



## **Département Environnement Spatial (DESP)**

### **Contribution à l'étude de l'émission électronique sous impact d'électrons de basse énergie ( $\leq 1$ keV) : application à l'aluminium**

#### **Soutenance de thèse de Julien ROUPIE**

**18 février 2013 – 10 h 00**

**Salle des Thèses de l'ISAE**

#### **Devant le jury :**

- Mohamed BELHAJ - ONERA/DESP
- Raynald GAUVIN - McGill University, Québec
- Omar JBARA - LISM, Reims – Directeur de thèse
- Philippe JONNARD - LCPMR, Paris
- Leanne PITCHFORD - LAPLACE, Toulouse
- Raphaël RENOUD - IREENA, Nantes

#### **Résumé :**

Le phénomène d'émission électronique (secondaire et rétrodiffusée), induit par les électrons a été largement étudié, tant théoriquement qu'expérimentalement, dans le domaine des hautes énergies, en liaison notamment avec la microscopie électronique et les spectroscopies d'analyse des surfaces. Cependant, on ne trouve qu'une quantité très limitée de travaux dans le domaine des énergies très basses ( $< 100$  eV) qui trouvent par exemple des applications dans la recherche spatiale. Il s'agit notamment de la modélisation de l'effet multipactor dans les guides d'onde radiofréquence sous vide pour lesquels le rendement d'émission électronique de quelques eV à quelques dizaines d'eV présente un intérêt considérable. C'est précisément dans ce domaine énergétique que le phénomène d'émission électronique constitue un défi difficile à relever et très intéressant ; il exige une connaissance approfondie du comportement des électrons lors de leur pénétration dans le matériau pour pouvoir en donner une meilleure description. Sur le plan expérimental, le peu de résultats, dans le domaine des basses énergies, que l'on peut trouver dans la littérature témoigne également de la difficulté à conduire des expériences dépourvues de tout artefact. En effet, les aspects aussi bien qualitatifs que quantitatifs du rendement d'émission font l'objet d'un débat soutenu et constructif, en particulier sur son allure et sa valeur quand l'énergie primaire tend vers zéro. C'est dans le but d'apporter une contribution à la compréhension du phénomène d'émission électronique, sous ses deux aspects microscopique et macroscopique, que nous avons entrepris une étude théorique qui consiste à développer des simulations Monte Carlo fondées sur des modèles d'interaction adaptés au domaine d'énergie étudié pour le cas de l'aluminium afin de produire des données sur les grandeurs caractéristiques de l'émission électronique.

Ainsi, nous avons identifié les différentes interactions mises en jeu par le phénomène d'émission électronique dans un domaine d'énergie inférieure à 1 keV : électron-noyau, électron-électron de conduction, électron-plasmon de volume, électron-plasmon de surface, électron-électron de cœur et électron-surface. Puis nous avons sélectionné pour chaque interaction le ou les modèles existants les plus appropriés tout en leur apportant des modifications à chaque fois que cela était nécessaire. Certains modèles trouvés dans la littérature ont été utilisés pour la première fois dans le domaine de l'émission électronique.

Notre approche a été appliquée aux métaux à électrons libres (plus précisément à l'aluminium) et a été validée expérimentalement lorsque les données existaient. L'accord entre expérience et théorie est très satisfaisant à très basse énergie. L'allure de la courbe de rendement communément admise à ce jour a été contredite et expliquée par la faible probabilité d'échappement des électrons de très basse énergie, ainsi que par un traitement plus rigoureux de la réflexion des électrons de très basse énergie qui impactent le matériau. De surcroît, la simulation donne accès pour la première fois à un rendement à très basse énergie qui présente des oscillations que l'on retrouve dans les rares données expérimentales disponibles. Ces oscillations sont attribuées à l'émergence d'interaction de l'électron avec les plasmons de surface et de volume. Les simulations ont montré l'importance de la population d'électrons rétrodiffusés à très basse énergie, ce qui est cohérent avec des données expérimentales sur d'autres métaux.