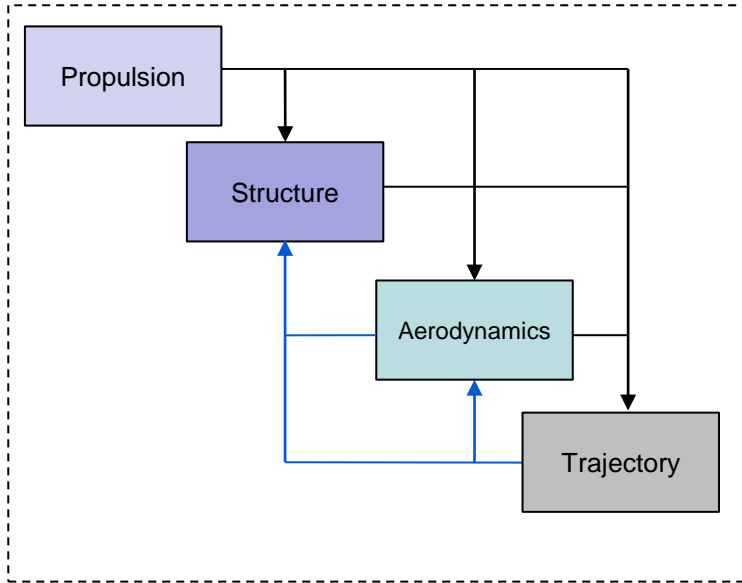


GIS LARTISSTE

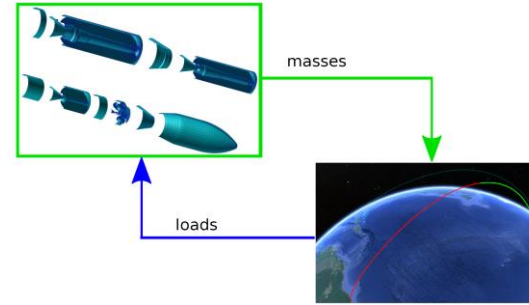
GT MDO/MDA: Enjeux autour de l'analyse et l'optimisation multidisciplinaire / multiphysique

Présentation à l'Université Paris Saclay
M. Balesdent, L. Brevault (ONERA)

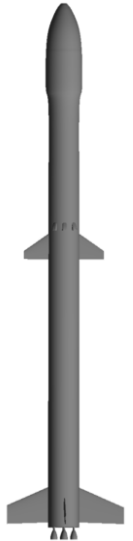
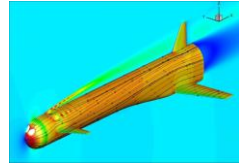
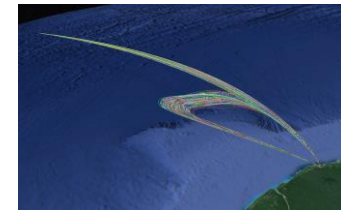
Contexte: simulation / optimisation multiphysique



Couplages « feed-forward »

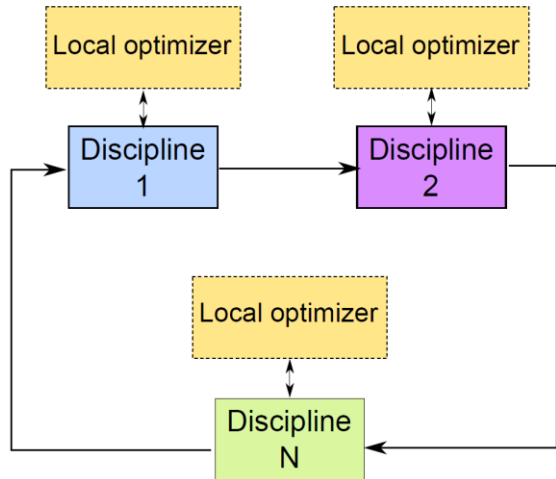


Couplages « feed-back »



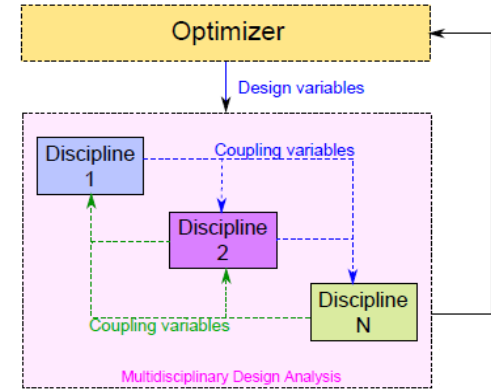
Contexte: simulation / optimisation multiphysique

« Boucle d'optimisation disciplinaire locale »



- Compromis difficile entre les objectifs disciplinaires souvent antagonistes
- Convergence locale

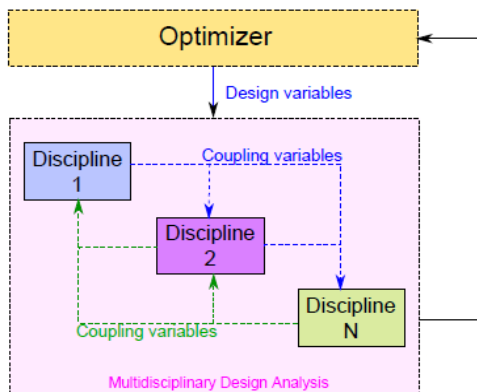
MDAO Multidisciplinary Design Analysis and Optimization



- Optimisation globale avec prise en compte des interactions entre les disciplines
- **Difficulté principale:** gestion des couplages (interactions) entre les disciplines / physiques

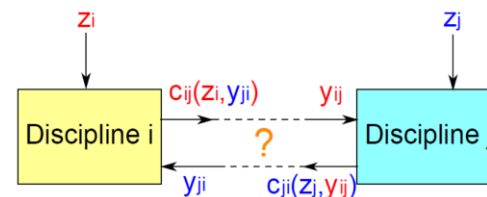
Contexte: simulation / optimisation multiphysique

Multidisciplinary Design Analysis and Optimisation



- Contexte de la **simulation « multiphysique »** → **couplage** entre **solvers partitionnés** (par exemple aérodynamique et structure → aérostructure)
- Approches multidisciplinaires / multiphysiques permettant une optimisation / analyse globale avec la prise en compte directe des **couplages interdisciplinaires**
- Gestion des couplages interdisciplinaires au cours de l'optimisation / analyse du système couplé

MDA: Analyse multidisciplinaire → résolution d'un **système d'équations non-linéaire couplé**



Coupling satisfaction

$$\begin{cases} y_{ij} = c_{ij}(z_i, y_{ji}) \\ y_{ji} = c_{ji}(z_j, y_{ij}) \end{cases}$$

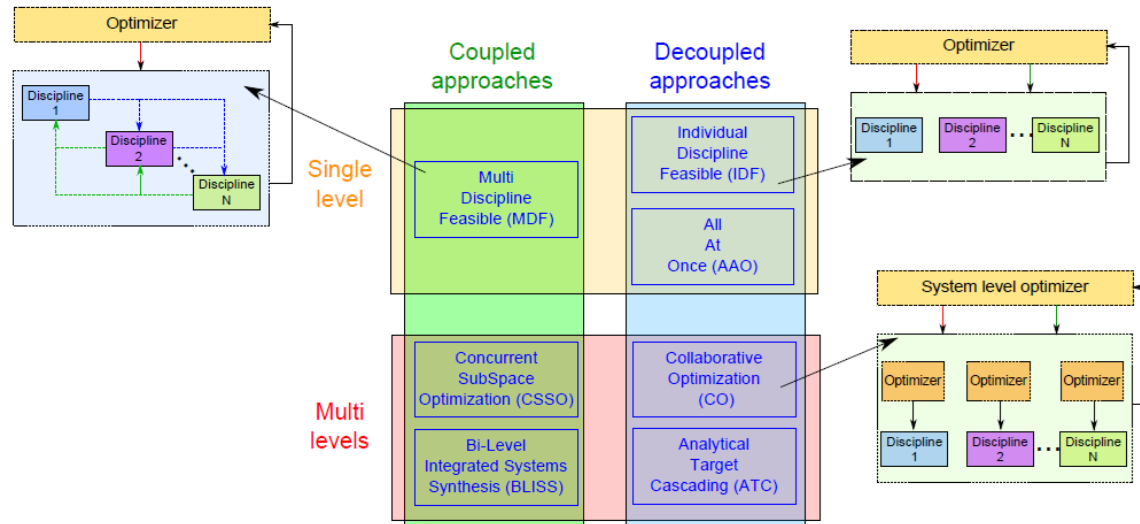
- z : design variables
- y : input coupling variables
- c : output coupling functions

Quelques enjeux autour de la MDAO

- Formulation mathématique du problème de conception et organisation du processus de conception (formulations MDO)
- Choix des niveaux de modélisation et des fidélités des modèles disciplinaires
- Gestion des d'incertitudes
- Contrainte de la grande dimension
- Algorithmie d'optimisation adaptée

Quelques enjeux autour de la MDAO

- Formulation mathématique du problème de conception et organisation du processus de conception (formulations MDO)
 - Définition de l'organisation de l'optimisation système avec les évaluations/optimisations disciplinaires



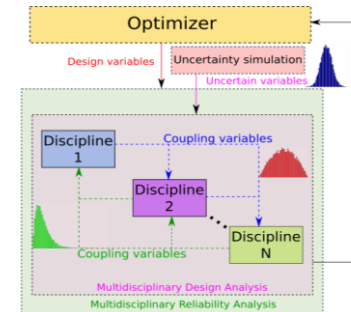
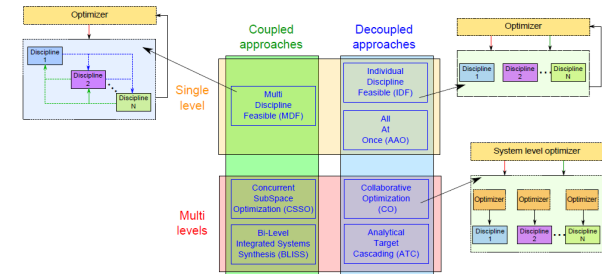
Nombreuses formulations MDO dans la littérature [Brevault et al., 2020]

GT : MDO/MDA

- **Analyse de sensibilité** pour systèmes multiphysiques / multidisciplinaires couplés
 - Participants: Airbus, IFPEN, IRT St Exupéry, ONERA, Phimeca
 - 4 axes de recherche identifiés
 - Axe I): Analyse de sensibilité pour un système couplé dans un contexte d'optimisation → réduction de la dimension l'espace de recherche
 - Axe II): Analyse de sensibilité dans un contexte de propagation d'incertitudes (e.g., fiabilité)
 - Axe III): Analyse de sensibilité pour un système couplé dans l'objectif de création d'un modèle de substitution en dimension « raisonnable »
 - Axe IV): Analyse de sensibilité pour un système couplé afin d'identifier les couplages principaux pour diminuer le nombre de couplages (et/ou réduire le nombre de disciplines/ physiques à prendre en compte)

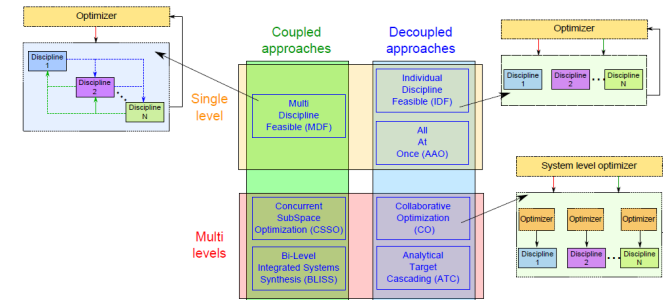
Spécificités

- Spécificités de l'analyse de sensibilité pour systèmes multiphysiques couplés:
 - Coûts de calculs importants engendrés par la **résolution des systèmes d'équations interdisciplinaires non-linéaires**
 - Volonté d'aller vers des approches « **hybrides – découplées** » afin de limiter les coûts de calculs
 - Difficultés:
 - l'analyse de sensibilité doit être traitée **au regard des performances globales du système couplé** étant donné qu'une variable peut-être très influente sur une discipline prise isolément mais n'avoir que peu d'influence sur le système.
 - Dans un contexte de propagation des incertitudes, **gestion de la satisfaction des couplages interdisciplinaires sous incertitudes** (e.g., convergence en loi, convergence pour chaque réalisation des incertitudes).



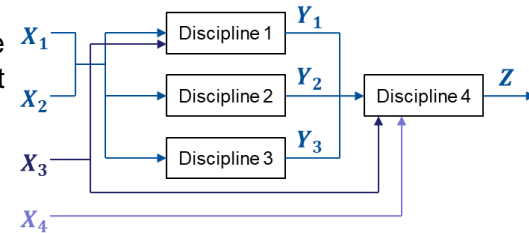
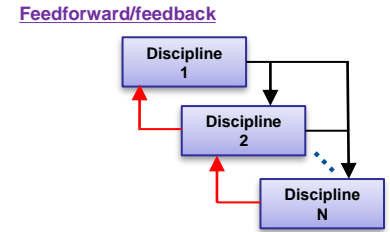
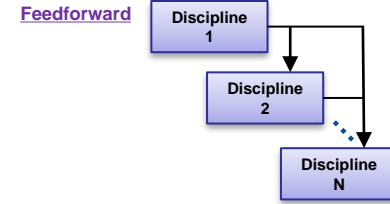
Axe I: Analyse de sensibilité dans un contexte d'optimisation multidisciplinaire

- Analyse de sensibilité pour un **système multidisciplinaire couplé** dans un **contexte d'optimisation** afin de réduire l'espace de recherche
- Travaux récents d'approches **d'analyse de sensibilité pour l'optimisation** [Spagnol *et al.*, 2019, Novello *et al.*, 2022] dans un contexte « **monodisciplinaire** »: mesure d'influence basée sur indices HSIC (Hilbert-Schmidt Independence Criterion) pour identifier les variables d'optimisation les plus influentes dans les **régions faisables des contraintes** et dans la **région optimale de la fonction objectif**
- Etendre ces approches dans un contexte d'optimisation multidisciplinaire avec par exemple une optimisation par approche découplée et / ou par décomposition en différents niveaux d'optimisation
 - Gestion des couplages interdisciplinaires,
 - Gestion de variables de natures différentes (continues, discrètes, catégorielles, *etc.*),
 - *etc.*



Axe II: Analyse de sensibilité dans un contexte de propagation d'incertitudes sur systèmes multidisciplinaires couplés

- Analyse de sensibilité pour un système multidisciplinaire couplé dans un contexte de propagation d'incertitudes
- Travaux récents d'approches d'analyse de sensibilité (se basant sur les indices de Sobol') pour système couplé [Xu et al., 2021, Jiang et al., 2016] de systèmes feed-forward et/ou feed-back. Pour un système feed-forward à 2 disciplines dans [Xu et al., 2021], méthode *Mapping-Based Hierarchical Sensitivity Analysis* (MBHSA)
- Proposer des approches d'analyse de sensibilité dans un contexte de propagation d'incertitudes pour systèmes de type feedforward/feedback permettant dépasser les limites courantes (apprentissage loi jointe en grande dimension, approximation linéaire, etc.)
- Travaux 2022 : stage L. Fauché à l'ONERA (Sigma Clermont) autour des méthodes d'analyse de sensibilité pour systèmes multiphysiques couplés → focus sur l'approche MBHSA, analyse et application sur différents cas tests



Perspectives autour du GT MDA-MDO

- [Projet étudiant en cours à l'Ecole Polytechnique](#) (Sept. 2022 à Mars 2023) dans le cadre du 'PA Science et Défis du Spatial' pour initier les réflexions méthodologiques autour du contexte d'optimisation multidisciplinaire
- [Projet de thèse pour 2023 entre IFPEN et ONERA](#) autour de l'analyse de sensibilité pour systèmes multi-physiques couplés (contexte optimisation et propagation d'incertitudes / indices HSIC)
- Démarrage d'un cycle de réunions du GT MDA-MDO visant à définir une pose de problème et de cas tests '*industriels*' avec les partenaires du GT
- [Projet de Recherche Fédérateur \(PRF\) à l'ONERA: PRF HORUS](#) (2023-2026) portant sur le traitement des incertitudes dans un contexte aérospatial pour la simulation numérique et les données expérimentales avec notamment :
 - Travaux systèmes multidisciplinaires/multiphysiques couplés sous incertitudes
 - Travaux MDAO multi-fidélité

Quelques références

[Brevault et al., 2020] Brevault, L., Balesdent, M., Morio, J., et al. (2020). *Aerospace System Analysis and Optimization in Uncertainty*. Springer.

[Liu et al., 2022] Liu, Z., Song, Z., and Zhu, P. (2022). A novel polynomial chaos expansion-based method for feedback-coupled multidisciplinary design optimization under metamodel uncertainty. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 65(4) :1–18.

[Novello et al., 2022] Novello, P., Poëtte, G., Lugato, D., & Congedo, P. M. (2022). Goal-oriented sensitivity analysis of hyperparameters in deep learning. *arXiv preprint arXiv:2207.06216*.

[Jiang et al., 2016] Jiang, Zhen, Wei Chen, and Brian J. German. "Multidisciplinary statistical sensitivity analysis considering both aleatory and epistemic uncertainties." *AIAA journal* 54.4 (2016): 1326-1338.

[Spagnol et al., 2019] Spagnol, Adrien, Rodolphe Le Riche, and Sébastien Da Veiga. "Global sensitivity analysis for optimization with variable selection." *SIAM/ASA Journal on uncertainty quantification* 7.2 (2019): 417-443.

[Pelamatti et al., 2021] J. Pelamatti, L.Brevault, M. Balesdent, E.G. Talbi and Y.Guérin (2021) Mixed-variable Gaussian process based surrogate modeling techniques, application to aerospace design, *Journal of Aerospace Information System*, AIAA, Vol.18(11):813-837

[Berthelin et al., 2021] Berthelin, Gaspard, et al. "Disciplinary proper orthogonal decomposition and interpolation for the resolution of parameterized multidisciplinary analysis." *International Journal for Numerical Methods in Engineering* (2021).

[Dubreuil et al., 2020] Dubreuil, Sylvain, et al. "Towards an efficient global multidisciplinary design optimization algorithm." *Structural and Multidisciplinary Optimization* 62.4 (2020): 1739-1765.

[Xu et al., 2021] Xu, C., Zhu, P., Liu, Z., & Tao, W. (2021). Mapping-based hierarchical sensitivity analysis for multilevel systems with multidimensional correlations. *Journal of Mechanical Design*, 143(1).

