

HPC simulation for aeronautical design

B. STOUFFLET

Vice-President for Scientific Strategy,

Advanced Business and R&D

DASSAULT AVIATION



DASSAULT AVIATION Group

Turn over : 3400 M€

Employees : 12 000

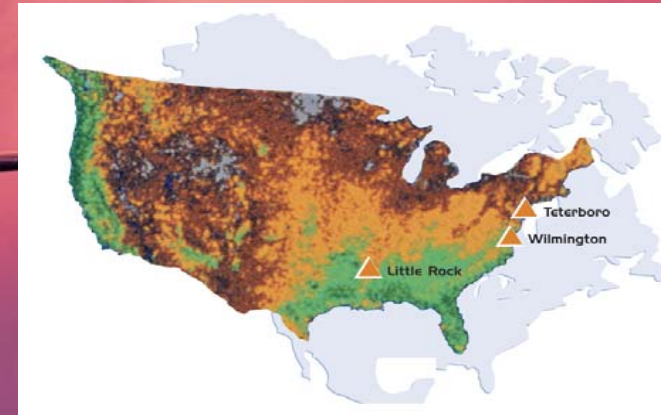
Order book : 12000 M€



Facilities in France : 15



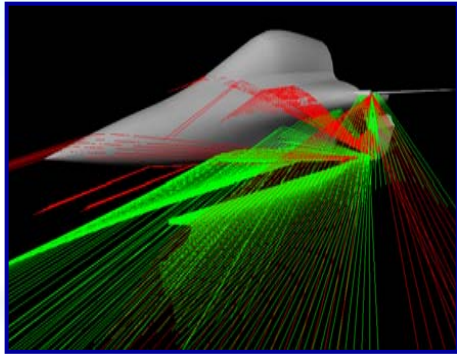
Facilities in USA : 3



- ▲ Civil aircraft
- ▲ Civil and military aircraft
- ▲ Military aircraft

Over 7900 aircraft delivered
25 million flight hours

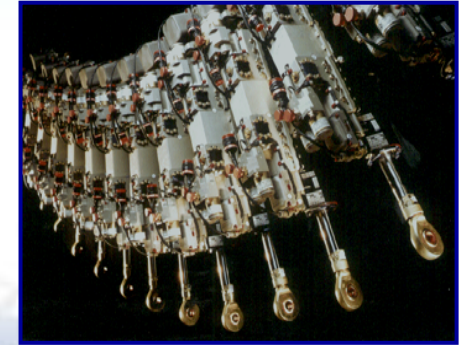
DASSAULT AVIATION: World class designer of combat aircraft and business jets



Modelization



Complex systems integration and validation



Digital flight controls



Digital modelling and concurrent engineering



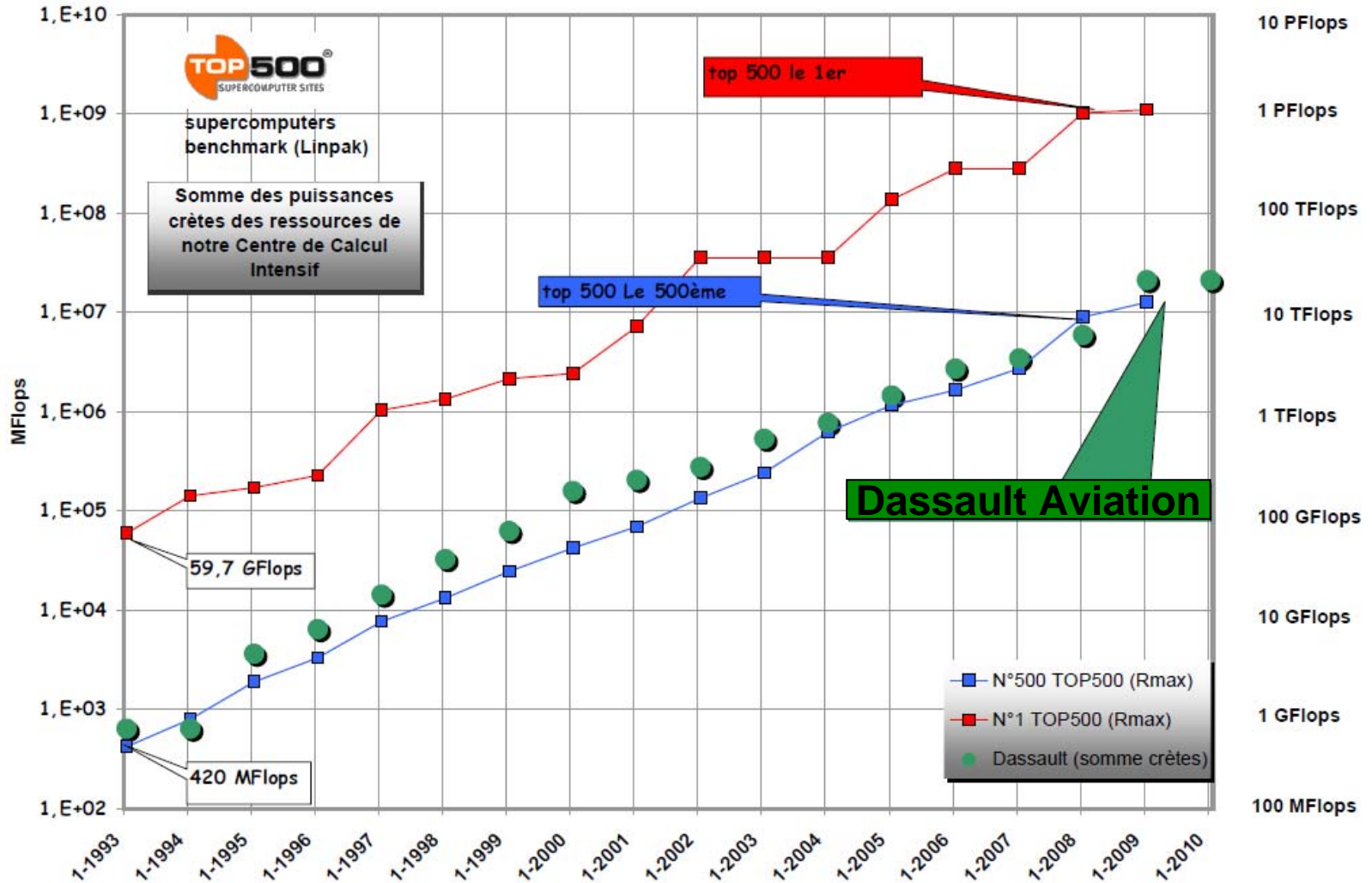
Lean manufacturing technologies



Materials

Affordable cutting edge technologies

Evolution of computing power



Ce document est la propriété intellectuelle de DASSAULT AVIATION. Il ne peut être utilisé, reproduit, modifié ou communiqué sans son autorisation. DASSAULT AVIATION Proprietary Data



Needs for intensive computing

□ Size of discrete model

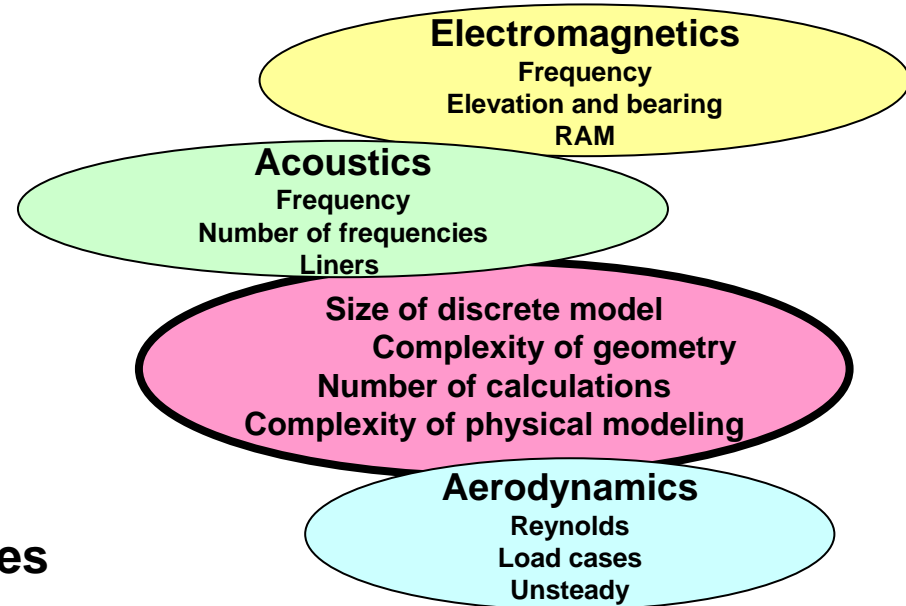
- Required accuracy
 - Reynolds number
 - Frequency
- Complexity of geometry

□ Number of calculations

- Number of design points
 - Polar curve
 - Elevation and bearing angles
 - Number of frequencies

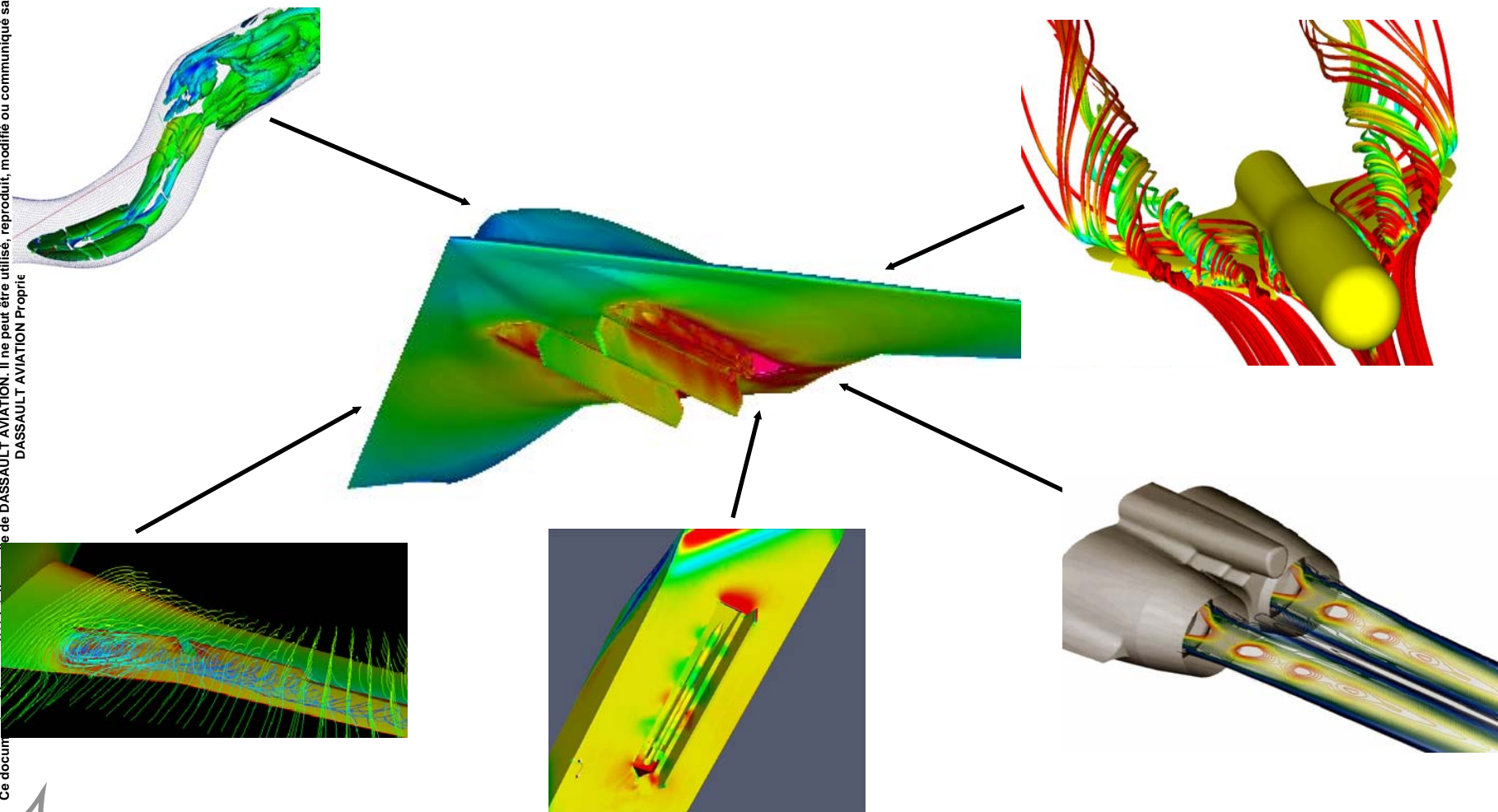
□ Complexity of physical modeling

- Unsteady flows
- RAM



Examples of aerodynamic design (CFD)

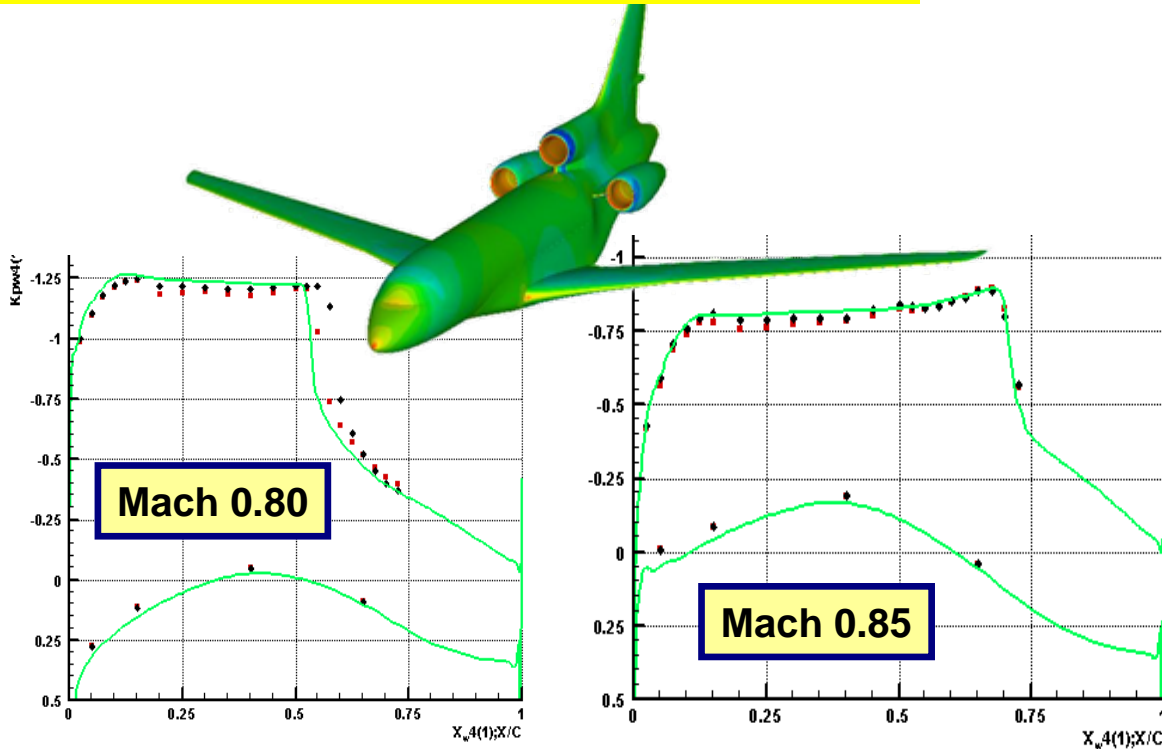
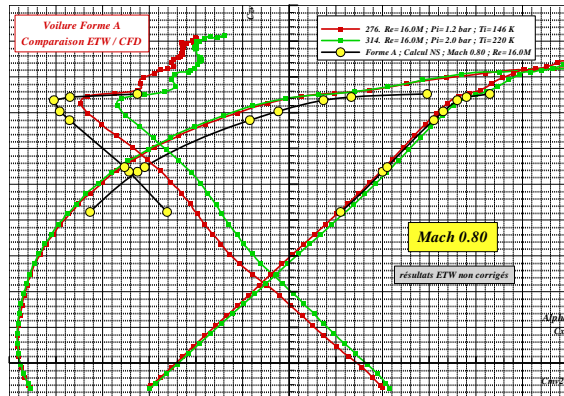
Document de DASSAULT AVIATION. Il ne peut être utilisé, reproduit, modifié ou communiqué sans son autorisation.
DASSAULT AVIATION Propriété



Design using turbulent flow simulations



Cryotechnic test of generic Falcon shape in ETW

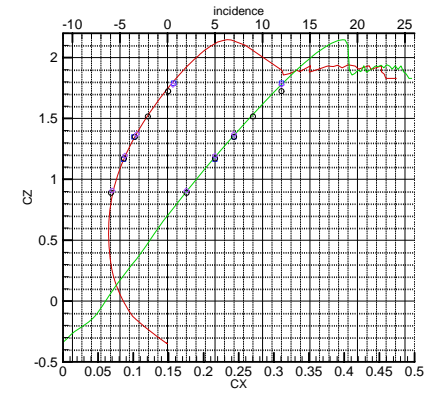
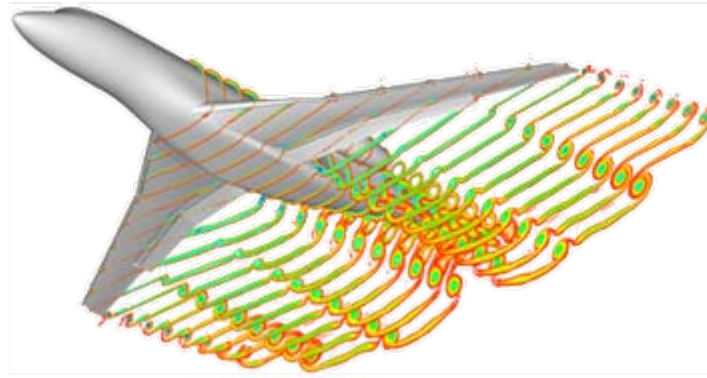


- Full aircraft Navier-Stokes simulations are used at all stages of design
 - Very good validation is obtained at cruise conditions
 - Design for cruise conditions is based on CFD
- Wind tunnel tests can be limited to intermediate and final check-out if sufficient validation is obtained at flight Reynolds number

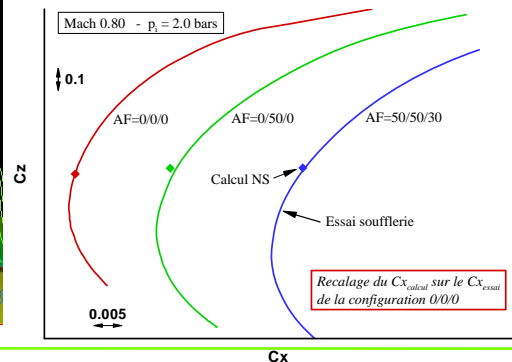
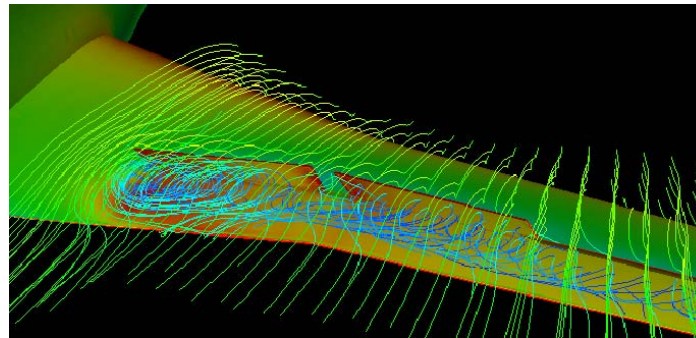
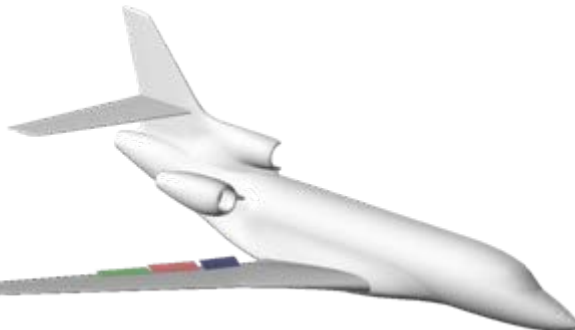
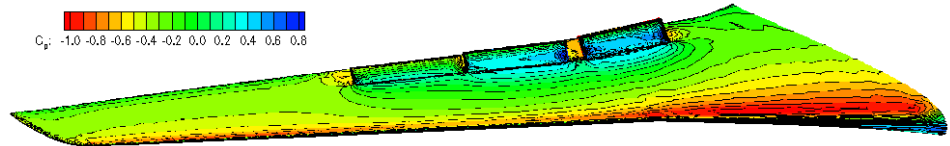


Complex geometry simulations

□ configuration décollage (volets 20°)



□ Aéofreins

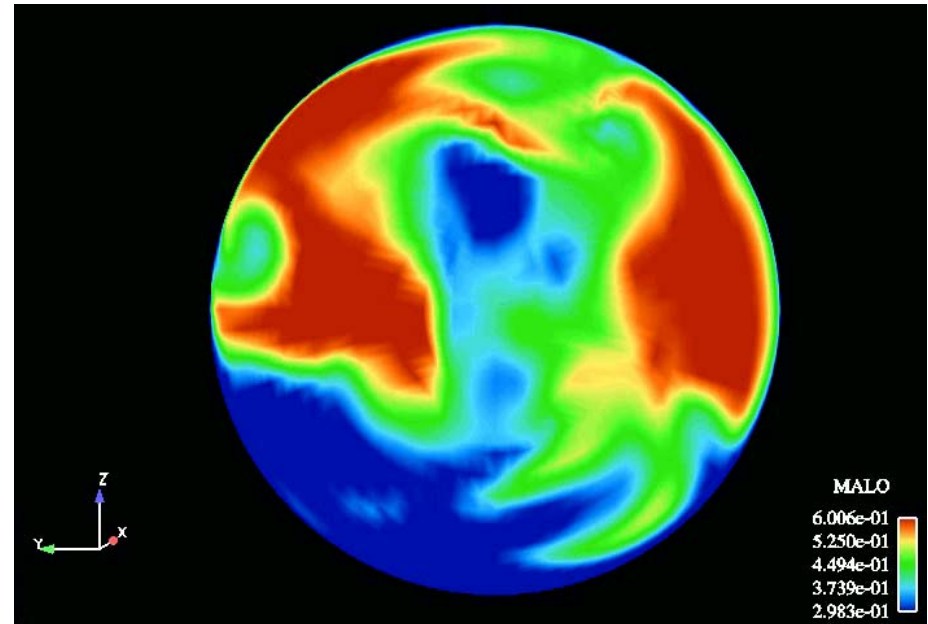
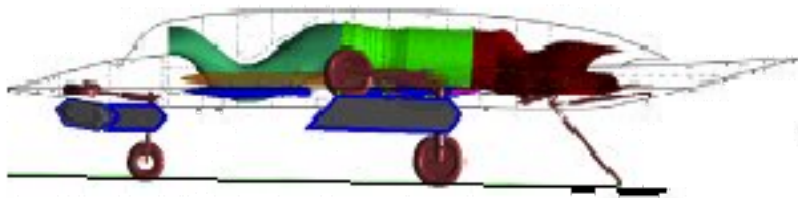


Ce document est la propriété intellectuelle de DASSAULT AVIATION. Il ne peut être utilisé, reproduit, modifié ou communiqué sans son autorisation. DASSAULT AVIATION Proprietary Data

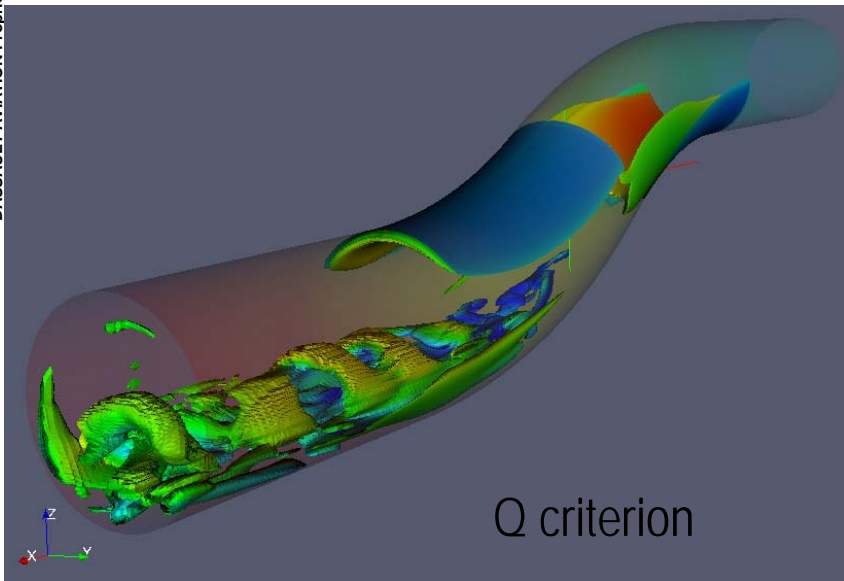


DASSAULT
AVIATION

Unsteady flow simulations for design



Unsteady pressure loads

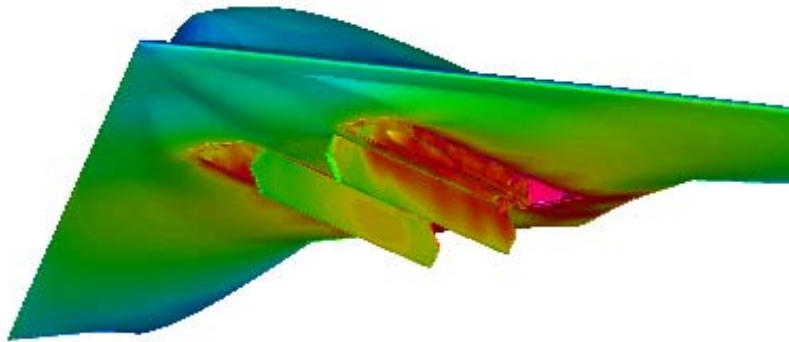


Highly curved air intake

	Pressure recovery	DC60
Experiment	0.971	0.358
Steady Spalart	0.982	0.5778
Spalart DES	0.978	0.377
K-ε DES	0.9804	0.403

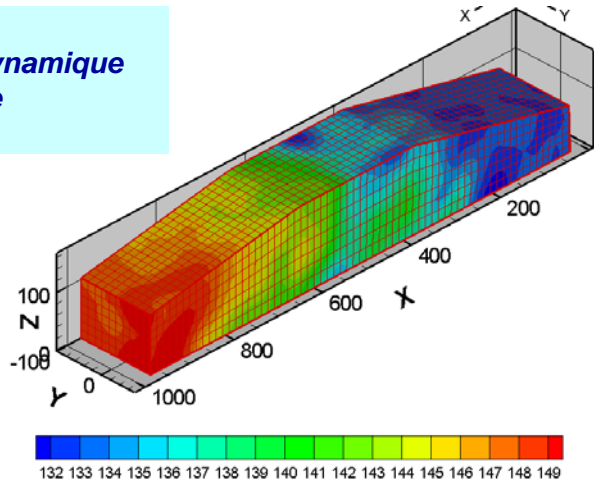
Ce document est la propriété intellectuelle de DASSAULT AVIATION. Il ne peut être utilisé, reproduit, modifié ou communiqué sans son autorisation. DASSAULT AVIATION Proprietary Data

Unsteady flow simulations for load evaluation



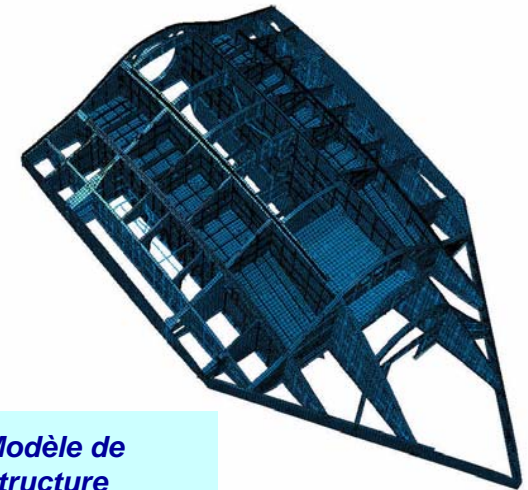
- Chargement de la structure par la base aéro-acoustique :
 - 1676 chargements en pression sur la soute (0-500 Hz)
 - Chaque chargement est corrélé avec tous les autres : matrice complexe 1676x1676 pour chaque fréquence

Calcul aérodynamique
instationnaire



Spectre en dB (60 Hz)
projeté

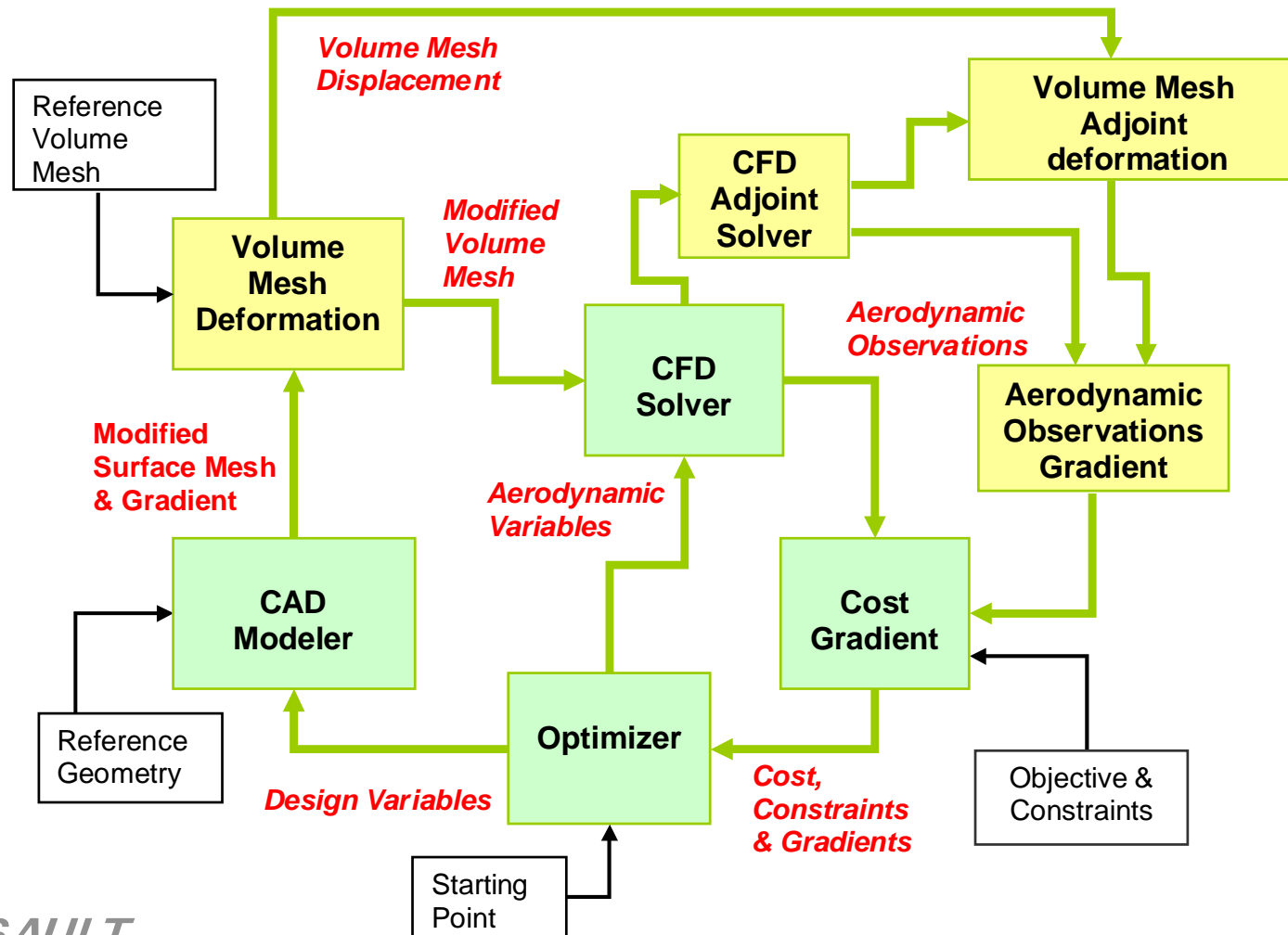
Dimensionnement en fatigue :
grand nombre de points de calculs



Modèle de
structure

HPC and industrial simulation chains

Automatic shape optimization

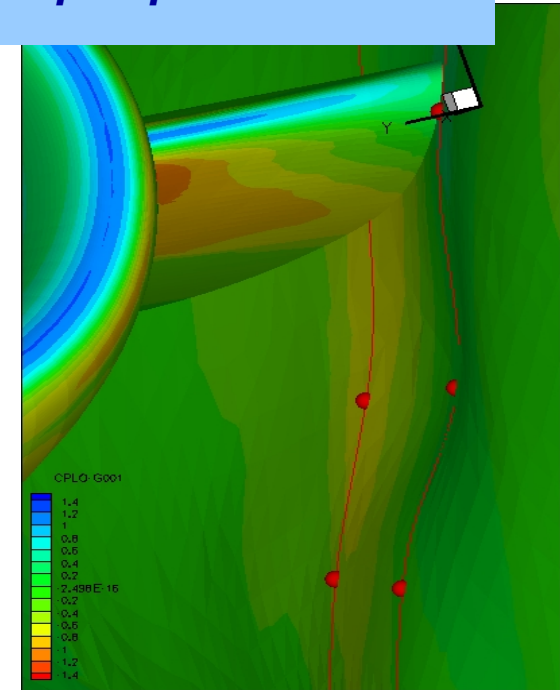
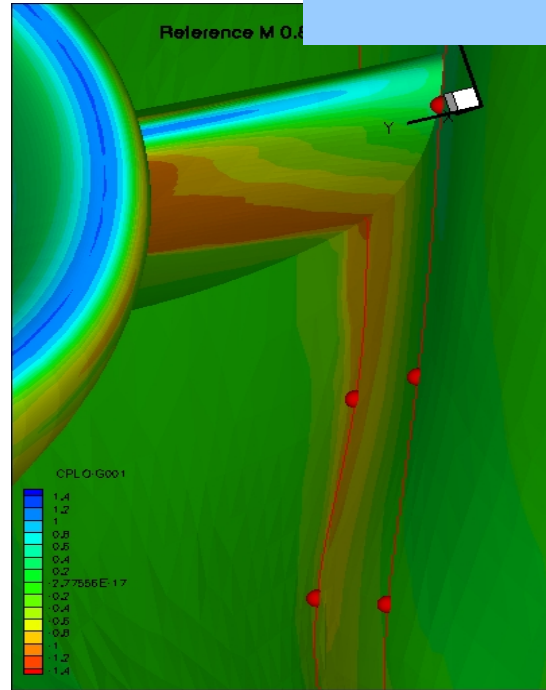
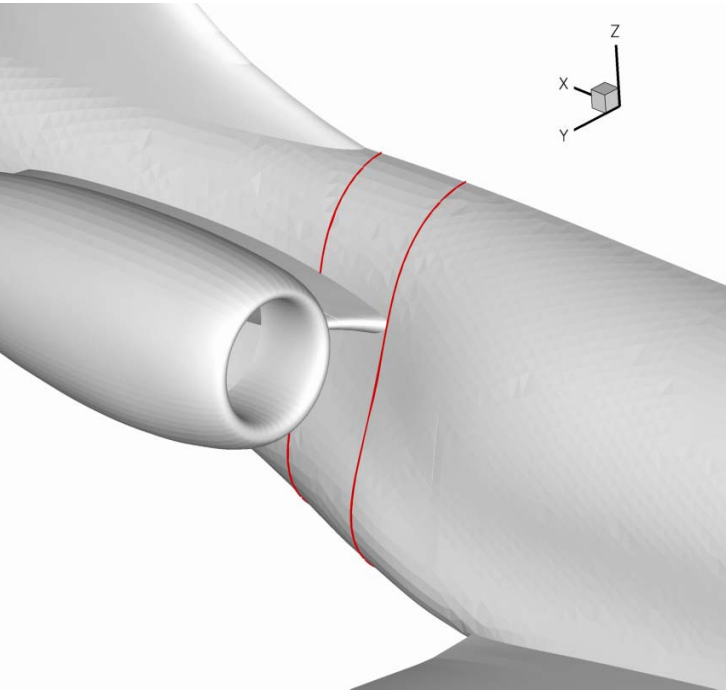


Ce document est la propriété intellectuelle de DASSAULT AVIATION. Il ne peut être utilisé, reproduit, modifié ou communiqué sans son autorisation. DASSAULT AVIATION Proprietary Data



HPC and industrial simulation chains

Automatic shape optimization



Design of fuselage shape

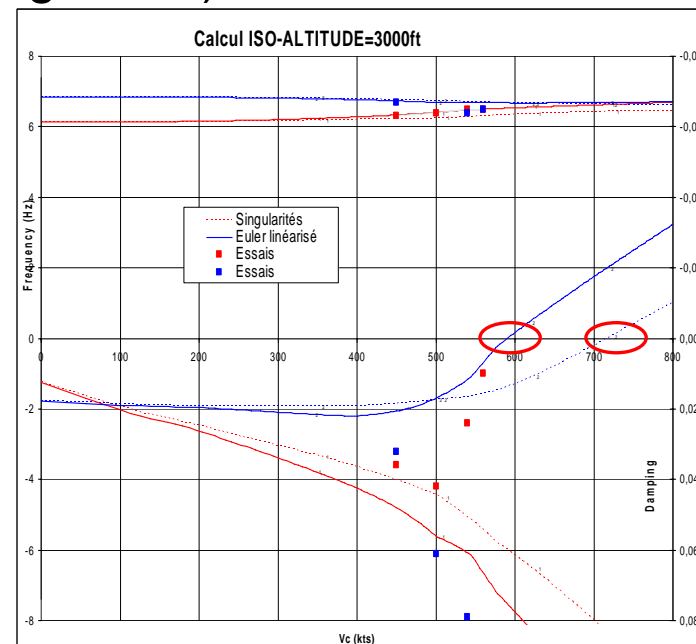
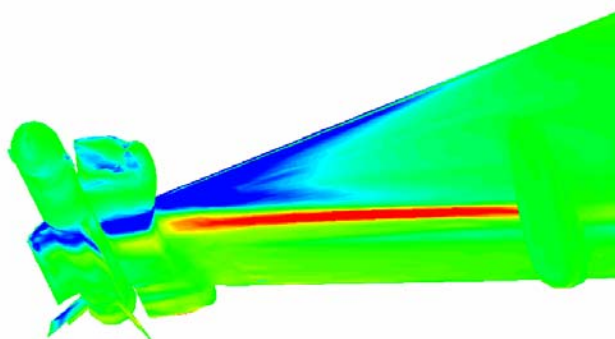
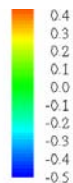
- Optimisation based on 3D Navier Stokes (unsteadiness issues to be addressed)
- Large degree of automatisation required for the design of a complex area
 - Complex aerodynamics
 - Fully 3D shape design
 - Trade off with internal layout

HPC and industrial simulation chains

Aeroelastic design

Linearized CFD approach applied to various weapons configuration for the Rafale (more than 10 000 computations)

--> Example : influence of the missile correctly predicted (agreement with flight test)

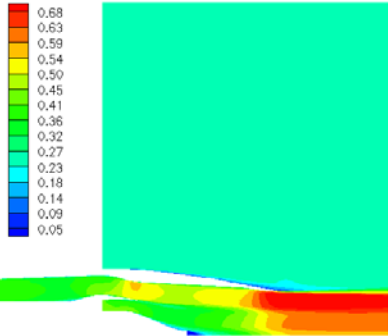


Amortissement < 0
instable
.....
Amortissement > 0
stable

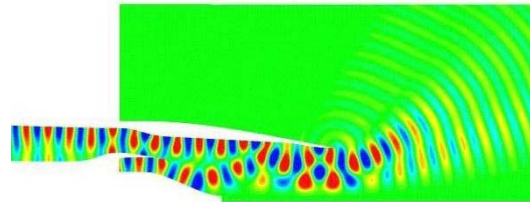


HPC and industrial simulation chains

Aeroacoustic design

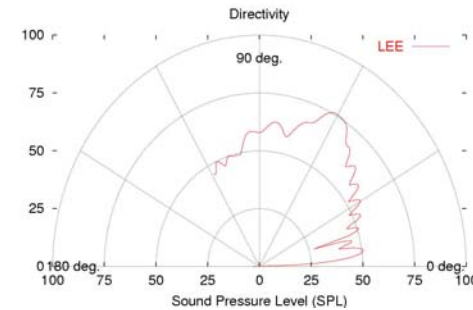


**Calcul aérodynamique
Navier Stokes (jet
coaxial)**



**Propagation locale avec influence
du jet Euler linéarisé
fréquentiel ordre élevé**
champ RANS projeté sur maillage isotrope

**Rayonnement en champ
lointain**
- Kirchhoff
- BEM/FMM en cours

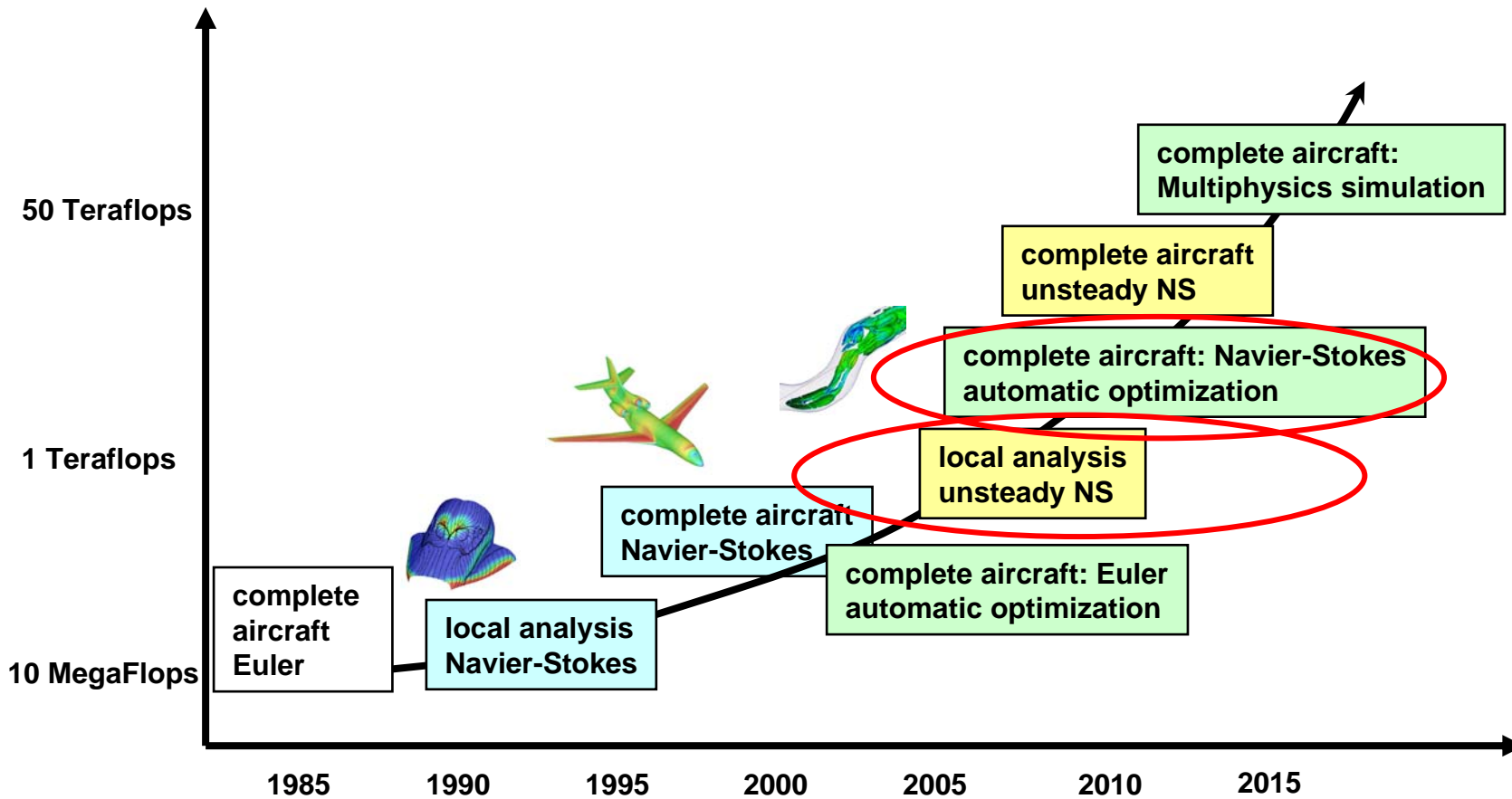


Directivité

ans son autorisation.

Ce document est la propriété intellectuelle de DASSAULT AVIATION. Il ne peut

Past, present and future capabilities



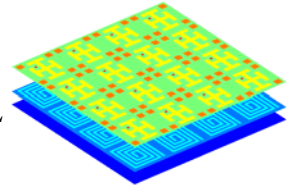
Ce document est la propriété intellectuelle de DASSAULT AVIATION. Il ne peut être utilisé, reproduit, modifié ou communiqué sans son autorisation. DASSAULT AVIATION Proprietary Data

Electromagnetic (EM) simulations

Physique : difficile à modéliser \Rightarrow approximations

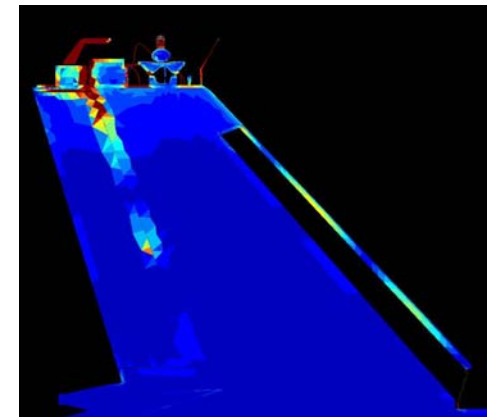
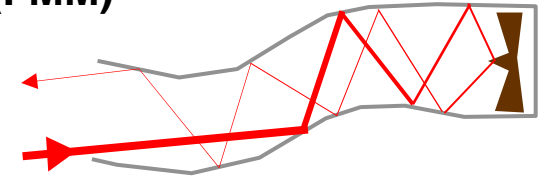
- *Prise en compte de matériaux hétérogènes*

Métamatériaux :
thèse S. NOSAL



Numérique : convergence difficile pour méthodes itératives (FMM)

- *Réflexions multiples : cavités*
 - *SER Manche NEURON, Verrière Rafale, ...*
- *Problèmes multi-échelles : détails géométriques*
 - *Antennes (SER, diagrammes, découplages) tous programmes, ...*
- *Matériaux de fort indice*
 - *Traitement SER de surface Rafale, ...*
- *Grande dynamique champs forts/champs faibles*
 - *Vulnérabilité EM (Falcon), Antennes, ...*
- *Sources locales de courant ou tension*
 - *Antennes, ...*

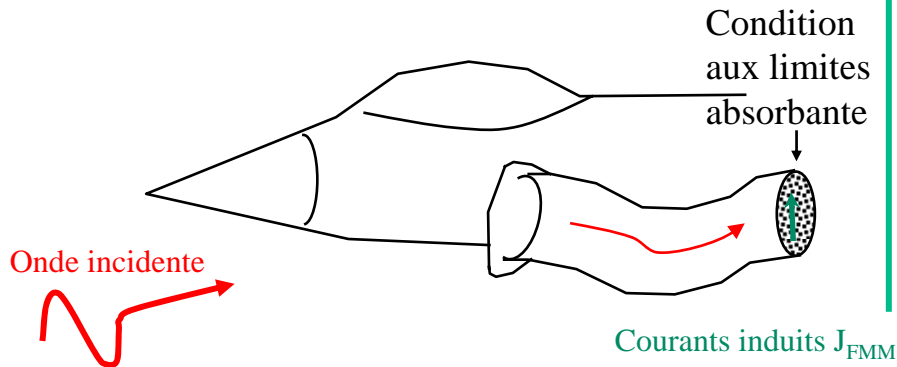


Towards efficient HPC EM simulations

Exemple : Calcul de manche par hybridation

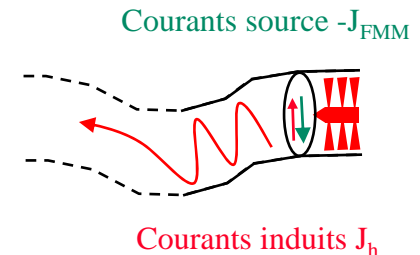
Calcul 1

- solveur : méthode itérative FMM
- source : onde plane incidente
- obstacle : Avion avec fond de manche absorbant
- résultat : courants induits sur fond de manche



Calcul 2

- solveur : direct
- source : rayonnement des courants induits du calcul 1
- obstacle : Zone de fond de manche avec moteur
- résultat : courants induits sur fond de manche



Complexité isolée dans le calcul par méthode directe

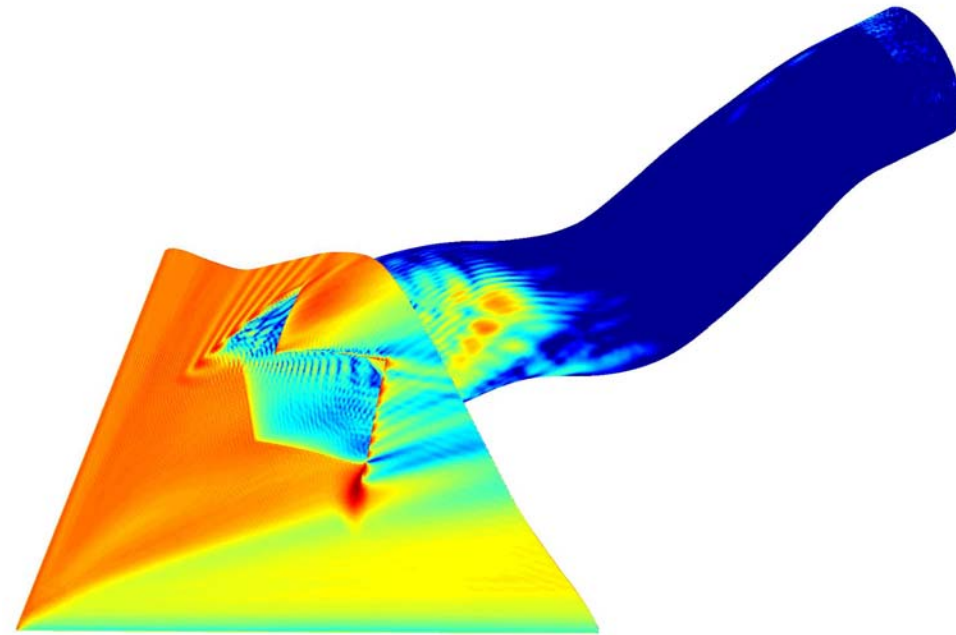
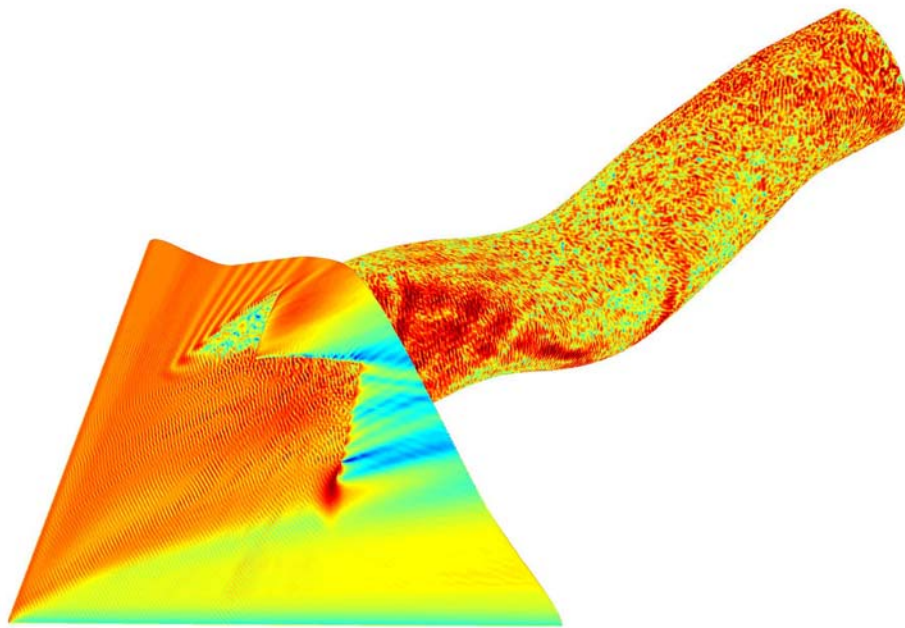
écho de fond de manche : intégrale du produit des courants

Towards efficient HPC EM simulations

10 GHz, gisement 30° , site -5° , polarisation verticale

Manche métallique

Manche traitée

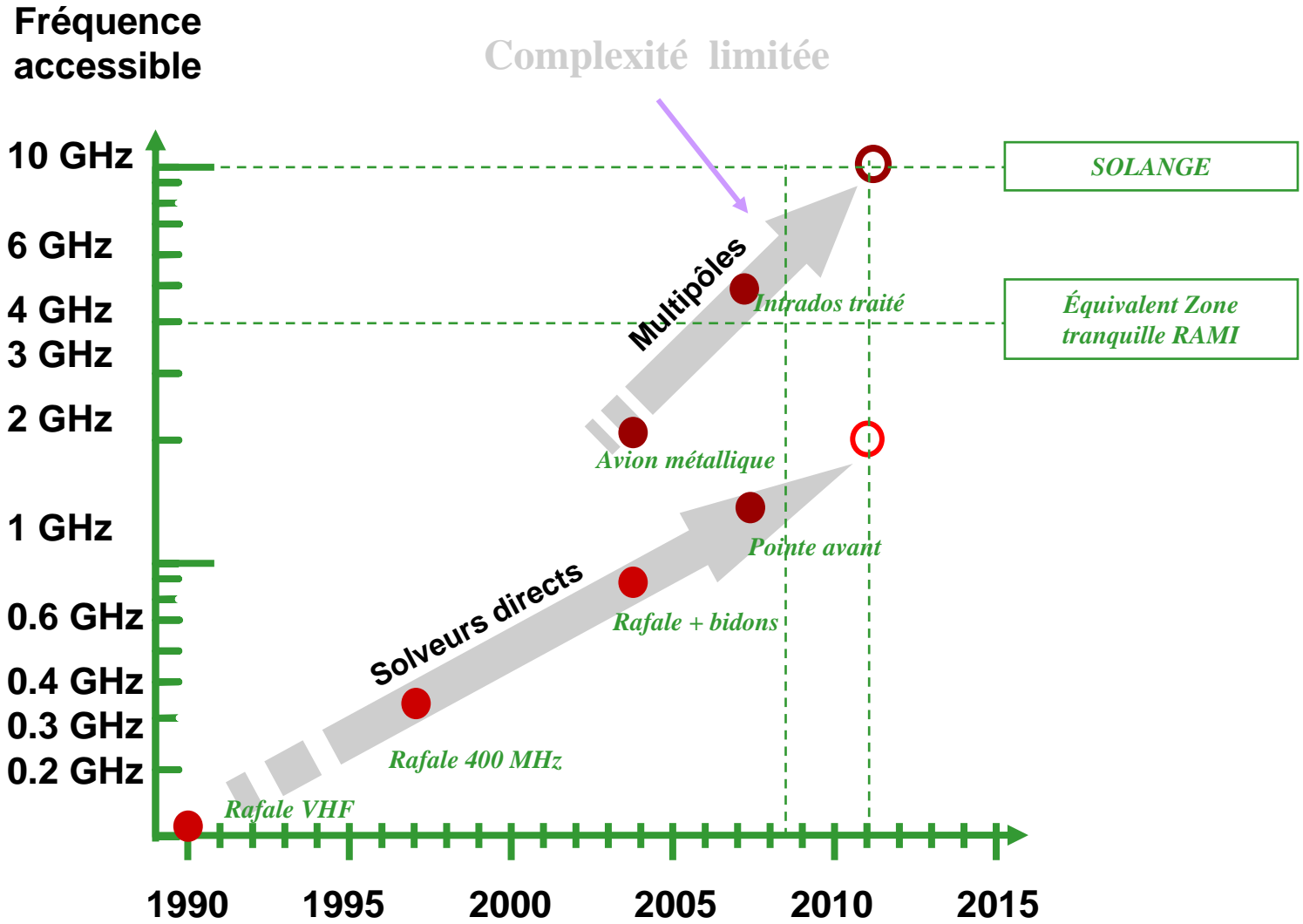


$> 2\,000\,000$ inconnues (FMM)

Gain en temps > 2 avec hybridation

HPC EM capabilities for stealth studies

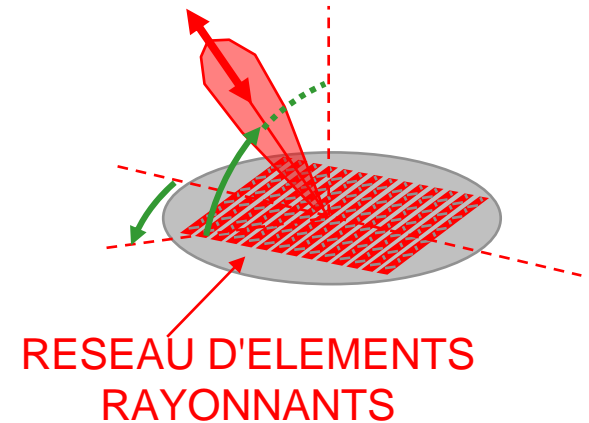
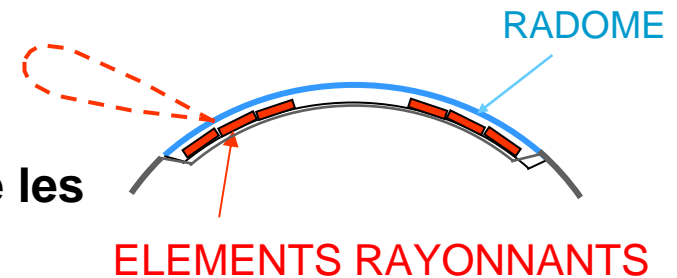
Ce document est la propriété intellectuelle de DASSAULT AVIATION. Il ne peut être utilisé, reproduit, modifié ou communiqué sans son autorisation. DASSAULT AVIATION Proprietary Data



Grand Défi DASSAULT AVIATION - CEA

Description du cas traité

- ❑ Concept d'antenne SATCOM sur Falcon 7X
- ❑ Réseau d'éléments rayonnants
- ❑ Formation de faisceau par déphasage entre les sources
- ❑ Bande de fréquence 1.5GHz à 2GHz
 - Longueur d'onde 15 à 20cm
- ❑ But du calcul : estimer
 - la puissance rayonnée dans tout l'espace
 - le découplage avec d'autres antennes



Grand Défi DASSAULT AVIATION - CEA

Ordres de grandeur du calcul

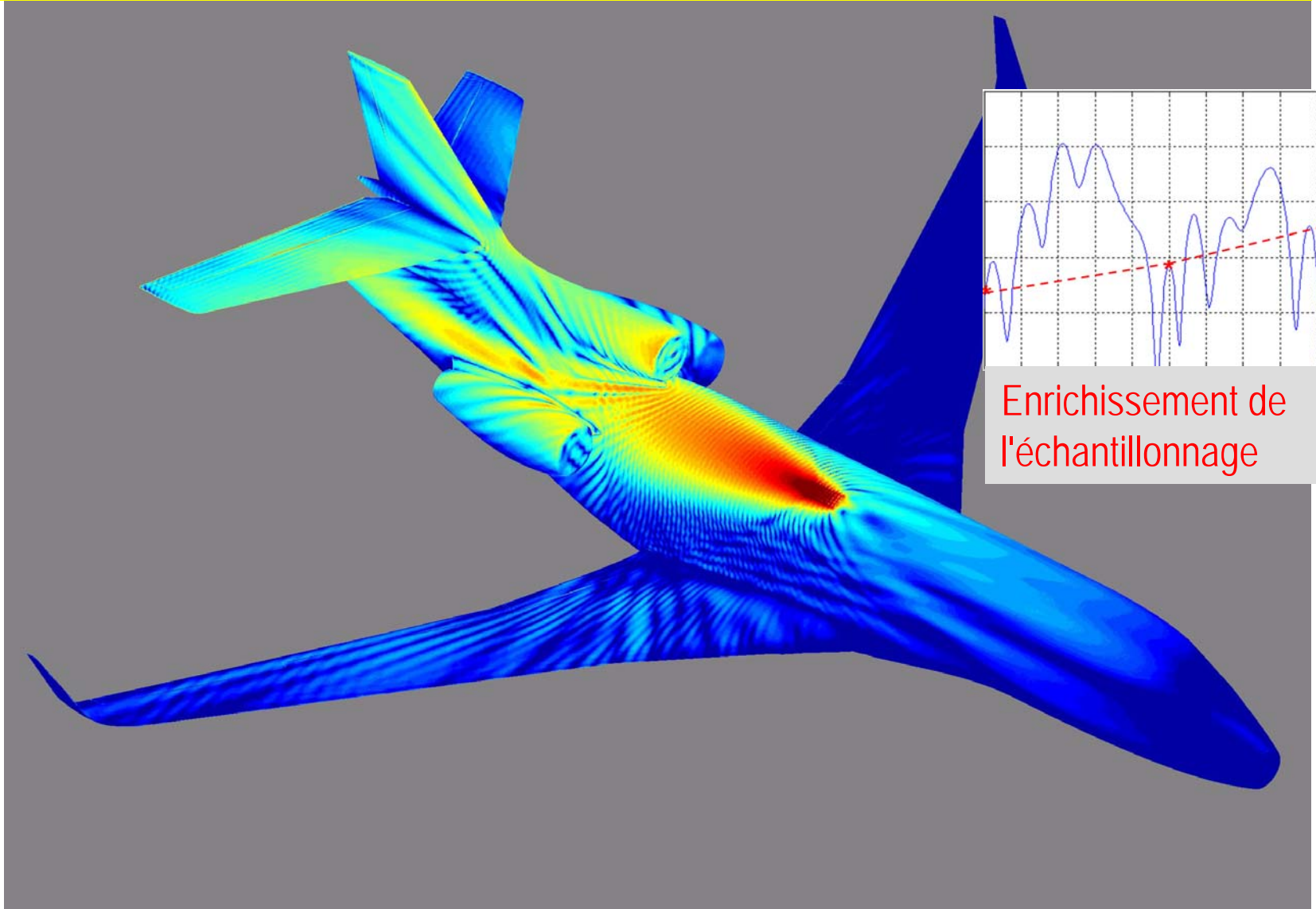
- ❑ **N = 2 300 000 inconnues \Rightarrow FMM**
- ❑ **10100 problèmes à résoudre**
 - **100 Sources : 2x5x10 dipôles élémentaires (demi-réseau)**
 - **101 Fréquences : 1.5GHz à 2GHz, par pas de 5MHz**
- ❑ **Grand défi \approx 1 mois sur la totalité du calculateur DA EM**
- ❑ **Grand défi \approx 1 jour sur la totalité du démonstrateur Germain**
- ❑ **En pratique, le calcul a été réalisé en 10 jours**



*5 armoires
24 châssis
432 nœuds
1 nœud = 2 sockets quadri-cœurs
3456 cœurs Intel Xeon Nehalem*

Grand Défi DASSAULT AVIATION - CEA

Ce document est la propriété intellectuelle de DASSAULT AVIATION. Il ne peut être utilisé, reproduit, modifié ou communiqué sans son autorisation.
DASSAULT AVIATION Proprietary Data



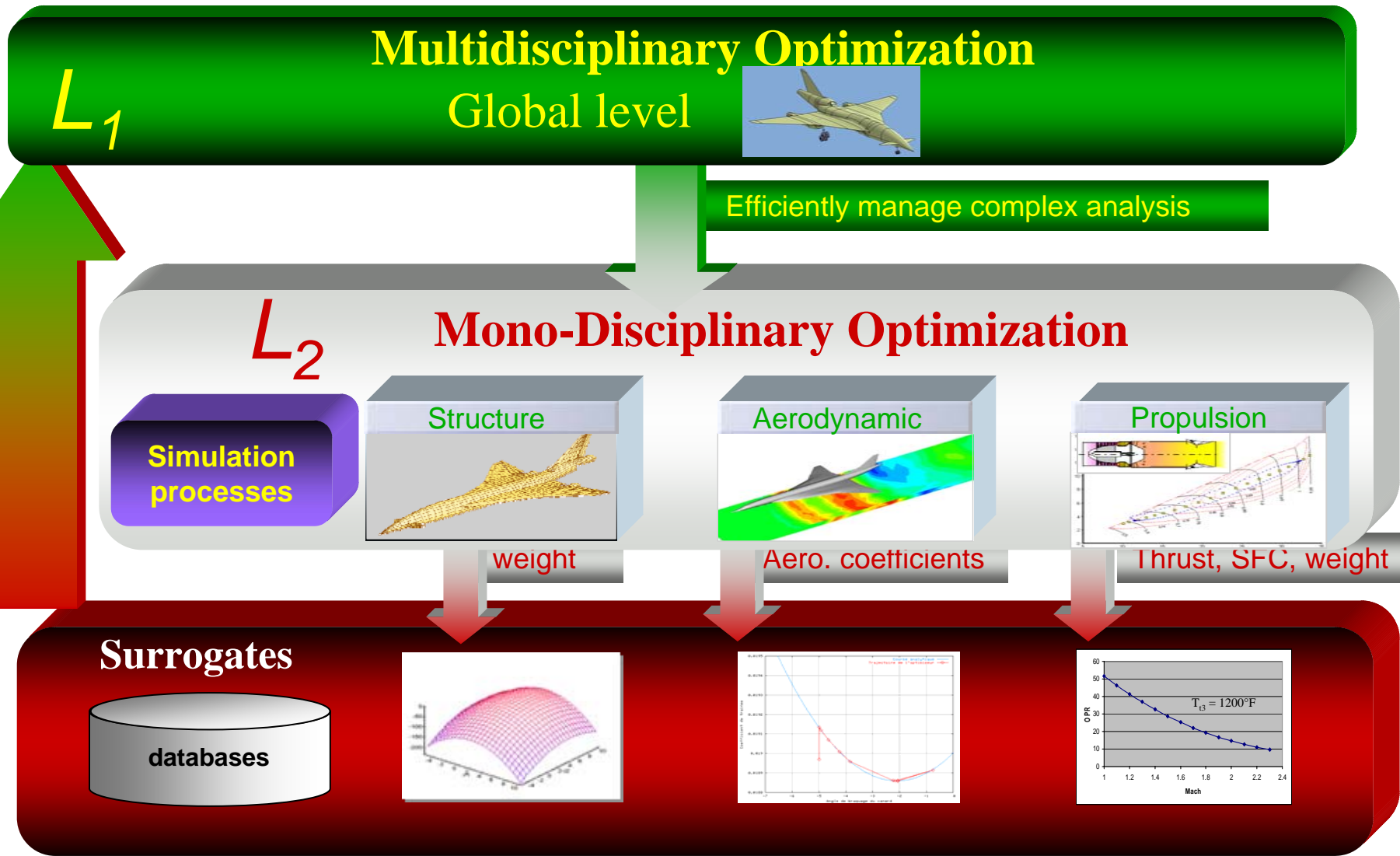
Enrichissement de
l'échantillonnage



DASSAULT
A V I A T I O N

HPC and multilevel multidisciplinary optimization

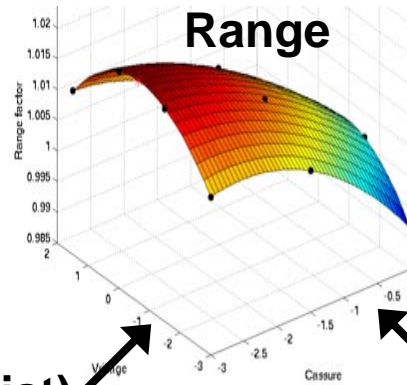
Ce document est la propriété intellectuelle de DASSAULT AVIATION. Il ne peut être utilisé, reproduit, modifié ou communiqué sans son autorisation.
DASSAULT AVIATION Proprietary Data



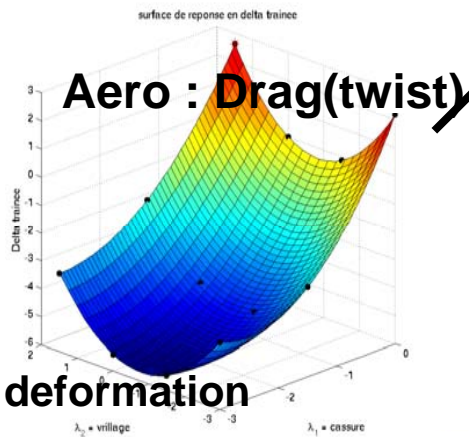
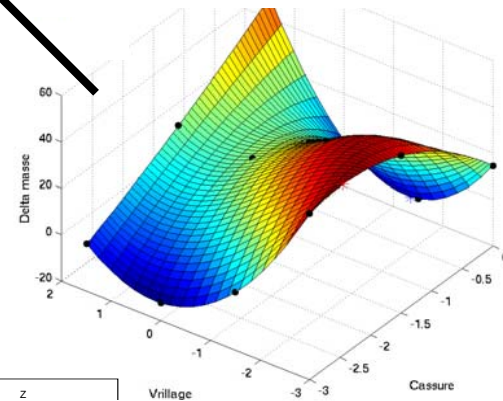
HPC and multilevel multidisciplinary optimization

Automated aero database generation: drag, Max lift and load = $f(\text{wing twist})$

Optimization at « level 1 » :
maximize range using
response surfaces

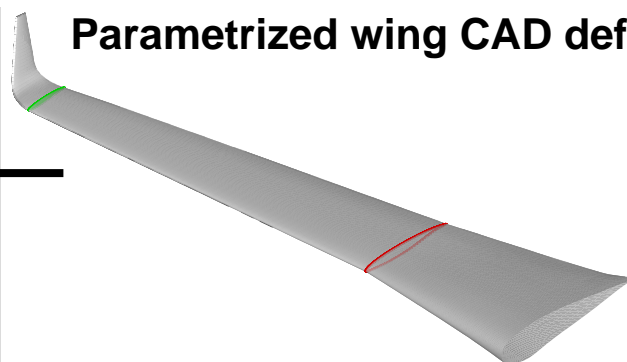


Structures : Weight (twist)

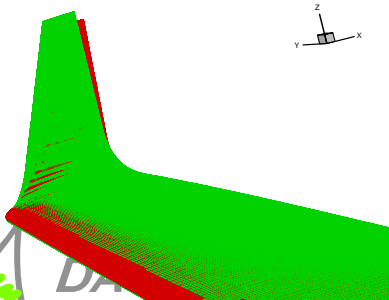


Aero : Drag(twist)

Parametrized wing CAD definition



Automated mesh deformation



Ce document est la propriété intellectuelle de DASSAULT AVIATION. Il ne peut être utilisé, reproduit, modifié ou communiqué sans son autorisation. DASSAULT AVIATION Proprietary Data

Conclusions

- ❑ La conception des produits de Dassault Aviation est désormais indissociable de l'utilisation du calcul HPC intensif
- ❑ Cette utilisation doit être rendue transparente pour les ingénieurs de conception
- ❑ Il est en conséquence nécessaire d'anticiper ce que seront les "calculateurs de production" avec quelques années d'avance (les Grands Défis)
- ❑ Les capacités HPC doivent s'intégrer dans une approche multiniveau et multidisciplinaire
- ❑ Les grands volumes de données générés nécessitent de se doter d'outils d'aide à l'analyse et à la conception (Projet CSDL)

