

Journée GDR MASCOT NUM

Les métiers du stochastique dans l'industrie



Autres acteurs industriels

CEA - AREVA - PSA - Renault

Les mathématiques stochastiques dans l'industrie, c'est...

- **Des applications très diverses (environnement, énergie, transport..)** dans des entreprises de tailles différentes (grands groupes, PME et start-up innovantes)
- Ce sont souvent des **problèmes mathématiques mal posés** sur lesquels travailler => c'est ce qui fait **leur richesse** !
- La possibilité de **formaliser et développer des techniques mathématiques innovantes**

Pourquoi cette thématique intéresse les industriels en 2010 ?

- Depuis 20 ans, les industriels ont développé des codes de calcul parfois très lourds pour modéliser des phénomènes complexes !
- Ils cherchent aujourd'hui à **optimiser l'utilisation de ces codes** de calcul pour prendre des décisions!
 - *Analyse de sensibilité, planification d'expérience, développement de modèles réduits*
- La **validation des résultats** (au sens large) est un problème crucial lorsque ces codes sont utilisés dans des cycles industriels !
 - *Incertitude de modèle, incertitude paramétrique*
- **Les industriels élargissent leur gamme de modèles: l'utilisation des modèles stochastiques est en plein essor !**

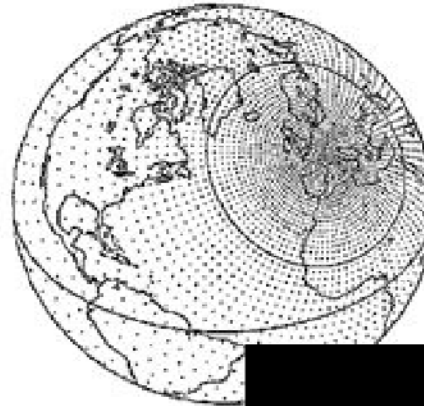
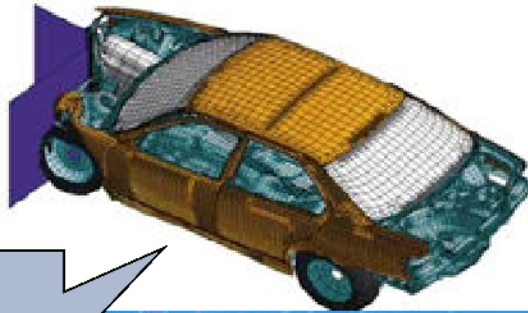
Rôles du mathématicien

- Le mathématicien travaille en équipes avec les experts des domaines pour formaliser des problématiques complexes
- Il doit proposer et/ou valider un modèle vis-à-vis d'hypothèses raisonnables
- Il réalise et/ou pilote le développement des outils de résolution de problèmes

Simuler pour prédire, simuler pour concevoir

Une problématique commune à beaucoup d'industries...

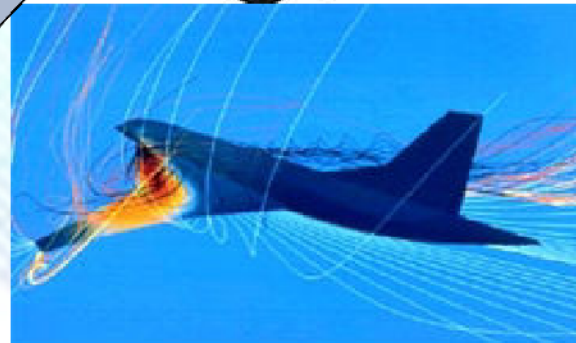
Météo : simuler pour prédire



Energie, industrie nucléaire :
Conception, maintenance



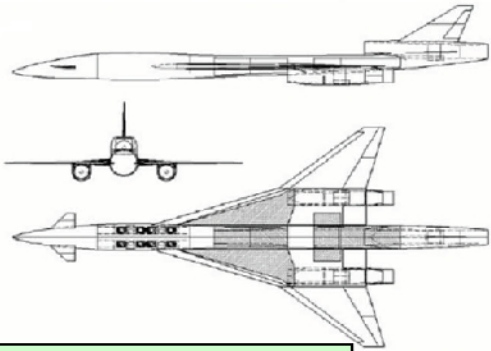
Industrie pharmaceutique



Conception automobile et aéronautique

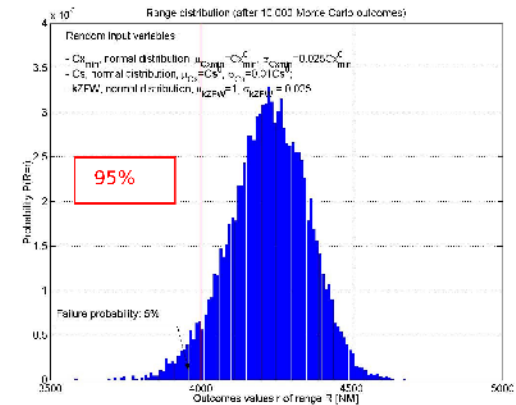
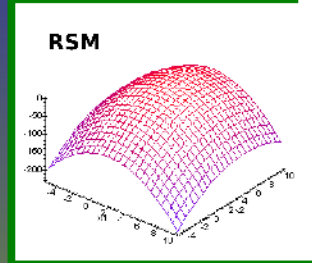
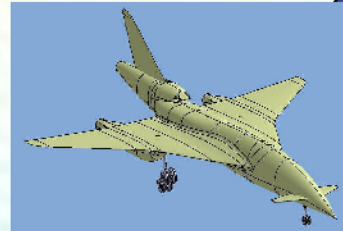
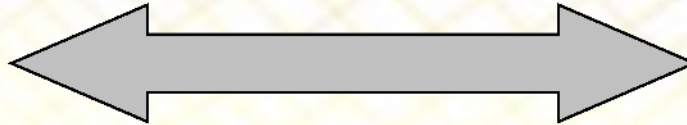


Enjeux en conception



Aircraft concept

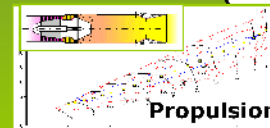
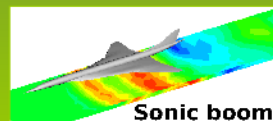
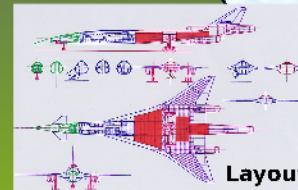
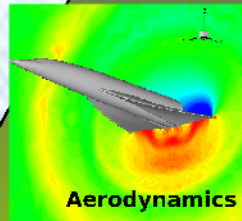
?



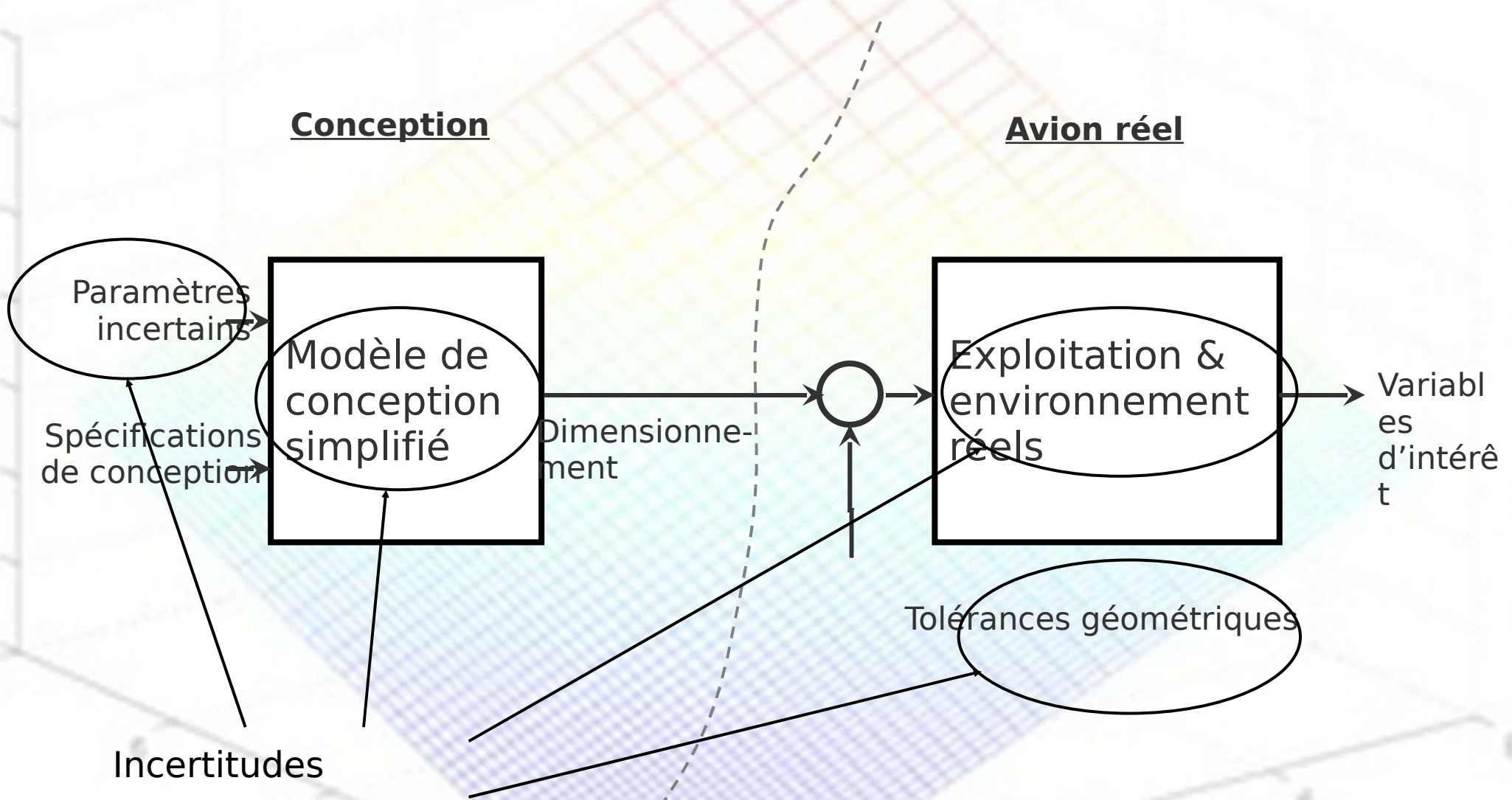
Probability of a performance

Robust MDO

Uncertainties propagation



Quelles incertitudes en conception avant-projet ?



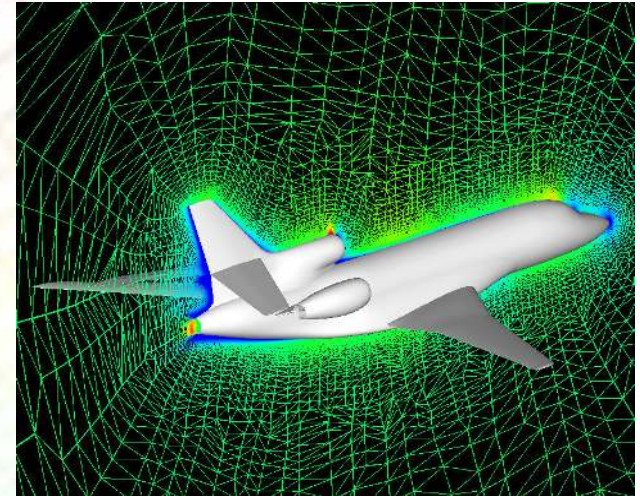
Errors vs. uncertainties

- **Errors:**

- Simplification of models
 - 2D instead of 3D, unviscid instead of viscous
 - Simplification of geometry
 - Turbulence modeling
- Numerical errors
 - Mesh, numerical convergence,...

- **Uncertainties :**

- Atmospheric conditions
- Operating conditions
 - Weight, center of gravity,...
- **Actual shape of the geometry**
 - Tolerances in manufacturing process
 - Ice, damage,...



Falcon simplified geometry



www.atsb.gov.au

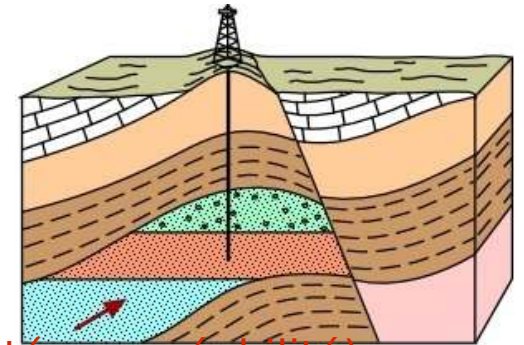
Hail damage on B767 slat

Ingénierie de réservoir

- Modèle de simulation impliquant un grand nombre de paramètres incertains :

- Paramètres liés au gisement

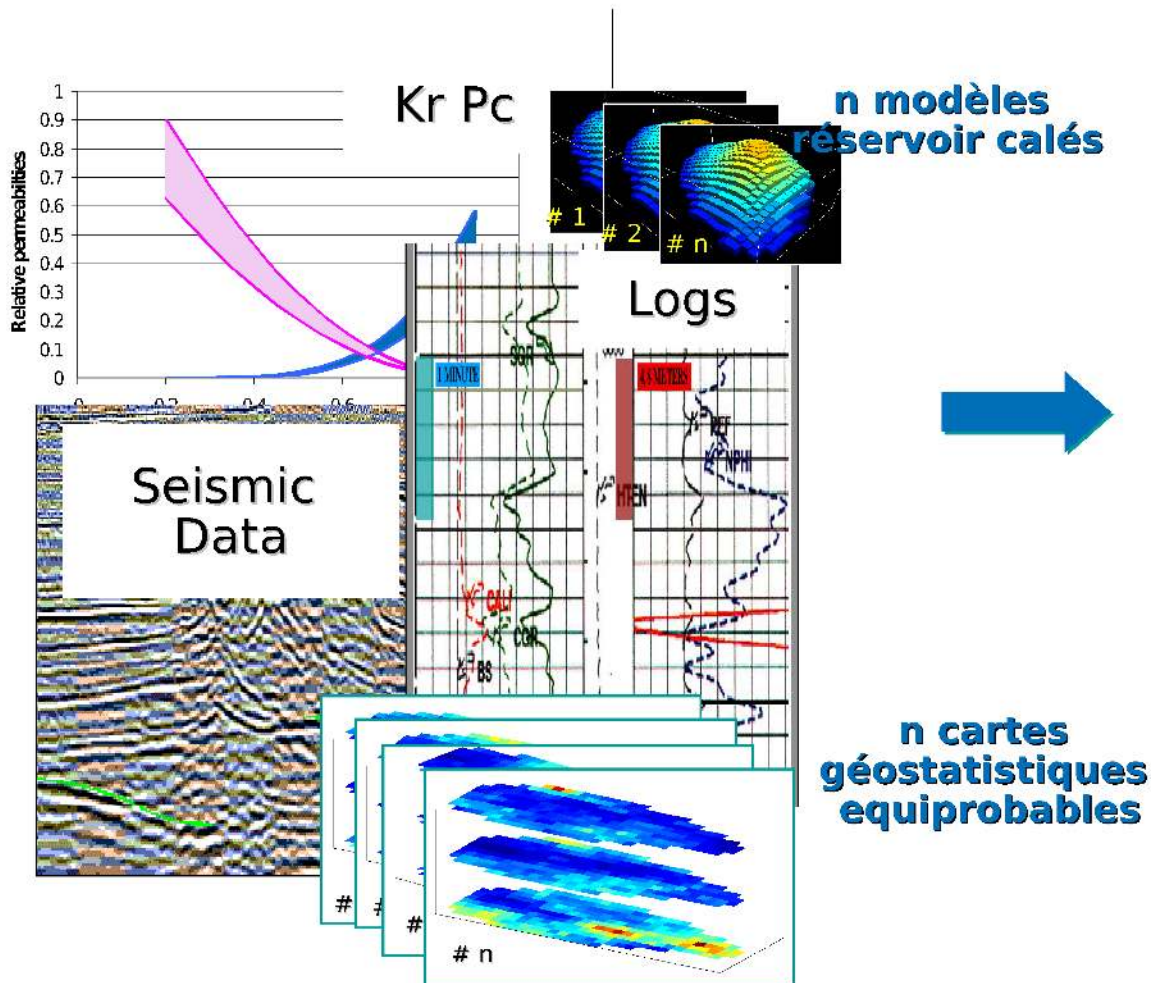
- **Géométrie du réservoir** : épaisseur, limites, force d'aquifère, présence de faille, etc.
- **Remplissage du réservoir** : plusieurs milliers de mailles à renseigner en propriétés pétrophysiques (porosité, perméabilité)



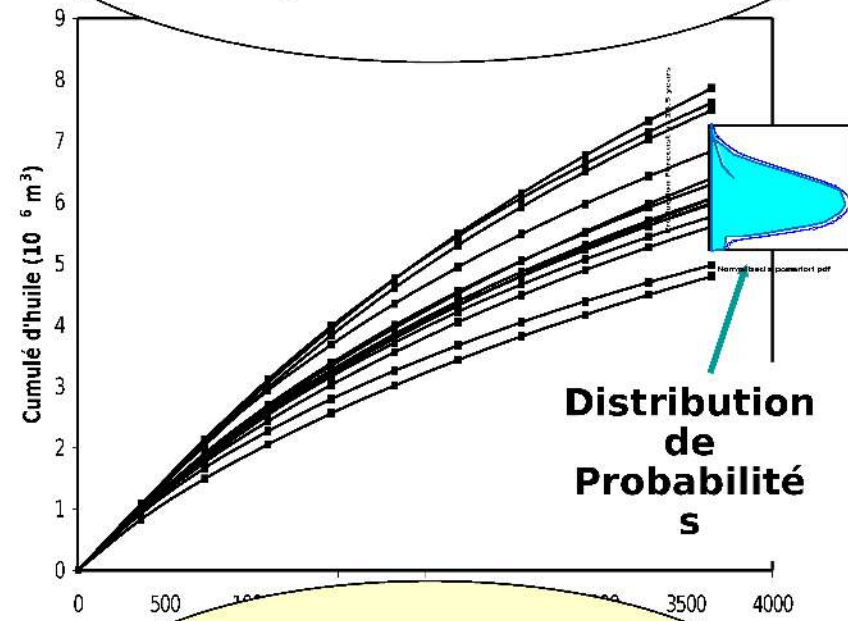
- **Propriétés des fluides** eau/huile/gaz : niveau des contacts entre les fluides, viscosité, saturations, PVT
- **Interactions roches/fluides** : perméabilités relatives
 - Capacité d'un fluide à se déplacer gênée par la présence d'un autre fluide
- **Puits & production** : Indice de productivité (IP), effet pariétal (skin)
 - Modification de la perméabilité aux abords du puits - liée au forage

Problématique

Illustration sur simulation réservoir



Ces incertitudes sont-elles influentes sur les prévisions de production?



Comment quantifier cet impact?

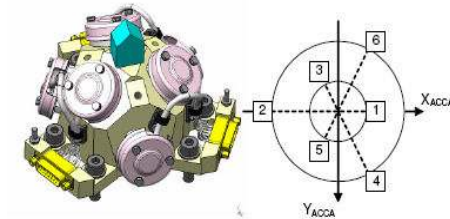
Contrôles de vol des lanceurs (séparation et retombée d'étages Ariane 5, phases d'approche ATV)



Dimensioning launchers/vehicle/trajectories
Design algorithms (performances, adjustments)
Qualification/verification check of flight Acceptance tests, robustness tests

Estimate of Failure alarms threshold S coherency (L) rejection

6 accelerometers sensors, 3 channels, 3 consistency relations between the measures, example: $|L1| > S$ and $|L2| > S \rightarrow$ channel A failed
 Gaussian dispersion of 6 ac.+noise $\Rightarrow S = \text{CDF}(10^{-3})$ of $\max(y(t) = Gd + n)$

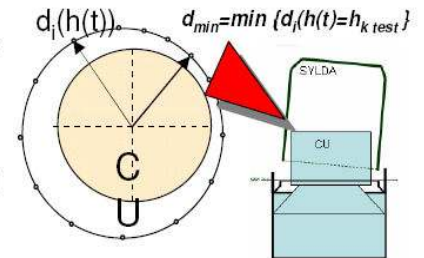


Accelerometer performances for 1 accelerometers sensor failure

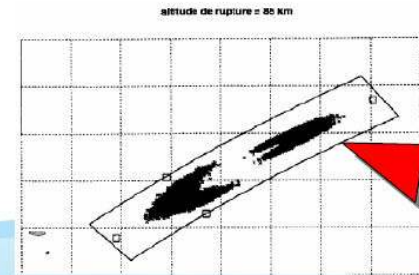
Gaussian dispersion of 5 ac.+noise $\Rightarrow \gamma = M(\text{mesure})$ at 95% of CDF

Separation stress, avoidance criterion (2E-5)

Dispersions: attitude, initial angular velocities initiales, pyro shock cuts, spring characteristics... \Rightarrow 64 random input datas
 Cinematic 6DDL of movement \Rightarrow generic tool for separation studies



Security area establishment with the help of waste fallen down probability (very low):

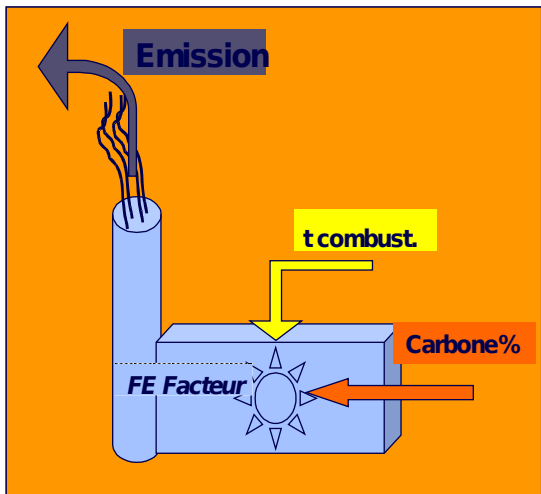


The document is the property of Astrium. It shall not be communicated to third parties without prior written agreement. Its content shall not be disclosed.

All the space you need



Thermal PP: CO₂ emissions



<u>Final Goal</u>	Declare industrial emissions (ex : annual t_{CO2}) with x% accuracy >> regulatory compliance + optimise metrology / emission market
<u>Quantity of interest / criterion</u>	$\%inc_{t_{CO2}} < x \%$ $\%inc_Z = \frac{1}{2.E(Z)} (z^{\frac{1+\alpha}{2}} - z^{\frac{1-\alpha}{2}}) \approx k \cdot \frac{\sqrt{\text{var}(Z)}}{E(Z)}$
<u>Sources/model</u>	Sensor errors - natural coal variability - lack of knowledge on process <i>Phys. model = simple formulae</i>
<u>Propagation</u>	$Inc_Y \approx \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial Y}{\partial X_i} \right)^2} Inc_{X_i}^2$ <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="background-color: green; color: black; padding: 5px; font-weight: bold;">Sensibilité de la variable d'intérêt à la source n°i</div> <div style="background-color: green; color: black; padding: 5px; font-weight: bold;">Source d'incertitude n°i</div> </div>

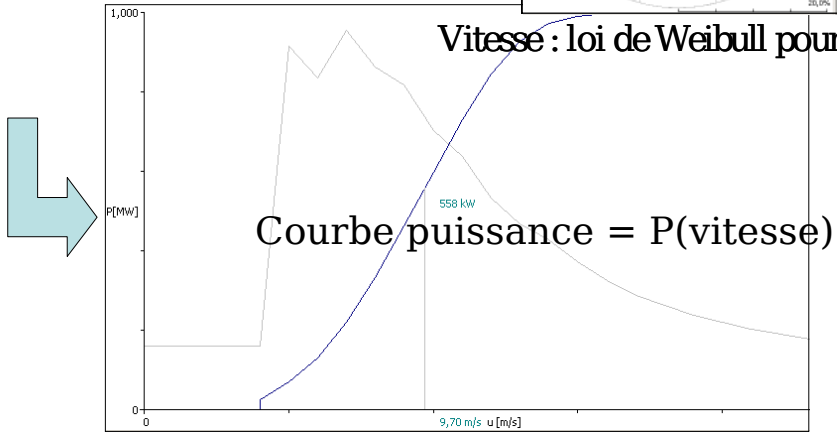
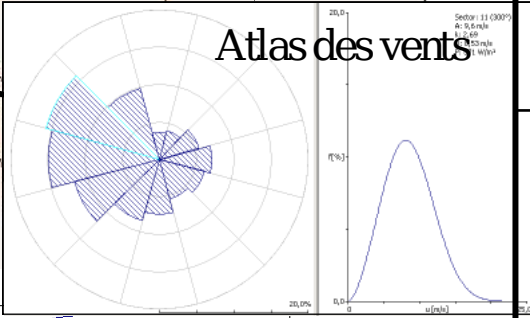


Wind variability and wind farm profitability



On veut prévoir le vent ici
(direction, vitesse)

Logiciel WASP
(équations
déterministes)



<u>Final goal</u>	Understand le risque de mésestimation du productible - hiérarchiser les incertitudes - optimiser le lieu des éoliennes
<u>Q. of interest</u>	Expected productible (EP) + confidence bounds on EP
<u>Sources/ model</u>	Wind estimation errors (spatial/temporal sampling ...); Model uncertainty Model already intrinsically probabilistic
<u>U. modelling / propagation</u>	Statistical estimation through MLE >> uncertainty matrix Propagation through quadratic linear approximation

Que représente l'incertitude ?

- **Incertain** = Incapacité à donner une valeur unique à une variable d'entrée à l'instant du calcul
OU
= **Volonté d'explorer plusieurs configurations**
- **Nature des incertitudes:**
 - Incertain **réductibles**: l'acquisition de nouvelles informations (données, expertise) ou le raffinement de certains modèles permet de diminuer l'incertitude attachée aux variables d'intérêt
 - Incertain **irréductibles**: on ne peut espérer réduire l'incertitude sur les variables d'intérêt malgré l'acquisition de nouvelles informations

Cadre mathématique - Cadre probabiliste

$$\forall \omega \in \Omega, \underline{X}(\omega) = (x_1, \dots, x_M) \in \mathbb{R}^M$$

Vecteur aléatoire des entrées

$$\underline{z} = G(\underline{d}, \underline{x})$$

$$G \in \mathcal{F}(\mathbb{R}^{N+M}, \mathbb{R}^P)$$

Modèle de calcul/de mesure déterministe

- $\underline{d} = (d_1, \dots, d_N)$ les variables fixes,
- $\underline{x} = (x_1, \dots, x_M)$ les variables incertaines,
- $\underline{z} = (z_1, \dots, z_P)$ les variables d'intérêt.

$$\forall \omega \in \Omega, \underline{Z}(\omega) = (z_1, \dots, z_P) = G(\underline{d}, \underline{X}(\omega)) \in \mathbb{R}^M$$

Vecteur aléatoire des variables d'intérêt

$$\mathbb{E}[\underline{Z}], \text{Covar}[\underline{Z}], \mathbb{P}\{\underline{Z} \in \mathcal{D}\}, q_j^\alpha = \inf\{z_j, F_j(z_j) \geq \alpha\}$$

Grandeurs d'intérêt

Type de carrières

- Carrières dans la recherche appliquée
 - Chef de projets R&D: Développement de méthodes et d'outils
 - Expert en modélisation
- Evolution vers la participation à des projets industriels
 - Pilotage d'analyses de risque
 - Validation et vérification de performance de systèmes complexes

Approche méthodologique générique

