

MODELISATION plus proche de la réalité DES ACTIONS DE CONTACT

Dominique Dubuis
Lycée Marguerite VERDUN
<http://www.bacssimargo.fr>

1. Le modèle théorique « liaisons parfaites » ne suffit pas

Dans le chapitre intitulé « modélisation des actions mécaniques », les liaisons entre solides étaient considérées comme parfaites, ce qui implique que l'on néglige tout phénomène d'adhérence ou de frottement.

C'est avec cette hypothèse qu'on a été établis les « torseurs des actions transmissibles » par les liaisons simples. Si cette hypothèse simplificatrice convient dans la plupart des cas, elle reste trop éloignée de la réalité pour certains autres. Il est alors nécessaire d'utiliser un autre modèle de représentation des actions mécaniques, qui tient compte des phénomènes de frottements entre solides.

2. Un modèle simple qui tient compte du frottement : loi de Coulomb

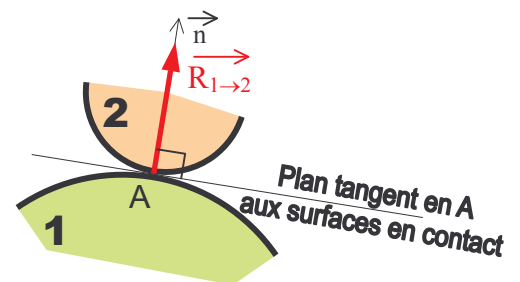
Principe de base : la résultante des actions mécaniques de contact peut s'incliner, parce qu'à la composante normale qui existe de toute façon, s'ajoute une composante de frottement tangente au contact.

Pour simplifier, on présente le cas d'une liaison ponctuelle, mais le principe est applicable à toute liaison qui permet au moins une translation entre les deux solides (appui plan, glissière, pivot glissant, ...)

Si la LIAISON est supposée PARFAITE :

La résultante des actions mécaniques entre les deux solides est obligatoirement sur la normale \vec{n} à la surface de contact

Ceci est valable qu'il y ait mouvement ou pas entre les deux solides, tant que le frottement est négligé.



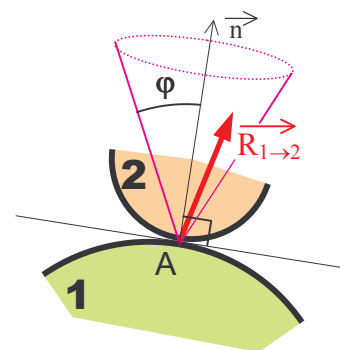
Si LES DEUX SOLIDES ADHERENT l'un sur l'autre :

La résultante peut s'incliner par rapport à la normale, de façon à assurer l'équilibre.

Cette inclinaison a une limite qui ne peut en aucun cas être dépassée : l'angle d'adhérence φ .

Ceci étant valable dans toutes les directions, cette limite forme ce que l'on appelle le cône d'adhérence

On appelle (coefficient ou) facteur d'adhérence : $f = \tan \varphi$

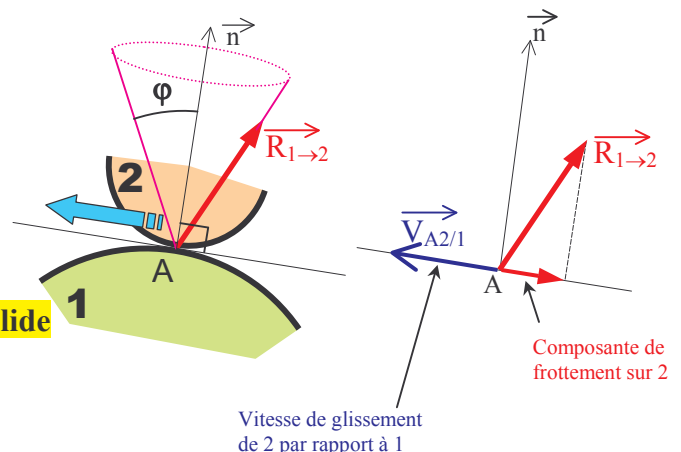


Si LES DEUX SOLIDES GLISSENT l'un sur l'autre :

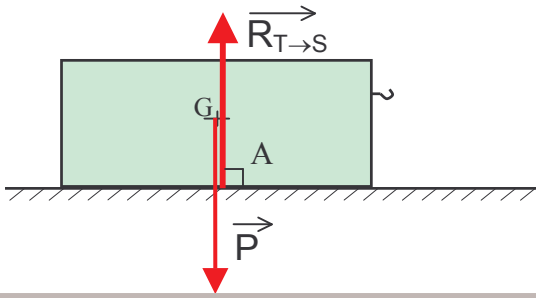
La résultante est inclinée par rapport à la normale de l'angle de frottement φ .

(En première approche, angle d'adhérence et angle de frottement ont même valeur)

La composante de frottement de l'action sur un solide s'oppose au mouvement de ce solide



3. Exemple : un solide tiré sur une surface plane



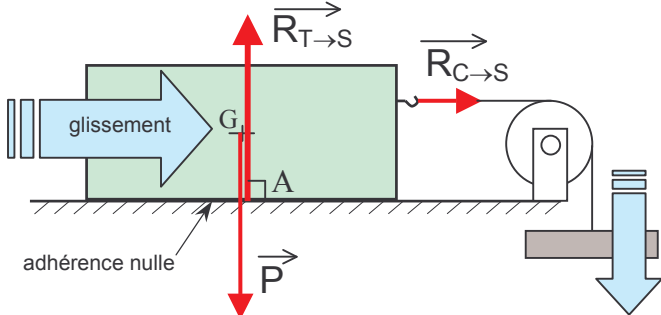
Bilan des actions extérieures sur le solide (S) :

- action de pesanteur : poids \vec{P}
- action de la table : équivalente à une résultante $\vec{R}_{T \to S}$ s'exerçant en un point A :

Equilibre : - les deux forces sont opposées
- elles ont même support

$\vec{R}_{T \to S}$ est donc bien perpendiculaire au contact (c'est toujours possible même si l'adhérence est nulle)

On ajoute une force horizontale $\vec{R}_{C \to S}$ à l'aide d'une corde et d'une masse

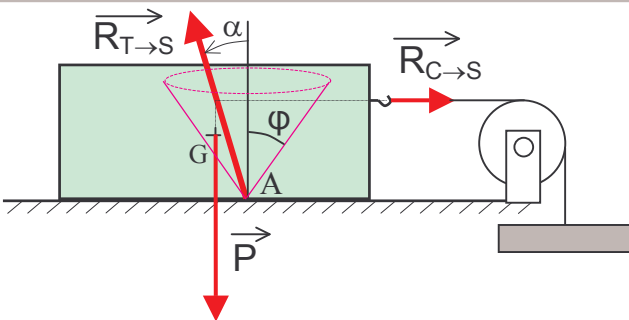


Si l'adhérence entre (S) et la table est nulle :
(ou négligée)

La résultante $\vec{R}_{T \to S}$ doit rester perpendiculaire au contact

L'équilibre n'est pas possible (somme des forces non nulle)

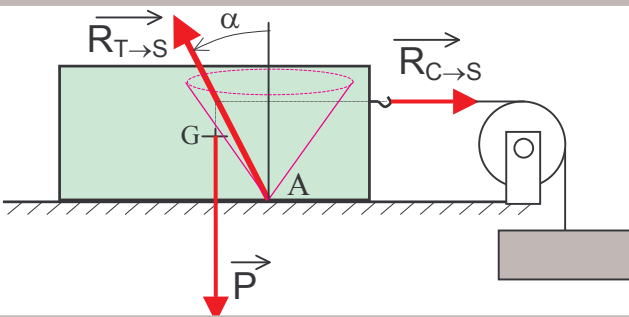
Le solide (S) glisse de plus en plus vite



Si l'on introduit un angle d'adhérence φ suffisant :

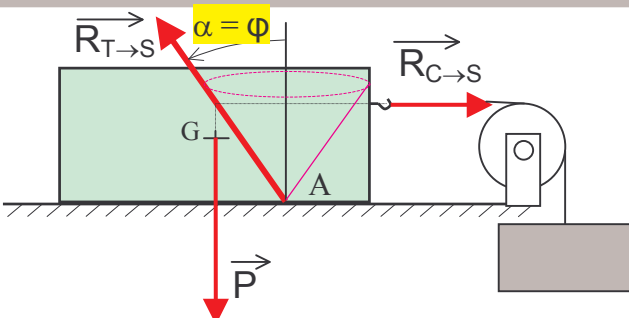
La résultante $\vec{R}_{T \to S}$ s'incline d'un angle α , juste assez pour assurer l'équilibre

- la somme des trois forces est nulle
- leurs directions sont concourantes (d'où la position de A)



On peut augmenter l'effort de la corde

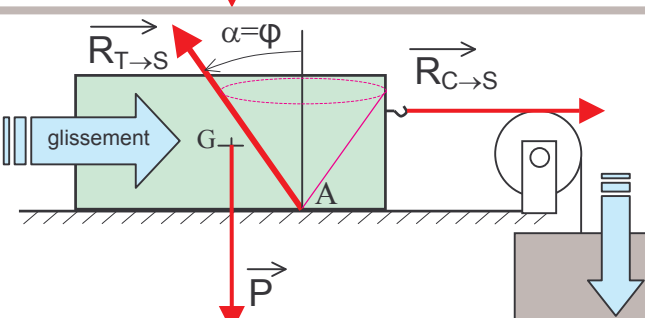
La résultante $\vec{R}_{T \to S}$ s'incline un peu plus, mais tant qu'elle reste à l'intérieur du cône de frottement, l'équilibre est assuré.



Si l'on augmente encore l'effort de la corde, on arrive à la **LIMITE D'ADHERENCE**

La résultante est inclinée exactement de l'angle d'adhérence φ

Il y a encore **équilibre**, mais le solide peut glisser à vitesse constante (si on lui donne une impulsion de départ)



Si l'on dépasse la limite d'adhérence :

En aucun cas la résultante ne sort du cône d'adhérence

Donc il n'y a **pas équilibre**

(somme des forces non nulle) :



Le solide glisse de plus en plus vite

La composante de frottement sur (S) s'oppose à son mouvement

4. Comment mettre en pratique la loi de Coulomb

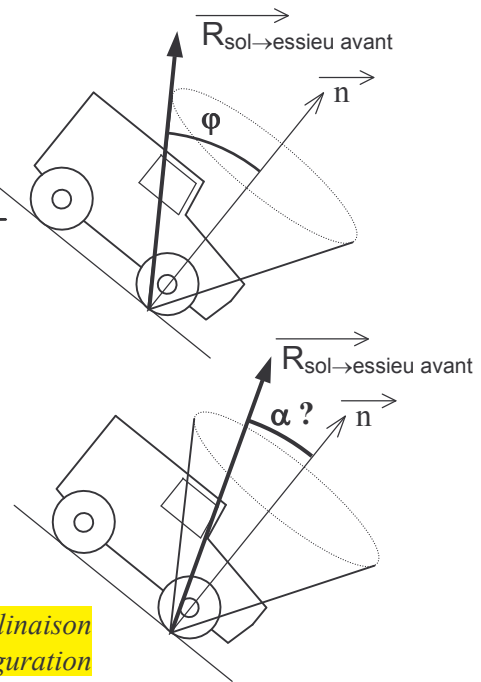
D'abord placer la normale \vec{n} (perpendiculaire au contact).

C'est la direction qu'aurait la force de contact si le frottement était nul :

Puis il faut avoir en tête que le frottement autorise la force à s'incliner par rapport à cette normale de façon à s'opposer au mouvement, d'un angle maximal φ . D'où le cône de frottement.

A partir de là il y a trois cas possibles :

- Soit on sait que les solides glissent l'un sur l'autre. Autrement dit, la limite d'adhérence est dépassée.
→ La force est alors SUR le cône
- Soit on étudie ce qui se passe à la limite d'adhérence.
→ La force est aussi SUR le cône
- Soit la limite d'adhérence n'est pas dépassée (ou on n'en est pas sûr)
→ La force est alors inclinée d'un angle quelconque α (différent de φ), qui fait partie des inconnues du problème.



Remarque : si la suite du calcul donne un angle d'inclinaison α supérieur à φ , alors la conclusion est que la configuration étudiée est impossible, ou qu'une hypothèse est fautive.

La force n'est jamais en dehors du cône de frottement

5. QUELQUES VALEURS de coefficients d'adhérence et de frottement

Quelques valeurs de f pour des matériaux courants :

Matériaux en contact	Au démarrage		En mouvement	
	à sec	lubrifié	à sec	lubrifié
acier / acier	0,15 à 0,3	0,09 à 0,15	0,05 à 0,2	0,04 à 0,12
acier / fonte	0,25	0,08 à 0,15	0,1 à 0,2	0,06 à 0,12
acier / bronze	0,12 à 0,2	0,1 à 0,15	0,08 à 0,15	0,04 à 0,1
acier / PTFE (téflon)	0,08 à 0,2	0,04 à 0,15	0,08 à 0,12	0,04 à 0,1
acier / polyamide (nylon, rilsan)	0,15 à 0,35	0,12 à 0,25	0,15 à 0,25	0,1 à 0,15

6. COMPLEMENTS sur les coefficients de frottement.

Le modèle de Coulomb présenté précédemment constitue la théorie la plus simple faisant intervenir les phénomènes d'adhérence. Elle souffre évidemment de quelques approximations :

Le coefficient d'adhérence ($f = \tan\phi$) ne dépend ni de l'effort, ni de la taille de la surface de contact : c'est vrai si les surfaces sont suffisamment lisses et dures (sinon l'écrasement produit un effet d'obstacle)

Deux surfaces en contact ont un coefficient d'adhérence donné, qui dépend de plusieurs paramètres : matériaux, rugosité, lubrification ou non, température...)

En pratique, entre deux matériaux, il est plus raisonnable de donner une « fourchette » dans laquelle peut se trouver le coefficient d'adhérence. Et selon que l'on souhaite avoir glissement, ou au contraire adhérence, on retiendra pour les calculs la valeur la plus élevée ou la plus faible, avec une bonne marge de sécurité.

On distingue coefficient d'adhérence (à l'arrêt), et coefficient de frottement (lorsque les solides glissent), mais on fait souvent l'approximation qu'ils sont égaux.

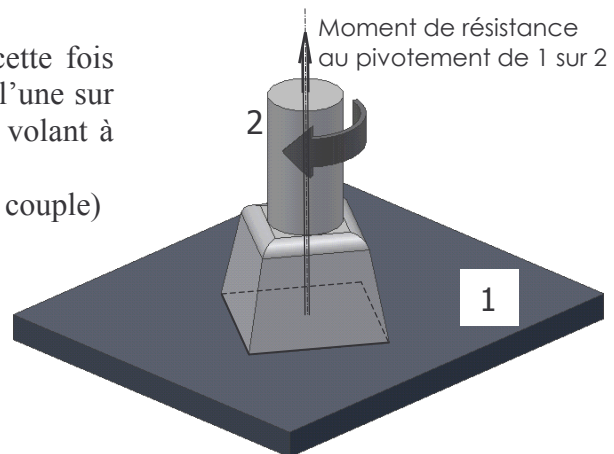
En réalité il est légèrement supérieur à l'arrêt : ceci produit un effet de « broutement » lors de la mise en mouvement ou à une vitesse de glissement trop faible.

7. AUTRES PHENOMENES concernant les actions de contact

7.1. Résistance au pivotement

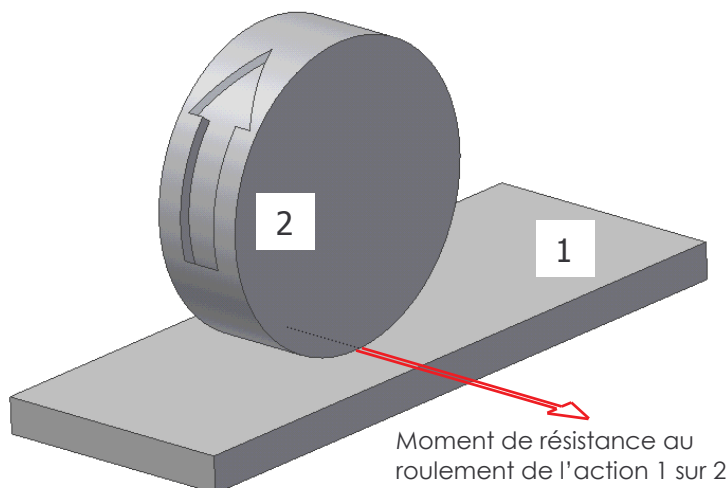
Elle est liée au phénomène de frottement, mais cette fois lorsque l'on essaye de faire pivoter deux surfaces l'une sur l'autre (tel un pneu sur le sol lorsqu'on tourne le volant à l'arrêt)

Elle se représente par un vecteur MOMENT (ou un couple) perpendiculaire au plan tangent aux surfaces



7.2. Résistance au roulement

Lorsqu'on fait rouler un solide (en général cylindrique, torique ou sphérique) sur un autre solide, la pression de contact due à une surface très réduite (théoriquement ponctuelle ou linéaire) crée une déformation plus ou moins importante, qui induit des pertes d'énergie. On peut modéliser ce phénomène en introduisant un vecteur moment (ou couple) qui tend à s'opposer au mouvement de rotation :



Autre méthode : introduire un décalage δ au niveau de la résultante de contact, c'est à dire un « bras de levier »

