

Quand les panneaux solaires prennent soin d'eux-mêmes

Ancrage au thème de l'année:

De nos jours la conquête spatiale s'appuie sur les astromobiles. Les conditions extrêmes d'exploitation rendent leur gestion d'énergie difficile. Le rover Opportunity (Mars, 2004-2018) s'est éteint à cause de l'accumulation de poussière sur ses panneaux solaires : cela impose un cycle de nettoyage autonome.

Motivation du choix de l'étude:

L'étude et la conquête spatiale étant un domaine très florissant aujourd'hui, surtout pour l'exploration de Mars. Les problématiques liées à la gestion de l'énergie autonome nous intéressent particulièrement, notamment en ce qui concerne les panneaux solaires.

1. Positionnements thématiques et mots-clés:

Mécanique
Physique Ondulatoire
Automatique

mots-clés :

panneaux solaires / solar panel
poussières / dust
Capteurs / sensors
vibrations / vibrations
Autonomie / autonomy

2. Bibliographie commentée :

Les panneaux solaires photovoltaïques sont des dispositifs permettant de convertir l'énergie lumineuse en électricité à travers un phénomène appelé effet photovoltaïque. Chaque panneau est constitué de cellules solaires qui, à l'aide de matériaux semi-conducteurs (principalement du silicium), captent les photons et génèrent un courant électrique. La performance des panneaux solaires dépend de plusieurs facteurs, notamment l'intensité lumineuse, l'angle d'incidence de la lumière sur les cellules et la température.[1]

Les panneaux solaires jouent un rôle crucial dans les missions spatiales depuis 1958, notamment pour les rovers et les sondes qui explorent des planètes comme Mars. En effet, ces dispositifs fournissent l'énergie nécessaire au fonctionnement des instruments scientifiques, aux systèmes de communication et à la mobilité des rovers. En l'absence de sources d'énergie alternatives sur Mars, tels que des générateurs thermoélectriques à radio-isotope, les panneaux solaires sont la solution privilégiée pour alimenter ces missions. Grâce à leur capacité à convertir l'énergie solaire en électricité, ils permettent aux rovers de fonctionner de manière autonome et d'effectuer des missions

de long terme.[2]

La détection de la poussière sur les panneaux solaires est essentielle pour le fonctionnement des rovers. Celle-ci repose principalement sur l'observation de la diminution de leur performance énergétique[4]. En effet, la poussière martienne, constituée de fines particules de l'ordre du micromètre et chargées électromagnétiquement, peut rapidement se déposer sur les panneaux solaires en raison de la présence de nombreuses tempêtes martiennes [5], réduisant leur capacité à capter la lumière et à produire de l'énergie. Cette accumulation de poussière est un problème majeur pour les missions martiennes, car elle peut entraîner une baisse significative de l'efficacité des panneaux, parfois jusqu'à un arrêt total du rover. Les rovers comme *Opportunity* ont été équipés de capteurs qui mesurent la tension et le courant générés par les panneaux solaires, permettant ainsi de détecter toute chute anormale de performance. [2],[4]

Ainsi de nombreuses méthodes sont mises en place, avec plus ou moins de réussite, pour retirer la poussière des panneaux photovoltaïques sans assistance humaine. Par exemple une des méthodes utilisée est d'attendre la présence de tempêtes avec de forts vents pour retirer la poussière. Une autre méthode utilise les propriétés électrostatiques de la poussière pour la retirer.

Enfin, une des méthodes les plus récentes repose sur l'utilisation de secousses mécaniques. En effet, certaines études ont fait vibrer des panneaux solaires jusqu'à ce que la poussière s'en détache. Cette méthode repose sur l'utilisation de vibrations qui à certaines fréquences déplace la poussière sur des zones précises du panneau sous l'effet des ondes stationnaires. Ces figures sont appelées figures de Chladni. Cette méthode permet de déplacer la poussière pour la pousser hors du panneau solaire ou de la faire occuper le moins de surface possible.[3],[6]

3. Problématique retenue :

Comment nettoyer de manière autonome un panneau photovoltaïque pour maintenir le rendement optimal malgré les dépôts fréquents de poussière?

4. Objectifs du TIPE (par membre du groupe):

Objectifs communs :

- Optimisation du nettoyage du panneaux mesure du rendement du panneau solaire avant et après le nettoyage
- détection de la poussière par l'étude du rendement du panneau solaire par des algorithmes de seuil.

Objectifs Alexandre :

- Étude de l'ensoleillement pour pouvoir détecter la poussière.
- Mesure de l'ensoleillement en direct avec Arduino.
- Simulation ondes stationnaires sur la plaque.

Objectifs Stéphane :

- Nettoyage de la poussière par ondes stationnaires sur la plaque.
- coder un algorithme pour calculer la proportion de sable sur la plaque.

5. Liste de références bibliographiques:

[1] article wikipedia Capteur solaire photovoltaïque

https://fr.wikipedia.org/wiki/Capteur_solaire_photovolta%C3%AFque

[2] article wikipedia sur le rover Opportunity

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Opportunity>

[3] article de Nature sur le nettoyage des panneaux solaires en utilisant les figures de chladni
Cho, H., Woo, J., Park, J. *et al.* Dust removal on solar panels of exploration rovers using Chladni patterns. *Sci Rep* 15, 1814 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-86363-7>

[4] article publié dans la revue scientifique Afrique SCIENCE sur l'influence de la poussière sur les panneaux solaires.

<https://www.afriquescience.net/admin/postpdfs/f7964b00120655fa27aae959b9209a1e1725638184.pdf>

[5] Thèse sur l'étude des poussières martiennes.

Yann Leseigneur. Dynamique de la poussière martienne. Planétologie et astrophysique de la terre [astro-ph.EP]. Université Paris-Saclay, 2023. Français. ⟨NNT : 2023UPASP077⟩

<https://theses.hal.science/tel-04532870v1/document>

[6] Énoncé de TP de Licence 3^{ème} année de physique fondamentale sur la visualisation du son
Visualiser le son en étudiant les figures de Chladni.

https://vulgarisation.fr/v/wp-content/uploads/2020/06/B08_Chladny_1.pdf

DOT :

**-Février 2025 recherche bibliographie pour choisir les paramètres à étudier :
l'influence de la fréquence et l'amplitude des vibrations**

**- Mars 2025 premières expériences pour évaluer la faisabilité et pour affiner les
paramètres à étudier (une expériences sur plaque carrée et une sur plaque
rectangulaire). Début du codage d'un algorithme pour calculer la proportion de sable
sur la plaque à partir d'une vidéo.**

**-Avril-Juin 2025 expérimentations en faisant varier la fréquences et l'amplitude. Prise
des vidéos et analyse à l'aide de l'algorithme python .**