

---

---

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

---

---



## Caractérisation d'une surface de l'échelle macroscopique à l'échelle nanométrique

---

### LYCÉE

Lycée Aristide Briand - 44606 Saint-Nazaire (*Nantes*)

### PARTICIPANTS

#### *Professeur*

Jacques ROYER

#### *Élèves*

Guillaume BELLIOU, Jérôme CHOTARD, Erwan GUIHÉNEUF, Frédéric LETOURNEAU,  
Antoine POSTEC et François ROUÉ

#### *Conseiller scientifique*

Christophe CARDINAUD (chargé de recherche CNRS à l'IMN)

#### *Partenaire*

Laboratoire des Plasmas et des Couches Minces - Institut des Matériaux de Nantes -  
2, rue de la Houssinière - BP 32229 - 44322 NANTES Cedex 3

### OBJECTIFS DU PROJET

L'équipe d'apprentis-chercheurs du lycée Aristide Briand de Saint-Nazaire s'est fixé un double objectif : **caractériser une surface solide** par ses propriétés physiques et sa composition chimique ; étudier des exemples de **traitements de surface** développés dans l'industrie, en analysant les modifications des propriétés superficielles qu'ils induisent.

---

---

**OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD**

---

---

**DÉROULEMENT DU PROJET**

Le travail expérimental a été effectué au lycée (mesures de rugosités, de coefficients de frottement statique et de microduretés ; anodisation de l'aluminium) et à l'Institut des Matériaux de Nantes (microscopie électronique, microscopie à force atomique et spectroscopie de photoélectrons X). Deux visites d'entreprises (SONATS à Rezé (Loire-Atlantique)) ; Service Peinture des Chantiers de l'Atlantique de Saint-Nazaire) ont permis une ouverture du projet sur les applications industrielles.

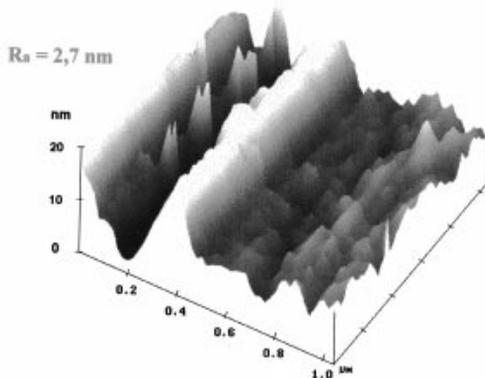
**RÉSUMÉ DU PROJET**

Le projet complet peut être consulté à l'adresse :

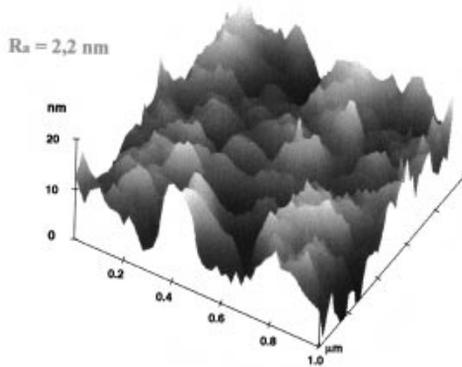
<http://olympiades.briand44.free.fr>

**1. Caractéristiques physiques d'une surface*****Rugosité de l'échelle macroscopique à l'échelle microscopique***

Comment définit-on la rugosité arithmétique  $R_a$  d'une surface ? Comment la mesure-t-on ? Quel est le principe de fonctionnement d'un rugosimètre permettant une sensibilité de l'ordre du dixième de  $\mu\text{m}$  ? d'un microscope à force atomique (AFM) permettant d'accéder au relief d'une surface à l'échelle nanométrique ? Les figures suivantes sont deux exemples d'images AFM où apparaît très nettement la différence de relief entre la face brillante et la face mate d'une feuille d'aluminium alimentaire (Albal).



**Figure 1** : Face brillante d'une feuille d'aluminium alimentaire.  
*Image au microscope à force atomique.*



**Figure 2 :** Face mate d'une feuille d'aluminium alimentaire.  
*Image au microscope à force atomique.*

### ***Rugosité et frottement***

Une étude comparative entre plusieurs surfaces métalliques a été mise en œuvre pour montrer l'influence de la rugosité sur le coefficient de frottement. Deux méthodes ont été employées pour mesurer le coefficient de frottement statique entre deux surfaces solides. L'influence de la lubrification sur le coefficient de frottement a également été abordée.

### ***Dureté***

La dureté d'un matériau est la résistance qu'il oppose à la pénétration d'un autre corps plus dur que lui. Cette notion intuitive de dureté est bien connue mais sa transformation en une grandeur mesurable est plus délicate. Il existe plusieurs échelles de dureté. C'est l'échelle Vickers et le principe de sa mesure qui ont été étudiés.

## **2. Composition chimique d'une surface**

Pour déterminer la composition chimique d'une surface, il existe des techniques expérimentales connues sous le terme général d'**analyses de surface**. Les informations obtenues par une analyse de surface proviennent d'une couche superficielle du solide dont l'épaisseur dépend de la technique et du matériau. Cette épaisseur de l'ordre de quelques nanomètres est appelée **profondeur d'analyse**. La surface au sens physico-

---

---

**OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD**

---

---

chimique possède donc une épaisseur ; nous sommes loin de la notion de surface au sens mathématique.

La technique d'analyse de surface exploitée lors de ce projet est la **spectroscopie de photoélectrons X** ou **XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy)**. Cette méthode, utilisant un processus de photoémission électronique, renseigne sur la nature des atomes et les liaisons chimiques.

### 3. Exemples de traitements de surface

Les traitements de surface sont des procédés qui modifient les propriétés superficielles d'un matériau. Ces procédés sont nombreux et ils font intervenir des phénomènes très variés de la physique et de la chimie : électrochimie, métallurgie, mécanique, optique...

Ont été abordés :

- des procédés de revêtement de surface dont le but est de protéger contre la corrosion : l'anodisation de l'aluminium, le dépôt des peintures lors de la construction des navires aux Chantiers de l'Atlantique ;
- des procédés de grenailage de surface ayant pour objectif de décaper la surface ou d'augmenter la durée de vie de certaines pièces mécaniques.

#### *L'anodisation de l'aluminium*

L'aluminium présente à l'état naturel une couche d'alumine superficielle qui le protège de l'oxydation. Cette couche naturelle, de quelques nanomètres d'épaisseur, est sujette à détérioration. Une meilleure protection de l'aluminium contre la corrosion est obtenue en accroissant l'épaisseur de la couche d'alumine (plusieurs  $\mu\text{m}$ ). C'est l'objet de la technique d'anodisation de l'aluminium. C'est un traitement de surface simple qui consiste en une électrolyse en milieu acide sulfurique (cathode : plomb ; anode : aluminium à traiter). Les méthodes de caractérisation physique et chimique, développées dans les deux premières parties, ont permis d'étudier les modifications de l'état de surface induites par ce traitement.

#### *Le grenailage de précontrainte par ultrasons*

Afin d'augmenter la durée de vie de certaines pièces mécaniques (pignon, ressort, train d'atterrissage d'un avion, ...), la Société des Nouvelles Applications des Techniques de Surfaces (SONATS Rezé) met en œuvre le procédé de grenailage de précontrainte par ultrasons. Un «gaz de billes», créé grâce à un générateur ultrasonore, bombarde la

---

---

**OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD**

---

---

pièce à traiter. Ce mitraillage accroît la dureté superficielle de la pièce qui devient moins sujette à l'usure. Sa durée de vie s'en trouve augmentée.

***Traitements de surface aux Chantiers de l'Atlantique***

Objectif : protection anticorrosion des navires. Quelques chiffres : la masse de peinture après séchage est d'environ soixante tonnes sur un paquebot de 180 m comportant environ 125 000 m<sup>2</sup> de surfaces peintes. Après l'application de la dernière couche (antifouling empêchant la fixation des algues et coquillages), la rugosité de carène est mesurée pour vérifier qu'elle ne dépasse pas en moyenne 130 µm (limite définie par contrat avec l'armateur). En effet, au même titre que la rugosité biologique (algues et coquillages), une rugosité physique trop importante entraînerait une surconsommation de carburant.