



HAL
open science

Etude du bruit de rugosité lors d'un contact plan/plan

Houcine Ben Abdelounis, Alain Le Bot, Hassan Zahouani, Joël Perret-Liaudet

► **To cite this version:**

Houcine Ben Abdelounis, Alain Le Bot, Hassan Zahouani, Joël Perret-Liaudet. Etude du bruit de rugosité lors d'un contact plan/plan. CFM 2007 - 18ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2007, Grenoble, France. hal-03361693

HAL Id: hal-03361693

<https://hal.science/hal-03361693>

Submitted on 1 Oct 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Étude du bruit de rugosité lors d'un contact plan/plan

Houcine Ben Abdelounis, Alain Le-Bot, Hassan Zahouani & Joël Perret-Liaudet

*Ecole Centrale de Lyon, CNRS
Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, UMR 5513
Ecole Centrale de Lyon, 36 Av. Guy de Collongue 69134 Ecully Cedex, France
houcine.ben-abdelounis@ec-lyon.fr*

Résumé:

Le bruit de frottement, entre deux surfaces rugueuses et sèches, est un phénomène complexe dépendant de plusieurs paramètres dont la rugosité de surface, la vitesse de glissement, le chargement normal, la géométrie du contact et la nature des matériaux frottés. Ce type de bruit est dû principalement aux vibrations verticales engendrées par les impacts inter-aspérités au niveau de la partie superficielle de deux solides frottés.

Dans ce papier, nous nous intéressons au bruit de rugosité lors d'un contact plan/plan. Nous décrivons sa phénoménologie et nous proposons les lois empiriques reliant ce bruit à la rugosité de surface et la vitesse de glissement.

Abstract:

Friction noise, between two rough and dry surfaces, is a complex phenomenon dependent on several parameters such as the surface roughness, the sliding speed, the normal load, the contact geometry and the nature of rubbed materials. The sound is produced by the vertical vibrations generated by the inter-asperities impacts at the interface of the two rubbed solids.

In this paper, we are interested in the roughness noise in the case of a plane/plane contact. We describe its phenomenology and we propose the empirical laws connecting the Sound Pressure Level (dB) to the surface roughness and the sliding speed.

Mots-clefs :

bruit de rugosité ; frottement ; vibrations

1 Introduction

Frotter deux objets l'un contre l'autre est un phénomène très complexe dépendant de plusieurs paramètres telle que la topographie des surfaces frottées, la vitesse de frottement, la nature des matériaux utilisés, etc. Le frottement engendre plusieurs phénomènes tels que la dissipation de l'énergie, l'usure, l'excitation de vibration, le rayonnement du bruit...

Malgré l'ancienneté et l'abondance des études faites sur ce sujet, plusieurs phénomènes restent toujours inexpliqués ou non étudiés. Parmi ces phénomènes, on trouve le bruit de frottement. Ainsi, on distingue le bruit des instabilités mécaniques de type stick-slip et le bruit de rugosité. Ce dernier phénomène a été étudié lors d'un contact localisé (cône – plan, sphère – plan, cylindre - plan...), mais pas en dehors de cette géométrie de contact. D'autre part, on ne trouve pas d'explications claires de la phénoménologie du bruit de rugosité et sa relation avec la topographie des surfaces frottées et la vitesse de frottement même dans le cas du contact localisé. Les résultats trouvés varient même selon les études. Ainsi, Takahashi (1973) a montré, pour un contact cylindre / plan, que le niveau de la pression acoustique L_p (dB) est relié à la rugosité de surface suivant une loi logarithmique:

$$L_p(\text{dB}) = 20 \log_{10} Ra^n \quad (1)$$

Avec $n = 1$. Yokoi *et al* (1982) ont trouvé, pour un contact pion – disque et pour des surfaces aléatoirement rugueuses, la même loi avec une pente comprise entre 0,8 et 1,2. Ils ont aussi observé que L_p (dB) est une fonction linéaire du logarithme de la vitesse de frottement suivant la loi:

$$L_p(\text{dB}) = 20 \log_{10} V^m \quad (2)$$

Avec une pente comprise entre 0,6 et 1,1. Utilisant un contact de type stylet / plan, Othman *et al* (1990) ont trouvé une pente comprise entre 0,25 et 0,65 pour la loi (1). Dans le même cadre, Jibiki *et al* (2001) ont montré que le bruit de frottement est généré suite aux vibrations auto-excitées induites dans les deux solides en contact et à une forte réduction et un gradient négatif du coefficient de frottement. Ils ont montré aussi que le bruit de frottement vérifie la loi (2) avec une pente égale à 0,85. Leur étude a été réalisée pour un contact de type cylindre / cylindre en régime d'instabilités mécaniques.

Le contact plan / plan a été étudié pour la première fois par Boyko *et al* (2005). Ils ont observé que le bruit de frottement, dans cette géométrie de contact, vérifie aussi la loi (1). La pente trouvée est comprise entre 0,7 et 0,85. Reprenant les mêmes expérimentations, Ben Abdelounis *et al* (2006) ont montré que le bruit de frottement est généré suite à des impacts inter-aspérités responsables des vibrations dans les deux solides frottés. Ils ont montré aussi que le bruit de frottement vérifie la loi (1) avec une pente comprise entre 0,85 et 1. Il varie aussi linéairement avec le log de l'angle d'attaque et de l'angle au sommet d'une aspérité avec une pente égale à 0,9. La loi (2) a été aussi vérifiée. La pente trouvée est comprise entre 0,8 et 1.

Dans ce papier, nous proposons une analyse topographique des surfaces frottées, une étude de la phénoménologie du bruit de frottement et enfin nous proposons les lois empiriques de l'évolution du L_p (dB) en fonction de la rugosité de surface et de la vitesse de frottement lors d'un contact plan / plan.

2 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé est schématisé figure 1. Il est constitué principalement d'un porte-échantillon permettant la fixation et le guidage des éprouvettes frottées et d'une chambre anéchoïque dans laquelle est placé un microphone $\frac{1}{2}$ ". L'acquisition du bruit de frottement est réalisée par une carte « Measurement Computing » type PCI-DAS-6013, 16 bits à la fréquence d'échantillonnage 48 kHz.

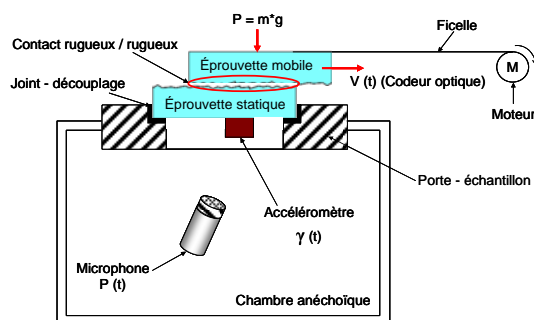


FIG. 1 – Dispositif expérimental.

Les éprouvettes utilisées sont en acier au carbone XC48. Elles ont une forme parallélépipédique de dimensions 120x22x8 mm. L'une des faces 122x22 mm a été traitée soit par sablage soit par usinage par électroérosion. Les rugosités obtenues par sablage sont $Ra = 1 \mu\text{m}$, $2,8 \mu\text{m}$, $4 \mu\text{m}$ et $15 \mu\text{m}$. Et celles obtenues par électroérosion sont $Ra = 1 \mu\text{m}$, $4 \mu\text{m}$, $8 \mu\text{m}$,

12 μm et 15 μm . Pour chaque essai de frottement, on utilise un couple d'éprouvettes identiques de même rugosité. L'une des éprouvettes est fixe et l'autre est entraînée en mouvement par un moteur à courant continu. La vitesse de glissement est maintenue constante lors de l'essai. Elle est mesurée à l'aide d'un codeur optique RGH22, fixé sur le porte-échantillon. Elle peut varier de 1 cm/s à 12 cm/s. Le chargement normal appliqué est simplement le poids propre de l'éprouvette mobile (1,5 N). L'accélération vibratoire est mesurée par un accéléromètre collé au dessous de l'éprouvette fixe.

3 Analyse topographique des surfaces

La topographie de surface est un paramètre primordial pour la compréhension du bruit de frottement lors d'un contact rugueux / rugueux. Il est donc utile d'étudier la distribution des aspérités de surface, leur rayon de courbure, leur densité et surtout déterminer le nombre des aspérités qui entrent en contact lors du frottement. Pour cette raison, nous avons étudié la topographie des nos surfaces à l'aide du logiciel TopoSurf 3D. La figure 2 montre la topographie 3D de deux surfaces correspondant respectivement à $R_a = 15 \mu\text{m}$ (obtenue par électroérosion) et $R_a = 1 \mu\text{m}$ (obtenue par sablage). La surface sur laquelle sont réalisées les mesures de la topographie est de $2,44 \times 1,86 \text{ mm}$ pour les deux éprouvettes. Les pas de mesure sont de $3,32 \times 3,87 \mu\text{m}$.

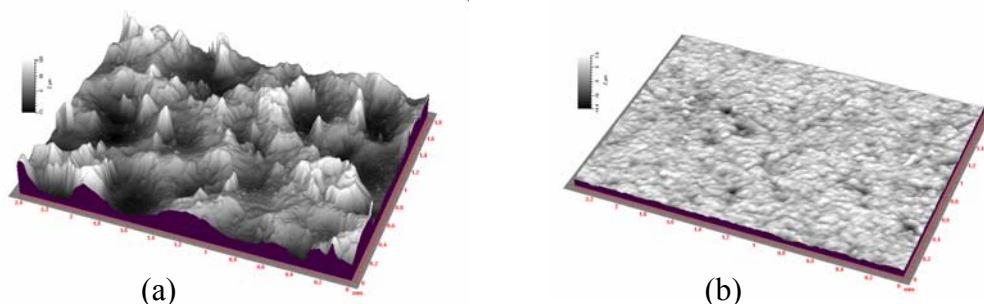


FIG. 2 – Topographie 3D de surface ; (a) $R_a = 15 \mu\text{m}$ (électroérosion), (b) $R_a = 1 \mu\text{m}$ (sablage).

Les surfaces étudiées montrent pour la plupart une distribution gaussienne des hauteurs d'aspérités (figure 3). Dans le tableau 1 sont indiqués les principaux paramètres concernant la topographie de surface (le nombre de pics N par $4,53 \text{ mm}^2$, le rayon moyen R_{moy} des pics, l'écart type σ de la distribution des hauteurs d'aspérités, le Skewness Sk , le Kurtosis Ek et la dimension fractale H).

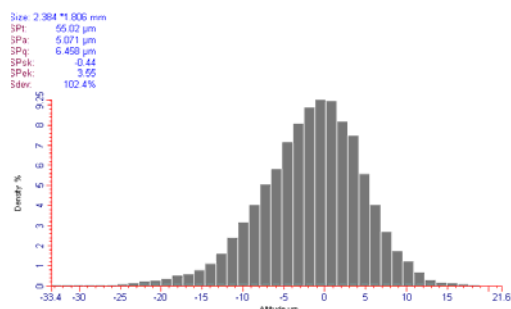


Fig. 3 – Distribution des hauteurs d'aspérités

	$R_a=1$ μm	$R_a=2,8$ μm	$R_a=4$ μm	$R_a=15$ μm
N	3792	2845	2380	1974
R_{moy} (μm)	119,8	44,7	39,58	12,34
σ (μm)	1,83	6,45	7,74	8,32
Sk	-1,2	-0,44	-0,53	0,22
Ek	6,04	3,55	3,19	2,45
H	2,49	2,37	2,36	2,22

Tab.1- Paramètres décrivant la topographie

4 Phénoménologie du bruit de rugosité

Considérons deux solides B_1 et B_2 , possédant deux surfaces planes S_1 et S_2 , en glissement. Le bruit résultant peut avoir deux origines très différentes: les instabilités mécaniques de type stick-slip et la rugosité de surface. Le bruit de frottement est dit bruit de rugosité si les surfaces frottées sont rugueuses et le chargement normal appliqué est relativement faible. Dans ce cas, le contact est réalisé au niveau des interfaces de S_1 et S_2 pour un certain nombre d'aspérités appelées "régions de contact". Cette géométrie est désignée souvent par "interfaces multicontact": Bowden et Tabor (1950), Archard (1957), Greenwood et Williamson (1966). Dans cette géométrie, l'aire de contact réelle est beaucoup plus petite que celle apparente (figure 4).

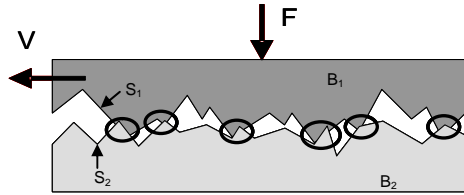


FIG. 4 – Interfaces multicontact. Les cercles indiquent les régions de contact.

Le frottement engendre une dissipation d'énergie due à la multiplicité des positions métastables des surfaces frottées dues à la présence des aspérités: Tomlinson (1929), Caroli *et al.* (1996), Tanguy *et al.* (1996), Ciliberto *et al.* (1998). Cette énergie dissipée se manifeste sous plusieurs formes dont une partie est rayonnée sous forme d'énergie acoustique. En effet, lors du frottement, les aspérités, aléatoirement distribuées au niveau de l'interface, provoquent des impacts inter-aspérités qui soumettent les deux solides à un état de vibrations. Ces vibrations génèrent un bruit dit bruit de rugosité. Son niveau sonore est fonction de la topographie et la dynamique des surfaces frottées.

5 Lois empiriques

5.1 L_p (dB) = f(Ra)

Sur la figure 5 est tracée, en échelle log-log, la variation du niveau de pression acoustique L_p (dB) en fonction de la rugosité des surfaces frottées. Nous observons que, indépendamment de la vitesse du frottement et du procédé de traitement des surfaces, L_p (dB) est une fonction linéaire du log de la rugosité de surface.

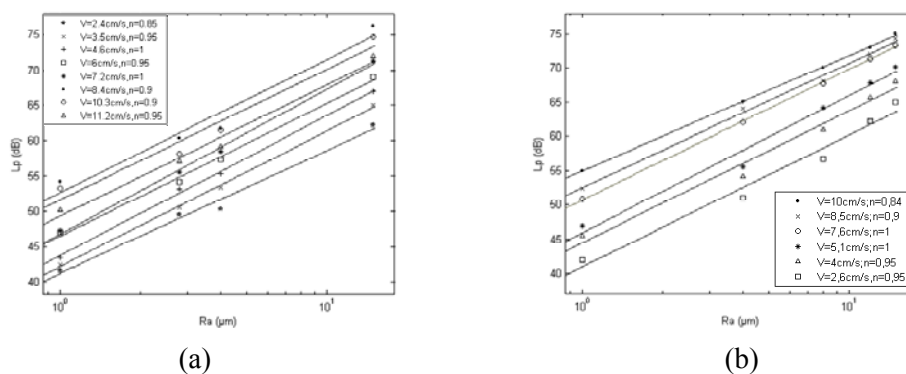


FIG. 5 – Variation du niveau de la pression acoustique L_p (dB) en fonction de la rugosité de surface, obtenue par sablage (a) et usinage par électroérosion (b), pour différentes vitesses de frottement.

Cette variation peut être décrite par la loi logarithmique suivante:

$$Lp(dB) = 20 \log_{10} Ra^n \quad (1)$$

Où $0,84 \leq n \leq 1$.

Ces résultats montrent que la pression acoustique Lp (dB) est directement proportionnelle à la rugosité de surface. Ce qui induit des vibrations plus importantes au niveau des deux solides en contact et par suite une énergie sonore rayonnée plus importante.

5.2 Lp (dB) = f(V)

Pour les mêmes mesures que la figure 6, est tracé Sur la figure 4, en échelle log-log, le niveau de la pression acoustique en fonction de la vitesse de frottement, pour différentes rugosités de surface . Il est clair que Lp (dB) est une fonction linéaire du logarithme de la vitesse de frottement quelque soit la rugosité des surfaces frottées. Cette loi logarithmique est telle que:

$$Lp(dB) = 20 \log_{10} V^m \quad (2)$$

Où $0,8 \leq m \leq 1,1$.

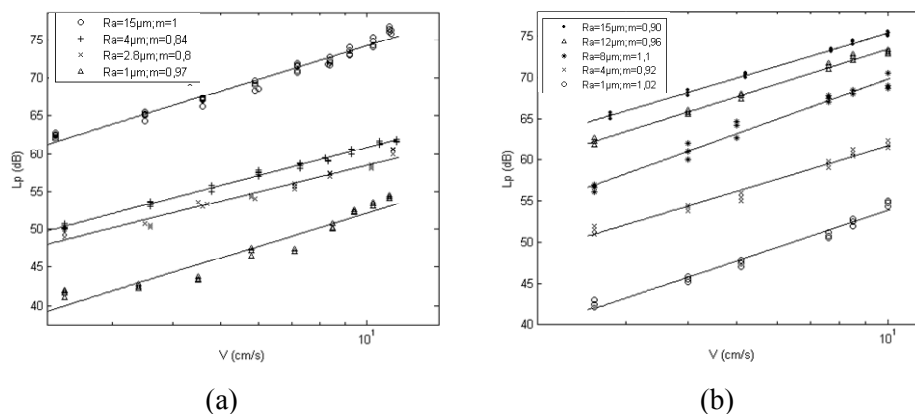


FIG. 6 – Variation du niveau de la pression acoustique Lp (dB) en fonction de la vitesse de frottement pour différentes rugosités de surface obtenues par sablage (a) et par électroérosion (b).

Ces résultats montrent que plus la vitesse de frottement est élevée, plus le nombre des impacts inter-aspérités est important dans un laps de temps donné. Ce qui soumet les deux solides, en contact, à un état des vibrations auto-excitées plus importantes et par suite un bruit rayonné plus élevé.

6 Conclusion

Nous avons étudié la variation du niveau sonore en fonction de la rugosité de surface et la vitesse de frottement lors d'un contact rugueux / rugueux dans une configuration plan / plan. Ce bruit est une fonction croissante et linéaire du log de la rugosité de surface et de la vitesse de frottement. Les pentes de ces lois sont:

$$Lp(dB) = 20 \log_{10} Ra^n \cdot V^m \quad \text{avec } 0,8 \leq n \leq 1 \text{ et } 0,8 \leq m \leq 1,1.$$

Nous avons montré aussi que le bruit de frottement est généré par des impacts inter-aspérités lors du frottement. En effet, ces impacts soumettent les deux solides en contact à un état des vibrations générateurs du bruit rayonné.

Références

- Takashi, K., 1973 The Friction Noise under Heavy Load. *Bull. Fac. Sci. Eng.*, Chuo University, 16, 53-69.
- Nakai, M., Yokoi, M., 1982 A Fundamental Study on Frictional Noise (5th report, The influence of random surface roughness on frictional noise. *Bull. JSME*. 25, 827-833.
- Othman, M.O., Elkholy, A.H., 1990 Surface roughness measuring using dry friction noise. *Experimental mechanics*, 47, 309-312.
- Othman, M.O., Elkholy, A.H., Seireg, A.A., 1990 Experimental investigation of frictional noise and surface-roughness characteristics. *Experimental mechanics*, 47, 328-331.
- Jibiki, T., Shima, M., Akita, H., Tamura, M., 2001 A basic study of friction noise caused by fretting, *Wear*, 251, 1492-1503.
- Stoimenov, B.L., Maruyama, S., Adashi, K., Kato, K., 2005 The roughness effect on the frequency of frictional sound. , *Tribology*, doi: 10.1016/j.triboint, 11.010.
- Ben Abdelounis, H., Le Bot, A., Zahouani, H., 2006 Description phénoménologique du bruit de rugosité. *Tribologie et couplages multiphysiques*. JFT, 22-24 mai 2006, Lille, France.
- Bowden, F.P., Tabor, D., 1950 The Friction and Lubrication of Solids I, *Clarendon Press, Oxford*.
- Archard, J.F., 1957 Elastic deformation and the laws of friction. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, Vol. 243, No. 1233 (Dec. 24, 1957), pp. 190-205.
- Greenwood, J.A., Williamson, J.B.P., 1966 Contact of nominally surfaces. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, Vol. A295, No. 0 (Apr. 28, 1966), pp. 300-319.
- Tomlinson, G.A. 1929 A molecular theory of friction. *Philos. Mag.* 7. **905**
- Caroli, C., Nozières, P., 1996 Dry Friction as a Hysteric Elastic Response. In Physics of sliding surfaces, Vol. 311 of NATO Advanced Study Institut, series E, (ed. B.N.J. Persson & E. Tosatti), pp. 27-50. Kluwer Academic publishers, Dordrecht.
- Tanguy, A., Nozières, P., 1996 First Order Bifurcation Landscape in a 2 D Geometry: The Example of Solid Friction. *J. Phys.I France*. 6, 1251-1270
- Ciliberto, S., Laroche, C., 1999 Energy dissipation in solid friction. *Eur. Phys. J.B.* 9, 551-558