

## Conception Préliminaire Robuste en Aéronautique

Vendredi 9 Juin 2006

Thierry Druot

# Math-Industrie



# Plan



## Introduction

- + Les jalons de projet
- + Le rôle des Avant-Projets
- + Le cahier des charges
- + Une approche multidisciplinaire
- + Un problème inverse
- + Hiérarchie des paramètres
- + Hiérarchie des modèles
- + Points importants
- + Constat
- + Du déterminisme au risque calculé



## Une tentative pour introduire les incertitudes

- + Essai avec des modèles ultra simples
- + L'incertitude de modélisation
- + Avant
- + Pendant
- + Après
- + La traque
- + Oui mais !!

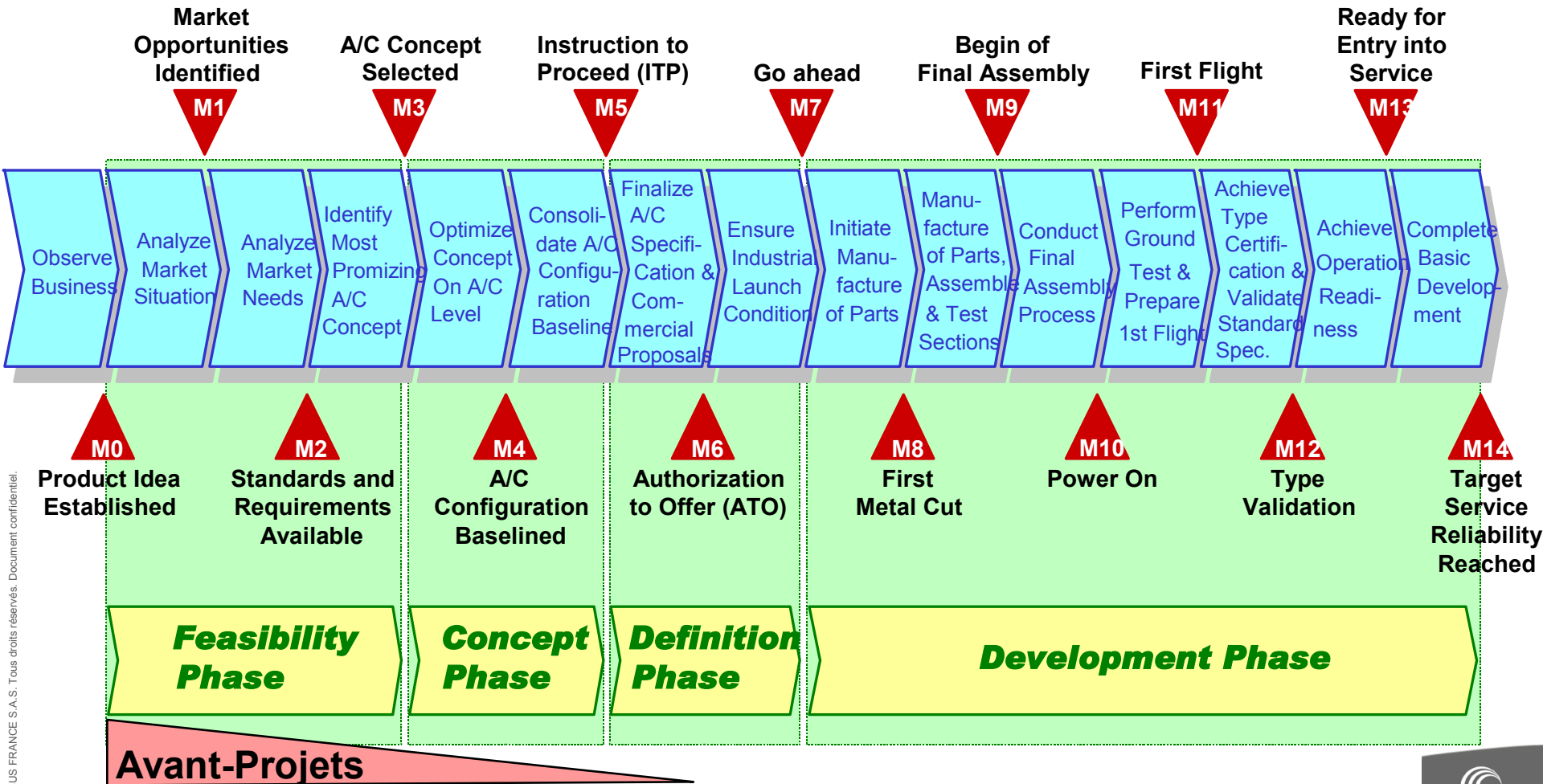


## Quelques pistes

- + Intérêt des surfaces de réponses
- + L'infrastructure actuelle
- + Créer une infrastructure adaptée
- + Optimiser l'optimiseur
- + Reformuler les modèles
- + Reformuler la méthodologie

# Les jalons de projet

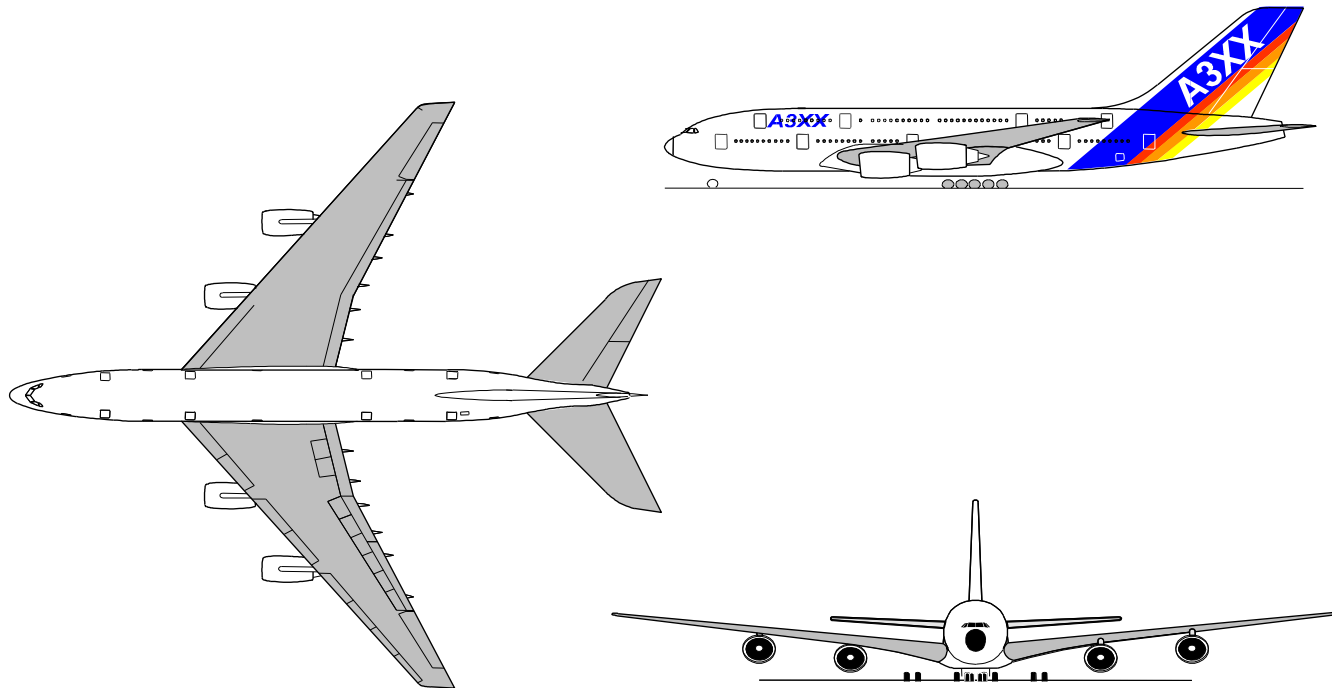
Le département Avant-Projets intervient principalement au début de la vie d'un produit



© AIRBUS FRANCE S.A.S. Tous droits réservés. Document confidentiel.

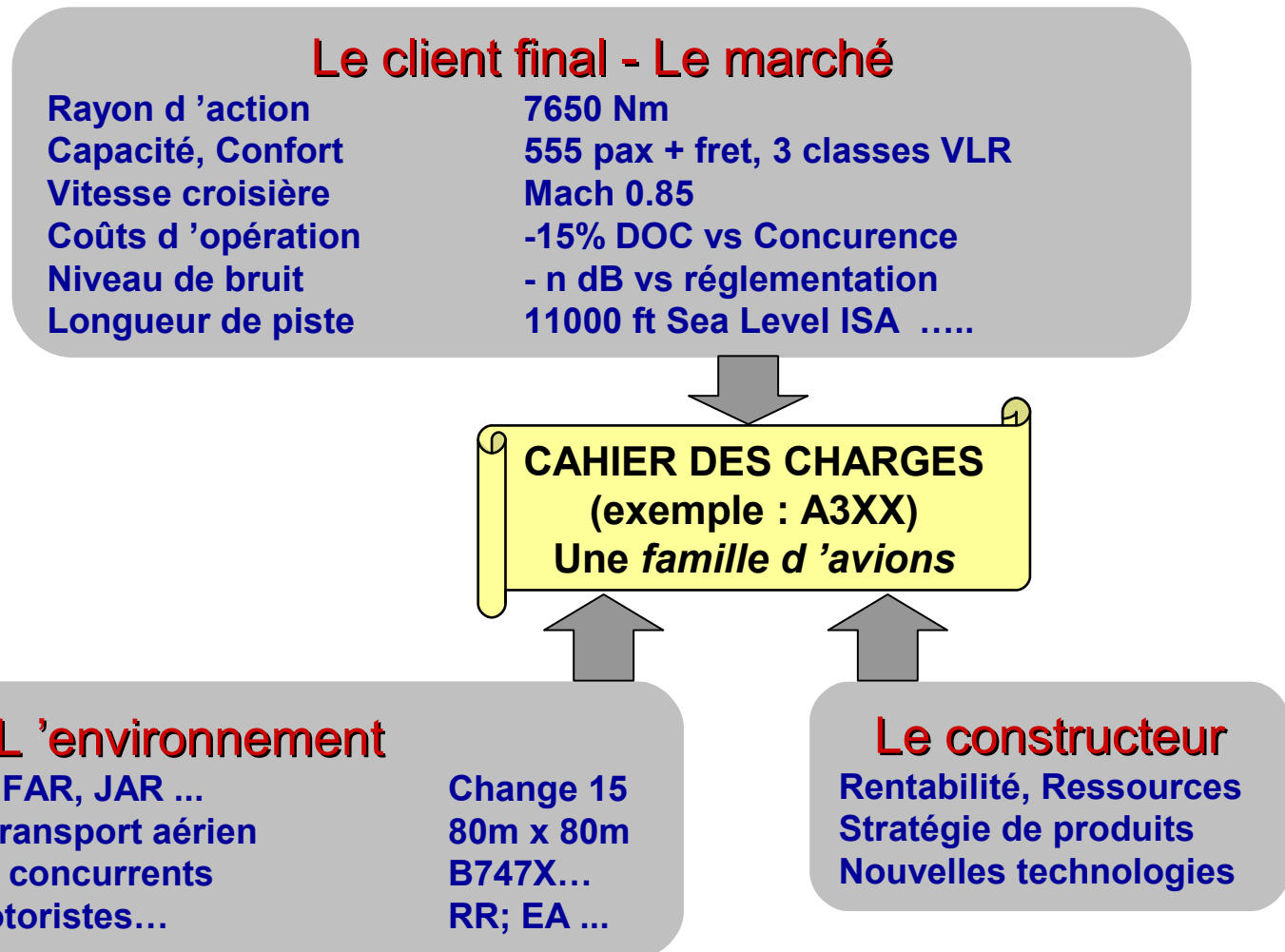
# Le rôle des Avant-Projets

- ✚ Le rôle de l'avant-projet est de fournir les caractéristiques générales d'un avion capable de répondre au cahier des charges
- ✚ Il donne un point de départ commun aux départements spécialisés
- ✚ Le département Avant-Projet a, par la suite, un rôle d'intégrateur, au niveau global avion, du raffinement des estimations effectué par les départements spécialisés



# Le cahier des charges

L'élaboration du cahier des charges nécessite la prise en compte d'un grand nombre de données d'origines diverses. C'est une entrée de l'avant-projet



# Une approche multidisciplinaire

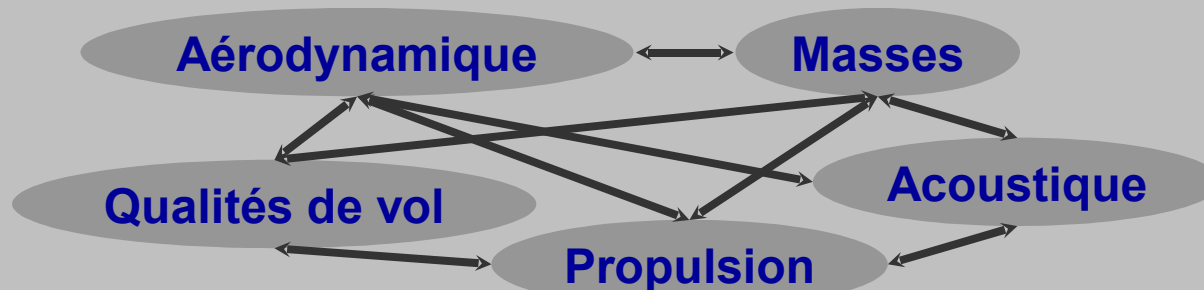
- ✚ La méthodologie est basée sur la simulation numérique
- ✚ Différentes disciplines sont mises en interaction au cours de ces simulations
- ✚ La granularité des modèles est choisie afin de permettre une approche globale dite multidisciplinaire.

## Géométrie

Fuselage pour le passager : section, longueur cabine, ...  
Voilure, empennages, moteurs pour les performances

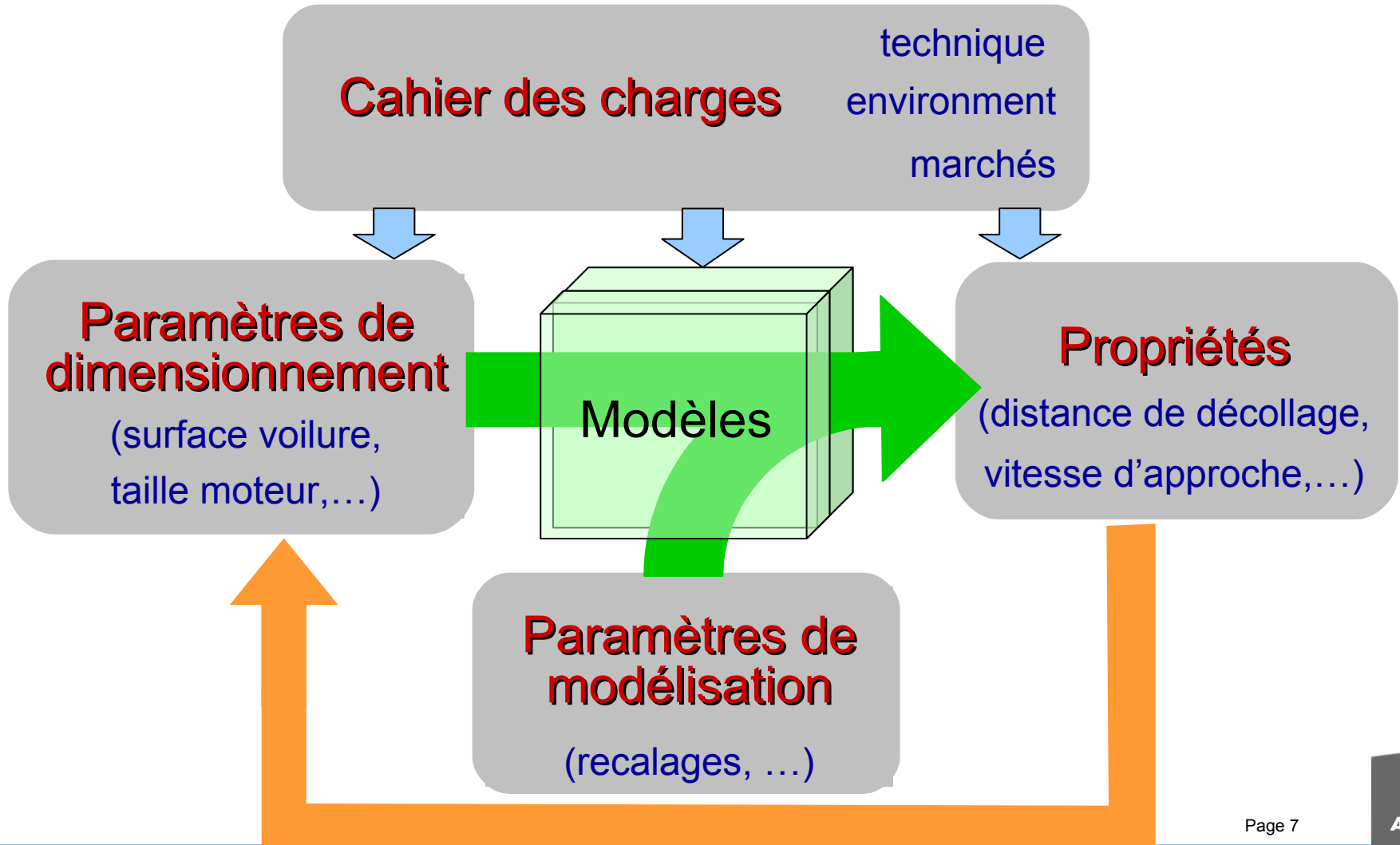
## Simulation

Décollage, mission, atterrissage, manœuvres particulières,  
coûts d'exploitations, ...



# Un problème inverse

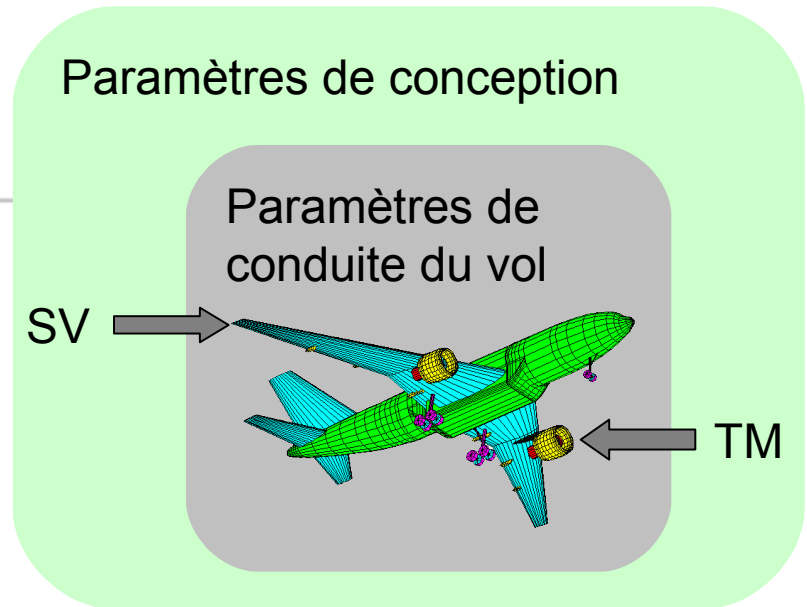
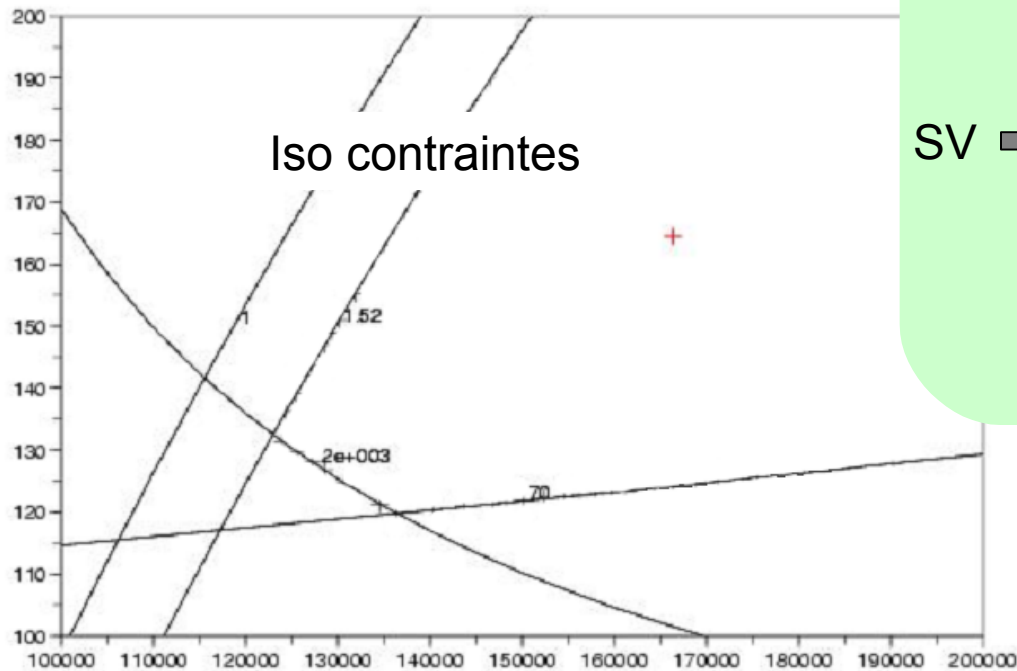
L'objectif de conception fait apparaître un problème inverse: on cherche les valeurs de paramètres qui permettent d'atteindre des propriétés imposées



# Hiérarchie des paramètres

- Le choix des paramètres de conception est très important car il détermine le sous-espace de l'espace théorique de recherche qui sera exploré
- Le calcul des paramètres de conduite du vol s'effectue au niveau de chaque module de simulation

Surface de voilure (SV)

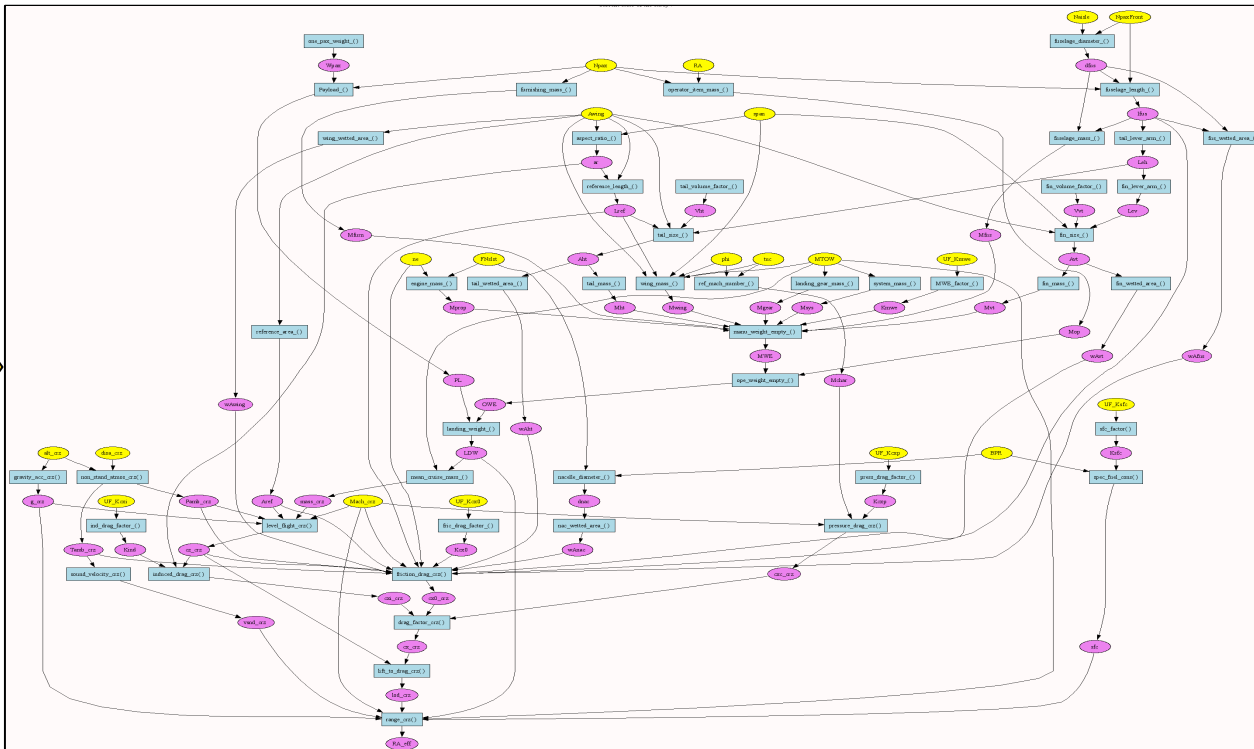


Taille du moteur (TM)







# Hiérarchie des modèles

- Des modèles élémentaires permettent d'assembler une sorte de « fonction d'état » qui produit en sortie les propriétés recherchées
- La fonction d'état contient des sous-blocs à résolutions inverses qui peuvent être des résolutions de système ou des optimisations
- Cette fonction d'état est ensuite manipulée par un optimiseur qui recherchera les paramètres des avions solutions







# Points importants

## Les modèles sont variés et hétérogènes

-  Pour une grandeur donnée, il peut exister plusieurs modèles concurrents de granularité différente
-  Les domaines de validité ne sont pas toujours connus avec précision
-  La robustesse numérique est parfois problématique
-  Les grandeurs physiques sont hétérogènes

## Les processus globaux sont très contraints




-  On recherche des optima globaux sous contraintes non linéaires avec jusqu'à 20 degrés de liberté
-  La justification des résultats demande une vision étendue de l'espace de recherche autour de la solution (ou des solutions)
-  Certaines hypothèses (données numériques du problème) sont parfois changées au dernier moment avant la livraison du résultat
-  Les cycles d'étude varient de quelques mois à un jour


# Constat



- ✚ La méthodologie actuelle est déterministe dans son principe
  - ✚ Fournir la meilleure estimation possible compte tenu des hypothèses et de l'état des connaissances à une date donnée
  - ✚ Le risque est couvert par des marges qui parfois s'accumulent d'un bout à l'autre de la chaîne de calcul
- ✚ La prise en compte d'information quantitative d'incertitude permet d'entrevoir une évolution très importante de la méthodologie de conception
  - ✚ En permettant de rationaliser le processus de calcul en fonction du temps imparti
  - ✚ En offrant la possibilité de qualifier les résultats obtenus
  - ✚ En apportant la notion de solutions robustes

# Du déterminisme au risque calculé

 La quantification d'incertitude nécessite une évolution profonde des outils et des pratiques afin de:











-  Collecter, valider et stocker les incertitudes sur les modèles et les données
-  Propager les incertitudes à travers la chaîne de calcul
-  Construire des interprétations pertinentes

 Cette évolution méthodologique ne peut se faire sans une évolution conjointe des esprits pour:








-  Assimiler les concepts et les implications de l'analyse statistique
-  Intégrer la notion de risque quantifié dans la prise de décision

# Plan







## Introduction

-  Les jalons de projet
-  Le rôle des Avant-Projets
-  Le cahier des charges
-  Une approche multidisciplinaire
-  Un problème inverse
-  Hiérarchie des paramètres
-  Hiérarchie des modèles
-  Points importants
-  Constat
-  Du déterminisme au risque calculé

## Une tentative pour introduire les incertitudes

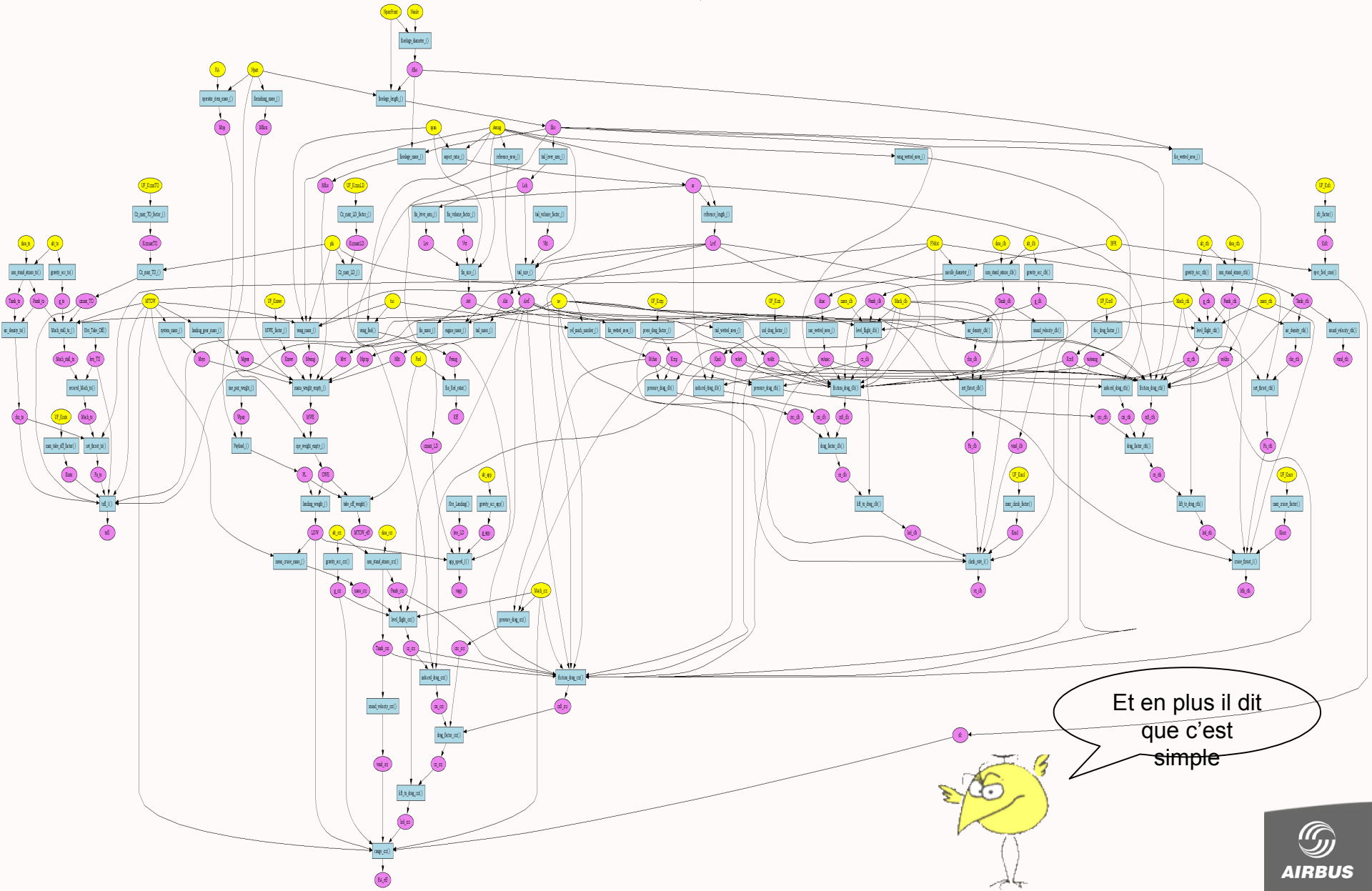
-  Essai avec des modèles ultra simples
-  L'incertitude de modélisation
-  Avant
-  Pendant
-  Après
-  La traque
-  Oui mais !!

## Quelques pistes

-  Intérêt des surfaces de réponses
-  L'infrastructure actuelle
-  Créer une infrastructure adaptée
-  Optimiser l'optimiseur
-  Reformuler les modèles
-  Reformuler la méthodologie

# Essai avec des modèles ultra simples

Current state of the study



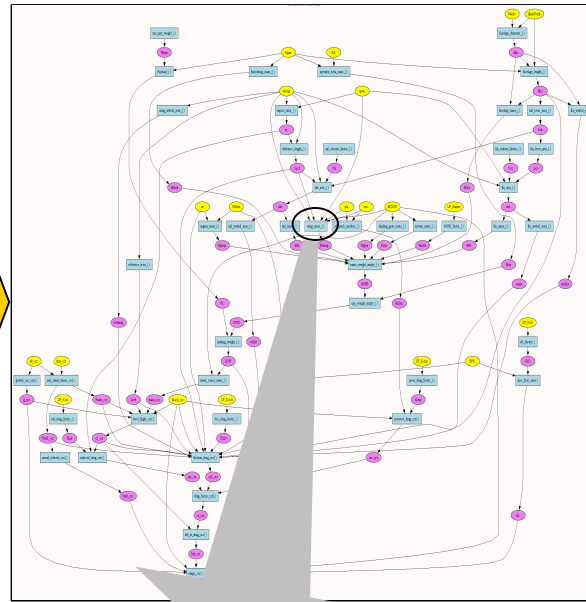
Et en plus il dit que c'est simple



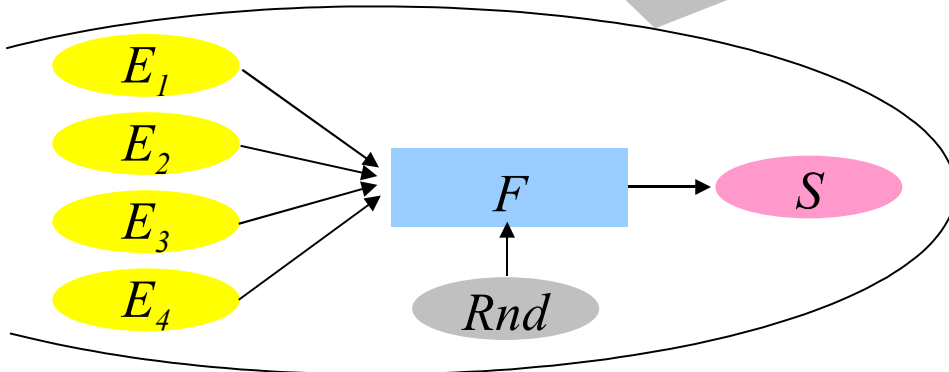
# Ajout de variables aléatoires

On introduit des variables aléatoires qui traduisent le « bruit » apporté par chaque modèle élémentaire

Surface Voilure  
Taille Moteur



distance de décollage < 2000 m  
Vz mini en montée > 500 ft/min  
poussée en croisière < MCR  
vitesse d'approche < 120 kt  
Masse Maximale à minimiser



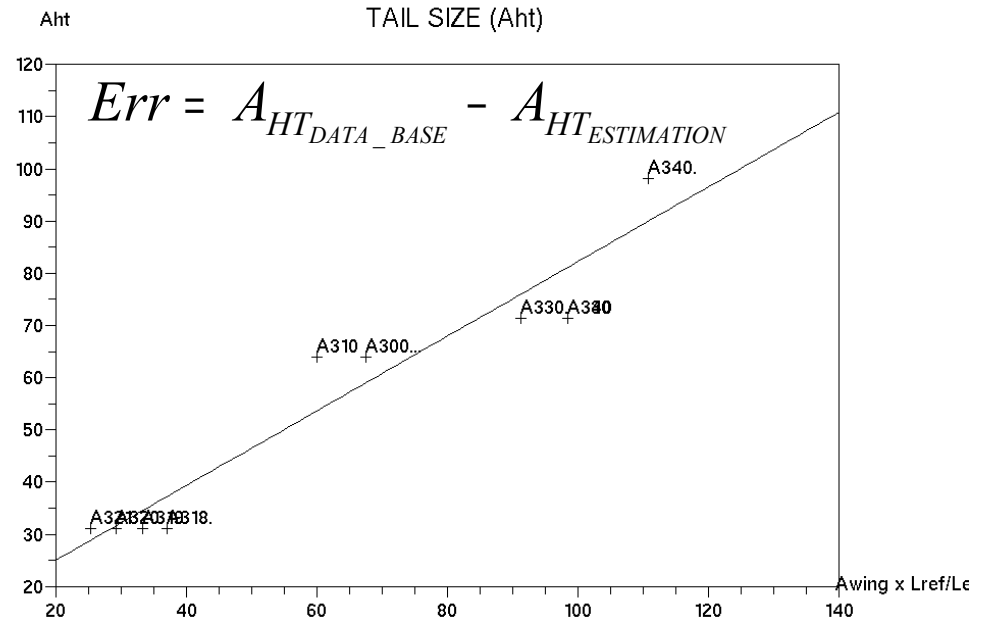
$$S = F(E_1, E_2, E_3, E_4) + Rnd(\mu, \sigma)$$

# L'incertitude de modélisation

- La confrontation d'un modèle élémentaire avec une base de donnée expérimentale donne les paramètres de la variable aléatoire.

$$A_{HT} = K \times \left( V_{HT} \times \frac{A_{REF} \times L_{REF}}{L_{EH}} \right) + C$$

A/C	Data Base	Estimation	Error
A300	64	59	5
A300	64	59	5
A300	64	59	5
A300	64	59	5
A310	64	53.7	10.3
A318	31	37.2	-6.2
A318	31	37.2	-6.2
A319	31	34.5	-3.5
A320	31	31.6	-0.6
A321	31	28.9	2.1
A330	71,5	81.1	-9.6
A330	71.5	76	-4.5
A340	71.5	81.2	-9.7
A340	98.1	90	8.1



**Biais:**  $b = \frac{1}{N} \sum_{A/C} Err = 0.014$

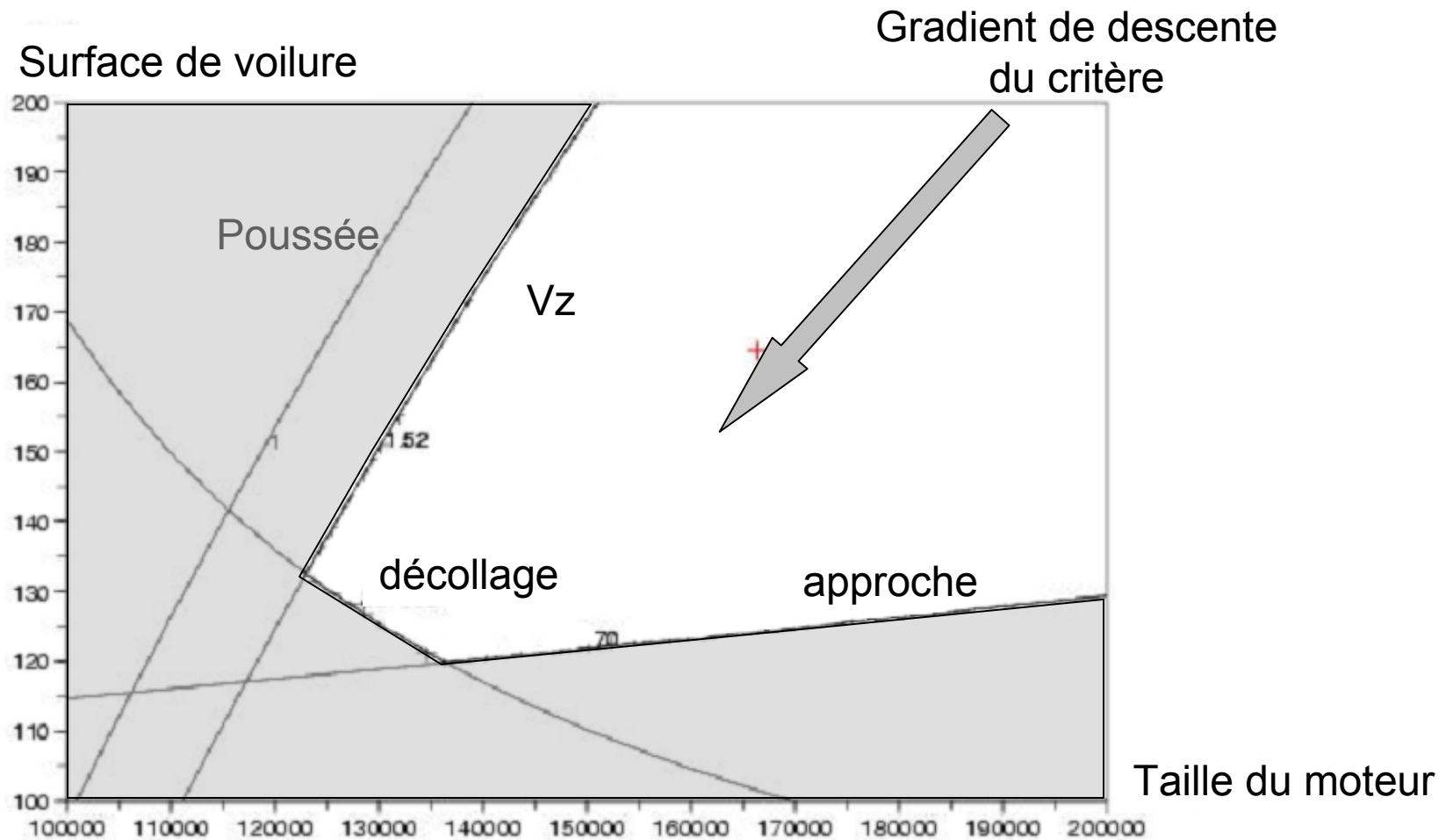
**Dispersion:**  $\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{A/C} (Err - b)^2 = 6.63^2$

On interprète ces valeurs comme l'incertitude apportée par ce modèle dans le processus de calcul



# Avant

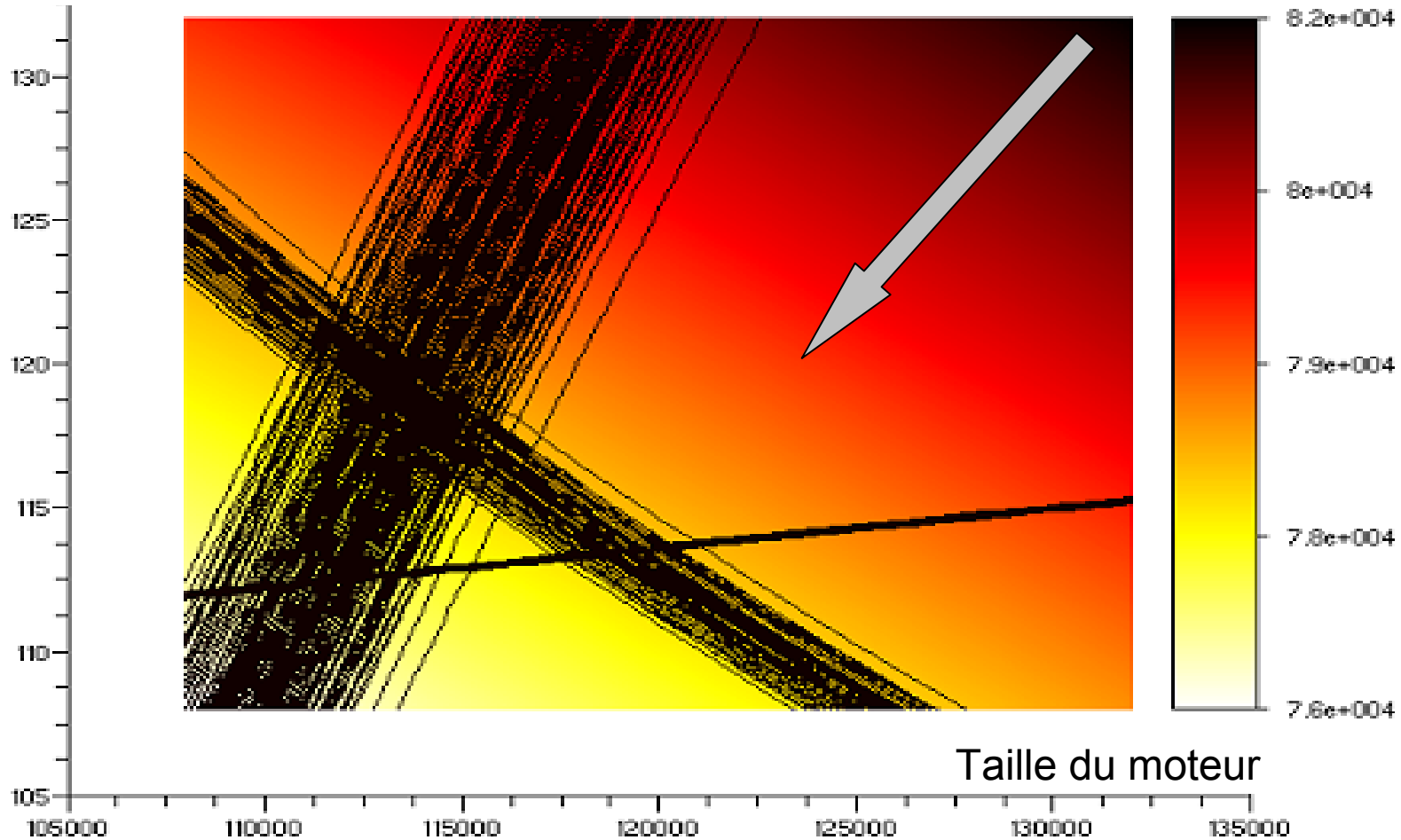
La résolution déterministe du problème conduisait au schéma suivant:



# Pendant

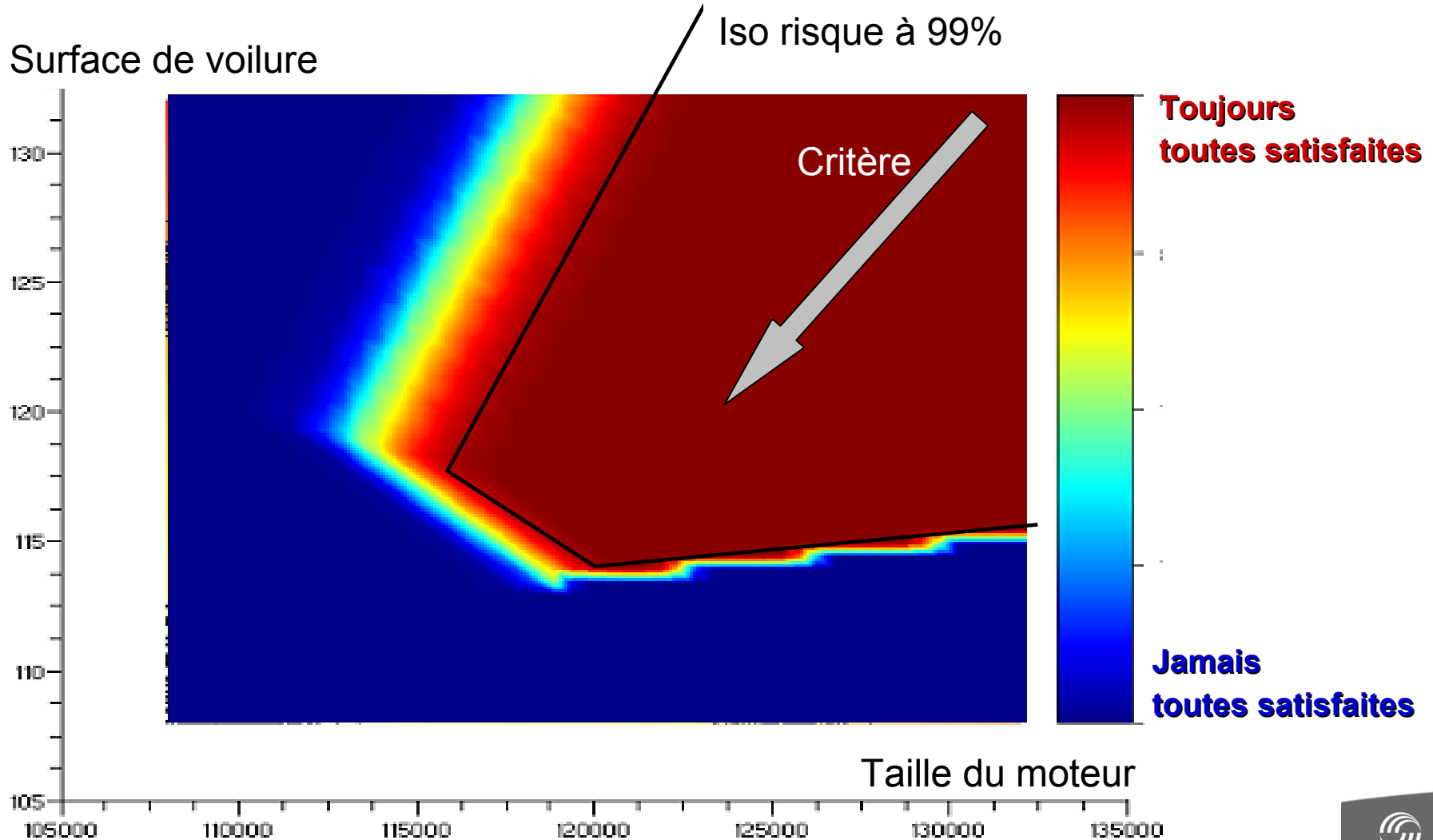
Les variables aléatoires vont rendre floue la position des contraintes:

Surface de voilure



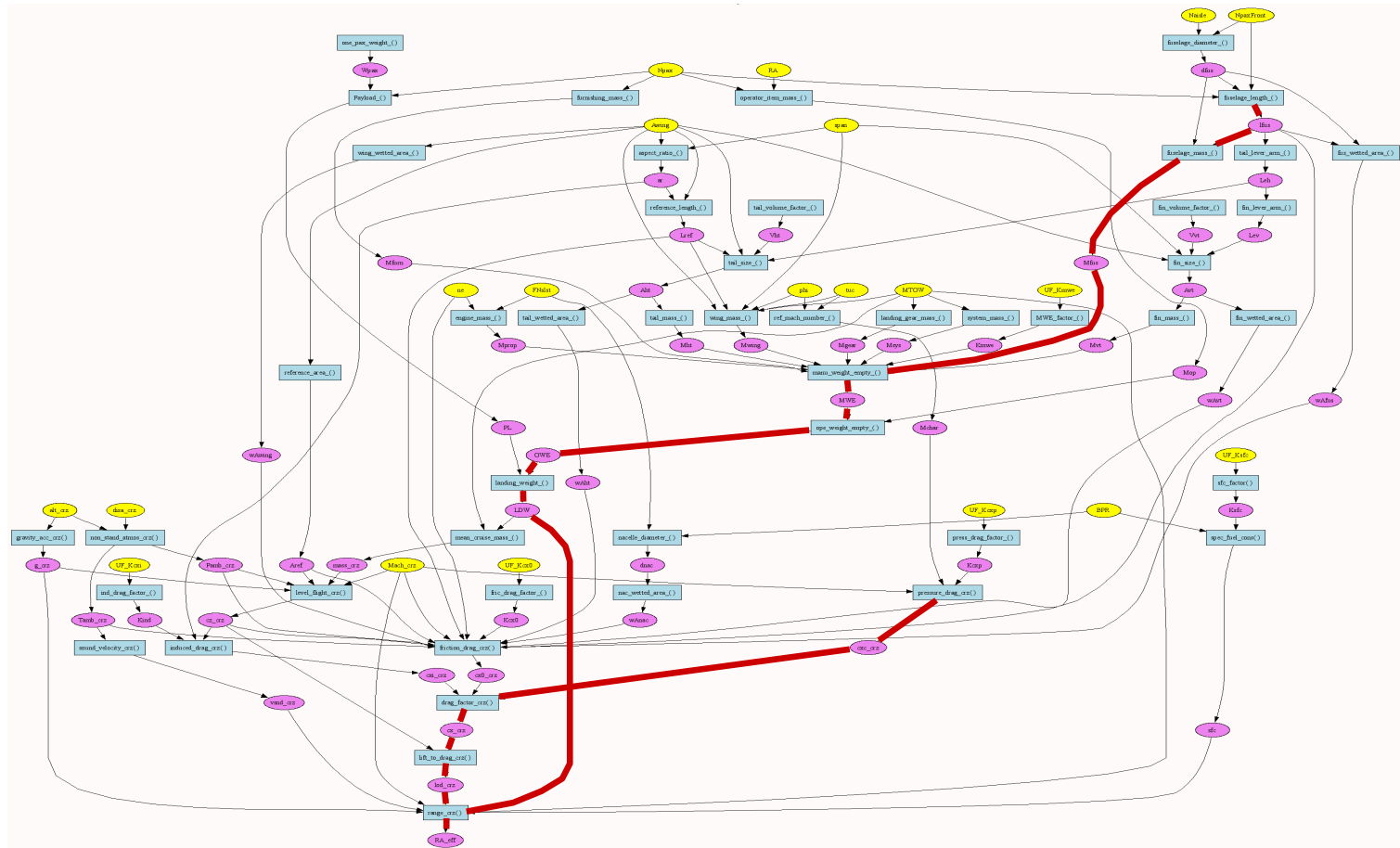
# Après

On peut en déduire un champ de probabilité de satisfaire indépendamment chacune des contraintes:



# La traque

On peut tirer d'autre information de la propagation d'incertitude, par exemple: extraire les chemins qui contribuent le plus à l'incertitude sur une grandeur calculée. On peut alors mieux cibler l'effort de modélisation qui permettra d'améliorer le résultat.



# Oui mais !!

✚ Ce petit exercice soulève en fait une grande quantité de questions:

✚ L'incertitude des modèles est établie en référence à une base de données d'avions existants, a-t-on le droit de faire cela si l'on désire créer un avion nouveau ?

✚ Les variables aléatoires traduisant l'incertitude des modèles sont-elles réellement indépendantes ? Comment estimer les éventuels couplages sans tomber dans le piège de la base de données d'avions existants ?

✚ Dire que l'on a 99% de chance que toutes les contraintes soient satisfaites n'a pas un sens évident si l'on considère qu'une seule et unique définition verra le jour (« Les Shadoks avaient calculé qu'ils avaient une chance sur 1 million de réussir le lancement de leur fusée. Alors, ils se hâtaient de rater 999999 tirs afin de pouvoir réussir »)













✚ Les modèles avant-projets ne couvrent pas toutes les contraintes opérationnelles, comment estimer les risques associés aux contraintes que l'on ne calcule pas ?

✚ Même avec des modèles ultra simples la convergence des intégrales calculées avec la méthode de Monte Carlo requiert des temps de calculs non négligeables de l'ordre de l'heure. Qu'en sera-t-il avec des modèles état de l'art qui nécessitent des temps de calcul 100 à 1000 fois supérieurs ?








✚ ...

# Plan







## Introduction

-  Les jalons de projet
-  Le rôle des Avant-Projets
-  Le cahier des charges
-  Une approche multidisciplinaire
-  Un problème inverse
-  Hiérarchie des paramètres
-  Hiérarchie des modèles
-  Points importants
-  Constat
-  Du déterminisme au risque calculé

## Une tentative pour introduire les incertitudes

-  Essai avec des modèles ultra simples
-  L'incertitude de modélisation
-  Avant
-  Pendant
-  Après
-  La traque
-  Oui mais !!

## Quelques pistes

-  Intérêt des surfaces de réponses
-  L'infrastructure actuelle
-  Créer une infrastructure adaptée
-  Optimiser l'optimiseur
-  Reformuler les modèles
-  Reformuler la méthodologie

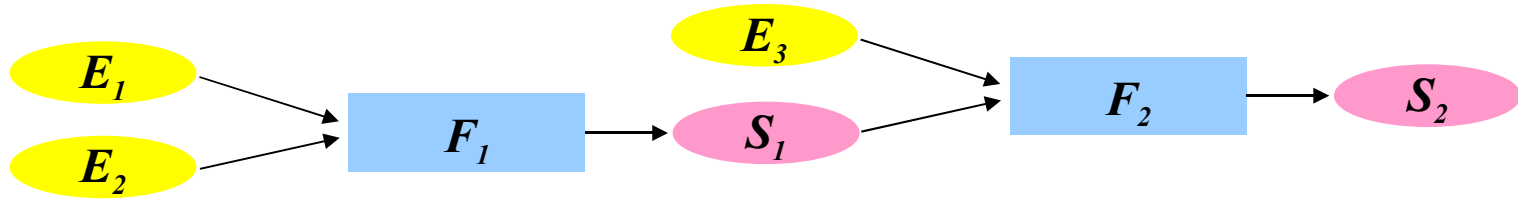
# Intérêt des surfaces de réponse

✚ L'utilisation de modèles état de l'art à la place de modèles ultra simples va faire exploser les temps de calcul. Il est fort probable que le traitement de cet aspect du problème conduise à l'utilisation systématique de surfaces de réponse.

✚ La très grande variabilité des processus de calcul avant-projet fait que la création de surfaces de réponse, répondant aux besoins en terme de propagation d'incertitude, doit rester un moyen et non un but. Autrement dit, ces fonctions doivent pouvoir être générées « à la volée » à l'intérieur d'un processus qui les exploite aussitôt.

# L'infrastructure actuelle

- L'architecture informatique de tous nos modèles repose sur la notion de fonction simple:



- Les processus de calcul invoquent les fonctions en séquence de sorte que l'actualisation des valeurs se propage d'un bout à l'autre de la chaîne de calcul (avec des parties itératives dont on finit par sortir le plus souvent)
- En terme d'agent, nous dirions que les processus émergent d'un ensemble d'agents très simples qui n'échangent qu'un seul type de message: « voici une nouvelle valeur pour ton entrée  $S_1$  » et qui n'activent leur fonction que si toutes leurs entrées ont été actualisées.
- Dans cette architecture, chaque agent encapsule une seule fonction et un seul processus interne



# Créer une infrastructure adaptée

- ✚ Imaginons à présent un agent :
  - ✚ Encapsulant les composants suivants:
    - ✚ une ou plusieurs fonctions concurrentes de précision et de temps d'exécution différents mais connus
    - ✚ une ou plusieurs surfaces de réponse pour chacune des fonctions
  - ✚ Echangeant des messages du type suivant:
    - ✚ A un antécédent: « j'ai besoin d'une valeur à x% près sur mon entrée A »
    - ✚ A un successeur: « voici une valeur actualisée à y% près sur ton entrée B »
- ✚ Cet agent serait muni des processus internes lui permettant de répondre aux requêtes de son environnement en temps minimal
- ✚ Les processus de calcul seraient hérités des processus actuels de résolution de système et d'optimisation mais devraient intégrer la notion d'incertitude (par exemple: les  $\varepsilon$  des conditions d'arrêt deviendraient des variables du processus)

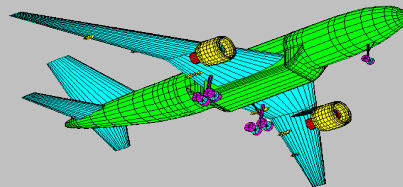
# Optimiser l'optimiseur !!

- ✚ Le terme de dimensionnement « robuste » contient deux aspects:
  - ✚ Chercher à définir les paramètres de l'avion qui conduisent à un maximum de résistance des performances à la variabilité des entrées
  - ✚ Configurer le processus qui minimise l'incertitude sur les résultats (dans une enveloppe donnée de temps de calcul)
- ✚ Tout se passe comme si l'on voyait apparaître une nouvelle « couronne » de paramètres relatifs au processus de conception lui-même:

Paramètres de processus

Paramètres de conception

Paramètres de conduite du vol



# Reformuler les modèles

Les mathématiques de l'analyse statistique ont été bien développées dans d'autres secteurs. Le fait qu'elles n'aient pas encore percé dans le domaine de la conception avant-projet est due à une réelle difficulté conceptuelle à les y introduire

Par exemple: certaines fonctions de base de la modélisation avant-projet, bien que basées sur la physique, ont pour objet de produire non pas une vraie estimation physique de la valeur d'une grandeur donnée mais bien un objectif atteignable (sous réserve d'une optimisation ultérieure et en supposant que certaines contraintes bien particulières soient actives)

Il conviendrait de reformuler cette notion d'objectif atteignable en terme de probabilité en ayant bien soin de s'appuyer au maximum sur la physique des phénomènes plutôt que sur les solutions existantes

# Reformuler la méthodologie

- ✚ La prise en compte des incertitudes de façon quantitative est probablement de nature à modifier profondément nos méthodologies
- ✚ La transition méthodologique entre une approche déterministe avec prise de marge de sécurité et une approche probabiliste à risque quantifié ne pourra s'accomplir que si le passage d'une approche à l'autre est parfaitement bien compris et maîtrisé
- ✚ Il est du reste probable que « la bonne méthodologie » fera une synthèse des deux approches

Merci de votre attention



*Ce document et son contenu sont la propriété d'AIRBUS FRANCE S.A.S. Aucun droit de propriété intellectuelle n'est accordé par la communication du présent document ou son contenu. Ce document ne doit pas être reproduit ou communiqué à un tiers sans l'autorisation expresse et écrite d'AIRBUS FRANCE S.A.S. Ce document et son contenu ne doivent pas être utilisés à d'autres fins que celles qui sont autorisées.*

*Les déclarations faites dans ce document ne constituent pas une offre commerciale. Elles sont basées sur les postulats indiqués et sont exprimées de bonne foi. Si les motifs de ces déclarations n'étaient pas démontrés, AIRBUS FRANCE S.A.S serait prêt à en expliquer les fondements.*



**AIRBUS**

---

**AN EADS JOINT COMPANY  
WITH BAE SYSTEMS**