SCHÉMAS MÉCANIQUE

Nicolas CHIREUX

SCHÉMAS MÉCANIQUE

Chapitre 1

Changement de référentiels - Référentiels non galiléens

1.1 Mouvement d'un référentiel par rapport à un autre

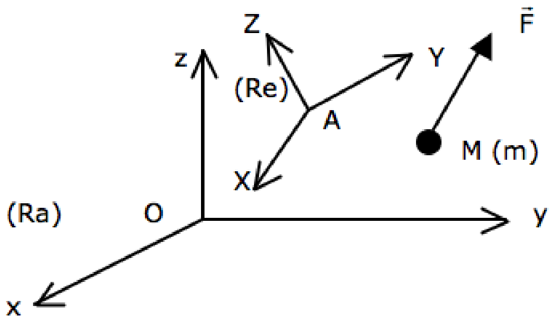


FIGURE 1.1 – Référentiels en mouvement quelconque

1.1.1 Mouvement de translation

Mouvement de translation rectiligne

Mouvement de translation circulaire

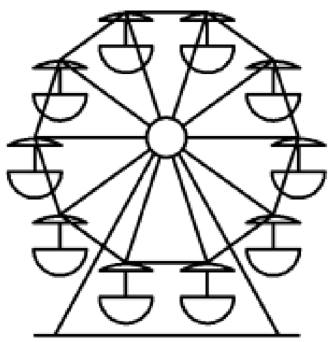


FIGURE 1.2 – Illustration du mouvement de translation circulaire

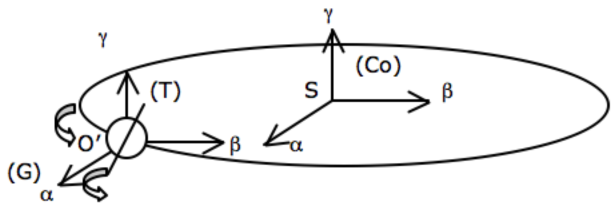
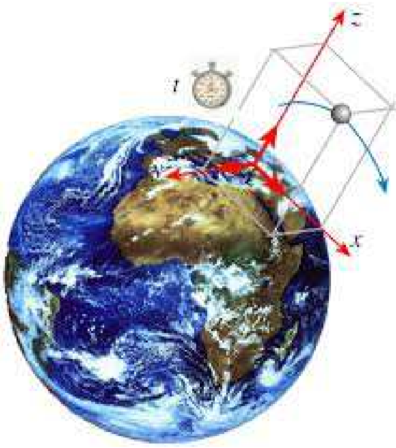


FIGURE 1.3 – Référentiel de Copernic et référentiel géocentrique



Attention à ne pas confondre le référentiel géocentrique avec le référentiel terrestre qui a même origine mais dont les 3 vecteurs de base sont liés à la Terre

FIGURE 1.4 – Référentiel terrestre

1.1.2 Mouvement de rotation

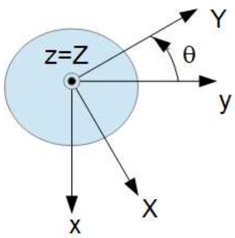


FIGURE 1.5 – Repère rotation

1.2 Notion préliminaire : dérivation vectorielle

1.3 Composition des vitesses

1.3.1 Cas du mouvement de translation

1.3.2 Cas du mouvement de rotation pure

FIGURE 1.6 – Manège

1.4 Composition des accélérations

1.4.1 Cas du mouvement de translation

1.4.2 Cas du mouvement de rotation pure

1.4.3 Cas du mouvement de rotation pure à vitesse angulaire constante

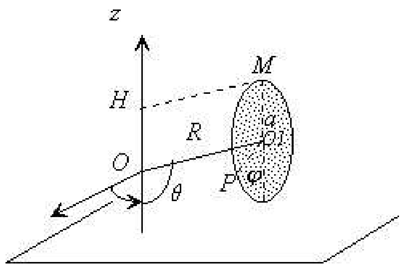


FIGURE 1.7 – Rotation autour d'un axe fixe

1.5 Dynamique en référentiel non galiléen

1.5.1 PFD - Forces d'inertie

Enoncé du PFD en référentiel non galiléen - Définition des forces d'inertie

Expression des forces d'inertie dans le cas d'un mouvement de translation

Expression des forces d'inertie dans le cas d'un mouvement de rotation uniforme

1.5.2 Théorème du moment cinétique en référentiel non galiléen

Energie potentielle associée à la force d'entrainement centrifuge

1.6 Effet des forces d'inertie - Exemples

1.6.1 Mouvement uniformément accéléré

Accélération verticale dans le champ de pesanteur - Impesanteur

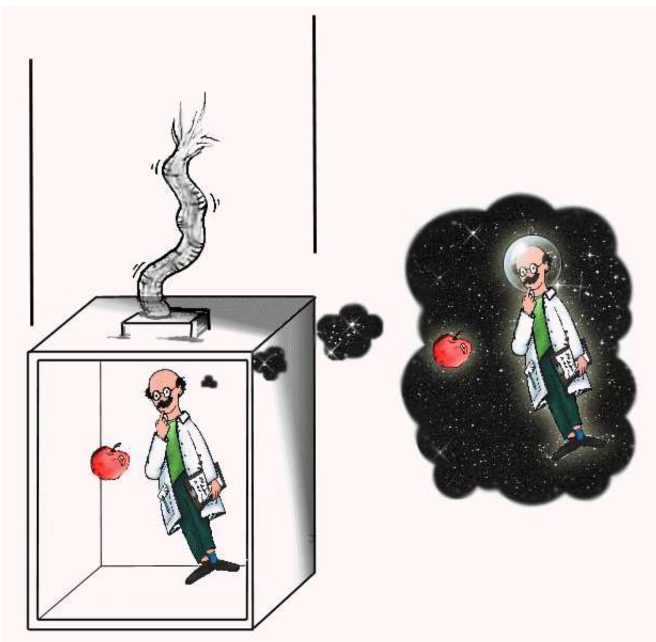


FIGURE 1.8 – Phénomène d'impesanteur

Accélération horizontale dans le champ de pesanteur

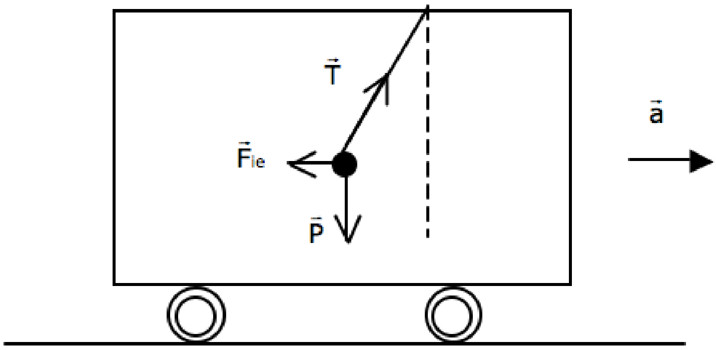


Figure 1.9 – Accélération horizontale

1.6.2 Mouvement de rotation uniforme

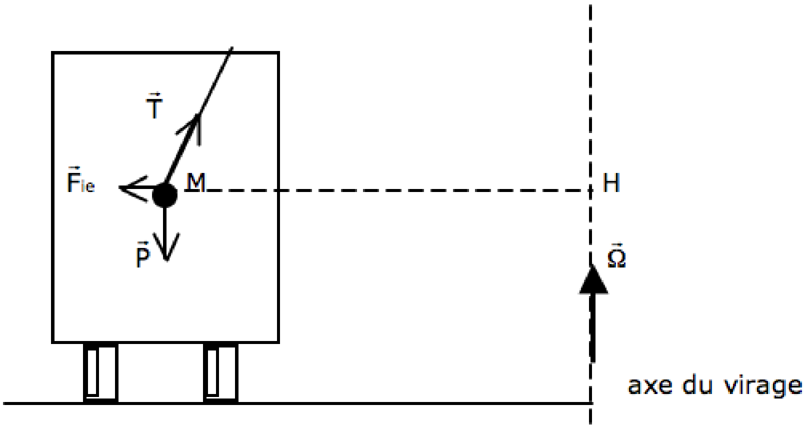


Figure 1.10 – Force centrifuge

1.6.3 Cas particulier du référentiel terrestre $[R_T]$

Conséquences de la rotation propre de la Terre

Définition du poids

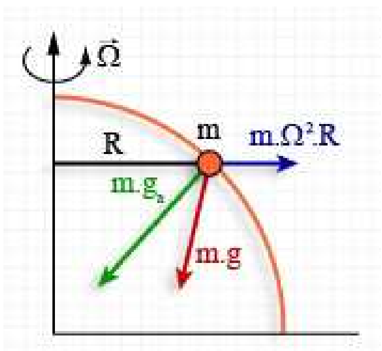


Figure 1.11 – Définition du poids

Effets de la force de Coriolis

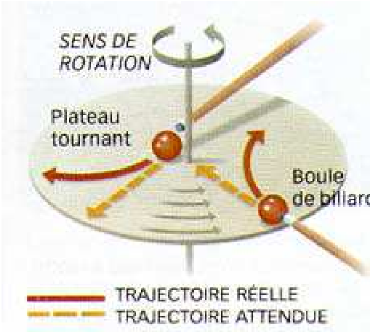
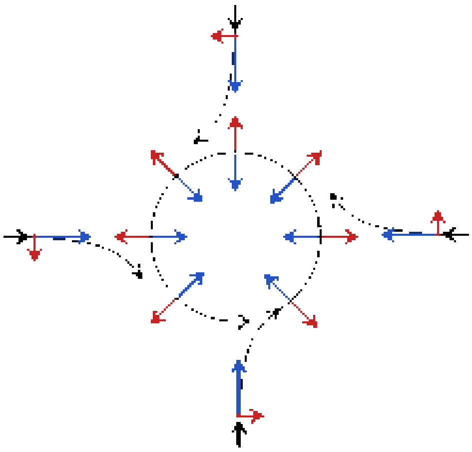


FIGURE 1.12 – Effet de la force de Coriolis



Dans un système dépressionnaire ou anticyclonique, c'est le même phénomène qui va piloter la circulation des masses d'air. Les flèches bleues représentent le mouvement initial des masses d'air "attirées" par la zone de basse pression - à l'intérieur du cercle -. Les flèches rouges représentent les forces de Coriolis. Les dépressions s'enroulent donc dans le sens trigonométrique. Bien évidemment la rotation autour d'une zone anticyclonique se ferait en sens inverse donc dans le sens des aiguilles d'une montre.

FIGURE 1.13 – Déplacement des masses d'air autour d'une zone dépressionnaire

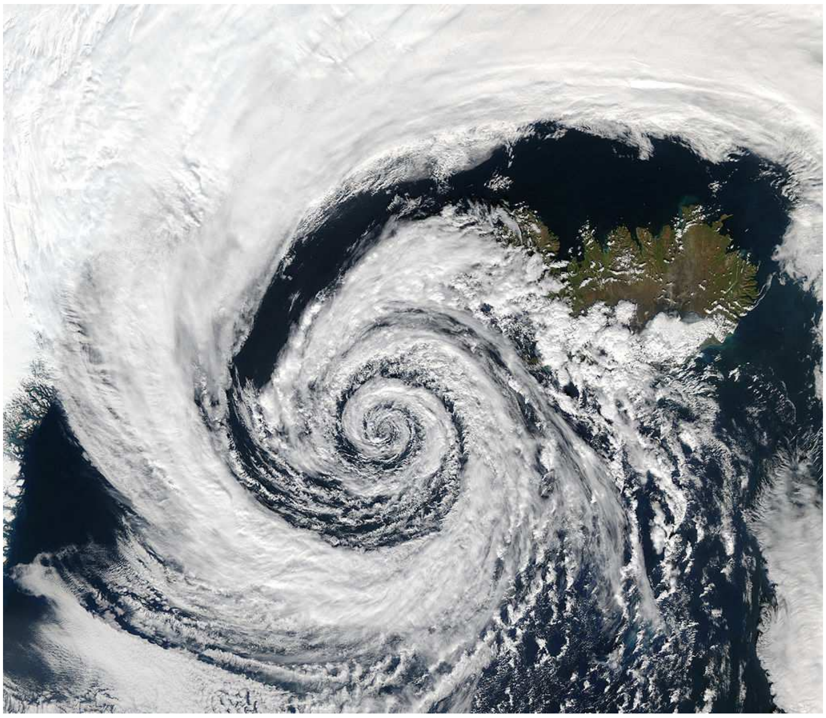


FIGURE 1.14 – Dépression au-dessus de l'Islande

En mathématiques, on a un concept qui s'appelle le **transport parallèle** qui permet une interprétation que je trouve éclairante de certains phénomènes liés à la force de Coriolis.

Imaginons un taxi (ou un bus, vous avez l'embarras du choix) sur le toit duquel est fixé une planche "horizontale" munie d'une aiguille qui tourne librement autour d'un pivot, initialement dirigée dans l'axe du véhicule. Supposons que le taxi se déplace sur un plan. Si le taxi va tout droit, l'aiguille reste dans l'axe du taxi. Mais si le taxi tourne, l'aiguille ne suit pas, aucun frottement ne l'y oblige, elle reste dans le même axe. En mesurant l'angle en l'axe de l'aiguille et l'axe de la voiture, on a une mesure de l'angle dont le taxi a tourné.

Faisons maintenant rouler notre taxi sur une sphère fixe. Tant que le taxi suit un grand cercle, l'aiguille reste dans l'axe du taxi. Mais si le taxi dévie du grand cercle, par exemple en suivant un parallèle, l'aiguille va être déviée par rapport à l'axe du taxi, dans la direction du grand cercle tangent qu'elle "aimerait" suivre. Cette manière de déplacer un vecteur (l'aiguille) le long d'une courbe (la trajectoire du taxi) tracée sur une surface s'appelle le transport parallèle (la définition mathématique précise du transport parallèle est que la projection sur le plan tangent de la dérivée (dans l'espace) du vecteur transporté parallèlement est nulle).

Si maintenant on remplace le fait que le mouvement du taxi par le fait que la terre tourne, on a le même phénomène. Ainsi une aiguille placée sur une pointe très fine tourne "spontanément" sur elle-même du fait de la rotation de la terre. Remplaçons l'aiguille par un pendule : c'est le pendule de Foucault.

On peut même par ce procédé calculer l'angle de rotation du pendule sur une journée. Coiffons la terre d'un cône qui lui est tangent le long d'un parallèle et reprenons notre taxi (l'image est plus facile à appréhender que celle du pendule) équipé de son aiguille. En roulant sur la terre le long du parallèle, il roule aussi sur le cône le long du cercle de cotangence. On peut donc oublier la terre et examiner la rotation de l'aiguille lorsque le taxi parcourt ce cercle tracé sur le cône. Mais le cône a une propriété que la terre n'a pas : il est développable. Déroulons notre cône sur un plan (après l'avoir découpé le long d'une génératrice du cône) : le cercle est appliqué sur un arc de cercle du plan, dont on calcule facilement l'angle total $2\pi \sin \lambda$. L'aiguille d'un taxi qui roule sur le plan en suivant ce cercle tournera de cet angle-là. C'est donc l'angle dont tourne notre aiguille (et notre pendule) en $24h$.

La raison pour laquelle on peut passer du cône au plan est que les lignes le long desquelles l'aiguille reste parallèle à l'axe du taxi (l'équivalent du grand cercle sur la sphère - en d'autre termes les géodésiques) sur le cône et sur le plan se correspondent (de manière plus précise, l'application cône $\rightarrow$ plan est une isométrie).

Conséquences de la translation elliptique de la Terre

Les forces de marée

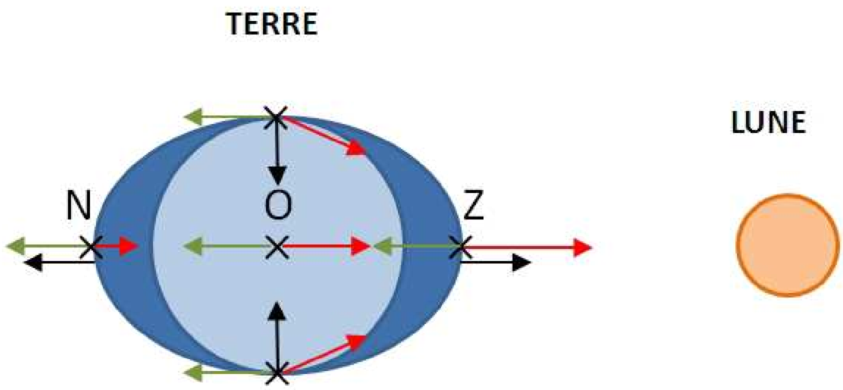
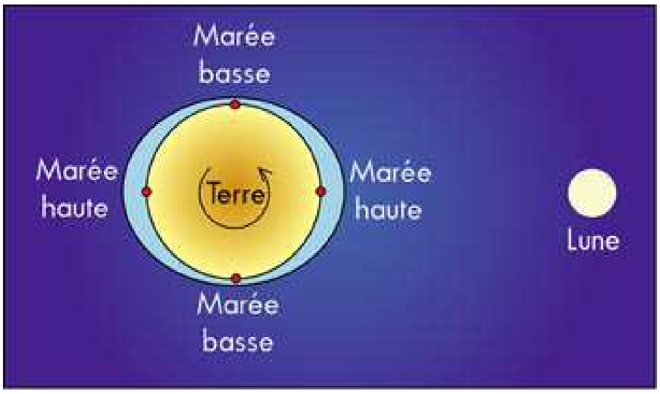
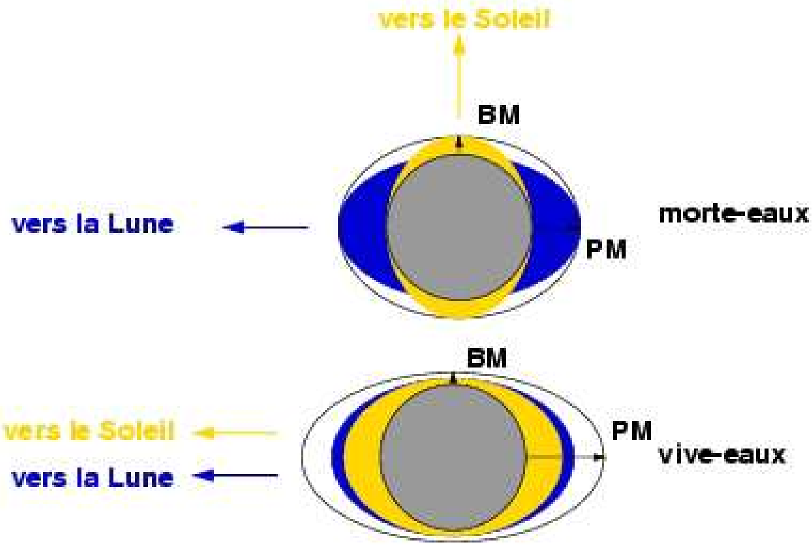


FIGURE 1.15 – Effet de marée



On constate qu'il y a deux zones de marée haute et deux zones de marée basse. La Terre tournant sur elle-même, ces zones se déplacent à la surface du globe. En un point donné, il y a marée haute toutes les 12 heures et marée basse toutes les 12 heures d'où la période de 6 heures entre marée haute et marée basse.

FIGURE 1.16 – Marée haute - Marée basse



Les astres contribuant principalement aux marées sont la Lune et le Soleil et ce dans un rapport de 2,178 - en gros $\frac{1}{3}$ pour le Soleil, $\frac{2}{3}$ pour la Lune -. Suivant l'alignement de la Lune et du Soleil, ces effets s'ajoutent ou se contrarient donnant les marées de vive-eaux ou de morte-eaux

FIGURE 1.17 – Marées de vive-eaux et de morte-eaux

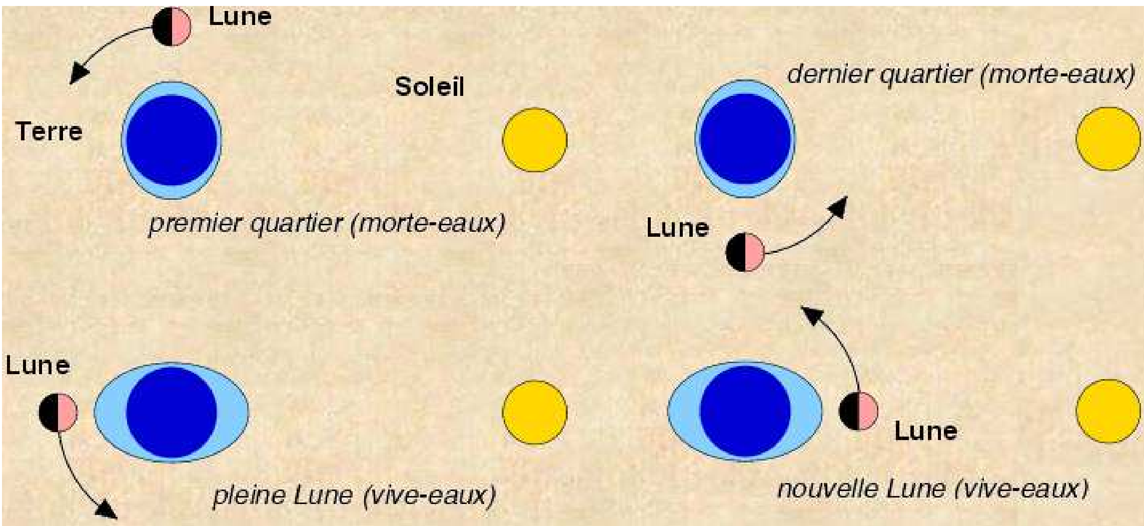


FIGURE 1.18 – Marées de vive-eaux et de morte-eaux

Les marées étant dissipatives, l'énergie est prélevée sur l'énergie cinétique de rotation de la Terre sur elle-même.

La Terre tourne plus vite sur elle-même que la Lune ne tourne autour d'elle. Entraînées par la rotation de la Terre, les protubérances soulevées par la marée se retrouvent en avance par rapport à l'axe Terre-Lune : la force gravitationnelle de la Lune exerce alors un couple sur chaque protubérance, qui a pour effet de ralentir la rotation de la Terre. Le jour s'allonge de 2ms par siècle. Par ailleurs, à cause de la conservation du moment cinétique, la Lune s'éloigne peu à peu de la Terre de 3.84cm par an.

Par ailleurs la Terre étant 81 fois plus massive que la Lune, l'effet de marée de la Terre sur la Lune est très important : cette marée a synchronisé la rotation propre de la lune et sa révolution autour de la Terre. En effet sous l'action du champ de marée terrestre, la Lune a été déformée avec le bourrelet de déformation aligné dans l'axe Terre-Lune. Si la Lune ne tournait pas autour de la Terre de façon à présenter toujours la même face, ce bourrelet se déplacerait et créerait des frottements. La période de rotation propre de la Lune a peu à peu diminué, et s'est ajustée à celle de révolution autour de la Terre, de façon à ce que la Lune présente toujours la même face à la Terre : c'est le phénomène de rotation synchrone, la période de rotation de la Lune est synchrone avec sa période de révolution

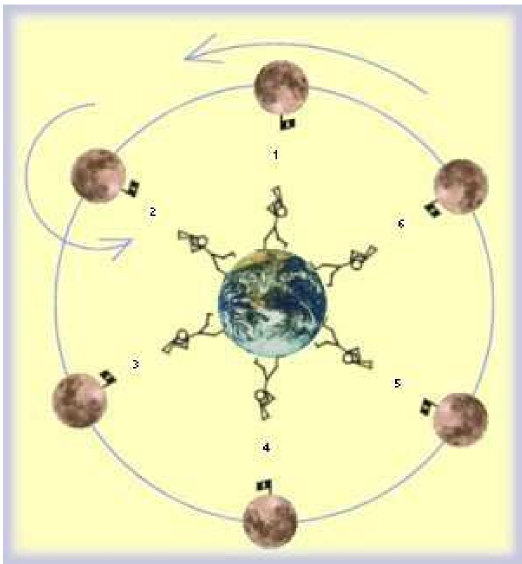


FIGURE 1.19 – Rotation synchrone

Chapitre 2

Lois du frottement solide

2.1 Nature physique des actions de contact

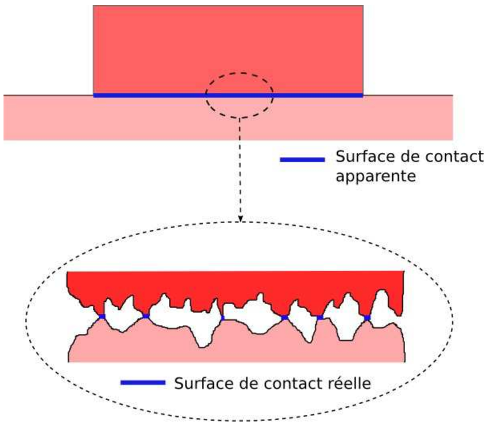


FIGURE 2.1 – Etat des surfaces de deux solides en contact

2.2 Modélisation des actions de contact

2.3 Lois de Coulomb

2.3.1 Réaction normale $\vec{N}$

2.3.2 Réaction tangentielle $\vec{T}$

Cas du glissement

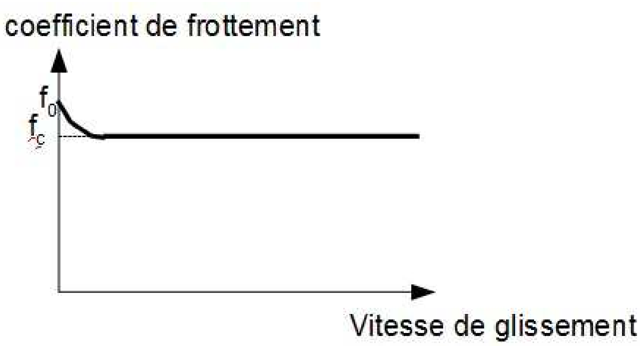


FIGURE 2.2 – Evolution du coefficient de frottement en fonction de la vitesse de glissement

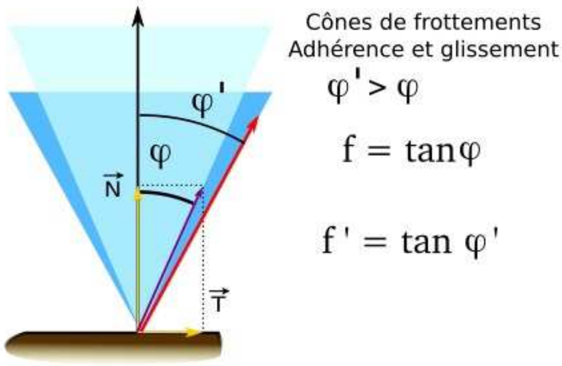


FIGURE 2.3 – Cone de frottement et angle φ associé

Cas du non-glissement

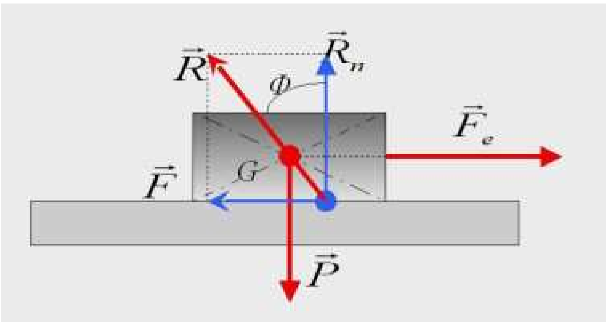


FIGURE 2.4 – Action d'une force de traction $\vec{F}$ sur un système initialement au repos

2.4 Aspect énergétique

2.5 Solide sur un plan incliné

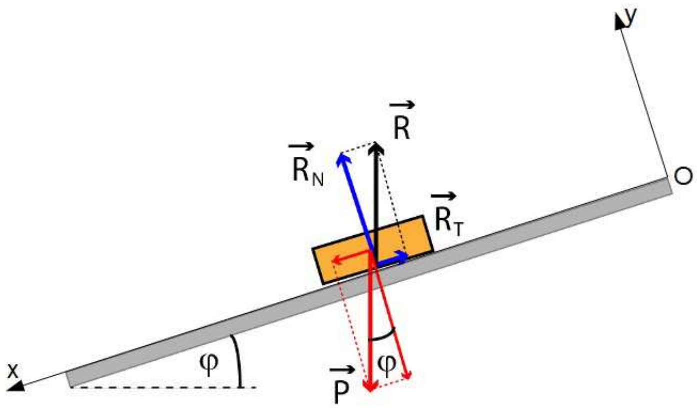


FIGURE 2.5 – Solide sur un plan incliné