

Etude des mécanismes d'érosion ioniques sur matériaux spatiaux

L. Nicolas ^{(1)*}, M. Villemant ⁽¹⁾, T. Paulmier ⁽¹⁾, G. Giesen ⁽²⁾

(1) ONERA - DPHY - CSE, Toulouse, France

(2) CNES, Toulouse, France

* lucas.nicolas@onera.fr

La propulsion électrique

Rôle des propulseurs sur satellites:

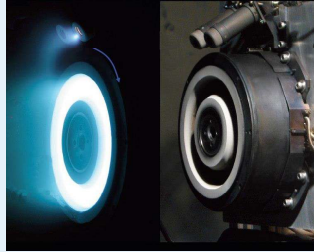
- Mise à poste
- Correction d'altitude et d'orientation
- Désorbitation

Principe de la propulsion électrique:

- Ionisation d'un gaz (Xe / Kr).
- Accélération puis éjection des ions à grande vitesse (30-50 km/s).

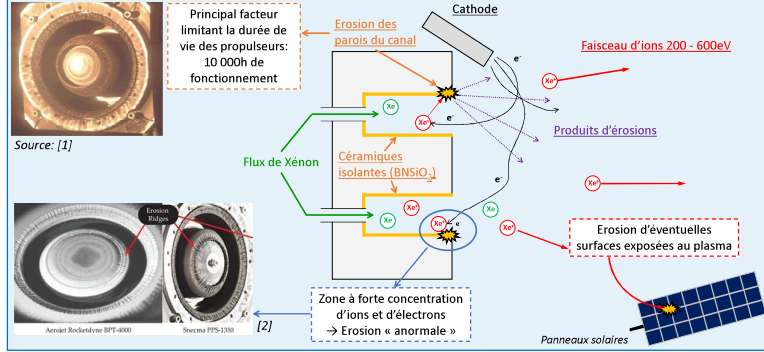
Avantage: Très faible consommation de carburant

→ Réduction importante de la masse du satellite au décollage et des coups de lancement.



Propulseur de Hall SPT-140 (crédit: NASA, JPL)

Problématique d'érosion ionique sur propulseurs



Objectifs

Meilleure compréhension des mécanismes d'érosion et de contamination induite sur satellites

Mise en place d'une méthode de mesure in-situ de l'érosion et de la contamination

Mesures sur matériaux spatiaux

- Molybdène
- BNSiO₂
- Kapton / PEEK

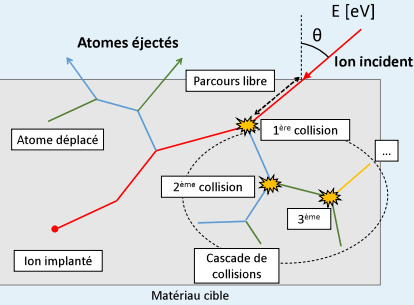
Etude des paramètres influençant le taux d'érosion

- Etats de surface
- Synergie ions - électrons
- Phénomènes à basse énergie

Optimisation et validations des outils de simulation

→ Code de modélisation de pulvérisation ionique: CSIPI

La pulvérisation ionique



Erosion par pulvérisation ionique: Arrachement de particules en surface du matériau du fait d'un flux d'ions incidents.

Taux d'érosion:

$$\gamma = \frac{\text{Nombre d'atomes érodés}}{\text{Nombre d'ions incidents}} \text{ [atm/ion]}$$

CSIPI: Code Monte Carlo de simulation de pulvérisation ionique [3].
Modélise des cascades de collisions dans un matériaux.

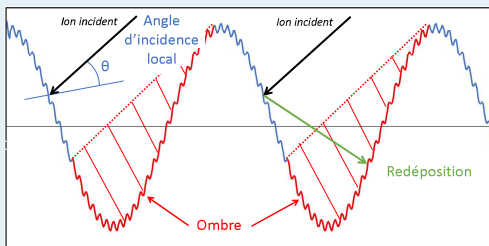
Erosion de surfaces rugueuses

Données d'entrée:

- Profil de surface : $z = f(x)$
- Taux d'érosion / lobes d'émission de CSIPI

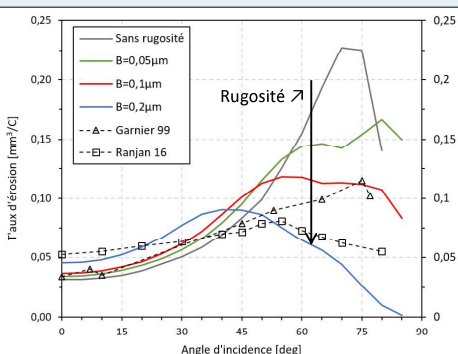
Influence de 3 effets géométriques sur l'érosion:

- Incidence locale
- Ombrage
- Redéposition



Simulation avec profil sinusoïdal en entrée:

$$z = A * \cos(\omega x) + B * \cos(\nu x)$$



Xe^+ (500eV) → BN
Taux d'érosion en fonction de l'angle d'incidence.
Simulation avec différents profils de surface (variation du paramètre B) et comparaison avec des résultats expérimentaux de la littérature [9,10].

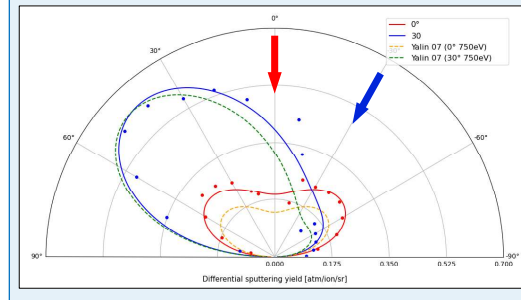
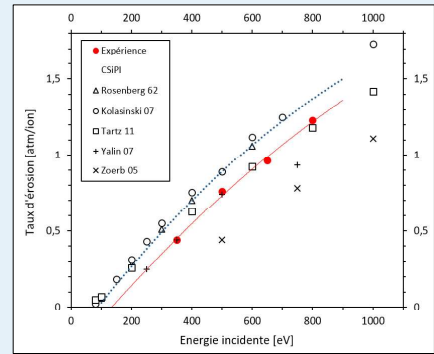
En incidence oblique, une rugosité plus élevée réduit le taux d'érosion

Mesures de taux d'érosion

Installation expérimentale IDEFIXE

- Enceinte à vide (10^{-6} mbar).
- Source plasma pour gaz nobles (≈ 10 mA).
- Mesures de taux d'érosion par collection sur microbalances à quartz (QCM)**

- Balayage de la QCM dans la demi-sphère face à la cible.
- Collection de particules pulvérisées en chaque point.
- Reconstitution du lobe d'émission et taux d'érosion total.



Perspectives

- Utilisation de la méthode de mesures par QCM pour étudier l'érosion de matériaux complexes: BNSiO₂ / Kapton / PEEK
- Etude des phénomènes d'érosion synergique ions + électrons
- Mesures à basse énergie (50 eV et moins) pour déterminer les seuils d'érosion

[1] M. Dudek et al 2012 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 29 012010
[2] N. P. Brown and M. L. R. Walker, Applied Sciences, vol. 10, no. 11
[3] T. Torou, V. Vial-Ingimberts, J.-F. Rousseil, and S. D'Escrivan, 44th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, Jul. 2008.
[4] A. P. Yalin, J. D. Williams, V. Saria, et K. A. Zoerb, J. Phys. D: Appl. Phys., vol. 40, n° 10, p. 3194-3202.
[5] D. Rosenberg et G. K. Wehner, Journal of Applied Physics, vol. 33, n° 5, p. 1842-1845
[6] K. A. Zoerb, J. D. Williams, D. Williams, et A. Yalin, 29th International Electric Propulsion Conference, Princeton University, 2005.
[7] R. D. Kolasinski, J. E. Polk, D. Goebel, et L. K. Johnson, Journal of Vacuum Science & Technology A, vol. 25, n° 2, p. 236-245.
[8] M. Tartiz, T. Heys, C. Bundesmann, C. Zimmermann, et H. Neumann, Eur. Phys. J. D, vol. 61, n° 3, p. 587-595.
[9] Y. Garnier, V. Viel, J.-F. Rousseil, and J. Bernard, Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films, vol. 17, no. 6, pp. 3246-3254.
[10] M. Ranjan et al., AIP Advances, vol. 5, n° 9, p. 095224, sept. 2016.