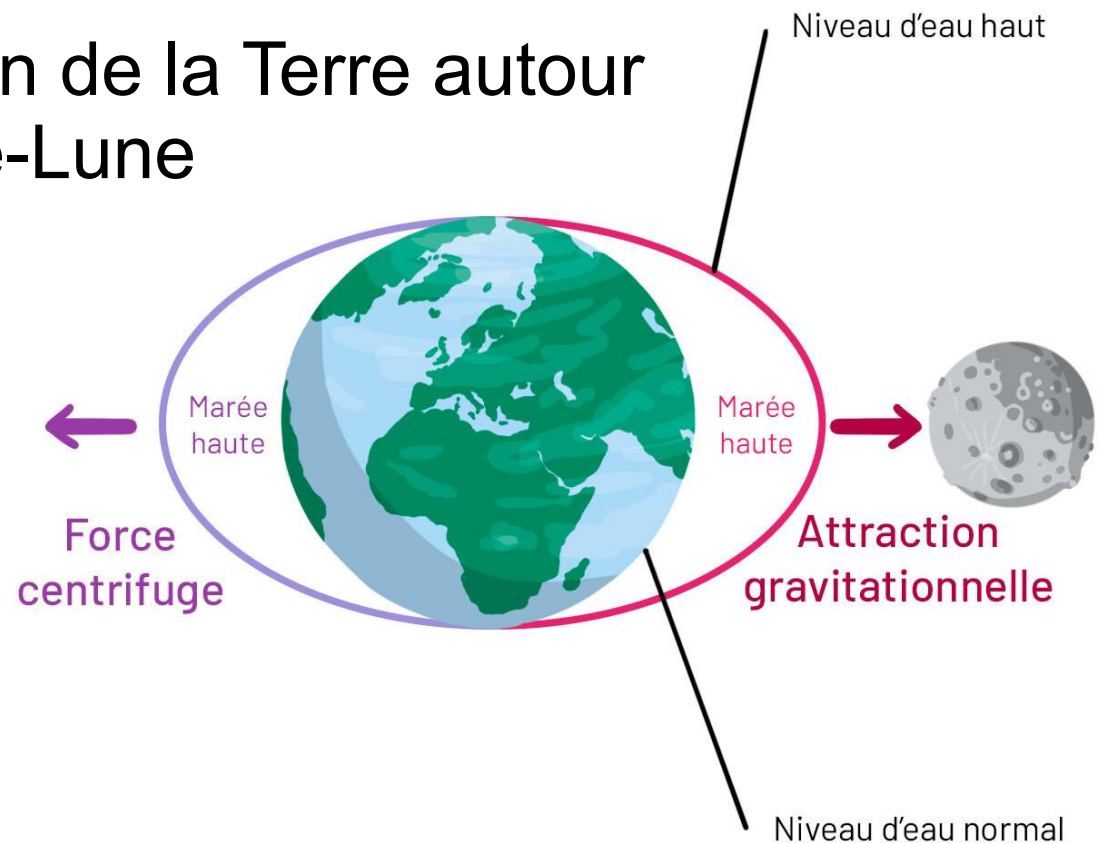


# Erreur fréquente

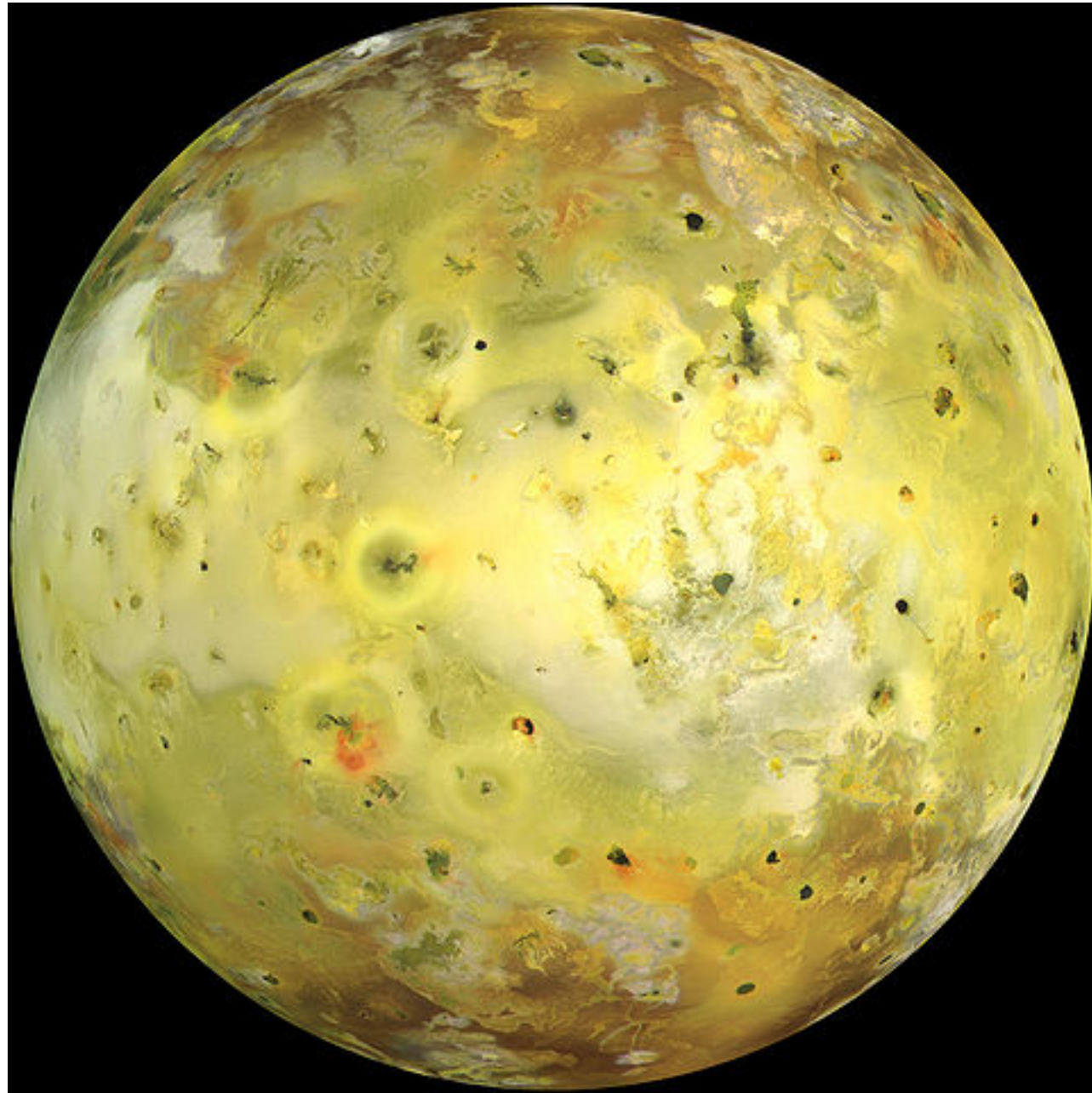
- Le bourrelet côté Lune est expliqué par la différence de gravité
- Mais l'autre par une « force centrifuge »
  - Créée par la rotation de la Terre autour du barycentre Terre-Lune

**FAUX**

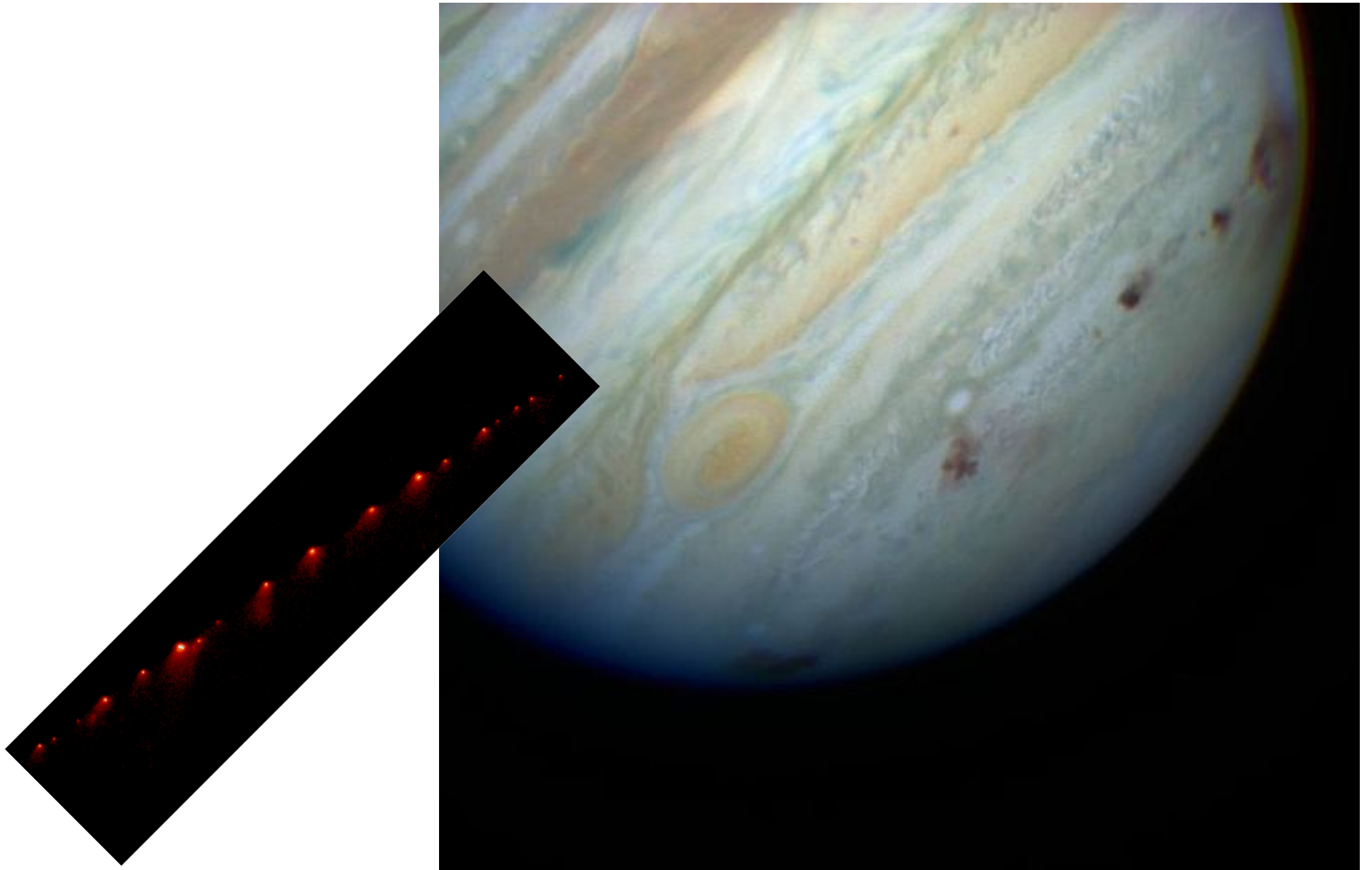
[https://newsletters.artips.fr/Sciencetips/Lune\\_Marees/](https://newsletters.artips.fr/Sciencetips/Lune_Marees/)



# Io, satellite de Jupiter



# Comète Shoemaker-Levy (1994)

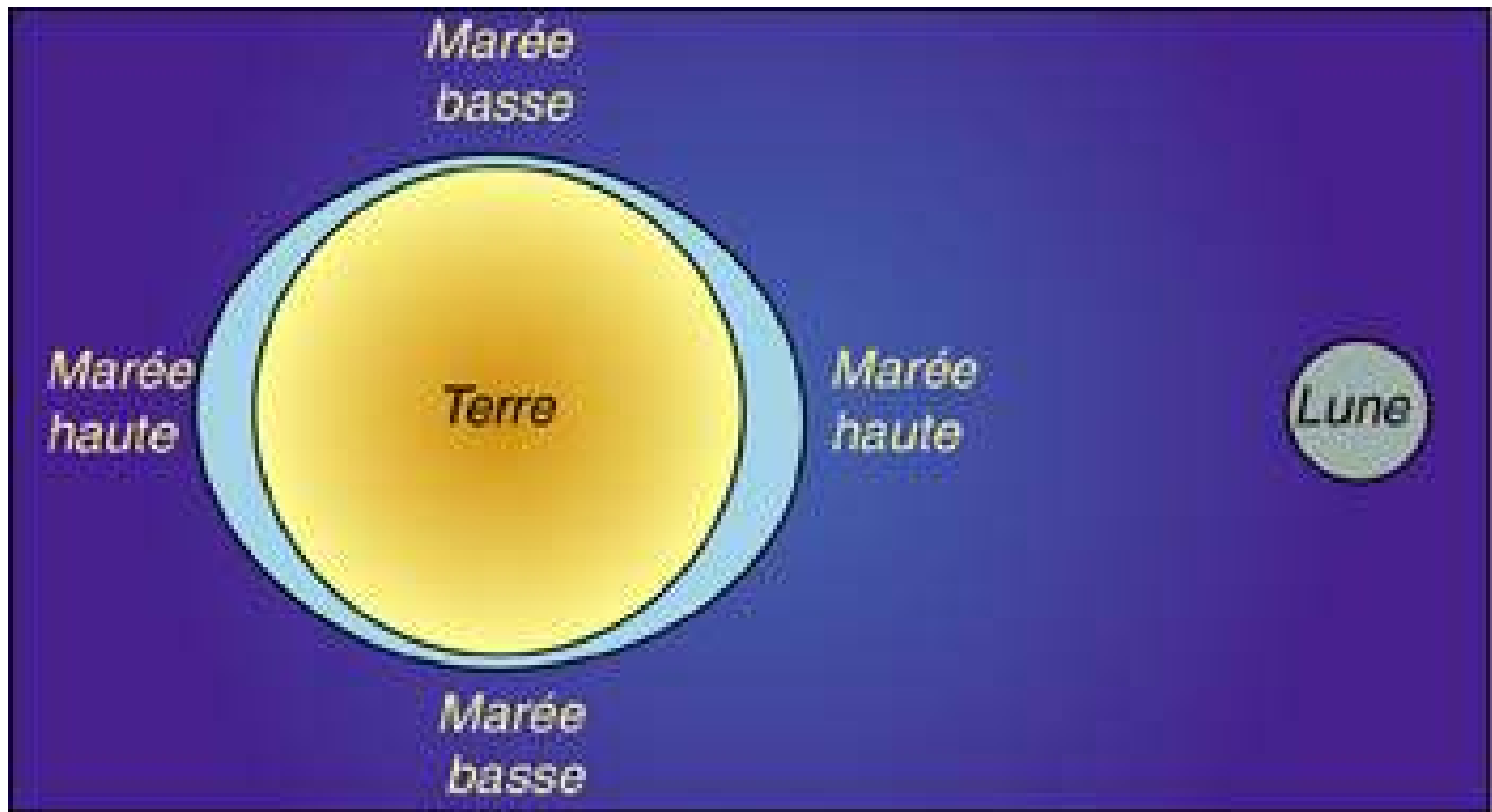
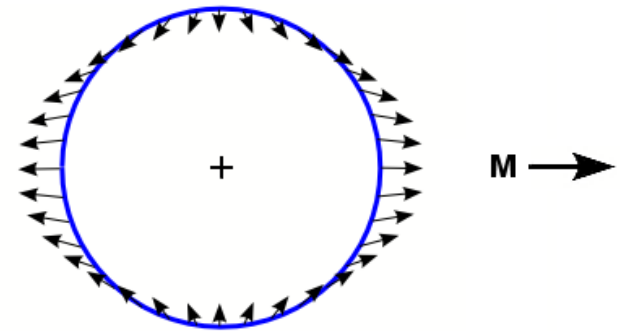


# Satellite Cerise (1995)

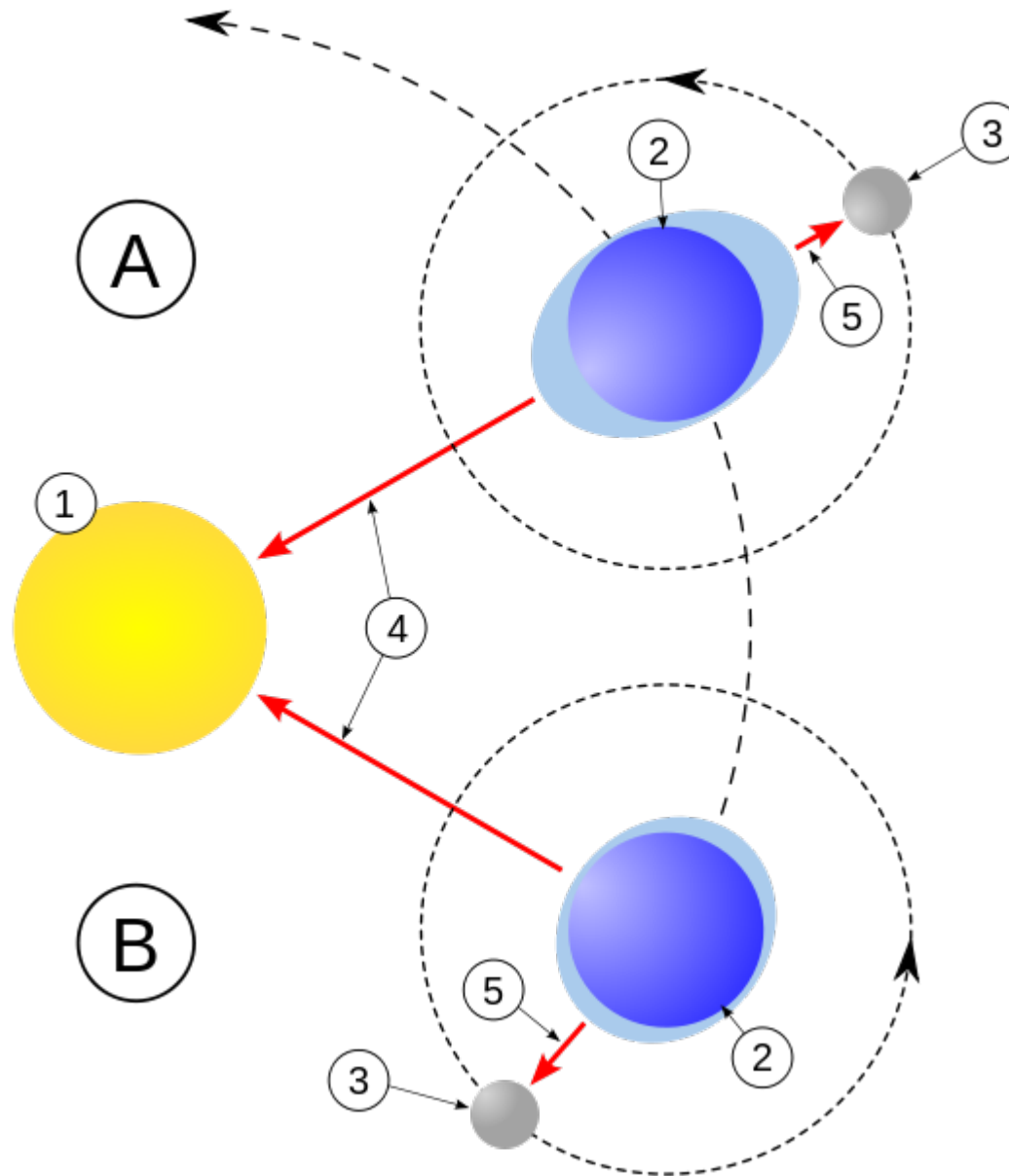




# Sur Terre : effet de la Lune

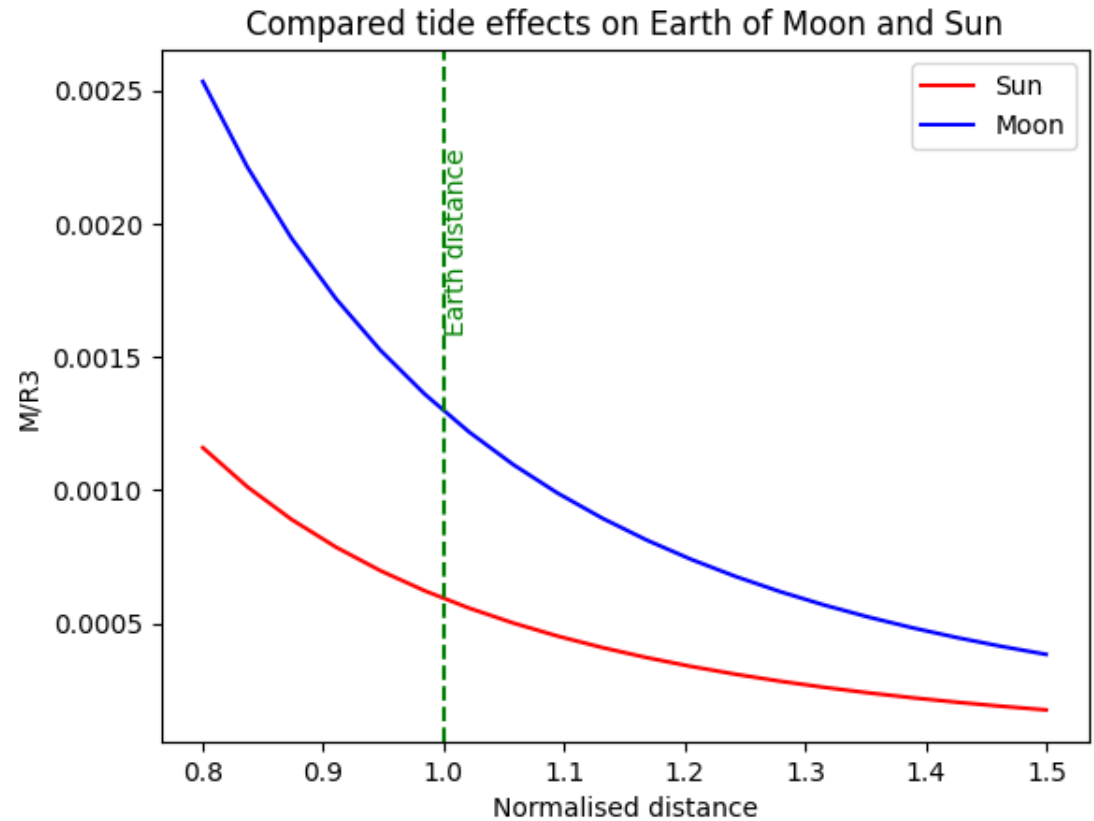


# Effet du Soleil : vives-eaux et mortes-eaux



# Qui gagne ?

- Gravité :  $M/R^2$
- Différentiel de gravité :  $M/R^3$
- Lune :  
 $7.3e22/384000^3$   
 $= 1\ 280\ 000$
- Soleil :  $2e30/(150e6)^3$   
 $= 600\ 000$



lever du soleil : 07h54

Premier quartier de lune

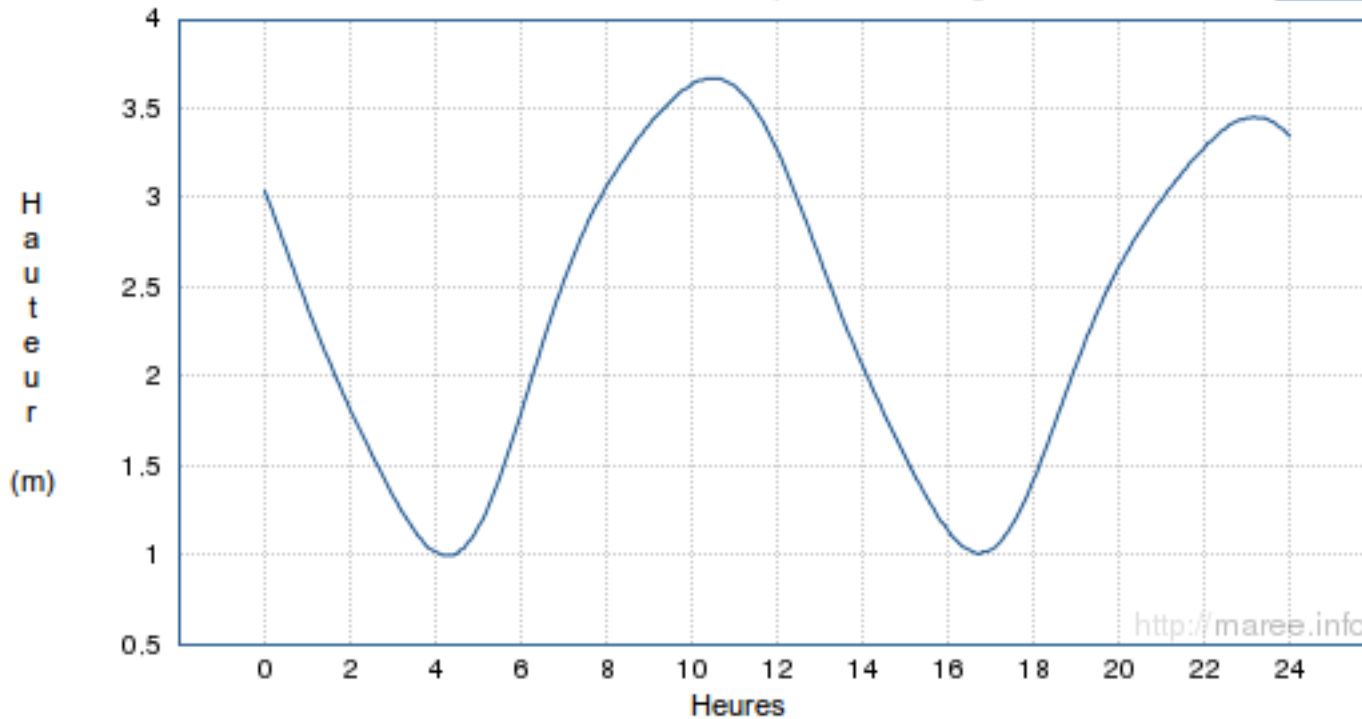
Coucher du soleil : 20h01

	Coeff.	Heure	Durée de la marée	Heure de marée	Hauteur	Marnage	1/12	1/4	1/2
BM PM	65	04h15 10h29	06h14	01h02	1,00m	2,65m	0,22m	0,66m	1,33m
BM PM	58	16h44 23h10	06h15	01h02	3,65m	2,65m	0,22m	0,66m	1,33m
			06h26	01h04	1,00m	2,45m	0,20m	0,61m	1,23m
					3,45m				

Date	Heure	Hauteur	Coeff.	
Ven. 21	03h26	0,75m		
	09h32	3,85m	81	
	15h48	0,75m		
Sam. 22	22h05	3,70m	73	
	04h15	1,00m		
	10h29	3,65m	65	
Sam. 22	16h44	1,00m		
	23h10	3,45m	58	
	Dim. 23	05h13	1,25m	
11h39		3,50m	51	
17h51		1,20m		
Lun. 24	00h28	3,30m	47	
	06h25	1,40m		
	13h00	3,45m	46	
Lun. 24	19h13	1,25m		
	Mar. 25	01h50	3,35m	48
		07h50	1,35m	
14h19		3,55m	52	
Mar. 25	20h38	1,15m		
	Mer. 26	03h01	3,50m	57
		09h05	1,15m	
15h24		3,75m	64	

Horaires des marées à Cap Ferret - marégramme

Options



Vérifions avec Stellarium...

lever du soleil : 07h54

Premier quartier de lune

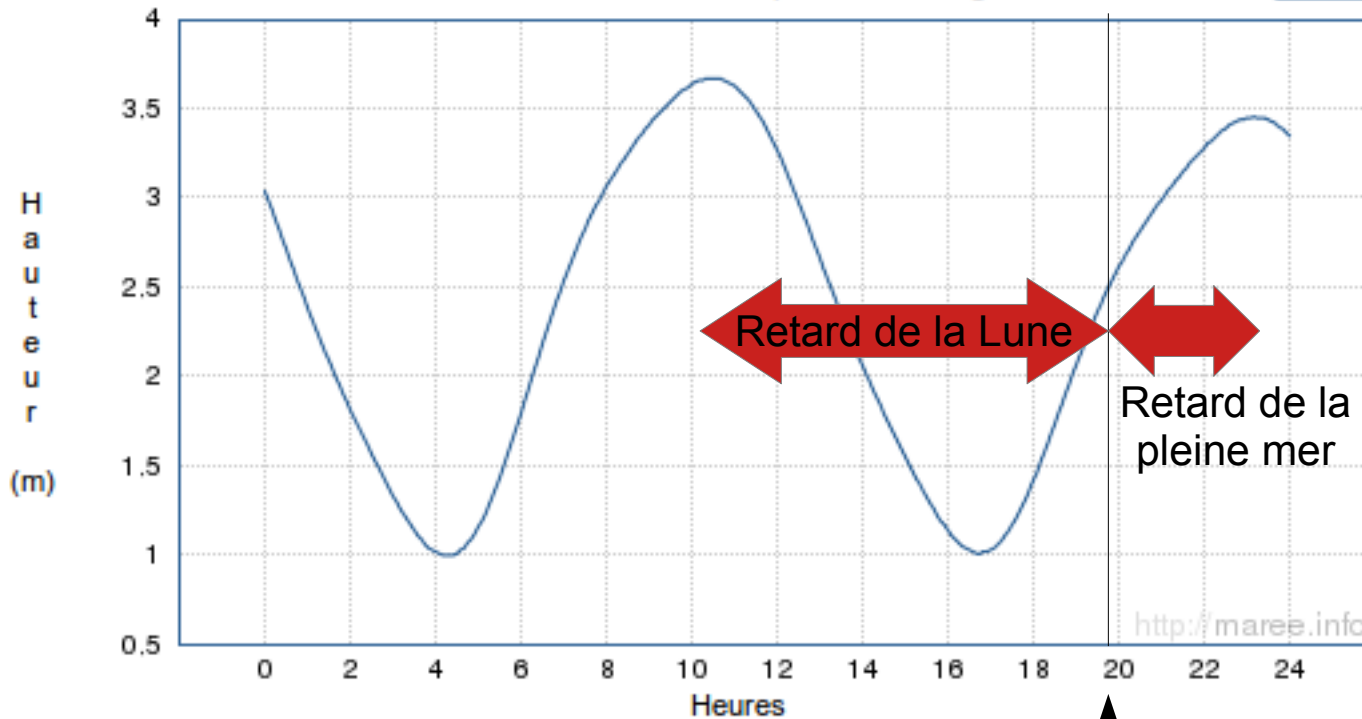
Coucher du soleil : 20h01

	Coeff.	Heure	Durée de la marée	Heure de marée	Hauteur	Marnage	1/12	1/4	1/2
BM PM	65	04h15 10h29	06h14 06h15	01h02 01h02	1,00m 3,65m	2,65m	0,22m	0,66m	1,33m
BM PM	58	16h44 23h10	06h15 06h26	01h02 01h04	1,00m 3,45m	2,65m 2,45m	0,22m 0,20m	0,66m 0,61m	1,33m 1,23m

Date	Heure	Hauteur	Coeff.
Ven. 21	03h26	0,75m	
	09h32	3,85m	81
	15h48	0,75m	
Sam. 22	22h05	3,70m	73
	04h15	1,00m	
	10h29	3,65m	65
Dim. 23	16h44	1,00m	
	23h10	3,45m	58
	05h13	1,25m	
Lun. 24	11h39	3,50m	51
	17h51	1,20m	
	00h28	3,30m	47
Mar. 25	06h25	1,40m	
	13h00	3,45m	46
	19h13	1,25m	
Mer. 26	01h50	3,35m	48
	07h50	1,35m	
	14h19	3,55m	52
Jeu. 27	20h38	1,15m	
	03h01	3,50m	57
	09h05	1,15m	
Ven. 28	15h24	3,75m	64

Horaires des marées à Cap Ferret - marégramme

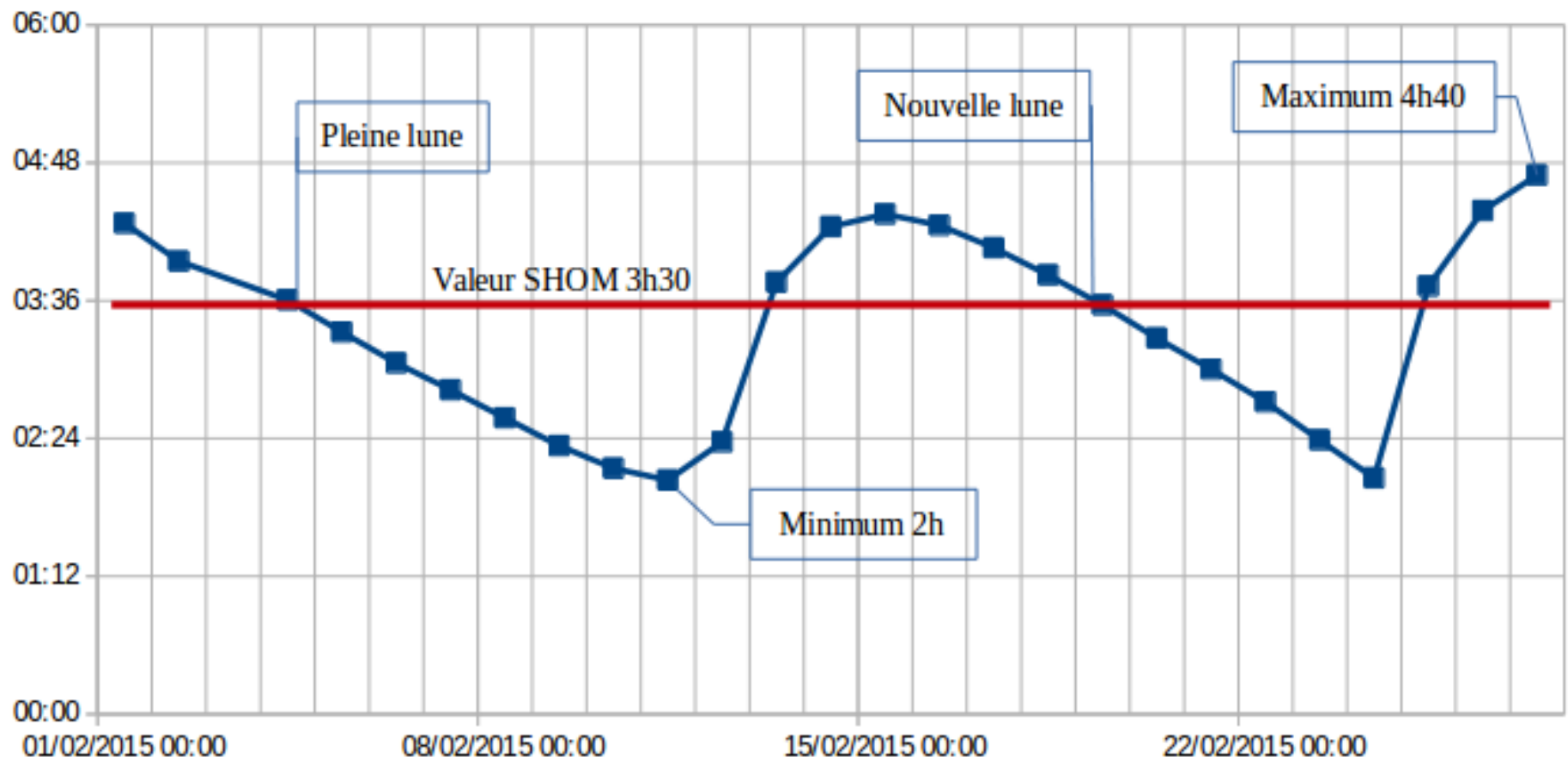
Options

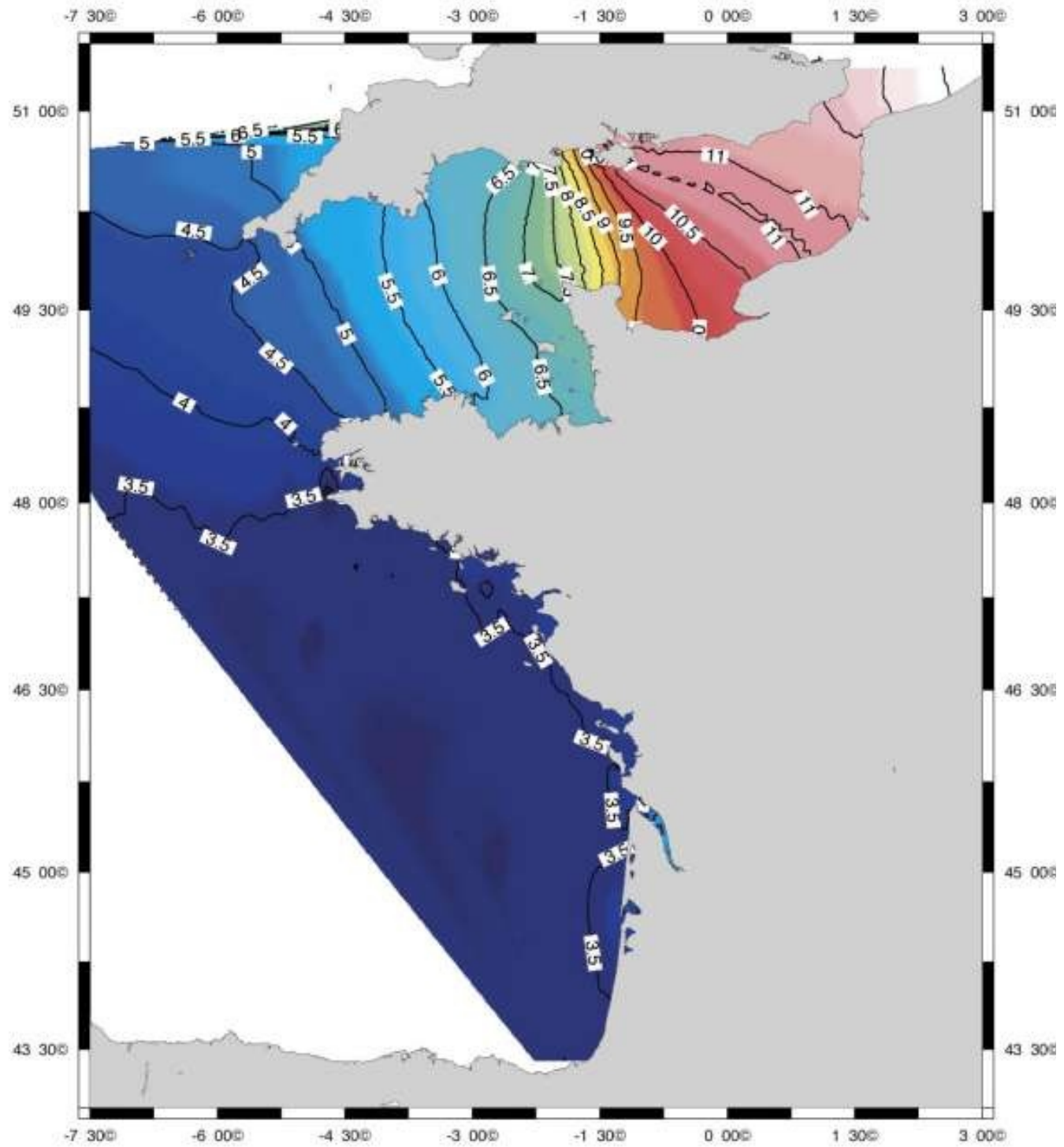


Lune au plus haut (au méridien)

# Établissement du port (lunitidal interval)

Retard de la pleine mer par rapport au dernier passage de la lune au méridien (heures)  
Port de La Rochelle





# Montres à calcul de marée

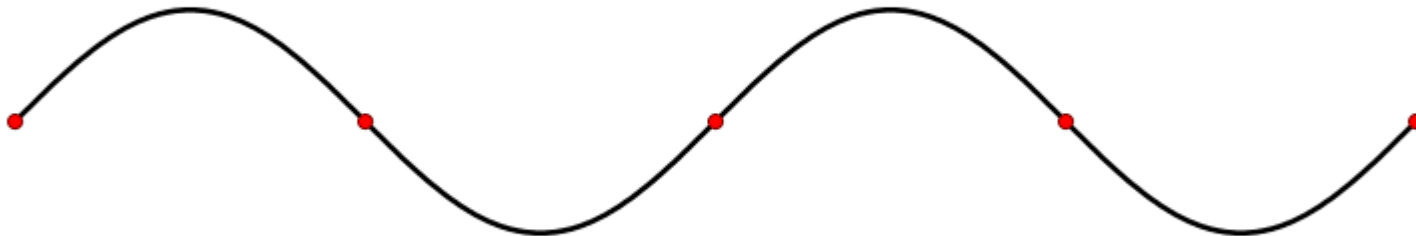
- Lieu => établissement du port (valeur fixe)
- Calendrier lunaire + longitude => heure de passage au méridien
- Heure de passage au méridien + établissement du port => heure de marée (à 1h30 près environ)

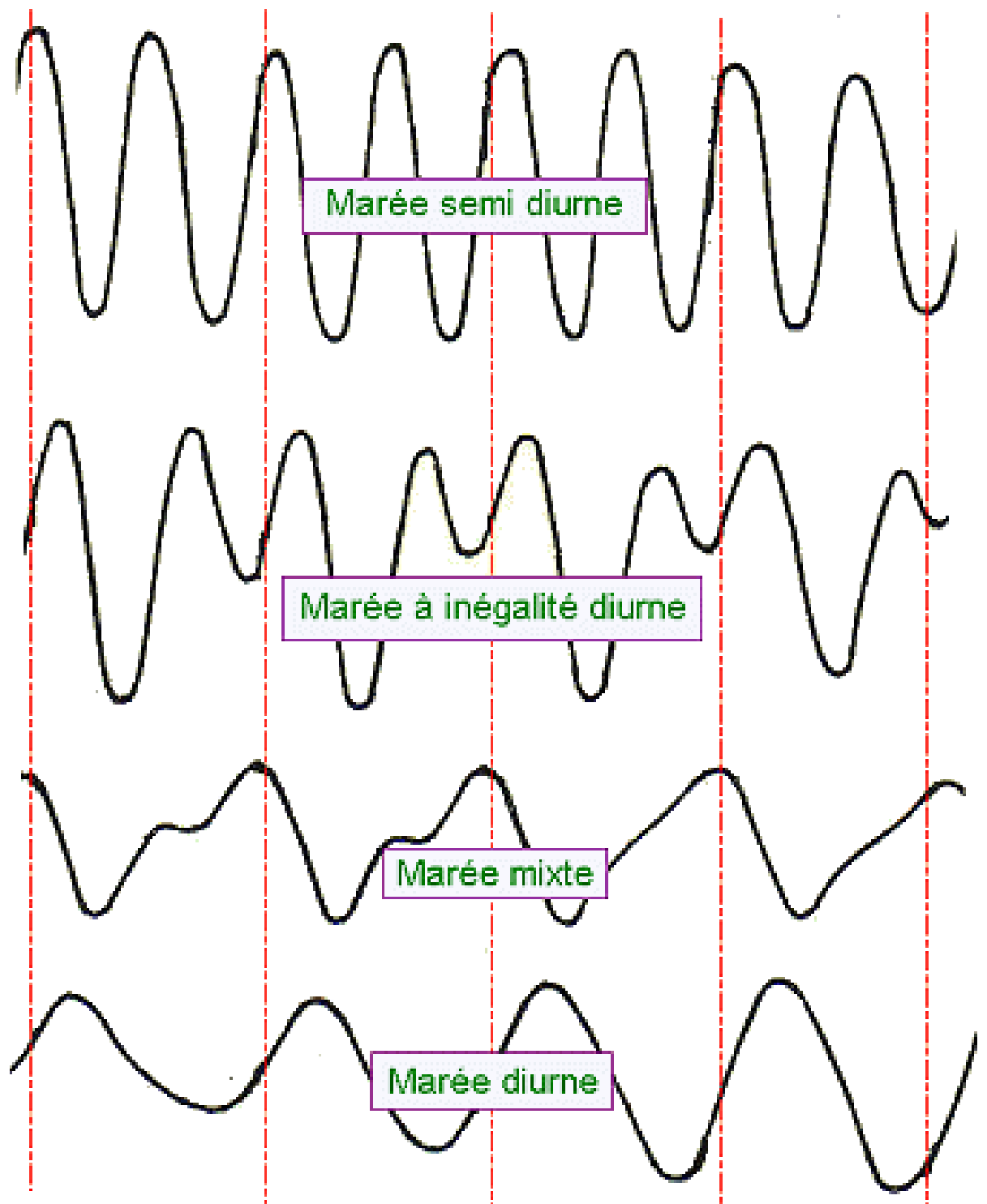


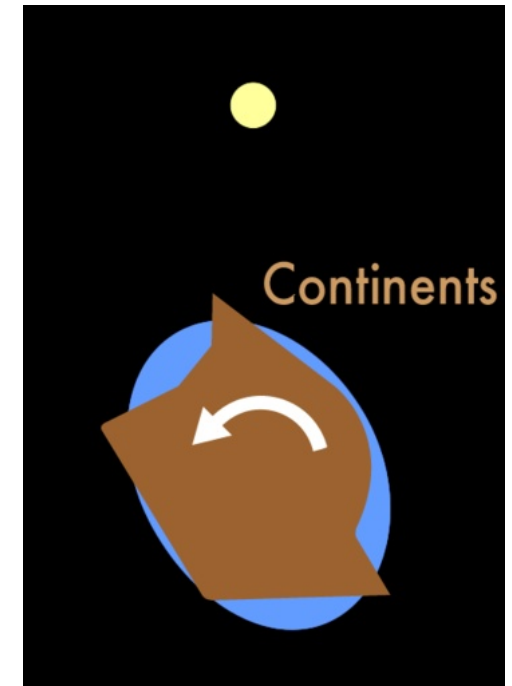
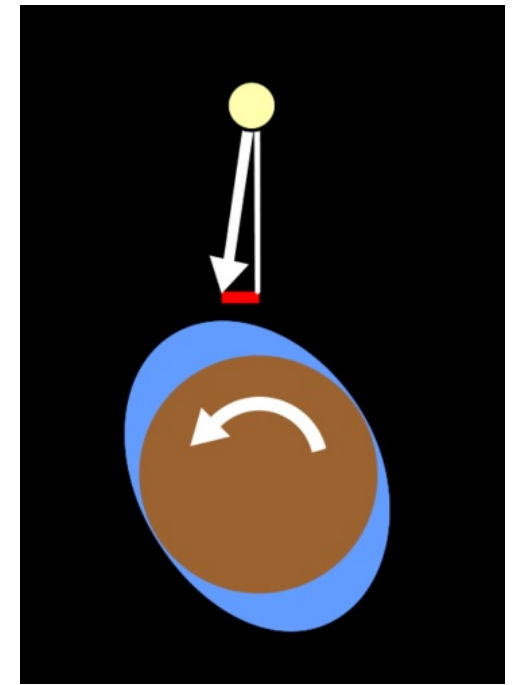
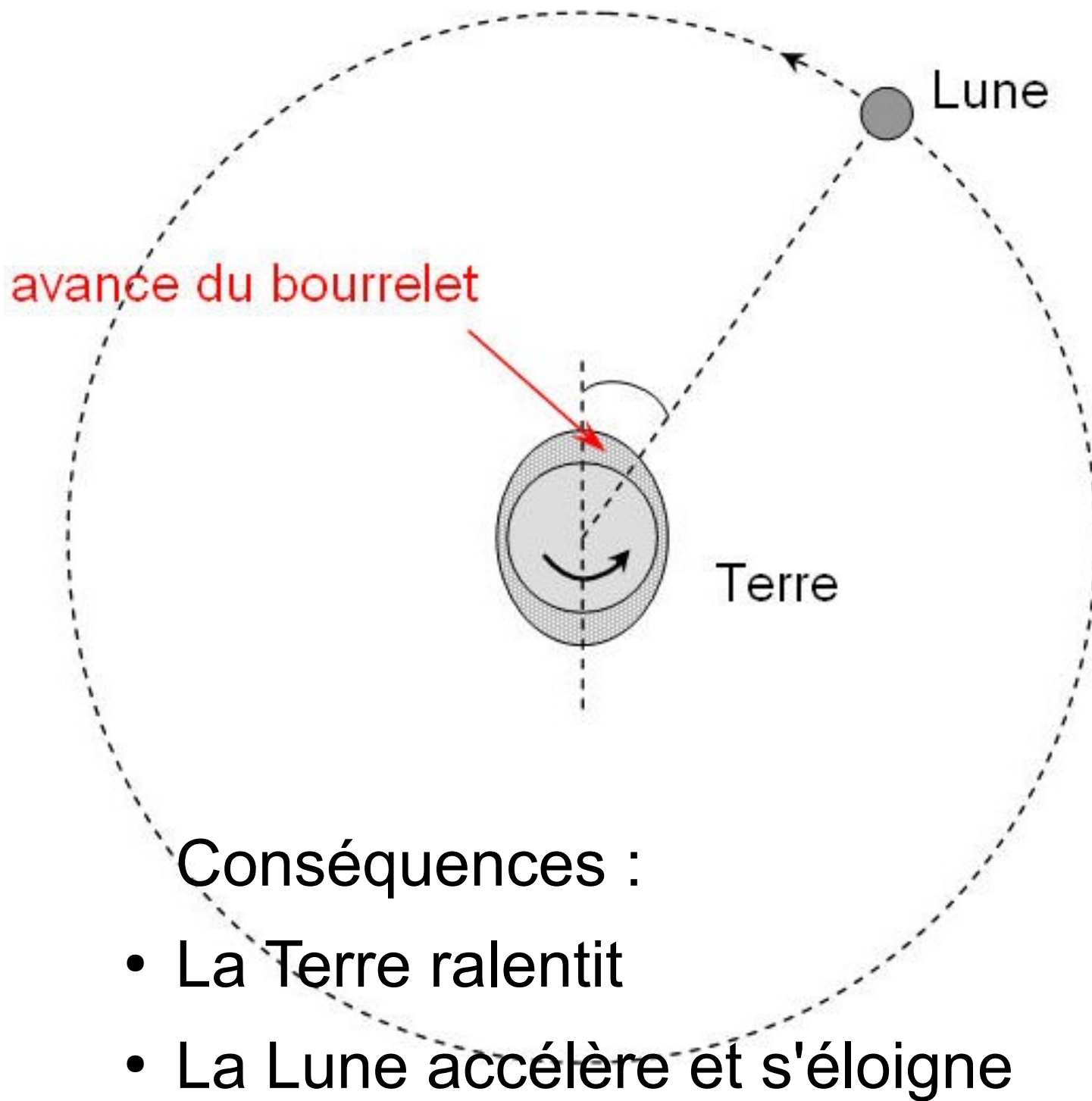


# Phénomène vibratoire

- La marée océanique doit plutôt être vue comme un phénomène vibratoire avec création d'**ondes stationnaires**
- Avec réponse déphasée
- Et des résonances / ou absence d'effet selon le lieu







### Conséquences :

- La Terre ralentit
- La Lune accélère et s'éloigne

# Généralisation

- Soit un corps B en orbite autour d'un corps A
- Période de rotation de A sur lui-même =  $T_A$
- Période de révolution de B :  $T_B$
- Si B tourne plus lentement que A ( $T_B > T_A$ )
  - B s'éloigne et la rotation de A ralentit
- Si B tourne plus vite que A ( $T_B < T_A$ )
  - B tombe vers A, et la rotation de A accélère
- **Limite : orbite géostationnaire**
  - Demi-grand axe tel que période orbitale =  $T_A$
- Exemples : Lune s'éloigne ( $384000 > 42000$ ), Phobos tombe ( $9000 < 20000$ ), Deimos s'éloigne ( $23400 > 20000$ )...

# Et près d'un trou noir ?

- Force de marée entre tête et corps humain ?
  - à la surface de la terre :  $10^{-5}$  N
  - à la surface du soleil :  $2 \cdot 10^{-6}$  N
  - à 1000km d'un trou noir stellaire : 790 N (équivalent de notre poids sur terre)
  - À 15 km d'un trou noir de la masse de la Terre 700 N
  - Horizon d'un trou noir supermassif (Sagittarius A\* 4M masses solaires) :  $3 \cdot 10^{-5}$  N
    - on peut passer l'horizon sans presque aucune gravité différentielle !

## Autres conséquences :

- Marées terrestres : la croûte terrestre se déforme
- Marées atmosphériques : variations de pression
- Mascarets
  
- Marées sur la Lune  
=> stabilisée par gravité



# Conclusion

- Le phénomène de marée n'est pas que la mer qui monte et descend
- Il est généralisable à tout système à gravité centrale
- Donc tout l'univers...

# Résumé

- Gravitation
- Différences de gravité
- Déformations
- Marées
- Conséquences

Merci de votre attention