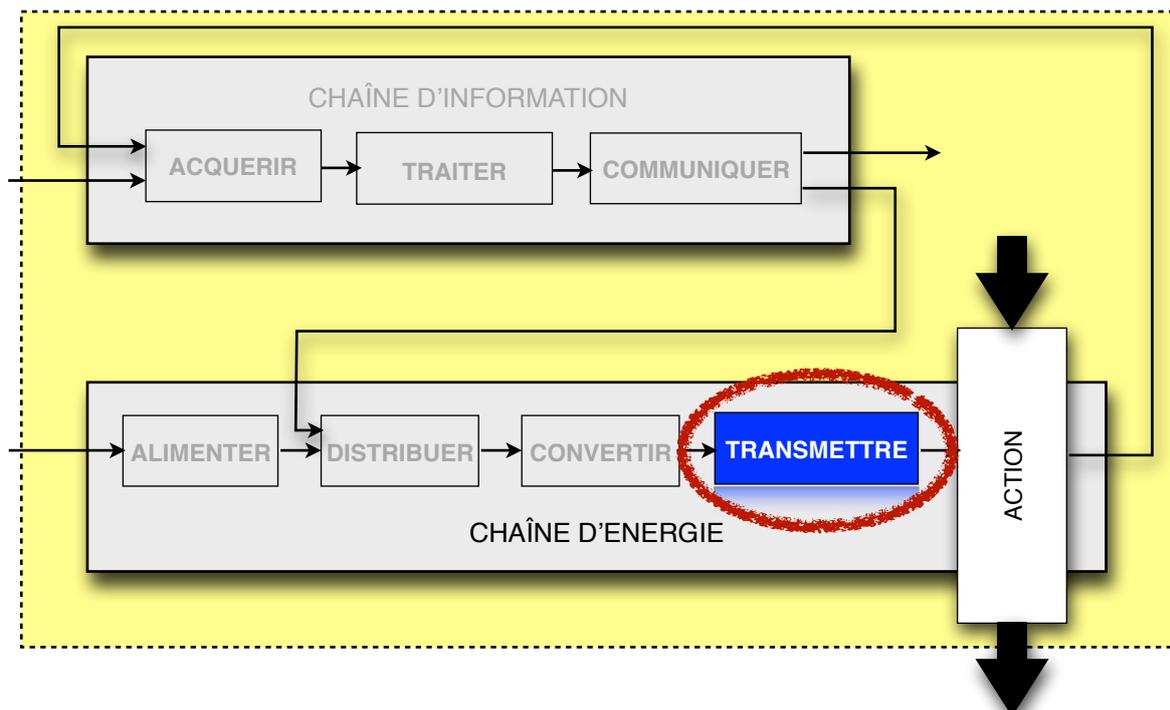


# STATIQUE : LOIS DE COULOMB





CI4 : Performances des chaînes de transmission	
STATIQUE : LOIS DE COULOMB	COURS
Problématique	Edition 1 - 07/02/2018

# PROBLEMATIQUE

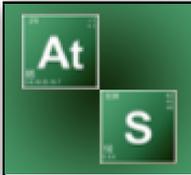
« Les frottements sont des phénomènes qui modifient le comportement du système, et en particulier les conditions de son équilibre. Les lois de Coulomb permettent de modéliser ces frottements. »

B - MODELISER	
B1 : Identifier et caractériser les grandeurs physiques agissant sur un système	Proposer des hypothèses simplificatrices en vue de la modélisation
	Réaliser l'inventaire des actions mécaniques extérieures s'exerçant sur un solide ou un ensemble de solides
B2 : Proposer un modèle de connaissance et de comportement	Associer aux liaisons un torseur d'action mécanique transmissible et un torseur mécanique
	Choisir un modèle de solide (indéformable ou déformable) en fonction de l'objectif visé
	Associer un modèle à une action mécanique
	Ecrire la relation entre modèle local et modèle global dans le cas d'actions réparties
C - RESOUDRE	
C1 : Choisir une démarche de résolution	Proposer une méthode permettant la détermination des inconnues de liaison
	Proposer une méthode permettant la détermination des paramètres conduisant à des positions d'équilibre
C2 : Procéder à la mise en oeuvre d'une démarche de résolution analytique	Déterminer les inconnues de liaison
	Déterminer les paramètres conduisant à des positions d'équilibre
	Mettre en oeuvre une démarche en vue de déterminer les inconnues de liaison
	Déterminer les inconnues de liaison ou les efforts extérieurs spécifiés dans le cas où le mouvement est imposé



# Sommaire

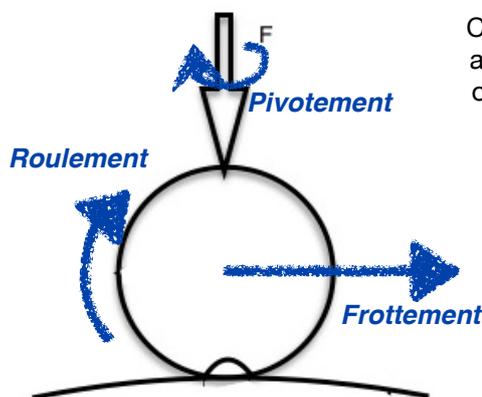
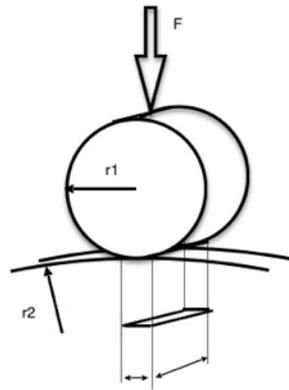
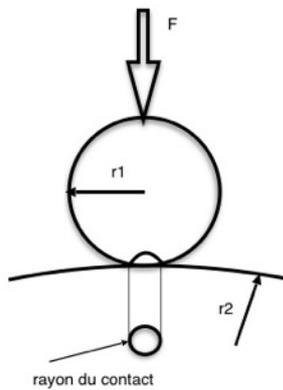
<b>A.Contact réel entre solides</b>	<b>4</b>
<b>B.Frottement - Adhérence</b>	<b>5</b>
B.1.Mouvements relatifs au contact de deux solides	5
B.2.Adhérence et frottement	5
<i>B.2.1. Adhérence</i>	
<i>B.2.2. Glissement</i>	
<i>B.2.3. Décomposition de l'action de contact</i>	
Coefficients de frottement et d'adhérence	7
<i>B.2.4. Cas du glissement</i>	
<i>B.2.5. Cas de l'adhérence</i>	
<b>C.Résistance au roulement</b>	<b>8</b>
C.1.Origine de la résistance au roulement	8
C.2.Définition du couple de résistance au roulement	8
<b>D.Résistance au pivotement</b>	<b>9</b>



# A. Contact réel entre solides

Le contact entre deux solides n'est en réalité jamais un point ou une ligne du fait de la déformation des corps, aussi minime soit-elle.

Il y a alors présence d'une surface de contact au sein de laquelle les matériaux des deux solides vont interagir entre-eux. Cette interaction dépend d'un grand nombre de paramètres, mais nous ne retiendrons dans ce cours que l'effet de l'effort normal s'appliquant d'un solide sur l'autre.

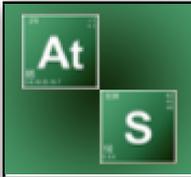


Ce contact lié à la déformation va créer des efforts supplémentaires qui vont avoir tendance à **s'opposer au mouvement relatif** (glissement) des solides, ou **empêcher le mouvement** (adhérence)

Nous verrons dans ce cours les lois qui permettent de modéliser :

- le frottement et l'adhérence
- la résistance au roulement d'un corps sur l'autre
- la résistance au pivotement

Notes



CI4 : Performances des chaînes de transmission	
STATIQUE : LOIS DE COULOMB	COURS
Frottement - Adhérence	Edition 1 - 07/02/2018

# B. Frottement - Adhérence

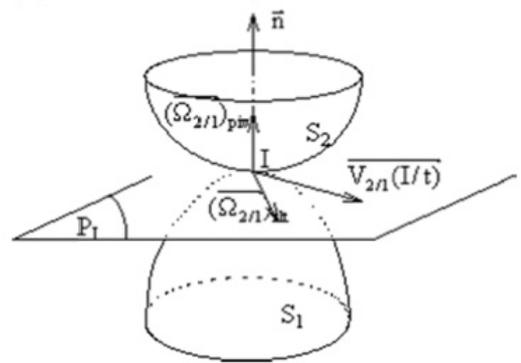
## B.1. Mouvements relatifs au contact de deux solides

Les mouvements qui vont créer des actions s'y opposant sont modélisées ci-dessous :

Vitesse de glissement en I :  $\overrightarrow{V_{I \in S_2 / S_1}}$  dans le plan **tangent** au contact

Rotation de roulement :  $\overrightarrow{\Omega_{2/1,RLT}}$  dans le plan **tangent** au contact

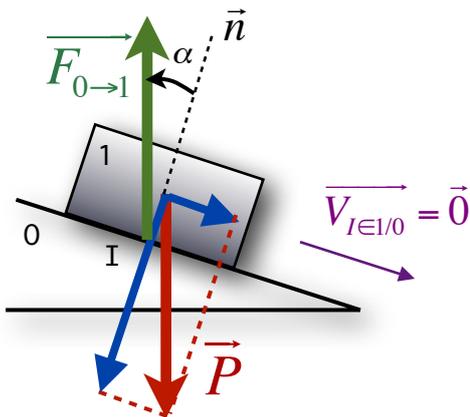
Rotation de pivotement :  $\overrightarrow{\Omega_{2/1,PVT}}$  sur la **normale** au contact



Il y a souvent confusion entre frottement et adhérence, et il y a lieu de bien faire la différence entre ces termes

## B.2. Adhérence et frottement

### B.2.1. Adhérence

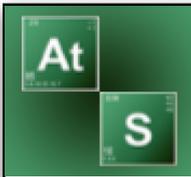


Il y a adhérence lorsque le mouvement relatif n'existe pas, la vitesse de glissement est nulle. Le contact génère une force qui empêche le mouvement d'exister

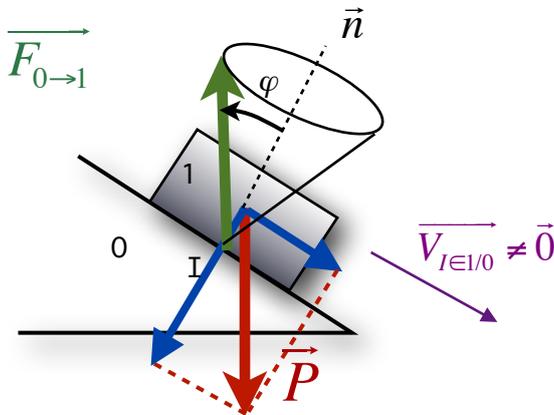
En l'absence d'adhérence, il existerait une vitesse de glissement  $\overrightarrow{V_{I \in 1/0}}$ . L'action  $\overrightarrow{F_{0 \rightarrow 1}}$  s'oppose à ce mouvement

La résultante  $\overrightarrow{F_{0 \rightarrow 1}}$  est inclinée d'un angle  $\alpha$  par rapport à la normale  $\vec{n}$  au contact.

Notes



B.2.2. Glissement



Le contact ne peut s'opposer inconditionnellement au glissement, et il existe une valeur à partir de laquelle l'adhérence est rompue : il y a alors frottement.

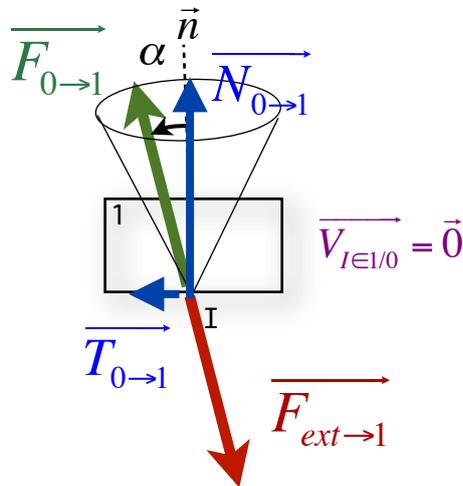
Le frottement est une force vitesse  $\vec{F}_{0 \rightarrow 1}$  de sens opposé à la vitesse de glissement  $\vec{V}_{I \in 1/0}$ .

La résultante  $\vec{F}_{0 \rightarrow 1}$  est maintenant inclinée d'un angle  $\varphi$  par rapport à la normale  $\vec{n}$  au contact. Cet angle  $\varphi$  est **une constante**, ne dépendant que des matériaux en contact

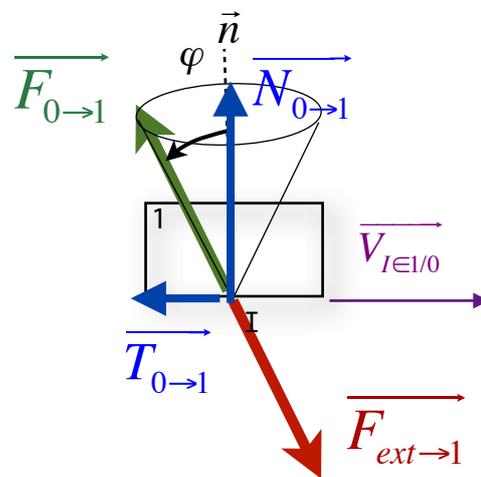
Ce dernier point est important : il signifie qu'en cas de glissement, l'action  $\vec{F}_{0 \rightarrow 1}$  sera **toujours** située sur ce qui est appelé le «**cône de frottement**»

B.2.3. Décomposition de l'action de contact

Soit un solide 1 en contact avec un solide 0. Isolons le solide 1, et intéressons-nous à l'action de contact entre ces deux solides, modélisée au point I :  $\vec{F}_{0 \rightarrow 1} = \vec{N}_{0 \rightarrow 1} + \vec{T}_{0 \rightarrow 1}$

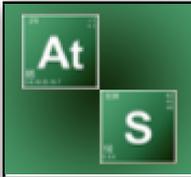


Adhérence  $\frac{\|\vec{T}_{0 \rightarrow 1}\|}{\|\vec{N}_{0 \rightarrow 1}\|} < \tan \varphi$



Glissement  $\frac{\|\vec{T}_{0 \rightarrow 1}\|}{\|\vec{N}_{0 \rightarrow 1}\|} = \tan \varphi$

Notes



### B.3. Coefficients de frottement et d'adhérence

#### B.3.1. Cas du glissement

On appelle «coefficient de frottement» la valeur  $f = \tan \varphi = \frac{\|\vec{T}\|}{\|\vec{N}\|}$ . Il s'agit d'un coefficient adimensionnel.

Lorsqu'il y a glissement, la résultante du contact entre les solides en glissement relatif est toujours positionnée en limite du cône de frottement, jamais à l'intérieur.

Ce coefficient est indépendant de la vitesse de glissement. Le tableau ci-dessous liste quelques coefficients de frottement usuels, qui sont fonction de la nature des matériaux en contact :

Type de contact	Coefficient de frottement f
Palier à film d'huile	0.002 à 0.005
Métal sur métal bien graissé	0.05 à 0.1
Métal sur métal légèrement graissé	0.08 à 0.15
Métal sur métal à sec	0.12 à 0.25
Cuir sur fonte ou acier à sec	0.2 à 0.3
Bois ou "ferrodo" sur acier ou fonte à sec	0.3 à 0.5
Pneu sur verglas	0.08 à 0.1
Pneu neuf sur asphalte mouillé	0.25 à 0.35
Pneu neuf sur asphalte lisse et sec	0.6 à 0.7
Pneu neuf sur béton rugueux	0.8 à 1

#### B.3.2. Cas de l'adhérence

Lorsqu'il y a adhérence, on ne peut pas connaître la position de la résultante. On sait simplement que cette résultante se trouve à l'intérieur du cône de frottement :

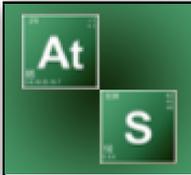
$$\frac{\|\vec{T}\|}{\|\vec{N}\|} < f$$

Le cas limite correspond à  $\frac{\|\vec{T}\|}{\|\vec{N}\|} = f$  alors que la vitesse de glissement est nulle : on parlera alors de cas limite

d'adhérence

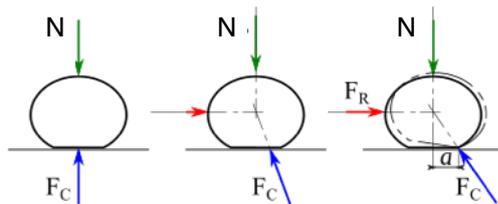
Les coefficients d'adhérence et de frottement sont différents : le coefficient d'adhérence est supérieur au coefficient de frottement. Mais on supposera souvent ces deux coefficients égaux.

Notes



# C. Résistance au roulement

## C.1. Origine de la résistance au roulement



La déformation d'un cylindre de rayon  $r$  sous l'effet d'une action normale  $\vec{N}$  se traduit par une surface de contact rectangulaire de demi-largeur  $a$ , qui s'oppose au roulement.

La force  $\vec{F}_C$ , décalée de la distance  $a$  de la normale au contact, crée un couple qui doit être contré par le couple généré par l'effort  $\vec{F}_R$

La limite de l'équilibre correspond à l'égalité  $r \|\vec{F}_R\| = a \|\vec{N}\|$

## C.2. Définition du couple de résistance au roulement

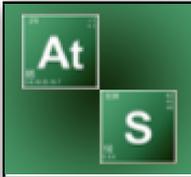
La résistance au roulement est définie par le couple  $C_{0 \rightarrow 1, RLT} = \delta \|\vec{N}\|$ , où  $\delta$  est appelé coefficient de résistance au roulement (unité : m).

Le tableau ci-dessous liste quelques valeurs usuelles de coefficients de résistance au roulement :

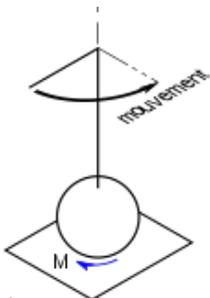
Matériau	Diamètre (mm)	$\delta$ (mm)
Rouleau (bois sur bois)	200	0.5 à 1.5
Roue de wagon sur rail sec	800	0.5 à 1
Galet de pont roulant sur rail	250 à 400	0.2 à 0.7
Pneu sur route "normale"	roue "normale"	2 à 5

Il y a équilibre si  $C_{0 \rightarrow 1} \leq \delta \|\vec{N}\|$

Notes



## D. Résistance au pivotement



Lorsque le vecteur rotation  $\overrightarrow{\Omega}_{1/0}$  est porté par la normale au contact, on parlera de couple résistant au pivotement.

Le couple résistant dépend de la valeur du coefficient de frottement  $f$  et de la plus grande dimension  $E$  de la surface de contact (rayon du cercle ou grand axe de l'ellipse de contact).

Une relation permet d'exprimer la valeur de ce couple  $C_{0 \rightarrow 1, PVT}$  en fonction de l'effort normal appliqué  $\|\overrightarrow{N}_{0 \rightarrow 1}\|$ , du coefficient de frottement  $f$  et de la dimension  $E$  de la surface de contact :

$$C_{0 \rightarrow 1, PVT} = \frac{3}{32} E f \|\overrightarrow{N}_{0 \rightarrow 1}\|$$

Notes