



CENTRE EUROPÉEN DE RECHERCHE ET DE FORMATION AVANCÉE EN CALCUL SCIENTIFIQUE

Le calcul scientifique pour les applications industrielles

Olivier THUAL, Cerfacs
Professeur à l'INP Toulouse

Article de médiation scientifique

<https://theconversation.com>



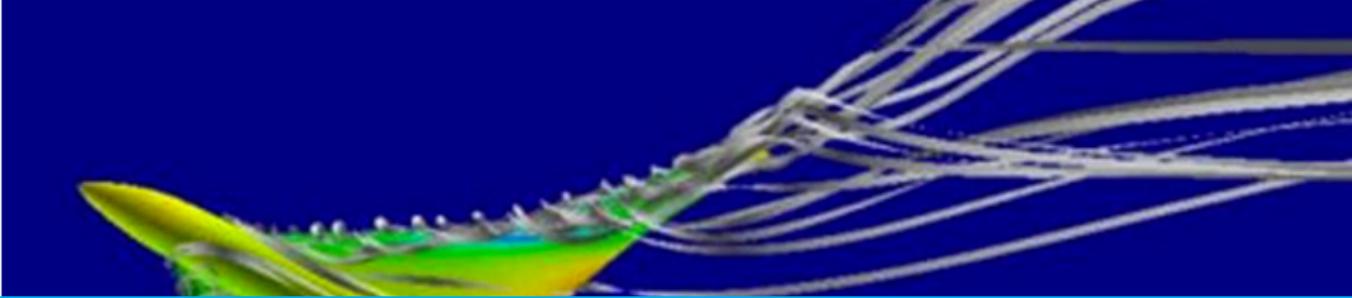
THE CONVERSATION
L'expertise universitaire, l'exigence journalistique

Q Trouver un article

Culture Économie + Entreprise Éducation Environnement + Énergie Politique + Société Santé **Science + Technologie** Data

Moteurs, aéronautique, nucléaire... : la simulation numérique pour l'industrie

15 février 2017, 23:46 CET



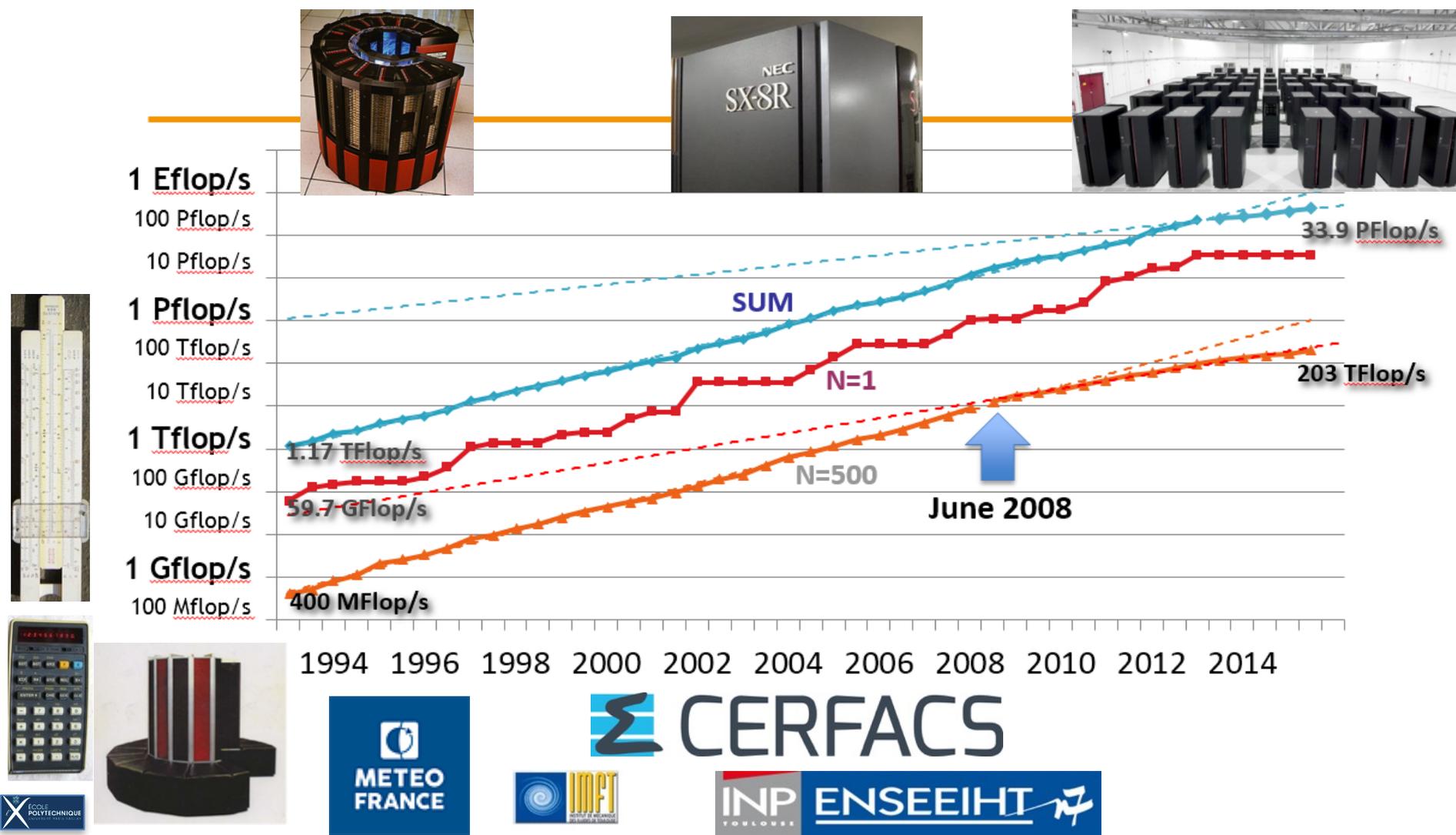
Plan de la présentation

1. Le Calcul à Haute Performance
2. Le Cerfacs et le calcul scientifique
3. Premier exemple : la conception des moteurs
4. Deuxième exemple : la simulation du climat
5. Quantification et analyse des incertitudes
6. Assimilation de données pour la modélisation
7. Aperçu d'autres thématiques du Cerfacs

Plan de la présentation

1. Le Calcul à Haute Performance
2. Le Cerfacs et le calcul scientifique
3. Premier exemple : la conception des moteurs
4. Deuxième exemple : la simulation du climat
5. Quantification et analyse des incertitudes
6. Assimilation de données pour la modélisation
7. Aperçu d'autres thématiques du Cerfacs

De la règle à calcul aux supercalculateurs



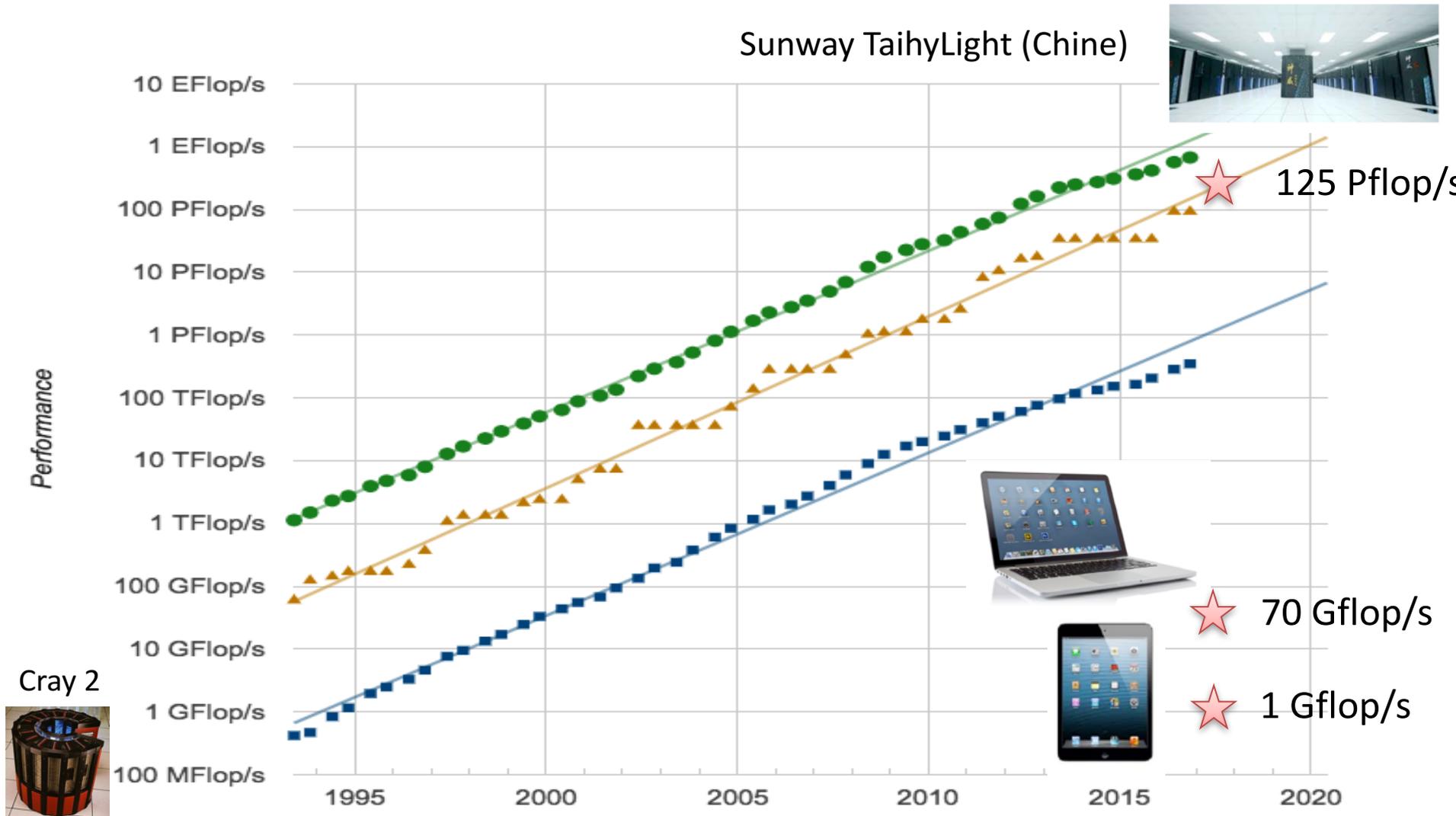
Les unités de mesure du HPC

Flops (Floating point operations per second) :
nombre d'opérations en virgule flottante
exécutées par seconde

Bytes ou Octets :
taille des données,
ensemble de 8 bits

| Préfixe | Abréviation | Signification | Ordinateur et année de référence |
|---------|-------------|-----------------|----------------------------------|
| | | 1 Flops | ZI de K.Zuse, 1938 |
| Kilo | K | 1000 Flops | Colossus, 1944 |
| Mega | M | 10^6 Flops | IBM 7030, Los Alamos, 1961 |
| Giga | G | 10^9 Flops | Cray-2, 1985 |
| Tera | T | 10^{12} Flops | Asci Red, Intel, 1997 |
| Peta | P | 10^{15} Flops | Roadrunner, IBM, 2008 |
| Exa | E | 10^{18} Flops | 2020 ? |
| Zetta | Z | 10^{21} Flops | |
| Yotta | Y | 10^{24} Flops | |

Une comparaison en 2017



Le HPC : pour quelles applications ?



Pour la prévision
météorologique ou
l'évaluation des
risques naturels

Environnement
Climatologie



Pour la mise au point
de médicaments très
ciblés

Médecine
Biologie



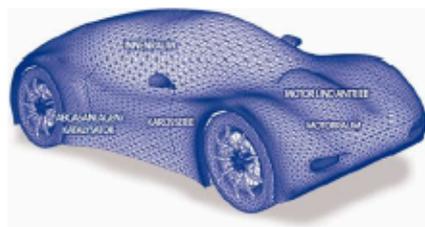
Aéronautique

Pour réduire les
temps de conception
et de validation de
certains composants



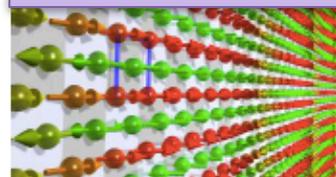
Énergie
Physique des plasmas
Piles à combustible

Pour optimiser la
prospection et
concevoir les
installations



Automobile

Pour le design
aérodynamique ou
l'optimisation des
moteurs



Matériaux
Spintronique
Nanosciences

Pour évaluer les
risques de certains
produits complexes



Finance
Assurance

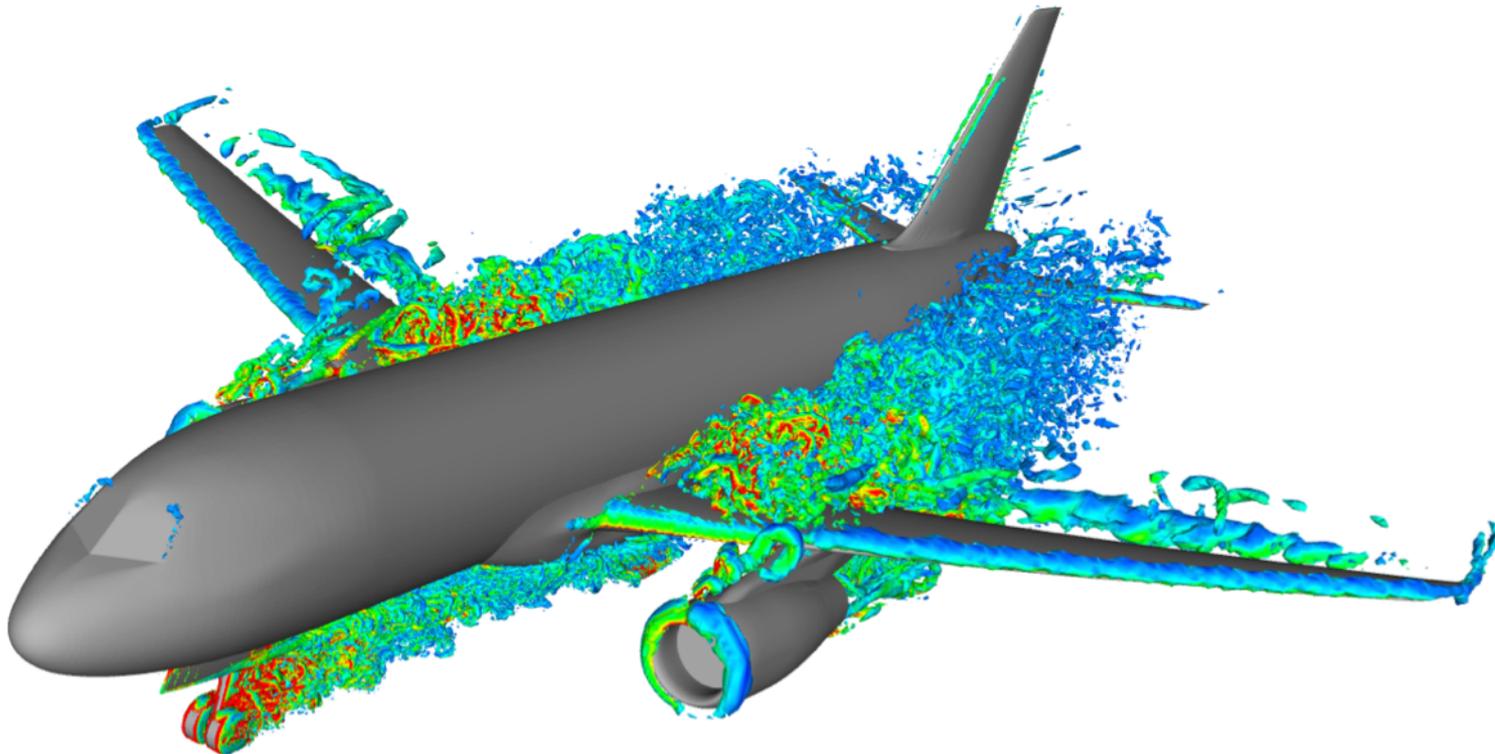


Spatial

Pour garantir la
fiabilité des systèmes
embarqués

Aérodynamique externe

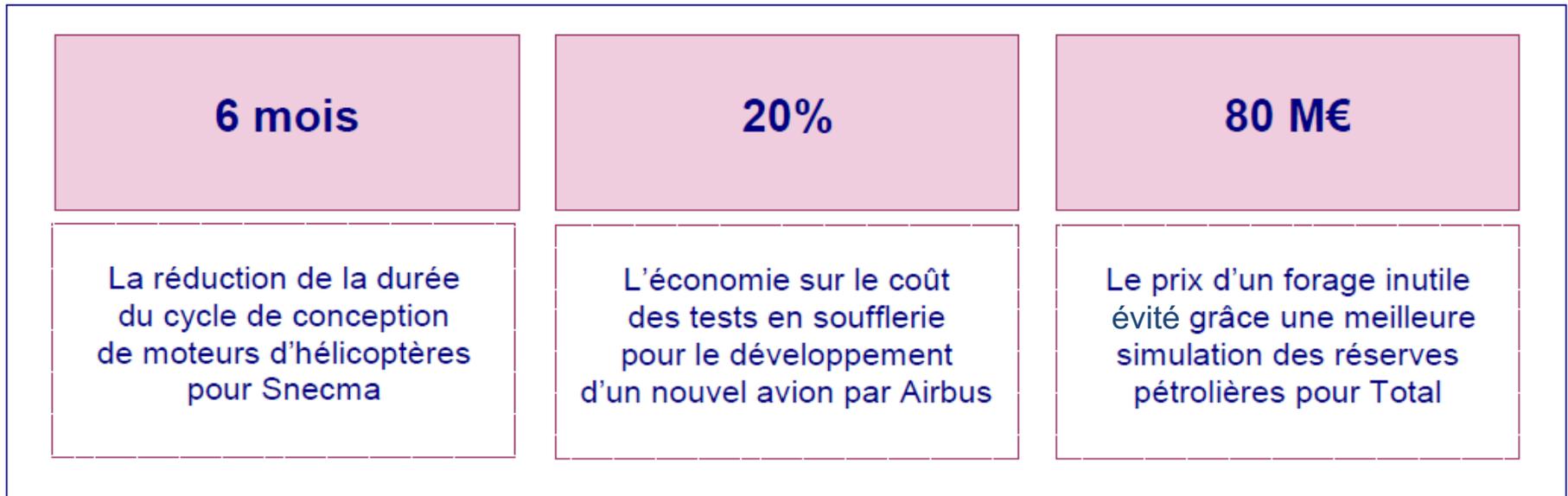
Optimisation de forme pour la réduction de traînée



L'intérêt économique du HPC

- ◆ Compétitivité des entreprises (coûts, durée de cycle de conception, qualité) et source d'innovation
- ◆ **Retour sur investissement supérieur à 16 pour un industriel qui investit dans le HPC**

Exemple de gains économiques du calcul intensif pour les entreprises

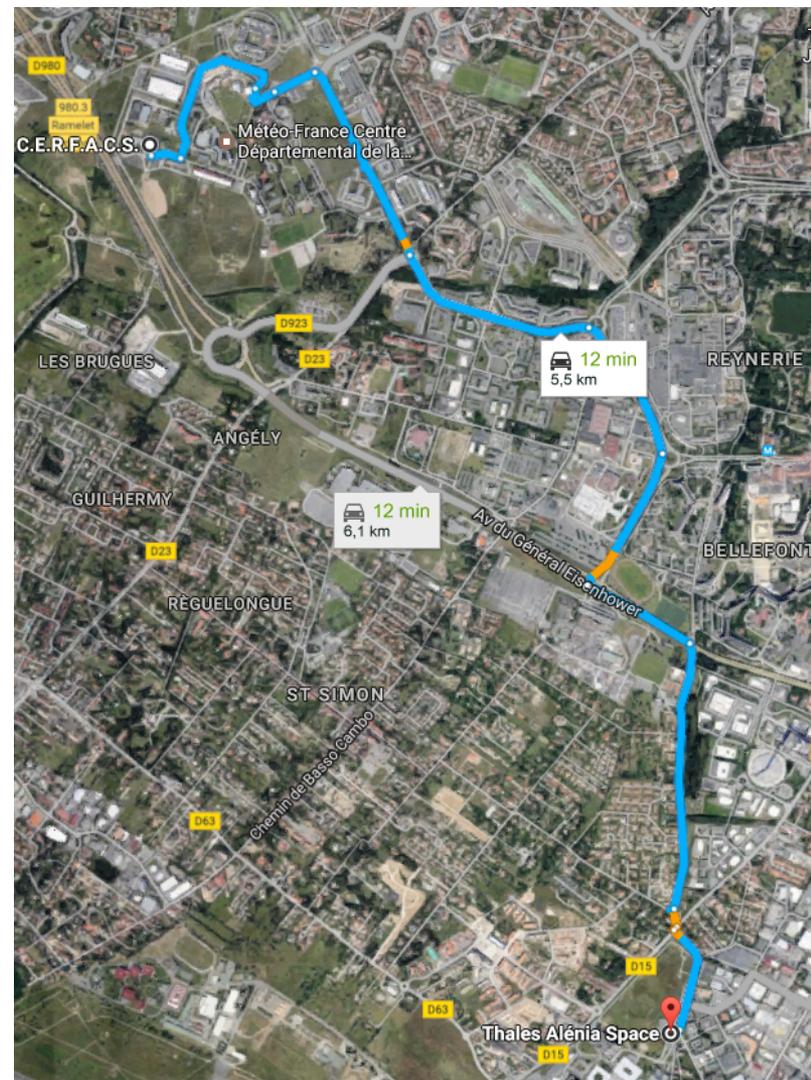
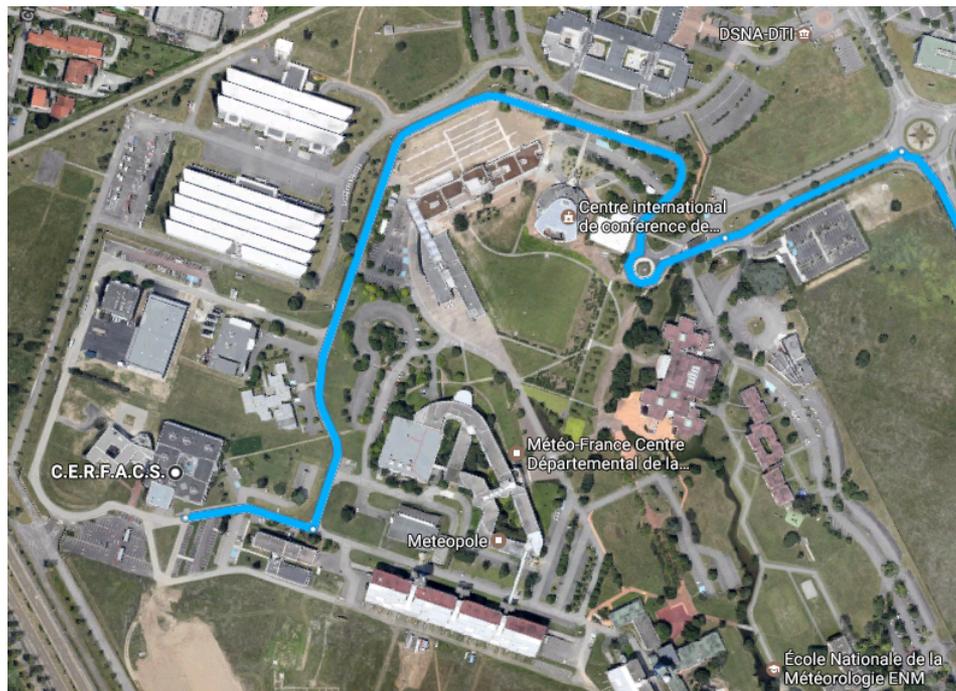


Source : Xerfi

Plan de la présentation

1. Le Calcul à Haute Performance
- 2. Le Cerfacs et le calcul scientifique**
3. Premier exemple : la conception des moteurs
4. Deuxième exemple : la simulation du climat
5. Quantification et analyse des incertitudes
6. Assimilation de données pour la modélisation
7. Aperçu d'autres thématiques du Cerfacs

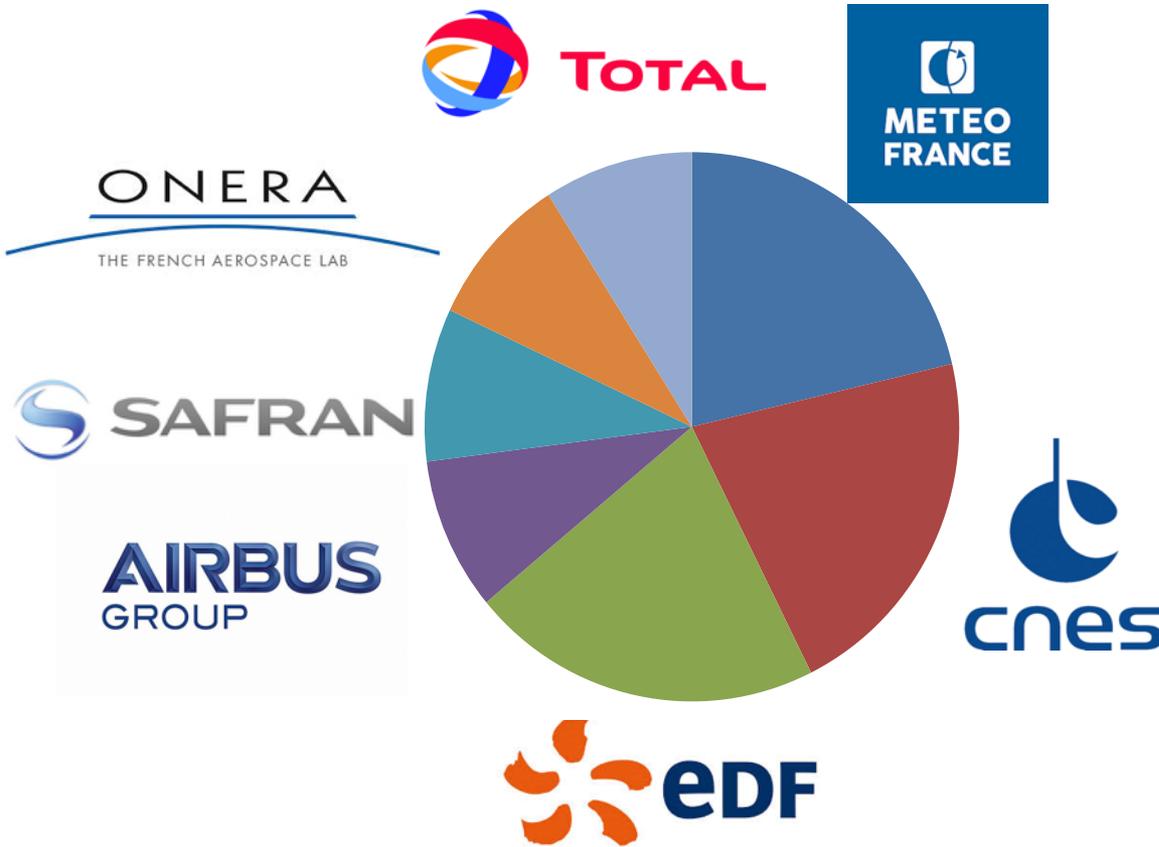
Le Cerfacs est sur le site de Météo-France



Recherche Fondamentale – Recherche Appliquée - Formation

- ✓ Le Cerfacs est un centre de recherche fondamentale et appliquée, spécialisé dans la **modélisation et la simulation numérique** qui requièrent les **moyens de calcul** les plus puissants.
- ✓ Le Cerfacs conçoit, développe et propose des **méthodes et solutions logicielles innovantes** répondant aux besoins de ses associés dans les domaines de l'aéronautique, du spatial, du climat, de l'environnement et de l'énergie.
- ✓ Le Cerfacs **forme** des étudiants, des chercheurs et des ingénieurs dans le domaine du calcul haute performance (Calcul Intensif ou HPC).

Partenaires et fonctionnement de la Société Civile Cerfacs



Catherine
LAMBERT



RH

93 salariés + 30 doctorants
+ 6 Mises à Disposition

CA = 7,7 M€
+ CIR = 1,8 M€

Capital social de 927200€

CERFACS Entrez dans le monde de la haute performance...
CENTRE EUROPÉEN DE RECHERCHE ET DE FORMATION AVANCÉE EN CALCUL SCIENTIFIQUE

À PROPOS ▾ AXES DE RECHERCHE ▾ DEFIS SCIENTIFIQUES ▾ CODES DE CALCUL ▾ FORMATION ▾ TRAVAILLER AU CERFACS ▾

Défi COUGAR
MORE ABOUT

Défi DECClip
Ocean chaos
MORE ABOUT

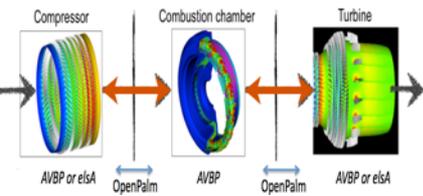
Restez informés
Je souhaite recevoir la lettre d'information du CERFACS
Mon e-mail

Coordonnées
Tel +33 (0)5 61 19 31 31
Fax +33 (0)5 61 19 30 30
42 Avenue Gaspard Coriolis 31057 Toulouse
Cedex 01, France

Informations pratiques
Annuaire du Cerfacs
Recrutement
Contact
Intranet
Hébergements

Les associés du Cerfacs

AIRBUS GROUP CNES CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES EDF METEO FRANCE ONERA THE FRENCH AEROSPACE LAB SAFRAN AEROSPACE DEFENCE SECURITY TOTAL

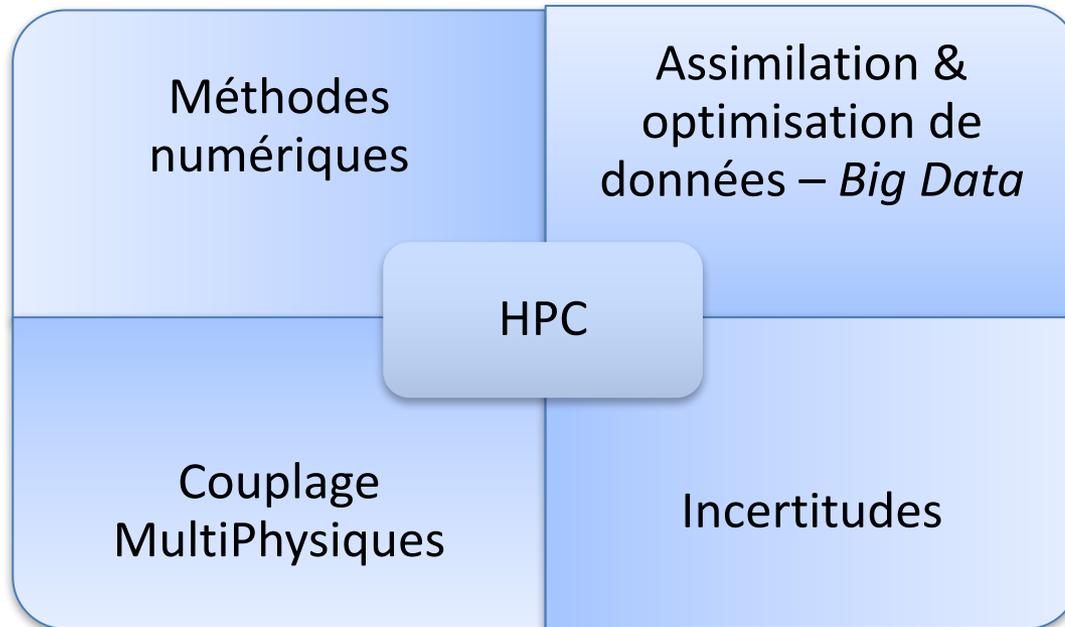
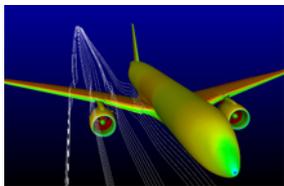


Combustion & TurboMachines
Calcul complet instationnaire
d'une turbine à gaz « COUGAR »

Propulsion Spatiale
« DECOLA »



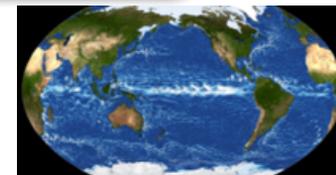
Aérodynamique
Simulation multi-physique
instationnaire
d'un avion
complet
« PUMA »



Environnement
Et Sécurité
« MODEST »



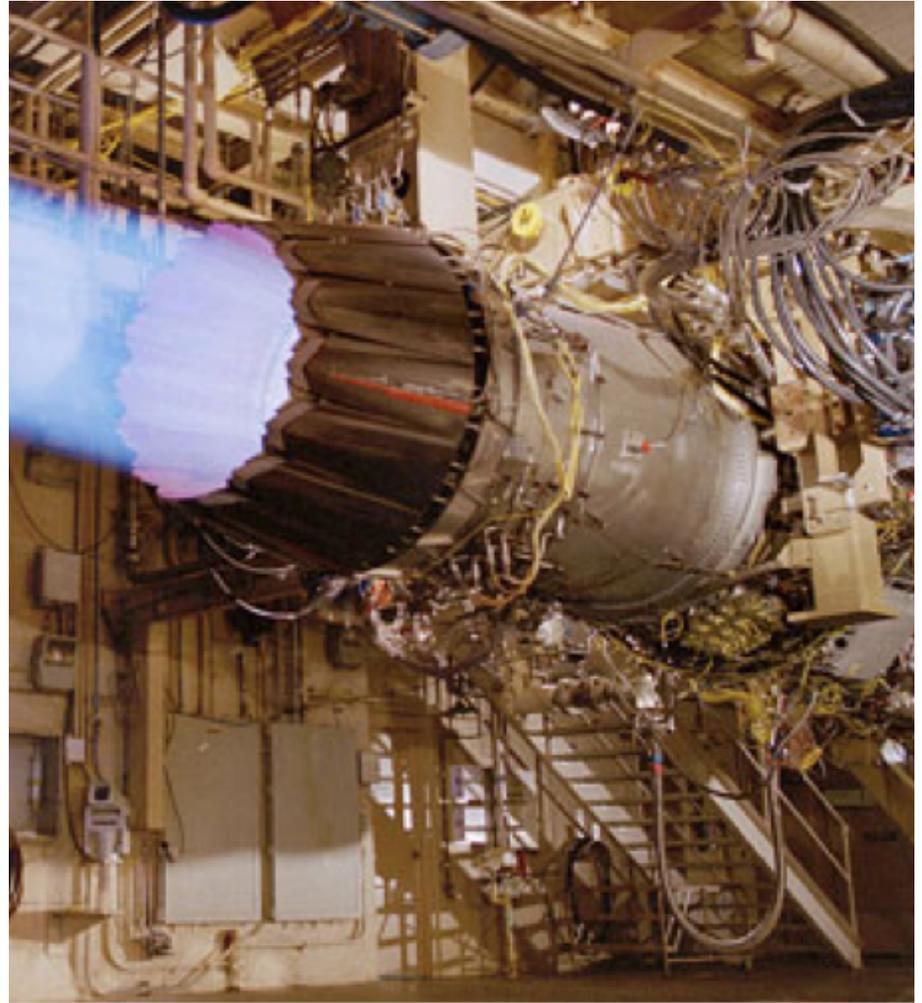
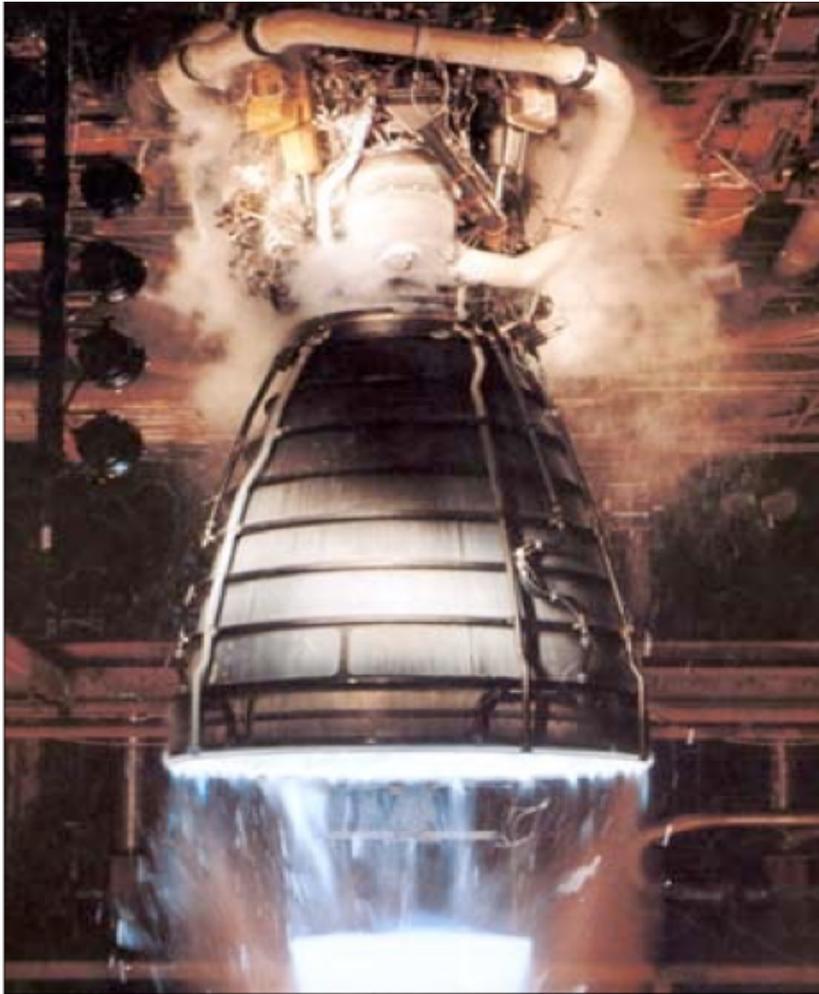
Climat – prévoir la variabilité du
climat de 1 à 10 ans « DECLIPP »



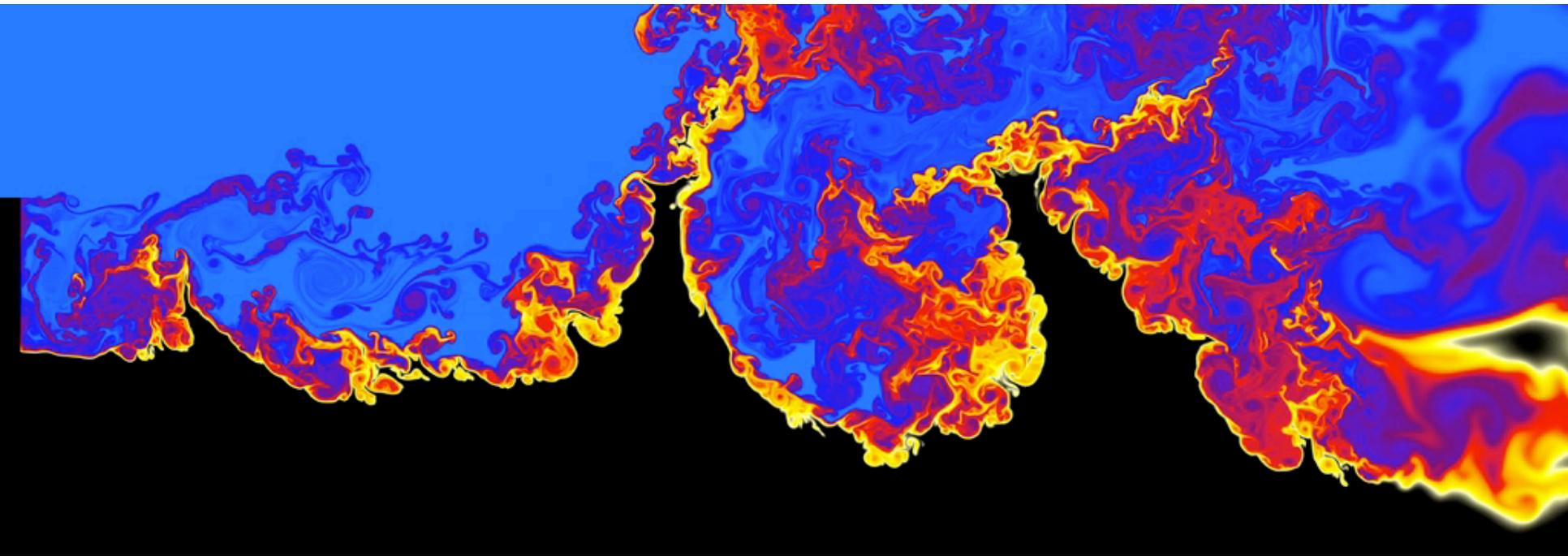
Plan de la présentation

1. Le Calcul à Haute Performance
2. Le Cerfacs et le calcul scientifique
- 3. Premier exemple : la conception des moteurs**
4. Deuxième exemple : la simulation du climat
5. Quantification et analyse des incertitudes
6. Assimilation de données pour la modélisation
7. Aperçu d'autres thématiques du Cerfacs

Fusées ou turbines à gaz



La combustion et la turbulence

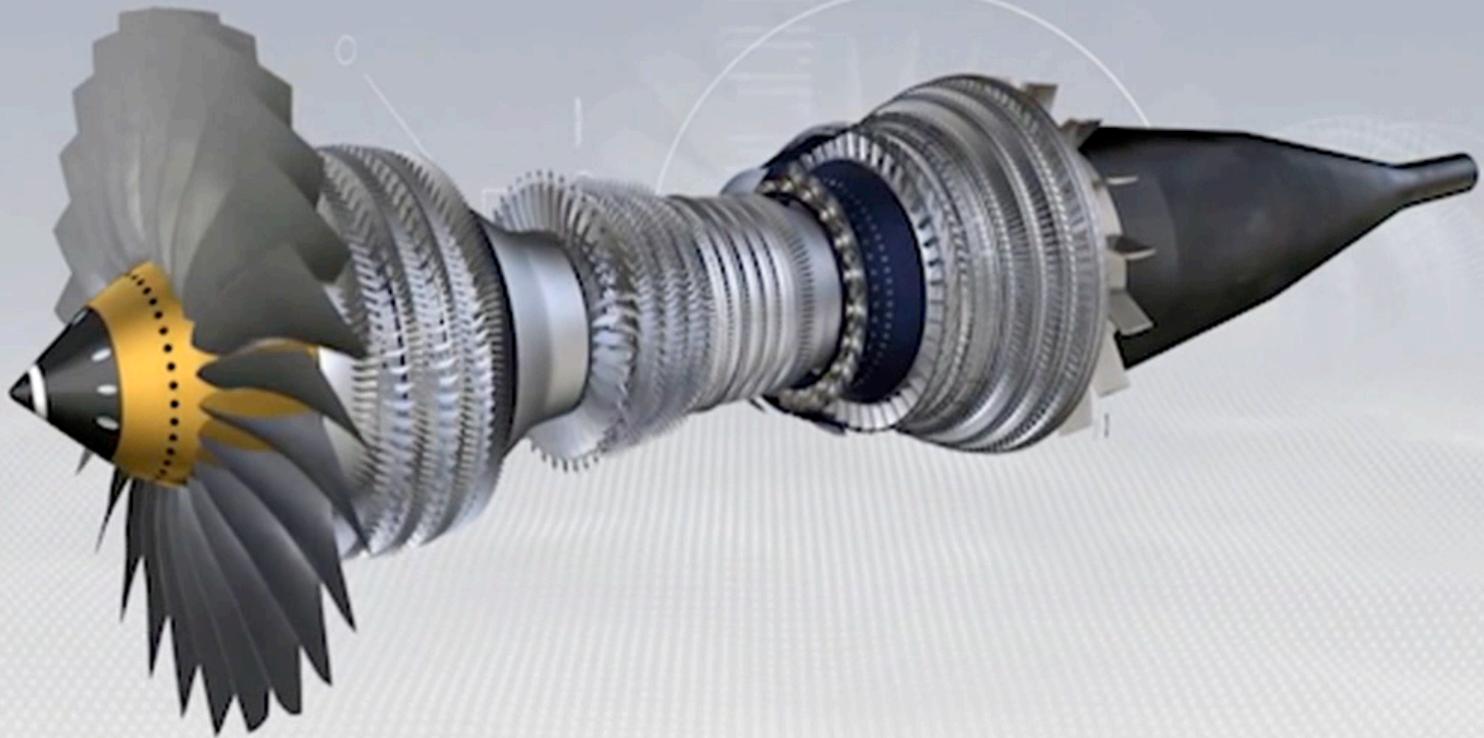


1 cm

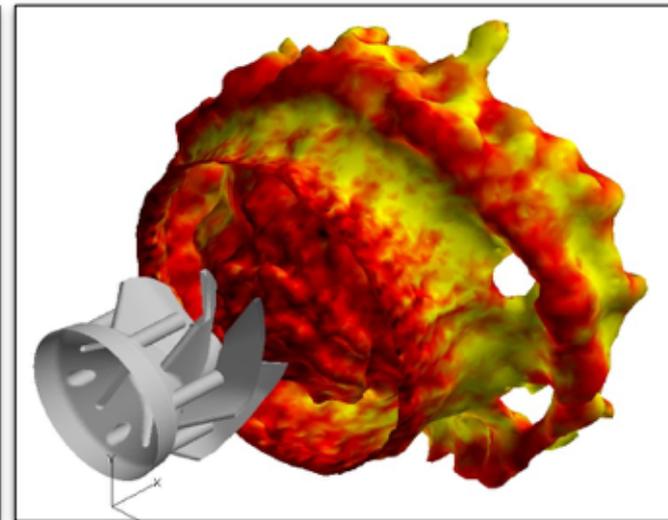
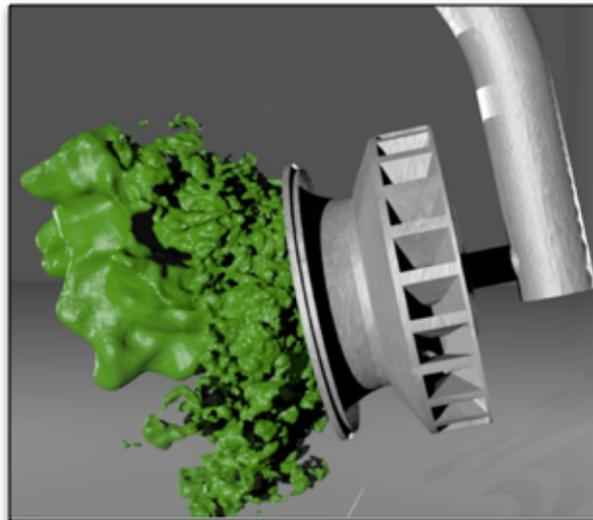
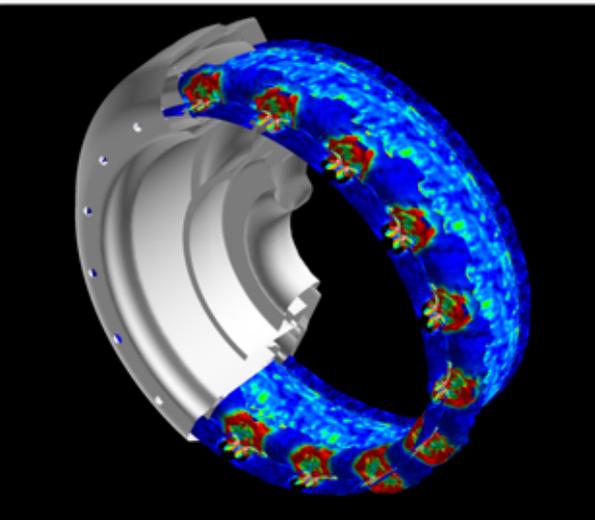
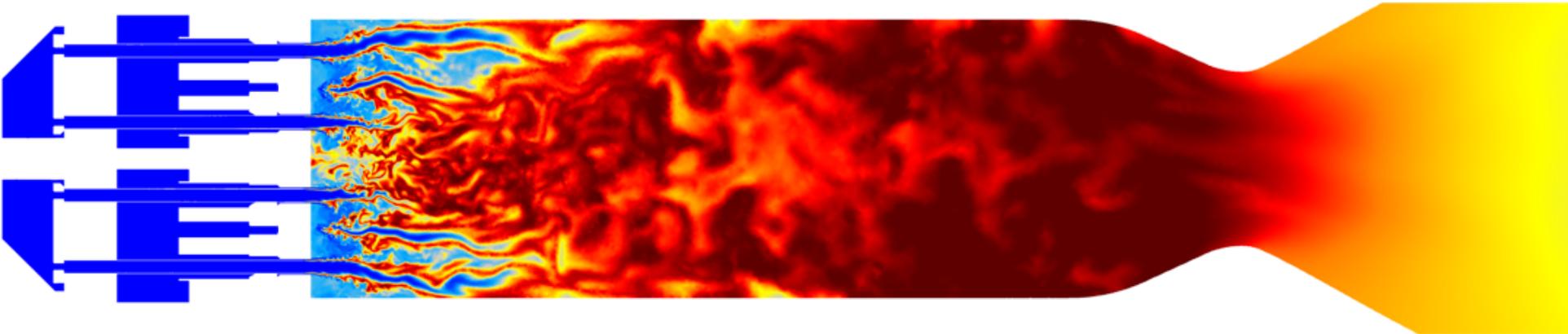
←—————→
Champ de densité dans un moteur H₂-O₂



Modélisation des turbines à gaz



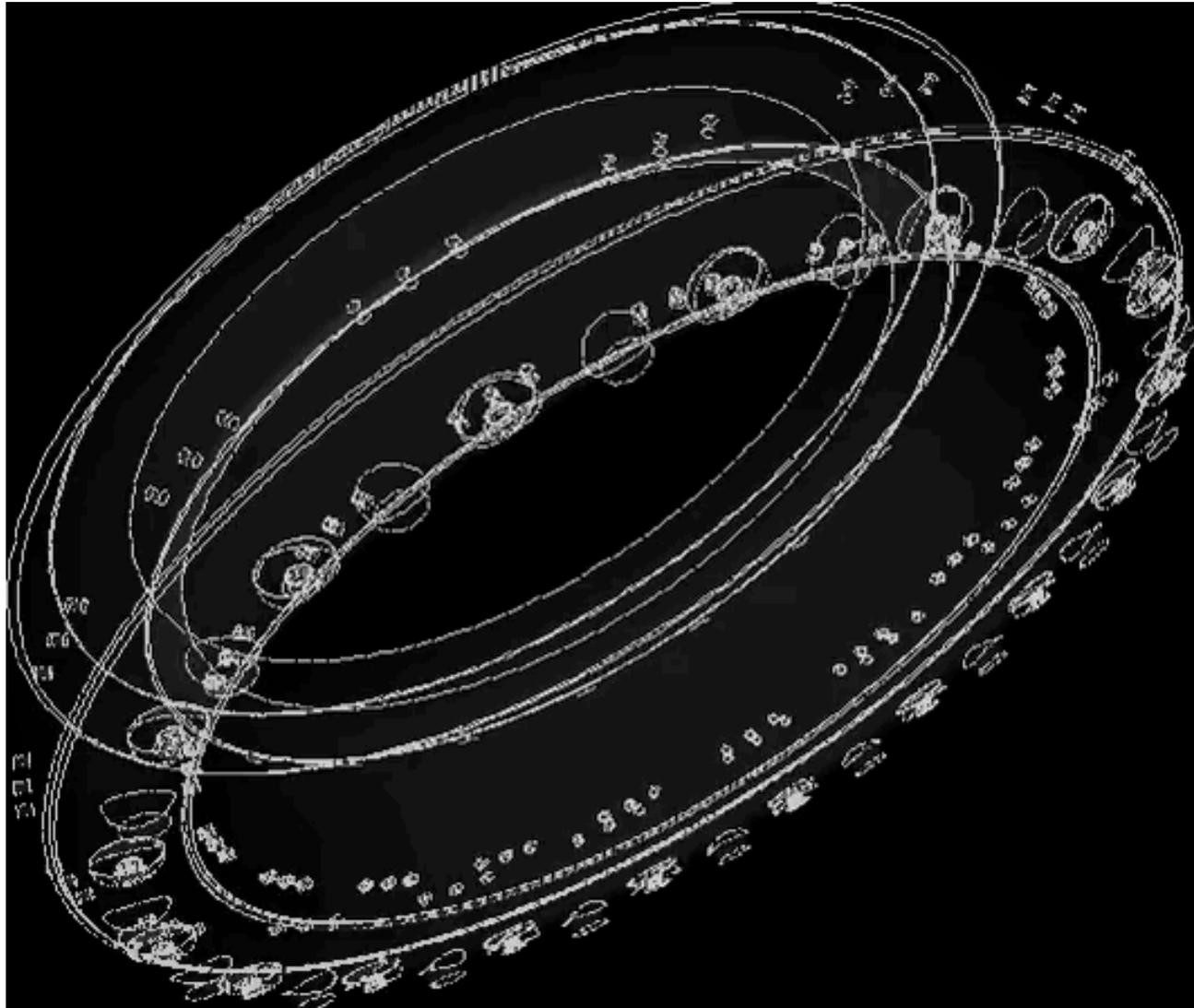
Calcul scientifique pour la conception des moteurs



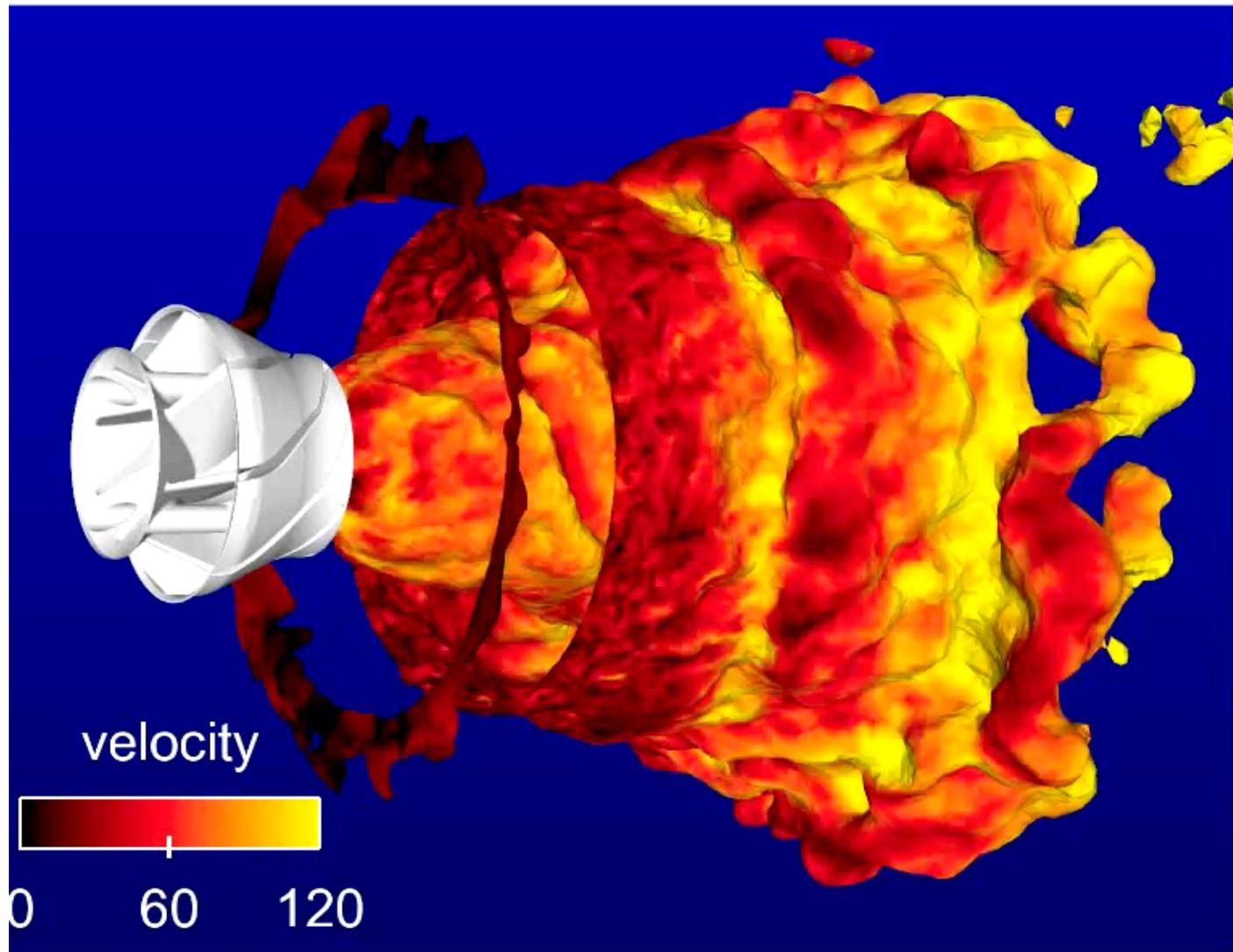
Optimisation : carburant, pollution et gaz à effet de serre



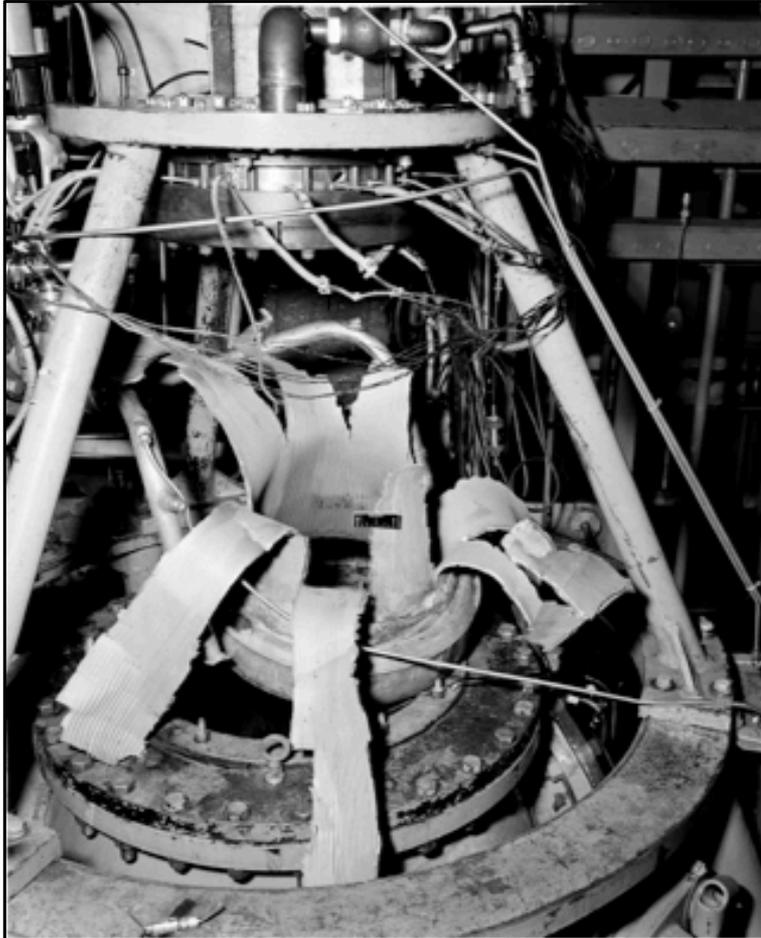
Allumage d'un moteur d'hélicoptère



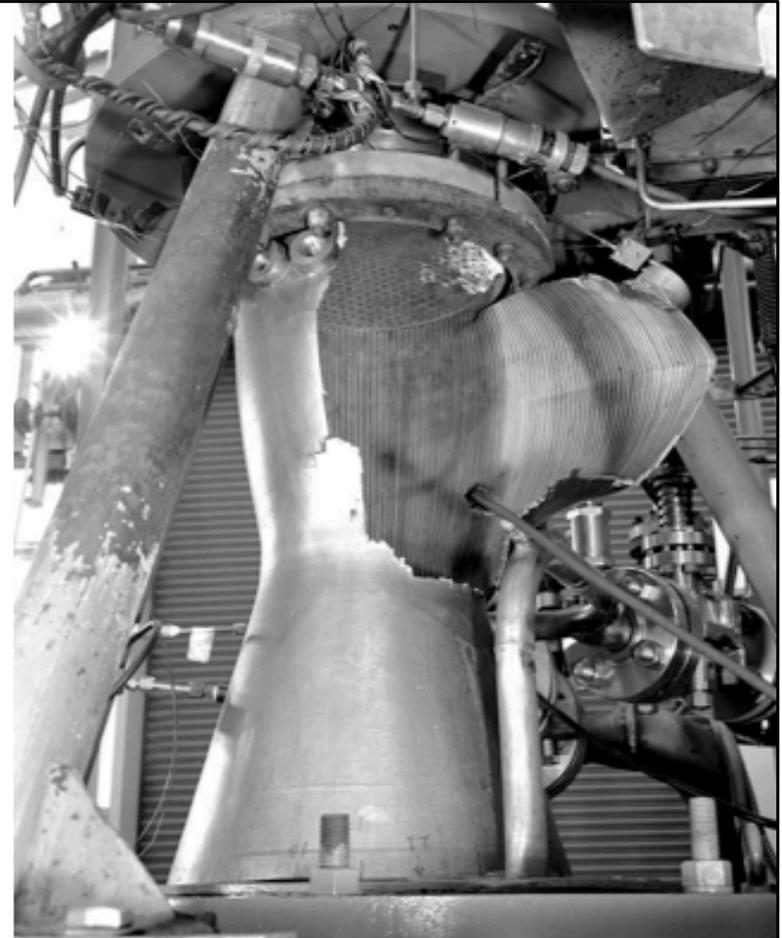
Fonctionnement normal d'une chambre à combustion



Anomalies de fonctionnement

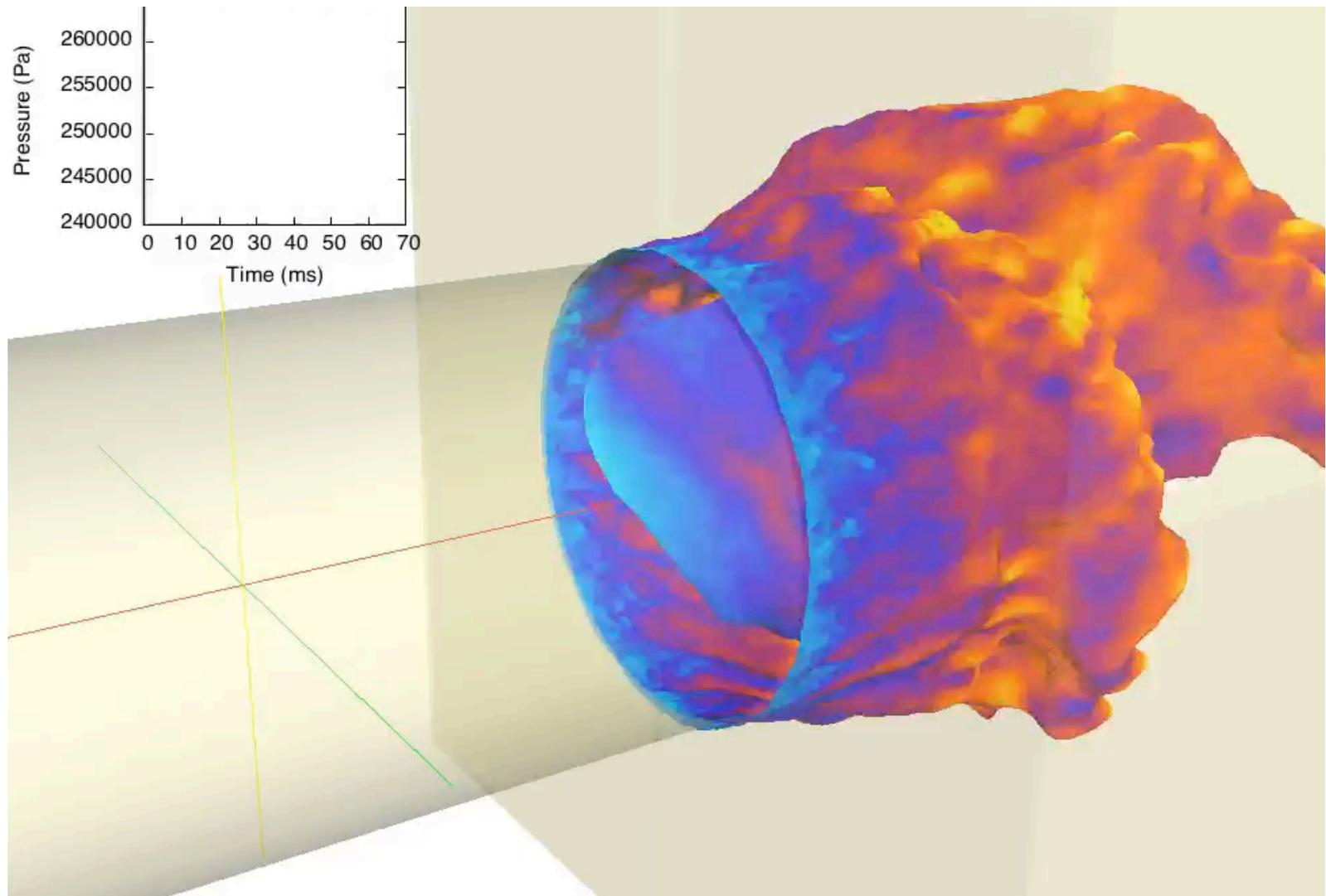


Liquid rocket engine (NASA 1957)



Liquid rocket engine (NASA 1963)

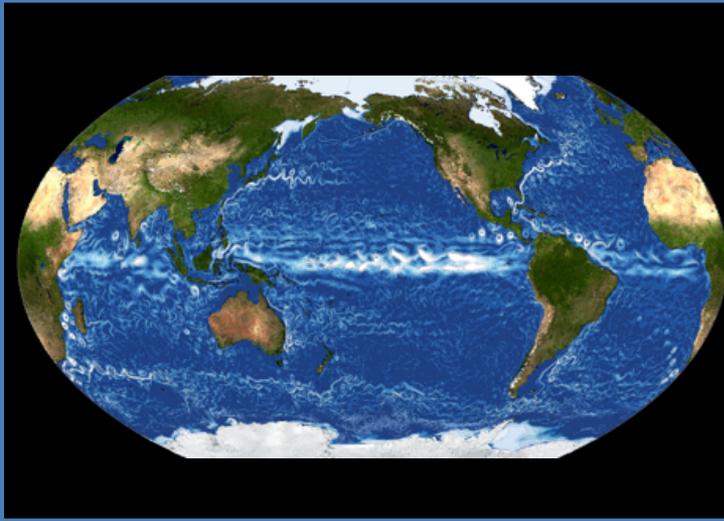
Instabilités par couplage acoustique



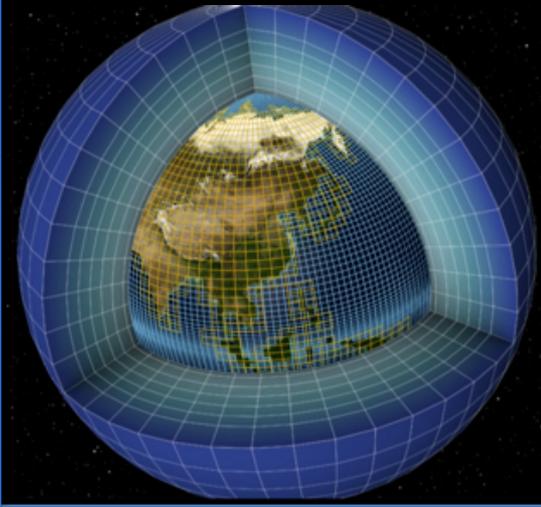
Plan de la présentation

1. Le Calcul à Haute Performance
2. Le Cerfacs et le calcul scientifique
3. Premier exemple : la conception des moteurs
- 4. Deuxième exemple : la simulation du climat**
5. Quantification et analyse des incertitudes
6. Assimilation de données pour la modélisation
7. Aperçu d'autres thématiques du Cerfacs

Simulation numérique du climat



$$\frac{D\rho}{Dt} = -\rho \vec{\nabla} \cdot \vec{V}$$
$$\frac{D\vec{V}}{Dt} = \frac{-\vec{\nabla} p}{\rho} - 2\vec{\Omega} \wedge \vec{V} + \vec{g} + \vec{F}$$
$$C_p \frac{DT}{Dt} = \frac{RT}{p} \frac{Dp}{Dt} + Q$$
$$\frac{Dq}{Dt} = Q'$$



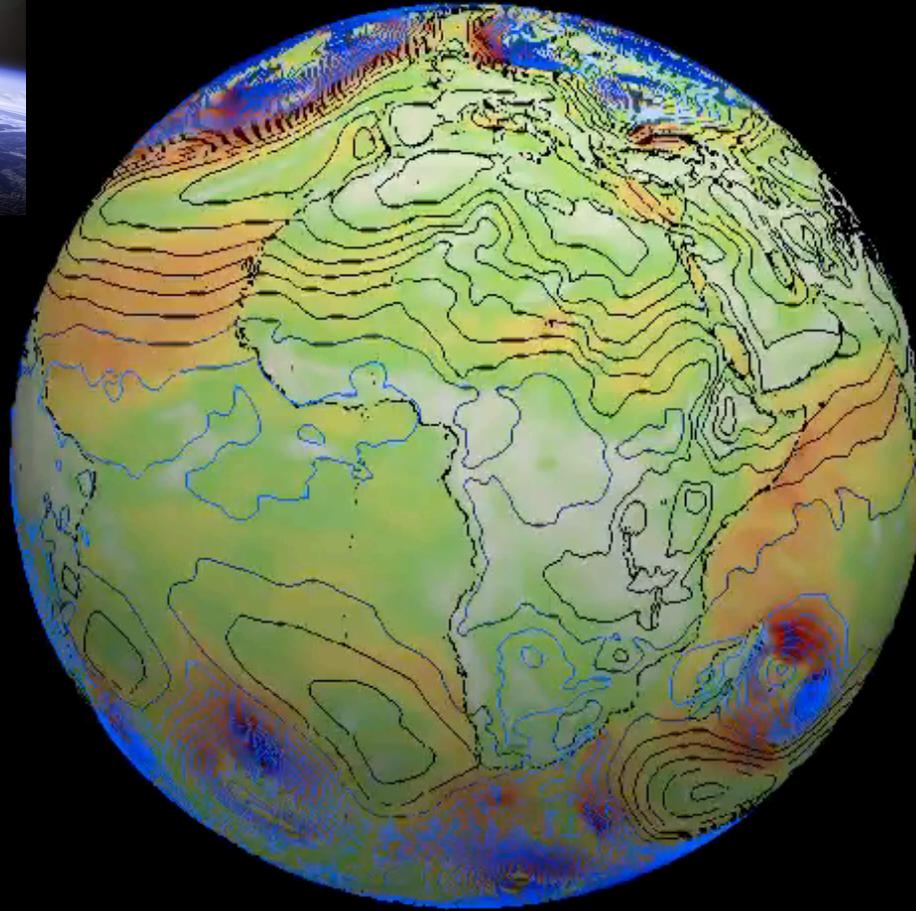
Neptune



Nemo

Observation de la Terre

Pression au niveau de la mer et vent à 10m, 2004-2013



Les défis de la modélisation climatique

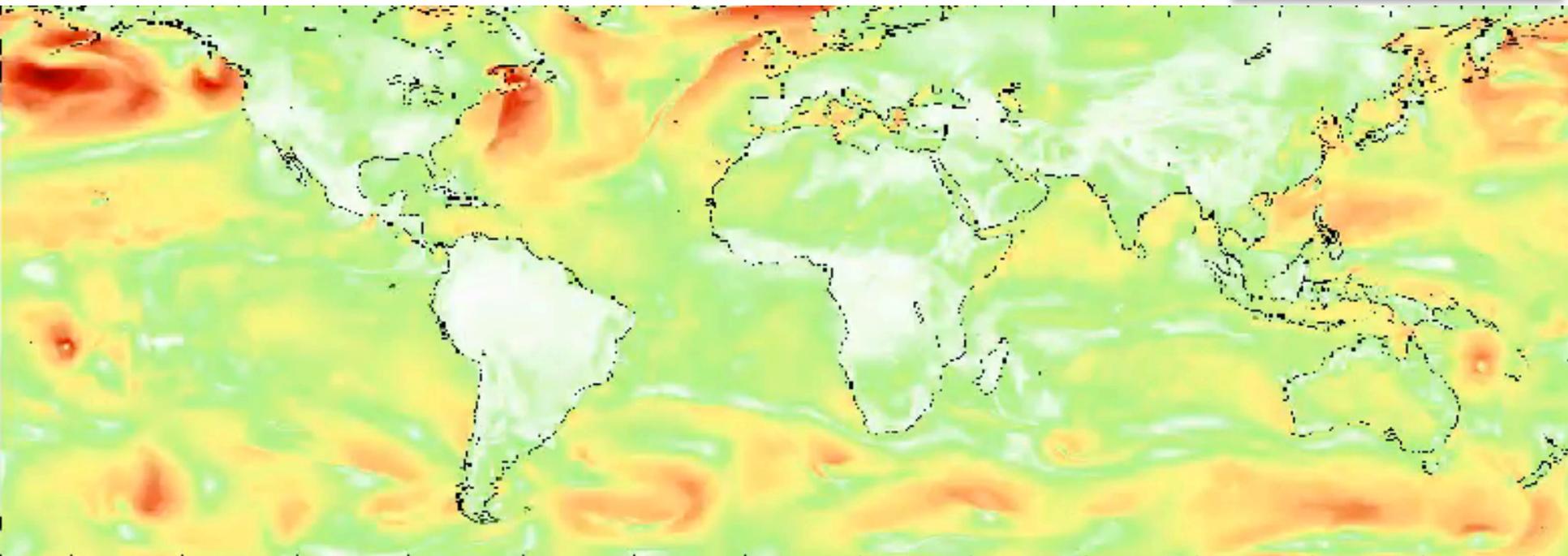
Lois physiques
Constante solaire
Constitution des fluides
Topographie de la Terre
Gaz à effet de serre, aérosols



Dynamique du climat :

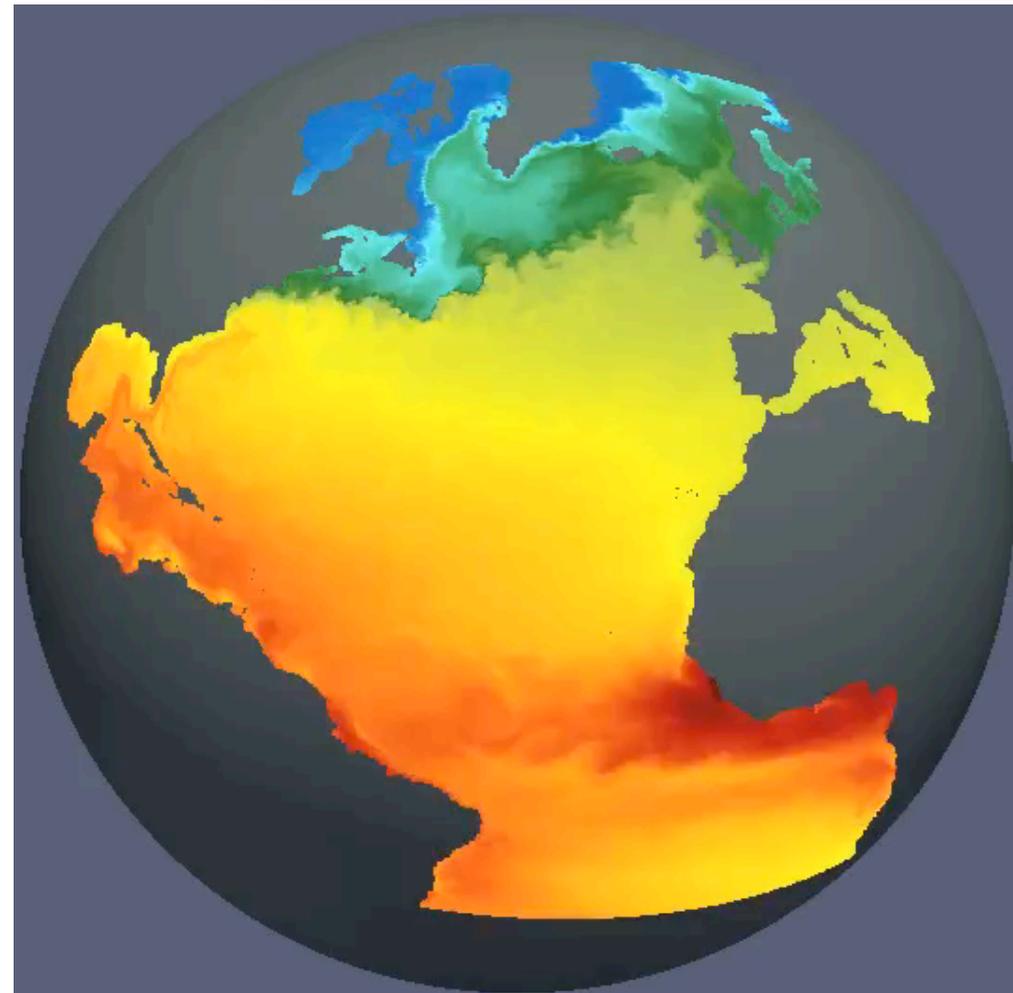
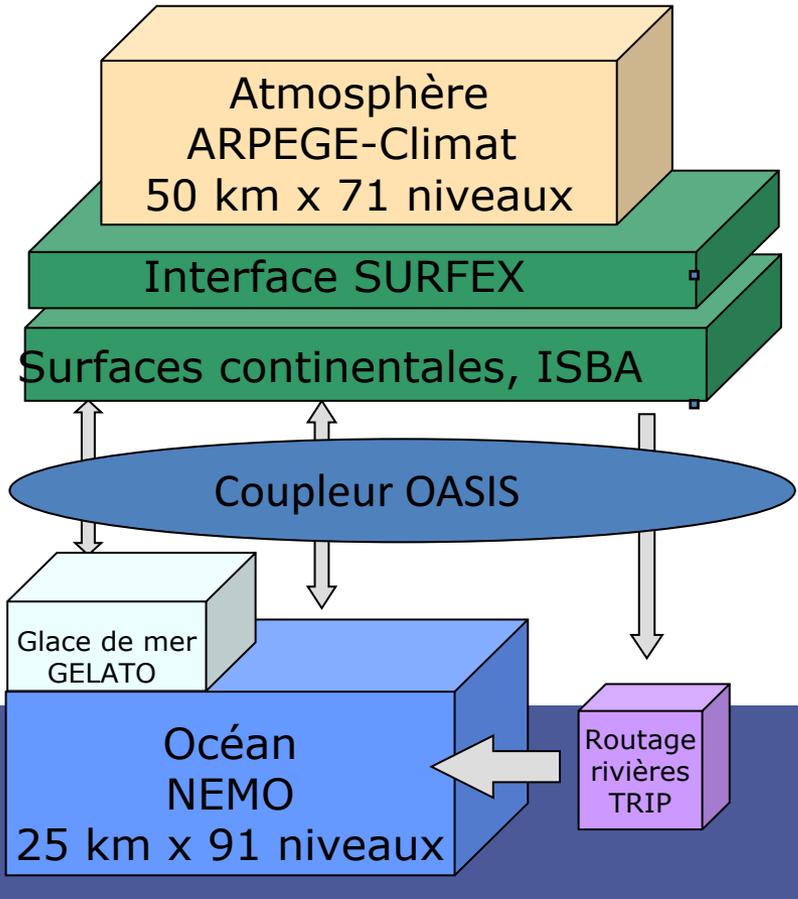
- État moyen
- Variabilité
- Sensibilité

Vent à 10 m, 1994-2003

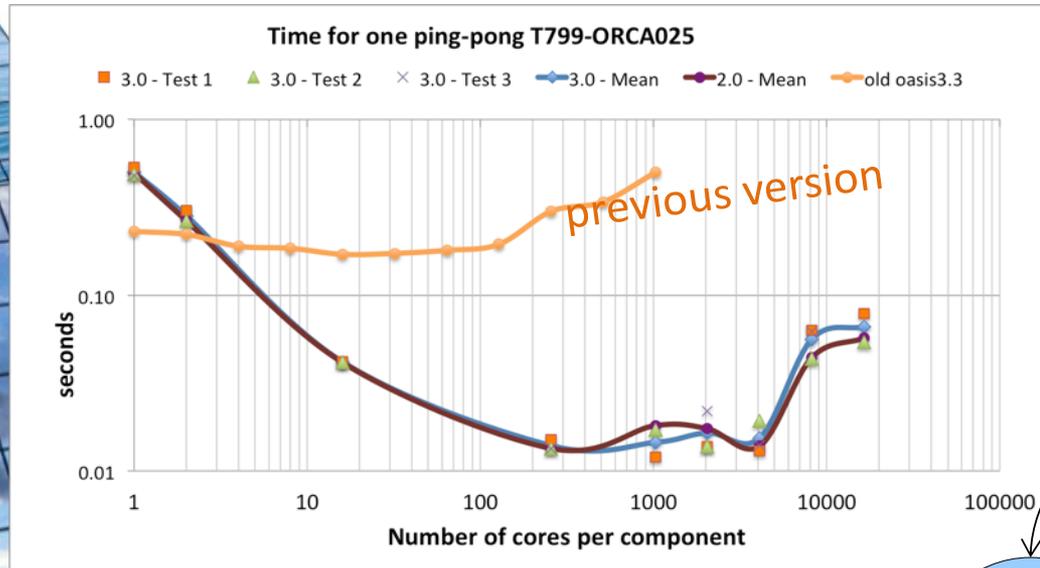
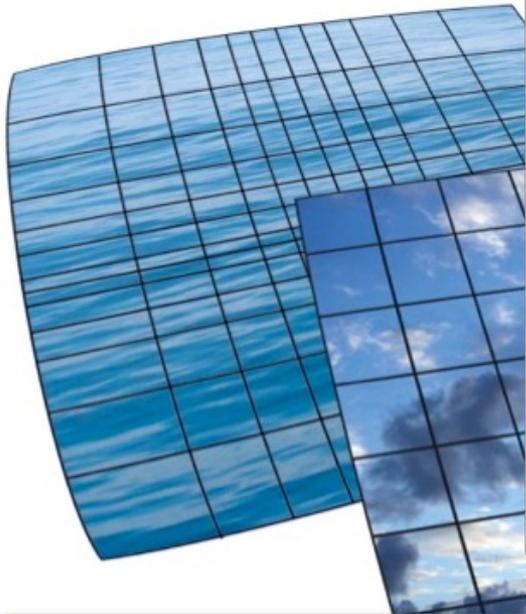


Le couplage océan – glace – atmosphère

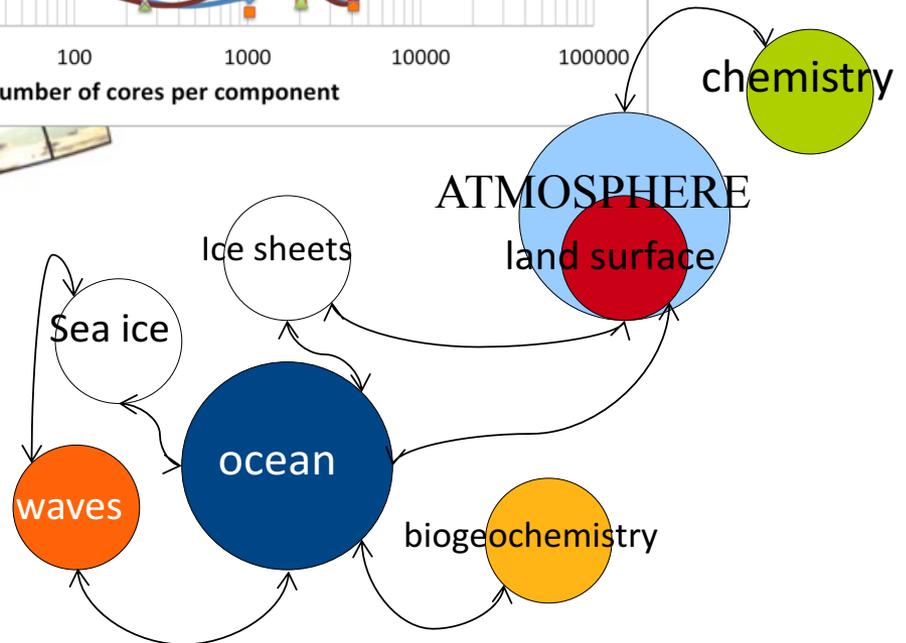
Température de la surface de la mer, 1993-2000



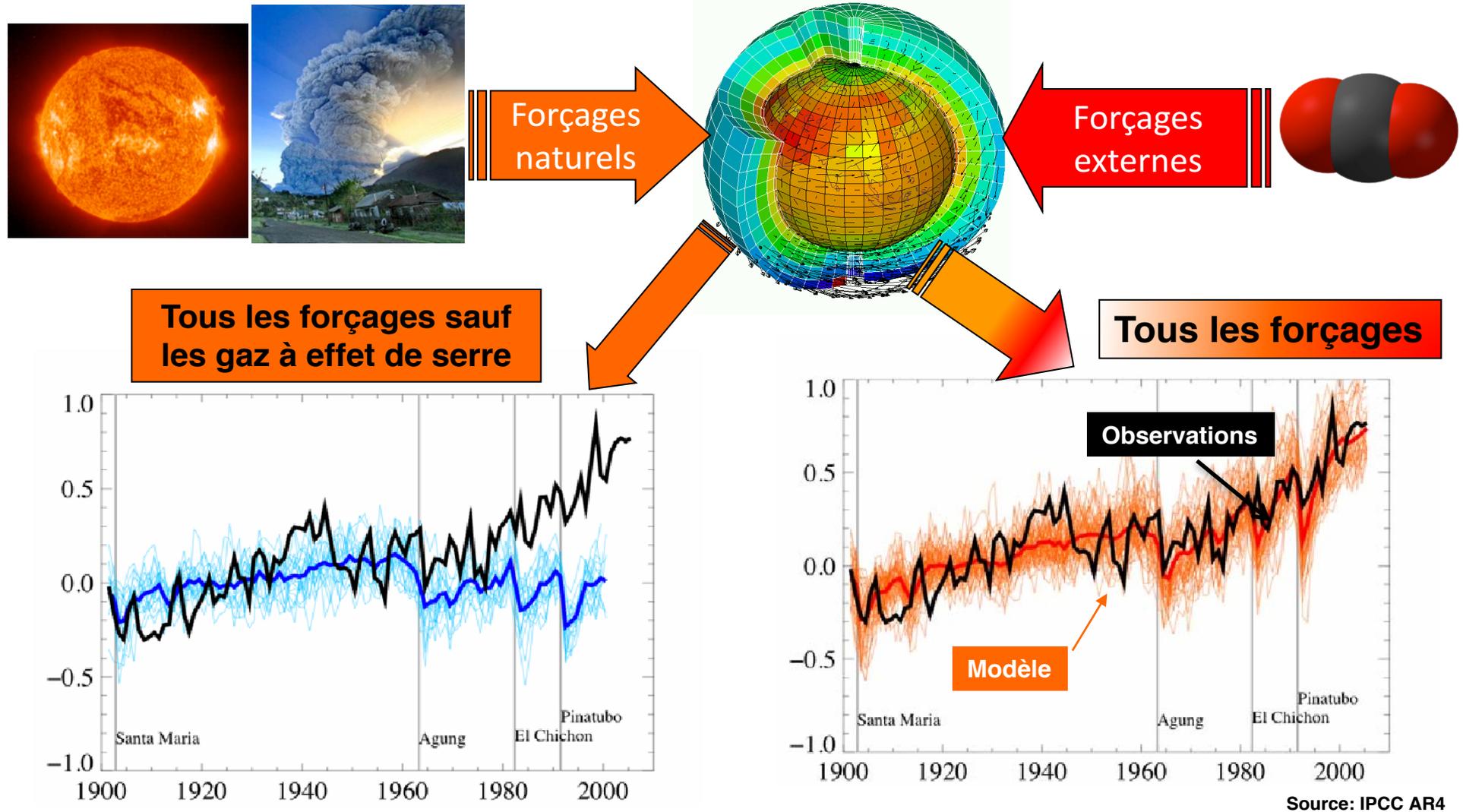
Le coupler OASIS pour les modèles de climat



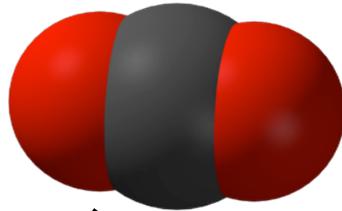
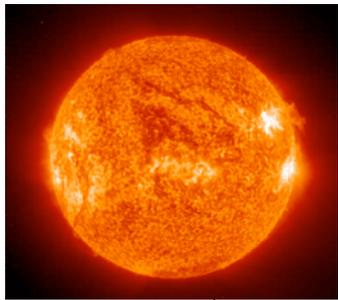
Utilisé par environ 70 groupes de recherche dans le monde



Attribution : les forçages anthropiques

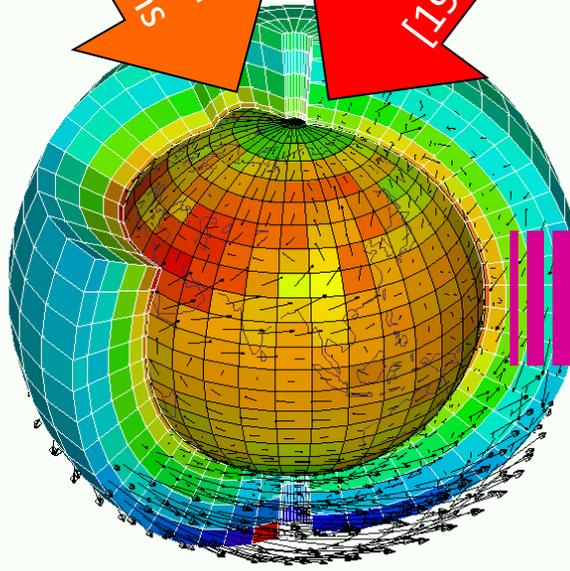


Les projections climatiques



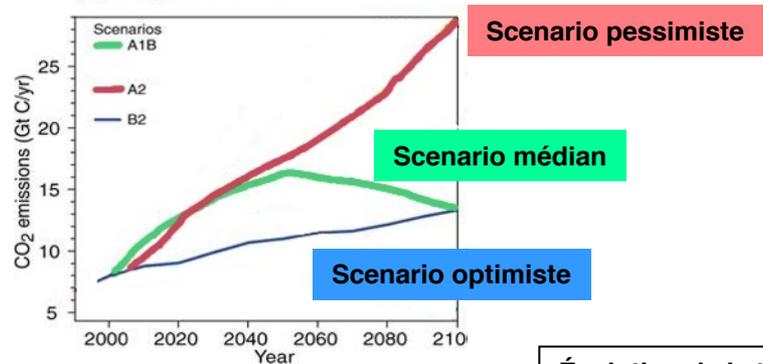
Cycle à 11 ans

Emission [1995-2100]

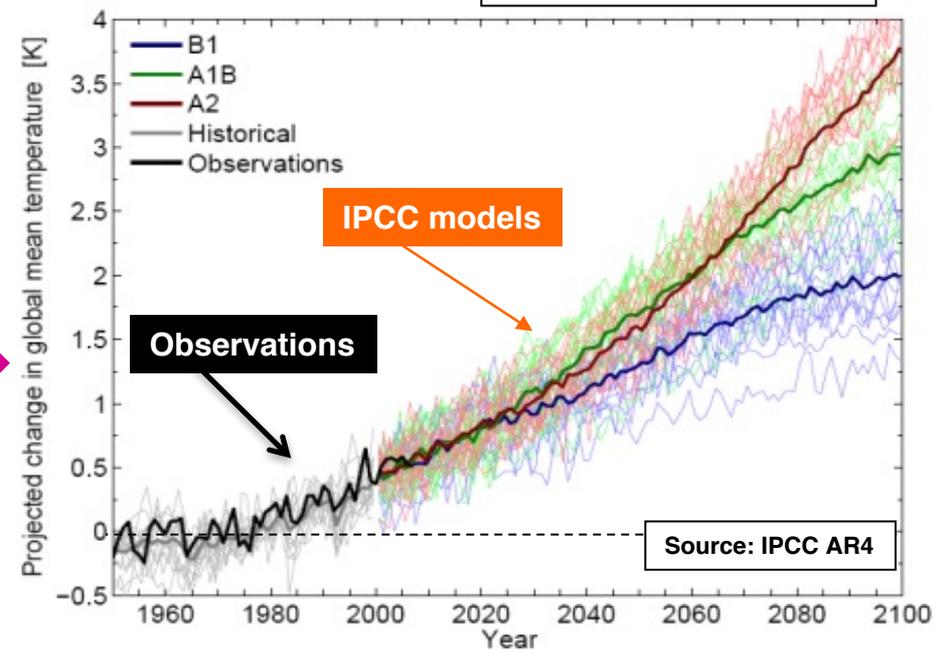


Projection

(a) CO₂ emissions



Évolution de la température



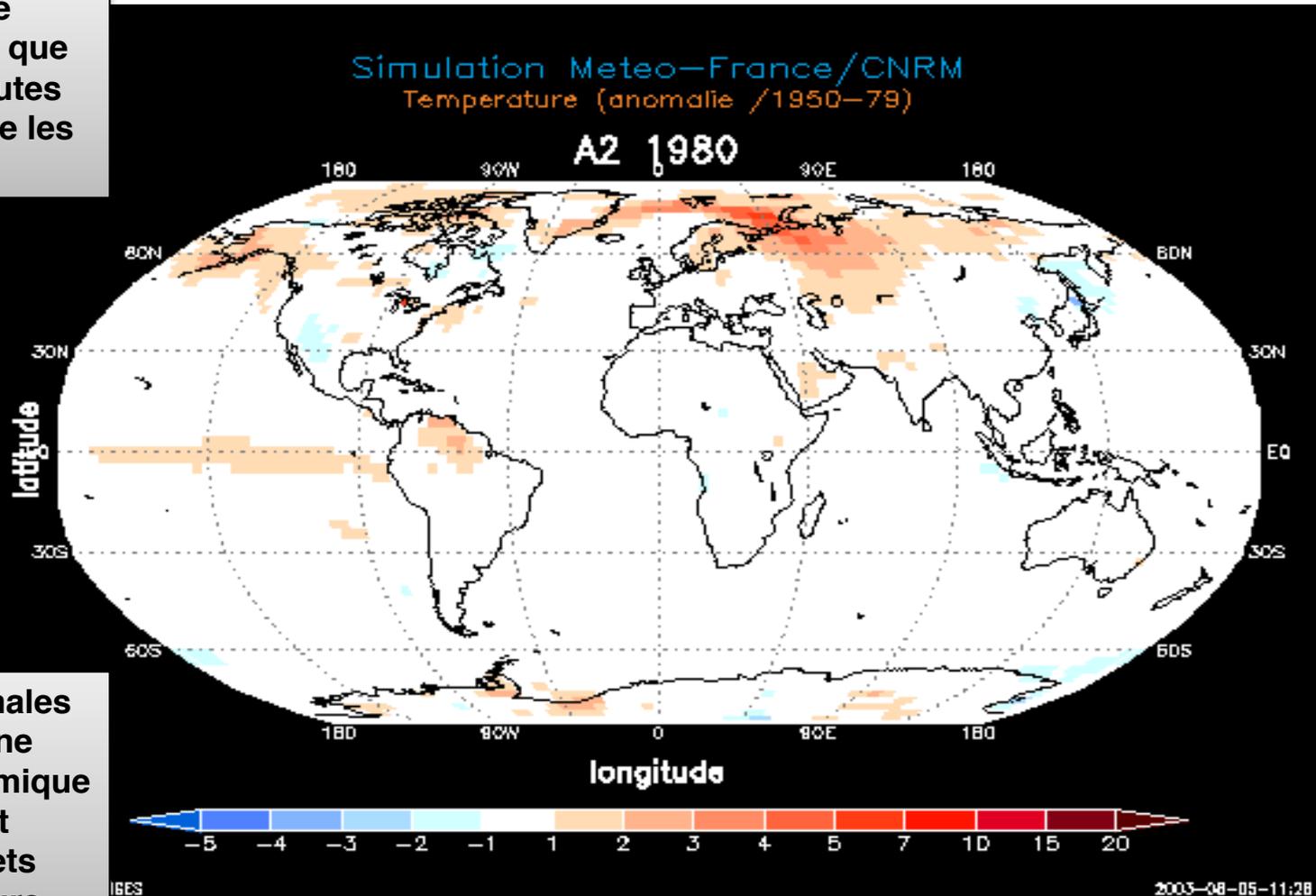
Source: IPCC AR4

Un scénario futur

Les continents se réchauffent plus vite que les océans et les hautes latitudes plus vite que les tropiques

Un refroidissement local n'est **pas** incompatible avec un réchauffement global

Les disparités régionales s'expliquent par une combinaison de dynamique atmosphérique et océanique et d'effets locaux amplificateurs



Glace de mer dans l'Arctique

Glace de mer, 1994-2003

Glace de mer, 2014-2023



Impacts du changement climatique

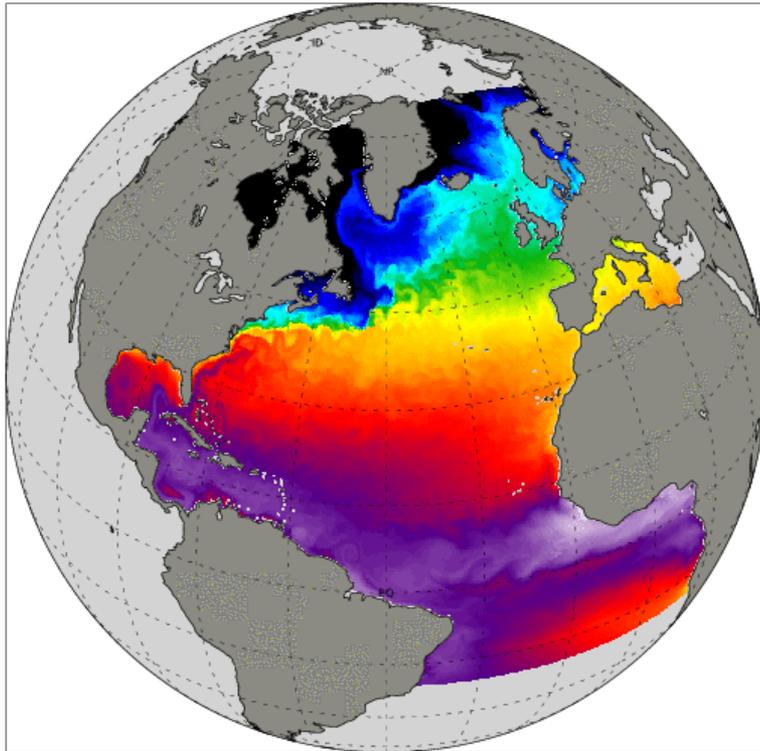


Plan de la présentation

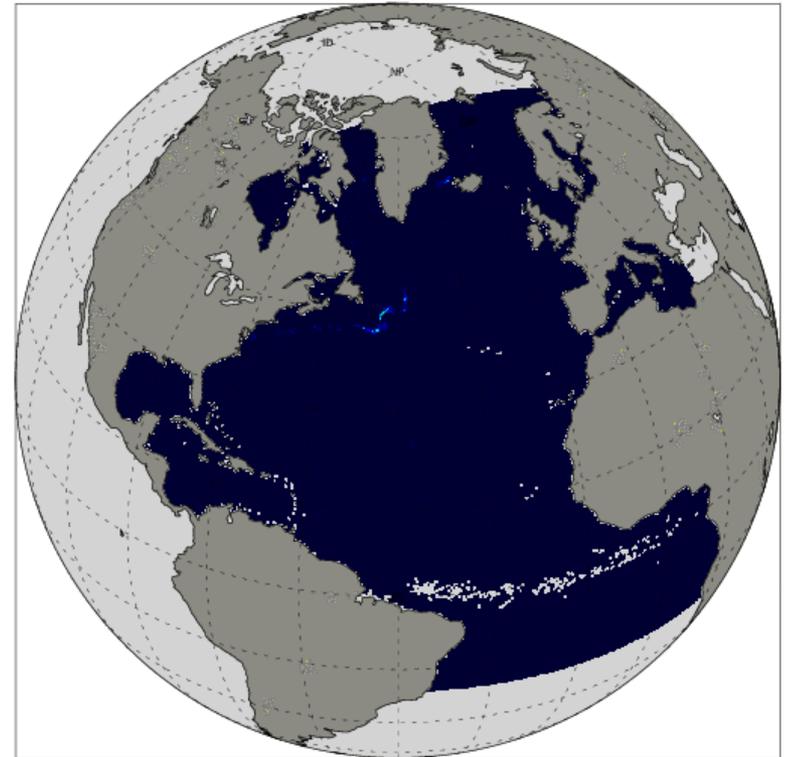
1. Le Calcul à Haute Performance
2. Le Cerfacs et le calcul scientifique
3. Premier exemple : la conception des moteurs
4. Deuxième exemple : la simulation du climat
- 5. Quantification et analyse des incertitudes**
6. Assimilation de données pour la modélisation
7. Aperçu d'autres thématiques du Cerfacs

Comportement chaotique et simulations d'ensemble

Year 1993, Month 1, Day 3



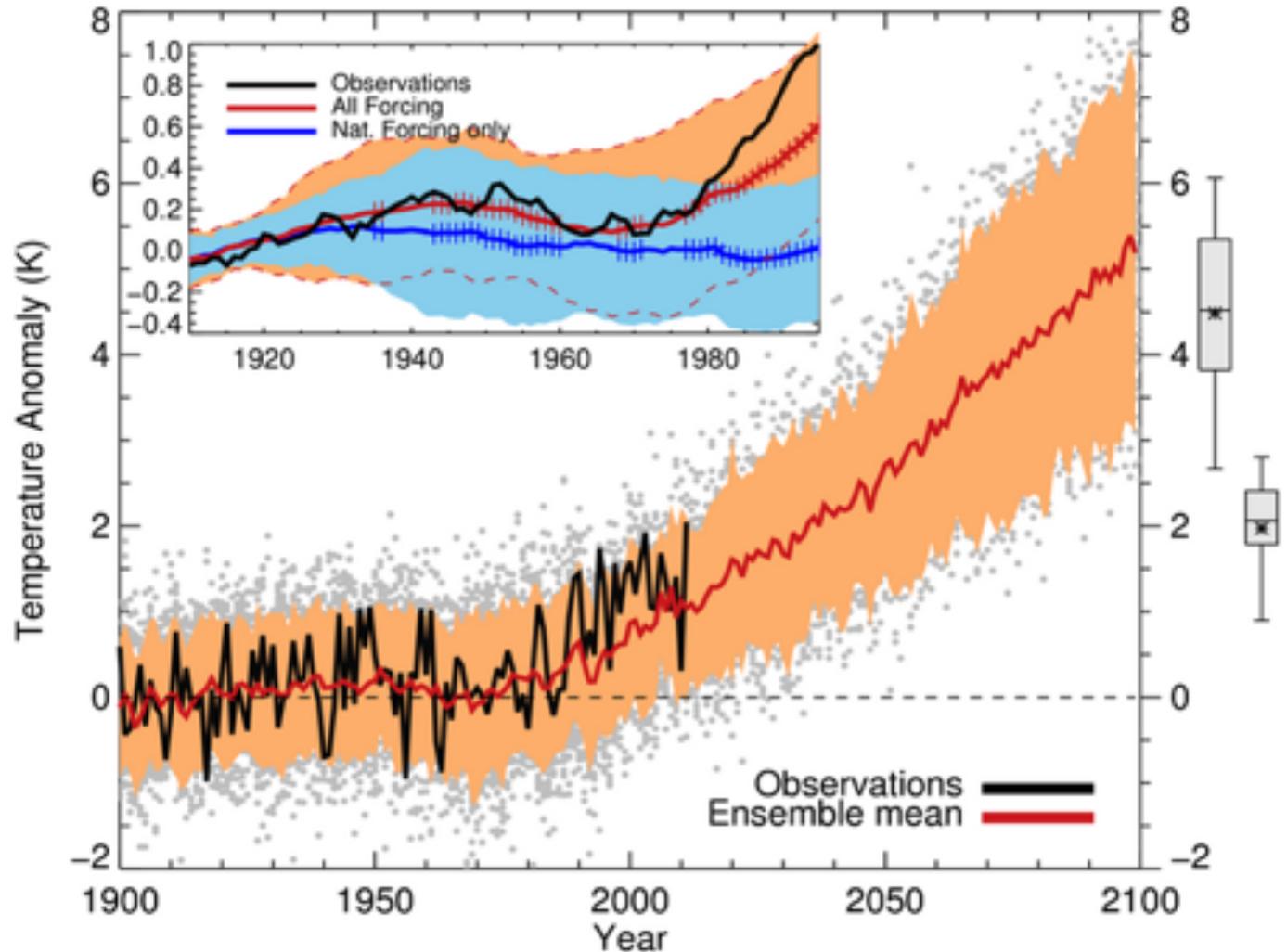
Year 1993, Month 1, Day 3



Ecart-type de la température de surface de la mer pour un simulation d'ensemble de 50 membres pendant 50 ans



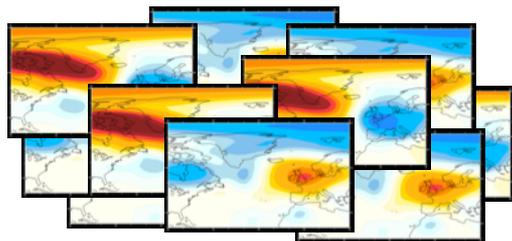
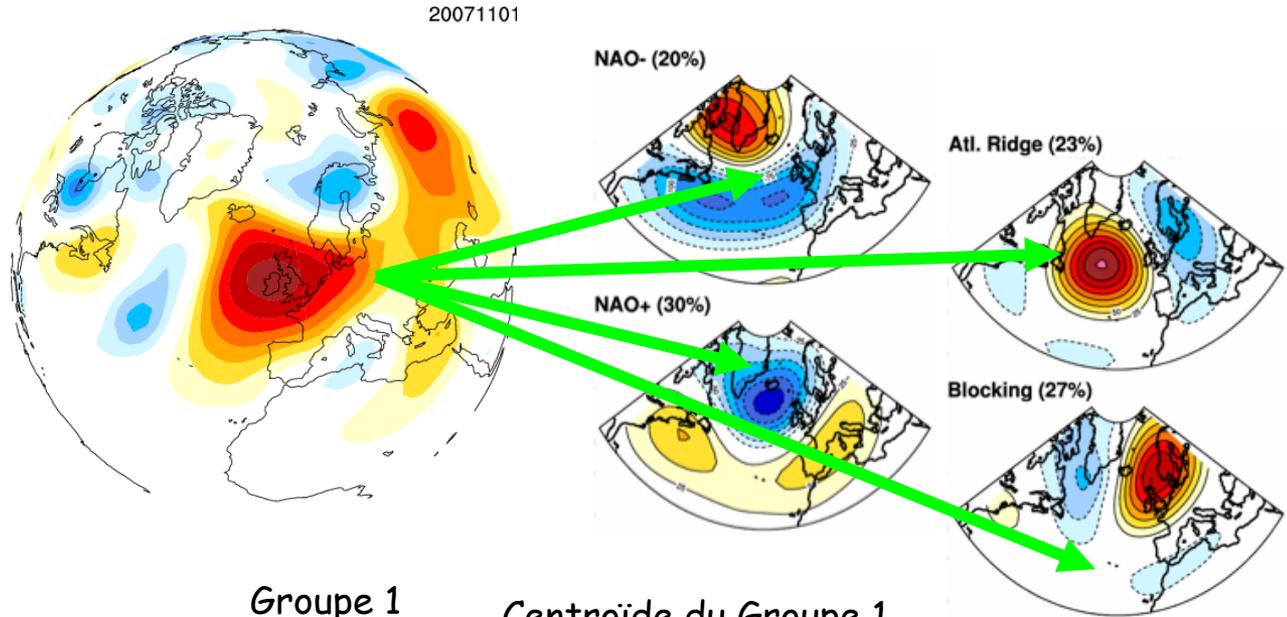
Incertitudes et projections climatiques



Évolution de la température en France

Méthodes statistiques

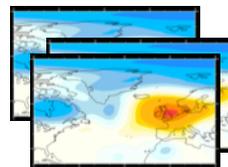
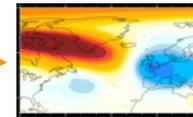
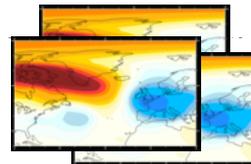
Classification linéaire
en régimes de temps



pression atmosphérique
moyennes journalières

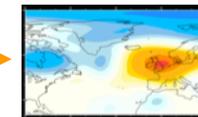
Groupe 1

Centroïde du Groupe 1



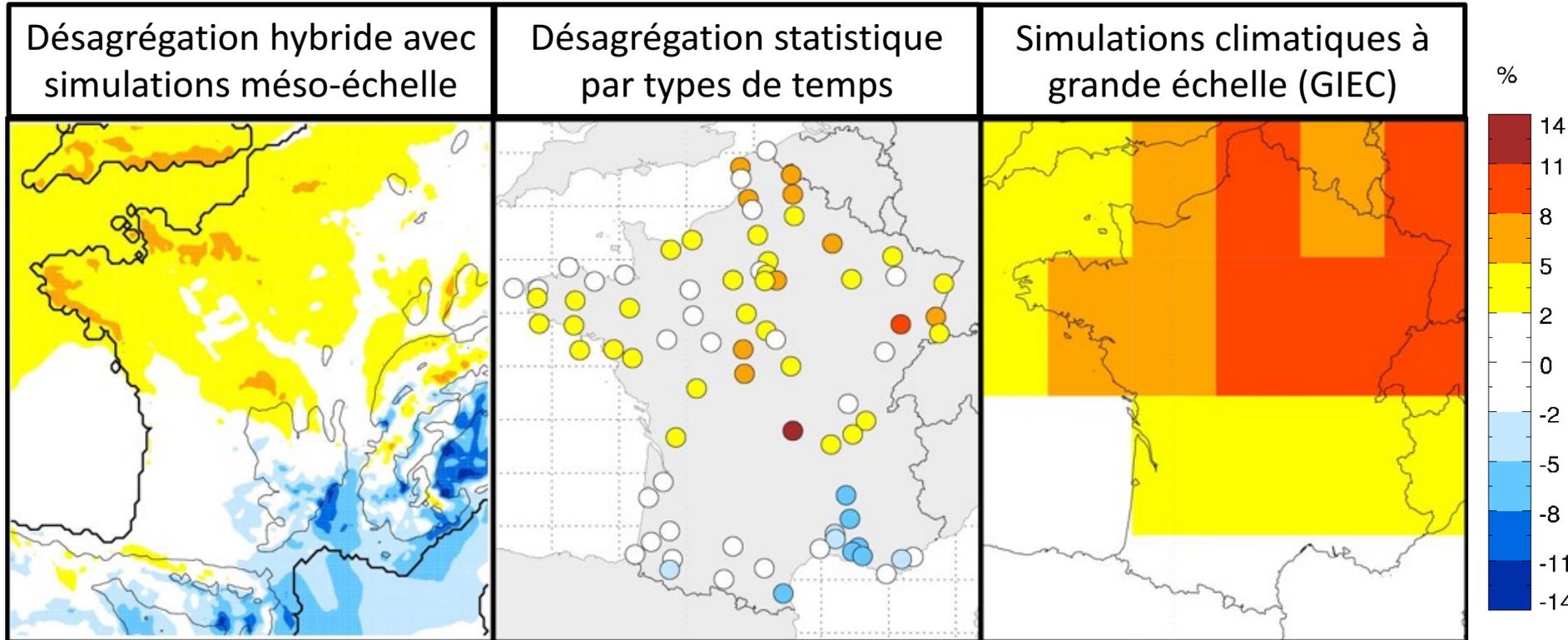
Groupe 2

Centroïde du Groupe 2



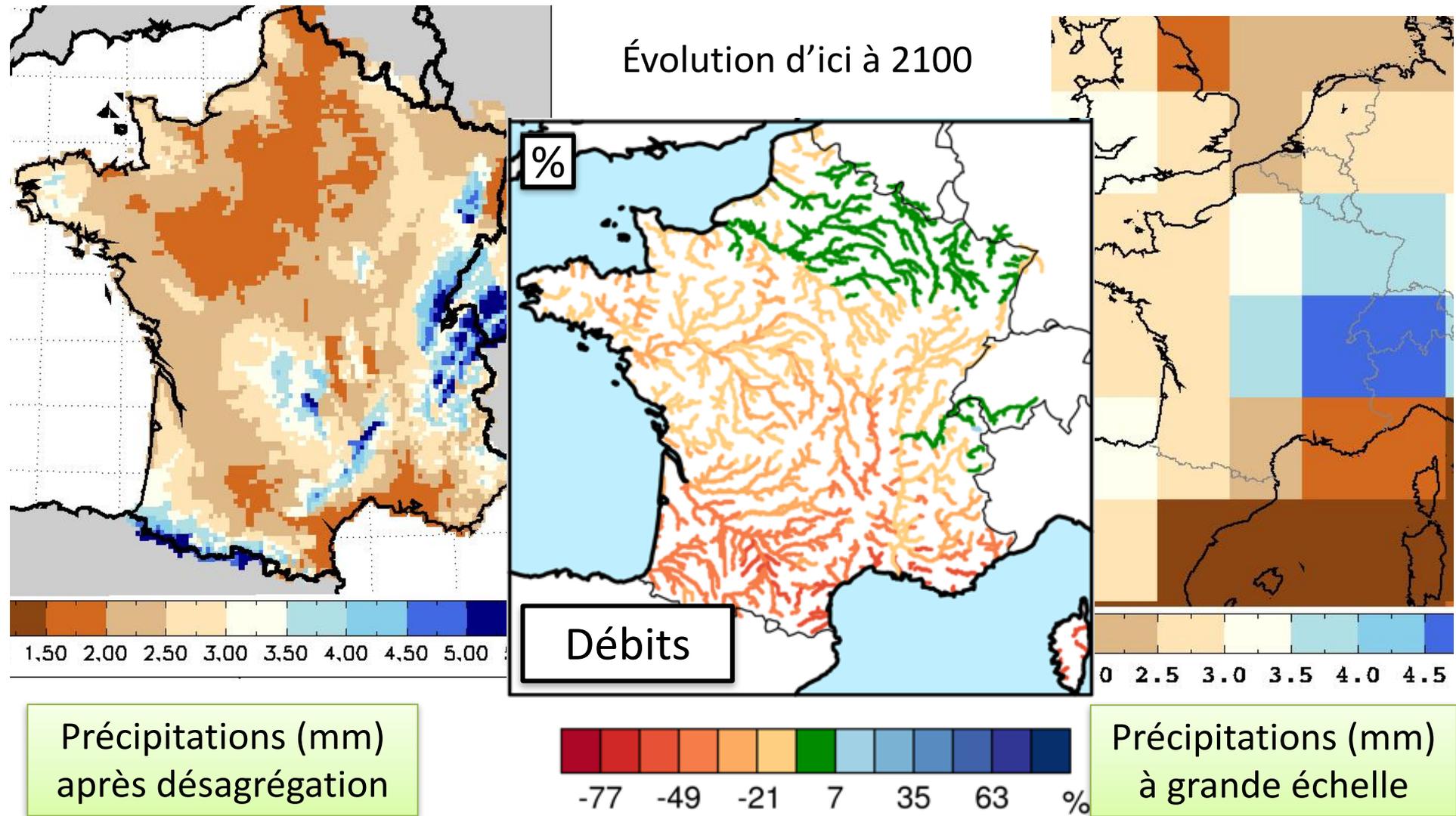
Méthode de
classification
non linéaire

Impact du changement climatique sur la puissance éolienne

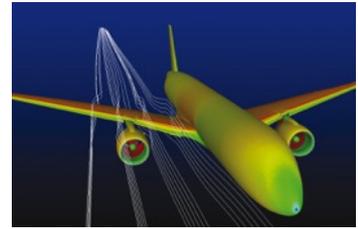
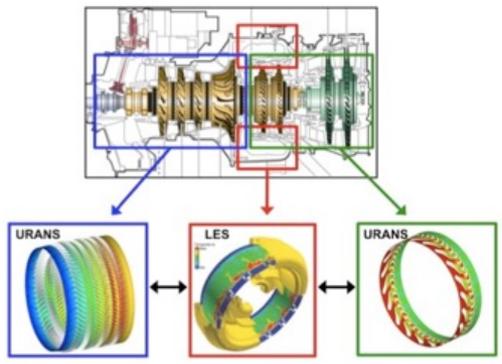
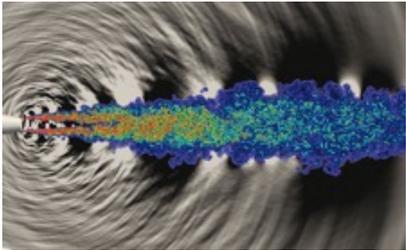
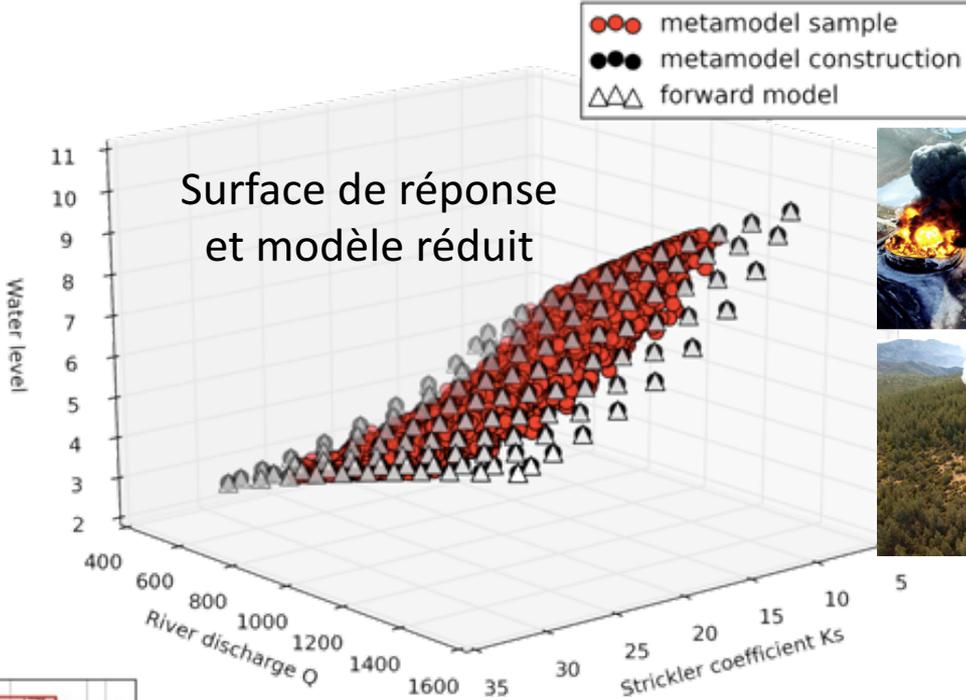
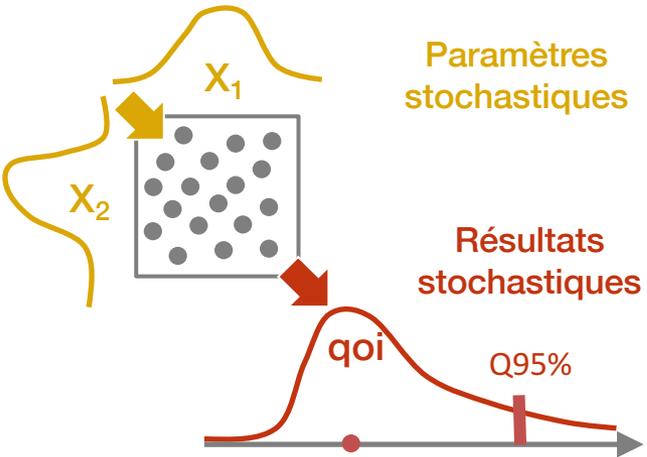


Évolution de la puissance éolienne en hiver d'ici à 2050

Impact du changement climatique sur les précipitations et le débit des rivières



La quantification d'incertitudes pour la modélisation

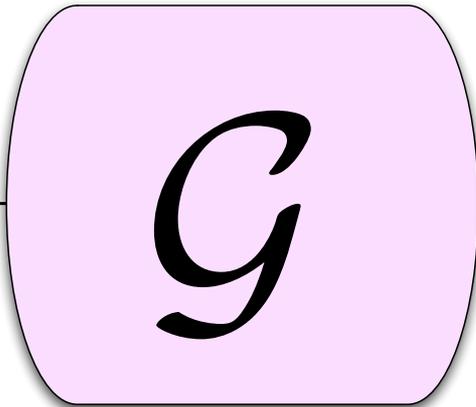


Identification des incertitudes

Espace des paramètres

- Constantes du modèle
- Géométrie
- Simplifications physiques
- Discrétisation numérique
- Conditions initiales
- Conditions aux limites
- Jeux de calibration
- Etc.

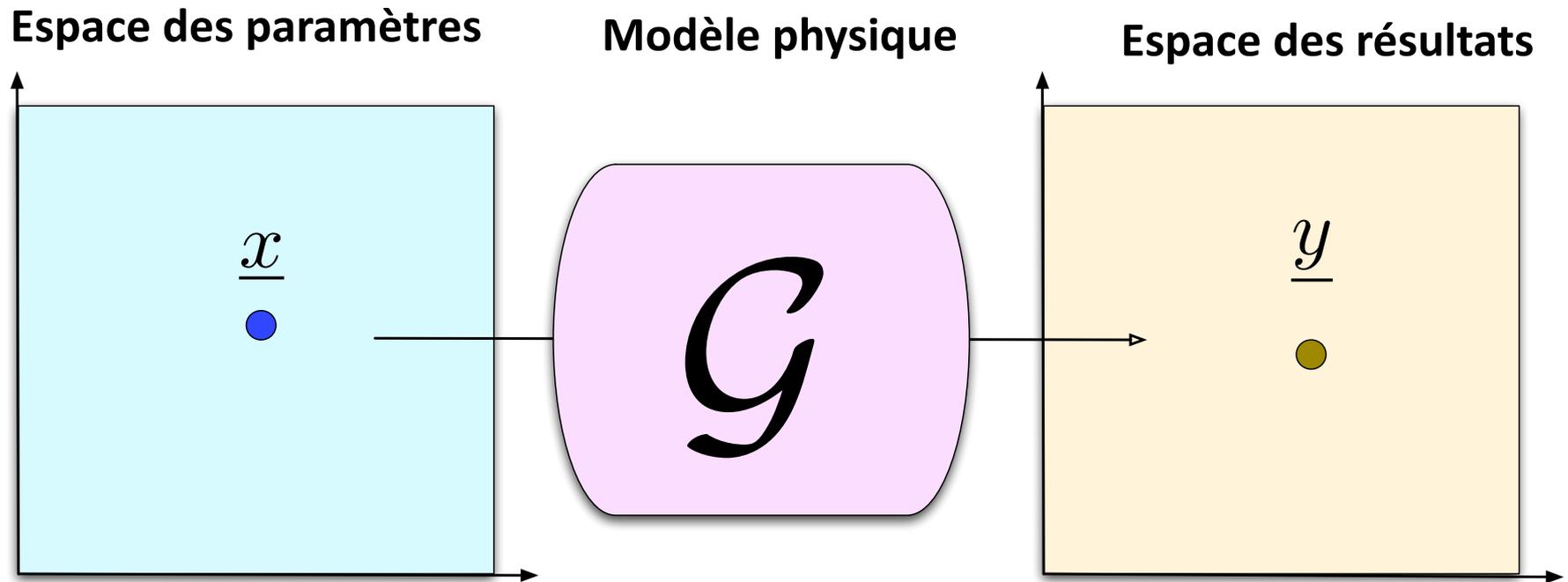
Modèle physique



Espace des résultats

- Champs 1D, 2D ou 3D
- Grandeurs en un ou plusieurs points
- Grandeurs intégrées
- Évolution temporelle d'une ou plusieurs grandeurs physiques
- Événements extrêmes
- Etc.

Simulations numériques du modèle

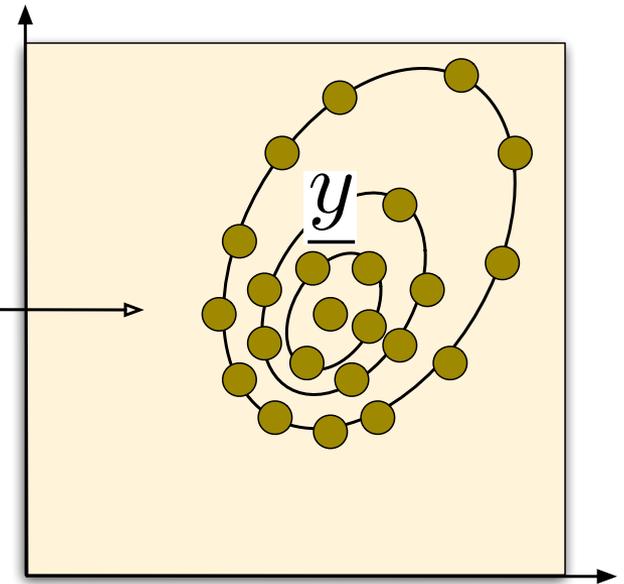
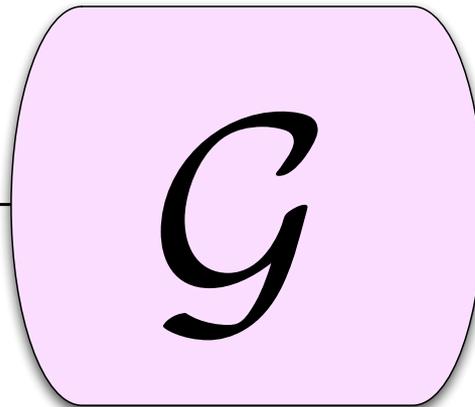
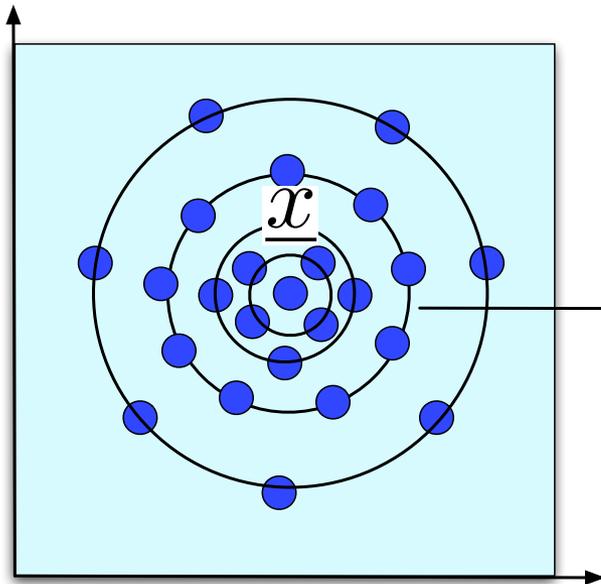


Expériences de Monte-Carlo couteuses

Espace des paramètres

Modèle physique

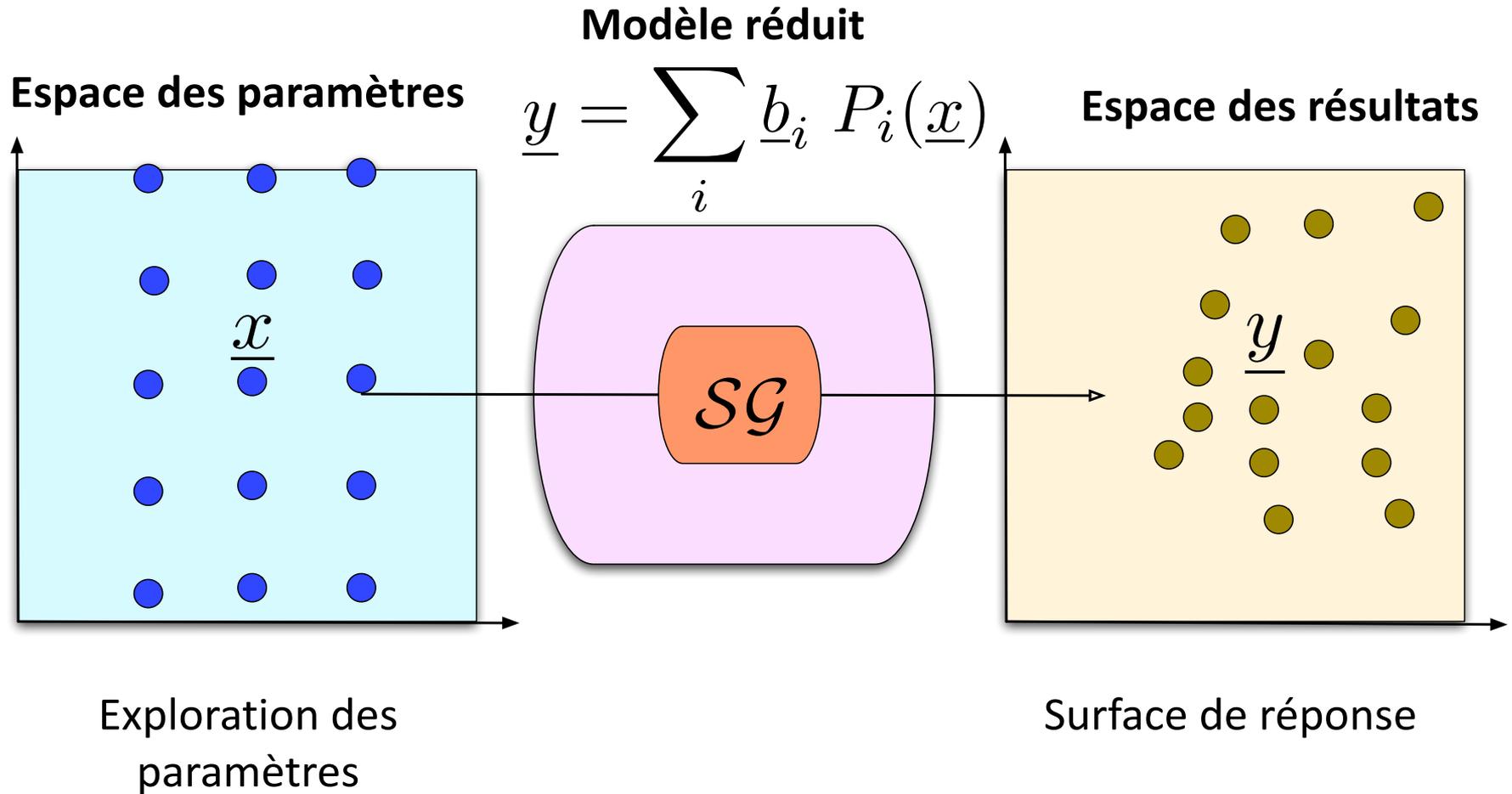
Espace des résultats



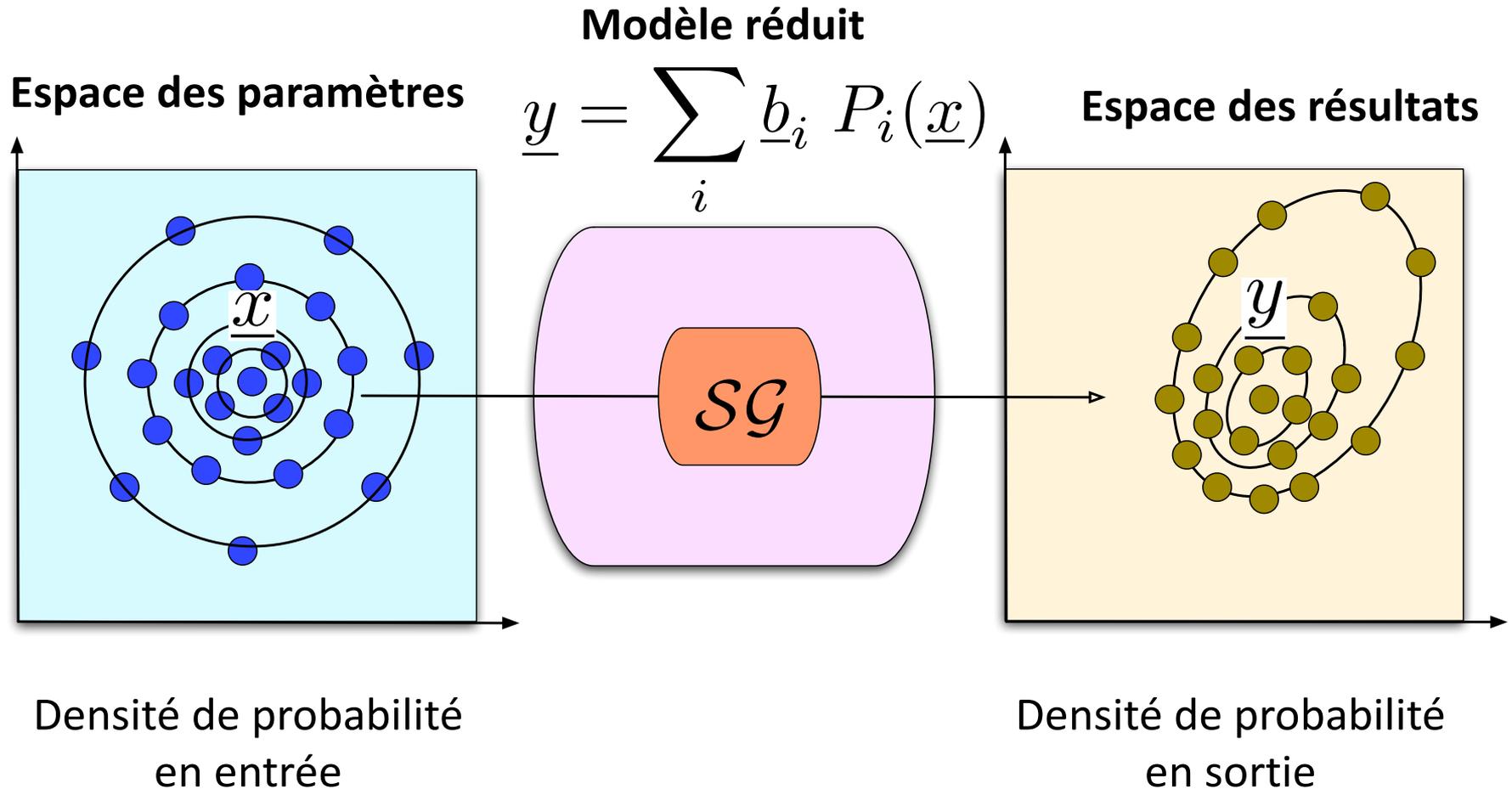
Densité de probabilité
en entrée

Densité de probabilité
en sortie

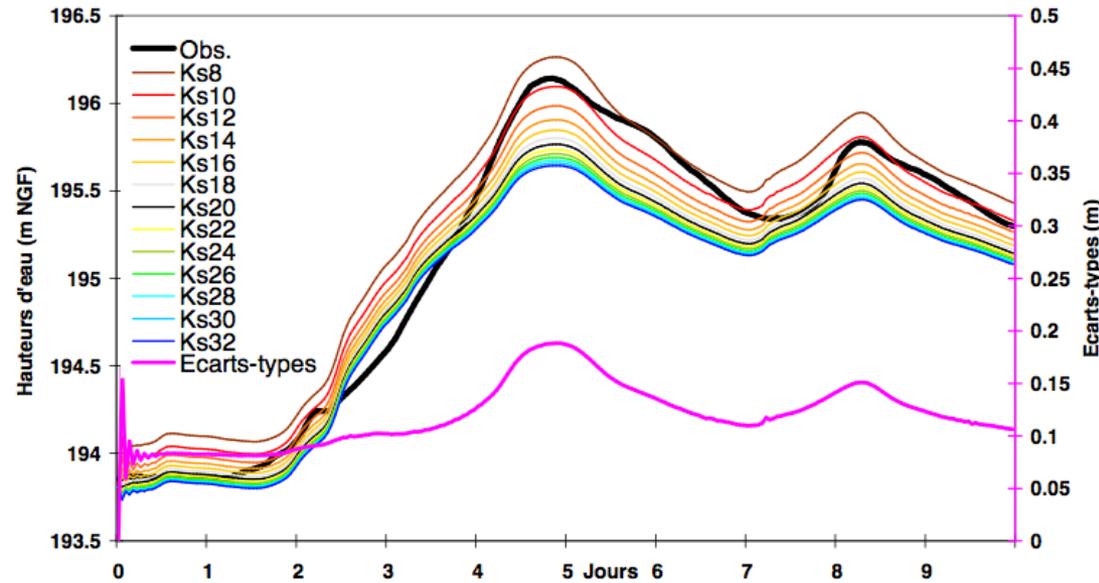
Fabrication d'un modèle réduit



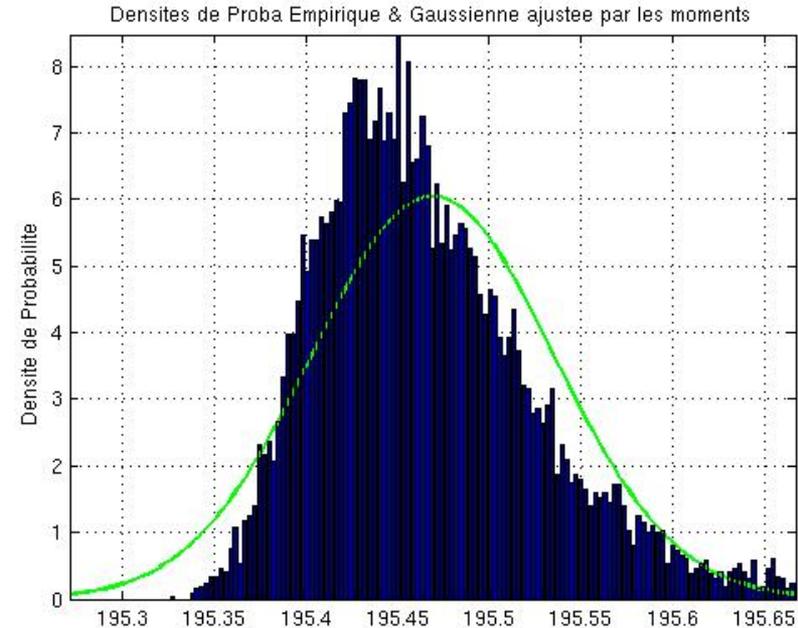
Expérience de Monte-Carlo en modèle réduit



Exemple de l'hydraulique fluviale



Influence du frottement sur la hauteur d'eau



Loi de probabilité de la hauteur d'eau



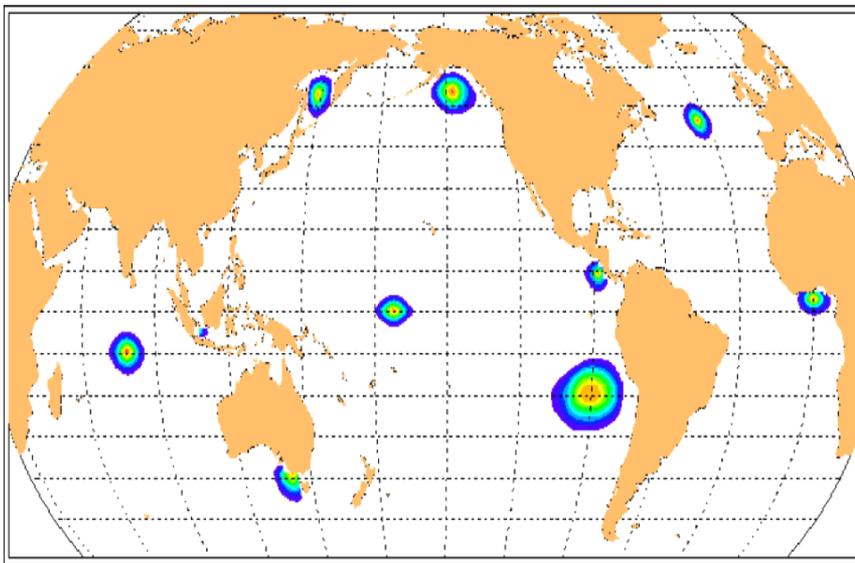
Plan de la présentation

1. Le Calcul à Haute Performance
2. Le Cerfacs et le calcul scientifique
3. Premier exemple : la conception des moteurs
4. Deuxième exemple : la simulation du climat
5. Quantification et analyse des incertitudes
- 6. Assimilation de données pour la modélisation**
7. Aperçu d'autres thématiques du Cerfacs

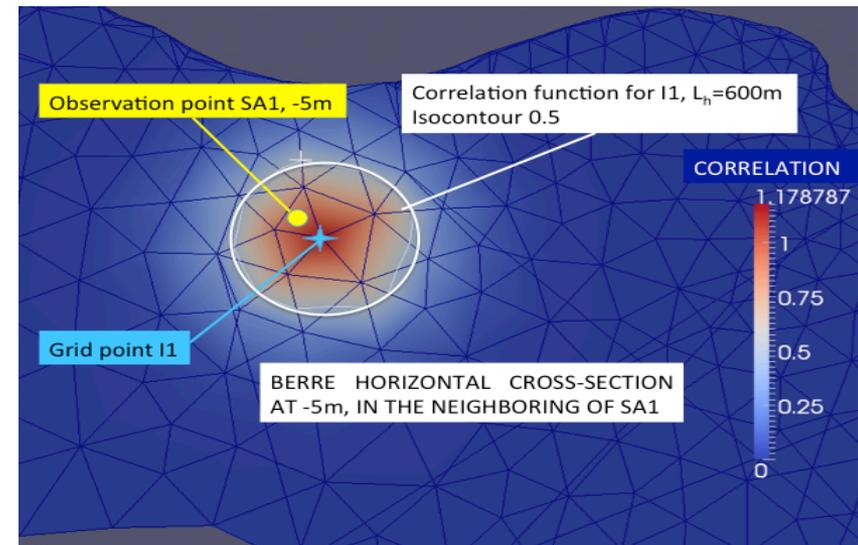
Incertitudes et assimilation de données

- La connaissance des incertitudes nourrit l'assimilation de données
- L'assimilation de données fournit une quantification des incertitudes

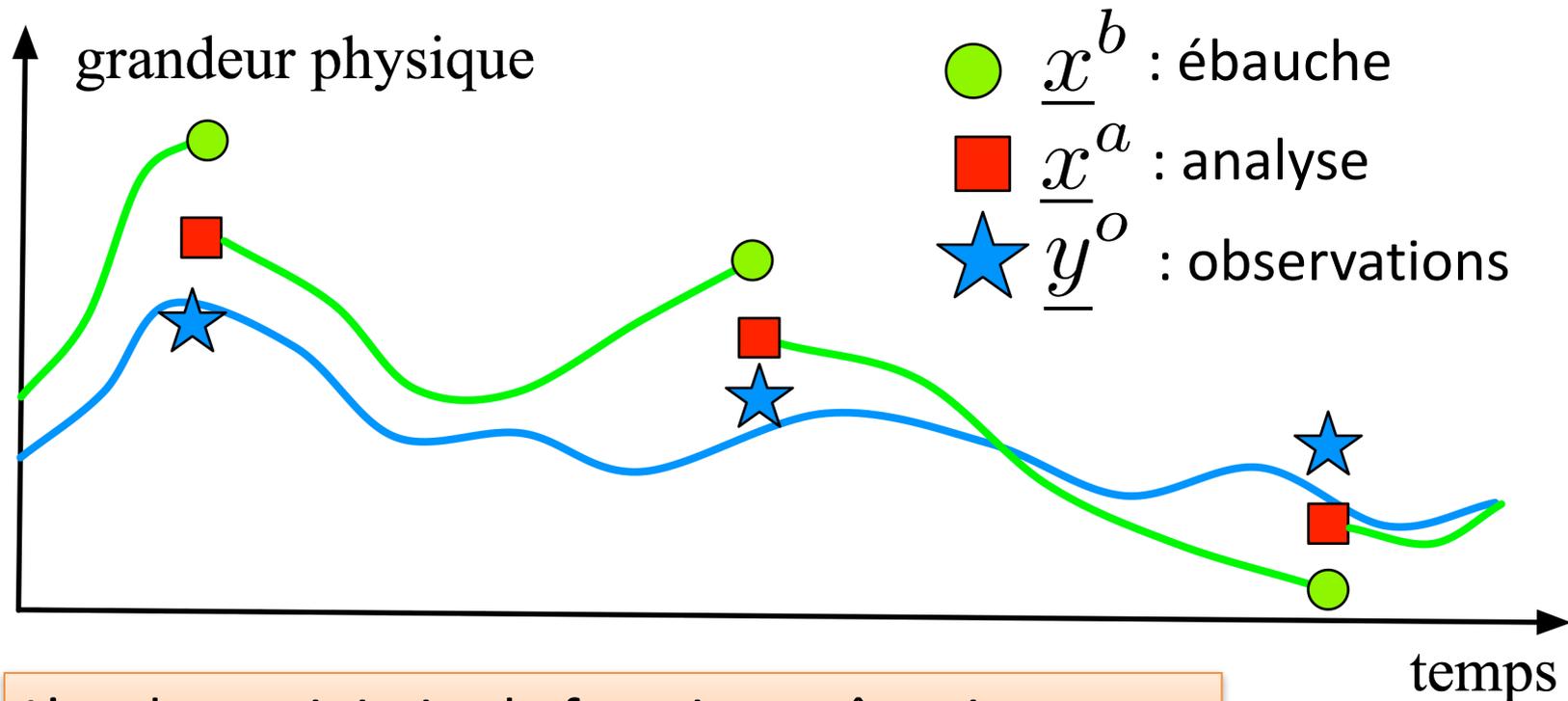
Corrélations d'erreurs d'ébauche pour le champ de température de surface de la mer



Corrélations d'erreurs d'ébauche pour le champ de salinité dans l'étang de Berre



Exemple d'une chaîne d'assimilation temporelle



L'analyse minimise la fonction coût suivante :

$$2 J(\underline{x}) = \|\underline{x} - \underline{x}^b\|_{\underline{\underline{B}}^{-1}}^2 + \|\underline{y}^o - \underline{G}(\underline{x})\|_{\underline{\underline{R}}^{-1}}^2$$

Modélisation statistique des erreurs



● \underline{x}^b : ébauche

■ \underline{x}^a : analyse

\underline{G} : opérateur
d'observation

★ \underline{y}^o : observations

$$J(\underline{x}_a) = \text{Min } J(\underline{x})$$

On pondère les informations en tenant compte de leurs incertitudes :

$$2 J(\underline{x}) = (\underbrace{\underline{x}}_{\bullet} - \underbrace{\underline{x}^b}_{\bullet})^T \underline{\underline{B}}^{-1} (\underbrace{\underline{x}}_{\bullet} - \underbrace{\underline{x}^b}_{\bullet}) + [\underbrace{\underline{y}^o}_{\star} - \underline{G}(\underline{x})]^T \underline{\underline{R}}^{-1} [\underbrace{\underline{y}^o}_{\star} - \underline{G}(\underline{x})]$$

$\underline{\underline{B}}$: matrice des covariances
d'erreurs d'ébauche

$\underline{\underline{R}}$: matrice des covariances
d'erreurs d'observation

Assimilation de données pour l'océanographie

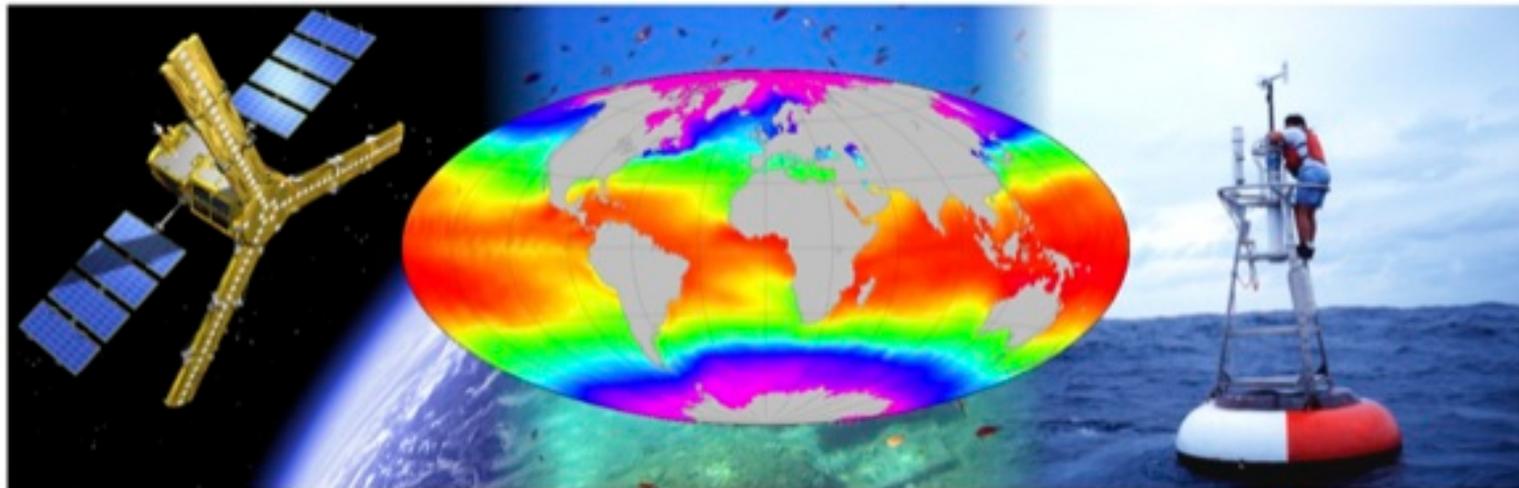
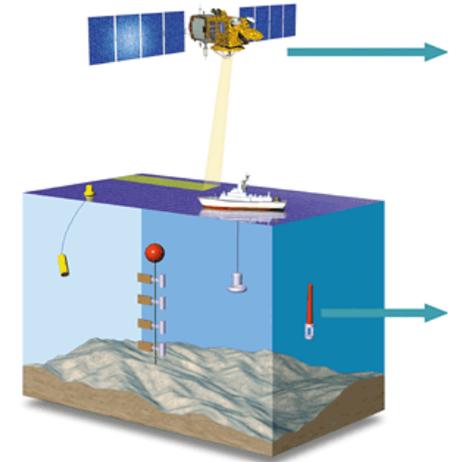


Espace de contrôle :

- Température et salinité (3D), altimétrie (2D)
- $O(10^6)$ points de grille

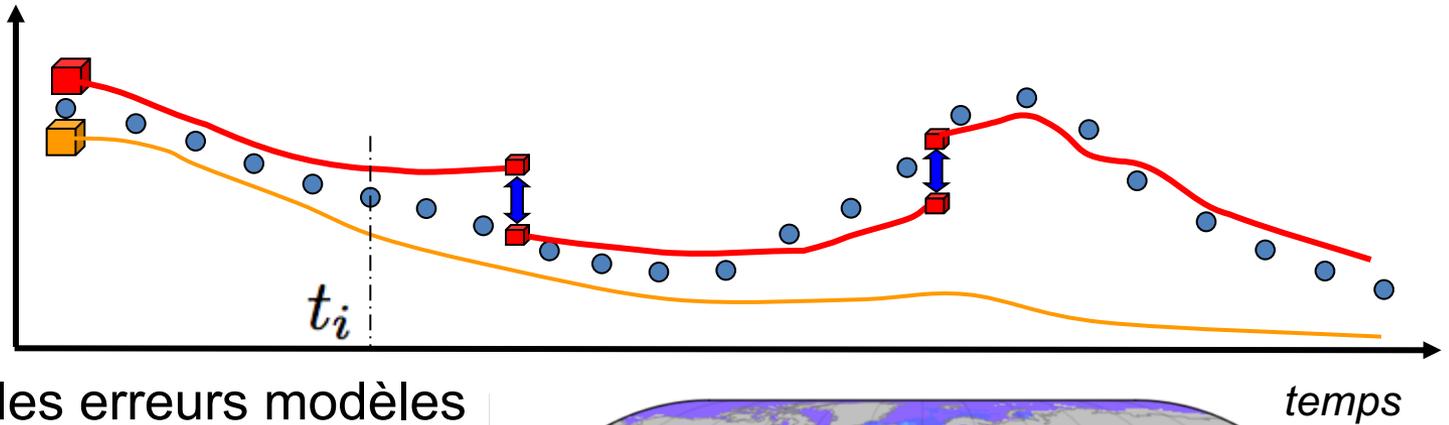
Espace des observations :

- Mesures satellitaires et in situ
- $O(10^4)$ mesures



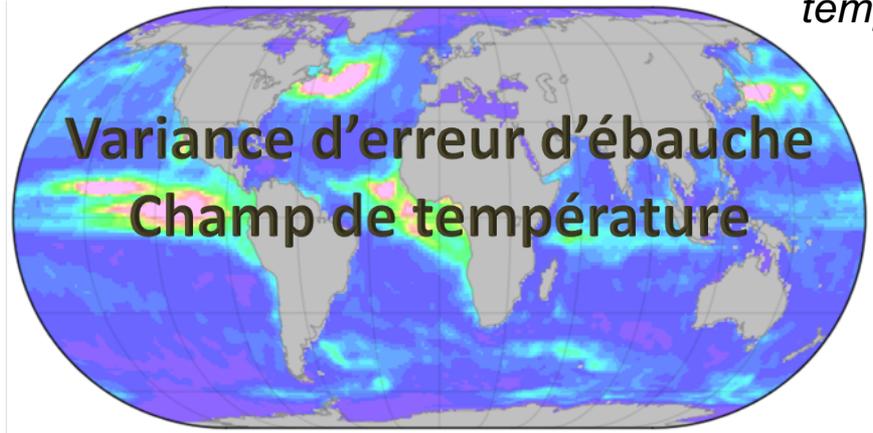
La chaîne 4D-var avec erreur modèle

-  : ébauche
-  : observations
-  : trajectoires
-  : état estimé
-  : corrections des erreurs modèles



$$J(\underline{x}^a, \underline{q}^a) = \text{Min } J(\underline{x}, \underline{q})$$



$$2 J(\underline{x}, \underline{q}) = \|\underline{x} - \underline{x}^b\|_{\underline{B}^{-1}} + \sum_i \left\| \underline{H} \left[\underline{y}_i^o - M_i(\underline{x}, \underline{q}) \right] \right\|_{\underline{R}^{-1}} + \|\underline{q}\|_{\underline{Q}^{-1}}$$

Assimilation de données pour la chimie atmosphérique

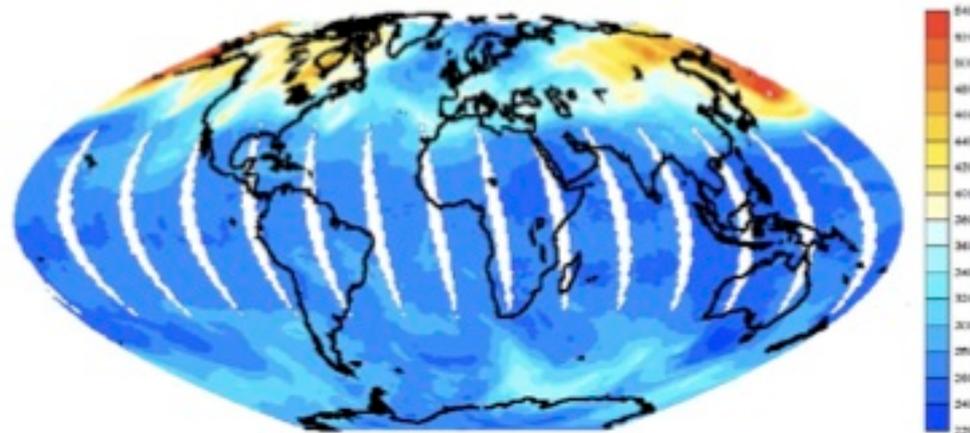


Espace de contrôle :

- Champ d'ozone, autres espèces chimiques (3D)
- Champs atmosphériques (3D)
- $O(10^6)$ points de grille

Espace des observations :

- Mesures satellitaires colonnes ou profils
- Mesures in situ-data
- $O(10^5)$ mesures



Assimilation de données pour la neutronique

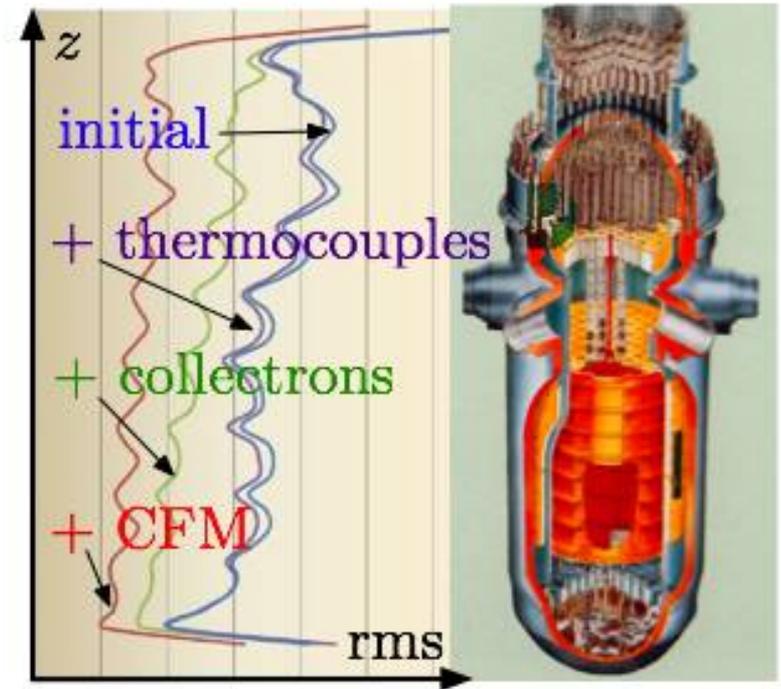
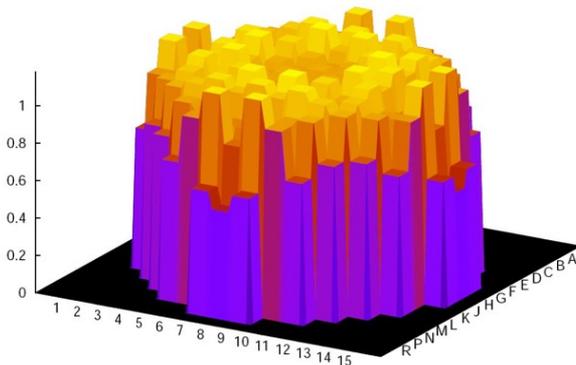


Espace de contrôle :

- Flux neutronique (3D)
- Concentrations chimiques (0D)
- Température (2D)
- $O(10^4)$ points de grille

Espace des observations :

- Flux neutronique ponctuels
- Sondes de température
- $O(10^3)$ mesures



Data assimilation for forest fires



Espace de contrôle :

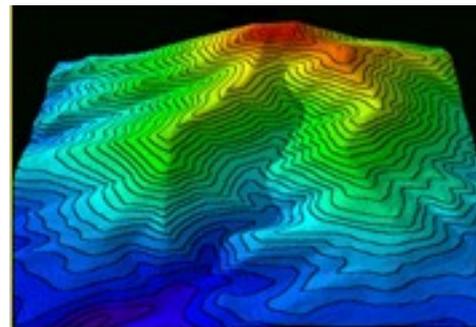
- Champ de vitesse (3D),
- Front de flamme (1D)
- Paramètres du modèle
- $O(10^5)$ points de grille

Espace des observations :

- Front de flamme
- Sondes de température
- $O(10^2)$ mesures



Météorologie

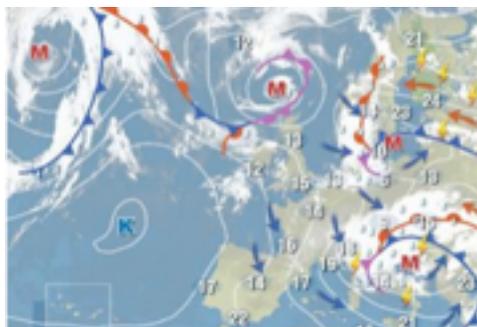


Topographie

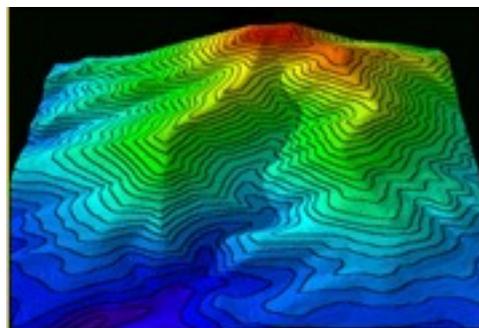


Végétation

La chaine d'assimilation FIREFLY



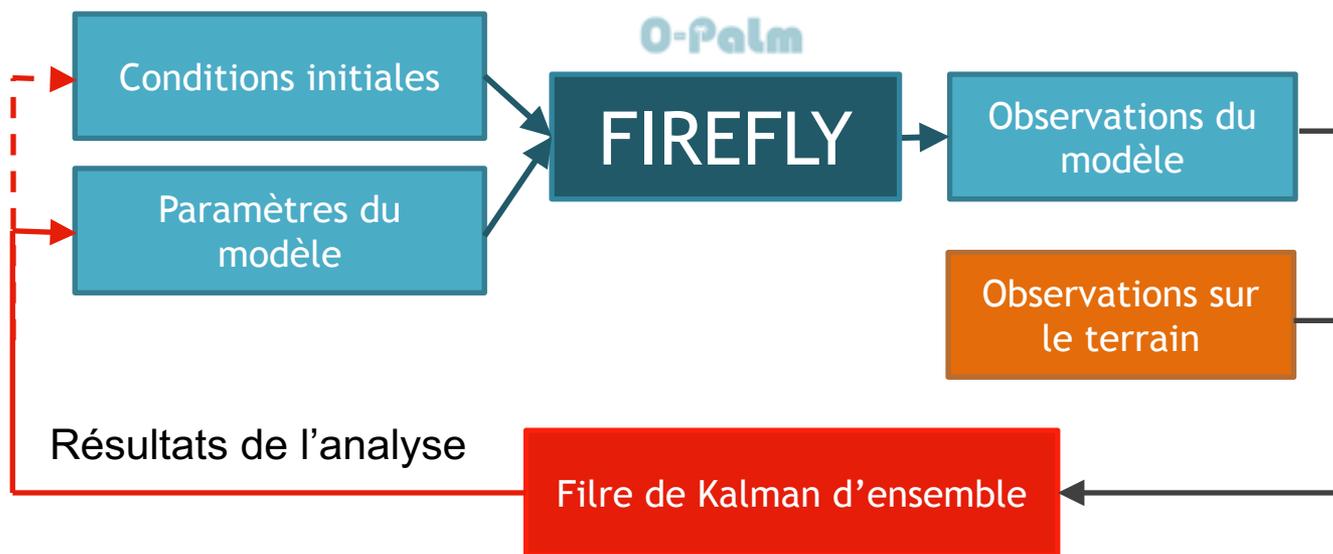
Météorologie



Topographie



Végétation



Assimilation de données pour l'hydrologie

\underline{x}

\underline{G}

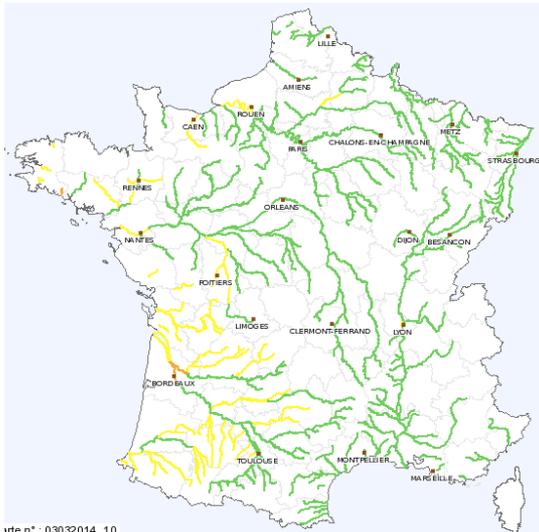
\underline{y}

Espace de contrôle :

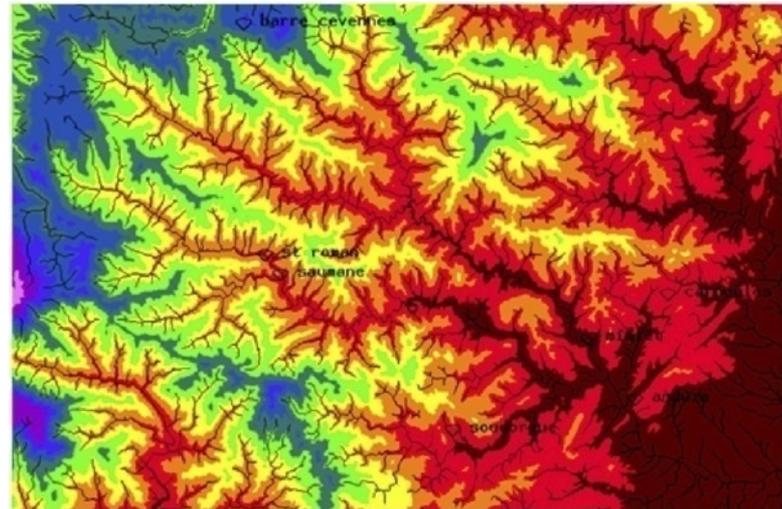
- Débit amont, hauteurs d'eau(1D), paramètre du modèle
- $O(10^3)$ points de grille

Espace des observations :

- Débit aval, hauteurs d'eau aux stations
- Mesure satellitaires
- $O(10^3)$ mesures

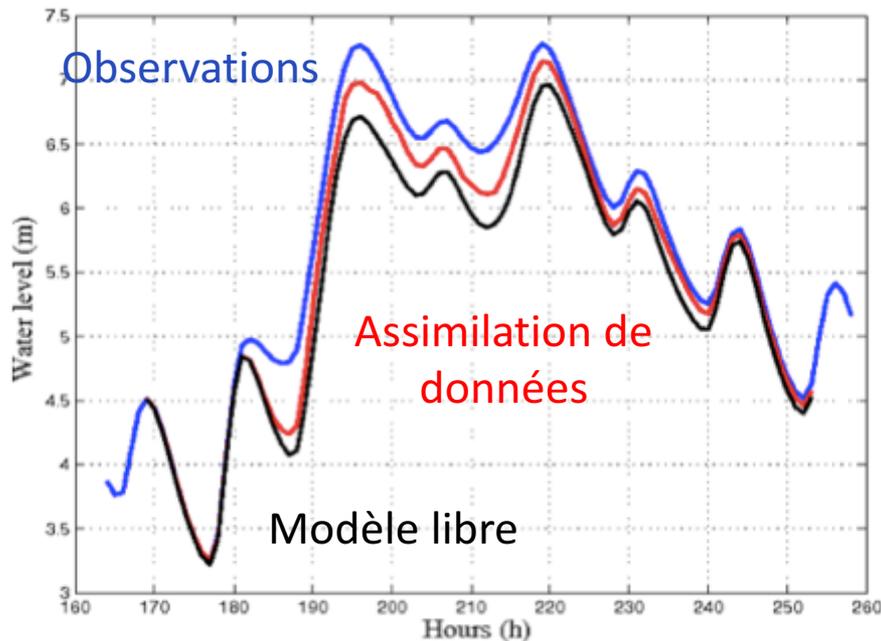


site n° : 03032014 10



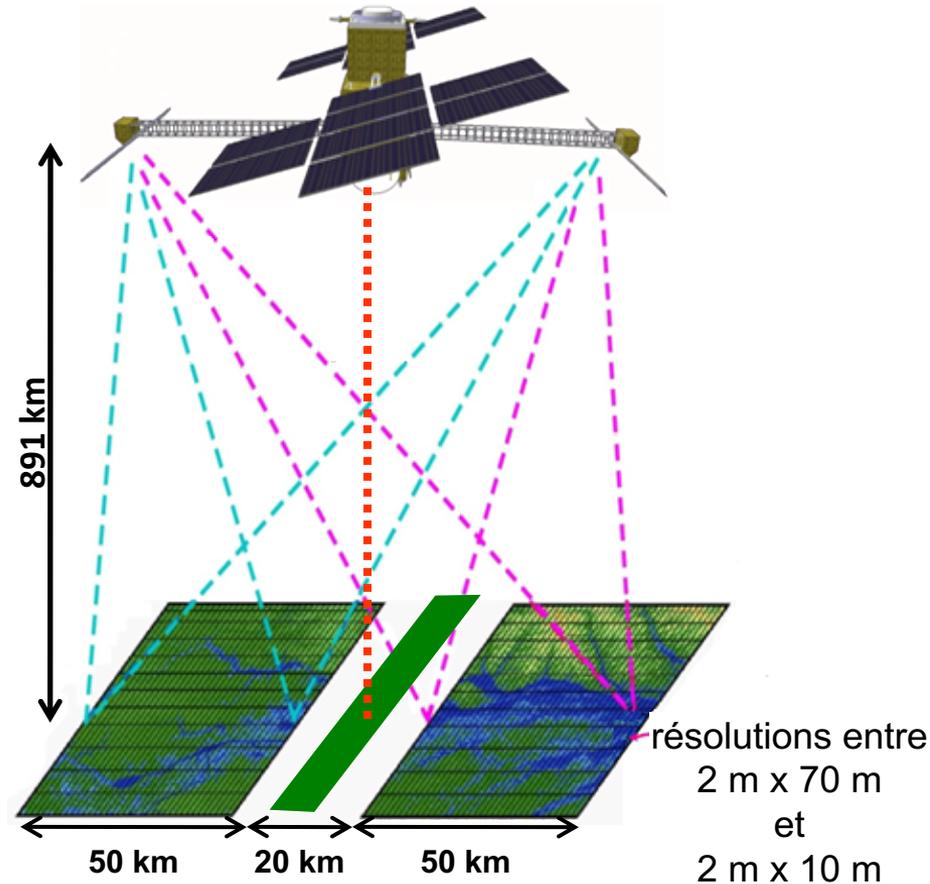
Assimilation de la hauteur d'eau des rivières

Assimilation des données de hauteurs d'eau in situ



Prévisions à 3h d'échéance des crues de l'Adour avec le modèle Mascaret

Mission CNES-NASA SWOT



Plan de la présentation

1. Le Calcul à Haute Performance
2. Le Cerfacs et le calcul scientifique
3. Premier exemple : la conception des moteurs
4. Deuxième exemple : la simulation du climat
5. Quantification et analyse des incertitudes
6. Assimilation de données pour la modélisation
- 7. Aperçu d'autres thématiques du Cerfacs**

Veille technologique sur les supercalculateurs

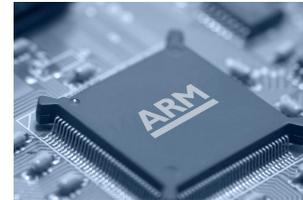
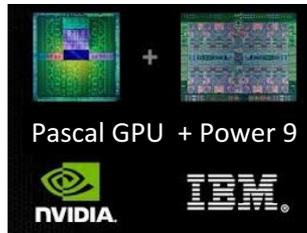
◆ Nouvelles architectures

2016/2017

2017

2018 ?

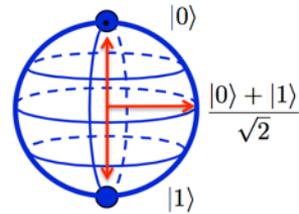
...



0

1

Classical Bit



Qubit

◆ Logiciels pour le calcul parallèle



Python for HPC

OpenACC ?

◆ Réseau

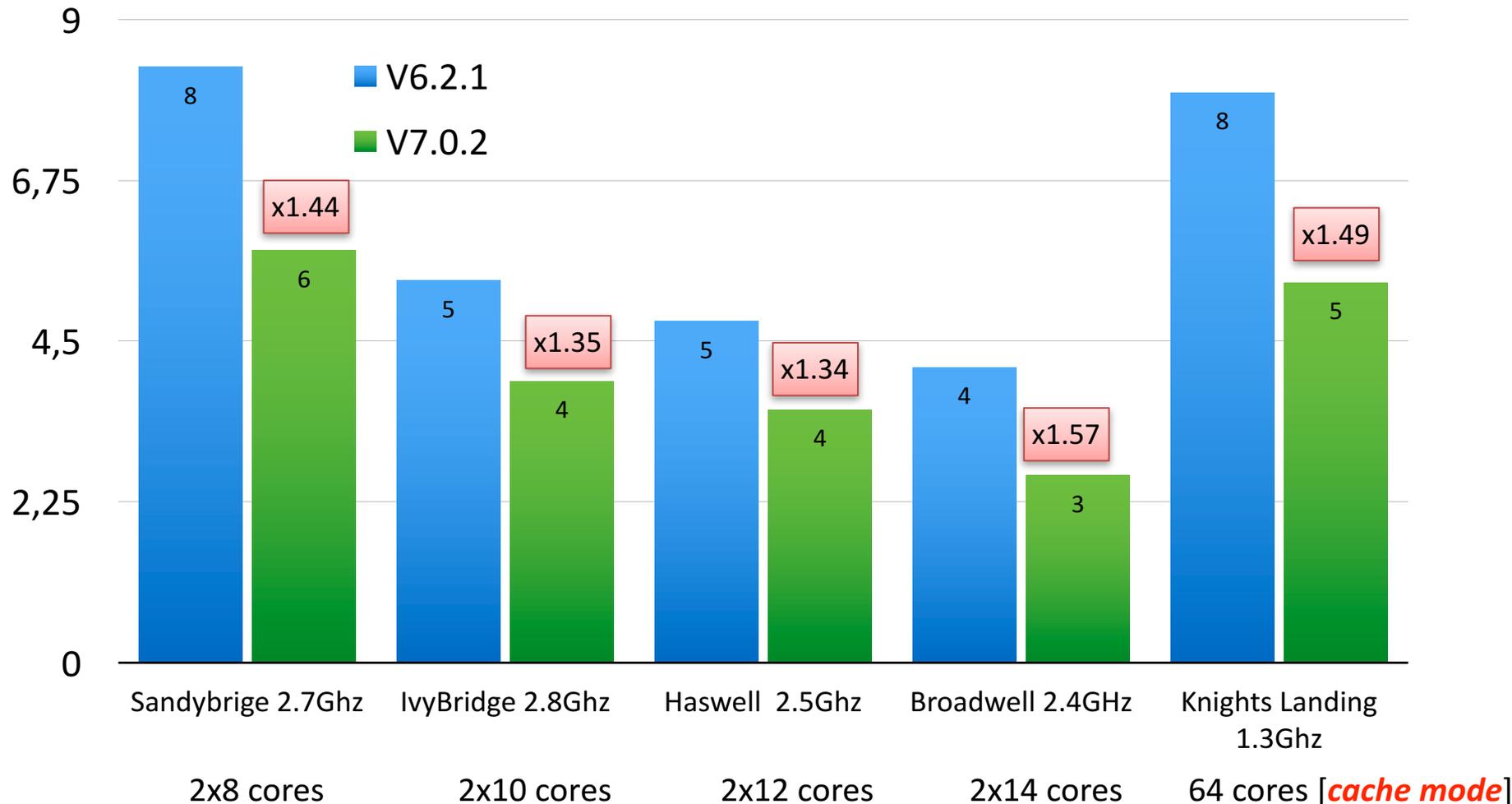


◆ Stockage

◆ Mémoire

Optimisation des codes : l'exemple d'AVBP

Temps par itération (s)



Interfaces homme/machine pour les codes industriels



Coolant

Calcul
 Geometrie
 Abattement
 Percage
 Thermique
 Fichiers d'entree
 Pt. Fonctionnement
 Mapping perçage

| Label | TAF (auto) | Epaisseur | Diametre | Alpha, ec | Beta, ang | Nb. trous | Azimuth | Thermiqu | Type de |
|----------|------------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|----------|----------|
| templat | +0.04490 | 0.0008 | 0.0006 | 60.0 | 0.0 | 150 | 0.0 | d | multiple |
| templat | +0.1508 | 0.0008 | 0.0005 | 60 | 0.0 | 125 | 0.0 | d | multiple |
| trouxt1 | +0.07270 | 0.0008 | 0.0005 | 0.0 | 0.0 | 36 | 5.0 | d | trou |
| trouint1 | +0.0759 | 0.0008 | 0.0005 | 0.0 | 0.0 | 36 | 5.0 | d | trou |
| trouxt2 | +0.10660 | 0.0008 | 0.0003 | 0.0 | 0.0 | 36 | 5.0 | d | trou |
| trouint2 | +0.1051 | 0.0008 | 0.0003 | 0.0 | 0.0 | 36 | 5.0 | d | trou |
| trouxt3 | +0.10660 | 0.0008 | 0.0003 | 0.0 | 0.0 | 18 | 0.0 | d | trou |
| trouint3 | +0.1051 | 0.0008 | 0.0003 | 0.0 | 0.0 | 18 | 0.0 | d | trou |
| injAero | 60.00003 | 0.0008 | 0.01 | 0.0 | 0.0 | 18 | 0.0 | d | trou |
| filmixt | +0.01890 | 0.0008 | 0.001 | 0.0 | 0.0 | 72 | 0.0 | d | trou |
| filmint | +0.0196 | 0.0008 | 0.001 | 0.0 | 0.0 | 72 | 0.0 | d | trou |

l.moy. (auto) [m]: 0
 Epaisseur (auto)[m]: 0.0008
 Alpha, ecart a la normale [deg.]: 0.0
 Nb. trous: 18
 Thermique: inclus ds une languette (R)
 independant (D)

Type de refroidissement: trou

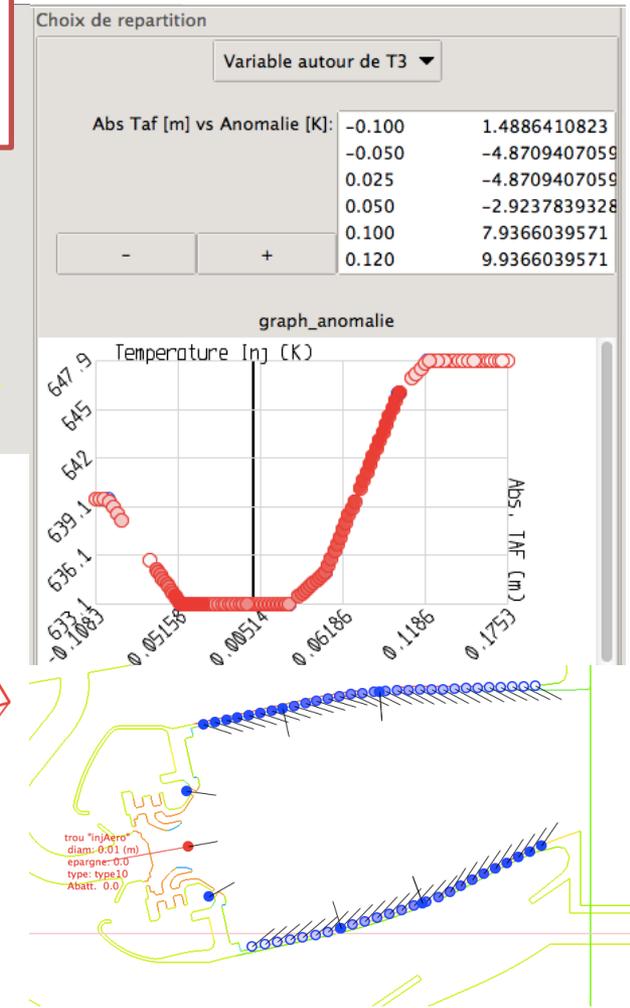
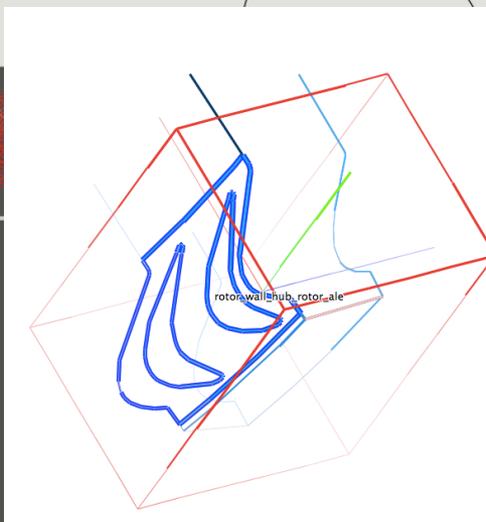
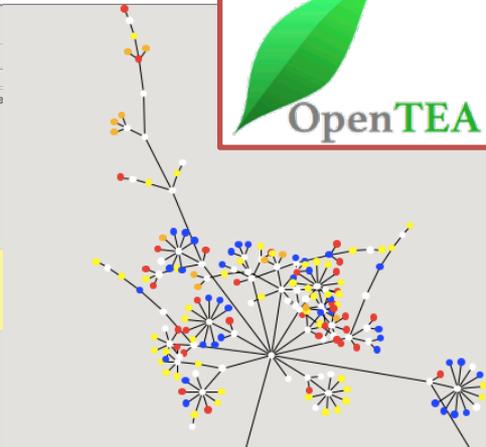
type de trou: type10

Trou classique.

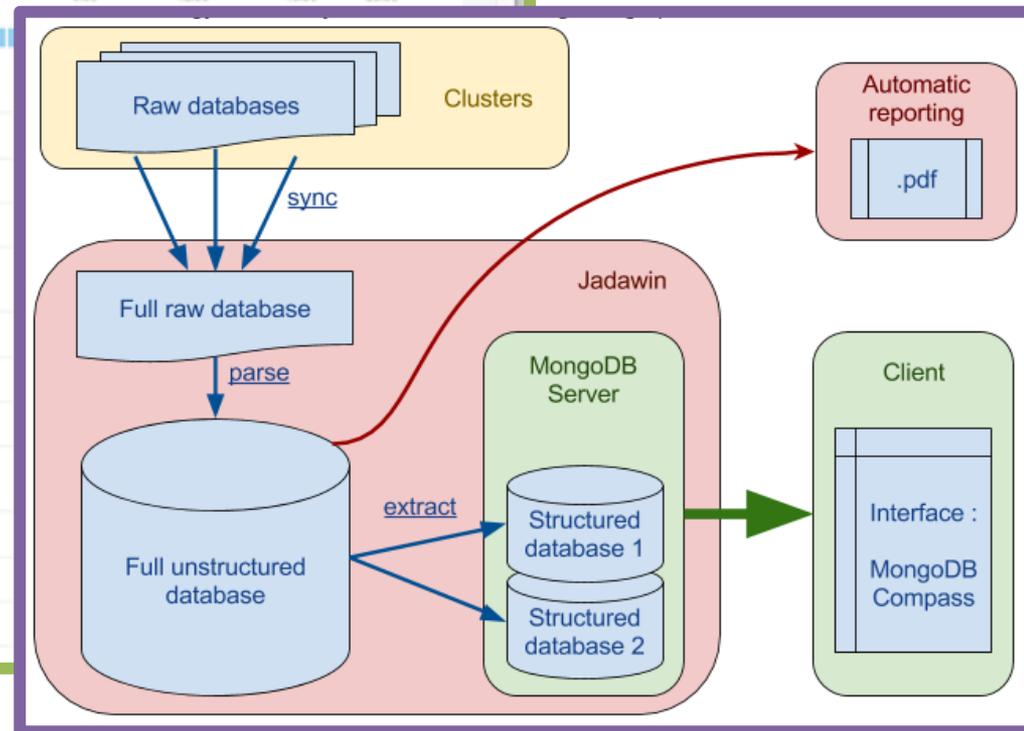
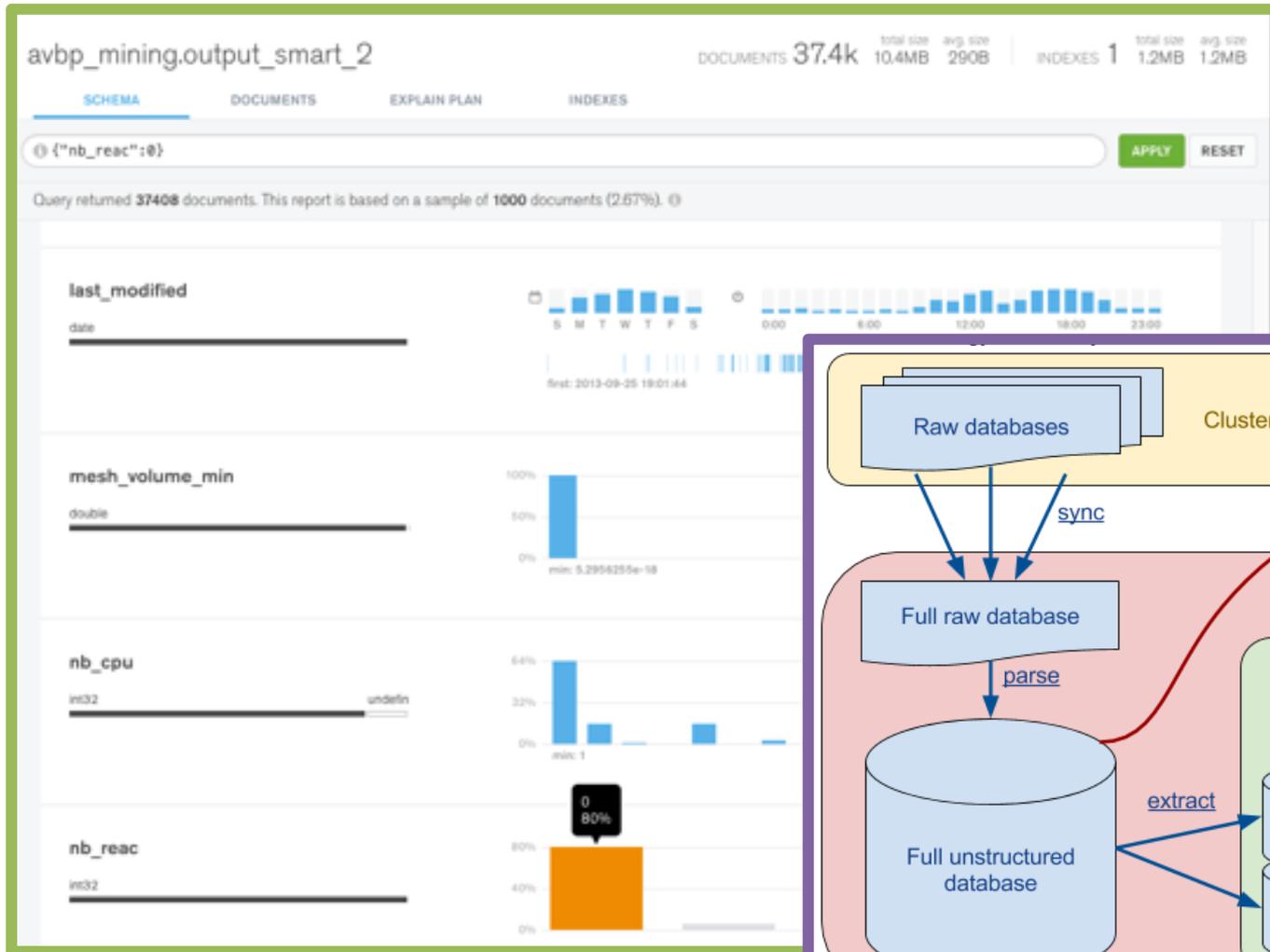
Rendering: 0.408s, 1000.0FPS, Center of rotation x,y,z (m): 0.02284

Freeview:

- add_output_bammedges hidden -
- add_output_bing_edges hidden -
- add_output_bong_edges hidden -
- energydeposit hidden -
- energydeposit_001edgges hidden -
- fluid
- fluid_hip_per_inlet facets/red hidden -
- fluid_hip_per_outlet facets/red hidden -
- fluid_inlet facets/red hidden -
- fluid_outlet facets/red hidden -
- fluid_wall_ammont facets/red hidden -
- fluid_wall_aval_MP facets/red hidden -
- fluid_wall_MPF facets/red hidden -
- fluid_wall_up facets/red hidden -

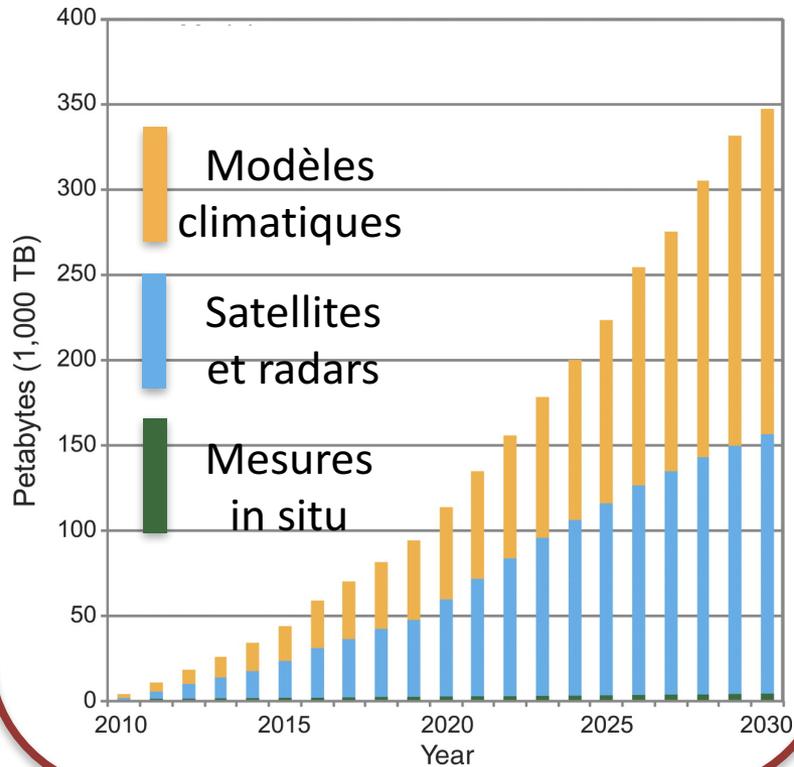


Big Data pour le calcul à haute performance

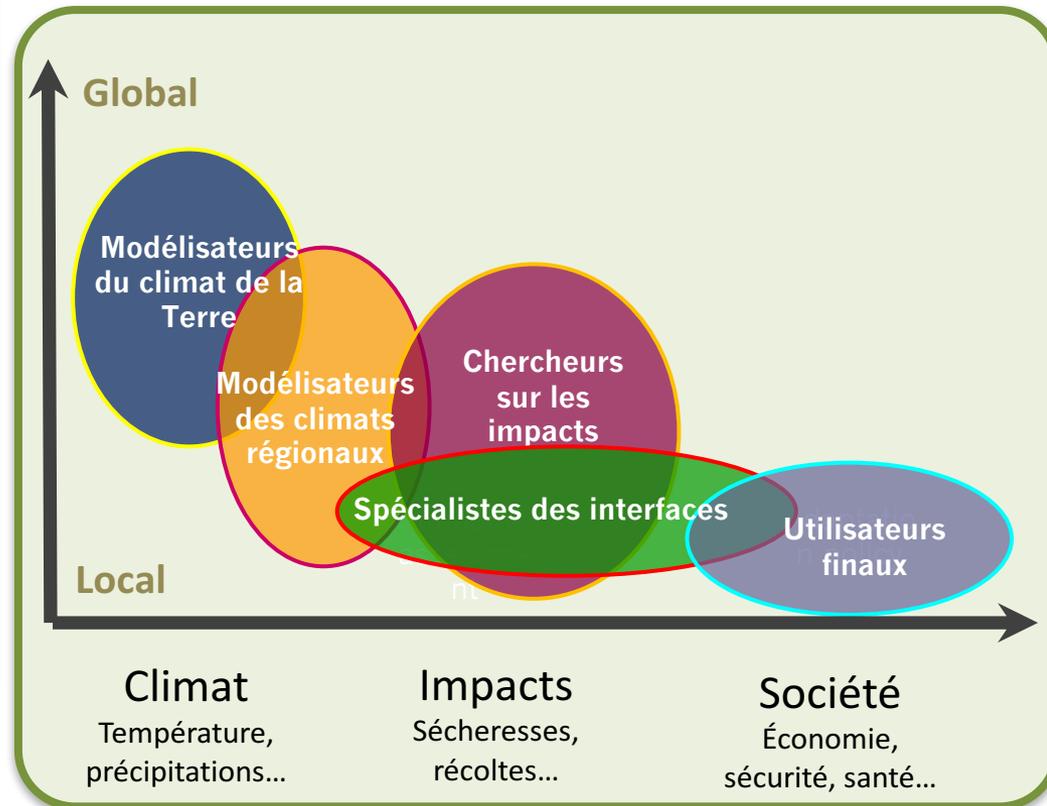
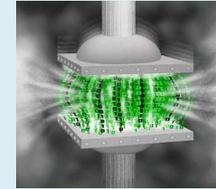


Le « Big Data » et le climat

Progression du volume des données climatiques
(1 Pétaoctet = 10^3 To)



Réduction de données



Plateformes de distribution de données

The screenshot displays the 'is-enes' website interface. At the top left, the logo for 'is-enes' is shown with the tagline 'Exploring climate model data'. To the right, there are social media links for LinkedIn, IS-ENES, Contact, and Sign in. A search bar contains the URL 'http://climate4impact.eu'. Below the header is a navigation menu with items: Home, Data discovery, Downscaling, Documentation, Help, About us, Sign in, and a search icon. A secondary menu includes Search, Catalogs, Explore your own catalogs or files, Map & Plot, and Processing. The main content area features a 'Filters' section with a '? Help' button. Filter categories include Project (22), Parameter (1913), Frequency (19), Experiment (166), Domain (30), Model (106), Access (7), Date, and Geobox. There are also buttons for 'Free text', '> show all filters', and 'clear all filters'. Below the filters, there are two tabs: 'Quick select Project' and 'All Project properties (22)'. The 'Quick select Project' tab is active and shows three columns of data selection options: CMIP5, CORDEX, and OBSERVATIONS. Each column has two checkboxes with corresponding labels.

is-enes
INFRASTRUCTURE FOR THE EUROPEAN NETWORK
FOR EARTH SYSTEM MODELLING

Exploring climate model data

[http://climate4impact.eu](#)

Home | Data discovery | Downscaling | Documentation | Help | About us | Sign in

Search | Catalogs | Explore your own catalogs or files | Map & Plot | Processing

Filters ? Help

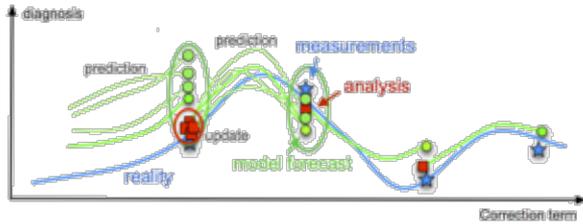
Project (22) | Parameter (1913) | Frequency (19) | Experiment (166) | Domain (30) | Model (106) | Access (7) | Date | Geobox

Free text | > show all filters | clear all filters

Quick select Project | All Project properties (22)

| CMIP5 | CORDEX | OBSERVATIONS |
|---|---|---|
| <input type="checkbox"/> GCM data CMIP5 project | <input type="checkbox"/> RCM data CORDEX | <input type="checkbox"/> satellite data obs4MIPs |
| <input type="checkbox"/> GCM data NEXGDDP | <input type="checkbox"/> RCM data CORDEX-Adjust | <input type="checkbox"/> station data CLIPC project |

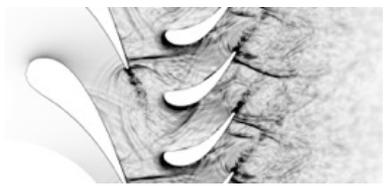
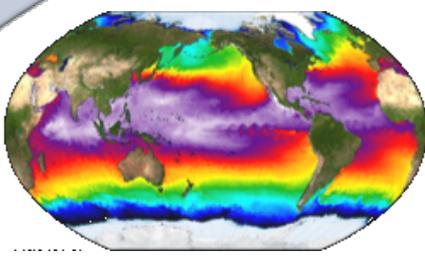
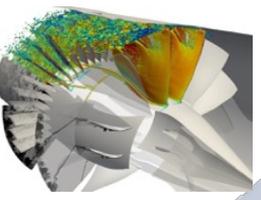
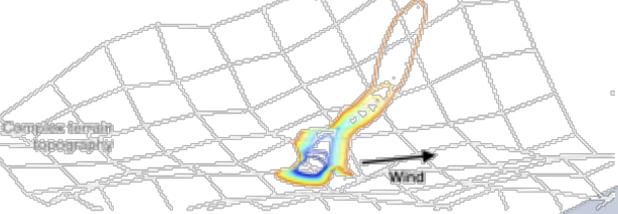
Couplage et coupleurs



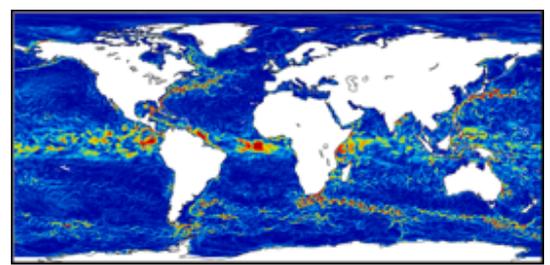
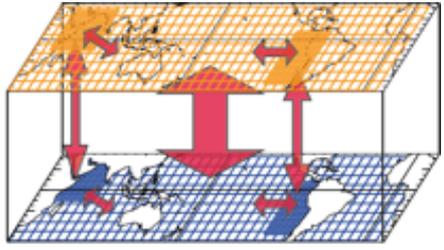
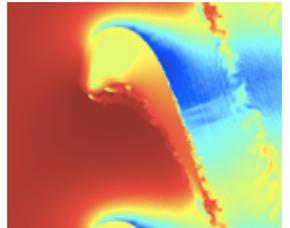
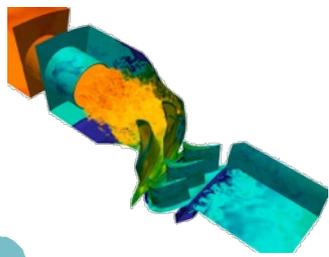
$$\square = \square + K(\star - G(\square))$$

↑
stochastic representation of the Kalman gain matrix

Wind- and slope-aided propagation (1000 s)



O_{PEN}-Palm



Coupleur OpenPalm

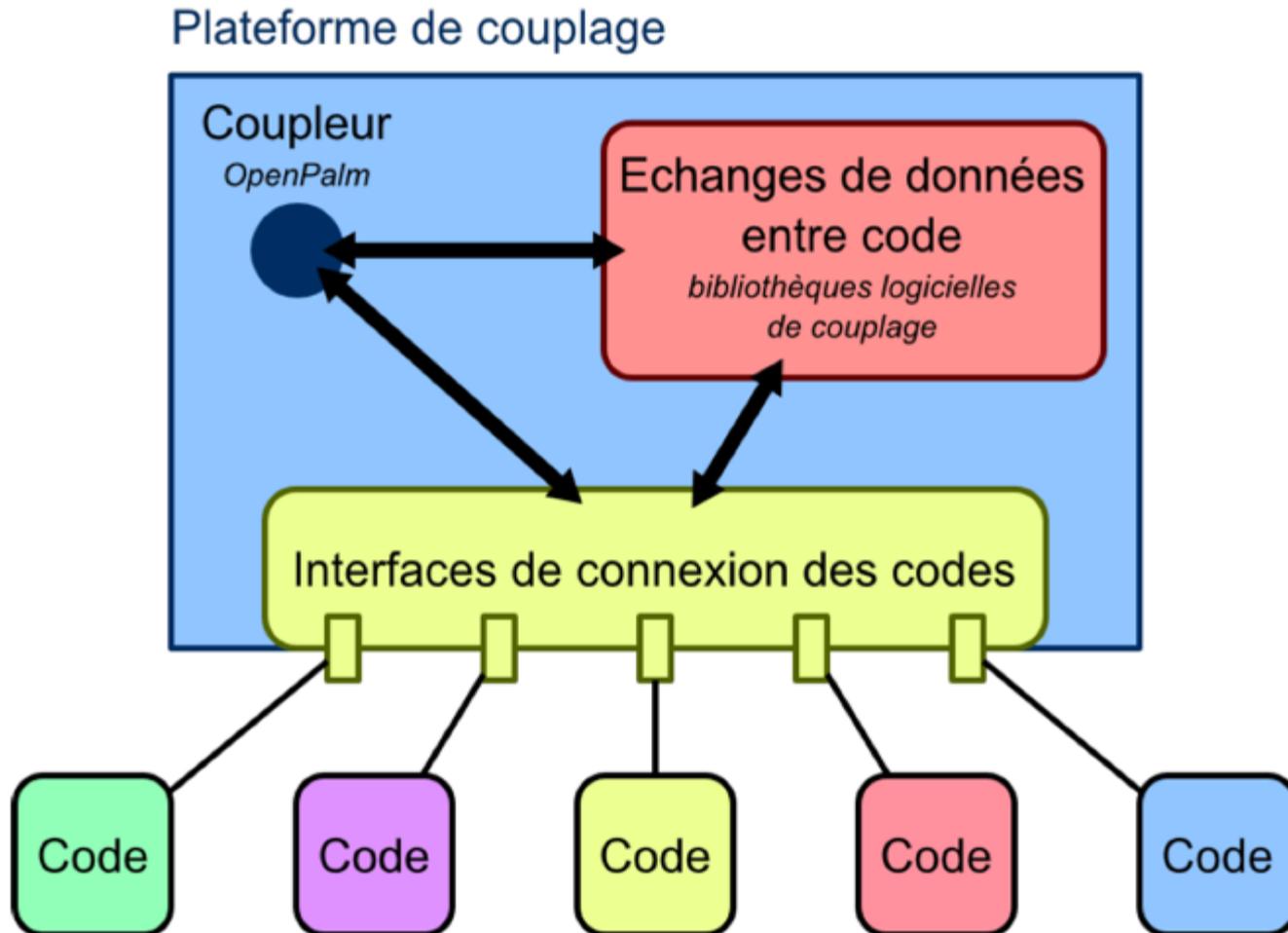


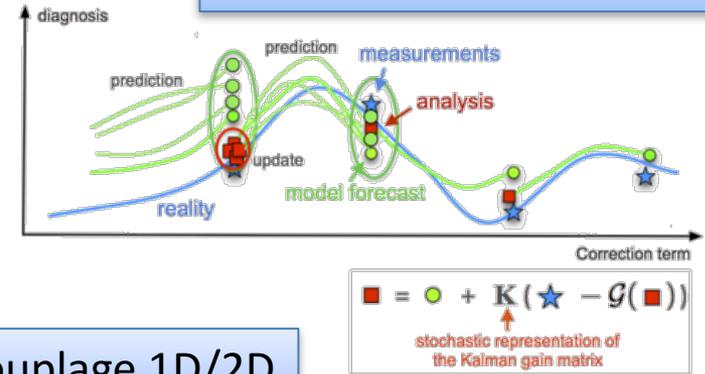
Figure 1 : Principe de fonctionnement de la plateforme de couplage OpenPALM

Exemples de couplages avec OpenPalm

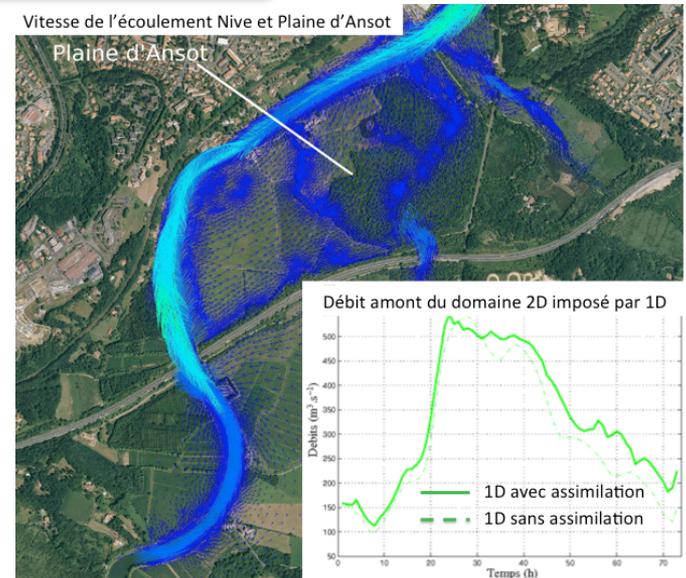
Couplage à distance



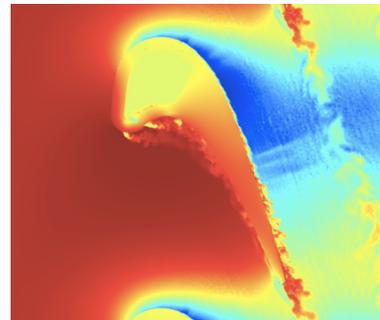
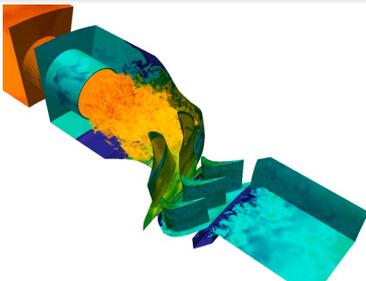
Assimilation de données



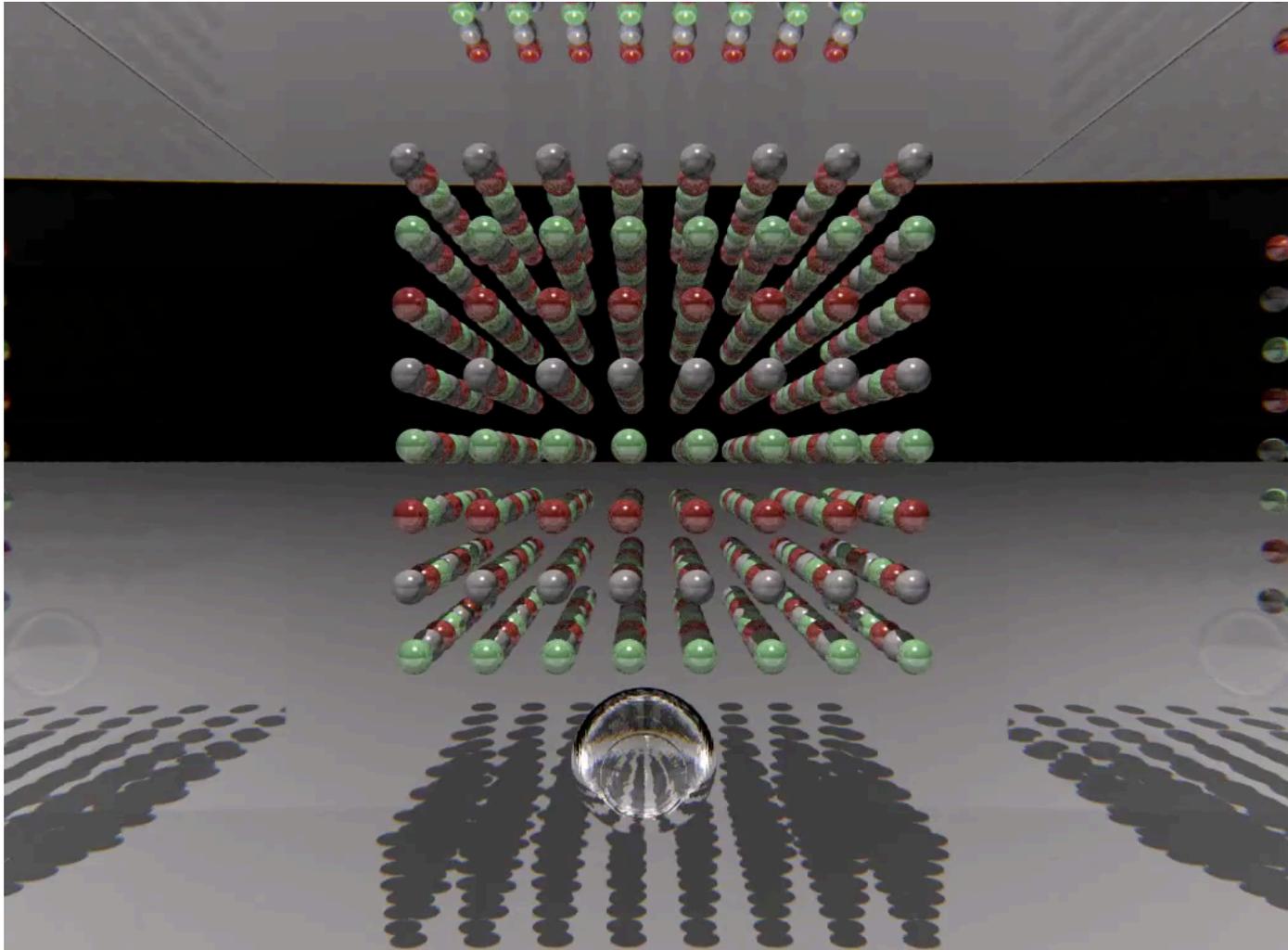
Couplage 1D/2D



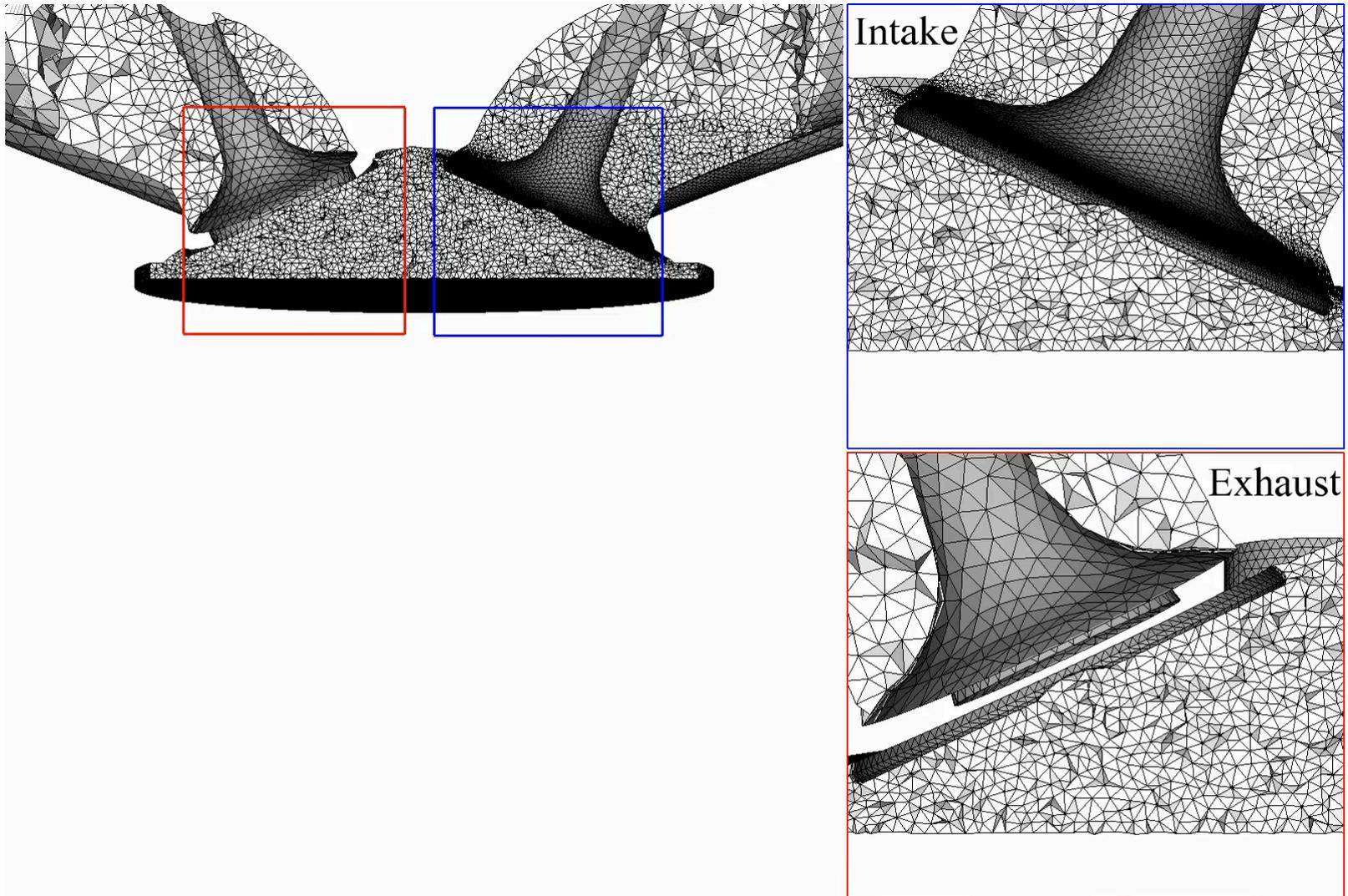
Couplage multi-physiques



Méthodes numériques : code LBM



Maillages



Exemples de formations au Cerfacs

jeu
04
Mai

Du 4 mai 2017 au 5 mai 2017
Quantification d'incertitudes : application aux algorithmes, à la CFD et aux géosciences

lun
15
Mai

Du 15 mai 2017 au 17 mai 2017
Méthodes CFD pour les turbomachines
0 COMMENT | FORMATION

jeu
18
Mai

Le 18 mai 2017
Architectures des calculateurs et optimisation
FORMATION

ven
19
Mai

Le 19 mai 2017
Traitement de données CFD avec Antares
FORMATION

lun
22
Mai

Du 22 mai 2017 au 24 mai 2017
Bases théoriques des explosions : naturelles, accidentelles et contrôlées

lun
22
Mai

Du 22 mai 2017 au 23 mai 2017
Quantification d'incertitudes et Assimilation de données avec OpenPALM

mar
06
Juin

Du 6 juin 2017 au 9 juin 2017
Assimilation de données
FORMATION

lun
12
Juin

Du 12 juin 2017 au 14 juin 2017
Méthodes numériques pour les problèmes d'optimisation

lun
02
Oct

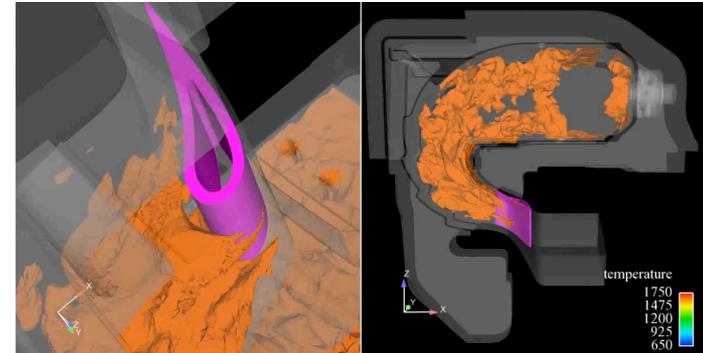
Du 2 octobre 2017 au 6 octobre 2017
Méthodes numériques pour la Simulation aux Grandes Echelles

lun
09
Oct

Du 9 octobre 2017 au 11 octobre 2017
Couplage de codes avec OpenPALM
0 COMMENT | FORMATION

Merci pour votre attention

1. Le Calcul à Haute Performance
2. Le Cerfacs et le calcul scientifique
3. Premier exemple : la conception des moteurs
4. Deuxième exemple : la simulation du climat
5. Quantification et analyse des incertitudes
6. Assimilation de données pour la modélisation
7. Aperçu d'autres thématiques du Cerfacs



Evolution de la banquise En Arctique

Scenario sobre

Scenario du laisser faire



CENTRE EUROPÉEN DE RECHERCHE ET DE FORMATION AVANCÉE EN CALCUL SCIENTIFIQUE