

# LP01 : Contact entre deux solides. Frottement.

Présentée le 13/10/2016 par Lucas Torterotot

Correcteurs : Alexandre Feller : alexandre.feller@ens-lyon.fr

Marc Vincent : marc.vincent@ac-lyon.fr

1. Contact entre deux solides.
  - .1. Approche microscopique.
  - 1.2. Approche macroscopique.
  - 1.3. Actions mécaniques des forces de contact.
  - 1.4. Etude cinématique.
2. Lois phénoménologiques des frottements solides.
  - 2.1. Expérience de Léonard de Vinci.
  - 2.2. Loi d'Amontons-Coulomb.
  - 2.3. Expérience.
  - 2.4. Aspect énergétique.
3. Conséquences.
  - 3.1. Oscillateur amorti.
  - 3.2. Stick-slip.

## **Remarques générales**

La problématique est bien posée ; expliquer le son émis par un violon quand on frotte l'archet sur une corde. L'ensemble des points proposés dans le plan est cohérent ainsi que le choix des manipulations. Néanmoins, il faut mieux exploiter, un peu plus quantitativement, les expériences montrées (en tout cas montrer des mesures faites en préparation et mieux les interpréter).

Il s'agit d'une leçon de mécanique ; il est fondamental de décrire très précisément le système étudié ainsi que le référentiel d'étude. Il faut être rigoureux dans l'écriture des expressions mathématiques (on ne compare pas des vecteurs), le choix des notations (changement de variables à soigner), bien poser les équations, faire une résolution rigoureuse, sans regarder son papier, et interpréter soigneusement les graphiques employés.

Il s'agit d'un concours de recrutement d'enseignant, il faut soigner la présentation au tableau, pointer les transparents avec un stylo et non son gros doigt, utiliser à bon escient les craies de couleur, être rigoureux dans les développements scientifiques.

## **Commentaires plus détaillés**

### **1. Contact entre deux solides.**

L'approche microscopique reste un peu trop vague ; il faut mieux préciser quelques hypothèses du modèle retenu pour la modélisation (limite élastique,...). Attention, la courbe présentée est inhabituelle, on montre classiquement la contrainte  $F/S$  en fonction de la déformation et pas l'inverse.

Revenir sur le modèle élémentaire de « la brosse » (cf article du Bup mentionnée dans le rapport de l'an passé [1], [2], [3]) ; des poils implantés sur l'une des surfaces ; en dessous d'une certaine force, c'est l'élasticité seule des poils qui intervient, au-delà d'un seuil, les

poils « décrochent » en dissipant sous forme vibratoire l'énergie élastique emmagasinée (retour brutal à l'équilibre et cycle d'hysteresis). On peut faire l'analogie avec le cycle d'hysteresis pour les milieux ferromagnétiques, et la rotation des « parois de Bloch » irréversibles (effet Barkhausen).

On peut même faire une étude thermodynamique du frottement de contact, avec création d'entropie (cf [4]).

La notion de vitesse de glissement est mal introduite ; choix du système, du référentiel non discutés. Une expérience plus démonstrative avec un chariot et chenille/chaîne permet d'illustrer parfaitement la condition de roulement sans glissement au niveau du sol /table.

## **2. Lois phénoménologiques des frottements solides.**

On peut commenter de façon plus complète l'expérience de Vinci, en précisant toutes les limites de validité du modèle de frottement de glissement.

Il peut être intéressant de montrer la nécessité d'une loi phénoménologique pour les actions de contact entre deux solides, en dénombrant dans l'exemple de l'expérience étudiée du cube sur le plan incliné, le nombre de degrés de liberté cinématique et de forces inconnues en regard du nombre d'équations disponibles.

L'exposé des lois fondamentales est trop flou, voir faux ; on ne distingue pas clairement la condition de roulement avec /sans glissement qui sépare les deux cas statique et cinétique.

L'exemple du pneu et de la chaussée prête à de nombreuses questions ; rôle de l'état de surface du pneu, du milieu intermédiaire, sec ou humide, de la nature des surfaces, solides ou déformables/plastiques...

Pour l'interprétation de l'expérience du cube sur le plan incliné, il faut bien expliquer le passage du modèle du contact ponctuel au modèle surfacique et bien expliquer la notion de résultante des efforts de contact.

Pour les aspects énergétiques, il faut impérativement préciser les systèmes étudiés, les référentiels d'étude et commenter le résultats ; on ne peut pas se passer à ce niveau de discuter de la notion de liaison parfaite ou idéale correspondant à une puissance nulle (soit absence de frottement, soit absence de glissement), ce qui permet de bien discuter et distinguer très clairement ces deux aspects essentiels dans cette leçon. On peut citer les articulations pivot,...

Dans le cas de frottements surfacique ou liniéique, on peut citer et traiter le cas des cordes et bites d'amarrage (cf [6], [7], [8], [9]).

## **3. Conséquences.**

Le cas de l'oscillateur amorti par frottement solide est intéressant ; j'aurai d'abord aborder l'existence de la plage d'arrêt qui le distingue fondamentalement du dispositif à frottement fluide, puis une étude rapide et plus rigoureuse de la première phase d'oscillation, avant de passer directement à l'interprétation graphique de la décroissance linéaire et arithmétique de l'amplitude des oscillations. Il faut montrer que l'on a du « sens physique ».

L'expérience du stick-slip, collé–glissé en français était très réussie et à sa place, la mise en équation rondement menée à partir de l'étude précédente. Bien insister sur l'aspect non linéaire et dissipatif du phénomène.

### Questions

- 1) Donner avec précision les conditions de validité des lois d'Amontou-Coulomb.
- 2) De quels paramètres physiques dépendent les coefficients de frottements statique et cinétique ? Préciser les modèles envisagés.
- 3) Justifier proprement le point d'application de la résultante des actions de contact ? (revenir à la mécanique des solides)
- 4) Citer des applications de la situation d'arc-boutement ? On pourra réfléchir à l'angle des pas de vis, aux arcs cintrés des cathédrales, voire même construire avec du polystyrène un modèle de l'ordre du mètre permettant de soutenir plusieurs kg.
- 5) Citer des exemples d'application de contact parfait, non parfait ?
- 6) Comment modéliser un frottement fluide en mécanique, comme un palet sur coussin d'air ? Nature de l'approximation dite de lubrification...

### Bibliographie complémentaire :

- [1] H. Caldas. « Les étudiants et le sens des forces de frottement solide ; le modèle de la brosse. » Bulletin de l'Union des Physiciens 822, Mars 2000
- [2] F. Heslot, T. Baumberger, B. Perrin B. Caroli, C. Caroli, « Creep, stick-slip, and dry-friction dynamics : experiments and heuristic model. », Am ; J. Phys., 1994
- [3] U. Besson, L. Borghi, A. De Ambrosis, P. Mascheretti, « How to teach friction : experiments and models », Am.J.Physics, December 2007
- [4] B. Portelli, J. Barthes « La physique par la pratique. Agrégation », Edition HK
- [5] R. Carpentier, B. Dépret, « La physique en applications ; 150 problèmes corrigés contemporains. », Ellipses. A consommer sans modération.
- [6] G.L. Hazelton, « A force amplifier : the capstan. », Physisc Teacher, october 1976
- [7] R. McGrew, «A Simple Mechanical Experiment on Exponential Growth. », Physics Teacher, april 2015
- [8] E. Levin, « Friction experiments with a capstan. », Am.J.Phys., January 1991
- [9] H. Alarcon, T. Salez, C. Poulard, J-F. Bloch, E. Raphael, K. Dalnoki-Veress, F. Restagno, «Self-amplification of solid friction in interleaved assemblies. », ArXiv : 1508.03290v2