FORCE GENERATRICE DE LA MAREE

Les riverains du bord de la mer ont, de tout temps, été intrigués par le mouvement oscillatoire du niveau des eaux, les générations successives constatant au cours des âges, que les mouvements les plus important des masses d'eau avaient toujours lieu aux mêmes périodes ; périodes qui suivaient de peu l'apparition de la lune dans sa plénitude, ou au contraire qui suivaient, avec le même décalage, sa disparition de la vue des hommes.
Ce n'est qu'au 17ème siècle que le savant anglais NEWTON découvrit les lois de la gravitation universelle.
Ces lois permirent d'établir les premières bases des théories actuelles selon lesquelles les marées sont une conséquence des forces attractives auxquelles sont soumis, sous l'influence des astres, le centre de la terre et les molécules d'eau de la mer.

La loi élaborée par NEWTON s'énonce ainsi :

<u>"Les corps dans l'espace s'attirent en raison directe de leurs masses et en raison inverse du carré de leur distance."</u>

Ce qui se traduit par la formule :

$$F = \frac{Kmm'}{d^2}$$

m et *m'* sont les masses des corps en présence
d : la distance qui les sépare
K : un coefficient

<u>Succession des P.M. et B.M.</u>

Il n'y a que deux astres susceptibles d'avoir une influence aussi importante sur les molécules d'eau de notre planète, ce sont :

Le SOLEIL, en raison de sa masse (332 946 fois celle de la terre).
La LUNE, en raison de sa faible distance (60 rayons terrestres ou 384 400 km).

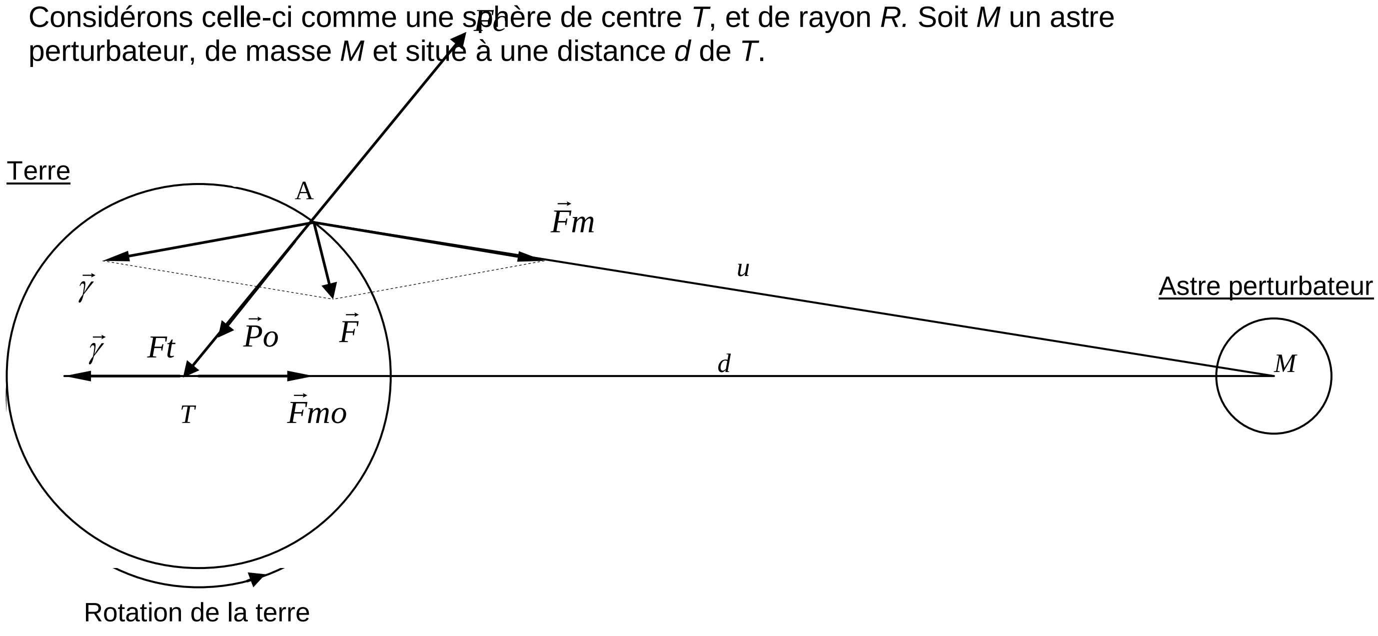
En fait, à cause de sa faible distance, c'est la lune qui a la part la plus importante dans le déroulement des marées ; son action est 2,25 fois plus forte que celle du soleil.

La périodicité de la marée doit donc suivre celle du "jour lunaire" qui est le temps écoulé entre deux passages successifs de la lune au méridien d'un lieu et qui a pour valeur 24h50min. Nous devrions donc avoir une pleine mer dans un cycle de 24h50min, mais nous allons voir que la réalité n'est pas aussi simple.

1. FORCE GENERATRICE DE LA MAREE

Si la terre tournant autour de son axe était isolée dans l'espace, chacune de ses particules prendrait une position d'équilibre, et cet équilibre persisterait indéfiniment. Il n'y aurait pas de marée.

Recherchons comment l'existence d'un astre, au voisinage de la terre, peut perturber cet équilibre et déterminer la force qui sollicite les particules superficielles de la terre. Considérons celle-ci comme une sphère de centre *T*, et de rayon *R.* Soit *M* un astre perturbateur, de masse *M* et situé à une distance *d* de *T*.



Considérons à la surface de la terre, une molécule *A*, de masse unité, et située à une distance *u* de *M*.

Quelles sont les forces qui agissent sur *A* ?

1) $\vec{Fm}$: Force d'attraction de l'astre *M*. Cette force est dirigée de *A* vers *M* et vaut :

$$Fm = K\frac{1\times M}{u^2} = \frac{KM}{u^2}$$ (1 étant la masse "unité" de A)

Si cette force était seule, la molécule *A* quitterait la terre pour rejoindre l'astre *M*.

2) $\vec{Ft}$: Force d'attraction terrestre. Dirigée de A vers le centre de la terre.

3) $\vec{Fc}$: Force centrifuge (d'inertie), due à la rotation de la terre autour de son axe. Cette force est opposée en direction à $\vec{Ft}$.

La combinaison de $\vec{Ft}$ et de $\vec{Fc}$ donne la pesanteur $\vec{Po}$ dirigée de *A* vers *T*. C'est elle qui empêche *A* de quitter la surface de la terre.

$$\vec{Po} = \vec{Ft} + \vec{Fc}$$

4) $\vec{\gamma}$: <u>Force d'inertie</u> due à la <u>translation</u> de la terre sur son orbite. Cette force s'exerce en tous les points de la terre. Elle est égale, en direction et en grandeur, à celle qui s'exerce au centre de la terre, *T*, sur une masse unité.
Or au centre de la terre, la masse unité *T* subit déjà de la part de *M*, une attraction égale à :

$Fmo = \frac{kM}{d^2}$, dirigée de *T* vers *M.*

La force de translation $\vec{\gamma}$ est donc opposée en direction et en grandeur à cette force $\vec{F}mo$, sinon il n'y aurait pas équilibre en *T*, et la terre ne resterait pas sur son orbite. Donc en A s'exerce une force $\vec{\gamma}$, parallèle à la direction *MT* et de grandeur :

$$\gamma = Fmo = \frac{KM}{d^2}$$

Si l'on considère en A, les deux forces $\vec{\gamma}$ et $\vec{F}m$, nous constatons qu'elles ont des valeurs différentes, tout en s'opposant sensiblement en direction.

$$Fm = \frac{KM}{u^2} \qquad \text{et} \qquad \gamma = \frac{KM}{d^2}$$

Sauf position très particulière de A, $u \neq d$ et donc les forces Fmo et Fm, n'étant pas égales, admettent une résultante qui est $\vec{F}$; "force génératrice de la marée", que nous pouvons évaluer approximativement :

$$\vec{F} = \vec{F}m + \vec{\gamma} = \vec{F}m - \vec{F}mo$$

soit $F = \frac{KM}{u^2} - \frac{KM}{d^2}$

en première approximation posons, comme valeur minimale de u :

$u = (d - R)$; il vient :

$$F = KM\left(\frac{1}{(d-R)^2} - \frac{1}{d^2}\right) = \frac{KM(2dR - R^2)}{(d-R)^2 d^2}$$

soit enfin $F \approx \frac{2KMR}{d^3}$ (en négligeant *R* devant *d)*

- <u>ATTENTION</u> : cette force résultante $\vec{F}$, qui est <u>la FORCE GENERATRICE DE LA MAREE</u>, n'est pas, sauf en cas particulier, tangente à la surface de la terre, ni dirigée vers l'astre.

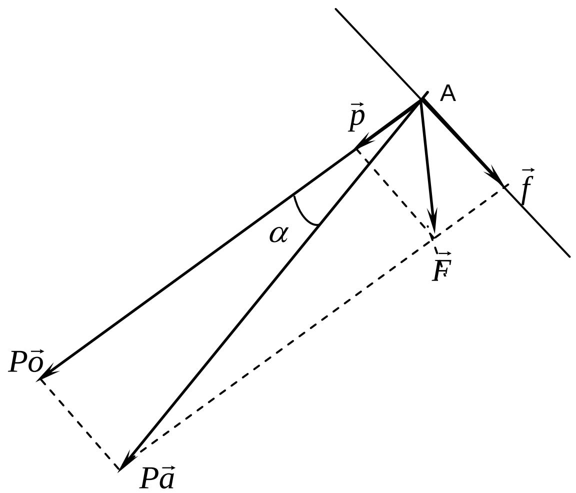
- Cette force résultante $\vec{F}$ agit sur toutes les particules terrestres. Mais les particules solides offrent une trop grande inertie pour qu'elles soient déplacées. Seules les particules liquides, à cause de leur faible inertie, sont mises en mouvement par cette force (voir cependant "marées terrestres" dans la rubrique "questions diverses").

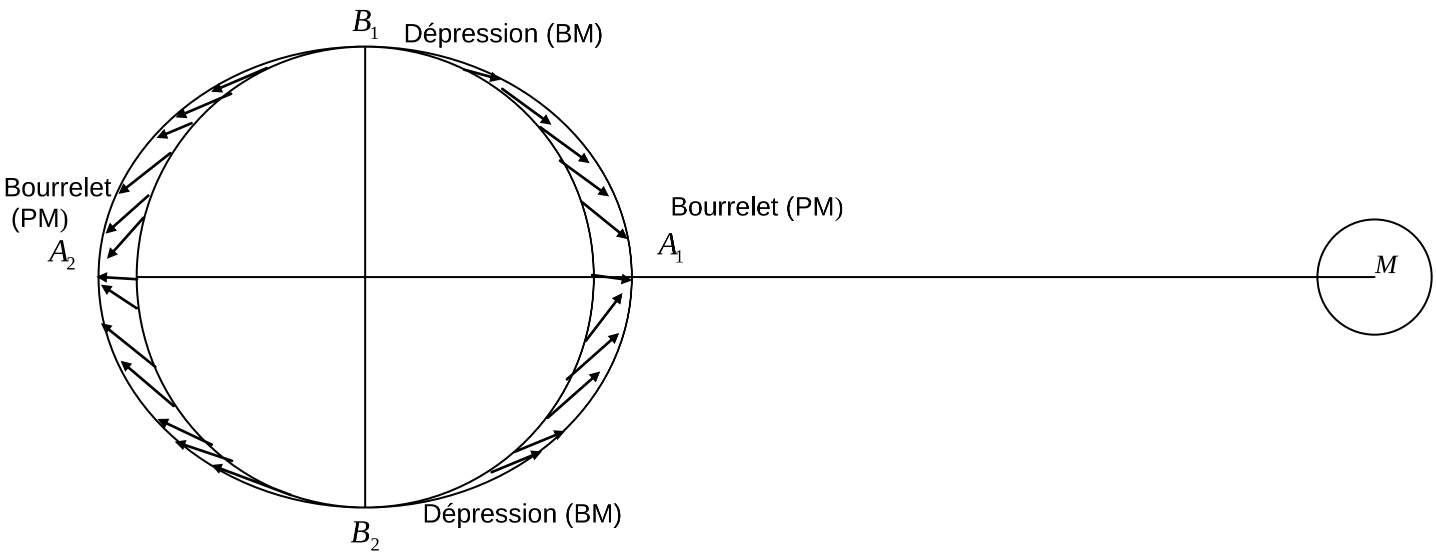
2. LA MAREE THEORIQUE : déviation de la verticale et succession des pleines mers et basses mers

Reprenons notre force $\vec{F}$, au point *A*. projetons cette force résultante sur l'horizontale et sur la verticale en ce point. On observe les 2 composantes $\vec{f}$ et $\vec{p}$.

$\vec{p}$ s'ajoute (ou s'oppose suivant les cas) à la pesanteur $\vec{P}o$, devant laquelle on la néglige.

$\vec{f}$, composante horizontale de la force génératrice de la marée , se compose avec $\vec{P}o$ pour donner $\vec{P}a$: PESANTEUR APPARENTE dirigée suivant la VERTICALE APPARENTE.





Reprenons la détermination de la force génératrice de la marée produite par l'astre *M*. Si nous traçons la composante horizontale $\vec{f}$ de cette force pour tous les points situés sur le quart de cercle B_1A_1, nous constatons que $\vec{f}$ est toujours dirigée de B_1 vers A_1. $\vec{f}$ est maximum en A_1 (en effet en A_1 : $\vec{F}m + \vec{\gamma} = \vec{F}m - \vec{F}mo$ est maximum) et nulle autour de B_1 (en effet en B_1, on a : $d \cong u$ et $\vec{F}m = \vec{F}mo = \vec{\gamma}$ donc la résultante $\vec{F} = \vec{F}m - \vec{F}mo$ est nulle).

Le même raisonnement appliqué au quart de cercle B_2A_1, montre que la force tangentielle $\vec{f}$ est toujours dirigée de B_2 vers A_1.

Les molécules d'eau situées sur le demi-cercle $B_1A_1B_2$ sont donc "attirées" vers A_1, où se produit un "apport" d'eau ou "bourrelet", alors qu'en B_1 et B_2, se produit deux "dépressions".

Si nous déterminons $\vec{f}$ pour le demi-cercle opposé à l'astre soit $B_1A_2B_2$, nous constatons qu'en tout point, cette force tangentielle est dirigée vers A_2, où se produit un bourrelet au détriment des zones B_1 et B_2, où se produisent des dépressions.

Ainsi, l'astre perturbateur produit-il deux bourrelets ou "PLEINES MERS" diamétralement opposées et en alignement avec lui, et deux dépressions ou "BASSES MERS", également diamétralement opposées, mais décalées de 90° sur les P.M.

Puisque nous savons que c'est la LUNE qui a le plus d'influence dans l'établissement de la force génératrice de la marée, voyons ce qui se passe en un jour lunaire, ou 24h50min, c'est à dire dans le temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs de la lune au méridien d'un lieu (*A* par exemple).

Pour simplifier, considérons que la lune est dans le plan de l'équateur terrestre, et prenons nos quatre points A_1, B_1, A_2, B_2 dans ce plan.

Le déplacement relatif de la lune autour de la terre, qui l'amènera successivement en A_1, B_1, A_2 et B_2 (dans le sens direct) est dû :

- A la rotation de la terre autour de son axe des pôles *PP',* en 24 heures (sens direct)
- A la translation de la lune sur son orbite autour de la terre, qu'elle décrit dans le sens direct en 29,5 j (révolution synodique).

Ces deux mouvements expliquent que la lune se retrouve au méridien de A_1 au bout de 24h50min (soit une rotation terrestre de 24heures plus 50 minutes qui permettent à A_1 de retrouver la lune qui en 24 heures a changé de place sur son orbite).

- Partons du temps T_1 : La lune est au méridien de A_1 :
  Il y a "bourrelets" donc P.M. en A_1 et A_2
  et "dépressions" donc B.M. en B_1 et B_2.

  Pour que la lune passe au méridien de B_1, il doit s'écouler 1/4 de jour lunaire, soit 6h12min.

Et comme $\vec{f}$ se modifie sans cesse (tout comme $\vec{F}$), cette verticale apparente variera continuellement en direction.

<u>En conclusion</u> : nous dirons que :

Sous l'action de la force horizontale $\vec{f}$, la direction de la verticale variant sans cesse, les molécules liquides se mettront en mouvement pour atteindre une position d'équilibre telle que le niveau de la mer soit normal à la verticale. En général, lorsqu'elles l'atteindront, la verticale sera à nouveau déplacée.

C'EST LE MOUVEMENT HORIZONTAL DE LIQUIDE, A LA POURSUITE CONTINUELLE DE SA POSITION D'EQUILIBRE QUI ENGENDRE LE MOUVEMENT OSCILLATOIRE DU NIVEAU, CONSTITUANT LA MAREE.

NOTA :

- La force $\vec{F}$, génératrice de la marée est infime devant la pesanteur ; on a approximativement :

  $\frac{F}{Po} \approx \frac{1}{9.10^6}$ pour la lune

  $\frac{F}{Po} \approx \frac{1}{20.10^6}$ pour le soleil

- L'angle α, dont dévie la verticale sous l'action de $\vec{f}$ (composante horizontale de $\vec{F}$), est très faible, on a :

  $$\alpha = tg\,\alpha = \frac{f}{Po} = 0{,}02''$$