

Introduction à la gestion des incertitudes

Régis LEBRUN

Airbus Central Research & Technology
regis.lebrun@airbus.com

20 janvier 2020

Plan de l'exposé

1 Prendre en compte les incertitudes

2 Cadre industriel

Qu'entend-on par incertitudes ?

incertitude = incapacité à donner une valeur unique à un paramètre à un instant donné.

Deux catégories d'incertitudes :

- Les incertitudes à caractère épistémique, qui traduisent essentiellement un manque de connaissance (ex. Combien de réacteurs pour le futur avion ?).
- Les incertitudes à caractère stochastique, qui traduisent essentiellement une variabilité intrinsèque de la grandeur concernée (ex. Quelle est la charge aérodynamique subie en vol ?).

La différence essentielle porte sur la capacité à *réduire* l'incertitude attachée à la grandeur :

- On peut espérer **réduire les incertitudes épistémiques** par une meilleure connaissance du paramètre.
- On ne peut qu'espérer **mieux décrire l'incertitude stochastique** d'un paramètre en ayant plus de mesures de ce paramètre.

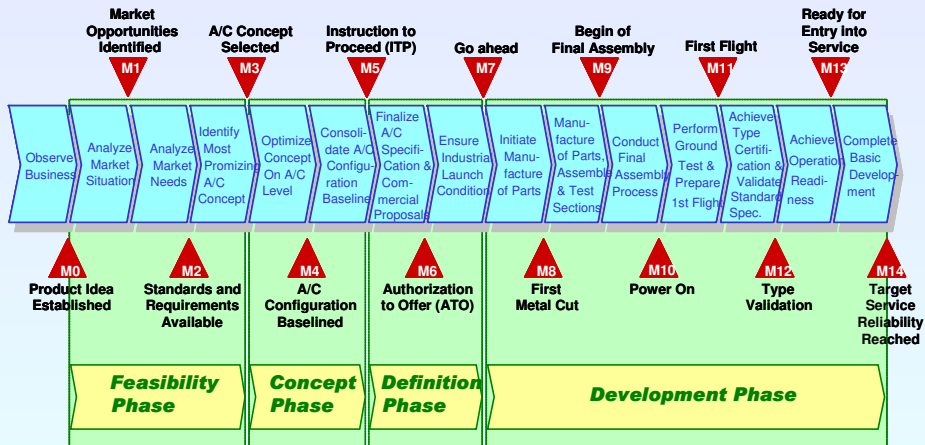
Contexte industriel

Passer du calcul «sûr» au calcul «incertain»

- Les chaînes de calcul industrielles sont paramétrées par un ensemble de données associées à des valeurs numériques **bien déterminées**.
- Les valeurs effectives des données d'entrée sont souvent **mal connues**.
- Pour prendre en compte cette incertitude, la démarche standard est l'approche **pire cas**, qui est souvent **très pessimiste**, et offre une **fausse certitude**.

⇒ Une autre modélisation des grandeurs incertaines est nécessaire.

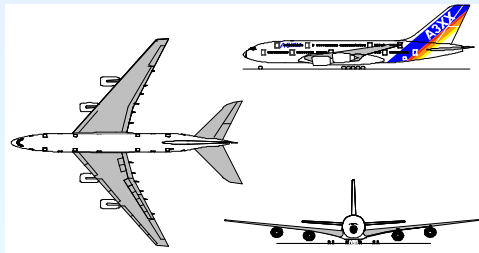
Le cycle de vie du produit avion : un zoom sur la conception



Les avant-projets

Objectifs

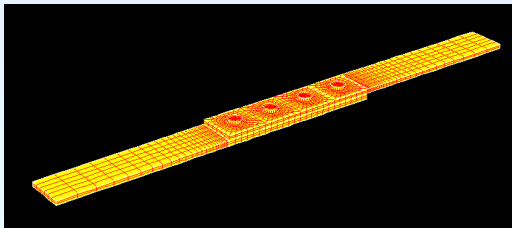
- Fournir des caractéristiques générales d'un avion capable de répondre à un cahier des charges ;
- Donner un point de départ commun aux départements spécialisés ;
- Assurer un rôle d'intégrateur au niveau global avion.



La conception détaillée

L'analyse de structure : objectifs

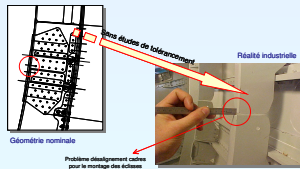
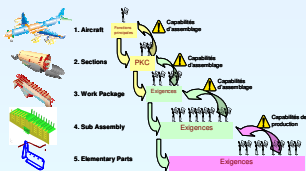
- Valider la tenue aux efforts statiques et dynamiques ;
- Valider la tenue en fatigue ;
- Valider les principes constructifs ;
- Préparer la certification.



Le tolérancement

Objectifs

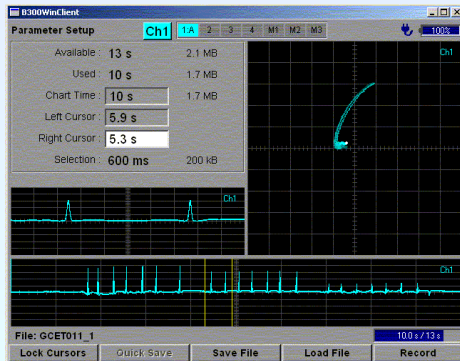
- Spécifier les pièces à produire ;
- Déterminer les séquences d'assemblage ;
- Gérer la complexité du produit ;
- Définir les moyens de contrôle de qualité.



Le contrôle non destructif

Objectif

- Définir les procédures de contrôle ;
- Établir le cahier de maintenance de l'avion ;
- Valider les procédures de contrôle.



Pourquoi choisir un modèle probabiliste ? I

Propriétés attendues d'une représentation des incertitudes :

- Interprétation facile (ou au moins facile à acquérir) ;
- Théorie mathématique mature, à même de traiter la variété des situations de propagation d'incertitude ;
- Algorithmes établis et performants de propagation d'incertitude ;
- Possibilité de condenser ou de détailler la description selon le contexte.

Les méthodes déterministes fréquemment utilisées sont :

- Modélisation de l'incertitude par un intervalle pour chaque paramètre incertain ;
- Propagation de l'incertitude par traitement de cas extrêmes ;
- Utilisation d'une arithmétique d'intervalle ;
- Utilisation d'une minimisation globale sous contraintes (moins fréquent).

Principales difficultés :

- L'intervalle de variation est souvent obtenu par analyse statistique, les bornes sont en fait des quantiles et non des majorants/minorants absolus.
- Comment définir un cas extrême pour un modèle f non monotone ?

Pourquoi choisir un modèle probabiliste ? II

- L'arithmétique d'intervalle est (très) majorante, et nécessite de gros travaux logiciel. Le résultat final ne permet bien souvent pas de conclure.
- L'optimisation sous contrainte est coûteuse et ne donne qu'une information limitée sur \mathbf{Y} , le plus souvent très loin de l'information souhaitée (répartition entre les bornes).
- Pas de prise en compte de la dépendance entre paramètres.
- ...

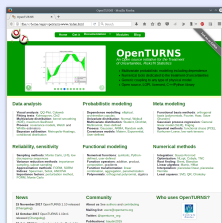
Choix d'une modélisation probabiliste :

- Les paramètres incertains forment un vecteur aléatoire ;
- Les incertitudes épistémiques = interprétation bayésienne ;
- Les incertitudes stochastiques = interprétation fréquentiste ;
- Théorie mathématique très développée ;
- Méthodes numériques nombreuses, éprouvées et efficaces ;
- Vocabulaire incertitude homogène sur tout le cycle de vie du produit.

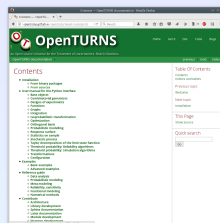
Le projet OpenTURNS I

- Librairie C++/module Python pour la modélisation et la propagation d'incertitudes
- Extensible via des modules
- Développé depuis 2005 par EDF R&D, Airbus (ex-Airbus Group, ex-EADS), Phimeca, IMACS (depuis 2014) et ONERA (depuis 2018)
- Site web : www.openturns.org
- Upstream documentation : openturns.github.io
- > 350000 téléchargements

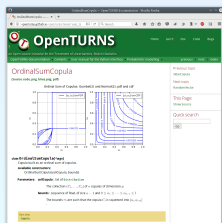
Le projet OpenTURNS II



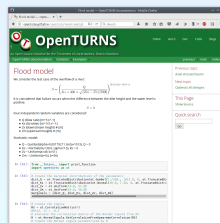
Site principal



Documentation



Définition des objets



Exemples