

Nous retournons sur la Lune pour y rester!  
L'élaboration d'un projet aussi complexe et imprévisible qu'une base lunaire habitée [1] requiert un arsenal de méthodologies dédiées. En effet, l'absence de système précurseur pertinent souligne la nécessité d'une stratégie de validation précoce, via une approche de modélisation souple.

Le développement d'une telle stratégie vise à coupler différentes disciplines, telles que:

- l'ingénierie des Facteurs Humains,
- l'Ingénierie Système Basée sur les Modèles,
- l'Analyse de Cycle de Vie,
- l'Analyse de Sécurité Basée sur les Modèles,
- et l'Analyse et Optimisation Multidisciplinaire.

# ECO-CONCEPTION D'UNE BASE LUNAIRE HABITÉE

**Augustin Gallois<sup>1\*</sup>**, Stéphanie Lizy-Destrez<sup>1</sup>, Jean-Charles Chaudemar<sup>1</sup>, Estelle Moraux<sup>2</sup>, Gregory Navarro<sup>3</sup>, Alexis Paillet<sup>3</sup> et Julien Rey<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ISAE-SUPAERO, Université de Toulouse, France

<sup>2</sup> Univ. Grenoble Alpes, CNRS, IPAG, 38000 Grenoble, France

<sup>3</sup> Centre National d'Études Spatiales, Toulouse, France



## FACTEURS HUMAINS

- "L'ingénierie des facteurs humains découvre et applique les connaissances liées aux comportements, compétences et limites humaines à la conception d'outils et systèmes destinés à un usage humain sûr, productif, confortable et efficace." [4]
- **In-Situ** [5]
  - Habitabilité (ECLS, confort, bien-être)
  - Ergonomie
  - Sociabilité
- **Au sol**
  - Ingénierie système
  - Entraînement équipage et personnel
  - Opérations
  - Intégration et tests système / équipage
  - Assurance, sûreté et sécurité

## MODEL-BASED SYSTEMS ENGINEERING (MBSE)

- Le MBSE est "l'application formalisée de la modélisation pour soutenir l'ensemble des activités liées à la caractérisation d'un système, tout au long de son cycle de vie" [2]
- Se baser sur des modèles plutôt que sur des documents : pratique à échanger, modifier et partager
- Fournit une structure pour le système et les autres disciplines d'analyse au niveau conceptuel

## ANALYSE ET OPTIMISATION MULTIDISCIPLINAIRE (MDAO)

- "L'idée centrale de la MDAO est de considérer les interactions entre disciplines d'analyse au moyen de modèles couplés, en optimisant simultanément les variables de conception de ces différentes disciplines" [3]
- Optimisation: résolution itérative de modèles, minimisant une fonction-objectif respectant un ensemble de contraintes.
- Permet de trouver une solution **globalement optimale**
- Appliqué à la fois au niveau architectural et mutiphysique

## ANALYSE DE CYCLE DE VIE

- **Eco-Conception**: prise en compte des impacts environnementaux d'un produit ou service afin de les minimiser (couplage MDAO) tout au long de leur cycle de vie (couplage MBSE)
- Définition des objectifs et limites
- Inventaire
- Étude d'impact
- Interprétation
- **Eco-Conception sur Terre et sur la Lune!**

## MODEL-BASED SAFETY ANALYSIS (MBSA)

- Modélisation des composants hardware et software (couplage MBSE)
- **Modèles nominal et défaillants**
- **Supplément l'ingénierie des Facteurs Humains**

## OBJECTIFS

- Permettre une modélisation totale (fonctionnelle, physique, et sur l'ensemble de son cycle de vie) du système qui soit à la fois robuste et souple,
- Définir une architecture centrée autour des facteurs humains (ergonomie, habitabilité...) et répondant aux défis de sûreté dans l'environnement lunaire hostile,
- Inclure une approche par l'éco-conception, et des aspects qualitatifs
- Enfin et surtout, coupler l'ensemble de ces disciplines afin qu'elles se nourrissent des entrées et sorties de chacune pour proposer une solution globale au stade conceptuel.

[1] ISECG, ISECG Global Exploration Roadmap Supplement 2022, October 2022.

[2] INCOSE, INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities, Wiley, 2015.

[3] J. Martins, Engineering Design Optimization, 2021.

[4] M. F. Sanders, E. J. McCormick, Human Factors in Design and Engineering, McGraw Hill Book Company, New York, 1987.

[5] E. Messerschmid, R. Bertrand, Space Stations : Systems and Utilization, ch.11, Springer, 1999.