

Chapitre 2.5b – Le frottement en mouvement

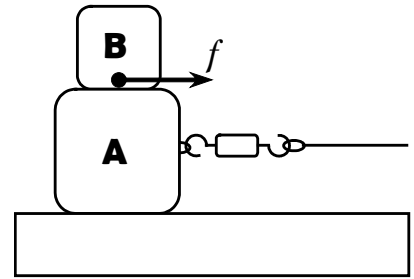
Le frottement sur une surface non immobile

Lorsqu'une surface n'est pas immobile, un objet doit accélérer au même rythme que la surface pour demeurer immobile par rapport à elle. Voici un exemple où la force de frottement peut contribuer à garder un objet immobile par rapport à une surface en accélération :

La surface : **A**

L'objet étudié : **B**

Force qui permet à **B** d'accélérer : le frottement



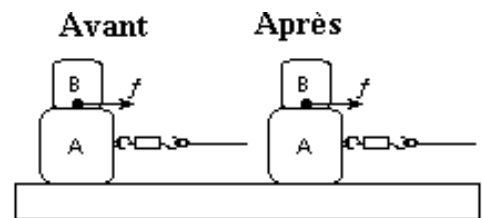
Situation où un bloc **B** est déplacé grâce au frottement.

Dans cette situation, il y a deux scénarios possibles :

1) Le frottement statique :

L'objet **B** reste immobile par rapport à la surface **A**.

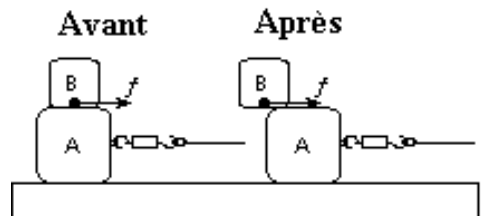
L'objet **B** accélère au même rythme que l'objet **A**.



2) Le frottement cinétique :

L'objet **B** est mobile par rapport à la surface **A**.

L'objet **B** accélère moins efficacement que l'objet **A**.



Pour choisir parmi ces deux scénarios, il faut calculer deux types d'accélération à l'aide de la 2^e loi de Newton : ($\sum \vec{F} = m\vec{a}$)

- Accélération statique maximale: $f_{s(\max)} = \mu_s n = m_B a_{\text{statique max}}$ ($a_{\text{statique max}} = \frac{\mu_s n}{m_B}$)

- Accélération cinétique : $f_c = \mu_c n = m_B a_{\text{cinétique}}$ ($a_{\text{cinétique}} = \frac{\mu_c n}{m_B}$)

1) Si $a_A < a_{\text{statique max}}$ alors **accélération statique** $\Rightarrow a_B = a_A$

2) Si $a_A > a_{\text{statique max}}$ alors **accélération cinétique** $\Rightarrow a_B = a_{\text{cinétique}} < a_A$

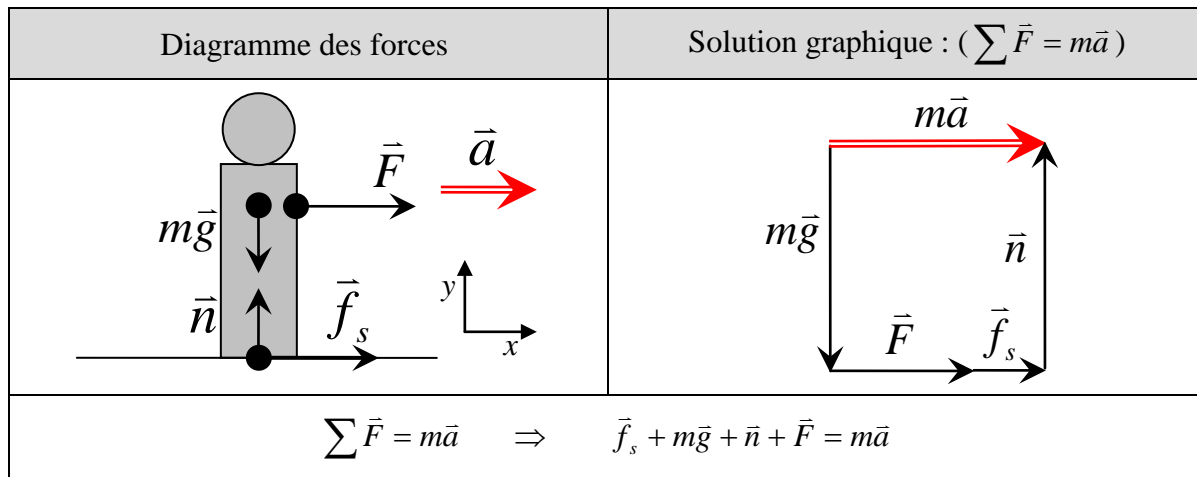
N.B. Cette règle est un **cas particulier**. Il faut l'adapter s'il y a plusieurs autres forces en jeu.

Situation A : Albert dans le métro. Albert (90 kg) est debout dans un métro (train souterrain) immobile. Celui-ci accélère à un rythme de $1,25 \text{ m/s}^2$. Albert tire horizontalement sur un poteau avec une force de 20 N. On désire évaluer le coefficient de frottement statique minimale entre les pieds d'Albert et le métro afin qu'Albert ne glisse pas lorsque le train accélère.

Voici la masse d'Albert étant le sujet sur lequel nous allons appliquer la 2^e loi de Newton et les forces qu'il va subir :

$$m = 90 \text{ kg} \quad \vec{f}_s, m\vec{g}, \vec{n} \text{ et } \vec{F}$$

Réalisons le diagramme des forces avec une solution graphique qualitative à la 2^e loi de Newton :



Évaluons la normale à la surface en décomposant la 2^e loi de Newton selon l'axe y :

$$\begin{aligned} \sum F_y = ma_y &\Rightarrow n - mg = ma_y && \text{(Remplacer } \sum F_y \text{)} \\ &\Rightarrow n - mg = 0 && \text{(Remplacer } a_y = 0 \text{)} \\ &\Rightarrow n - (90)(9,8) = 0 && \text{(Remplacer valeurs numériques)} \\ &\Rightarrow \boxed{n = 882 \text{ N}} && \text{(Évaluer } n \text{)} \end{aligned}$$

Évaluons le coefficient de frottement en décomposant la 2^e loi de Newton selon l'axe x :

$$\begin{aligned} \sum F_x = ma_x &\Rightarrow f_s + F = ma_x && \text{(Remplacer } \sum F_x \text{)} \\ &\Rightarrow (\mu_s n) + F = ma_x && \text{(} f_s = f_{s\text{max}} = \mu_s n \text{)} \\ &\Rightarrow \mu_s = \frac{ma_x - F}{n} && \text{(Isoler } \mu_s \text{)} \\ &\Rightarrow \mu_s = \frac{(90)(1,25) - (20)}{(882)} && \text{(Remplacer valeurs numériques)} \\ &\Rightarrow \boxed{\mu_s = 0,105} && \text{(Évaluer } \mu_s \text{)} \end{aligned}$$

Le frottement de traction

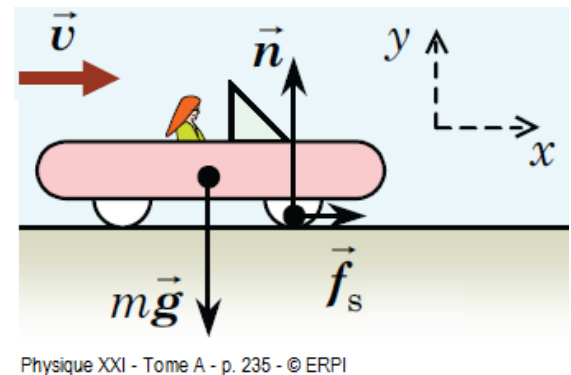
Pour modifier la vitesse de translation d'une voiture, il faut que le sol puisse appliquer une force sur les roues de la voiture. Autrement, le moteur et le système de freinage pourrait modifier la vitesse de rotation des roues sans influencer la translation de la voiture. Ainsi, le sens du frottement appliqué sur les roues de la voiture aura un effet sur la rotation des roues et sur la translation de la voiture. Le **chapitre 4.7 : Dynamique de rotation** vous permettra d'étudier plus en profondeur tout le processus.

Voici les trois types de frottement de traction applicable sur les roues d'un véhicule :

La traction de propulsion :

La force de frottement appliquée sur les roues est de type statique et elle est orientée vers l'avant afin d'augmenter la vitesse de translation de la voiture. Ce frottement va nuire à la rotation vers l'avant de la roue, mais la force du moteur va compenser pour cette résistance.

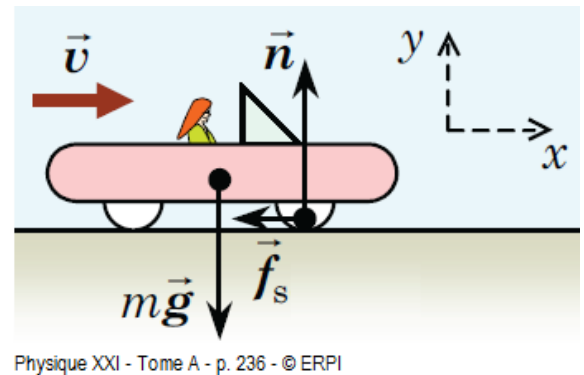
Puisque le frottement est statique, la roue roulera *sans glisser*, car la vitesse de rotation de la roue va augmenter au rythme de l'augmentation de la vitesse de translation de la voiture.



La traction de freinage :

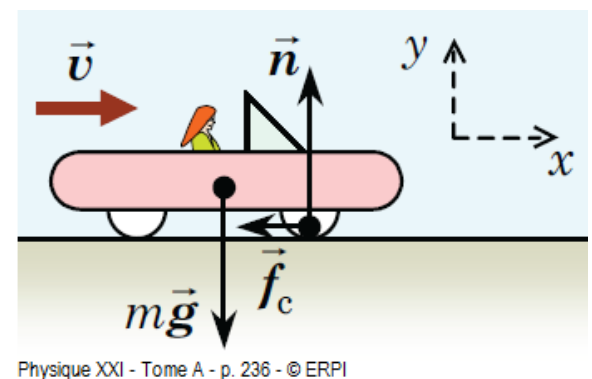
La force de frottement appliquée sur les roues est de type statique et elle est orientée vers l'arrière afin de diminuer la vitesse de translation de la voiture. Ce frottement va nuire à la diminution de la vitesse de rotation de la roue, mais la force du système de freinage va compenser pour cette stimulation.

Puisque le frottement est statique, la roue roulera *sans glisser*, car la vitesse de rotation de la roue va diminuer au rythme de la réduction de la vitesse de translation de la voiture.



Le freinage en glissement :

La force de frottement appliquée sur les roues est de type cinétique et elle est orientée vers l'arrière afin de diminuer la vitesse de translation de la voiture. Puisque le système de freinage bloque la rotation de celles-ci, il n'y a plus de rotation. Ainsi, les roues ne font que glisser *sans rouler* sur la surface de contact. Ce type de frottement est à éviter, car il endommage les roues en provoquant une usure prématurée.



Situation B : Est-ce que ça « spin » ? Albert possède une voiture sport de 1300 kg munit de pneus dont le coefficient de frottement statique avec le sol est de 0,9. Sachant que la performance du moteur permettrait à la voiture d'atteindre une accélération de 9,30 m/s² au démarrage, est-ce que l'adhérence des pneus sera adéquate pour une telle accélération sur une surface horizontale ?

Évaluons la force de frottement statique requise pour obtenir l'accélération de 9,30 m/s² :

$$\begin{aligned} \sum F_x = ma_x &\Rightarrow f_s = ma_x \\ &\Rightarrow f_s = (1300)(9,30) \\ &\Rightarrow \boxed{f_s = 12090 \text{ N}} \end{aligned}$$

Évaluons la force de frottement statique maximale $f_{s(\max)}$ entre les pneus et le sol :

$$\begin{aligned} f_{s(\max)} = \mu_s n &\Rightarrow f_{s(\max)} = \mu_s (mg) \quad (n = mg \text{ car la surface est horizontale}) \\ &\Rightarrow f_{s(\max)} = (0,9)(1300)(9,8) \\ &\Rightarrow \boxed{f_{s(\max)} = 11466 \text{ N}} \end{aligned}$$

Puisque $f_{s(\max)} < f_s$, car

$$f_{s(\max)} = 11466 \text{ N} < 12090 \text{ N} = f_s ,$$

alors les pneus vont glisser ce qui ne permettra pas d'obtenir l'accélération désirée.

Le frottement de roulement

Le frottement de roulement correspond au frottement qu'une surface applique sur un objet non parfaitement rigide lorsque celui-ci est en mouvement translation et de rotation sur la surface. Le module de la force dépendra de plusieurs facteurs dont la rigidité de l'objet et mouvement et de la surface. Pour se doter d'un modèle simple, nous pouvons réduire l'expression du module de la force de frottement de roulement à l'équation suivante :

$$f_r = \mu_r n$$

où f_r : Module de la force de frottement de roulement (N).

μ_r : Coefficient de frottement de roulement.

n : Module de la force normale qu'applique la surface sur l'objet en mouvement (N).

