



gdr-gpl-2022 - Journées nationales du GDR GPL 2022

7-10 juin 2022 Vannes (France)

© A. Lamoignon - Golfe du Morbihan Vannes touristique

Couplage des approches MBSE & MDAO pour le dimensionnement d'une batterie de drone.

*Ombeline Aiello
Olivier Poitou
Jean-Charles Chaudemar
Pierre de Saqui-Sannes*



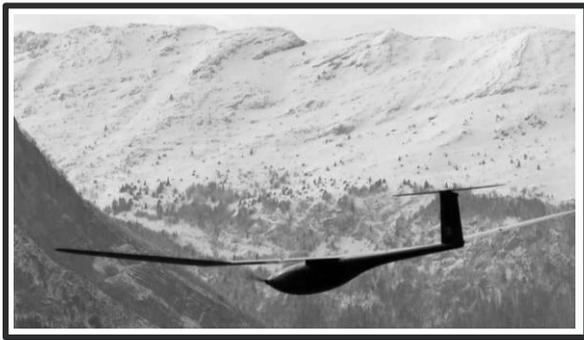
Proposition de couplage MBSE-MDAO

- Etude de faisabilité : décharge de la batterie [ERTS 2022]
- Méthode de conception de drones proposée
- Extension du langage SysML
- Preuve de concept [ERTS 2022]
- Conclusion et perspectives

Application



Ligne à haute tension à inspecter
(<https://delair.aero/>)



Drone Strix 400
(<http://www.eos-technologie.com>)

Objectif de la mission :

Inspecter une ligne à haute tension à l'aide d'un drone. Le drone est muni de différents capteurs pour réaliser l'inspection.

Risques dus à la mission :

- Proximité entre le drone et la ligne haute tension
- Conditions météorologiques
- Reliefs
- Environnement de vol : routes, personnes, bâtiments

Choix du drone :

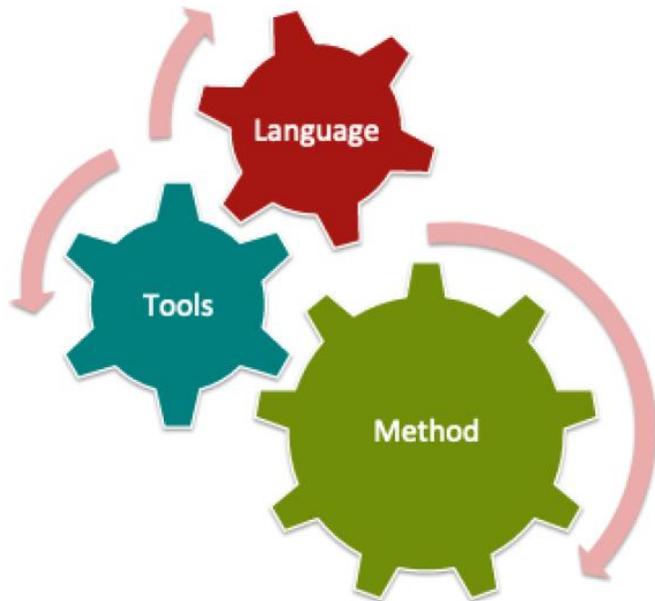
- Distance à parcourir
- Manoeuvrabilité
- Performances et caractéristiques

⇒ **Autonomie (batterie)**

MBSE & MDAO

Model-Based Systems Engineering

Model-Based Systems Engineering (MBSE)



Objectifs :

- Gestion de la complexité du système
- Amélioration de la communication interdisciplinaire

Langage (SysML) :

- Normalisé par l'Object Management Group (OMG)
- Profil UML
- Diagramme d'exigences

Outils (logiciels libres) :

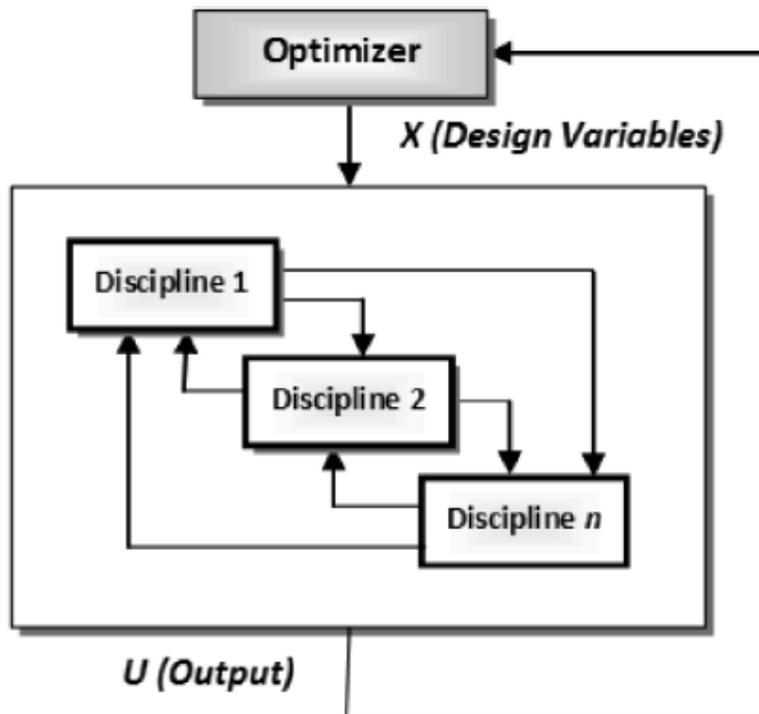
- Papyrus
- TTool

Methode :

- Harmony (IBM), MagicGrid (Dassault Systèmes),...
- Méthode associée à TTool

Multidisciplinary Design Analysis and Optimization

Multidisciplinary Design Analysis and Optimization (MDAO)



Cadre conceptuel de la MDO (Sobieski '97) :

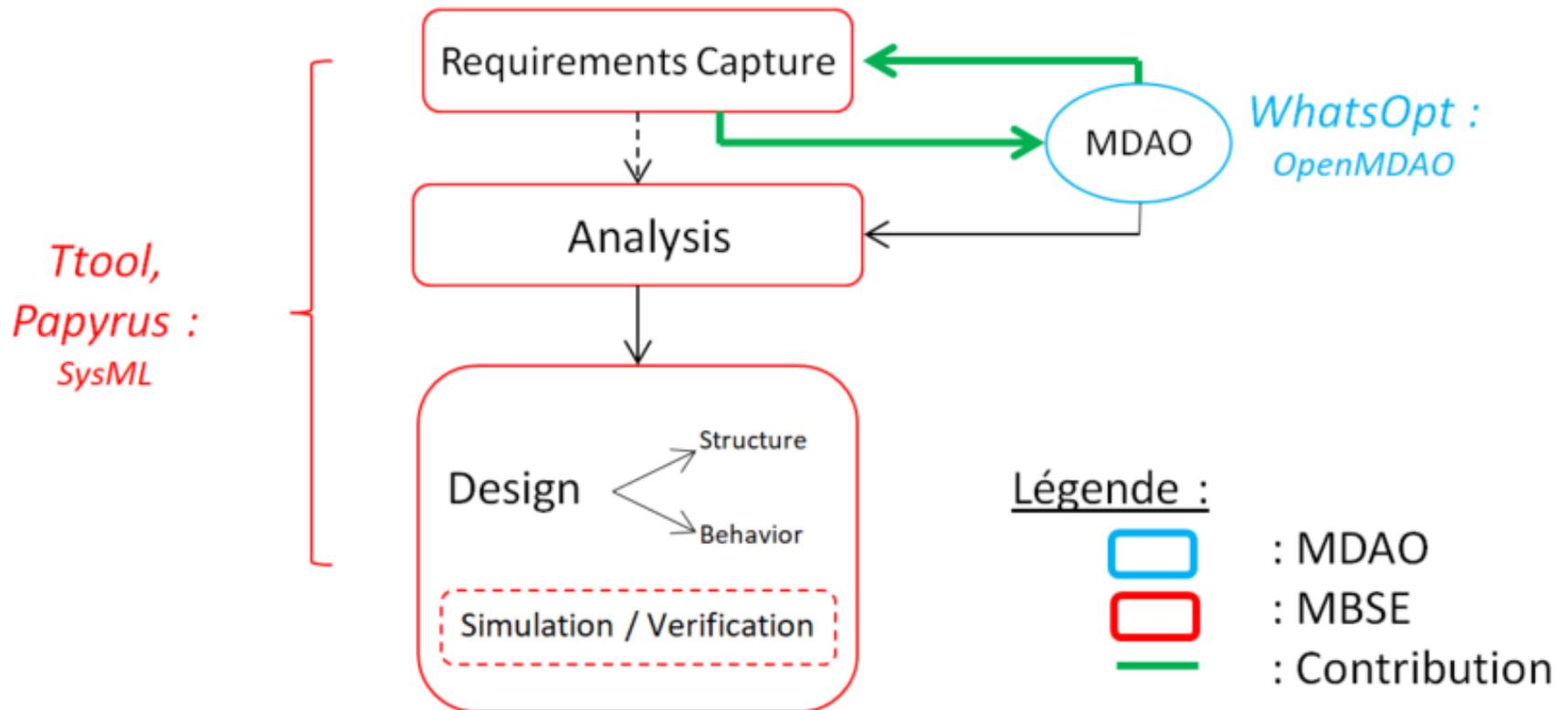
- Modélisation mathématique d'un système
- Implication de plusieurs disciplines
- Analyse orientée vers la conception
- Concepts d'approximation
- Analyse de la sensibilité du système

([1] A.F. Rafique et al., 2010)

Méthode de couplage MBSE-MDAO

Méthode de couplage MBSE-MDAO

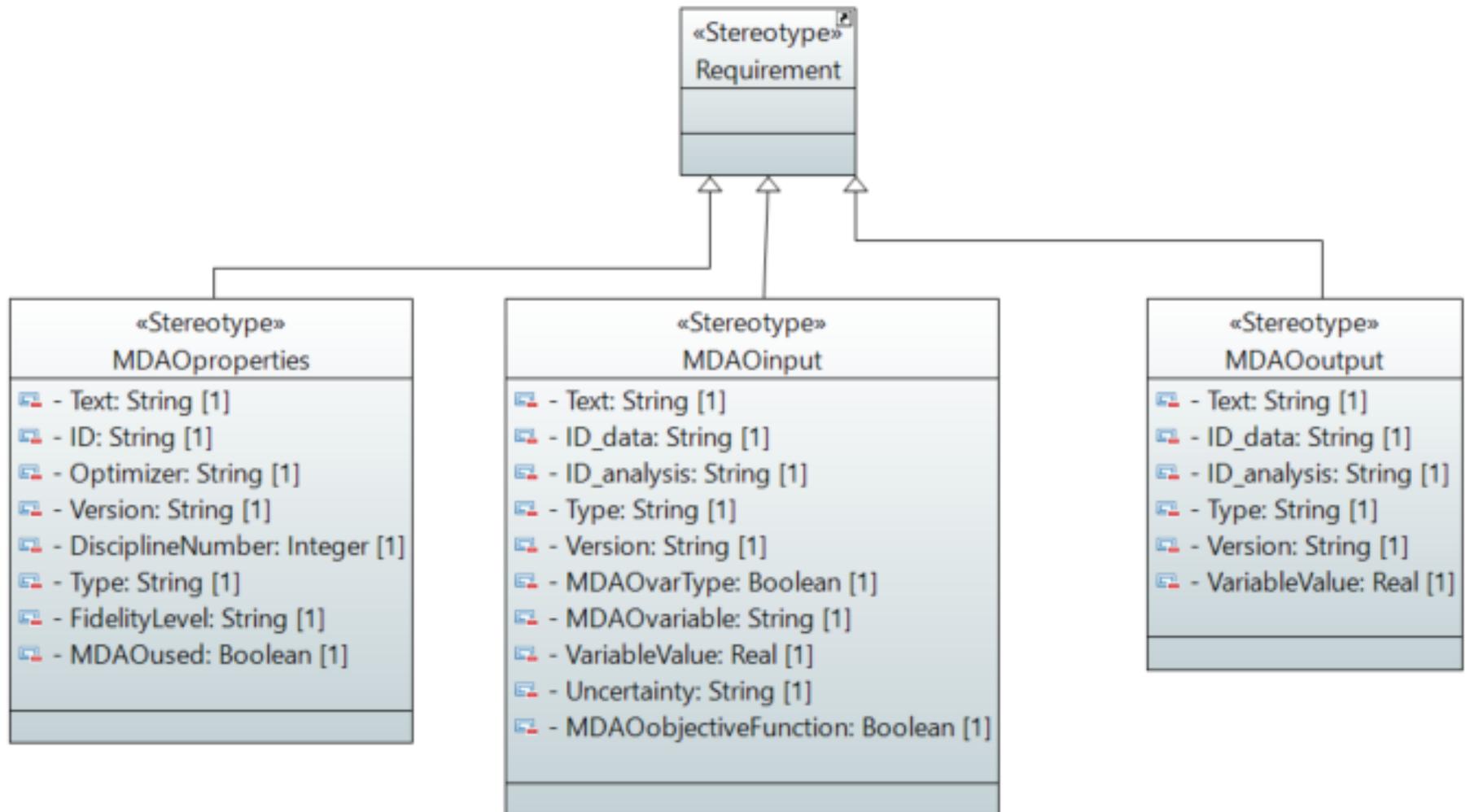
Couplage MBSE-MDAO



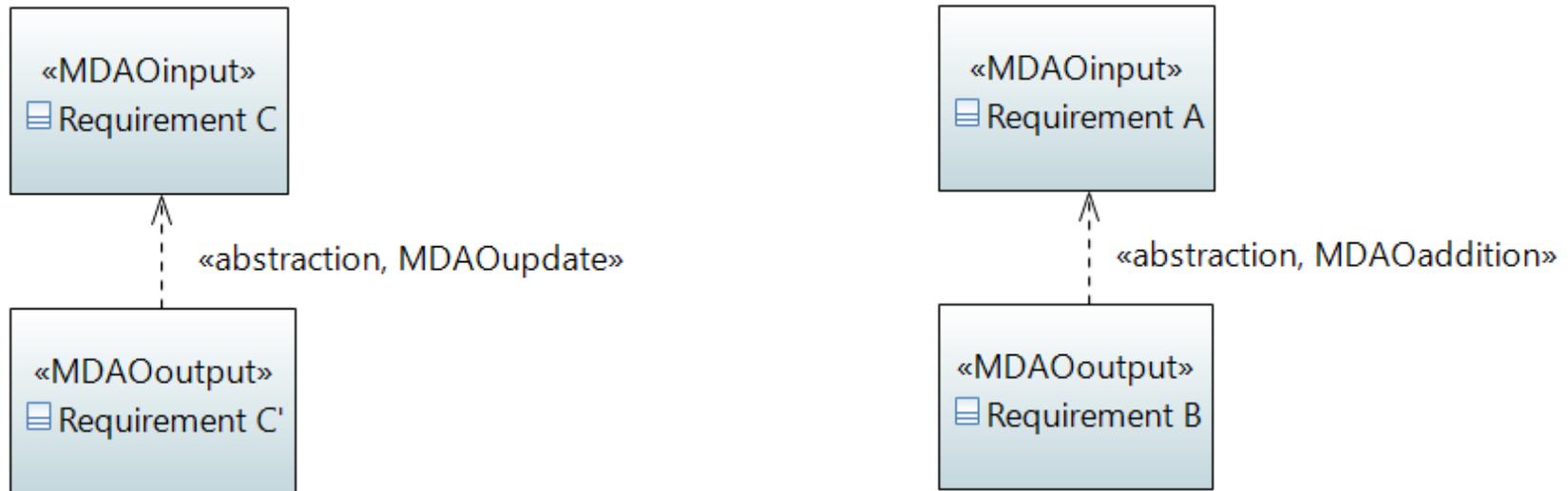
([3] L. Apvrille et al., 2020)

Extension du langage SysML

Extension of the SysML language: stereotype



Creation of dependencies: MDAOupdate



Preuve de concept

Diagramme d'exigences SysML

Problème: dimensionnement d'une batterie de drone

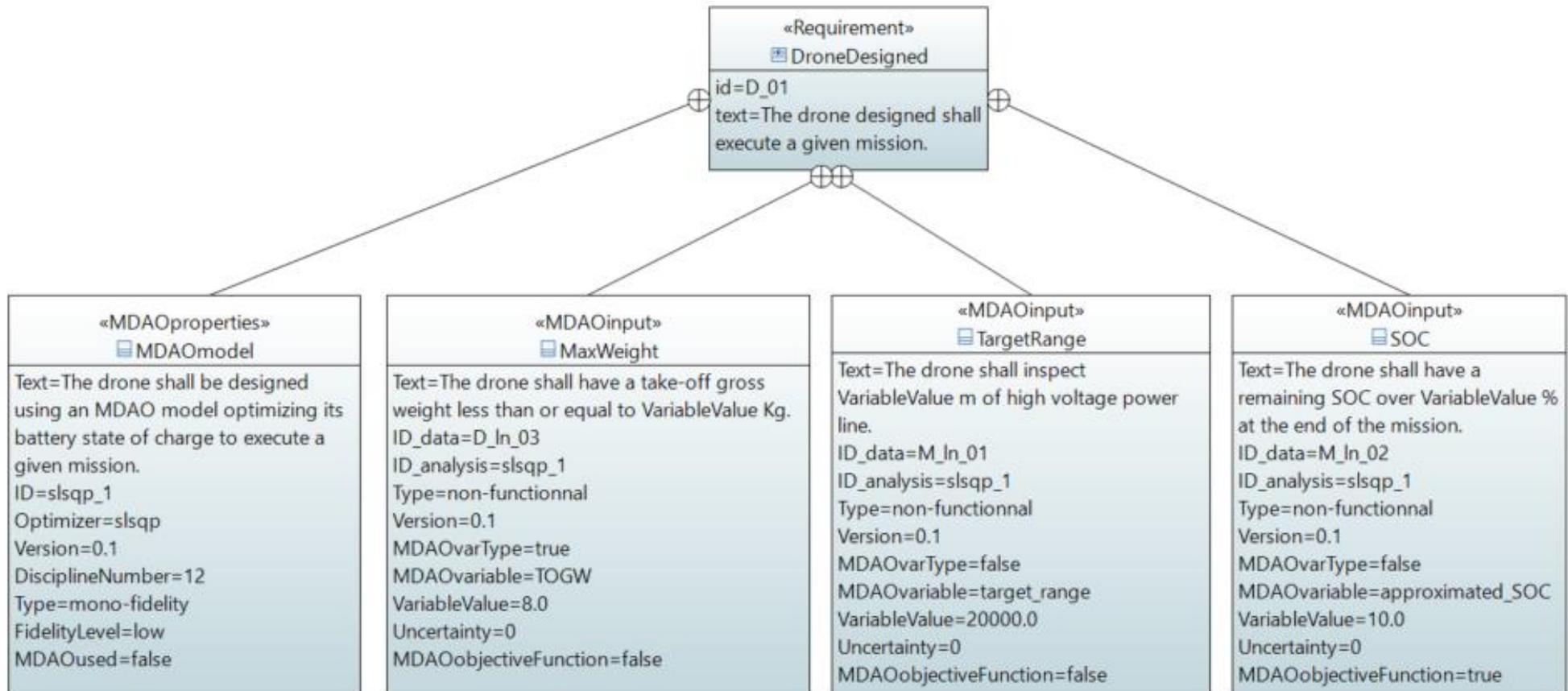
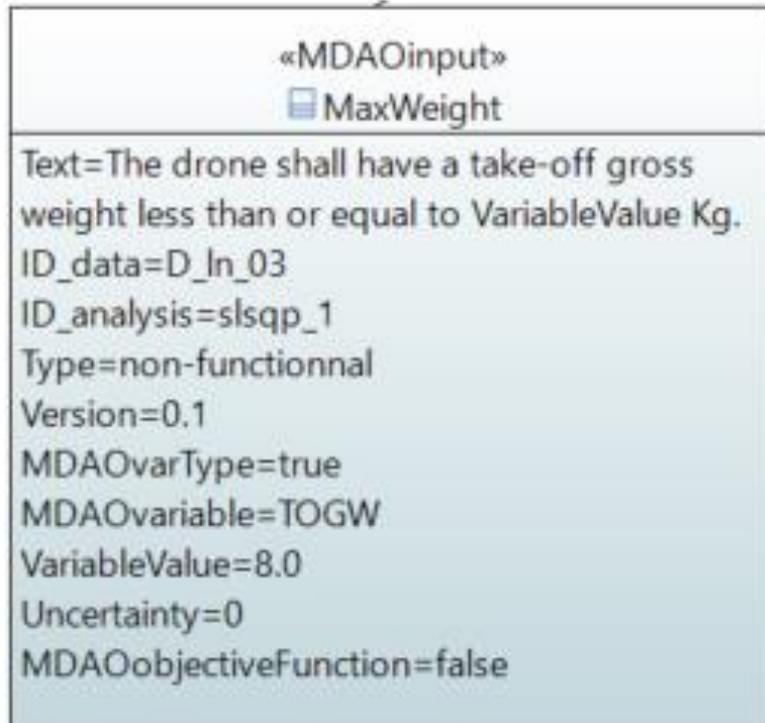


Diagramme d'exigences SysML

Problème: dimensionnement d'une batterie de drone



Modèle MDAO

Problème

Optimiser l'autonomie de la batterie en maximisant la distance de vol parcourable par le drone.

$$R_{elec} = \frac{eb}{g} \frac{C_L}{C_D} \frac{W_{batt}}{W_{TO}} \eta_{ESC} \eta_m \eta_p$$

Equation de Bréguet pour un drone électrique

R_{elec} : range du drone électrique (m)

eb : énergie spécifique

g : constante gravitationnelle

C_L : coefficient de portance

C_D : coefficient de traînée

W_{batt} : masse batterie

W_{TO} : masse au décollage

η_{ESC} : rendement ESC

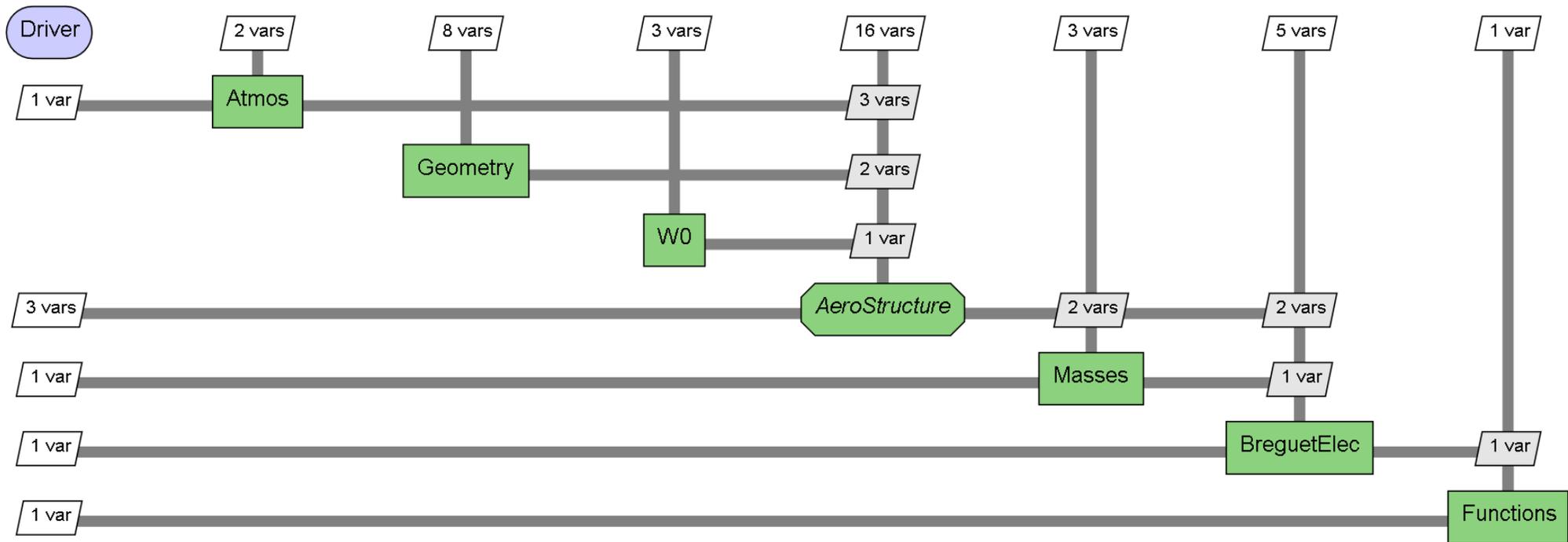
η_m : rendement moteur

η_p : rendement propulsif

* Travail réalisé en collaboration avec M. Rémy Charayron (doctorant ONERA, projet Concorde)

MDAO model

Extended Design structure matrix (XDSM)



XDSM State Of Charge (SOC)

* Travail réalisé en collaboration avec M. Rémy Charayron (doctorant ONERA, projet Concorde)

Diagramme d'exigences (SysML)

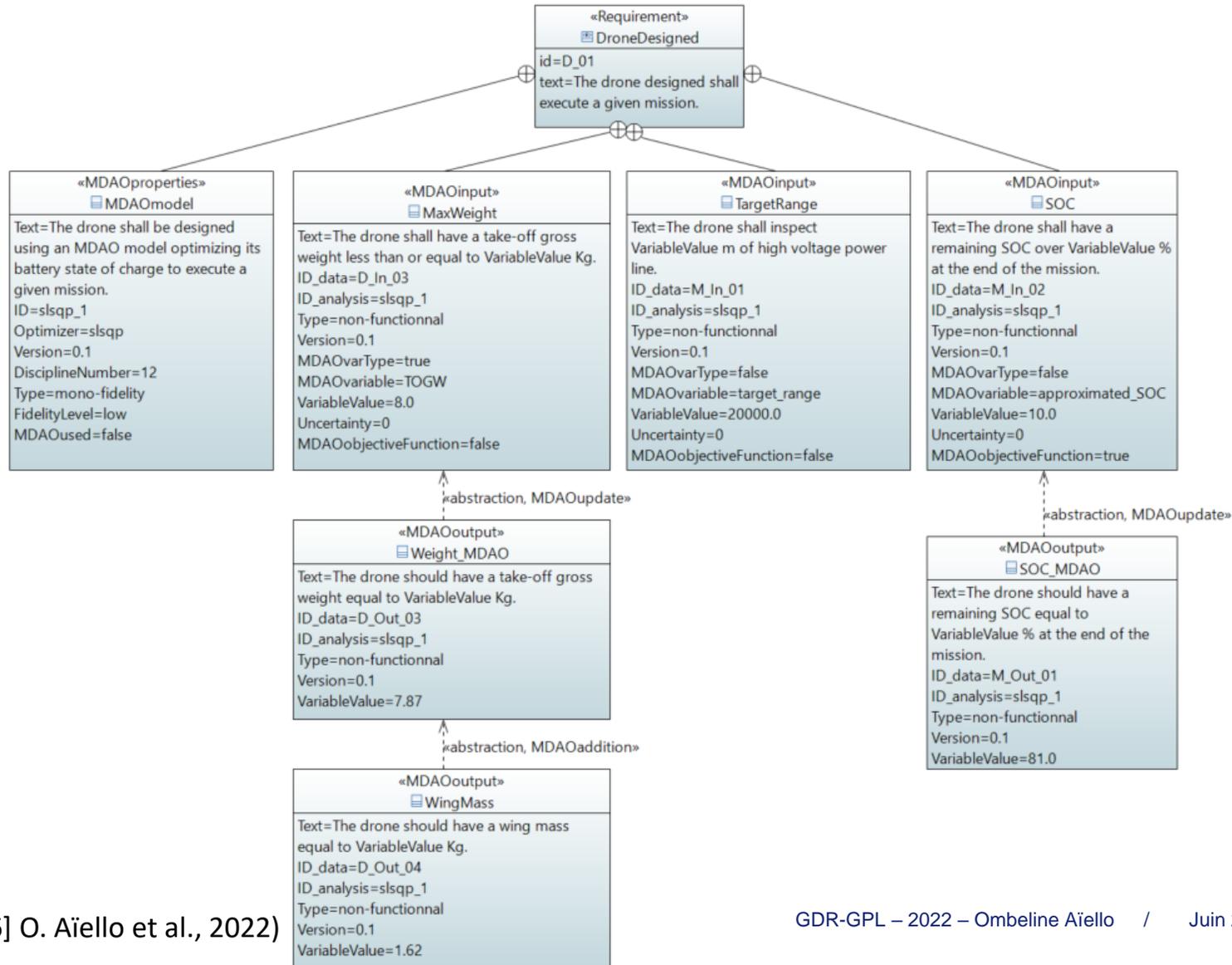
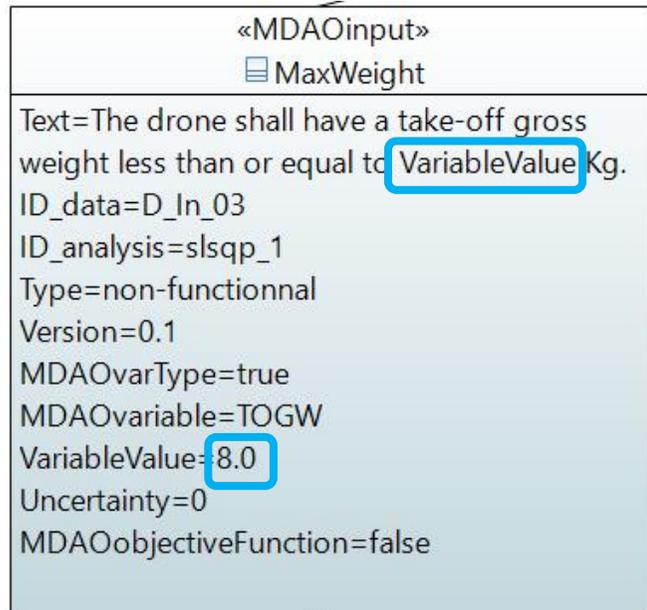
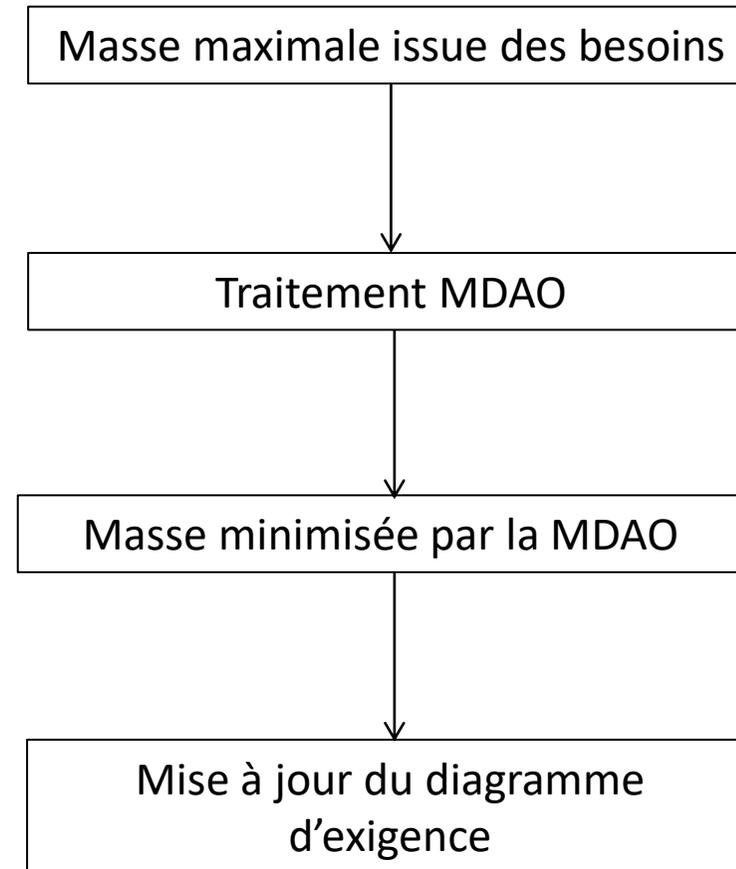
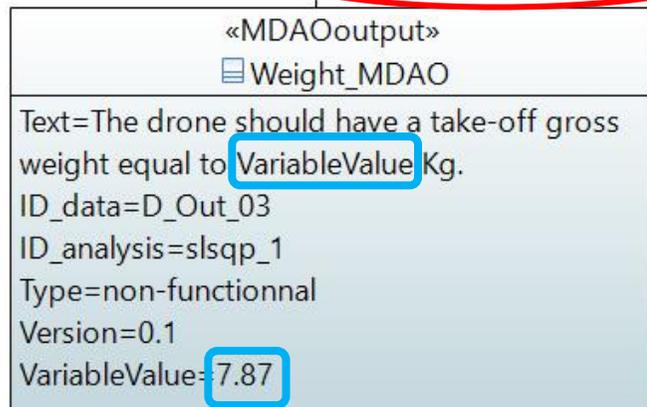


Diagramme d'exigences (SysML)

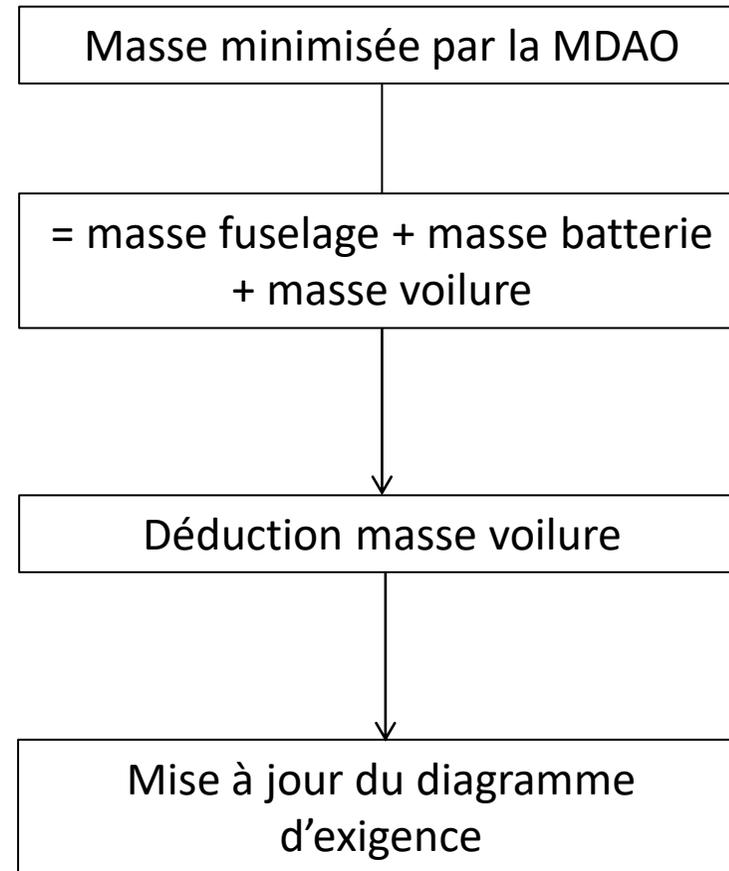
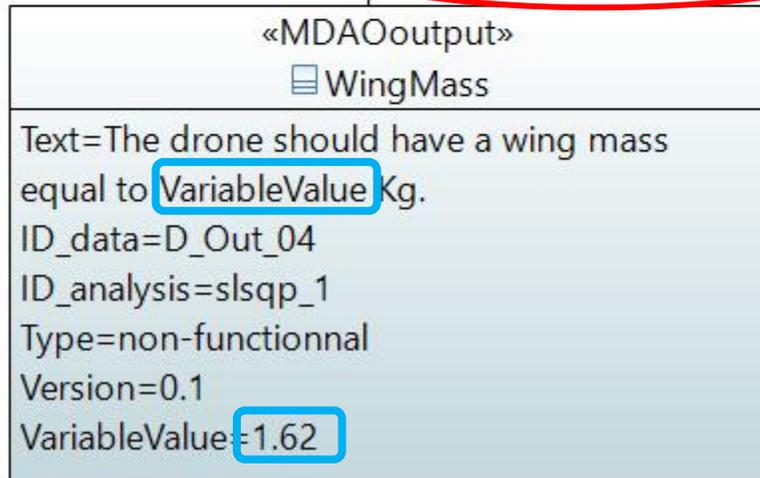
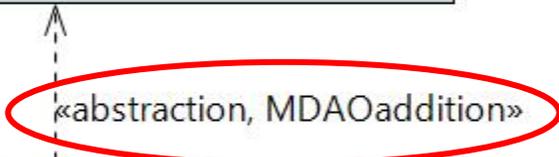
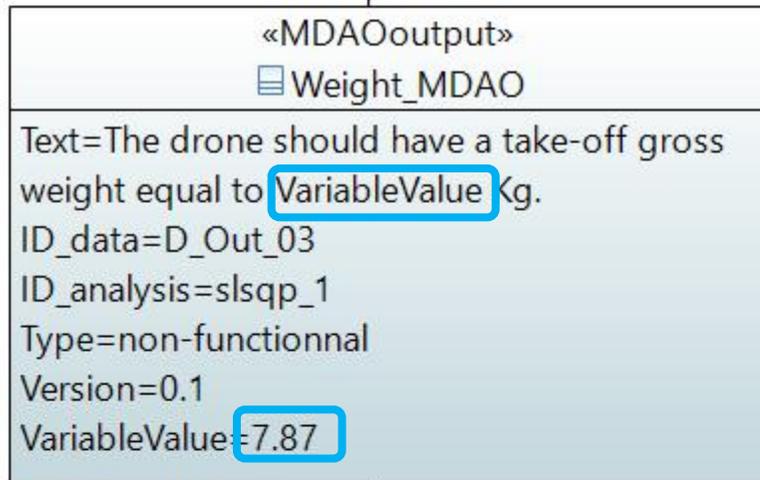


«abstraction, MDAOupdate»



([6] O. Aiello et al., 2022)

Diagramme d'exigences (SysML)



([6] O. Aiello et al., 2022)

Conclusion

Conclusion

Problème

- MBSE et MDAO sont utilisés séparément mais ont des similarités en termes d'objectifs et de méthodes (J-C. Chaudemar et P. de Saqui-Sannes, 2021).
- Utilisation de langages différents.

Contributions

- Mettre en avant la complémentarité des 2 approches au travers d'un exemple.
- Identifier les cas pour lesquels le couplage MBSE-MDAO sera un atout.

Perspectives

- Poursuivre la formalisation de la mission.
- Intégration de la mission dans les modèles MBSE et MDAO.
- Valider les propositions au travers d'exemples et de cas particuliers.
- Automatiser le couplage MBSE-MDAO.

Bibliographie

Papers :

- [1] A. F. Rafique, L. S. He, Q. Zeeshan, A. Kamran, et K. Nisar, « Multidisciplinary design and optimization of an air launched satellite launch vehicle using a hybrid heuristic search algorithm », *Engineering Optimization*, vol. 43, n° 3, p. 305-328, mars 2011, doi: 10.1080/0305215X.2010.489608.
- [2] O. Aiello, D. S. D. R. Kandel, J.-C. Chaudemar, O. Poitou, et P. de Saqui-Sannes, « Populating MBSE Models from MDAO Analysis », in *2021 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE)*, sept. 2021, p. 1-8. doi: 10.1109/ISSE51541.2021.9582519.
- [3] L. Apvrille, P. de Saqui-Sannes, et R. Vingerhoeds, « An Educational Case Study of Using SysML and TTool for Unmanned Aerial Vehicles Design », *IEEE Journal on Miniaturization for Air and Space Systems*, vol. 1, n° 2, p. 117-129, sept. 2020, doi: 10.1109/JMASS.2020.3013325.
- [4] J. S. Gray, J. T. Hwang, J. R. R. A. Martins, K. T. Moore, et B. A. Naylor, « OpenMDAO: an open-source framework for multidisciplinary design, analysis, and optimization », *Struct Multidisc Optim*, vol. 59, n° 4, p. 1075-1104, avr. 2019, doi: 10.1007/s00158-019-02211-z.
- [5] R. Lafage, S. Defoort, et T. Lefebvre, « WhatsOpt: a web application for multidisciplinary design analysis and optimization », Dallas, United States, juin 2019. doi: 10.2514/6.2019-2990.
- [6] O. Aiello, O. Poitou, J.-C. Chaudemar, et P. de Saqui-Sannes, « Sizing a Drone Battery by coupling MBSE and MDAO », présenté à ERTS 2022, 2022. Consulté le: 4 janvier 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://oatao.univ-toulouse.fr/28544/>
- [7] J.-C. Chaudemar et P. de Saqui-Sannes, « MBSE and MDAO for Early Validation of Design Decisions: a Bibliography Survey », présenté à SysCon'2021, 2021.

Online images :

- [8] <https://omgsysml.org/what-is-sysml.htm>
- [9] <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/energie-environnement>
- [10] <http://www.eos-technologie.com/fr/drone-de-contact-Strix-400.htm>

Web site :

- [11] <http://www.papyrusuml.org>

Questions

Merci de votre attention !

Contacts :

ombeline.aiello@isae-superaero.fr

olivier.poitou@onera.fr

jean-charles.chaudemar@isae-superaero.fr

pierre.de-saqui-sannes@isae-superaero.fr

This work was supported by the Defense Innovation Agency (AID)
of the French Ministry of Defense (research project CONCORDE
N° 2019 65 0090004707501).

Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

10, avenue Édouard-Belin – BP 54032
31055 Toulouse Cedex 4 – France
T +33 5 61 33 80 80

www.isae-supaero.fr

