



SHM-france
by **Precend**

4^{ème} JOURNÉE NATIONALE CONTRÔLE SANTE ET MONITORING DES STRUCTURES

Le jumeau numérique : fournisseur & client du SHM

Auteur :

Luce Journet – Méca – Ingénieure calcul



Le Cluster MECA

Un **pôle d'expertise** composé de 4 sociétés aux compétences **complémentaires** :

A la fois bureau de calculs **multi-matériaux** pour l'industrie, bureau d'études techniques de **structures spéciales** pour le bâtiment, cabinet **d'expertises techniques** pour les structures, les équipements industriels, le transport et bureau d'études en **conception et design industriel** de pièces multi-matériaux, le Cluster se met en 4 pour répondre à vos besoins!

Chiffre d'Affaire annuel : 3M€

6 associés



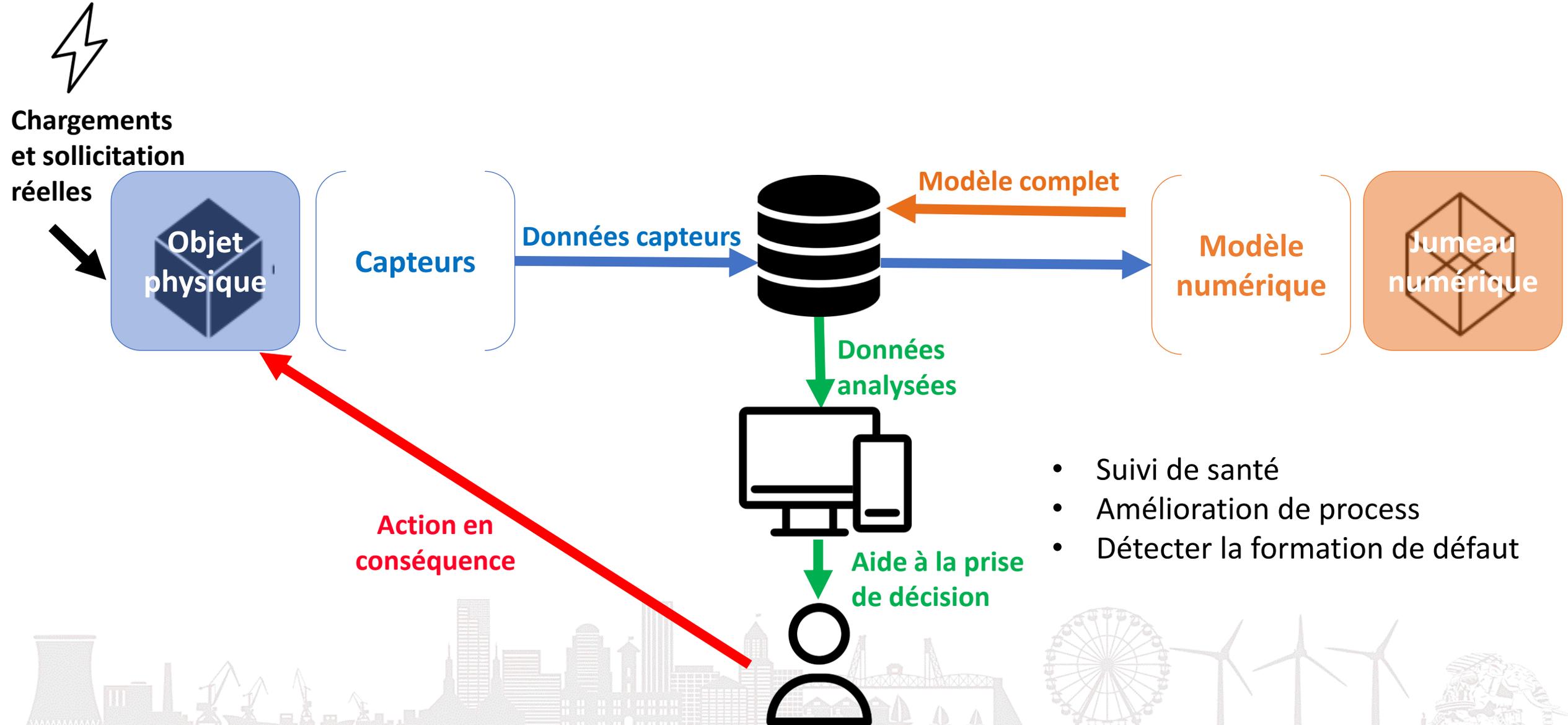
Il existe plusieurs définitions

D'après l'enquête « Are We Ready for Digital Twins ? » réalisées par *engineering.com* :

- 30% : un modèle **entièrement défini**, capable de simuler le comportement complet d'un produit
- 17% : un modèle similaire à un produit réel qui **reçoit les données des capteurs** sur le produit réel
- 12% : un modèle 3D.



Qu'est-ce que le jumeau numérique ?



- Suivi de santé
- Amélioration de process
- Détecter la formation de défaut



Qu'est-ce que le jumeau numérique ?

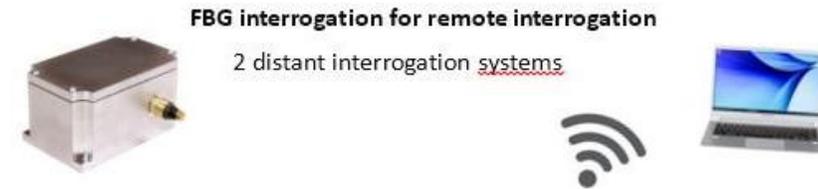
Le jumeau numérique selon Méca

Nos savoir-faire au service du JN :

- Modélisation numérique
- Physiques des phénomènes
- Intégration et chainage

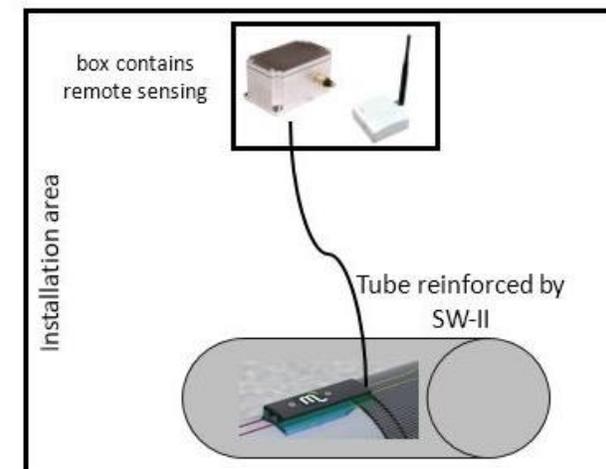
Les points clés du jumeau numérique

- Low Data
- Low Cost
- Amélioration continue
- Fiabilité



Des applications concrètes :

- Le projet de recherche AVATAR (DGAC)
- Le système WOFI (Alliatech & GRT Gaz)



Le modèle numérique



Le modèle numérique

Le projet AVATAR

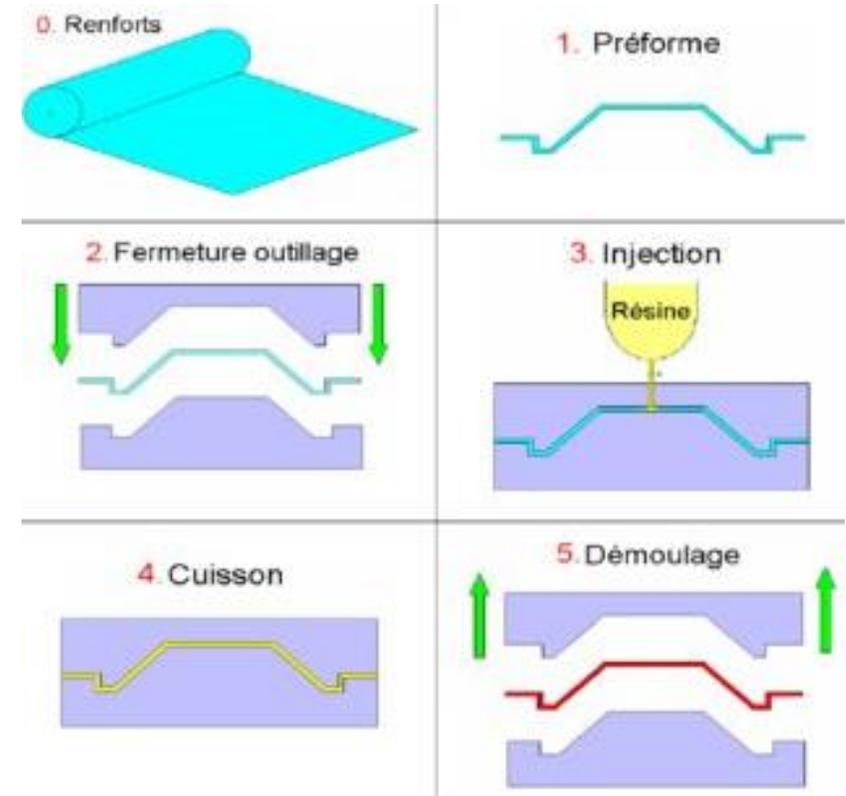
Pièce : Cornière d'assemblage de caisson centrale AIRBUS de l'A350



Caisson central



Cornière usinée

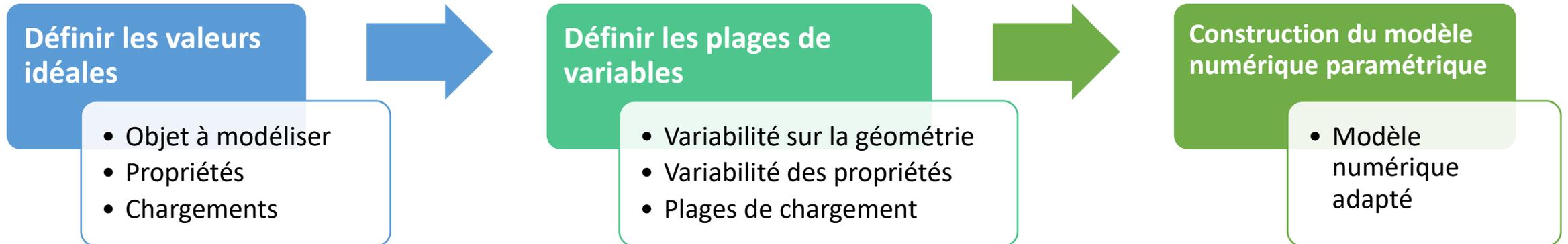


Etapes du procédé LRI



Le modèle numérique

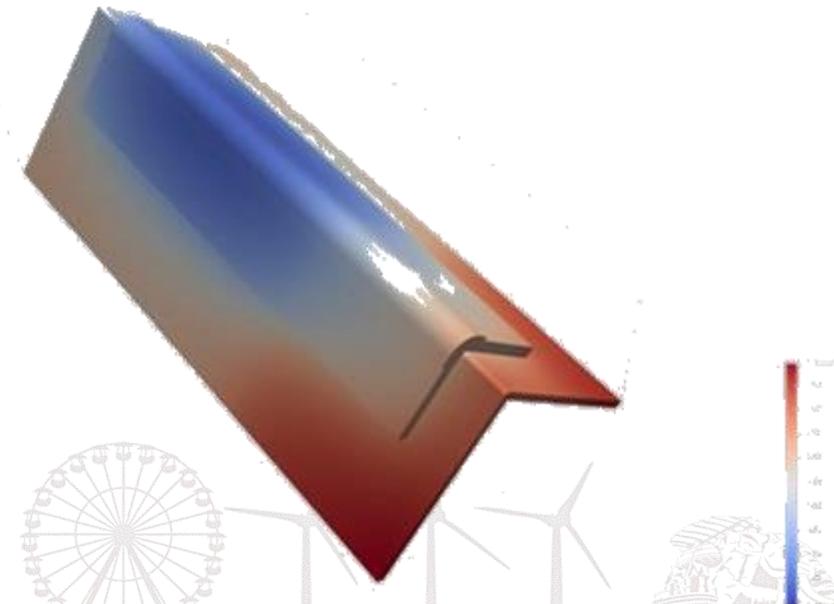
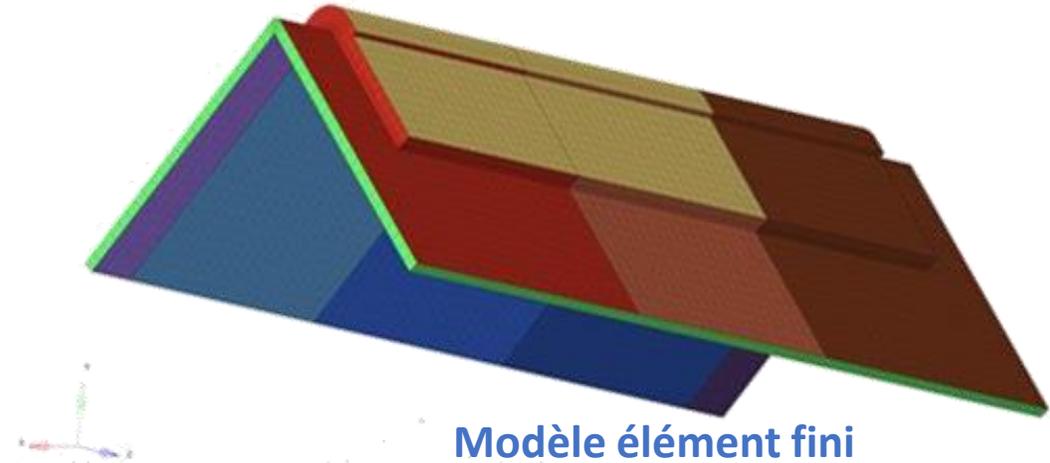
Définition des paramètres du modèle



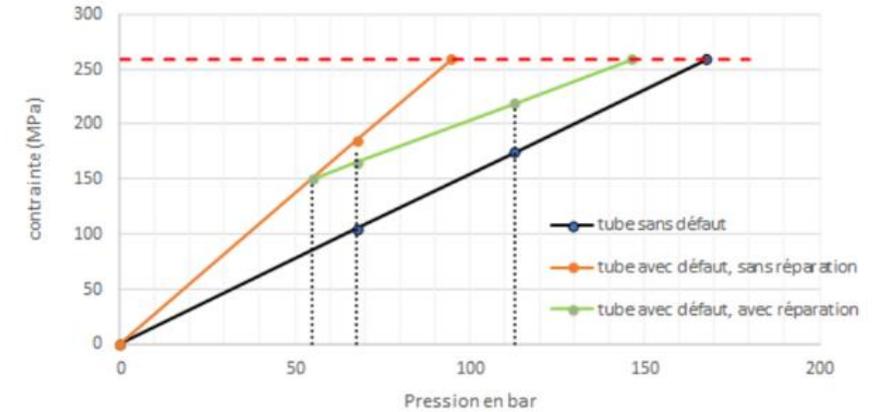
Le modèle numérique

Exemple de modèle élément fini

- Géométrie adaptée
 - Définir la zone à modéliser (entourage de l'objet)
 - Définir la taille de maille
 - Simplification géométrique
- Zones de chargement
 - Zones définies d'après mesures
 - Considérer tous les chargements influent
 - AVATAR : thermique et pression
- Plage de variation des chargements possibles
 - D'après mesures ou normes
 - AVATAR : variation sur les chargements thermiques



évolution des contraintes dans le tube



Modèle analytique : calcul de grandeur comparé à un critère

Modèle analytique : *WOFI*

- Géométrie simples
- Sollicitations simples
- Calcul et implémentation simple

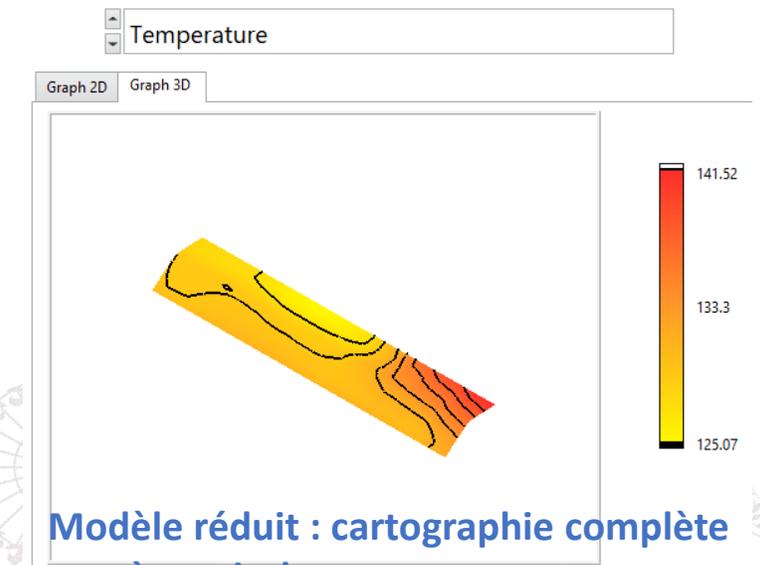
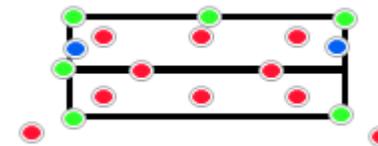
Modèle EF réduit : *AVATAR*

- Géométrie complexe
- Sollicitations transitoire, contact, non linéarité
- Réduction de modèle :

Bases de données d'expériences

Calcul matriciel rapide

Résultats complets à partir des mesures de quelques capteurs



Modèle réduit : cartographie complète à partir des mesures capteurs



Les capteurs



Les capteurs

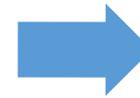
Le choix des capteurs

- **Grandeur caractéristique** des défauts
 - Défaut mécanique : déformation, contrainte, effort, ..
 - Propriété matériaux : température, réticulation, ...
- **Environnement** du capteur :
 - Plage de température de mesure
 - Humidité, corrosion ...
- **Précision** de mesure
- **Durée** de vie
- **Coût** du capteur

Choix du type de capteur

En fonction :

- Des conditions de chargements
- De la plage de mesures
- De l'environnement



Optimisation des capteurs

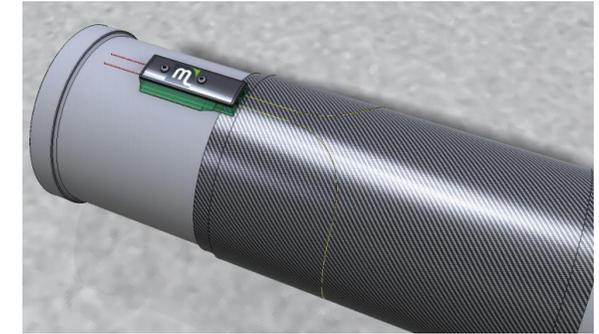
- Nombre de capteur
- Positions des capteurs



Les capteurs

Le choix des capteurs

- **WOFI** : Mesure de déformation
Mesure de micro déformation
Prise de mesure ponctuelle
Capteur à l'intérieur du Wrap Composite
- **AVATAR** : Mesure de pression
Température en étuve : 20 à 180°C
Pression de vide : ± 1 bar
- **AVATAR** : Mesure de température
Température en étuve : 20 à 180°C



Fibre optique



Kistler 4001A : piezoélectrique



Thermocouple Type K

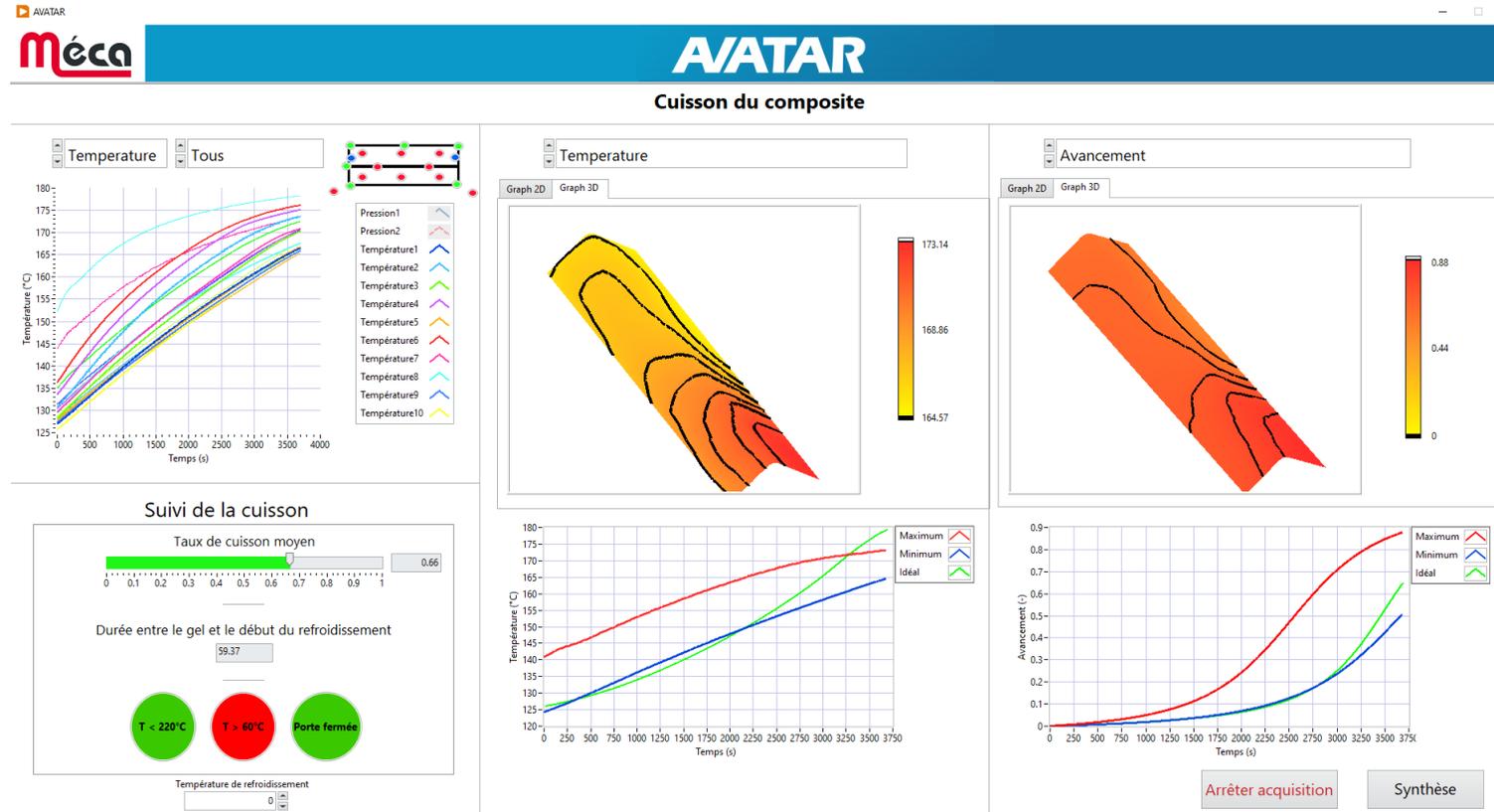
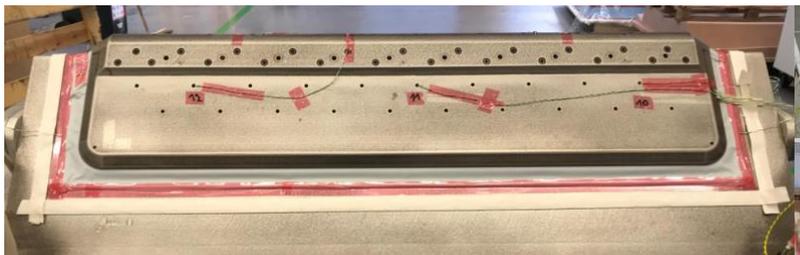


Les capteurs

Le choix des capteurs

Un compromis entre :

- Précision de mesure
- Robustesse, durée de vie
- Coût
- Taille du capteur
- Accessibilité
- Fréquence d'acquisition



AVATAR : capteurs positionnés à l'extérieur du moule pour ne pas marquer la pièce

Le jumeau numérique



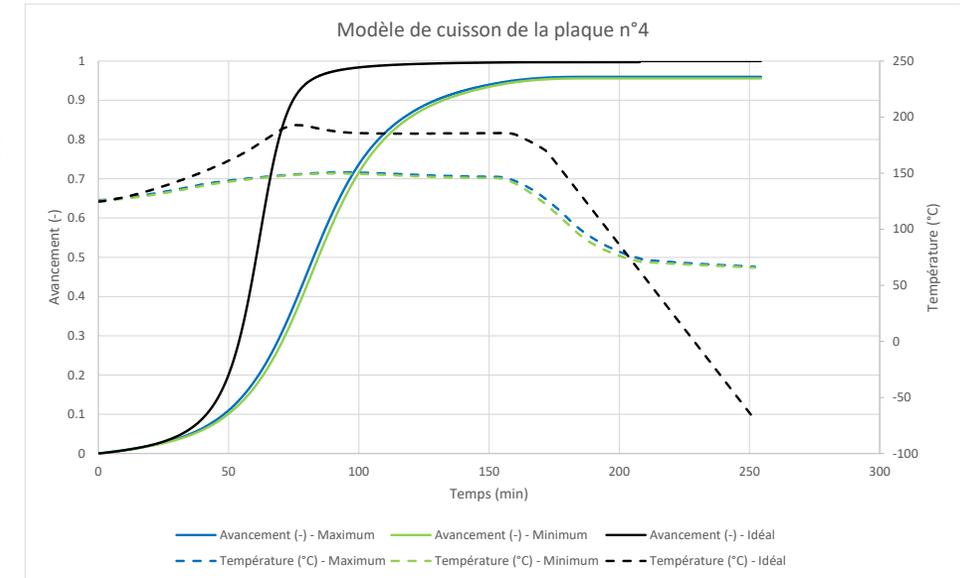
Le jumeau numérique

Client du SHM

Le jumeau numérique a besoin du SHM et du CND pour fonctionner :

- Les capteurs sont les **données d'entrée** du modèle
- **L'apprentissage** par le contrôle :
 - Valider et affiner les modèles
 - Apprentissage par intelligence artificiel

AVATAR



Courbes calculées par le jumeau numérique Résultats mesure de taux de réticulation

- **Plaque 1, cycle complet : 96.2 %**
- **Plaque 2, cycle raccourci : 95.2 %**
- **Plaque 4, sous cuisson : 86.0 %**

Le jumeau numérique

Fournisseur du SHM

Le jumeau numérique permet d'alimenter le SHM :

- Définition des **positions capteur** :

Optimisation de la position des capteurs



Pertinence des données mesurées

Optimisation du nombre de capteur



Réduction des coûts et facilitation de l'installation

- **Connaissance** de la pièce

Calcul en direct à partir des mesures



Analyse des données

Critère intégré au jumeau numérique

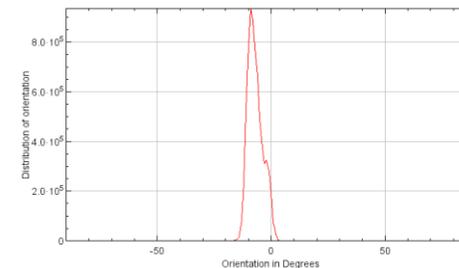
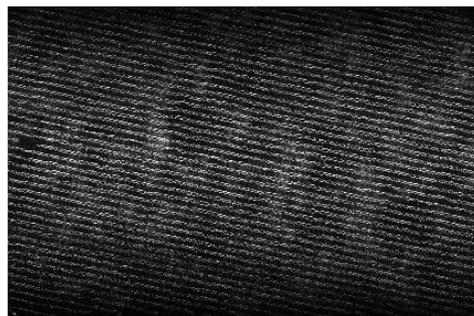


Aide de prise à la décision

Modèle complexe et évolutif



Le JN évolue avec la pièce



AVATAR : exemple de détection d'une orientation de pli par traitement d'image

Conclusion



Conclusions

Conclusions

Le jumeau numérique est en plein développement

- Nombre de capteurs réduits
- 
- Cartographies uniques de chaque objet
 - Optimisation des cycles de production

Les perspectives pour l'avenir

- Cartographies de chaque pièce
 - Contrôle CND
 - Analyse statistique
- 
- Identifier les patrons des pièces défectueuses
 - Cibler les pièces et les zones à contrôler en CND

