

Estimation de courbes de fragilité pour les REP 900 sous sollicitations sismiques.

Gaëtan Blondet– blondet@phimeca.com

Karina Macocco– macocco@phimeca.com

26/11/2021

Historique

•2001:
Création
par M.
Pendola et
M. Lemaire

•2009 :
Ouverture
de l'agence
de Paris

2018 : Reprise
de Phimeca par
ses cadres et
création de
l'agence de Lyon

2019 :
Création de
l'agence
d'Annecy



Chiffres clés

CA : 1,9 M€ hors R&D

R&D : ~ 15% du CA

Effectif : 34 dont 29
ingénieurs et docteurs

Moyenne d'âge : 32 ans

Notre raison d'être

*« Construire ensemble, par une ingénierie innovante,
une industrie respectueuse de l'homme et de son environnement »*

Nos axes de mission

Innover avec nos clients pour la préservation de l'environnement, par la résilience et la durabilité des structures et systèmes

Affirmer l'apport de l'ingénieur à la société, dans un esprit d'ouverture et de partage

S'impliquer dans le développement de nos territoires, être plein acteur de nos écosystèmes

Favoriser l'épanouissement personnel et la diversité, au sein d'une entreprise coopérative

Aider nos clients à ...

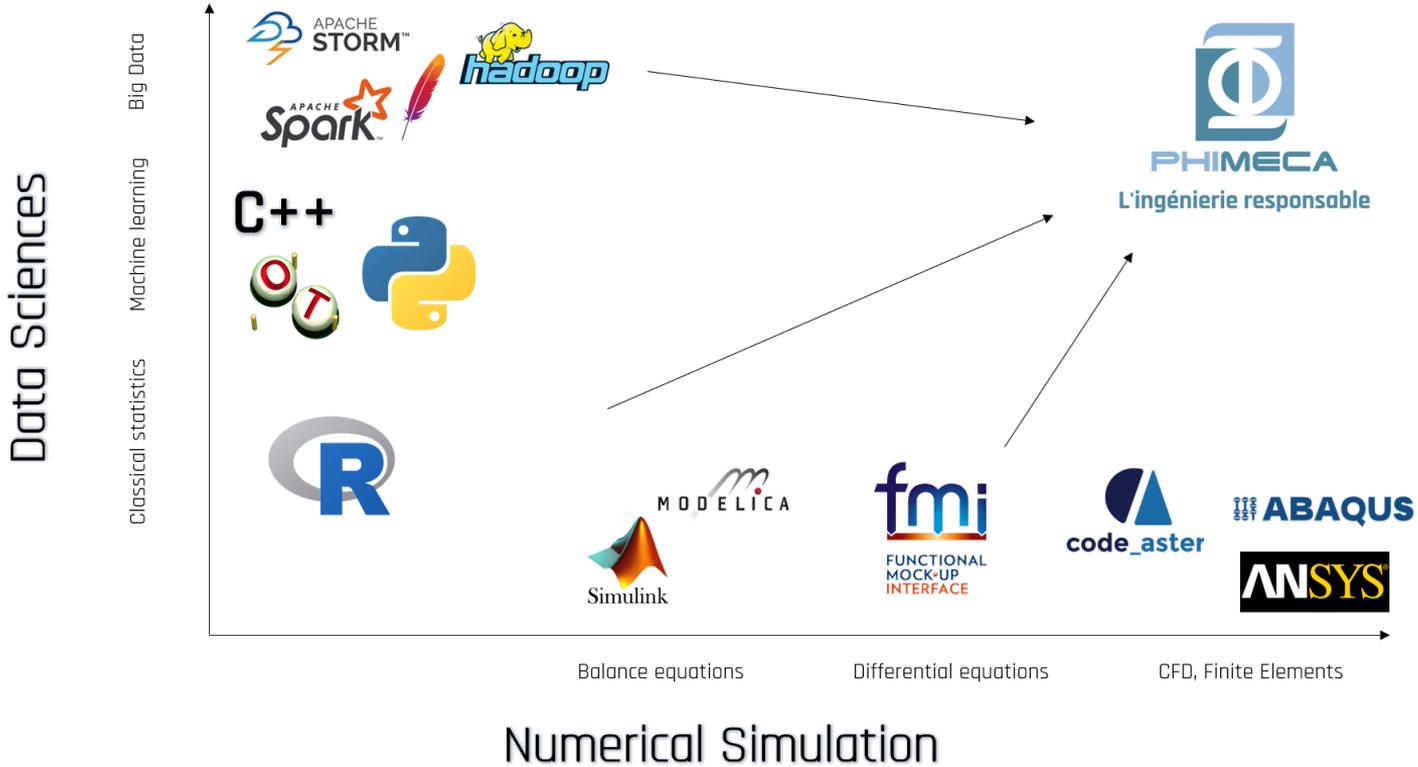


...leurs produits / structures de façon robuste et fiable

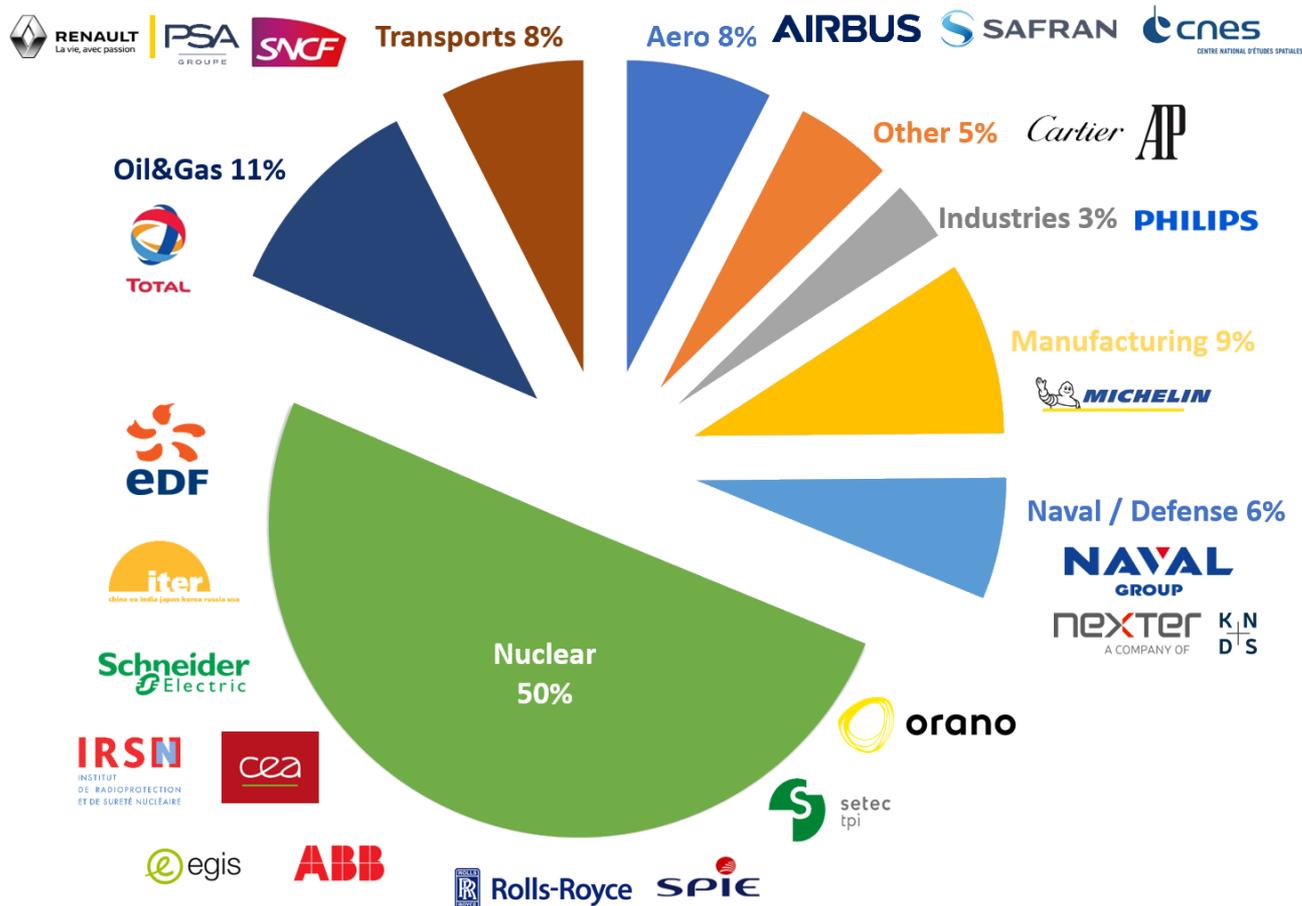
Notre démarche : tirer le meilleur de la modélisation physique et des data-sciences

Une offre variée : réalisation d'études, développement logiciel, formation

LA COMPLÉMENTARITÉ DES APPROCHES



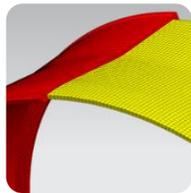
QUELQUES RÉFÉRENCES



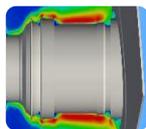
QUELS ENJEUX ?

- Conception robuste et fiable
 - Garantir une durée de vie, une performance, une fiabilité
 - Arbitrer entre plusieurs concepts
 - Valider un design
 - Explorer l'espace de conception
- Exploitation et maintenance
 - Prendre en compte de nouveaux usages
 - Étendre la durée de vie de vos installations en toute sécurité
 - Optimiser les conditions d'exploitation ou les opérations de maintenance.

CALCULS MÉCANIQUES



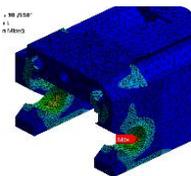
Etudes
statiques linéaire
s



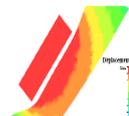
Etudes thermo-
mécaniques



Aérodynamique externe



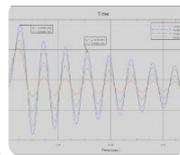
Etudes statiques
non linéaires



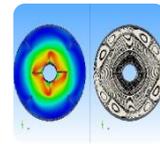
Etudes
dynamiques non
linéaires



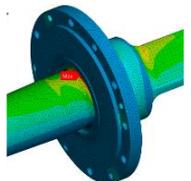
Mécanique des fluides
internes



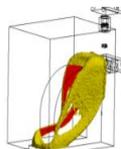
Etudes
dynamiques
vibratoires



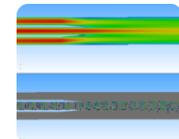
Thermique



Etudes du phénomène
de fatigue

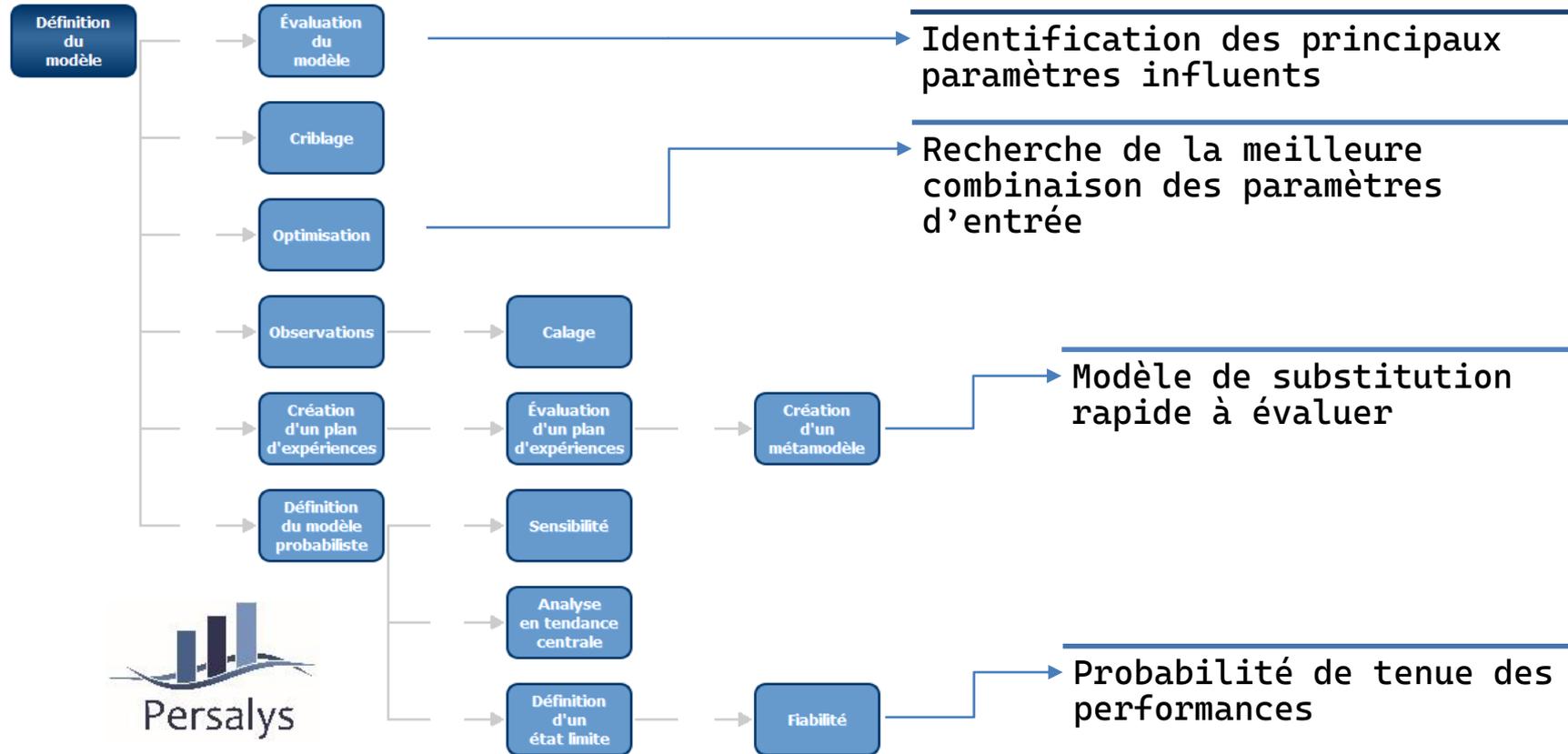


•Optimisation



Calculs complexes
(particules,
multiphasique, etc.)

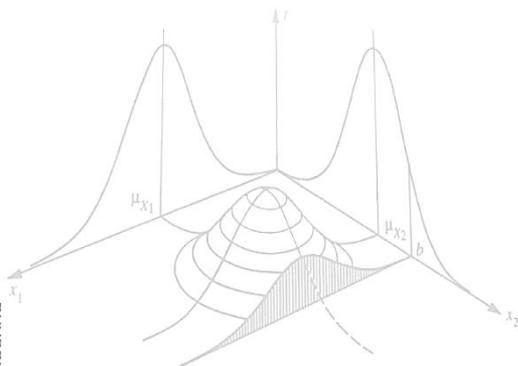
Explorer, fiabiliser, optimiser



Établissement de courbes de fragilité

Estimer des probabilités de défaillance sous séisme de structures, systèmes ou composants – application à un réacteur nucléaire.

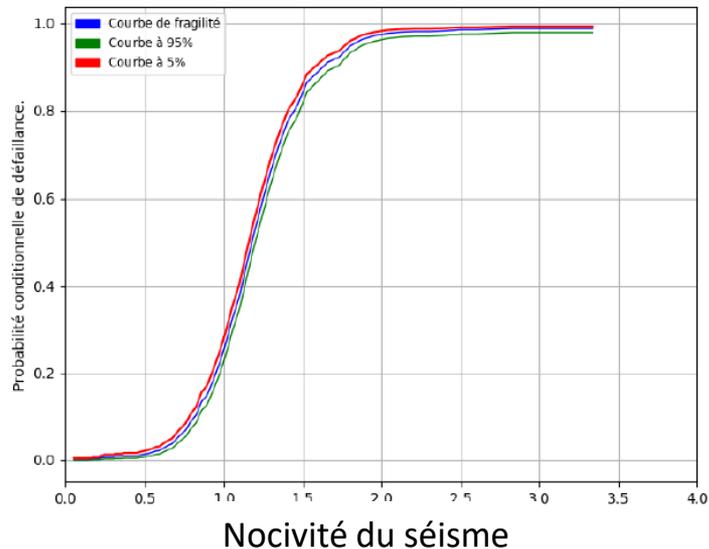
Incertitudes



Centrale nucléaire



Courbes de fragilité



☐ Eclairage probabiliste vis-à-vis de la maîtrise du confinement – application au parc nucléaire civil français.

- Estimation des probabilités de défaillances des systèmes en fonction de la nocivité du séisme.

☐ Une collaboration de longue date :

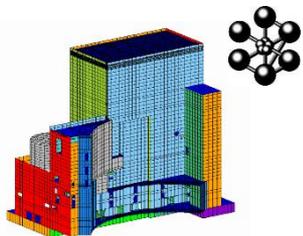


- 2016-2017 : ligne VVP d'un REP 1300 MWe - Saint Alban
- 2017-2018 : ligne VVP d'un REP 900 MWe - Tricastin
- 2019-2020 : ligne d'aspiration aux puisards de l'enceinte d'un REP 900 MWe - Tricastin

Établissement de courbes de fragilité

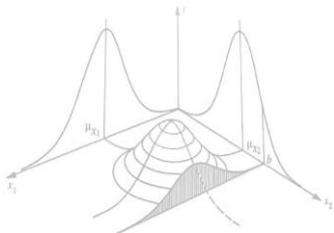
1. Modèle Physique

- Bâtiments
- Équipements
- Multi-physique
- Critères de défaillance



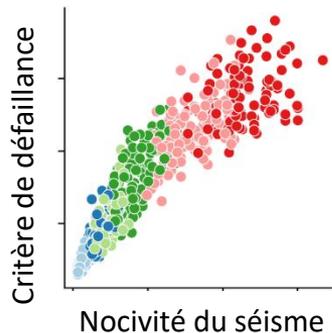
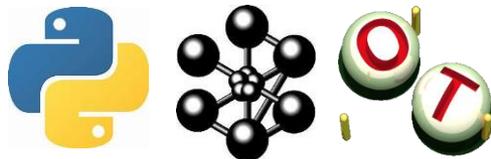
2. Modèle d'incertitudes

- Définition des paramètres
- Définition de la loi de probabilité jointe



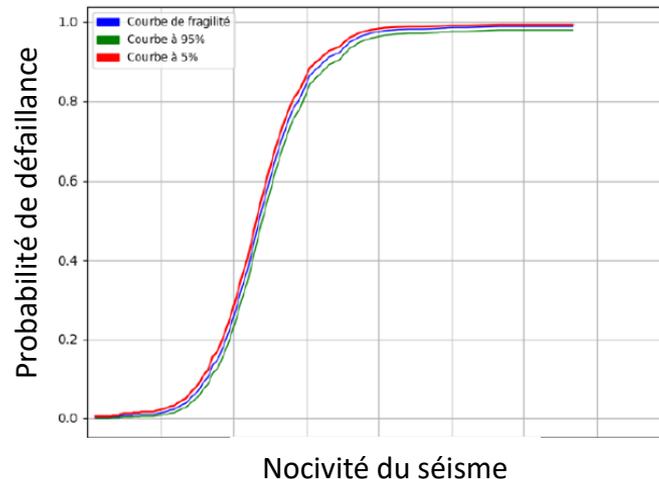
3. Campagne de calcul

- Plan d'expériences (~1000 calculs)
- Chaînage des calculs Cast3m-Python
- Parallélisation du plan et des calculs sur clusters HPC



4. Courbes de fragilité

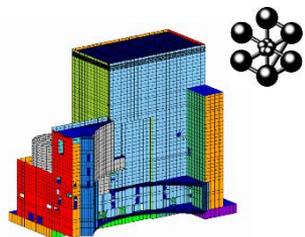
- Pour chaque critère de défaillance et chaque seuil de défaillance.
- Estimation empirique



Exemple pour la ligne puisard (REP 900MWe)

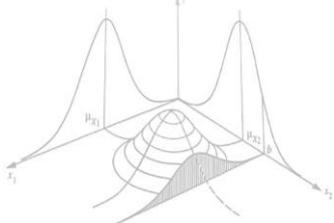
1. Modèle Physique

- 2 bâtiments + 1 ligne puisard
- Déformations plastiques, effet de la corrosion, jeux inter-bâtiments



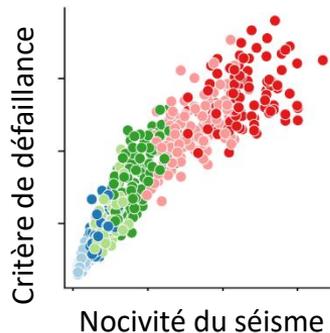
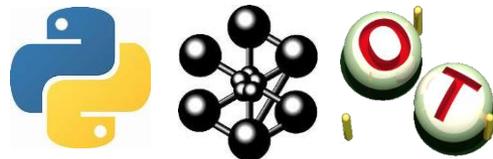
2. Modèle d'incertitudes

- 28 variables aléatoires :
 - Séisme
 - Interaction Sol - Structures
 - Béton
 - Épaisseurs de conduites



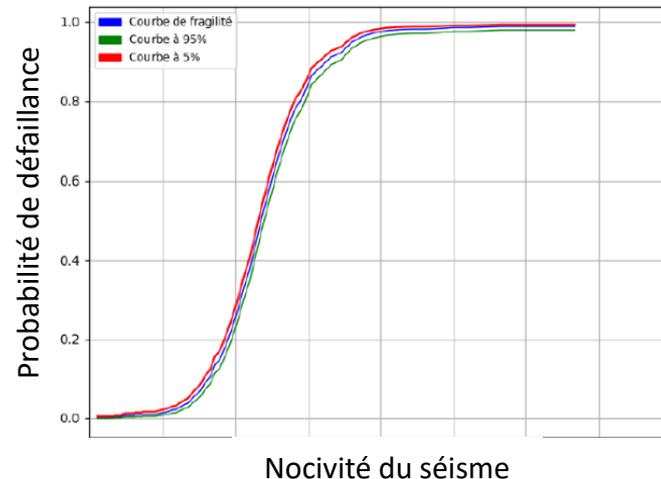
3. Campagne de calcul

- 10-80h / expériences
- Parallélisation: 800 calculs en 3,5 jours
- 2 clusters x 20 nœuds x 6 coeurs



4. Courbes de fragilité

- 11 courbes + intervalle de confiance
- Seuil de défaillance incertain



Interface métier par PHIMECA pour l'IRSN

- Mettre en œuvre la méthodologie avec ses différentes étapes de construction des courbes de fragilité.
- Exécuter les calculs sur le cluster en utilisant le gestionnaire de soumission Slurm.
- Importer un plan d'expérience pour en faire un post-traitement.
- Développée avec PyQt sous CentOS et Windows

Publication :

M.Marcilhac et al., "GOFACS: Generator of Fragility Assessment for Coupled Systems, Structures and Components", 2021 International Topical Meeting on Probabilistic Safety Assessment and Analysis (PSA 2021)

GOFACS : gestion des signaux sismiques

The screenshot displays the GOFACS software interface, which is used for seismic signal management and analysis. The interface is divided into several panels:

- Signals Manager Panel (Left):** Contains a 'Filter' input field and a list of columns to be displayed. The 'Columns' section includes: Site, Return Period, Fractile, Fundamental Period, Method, Type, Suffix, Component, and Orientation. The 'Status' section includes: Status, Peak Ground, Euclidean Peak Ground, Arias Intensity, Standardized CAV, and Pseudo-Spectral Acceleration.
- Main Table:** A table listing seismic signals with columns: Id, Status, Peak Ground, Euclidean Peak Arias Intensity, Standardized (Pseudo-Spectr), Site, Return Period, Fractile, and Fundamental I Method. Two rows are highlighted in blue:

Id	Status	Peak Ground	Euclidean Peak Arias Intensity	Standardized (Pseudo-Spectr)	Site	Return Period	Fractile	Fundamental I Method		
698	OK	1,97611	2,35255	0,599724	0,715865	TRI	10000000	95	0	file
604	OK	2,36612	2,65298	0,431194	0,598342	TRI	10000000	95	0	file
- Descriptive Data Panel (Bottom Left):** Displays six box plots for statistical analysis of the selected signals:
 - Initial time
 - End time
 - Duration
 - Length
 - Minimum
 - Maximum
 - Mean
- Signals Panel (Bottom Right):** Shows a time-domain plot of seismic signals. The x-axis is labeled 'time' and ranges from 0 to 80. The y-axis ranges from -2 to 2. A legend is visible above the plot, and the coordinates $x=44.1$ and $y=1.95$ are displayed in the top right corner of the plot area.

GOFACS : chaîne de calculs

GOFACS

File Signals Manager Computation Flow DOE Visualization

Signals Manager Computation Flow Design of Experiment Outputs Manager Job Manager Visualization Fragility Log

Files

Filename	Python	Label
ISS_BR_Modal_V4	ISS.py	BR_ISS
ISS_BR_reponse_V4		BR_dyna
Model_VVP_V18		VVP_lineaire
Model_VVP_V20_elastoplastique		VVP_elastoplastique
piquage_900MWe_V4		VVP_piquage
TRICA_signaux_sismiques		ALEA

Connections

Add connection

From No selection To No selection Add

Remove

From	To	Status
BL_model	BL_ISS	OK
BR_model	BR_ISS	OK
BL_ISS	BL_dyna	NOOK
BL_dyna	VVP_lineaire	NOOK

Analyze Check

File Informations

Input Files

- ../TRICA_Acceleros_Properties.txt
- ../Corr_Trica_signaux_sismiques_{periode}_{fractile}_{tag}.sauv
- ../BR_900MWe_Tricastin_ISS_Base_Modale_CAT{signaCat}_{ISSlevel}_ITER_LAST.sauv

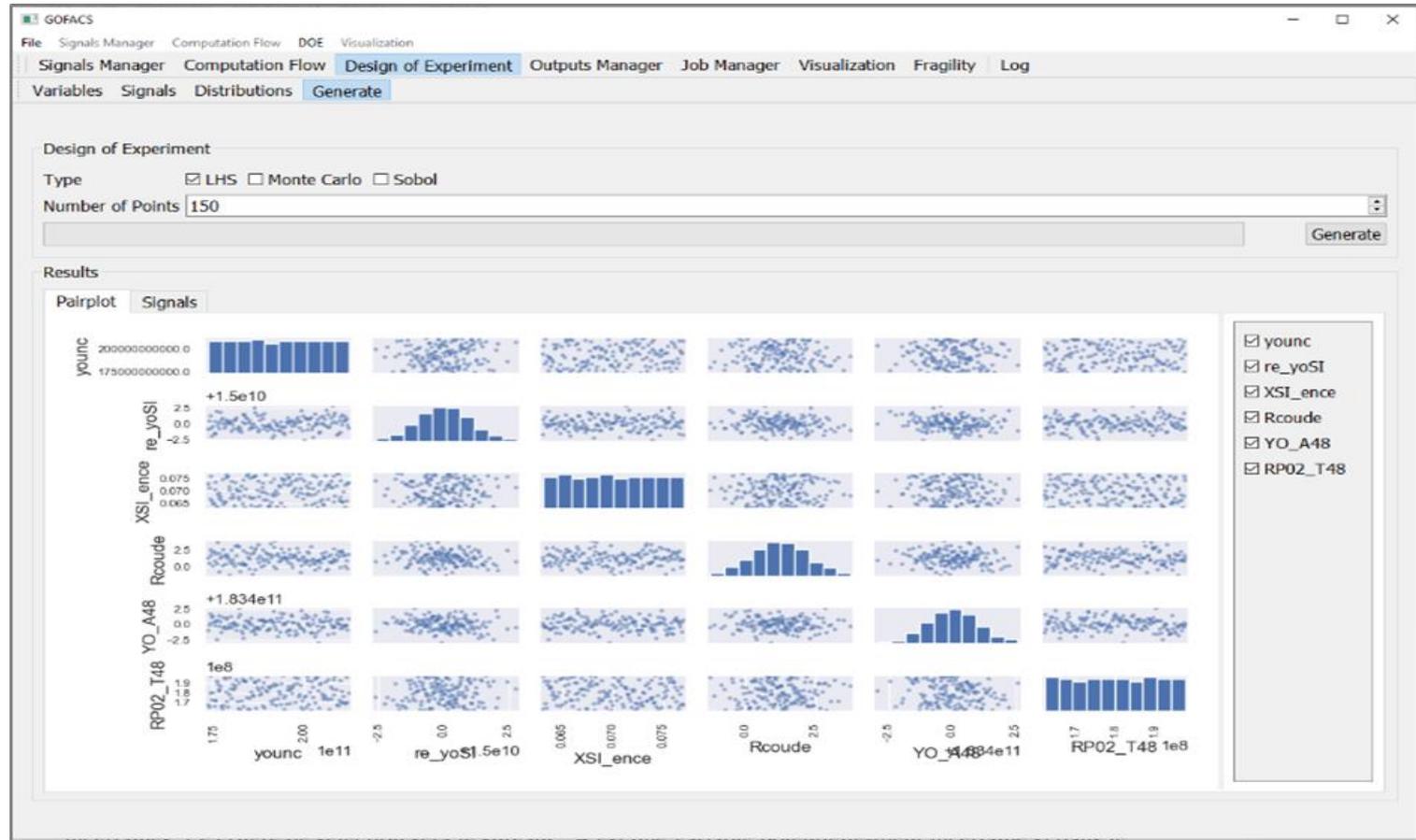
Output Files

- FileUAFT
- FileURFT
- ../BR_Sn_{periode}_{fractile}_{tag}_US.csv
- ../BR_ISS_reponse_Alea_Corr_{periode}_{fractile}_{tag}.sauv

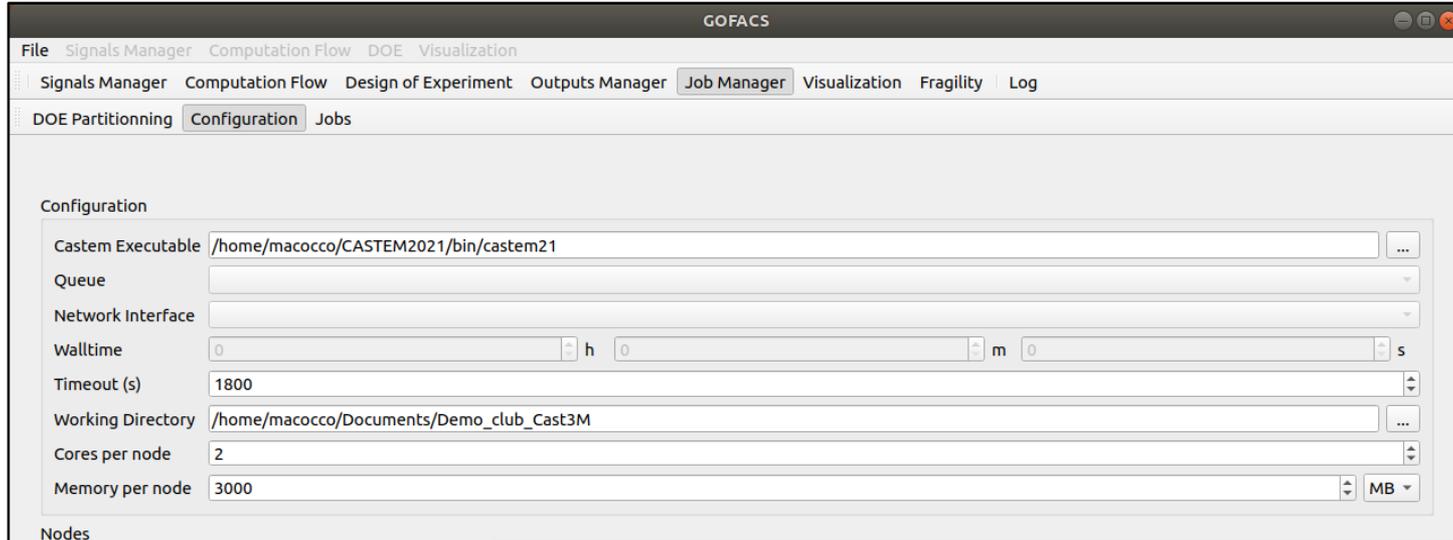
Graph connections

```
graph LR; ALEA --> BR_ISS; ALEA --> BR_dyna; ALEA --> VVP_elastoplastique; BR_model --> BR_ISS; BL_model --> BL_ISS; BR_ISS --> BL_ISS; BR_ISS --> BL_dyna; BR_dyna --> BL_dyna; BR_dyna --> VVP_elastoplastique; BL_ISS --> VVP_lineaire; BL_dyna --> VVP_lineaire; VVP_elastoplastique --> VVP_piquage; VVP_lineaire --> VVP_piquage;
```

GOFACS : modèle d'incertitudes et PLEX



GOFACS : Job Manager



The screenshot shows the GOFACS Job Manager Configuration window. The menu bar includes File, Signals Manager, Computation Flow, DOE, and Visualization. The main menu has Signals Manager, Computation Flow, Design of Experiment, Outputs Manager, Job Manager (selected), Visualization, Fragility, and Log. The sub-menu includes DOE Partitionning, Configuration (selected), and Jobs. The Configuration section contains the following fields:

- Castem Executable: /home/macocco/CASTEM2021/bin/castem21
- Queue: (empty)
- Network Interface: (empty)
- Walltime: 0 h 0 m 0 s
- Timeout (s): 1800
- Working Directory: /home/macocco/Documents/Demo_club_Cast3M
- Cores per node: 2
- Memory per node: 3000 MB

Nodes

Number of nodes: 1

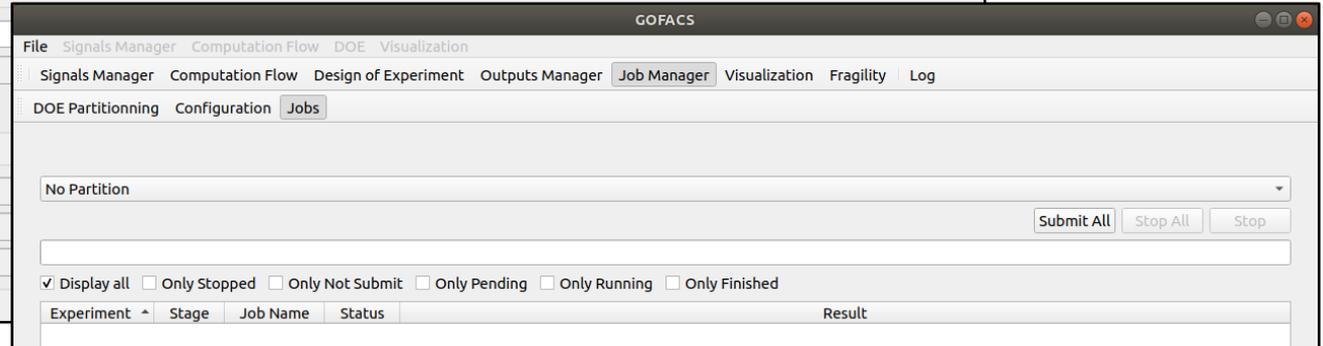
Total of threads: 2

Status

Nodes available: 0

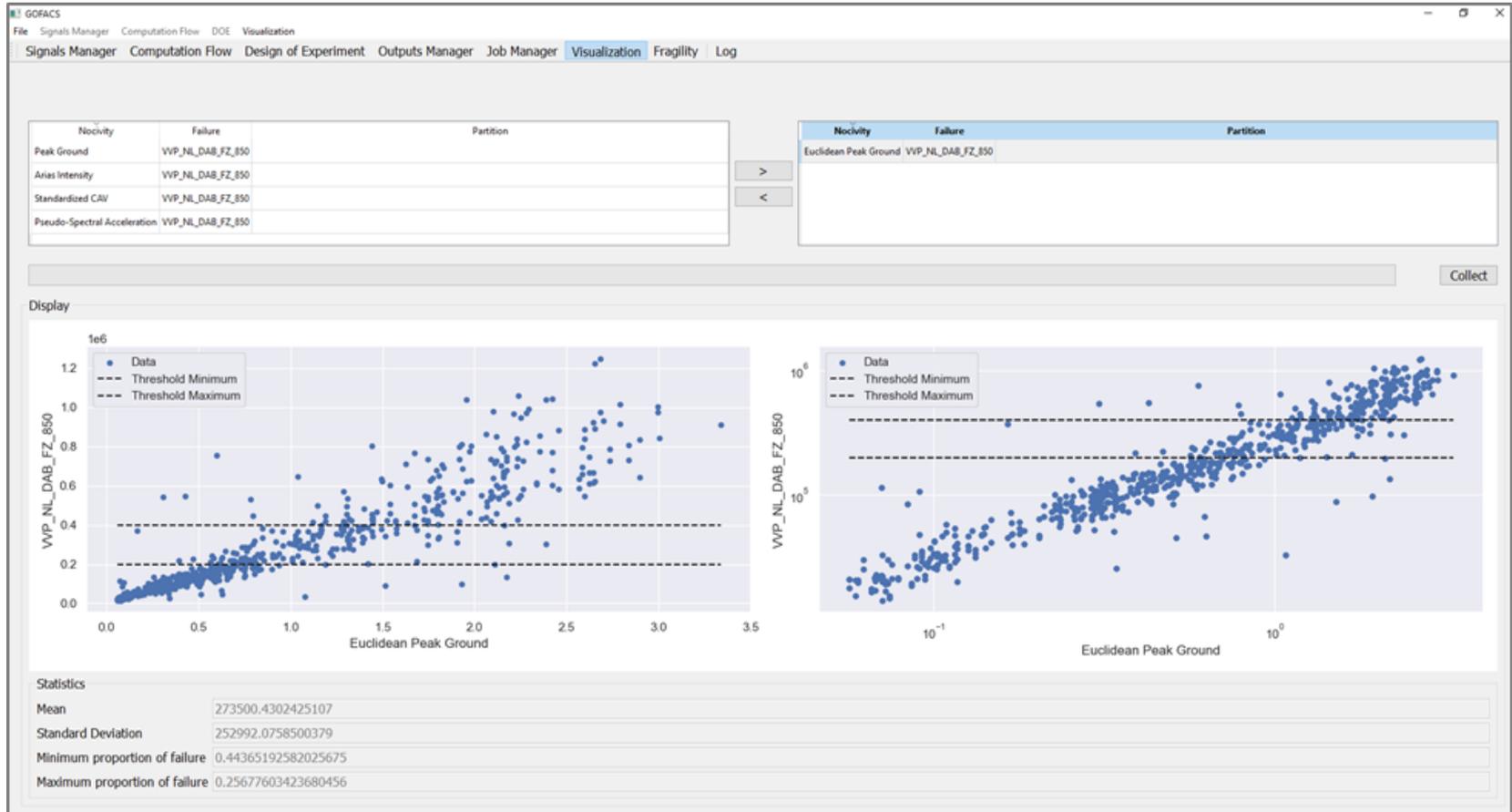
Total of threads available: 0

Total of memory available: 0 B

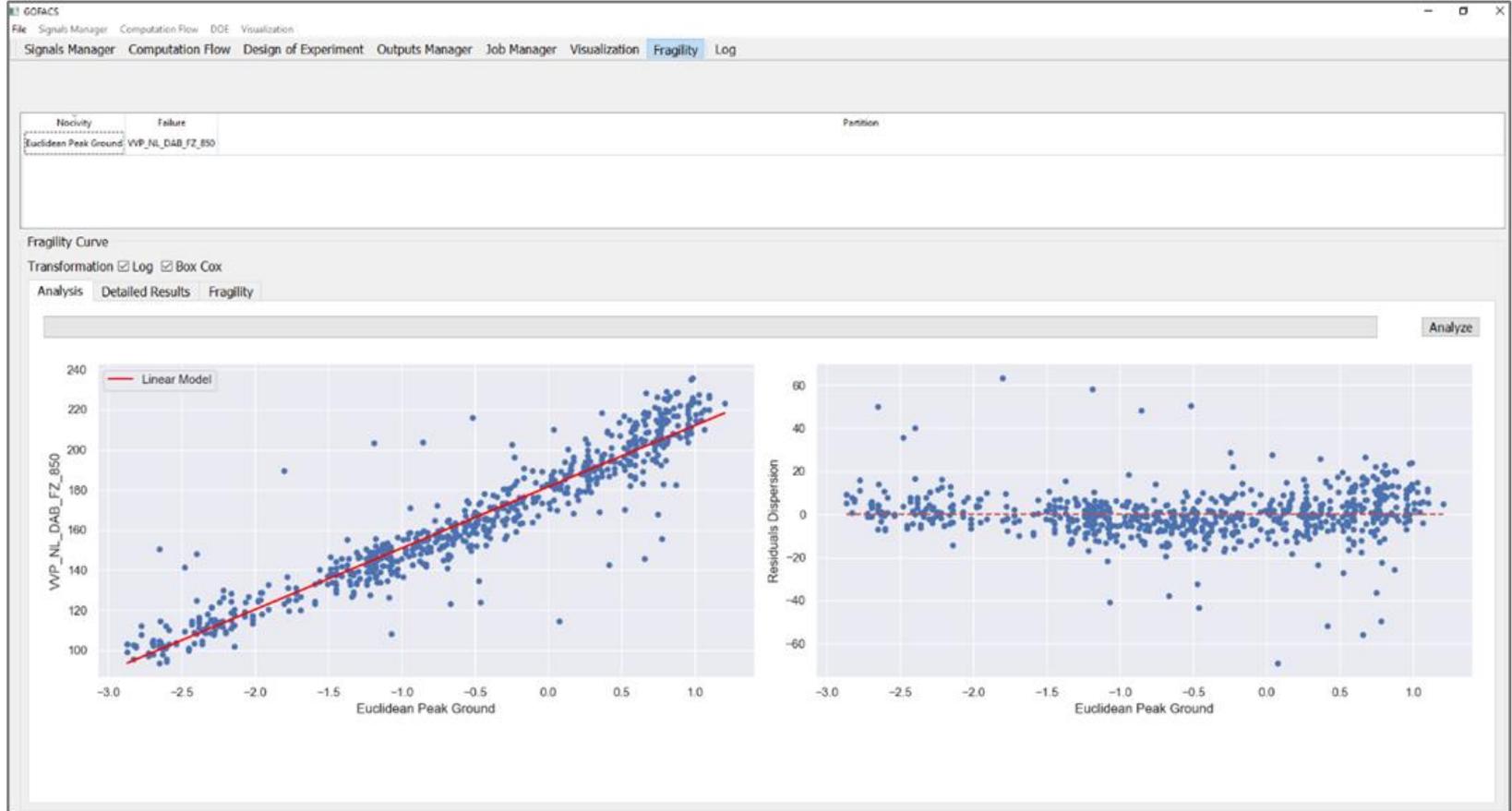


The screenshot shows the GOFACS Job Manager Jobs window. The menu bar is the same as the Configuration window. The sub-menu includes DOE Partitionning, Configuration, and Jobs (selected). The main area shows a dropdown menu with "No Partition" selected. Below the dropdown are buttons for "Submit All", "Stop All", and "Stop". There are also checkboxes for filtering the job list: Display all, Only Stopped, Only Not Submit, Only Pending, Only Running, Only Finished. At the bottom, there is a table header with columns: Experiment, Stage, Job Name, Status, and Result.

GOFACS : visualisation des résultats



GOFACS : analyse statistique



GOFACS : analyse statistique

The screenshot displays the GOFACS software interface. The menu bar includes File, Signals Manager, Computation Flow, DOE, Visualization, Fragility, and Log. The main window shows a table with columns for Nocity, Failure, and Partition. Below this, the 'Fragility Curve' section is active, with 'Log' and 'Box Cox' transformation options checked. The 'Analysis' tab is selected, showing 'Linear model analysis results'.

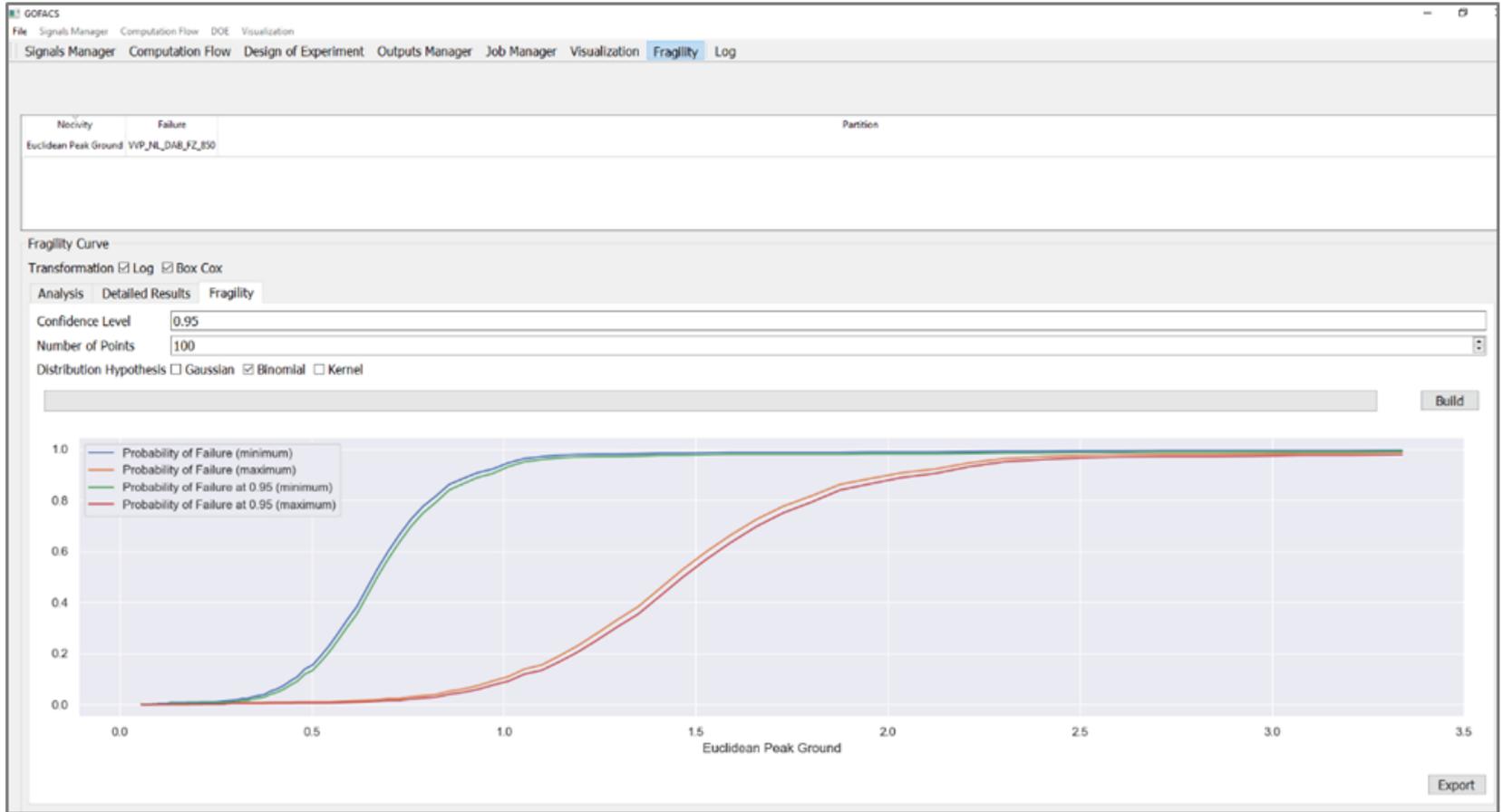
Linear model analysis results

Box Cox parameter :	2.4
Uncensored	
Intercept coefficient :	186.03
Slope coefficient :	30.34
Standard error of the estimate :	10.88
Confidence interval on coefficients	
Intercept coefficient :	[185.07, 187.00]
Slope coefficient :	[29.59, 31.10]
Level :	0.95
Quality of regression	
R2 (> 0.8):	0.9

Residuals analysis results

Fitted distribution (uncensored) :	Normal(mu = 1.71078e-13, sigma = 10.8705)
------------------------------------	---

GOFACS : courbes de fragilité



- ☒ Estimation statistique des probabilités de défaillances
- ☒ Interface graphique pour faciliter l'accès à cette méthodologie
- ☒ Automatisation renforcée pour accélérer les EPS - séisme
- ☒ Perspectives d'amélioration
 - Échantillonnage : tirage d'importance, échantillonnage directionnel
 - Réduction de dimension : analyse de sensibilité, ACP, ...
 - Extension aux surfaces de fragilité (2 critères de nocivité)

Merci de votre attention !

Gaëtan Blondet– blondet@phimeca.com
Karina Macocco– macocco@phimeca.com