

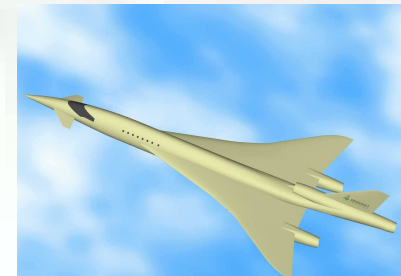
# Conception & optimisation d'avion

Florian De Vuyst

Ecole Centrale Paris – Laboratoire Mathématiques Appliquées aux Systèmes

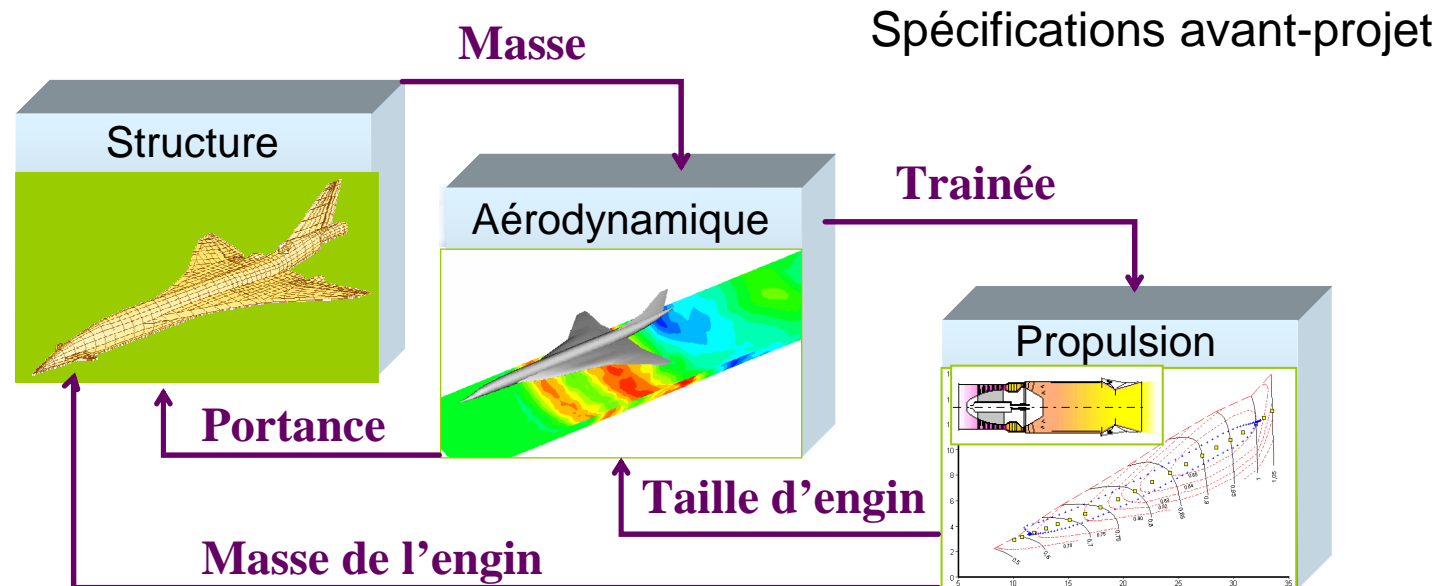


Conférences “Qu’en savez-vous vraiment ?”  
Musée des arts et métiers  
Jeudi 24 avril 2008



**« Du virtuel à la réalité : la conception innovante du Falcon 7X »**

# Conception avant-projet et conception préliminaire: une histoire de compromis ...



Processus de dimensionnement

**Conception avant-projet :**  
**gérer les paramètres de conception**  
**entre disciplines**

# Arbre des modélisations

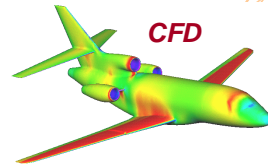
Conception avant-projet

**"Avion"**

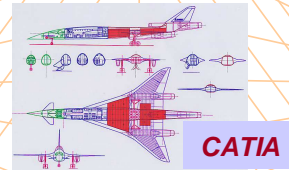


Phase préliminaire

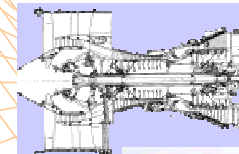
aérodynamique



cellule

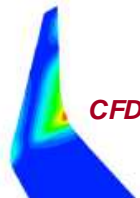


moteurs

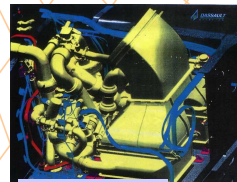


Détails

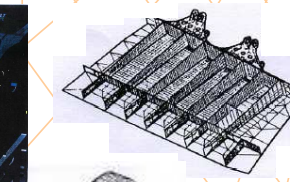
détail  
aérodynamique



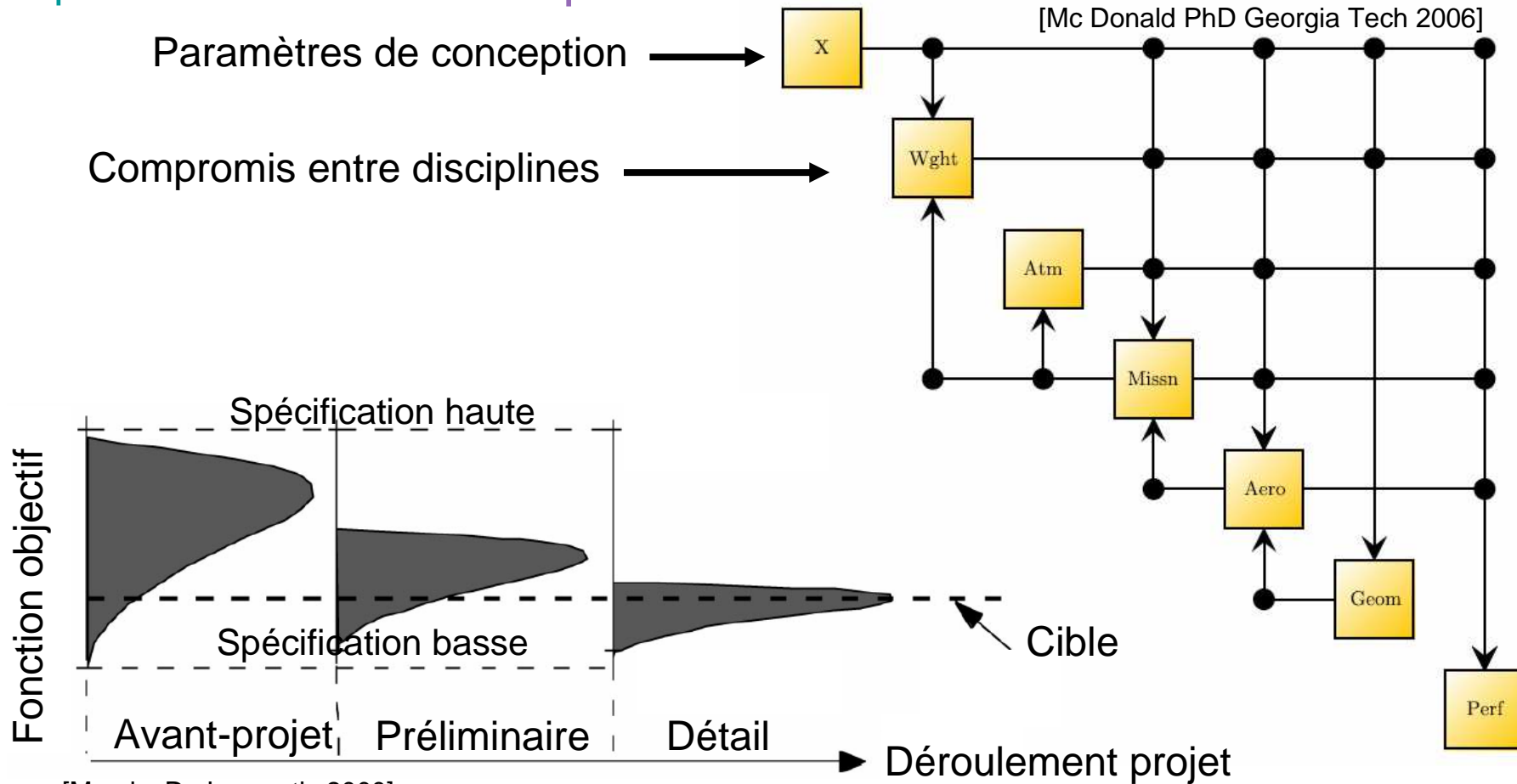
Tronçons & pièces



composants



# Conception avant-projet et conception préliminaire: une histoire de compromis ...

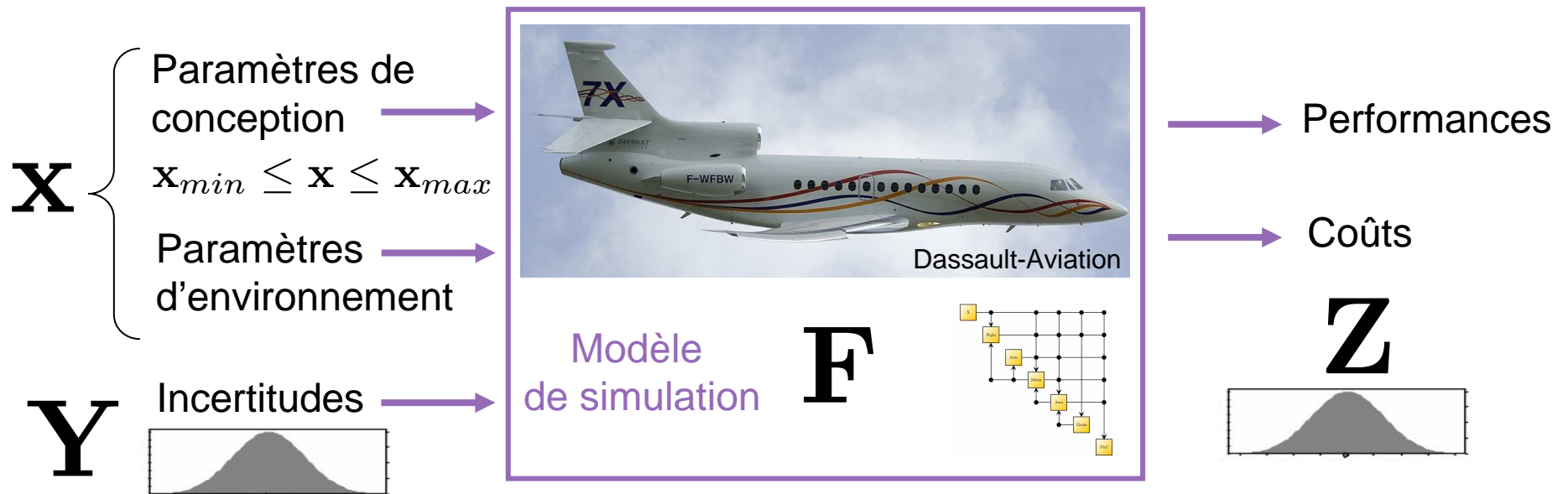


→ Variabilité réduite, meilleure réponse moyenne

# Formulation mathématique

Hypothèses de mission – contraintes de conception  
contraintes opérationnelles

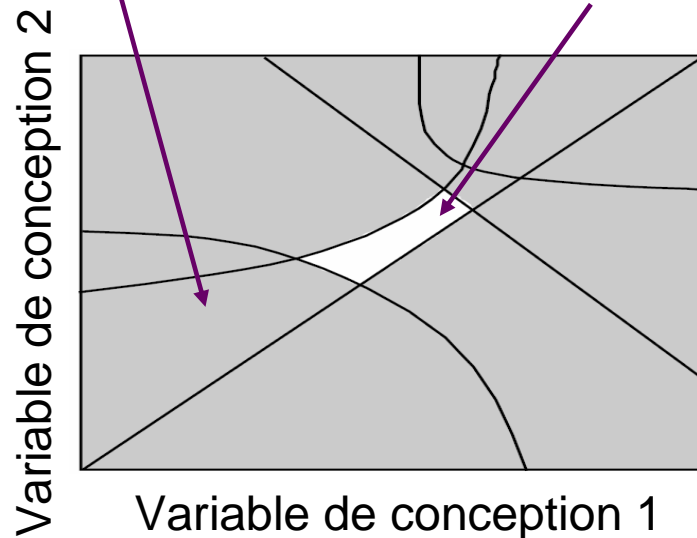
$$G_i(\mathbf{x}) \leq 0$$



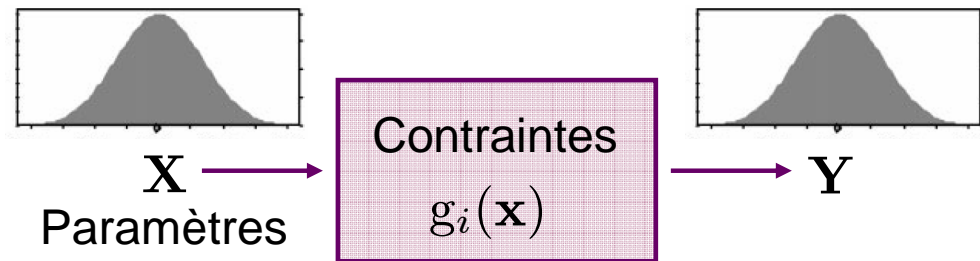
# Conception robuste : l'apport des modèles incertains

Contraintes  $g_i(\mathbf{x}) \geq 0$

**Espace faisable !**



En rendant les variables **aléatoires** :

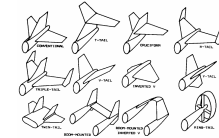


Calcul probabiliste de faisabilité :

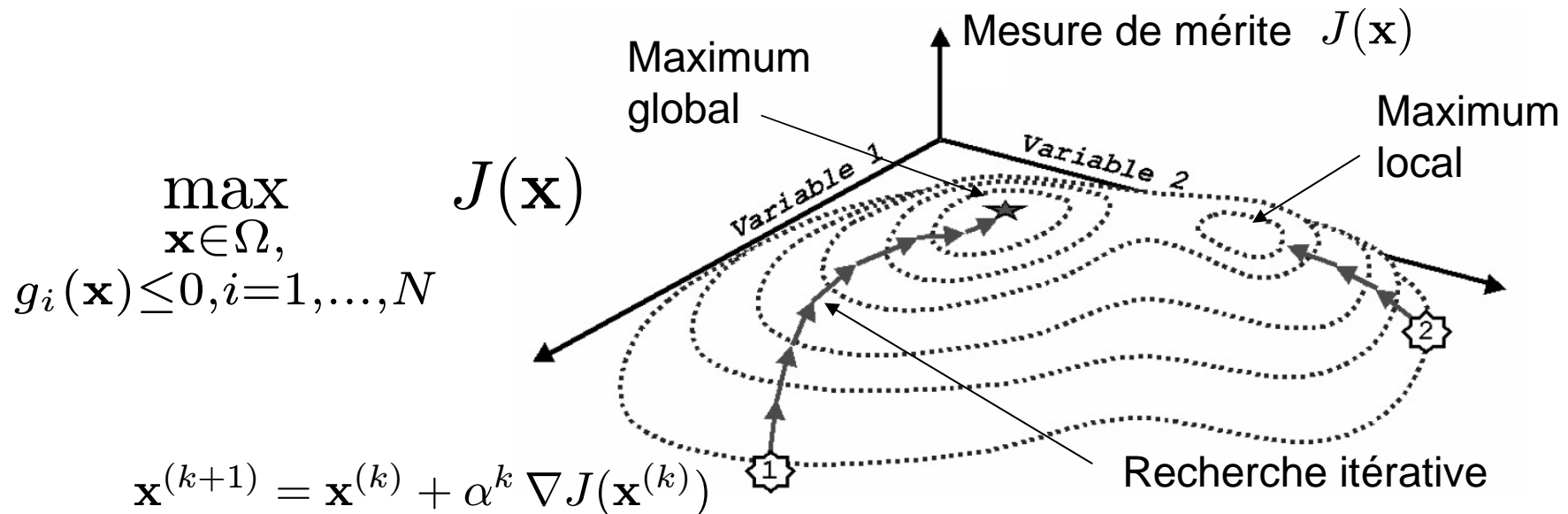
**Fonction densité de probabilité jointe**

$$P \left[ (Y_1, \dots, Y_N) \in (\mathbb{R}^-)^N \right] = \int_{-\infty}^0 \dots \int_{-\infty}^0 \overbrace{f(y_1, \dots, y_N)}^{f(y_1, \dots, y_N)} dy_1 \dots dy_N$$

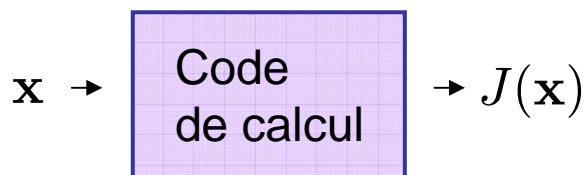
→ Utile dans le processus de sélection de technologie



# Algorithmes classiques d'optimisation numérique



→ Nécessite en général la connaissance du gradient  $\nabla J(\mathbf{x}) = \left( \frac{\partial J}{\partial x_i} \right)$

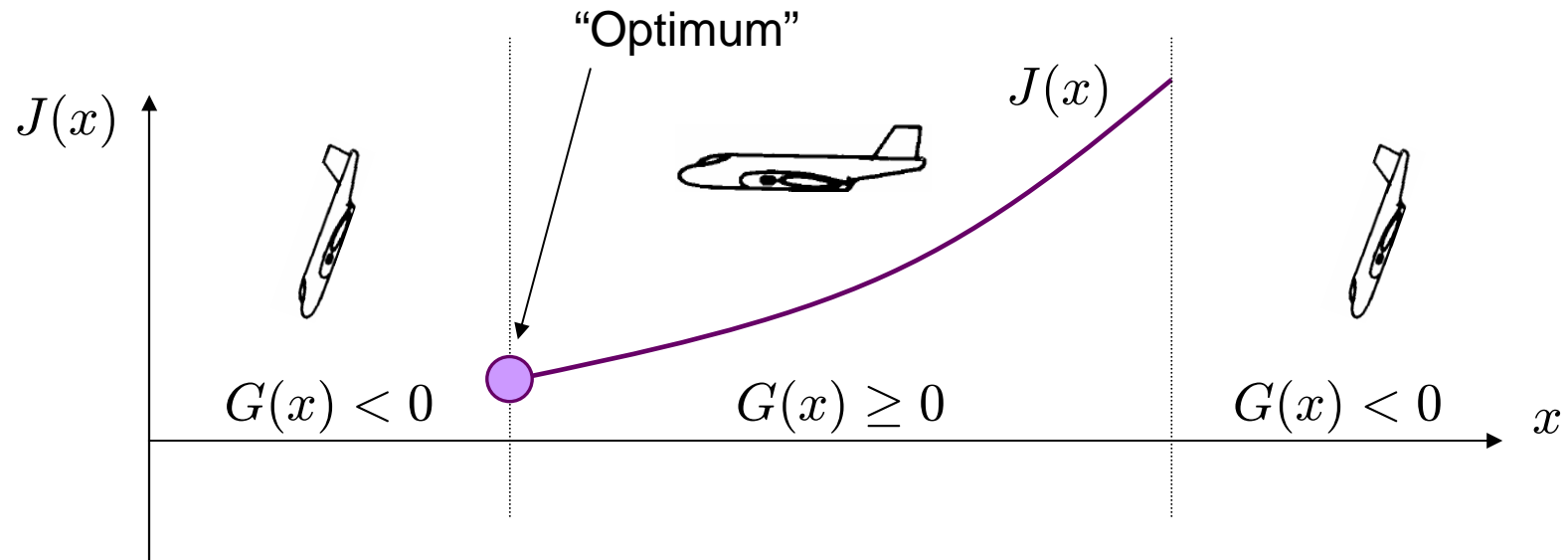


Différenciation automatique de code

```

...
u = a * b;
du = a*db + b*da;
...
    
```

Remarque : l'optimum est souvent au bord de l'espace faisable

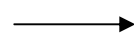


$$\min_{x \in \mathbb{R}} J(x)$$

$G(x) \geq 0$  : suffisamment de carburant

$G(x) < 0$  : pas assez de carburant

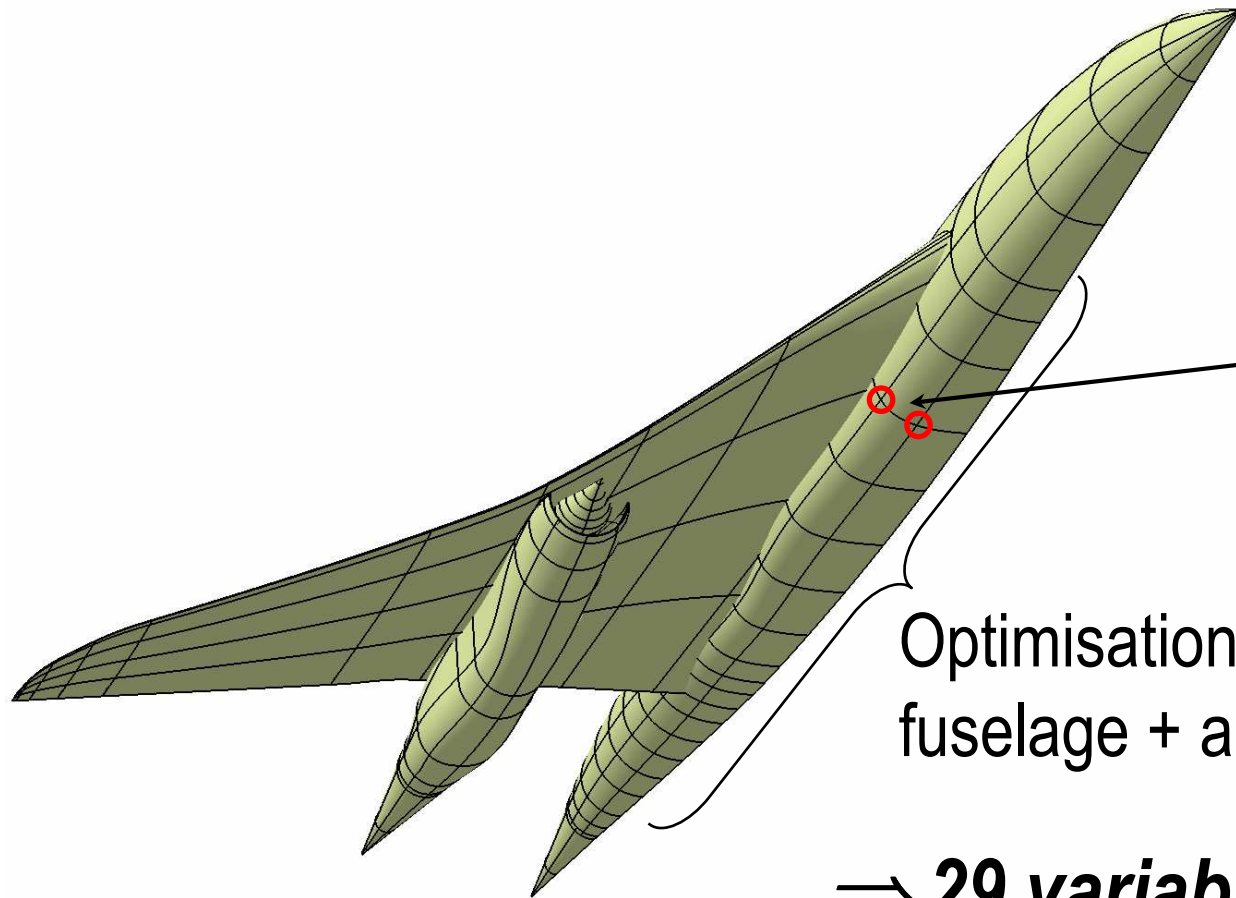
$$G(x) \geq 0$$



Nouvel intérêt d'introduire des incertitudes  
(conception robuste)



## Exemple d'optimisation de forme Supersonic Business Jet (SSBJ) – Dassault Aviation



**Mach 1.8**  
**Portance prescrite**

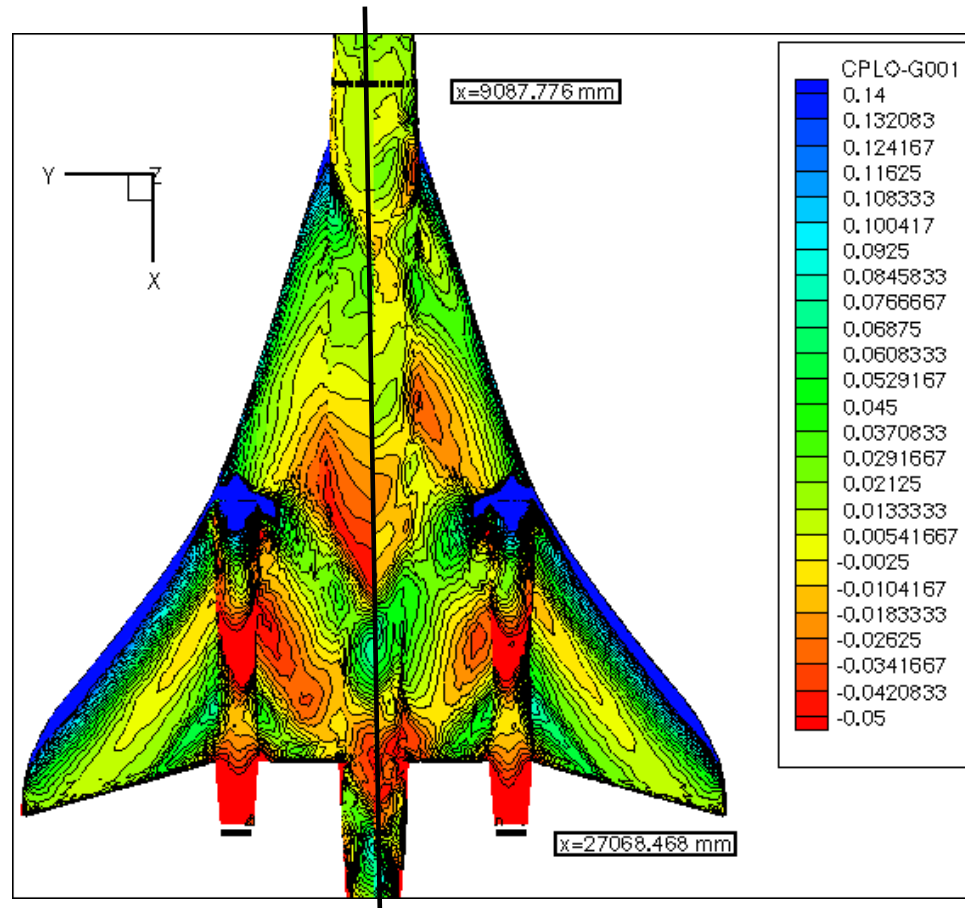
2 variables de  
conception par  
section

Optimisation de 14 sections de  
fuselage + angle d'attaque

⇒ **29 variables de conception**

# Exemple d'optimisation de forme Supersonic Business Jet SSBJ (Dassault-Aviation)

Avant  
optimisation  
numérique



Après  
optimisation  
numérique

**Réduction notable de la traînée**

# Optimisation stochastique et sous incertitudes

- Algorithmes stochastiques d'optimisation
- Optimisation stochastique

- Recuit simulé
- Algorithmes génétiques
- Stratégies d'évolutions
- Essais particuliers
- Colonies de fourmis ....

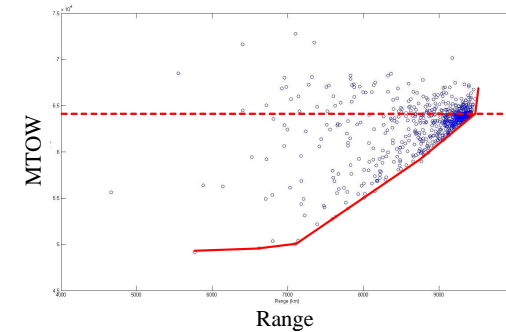
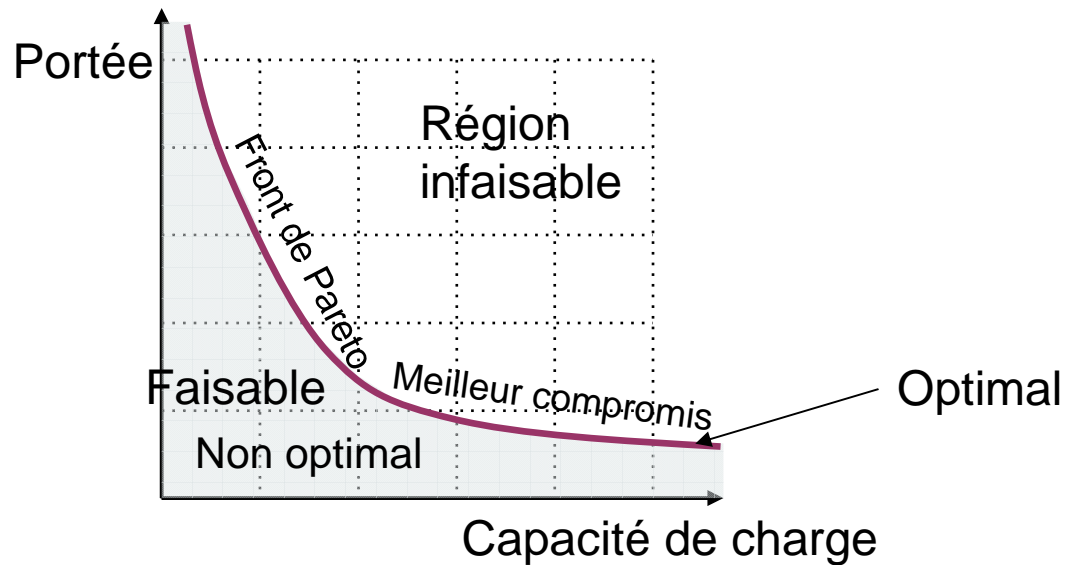
Alternatives quand les algorithmes déterministes posent des difficultés

Exemples :

$$\max_{\mathbf{x},} E[Y]$$
$$P[Z \geq z_0] \geq 1 - \epsilon$$

$$\min_{\mathbf{x},} V[Y]$$
$$P[Z \geq z_0] \geq 1 - \epsilon$$
$$E[Y] = \bar{y}$$

# Optimisation multicritère



Plus faible : somme pondérée des différents critères ( $\omega_i > 0$ )<sub>i</sub>

$$J_i(\mathbf{x}), \quad i = 1, \dots, N$$

$$\max_{\mathbf{x}} J(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^N \omega_i J_i(\mathbf{x})$$

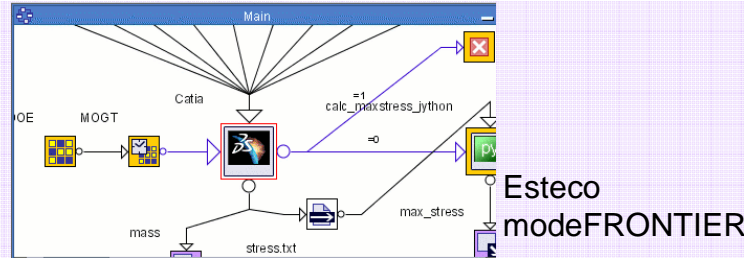
Version probabiliste : “**probabilité de succès**”

$$J_i(\mathbf{x}) \rightarrow Z_i$$

$$\min_x P [(Z_1 \leq z_1, \dots, Z_N \leq z_N) \geq \epsilon].$$

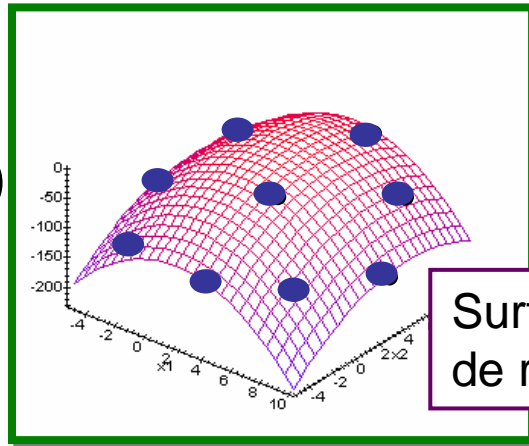
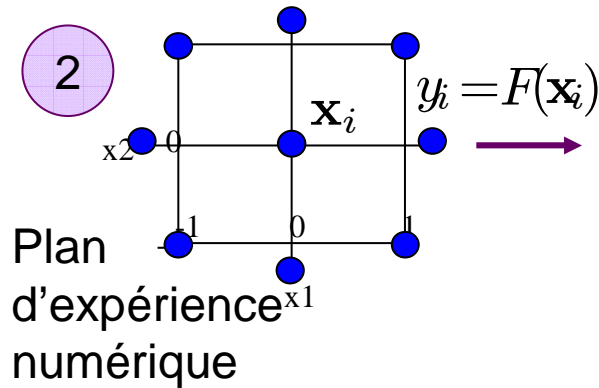
# Calcul allégé : méta modèles et modèles multi niveaux

3



## Synthèse de système

2



1μ sec CPU !

Méta-modèle

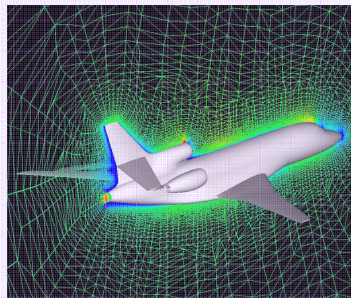
$$\hat{y} = \hat{F}(\mathbf{x})$$

$$y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ii} x_i^2 + \sum \sum b_{ij} x_i x_j$$

1

Design point

$\mathbf{x}_i$



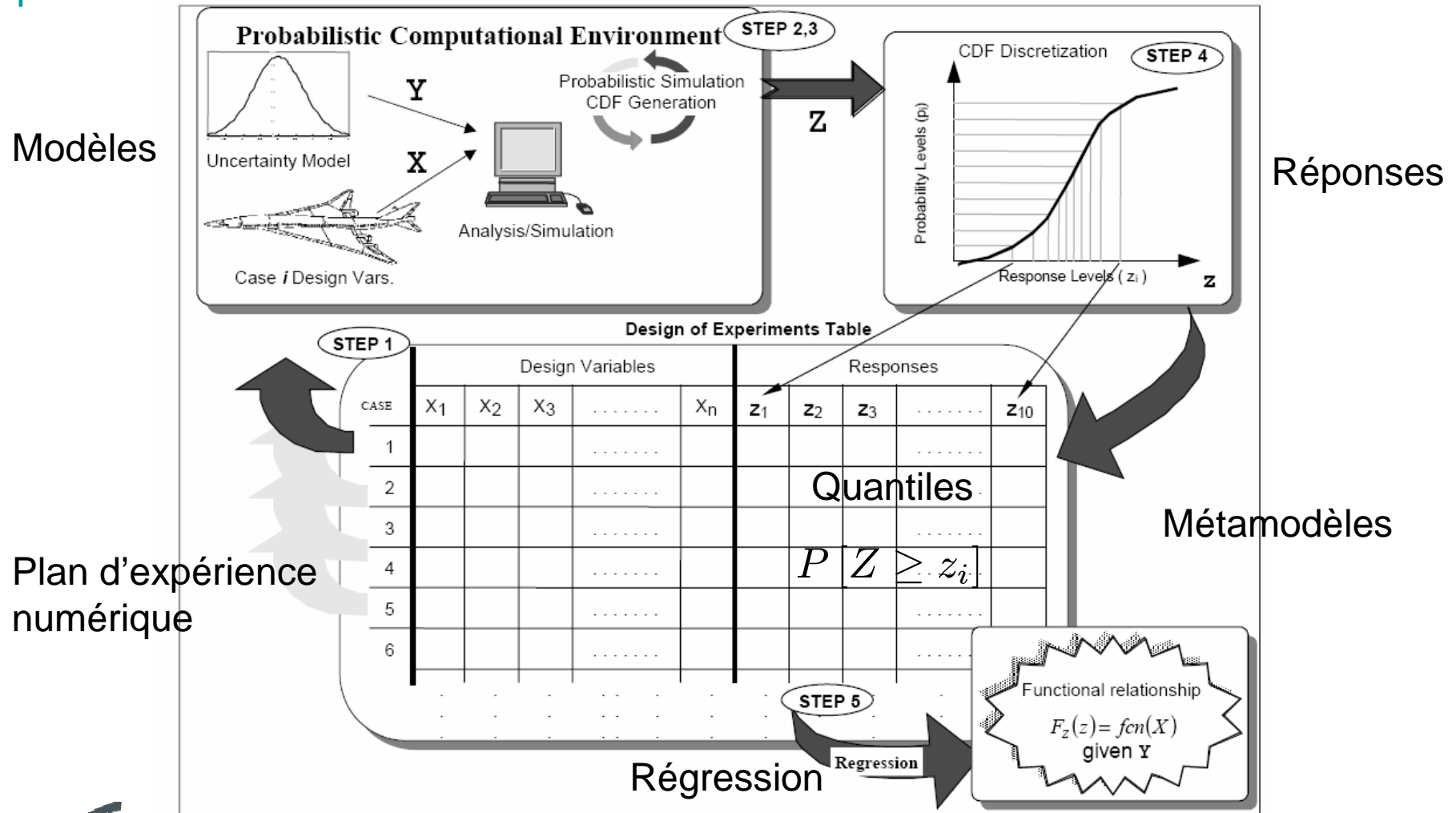
Calcul éléments finis 3D

Réponse

$$y_i = F(\mathbf{x}_i)$$

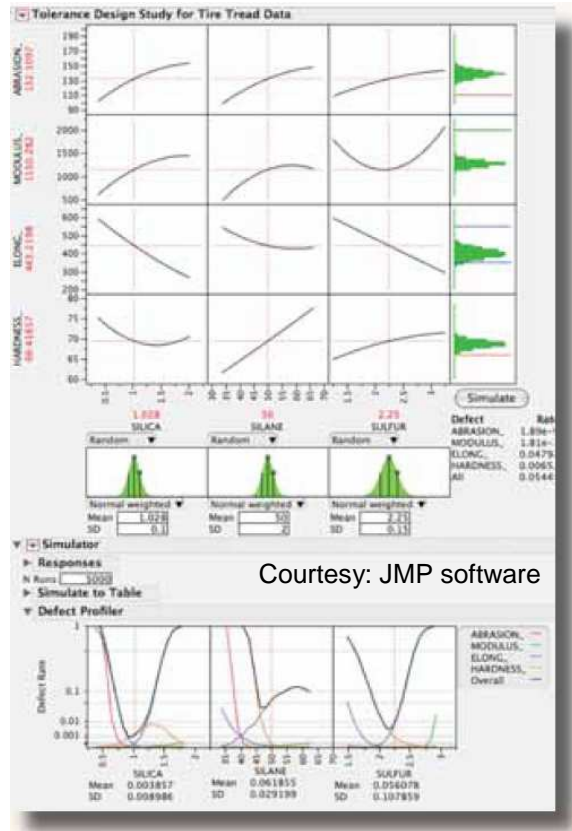
~ 1 semaine de calcul CPU

# Metamodélisation sous incertitudes [DeLaurentis & Mavris, 2000]



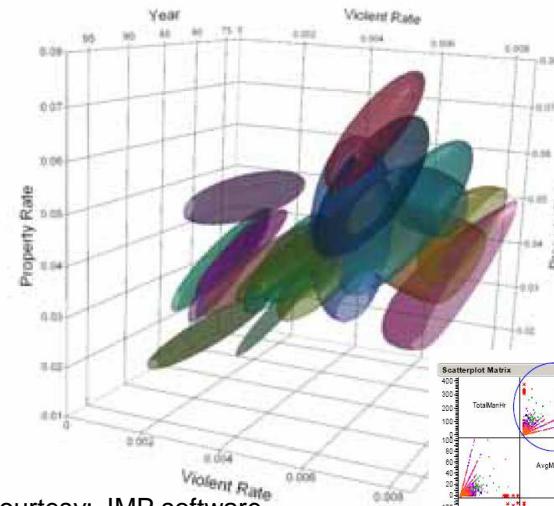


# Visualisation : voyager dans les grandes dimensions paramétriques ...

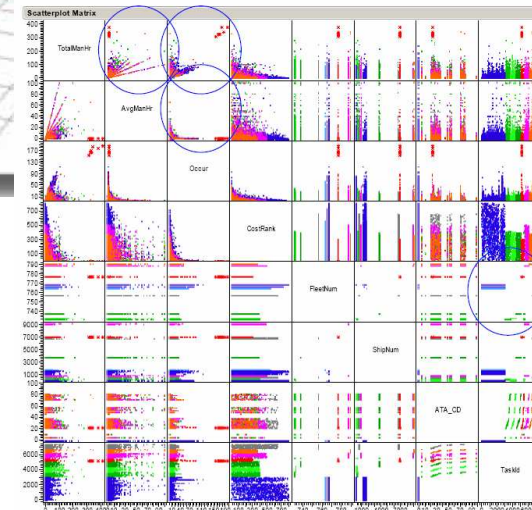


Surfaces de réponses JMP software

Scatterplot 3D JMP software



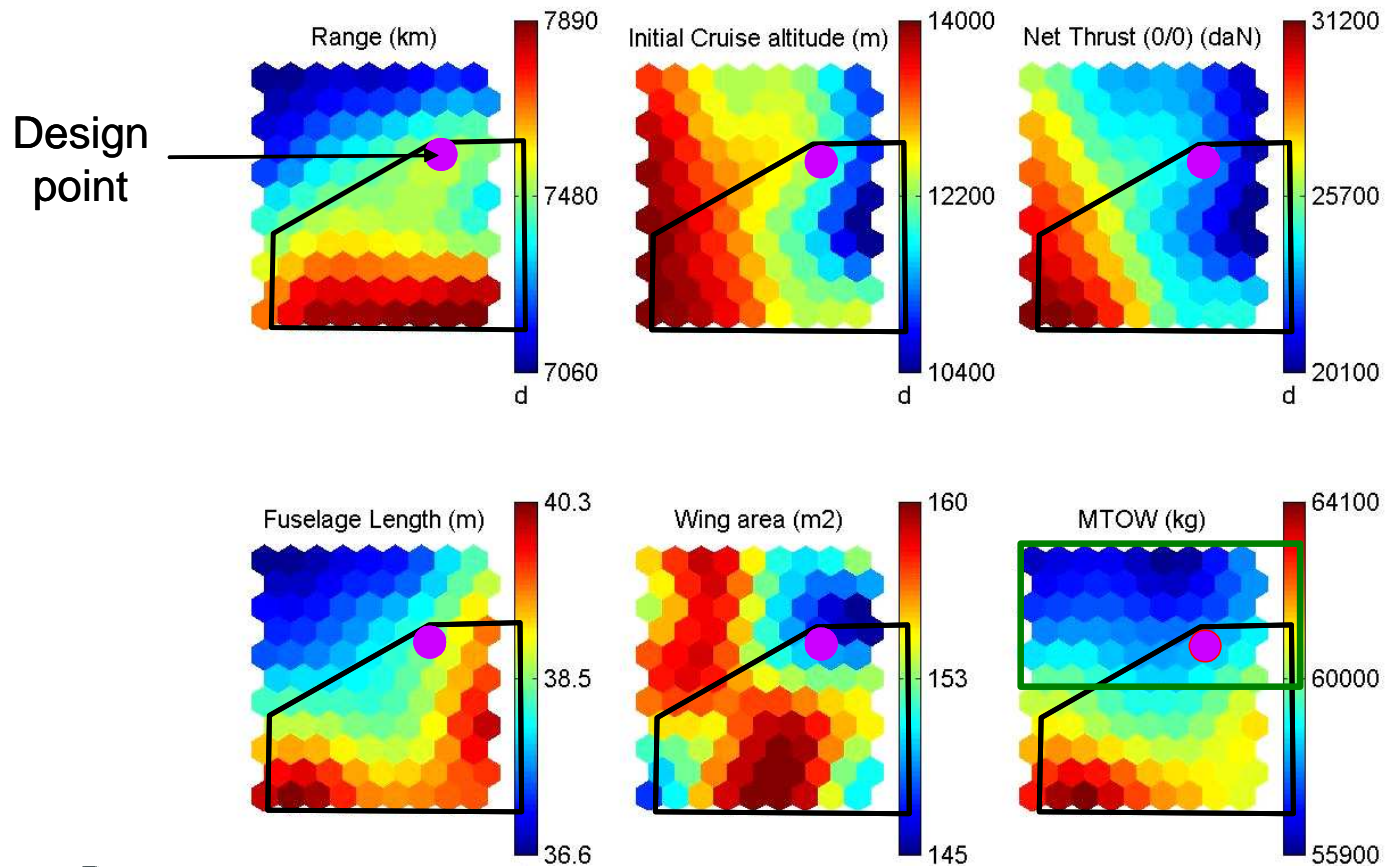
Courtesy: JMP software



Scatterplot [W. Zhao 2007]

# Visualisation : voyager dans les grandes dimensions paramétriques ...

Classification non supervisée - Cartes auto-organisatrices de Kohonen (SOM)



© Dassault Aviation



# L'initiative américaine Aerospace Systems Design Lab ASDL – Georgia Tech / Boeing / SAS JMP

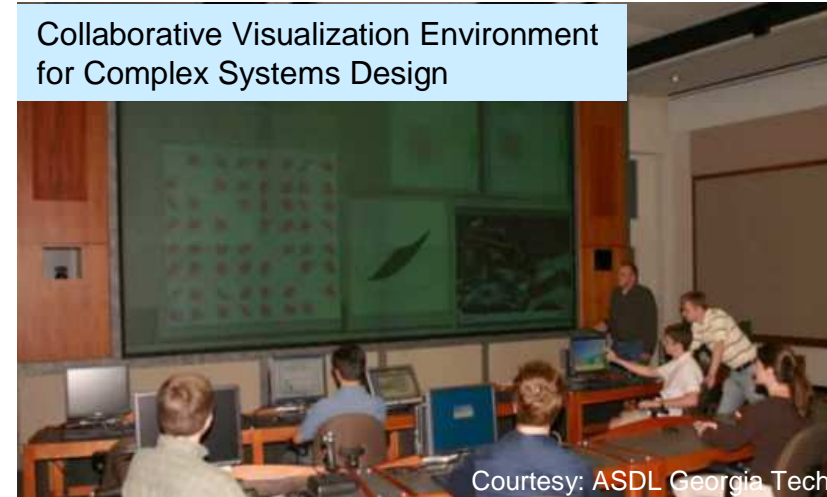
<http://www.asdl.gatech.edu/>



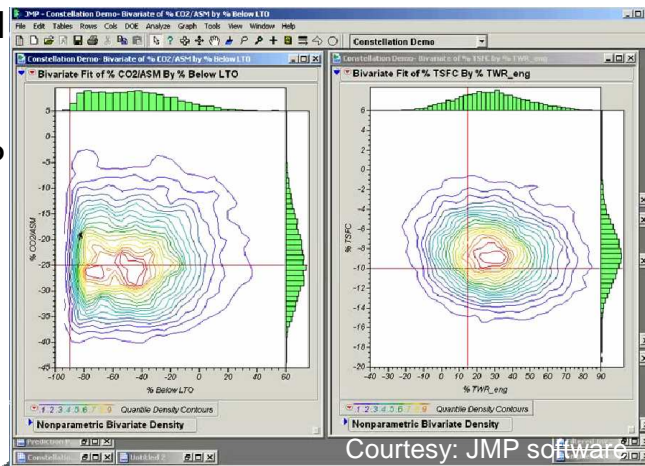
Collaborative Design Environment



Collaborative Visualization Environment  
for Complex Systems Design

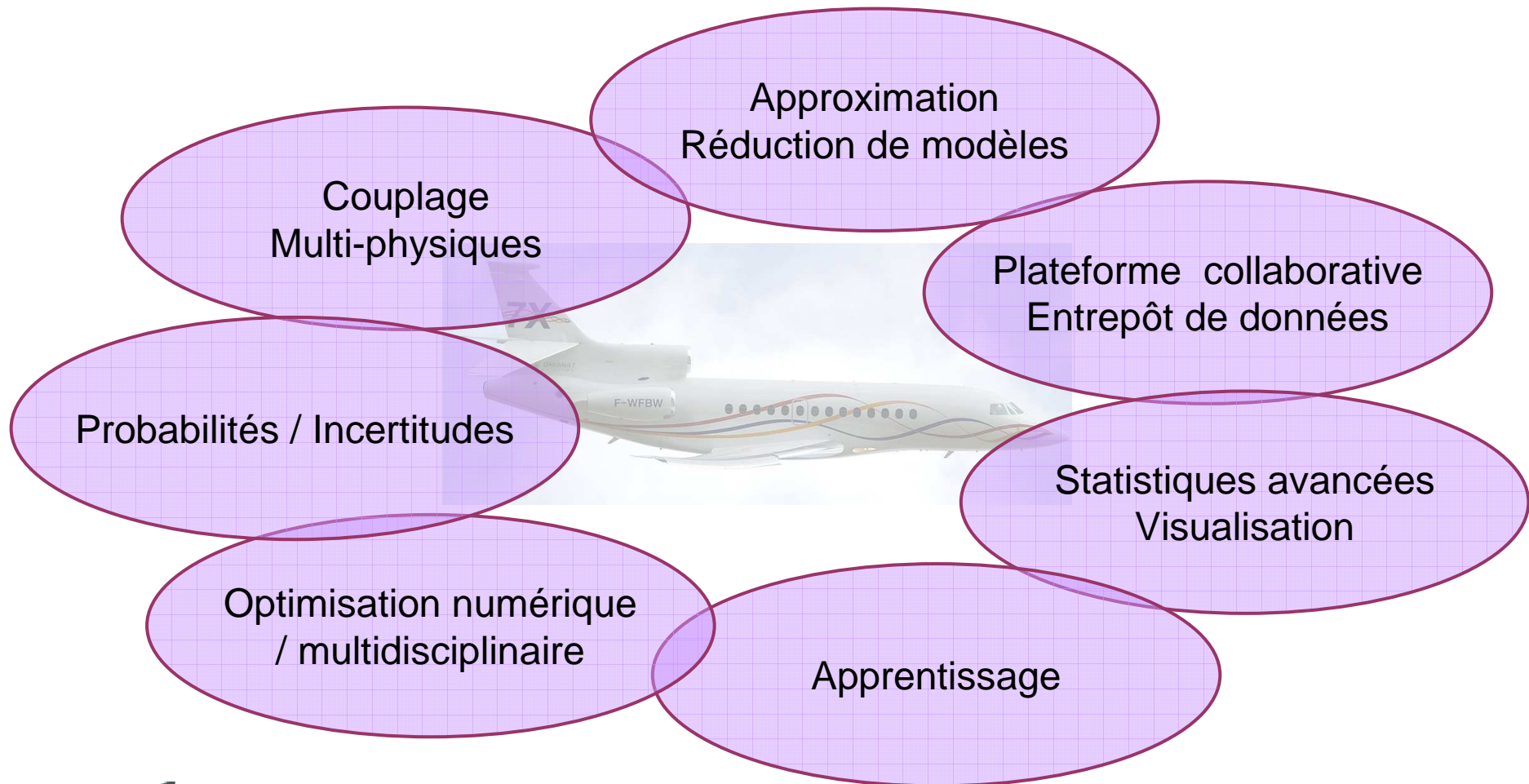


Statistical  
Discovery  
Software  
JMP



Une initiative française similaire  
en préparation : le **CSDL**  
*Complex System Design Lab*  
(Académiques & Industriels)

En conclusion : outils mathématiques et travail collaboratif,  
un atout pour les conceptions du futur



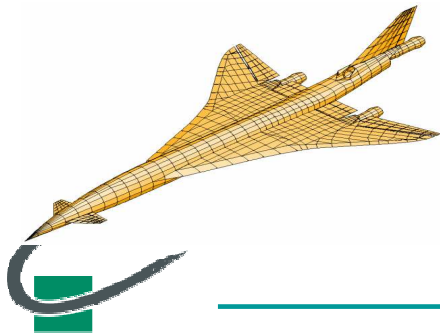
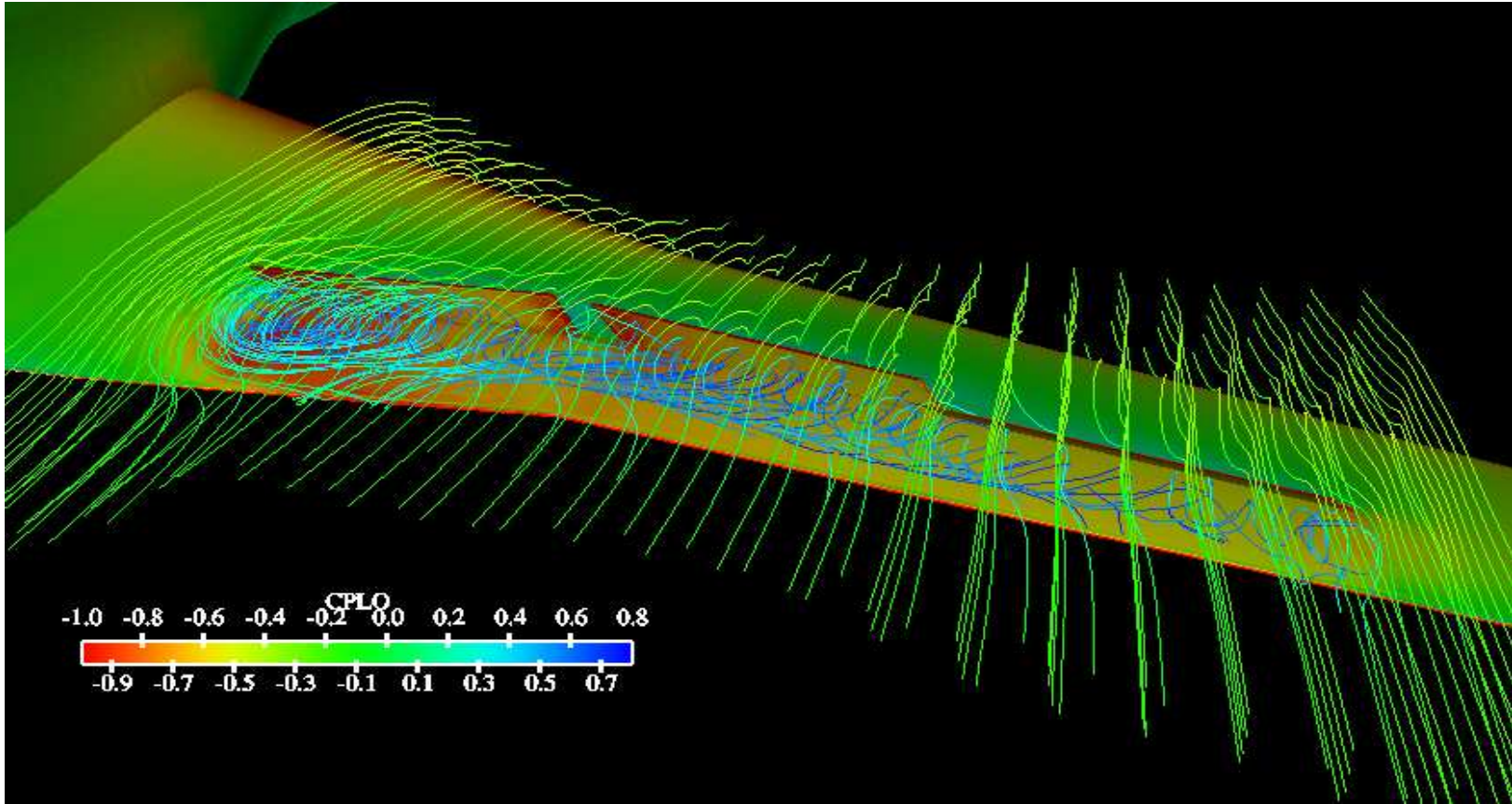
## Bibliographie succincte

1. Raymer, Daniel, Aircraft design : a conceptual approach (2006), AIAA Educational Series.
2. Keane, Andy, Nair, Prasanth, Computational Approaches for Aerospace Design: The Pursuit of Excellence, 602 p, J. Wiley & Son Inc., ISBN 9780470855478 (2006), <http://www.southampton.ac.uk/~aerodesn/>
3. ASDL, Aerospace Systems Design Laboratory, Georgia Tech, <http://www.asdl.gatech.edu/>
4. Bruno Stoufflet, Mathématiques Appliquées et Aéronautique, Journée Math-Industrie de la Société Mathématiques Appliquées et Industrielle (SMAI), septembre 2006, <http://smai.emath.fr/documents/Stoufflet.pdf>
5. DeLaurentis, Daniel A., Mavris, Dimitri N., Uncertainty Modeling and Management in Multidisciplinary Analysis and Synthesis, AIAA-2000-0422 (2000), <http://en.scientificcommons.org/871466>

## Mots-clés pour une recherche web sur *google*

- Conceptual design
- Preliminary design
- Aircraft/aerospace design
- Multidisciplinary optimization
- Robust design
- Metamodeling
- Surrogate model
- Variable-fidelity model
- Uncertainty propagation
- Multicriteria optimization
- Evolutionary algorithm
- Feature extraction
- Conception avant-projet
- Conception en phase préliminaire
- Conception d'avion/aérospatiale
- Optimisation multidisciplinaire
- Conception robuste
- Metamodélisation
- Substitut de modèle
- Modèle multi-niveaux
- Propagation d'incertitudes
- Optimisation multicritère
- Algorithmes évolutionnaires
- Extraction de caractéristiques





Merci de votre attention

