

Croissance des surfaces pour différentes longueurs de germination

Abdenour Saoudi^{1,2}, Guillaume Gregoire^{2,3}, Hamid Djebaili¹, Francisco Chinesta²

¹ Laboratoire Ingénierie et Sciences des Matériaux Avancés (ISMA), Université Abbes Laghrour de Khenchela, Algeria

² ICI - High Performance Computing Institute & ESI GROUP Chair, 1 rue de la Noé, F-44300 Nantes, France

³ Laboratoire Matière et Systèmes Complexes (MSC), Univ. Paris-Diderot, CNRS UMR 7057, F-75205 Paris CEDEX 13, France

saoudiabdenour@gmail.com

Résumé— Les propriétés de la surface, particulièrement microgéométriques, jouent un rôle essentiel dans tous les systèmes tribologiques. Dans notre travail, On a créé des surfaces rugueuses à l'aide des méthodes de probabilités entre les sites voisins. L'objectif de notre étude numérique s'articule sur l'influence de la longueur de germination sur la morphologie de l'interface des surfaces rugueuses. En outre, nous avons calculé le régime de croissance des surfaces rugueuses et les exposants de mise à l'échelle (exposants de croissance, l'exposant de rugosité et l'exposant de dynamique) en variant la longueur de germination et la taille du système.

Mots clés— Tribologie, Surfaces rugueuses, Germination, Régimes de croissance, La rugosité.

I. INTRODUCTION

La rugosité cinétique des fronts de croissance des surfaces et des interfaces est généralement régie par des processus stochastiques impliquant des effets hors équilibrés sur de nombreux corps ou en utilisant des approximations de champ moyen et en utilisant largement les simulations de Monte Carlo [1-7]. La complexité de la morphologie des interfaces des surfaces rugueuses empêche l'application des approches analytiques. Le développement de la théorie de mise à l'échelle décrivant la dynamique des surfaces rugueuses comme l'écart-type de la hauteur dépendant du temps [8,9] :

$$W(L,t) = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L [h(i,t) - \bar{h}(t)]^2} \quad (1)$$

Où W est la rugosité de surface, L est la taille du système, d est la dimension, $h(i,t)$ est la hauteur de la surface de site (i) dans un temps (t) , et $\bar{h}(t)$ est la valeur moyenne de la surface à l'instant (t) . Pour une surface générale, la moyenne est donnée par :

$$\bar{h}(t) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L h(i,t) \quad (2)$$

Généralement, la rugosité de surface augmente en tant que puissance du temps jusqu'à un temps t_x [10].

$$W(L,t) \sim t^\beta, [t \ll t_x] \quad (3)$$

Où β est l'exposant de saturation en décrivant la dynamique de rugosité dépendante du temps. La rugosité est saturée d'une valeur W_{sat} qui s'adapte avec L , et la dépendance suit également une loi de puissance.

$$W_{sat}(L) \sim L^\alpha, [t \gg t_x] \quad (4)$$

Où α est l'exposant de rugosité qui décrit la rugosité après la saturation du système. La relation de mise à l'échelle générale de Family-Vicsek [11]

$$W(L,t) \sim L^\alpha f\left(\frac{t}{L^z}\right) \quad (5)$$

Les exposants sont également liés les uns aux autres. On obtient l'exposant dynamique comme

$$z = \frac{\alpha}{\beta} \quad (6)$$

Les relations entre les exposants reposent sur tout processus de croissance et ont été étudié dans beaucoup de modèles et expériences [12]. Les exposants α , β et z caractérisent la croissance des surfaces et leurs propriétés structurales (auto-affines, auto-similarités et la dimension fractale,...) [13,14]. Dans le processus de rugosité, les particules de matière arrivent constamment à une position aléatoire x . Ensuite, selon l'état d'un voisinage de x , la hauteur $h(x)$ peut être incrémentée, ou décrémentée, un site parmi ses voisins peut également être affecté. À partir des règles

microscopiques, différentes dynamiques de rugosité apparaissent. En ce qui concerne les phénomènes critiques, seuls deux exposants sont suffisants pour caractériser ces dynamiques et définissent ainsi des classes universelles de surfaces rugueuses [15]. L'un d'entre eux consiste à étudier les fonctions de corrélation, respectivement dans le temps et dans l'espace [16, 17] :

$$H(x, t) = h(x, t) - \bar{h}(x, t) \quad (7)$$

Où $h(x, t)$ est la hauteur de la surface rugueuse dans la position x à l'instant t , et $\bar{h}(x, t)$ est la surface moyenne. Les fluctuations de l'interface sont déterminées par

$$W(t) = \langle (h(x, t) - \bar{h}(t))^2 \rangle_x \quad (8)$$

La fonction de corrélation des hauteurs est calculée comme :

$$C(x) = \langle (h(x_0 + x, t) - h(x_0, t))^2 \rangle_{x_0} \quad (9)$$

Les moyennes $\langle . \rangle_x$ sont calculées selon la taille du système.

II. MODELE DE CROISSANCE

La déposition des particules dans le modèle de croissance aléatoire avec germination consiste que la particule se déplace vers la hauteur maximale des sites voisins les plus proches ($i - 1$ ou $i + 1$) avec une probabilité l'égale de 40% ou elle reste se déposer sur le site aléatoire i d'une probabilité de 20%. Tandis que, si la particule tombe aléatoirement sur un maximum ou sur un site où les sites voisins sont de même hauteur ($i - 1, i$ et $i + 1$), une probabilité l'égale de 80% de se coller irrésiblement sur l'un des trois sites voisins, sinon elle se déplace pour un pourcentage de 20%. En appliquant les conditions périodiques aux bords ($i = 0, i = nx + 1$) (voir la figure 1).

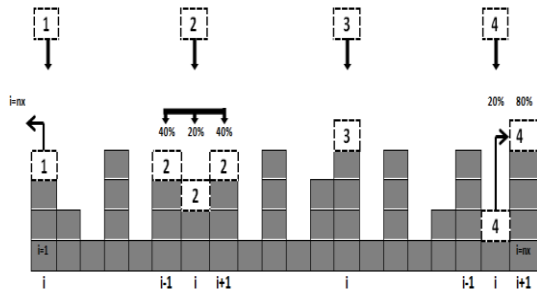


Fig. 1. Illustration des processus de croissance de surface dans le modèle aléatoire avec germination pour une longueur de germination $l_G=2$.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

Le mécanisme de croissance des surfaces pour différentes longueurs de germination l_G consiste à

chaque instant t une particule tombe sur le substrat (figure 2). L'effet de germination ressemble à la tension superficielle dans la surface du liquide lorsque le substrat s'approche de la cible dans le dépôt physique en phase vapeur (PVD). Dans ce modèle, la restructuration est dominante : la rugosité de surface est dépendante de la longueur de germination l_G (figure 3).

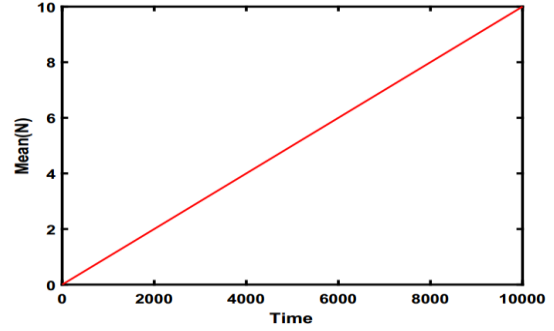


Fig. 2. La moyenne des particules pour différentes longueurs de germination l_G pour un nombre de particules $N = 10000$ et la taille du système $nx = 1000$.

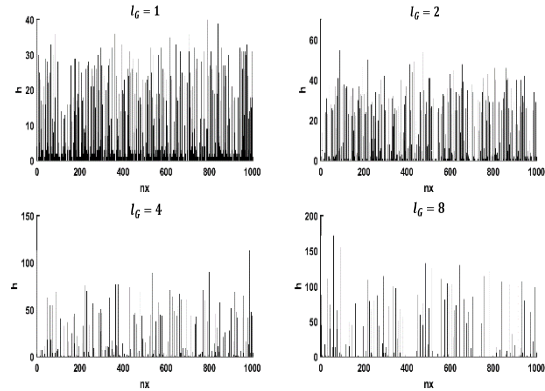


Fig. 3. Structures surfaciques obtenues pour différentes longueurs de germination l_G pour $N=10000$ et $nx=1000$.

Les surfaces obtenues sont complètement bruitées. En revanche, la croissance des surfaces aient été faites sur certaines colonnes verticalement à cause du déplacement des particules de sites vides vers les sites occupés. Lorsqu'on augmente la longueur de germination l_G , la surface a été crue sur les premiers sites occupés en réduisant le nombre de sites occupés et en augmentant la hauteur de la surface.

IV. LES EXPOSANTS DE MISE A L'ECHELLE

Pour différentes tailles du système nx et longueurs de germination l_G , on a trouvé deux régimes de croissance différents (figures 4 et 5) : Premièrement, avant qu'une couche des particules ait été créée, l'effet de la germination n'a aucune influence sur la croissance de surface, car elle ne change pas le placement aléatoire des particules (la particule s'y colle au hasard irrésiblement) (un régime autonome

transitoire). Après la création des premières couches de la surface, un régime de désaturation dû de la germination des particules vers les sites d'une hauteur maximale. En outre, le régime de croissance est dépendant de la longueur de germination l_G (figure 5) et indépendant de la taille du système nx (figure 4).

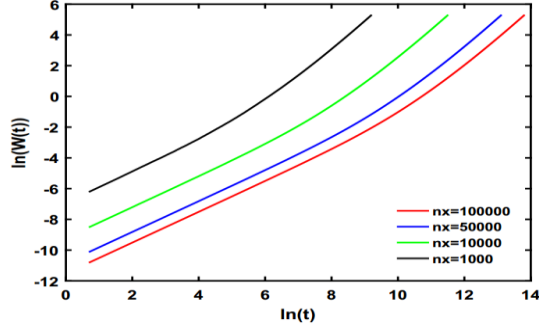


Fig. 4. $\ln(W(t))$ vs $\ln(t)$ montrant le régime de croissance pour différentes tailles du système nx en prenant $l_G=2$.

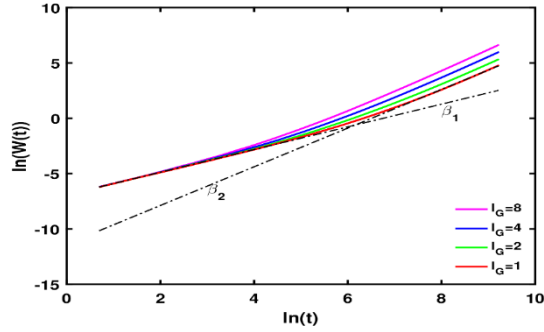


Fig. 5. $\ln(W(t))$ vs $\ln(t)$ montrant le régime de croissance pour différentes longueurs de germination l_G en prenant $N=10000$ et $nx=1000$.

Les exposants de croissance β_1 et β_2 ont été calculés à la pente de la région de croissance dans la courbe $\ln(W(t))$ en fonction de $\ln(t)$ (figure 5). Une forte dépendance de β_1 et β_2 à l'égard de longueur de germination l_G . Lorsque l_G est plus grande, les exposants β_1 et β_2 s'éloignent de la valeur de saturation $\beta_{sat} = 0.5$. Les résultats sont présentés dans le tableau 1.

TABLEAU I. VALEURS DES EXPOSANTS DE CROISSANCE β_1 ET β_2 POUR DIFFERENTES LONGUEURS DE GERMINATION l_G .

l_G	β_1	β_2
0	0.5000	0.5000
1	0,5019	0,8754
2	0,5055	0,8982
4	0,5135	0,9313
8	0,5309	0,9515

Les valeurs de l'exposant de rugosité α et l'exposant de dynamique z sont indéterminées car la rugosité ne se saturera jamais.

Sur les figures 6 et 7, on a représenté respectivement les courbes de $\ln(C)$ en fonction

$\ln(x)$ (en utilisant l'équation 9) pour les deux cas suivants (en faisant varier d'abord la taille du système nx , et puis la longueur de germination l_G) pour une longueur de corrélation $x = \frac{nx}{2}$. et la hauteur de la surface dans les sites (pour toute valeur de x comprise entre 1 et nx) dans un temps donné t . On constate que les surfaces obtenues ne sont pas corrélées et n'aient pas de propriétés fractales. En revanche, la corrélation C ne dépend pas de la taille du système nx (figure 6). Par contre, elle montre une forte dépendance à l'égard du nombre d'étapes de germination l_G (figure 7).

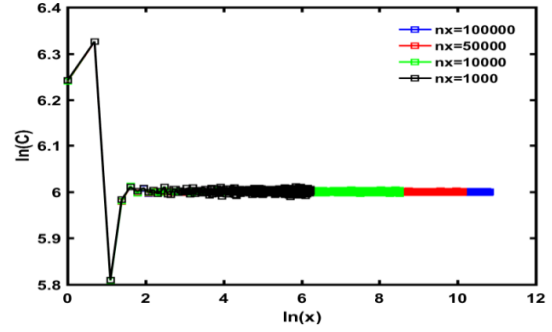


Fig. 6. $\ln(C)$ vs $\ln(x)$ montrant la corrélation entre les hauteurs pour différentes tailles du système nx et en prenant $l_G=2$.

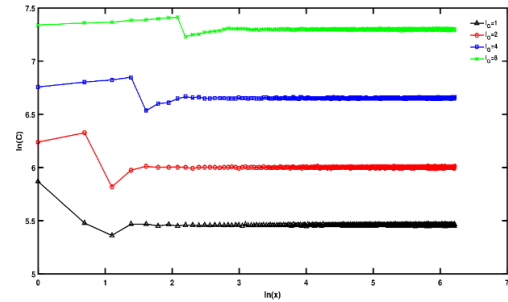


Fig. 7. $\ln(C)$ vs $\ln(x)$ montrant la corrélation entre les hauteurs pour différentes longueurs de germination l_G en prenant $N=10000$ et $nx=1000$.

V. CONCLUSION

La croissance dans le modèle aléatoire avec germination passe par deux régimes différents : premièrement un régime aléatoire transitoire, car les particules ne changent pas leurs sites occupés aléatoirement. Après la création des premières couches, un régime de désaturation. En revanche, une dépendance intéressante de l'exposant de croissance à l'égard de la longueur de germination l_G par contre il est indépendant de la taille du système nx . En outre, les exposants de rugosité α et de dynamique z sont indéterminés car les surfaces obtenues ne sont pas corrélées et n'aient pas de propriétés fractales.

REFERENCES

- [1] Family F and Viscek T. Dynamics of fractal surfaces. World Scientific, Singapore 1990.

- [2] Halpin Healy T, Zhang Y.C. Phys. Rep. 254 (1995) 215.
- [3] Charles B. D, Ward P. E. *Frontiers in Surface and Interface Science*. Elsevier, Amsterdam, 2002.
- [4] Das Sarma S, Tamborenea P. A New Universality Class for Kinetic Growth: One-Dimensional Molecular-Beam Epitaxy. Phys. Rev. Lett. 66, 325 (1991).
- [5] Barato A. C, Oliveira M. J. Numerical study of a model for nonequilibrium wetting, J. Phys. A 40, 8205 (2007).
- [6] Albano E. V, Salvarezza R. C, Vazquez L, Arvia A. J. Three-dimensional off-lattice model for the interface growth of polycrystalline materials. Phys. Rev. B 59, 7354 (1999).
- [7] Forgerini F. L, Figueiredo W. Random deposition of particles of different sizes. Physical review E 79, 041602 (2009).
- [8] Family F, Vicsek T, J. Phys. A 19 (1995) L75.
- [9] Meakin P, Vicsek T, Family F. Dynamic cluster-size distribution in cluster-cluster aggregation: Effects of cluster diffusivity. Phys. Rev. B 31, 564 – Published 1 January 1985.
- [10] Mal B, Ray S, Shamanna J. Revisiting surface diffusion in random deposition. European Physical Journal B, 82(3):341, August 2011.
- [11] Family F, Vicsek T. Scaling of the active zone in the Eden process on percolation networks and the ballistic deposition model. J. Phys. A 18(2), L75 (1985).
- [12] Meakin P, Phys. Rep. 235 (1993) 189.
- [13] Barabasi A, Stanley H. *Fractal Concepts in Surface Growth*. Cambridge University Press, 1995.
- [14] Forgerini F. L, Figueiredo W. Thin-film growth by random deposition of rod-like particles on a square lattice. Phys. Status Solidi C 8, No. 11–12, 3119–3122 (2011).
- [15] Binder K. Monte Carlo investigations of phase transitions and critical phenomena. In Cyril Domb and M S Green, editors, *Phase transitions and critical phenomena*. Academic Press, 1976.
- [16] Saoudi A, Leon A, Gregoire G, Barasinski A, Djebaili H, Chinesta F. On the interfacial thermal properties of two rough surfaces in contact in preimpregnated composites consolidation. *Surface Topography: Metrology and Properties*, Volume 5, Number 4, 13 December 2017.
- [17] Mirabella D. A, Aldao C. M. Surface growth by random deposition of rigid and wetting clusters. *Surface Science* 646 (2016) 282–287.