

1. Que savoir? Le frottement des solides

Auteurs : Equipe La main à la pâte (plus d'infos)

Résumé : Le frottement (on parle également de friction) est le phénomène qui fait que des forces tendent à s'opposer au glissement d'un solide posé à plat sur un autre. On parlera aussi de frottement statique, puisqu'il n'y a pas eu de déplacement des surfaces en présence

Publication : 13 février 2013

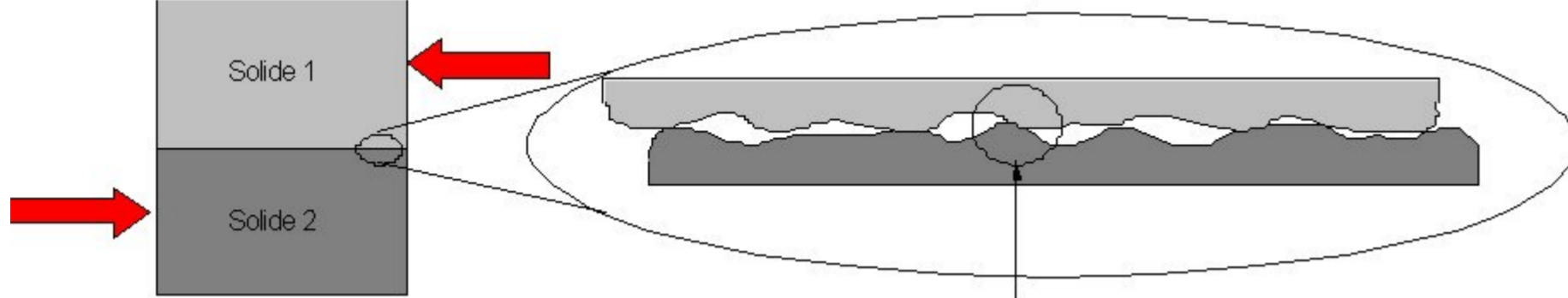
De quoi s'agit-il?

La **tribologie** (en grec tribein = frotter) est la science du frottement. Regardons d'abord quelques termes d'usage courant.

L'adhérence

Le **frottement** (on parle également de friction) est le phénomène qui fait que des forces tendent à s'opposer au glissement d'un solide posé à plat sur un autre. On parlera aussi de frottement statique, puisqu'il n'y a pas eu de déplacement des surfaces en présence.

Lors du contact initial, des effets de la rugosité des faces en présence créent l'adhérence qui rend compte de la résistance qui empêche le déplacement relatif. Au niveau microscopique, des forces de liaison chimique sont créées entre les atomes des deux surfaces des solides en regard. En plus du poids, une force supplémentaire s'exerce aussi perpendiculairement à la surface moyenne de contact qui s'oppose au décollement. C'est le phénomène d'adhésion.



Explication de l'adhérence par rugosité, et pénétration des solides l'un dans l'autre. Le cercle ci-dessus signalé par une flèche noire entoure une rugosité de surface (défauts microscopiques sur la surface des solides).

Considérons un livre sur une surface inclinée. Il est possible de caractériser son adhérence.

Si l'angle θ est assez petit, la capacité d'adhérence entre le livre et le support est suffisante pour éviter que le livre ne glisse. Par contre, si θ devient trop grand, la composante tangentielle au contact de la gravité devient trop importante, et la force d'adhérence n'est plus suffisante pour empêcher le mouvement. Le livre se met alors à bouger.

La valeur limite de l'angle θ au delà duquel le livre se met à glisser caractérise le coefficient d'adhérence égal à $\tan \theta$.

Nature des matériaux en contact	Coefficient d'adhérence
pneu/bitume	1
acier/acier	0,3
acier/glace	0,05

L'adhésion

Cette force d'origine chimique (force de Van der Waals) rend compte du fait que la force pour décrocher un solide en contact avec un autre est supérieure à son poids. On peut l'estimer dans le cas d'une gomme souple posée sur une plaque de verre lisse. Elle est généralement faible mais peut jouer un rôle important par exemple dans un pneu sur une chaussée.

Un petit animal, le gecko, utilise ce phénomène microscopique d'adhésion pour pouvoir s'agripper à n'importe quelle surface. En effet, il possède au bout de ses doigts de nombreux poils (environ 5000 par cm^2), terminés par de nombreux poils encore plus petits, chacun se faisant attirer par la surface sur laquelle il est posé. La force d'adhésion ainsi créée est suffisante pour le faire tenir à l'équilibre (et même encore plus, vu qu'il peut porter jusqu'à 130 kg).



On peut se procurer facilement des petits bonshommes souples qui peuvent s'attacher quand on les projette sur une paroi verticale de verre.

Une simple préparation chimique permet de réaliser des cylindres souples qui s'attachent sur une plaque de verre verticale et que l'on peut faire rouler sans qu'ils ne se décrochent :

5,26 g de gélatine + 40 g d'eau + 60g de glycérine. Laisser lentement le mélange se faire à 90°C. Verser dans un moule et laisser prendre au frigo, typiquement pendant la nuit.

Le frottement dynamique

Pour déplacer un des deux solides en contact sur l'autre qui reste au repos, il va falloir vaincre les rugosités qui bloquent les solides en contact, rompre les liaisons établies entre les deux et exercer une force tangente aux surfaces. Cette rupture libère de l'énergie qui se manifeste le plus souvent sous forme de chaleur. Ceci peut être montré par une expérience simple, laquelle consiste à se frotter énergiquement les paumes des mains l'une contre l'autre. D'une part cela devient assez fatigant au bout d'un moment (les fibres musculaires frottent les unes contre les autres) ; mais, par ailleurs et c'est le plus important, l'élevation de température de la peau est appréciable. Ce déplacement caractérise le frottement dynamique.

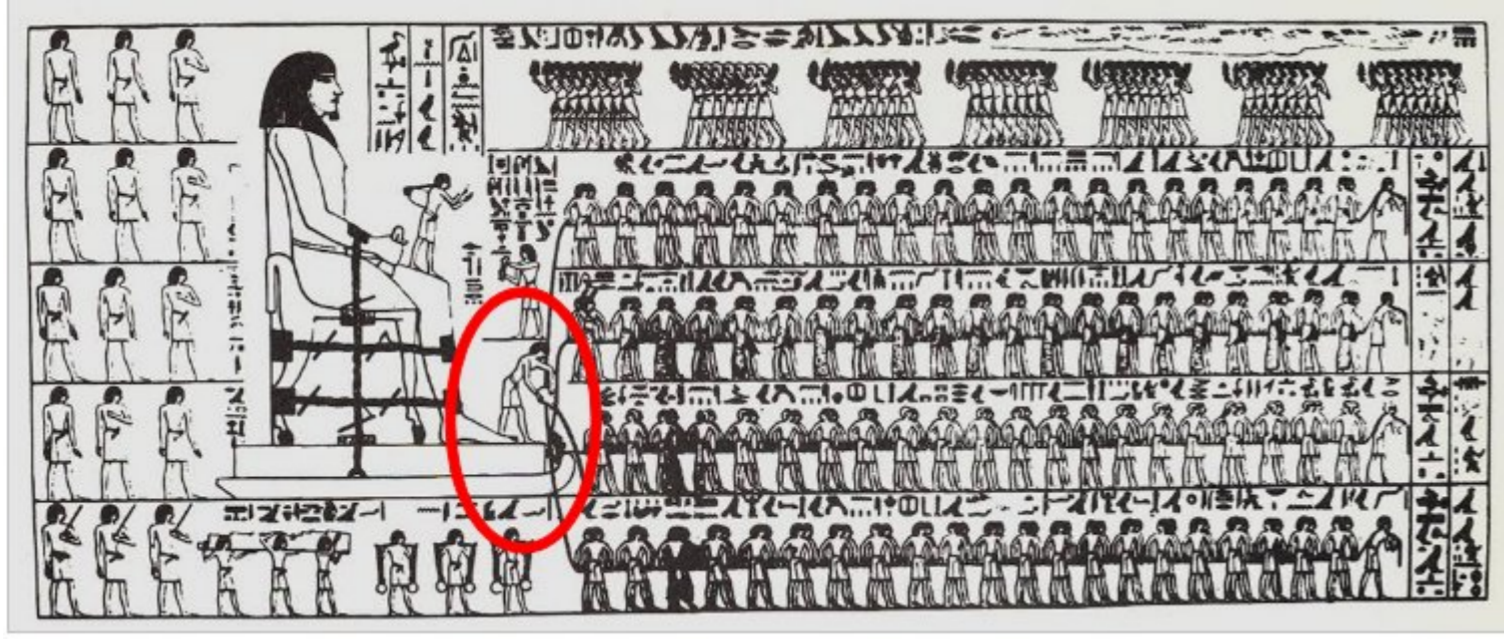
Le frottement dynamique sera vu de façon plus détaillée dans la fiche que faire Freiner

Une des conséquences du frottement est l'usure qui se manifeste par un endommagement des surfaces frottées (rayures, piqûres, stries, etc.), on peut également observer un enlèvement de matière. Pour pallier cet inconvénient majeur qui fait que les machines cessent au bout d'un certain temps de fonctionner (l'usure modifie les dimensions des pièces et les surfaces ne présentent plus l'aspect régulier souhaité par les ingénieurs), on recouvre les surfaces en regard avec des huiles, des graisses, ou encore des produits solides sous forme de poudre ou constitués de feuillets microscopiques (talc, graphite).

La lubrification

La lubrification décrite dans une fiche suivante Que faire lubrifier consiste à interposer une couche de fluide entre les deux surfaces solides. Elle empêche la formation des liaisons entre les solides : le frottement est ainsi facilité. Mais il ne s'agit plus de frottement sec par opposition aux situations décrites ci dessus. Attention Comme précisé plus haut toute contamination des surfaces (traces de doigts,

huile, graisse, poussières, etc.) est susceptible de réduire fortement le frottement. Les salissures forment un écran et empêchent les forces de surfaces de se créer.



Pour transporter de lourdes charges, telles que des statues, les égyptiens utilisaient des traîneaux et ils prenaient bien soin de lubrifier les patins (voir le bonhomme entouré de rouge monté sur le traîneau qui verse de l'huile à l'avant) afin de diminuer de frottement et, par suite, réduire grandement l'effort à fournir par les hommes qui tiraient l'énorme statue.

NOTE : le vocabulaire de la mécanique du frottement est utilisé couramment dans le langage courant : contacts, adhésion, rupture, friction... et renvoie à de nombreux exemples courants. La tribologie peut être l'occasion d'un travail d'analyse avec un enseignant littéraire (analyse de « dans un chemin montant, sablonneux, malaisé, 6 forts chevaux tiraient un coche »).

Que peut-on observer ?

Parmi les phénomènes qui sont conditionnés par le frottement, on peut citer la limitation des mouvements et de la vitesse (fleuves, vents, marées, glaciers, etc.), les phénomènes géologiques (secousses sismiques, glissements de terrain, éruptions volcaniques, etc.), les phénomènes thermiques (fabrication du feu il y a 800 à 500 milliers d'années par pivotement rapide d'une baguette en bois dur dans un trou ménagé dans un bloc de bois tendre, les allumettes et le briquet aujourd'hui).



La fabrication du feu (le pivotement est facilité par l'utilisation d'un archet)

Le frottement statique, que l'on peut appeler aussi adhésion ou adhérence permet la préhension des objets, la tenue des assemblages (par vis, écrous et boulons), la tenue des vêtements (frottement entre les fibres limite leur déplacement relatif), la marche à pied grâce aux semelles qui adhèrent et également les transports par contacts roue sur rail, pneumatiques sur revêtement routier.

Les manifestations de l'usure sont nombreuses, la trace de la mine de crayon graphite laissée sur le papier et son effacement à l'aide d'une gomme en sont un bon exemple. La fabrication d'objets à l'atelier se fait essentiellement par usure, c'est à dire par enlèvement de copeaux (à l'aide de meule, tour, fraiseuse, rectifieuse). Polir s'est aussi user mais avec ménagement. Les sols s'usent aussi, on parle d'érosion par action du vent et de ravinement par action de l'eau.

Quant aux manifestations de la lubrification, pensons à nos articulations (hanche, genou, tarse, carpe) qui ne grincent pas quand nous nous mouvons, grâce à la présence du liquide synovial à la surface des cartilages en contact.

Attention! On l'aura compris, les phénomènes liés au frottement sont nombreux et divers. Le frottement consomme de l'énergie et l'énergie cela coûte cher. De plus, le frottement est responsable de l'usure. C'est pourquoi on souhaite le réduire au maximum. Toutefois, il existe au moins deux exceptions qui font que le frottement élevé est fortement désiré : il s'agit des disques d'embrayage et des plaquettes de frein dans un véhicule automobile qui doivent frotter énergiquement pour mettre en mouvement la voiture (embrayage) ou au contraire la freiner (plaquettes). Mais il ne faut pas d'usure excessive, d'une part pour le bon fonctionnement de l'engin et, d'autre part, pour que le propriétaire de la voiture ne mette pas trop souvent la main au porte monnaie pour faire remplacer ces éléments !



Pour retarder l'usure des semelles de leurs chaussures, les romains y plantaient des clous en fer.

Que peut on mesurer ?

- Que cherche-t-on à faire ?
- Évaluer l'intensité de la force de frottement en fonction de la nature des matériaux et de leur état de surface (rugosité, pollution) en mesurant l'angle limite de frottement statique
- Quel matériel ?
- Une planche de bois rectangulaire.
- Une gomme parallélépipédique souple d'écadier pour effacer les traits de crayon.
- Une gomme parallélépipédique rigide d'écadier pour effacer les traits d'encre.
- Un galet.
- Un silex avec des facettes et des pointes.
- Deux morceaux de bois parallélépipédiques identiques.
- Du papier émeri.
- Du shampoing.
- Du talc.
- Un rouleau de ruban adhésif.
- Un rapporteur d'angles.

Quel déroulement ?

La planche de bois étant horizontale, frotter les divers objets (galet, silex, gommes, morceau de bois nu, morceau de bois recouvert de papier émeri tenu à l'aide de ruban adhésif) sur la planche et constater que ce sont les gommes qui demandent le plus d'effort pour être déplacées. Le caoutchouc présente un frottement sec très élevé. Du fait de sa souplesse, la zone de contact est très grande et il faut donc un effort important pour rompre toutes les liaisons formées. D'ailleurs, on remarquera que le frottement d'une petite face demande moins d'effort que le frottement suivant la plus grande face.

La différence entre les frottements du bois nu et du bois recouvert de papier émeri sera mise en évidence, les surfaces frottées étant bien évidemment de même dimension. Sous une force d'appui importante, c'est le bois « émerisé » qui demande le plus d'effort à cause de l'usure associée au mouvement. On remarquera dans ce cas la formation d'une fine sciure de bois.

Placer le bloc à plat sur différentes faces. On constate que, contrairement à l'intuition, l'angle limite à partir duquel le bloc se met à glisser est pratiquement indépendant de l'aire apparente de contact. (Le phénomène est discuté dans la présentation historique ci-dessous).

Placer l'une des deux grandes faces d'une gomme souple sur la planche lisse (en verre). Incliner la planche doucement et repérer son inclinaison à l'aide du rapporteur. Noter l'inclinaison pour laquelle la gomme, précédemment immobile, se met à glisser (inclinaison de décrochage). Recommencer plusieurs fois afin d'évaluer une inclinaison de décrochage moyenne qui est directement liée au frottement

Addons
statique. Si on laisse la gomme au repos assez longtemps avant d'incliner la plaque, on constate que l'inclinaison limite a augmenté. Il s'est formé au cours du temps de nouvelles liaisons chimiques qui ont augmenté l'adhésion.

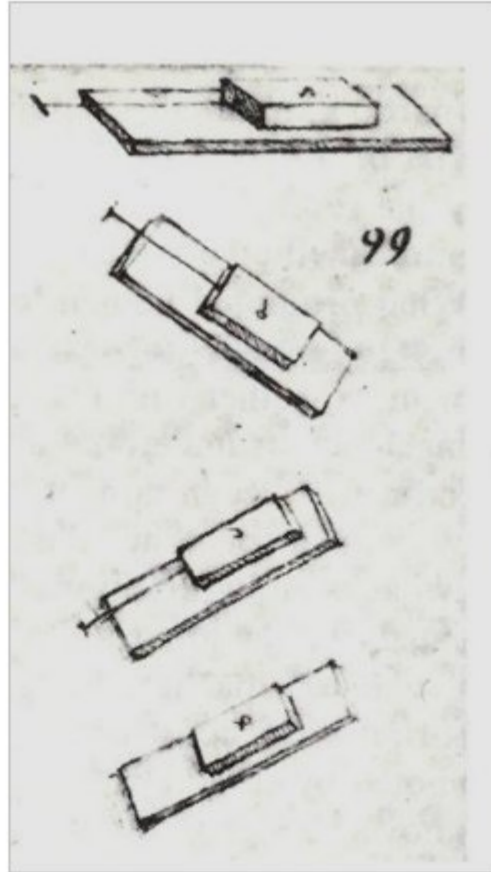
Recommencer les mêmes expériences avec une gomme rigide. Ce n'est pas la rigidité qui intervient directement mais plutôt le durcissement concomitant des rugosités de surfaces qui fait que l'aire de contact réelle est beaucoup plus petite que pour la gomme souple. On doit donc s'attendre à mesurer une inclinaison de décrochage plus petite que dans le cas de la gomme souple.

Attention! On peut estimer l'intensité de la force de frottement statique à partir de l'inclinaison du plan et du poids de la gomme. Pour une inclinaison de décrochage de l'ordre de 45 degrés, on pourra annoncer que la force de frottement a même importance que le poids de la gomme.

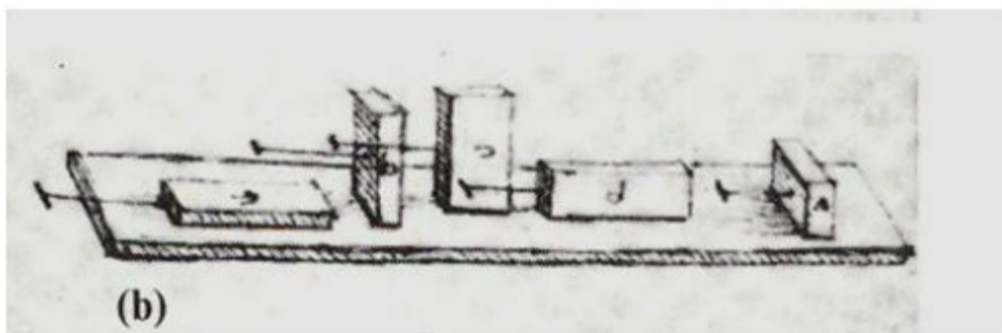
Pour finir on recommence l'ensemble des expériences après recouvrement de la planche en bois avec du talc. On constate que la présence de pollution fait décroître de manière très marquée l'inclinaison de décrochage. La contamination diminue la force de frottement. On pourra aussi noter l'effet de l'humidité ce qui correspond à l'effet de lubrification qui est discuté dans une fiche qui suit

Un peu d'histoire

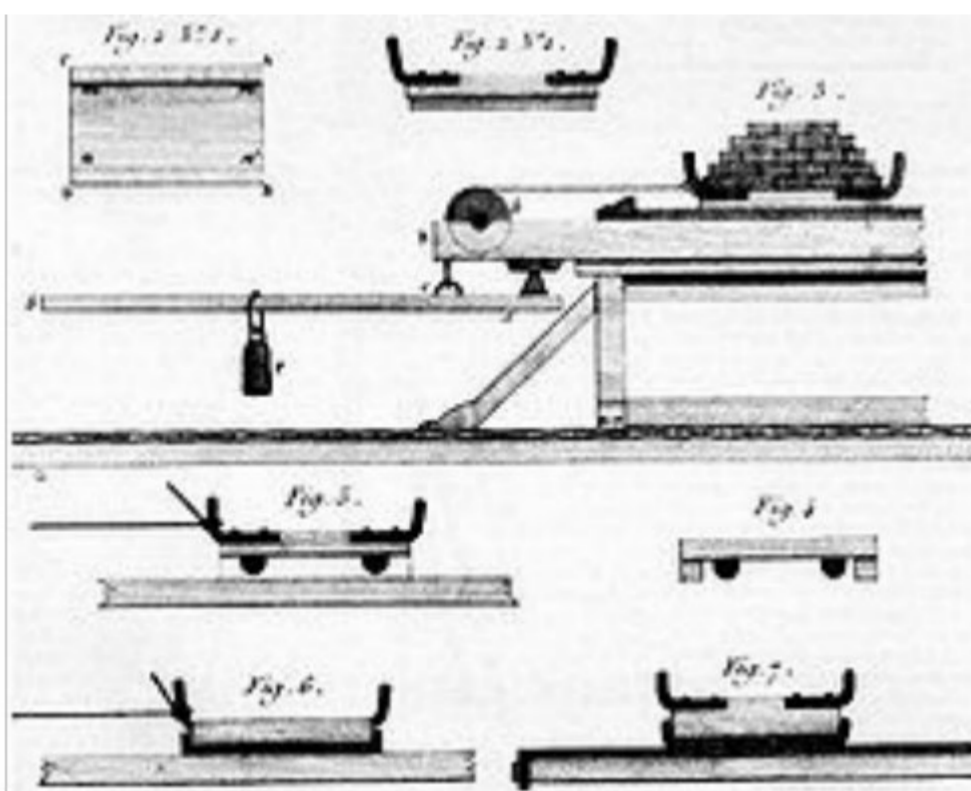
La tribologie, ou science du frottement, a son origine dans les travaux de Leonard de Vinci qui était un ingénieur autant qu'un artiste génial. Comme on le voit dans ses dessins, il examine la résistance au déplacement d'un bloc solide posé sur un plan d'une part en mesurant la force minimum pour mettre en déplacement ce bloc si le plan est horizontal et de l'autre en examinant l'angle d'inclinaison de la planche à partir duquel ce bloc va commencer à glisser.. Vers 1480, il édicte une loi très surprenante et qu'on ne comprendra bien que 5 siècles plus tard : « Le frottement fait par un même poids aura la même résistance si le contact a des largeurs et des longueurs différentes ». Autrement dit, le frottement statique est indépendant de la surface apparente de contact (comme peuvent le montrer approximativement les expériences ci dessus).



Dessins de Léonard de Vinci montrant son étude du frottement sur des plans inclinés.



Les observations de L. De Vinci seront redécouvertes indépendamment par un génial inventeur français Gustave Amontons un siècle plus tard. Mais l'histoire retiendra plutôt les contributions de Charles Augustin Coulomb (aussi connu pour ses travaux en électrostatique). Ingénieur militaire, ses travaux sur les constructions, les cordages ... le conduisent à des expériences sur la mesure des forces de frottement illustrées par le diagramme ci dessous.



L'ensemble de ces résultats peut être résumé par les trois lois suivantes: Les lois de la tribologie

Les deux lois d'Amontons :

- La force de frottement statique est proportionnelle à la charge.
- La force de frottement statique est indépendante de la surface de contact apparente.

La loi de Coulomb :

- La force de frottement cinétique (en mouvement) est indépendante de la vitesse.

Les lois de la tribologie ne seront bien comprises que depuis une cinquantaine d'années par les travaux de Denis Tabor. Il comprend que le contact entre deux solides ne se fait que par quelques zones ponctuelles sur lesquelles la pression est suffisamment élevée pour que les contacts subissent une déformation plastique.

Les deux illustrations montrent une image des aires réels de contact entre un solide posé sur une plaque de verre vue par en dessous. On constate d'une part que l'aire réelle augmente avec la pression, mais aussi que, au cours du temps, cette aire augmente (une gomme posée sur une plaque de verre voit son coefficient d'adhésion et l'angle limite d'adhérence augmenter si on la laisse assez longtemps sans la déplacer).

Quels prolongements ?

Ceux ci sont discutés dans les deux fiches suivantes "Que faire? Se diriger" et "Que faire? Freiner" qui sont plus spécifiquement consacrées aux modes de locomotion humaine. Dans les transports, on utilise la souplesse des matériaux caoutchouteux pour « coller » à la route afin d'assurer la propulsion et la direction des engins (vélos, motos, autos, métros sur pneus, matériels de génie civil (bulldozer, excavateur, tracteur lourd), etc.). N'oublions pas les courroies, les galets d'entraînement, les roulettes de patins et de planches dits à roulettes, les trains d'atterrissage d'avions, etc.

Une autre fiche "Les phénomènes de frottement en géosciences" décrit deux manifestations très importantes du frottement en sciences de la Terre.

Celles-ci sont aussi importantes dans les problèmes de locomotion animale et végétale (la pénétration des racines dans le sol par exemple). Ces exemples n'ont pas encore été l'objet de fiche et nous renvoyons à l'ouvrage « Matière et matériaux ; de quoi est fait le monde », (Belin 2010).

Voir Aussi
Aucun résultat

Du même auteur
Aucun résultat

Commentaires
Aucun commentaire

Source URL: <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/16799/1que-savoir-le-frottement-des-solides>