



Thèse CIFRE

Modélisation du comportement mécanique d'un équipement en service sous endommagements progressifs : vers un jumeau numérique d'appareil à pression

01/06/2022 au 31/05/2025

KHALED Izat

Encadrants :

CETIM : M. BENNEBEACH, J.L. IWANIACK, P. ROHART, S. ASSAF

IMT NE : S. CHAKI, D. VASIUKOV, M. SHAKOOR



Sommaire

- ❑ Contexte industriel
- ❑ Concept et objectifs
- ❑ Cas d'étude
- ❑ Approches pour la prédiction de la durée de vie en fatigue
- ❑ Méthodologie de calcul en fatigue
- ❑ Proposition d'une nouvelle méthodologie (algorithme)
- ❑ Le code de placement intelligent de capteurs
- ❑ Conclusion et perspectives

Contexte industriel

Contexte

- Domaines d'utilisation des ESP
 - ✓ Production
 - ✓ Stockage
 - ✓ Transport
- Condition de service
 - ✓ $P_{ESP} > P_{atm}$
 - ✓ Cycles thermiques sévères



Objectif

- Développer une stratégie de maintenance prédictive
 - Jumeau numérique



- Evaluation, à distance, de l'état de santé de l'ESP



- Prise de décisions préventives
- Diminution des coûts

Problématiques

- Défaillance de l'équipement
 - Coût de fabrication élevé
 - Dégâts humains et matériels
- Les stratégies de maintenances
 - Curatives
 - Préventives

Concept et objectifs

Objectifs du sujet de thèse

1- Développer un modèle EF d'un équipement sous pression, capable de prédire le taux d'endommagement et la durée de vie résiduelle

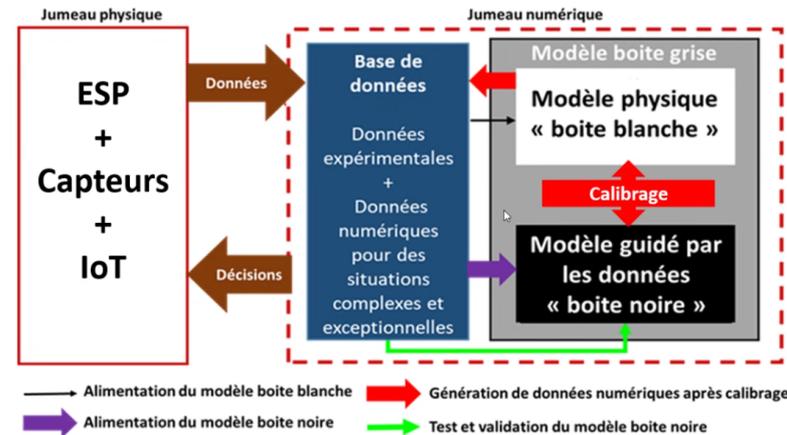
- Mise en œuvre d'un algorithme de placement intelligent de capteurs
- Mise en œuvre des différentes approches de prédiction de la durée de vie
- Mise au point de la boîte blanche (modèle physique)

2- Enrichir la base de données par les résultats de simulations numériques

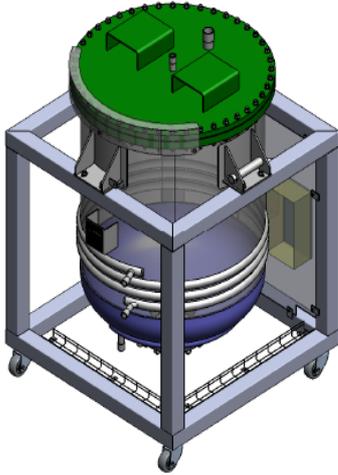
Objectifs du projet JUNAP

1- Développer une méthodologie d'évaluation en temps réel de l'intégrité des structures sous pression

2- Améliorer, fiabiliser la conception et l'exploitation de nouvelles générations de structures sous pression



Cas d'étude



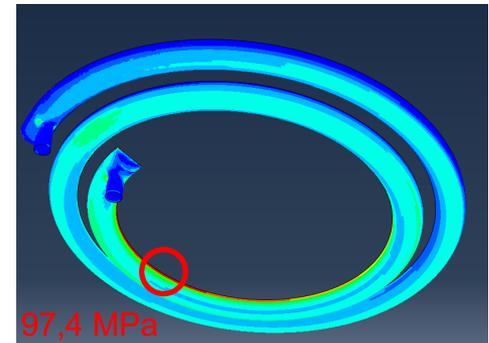
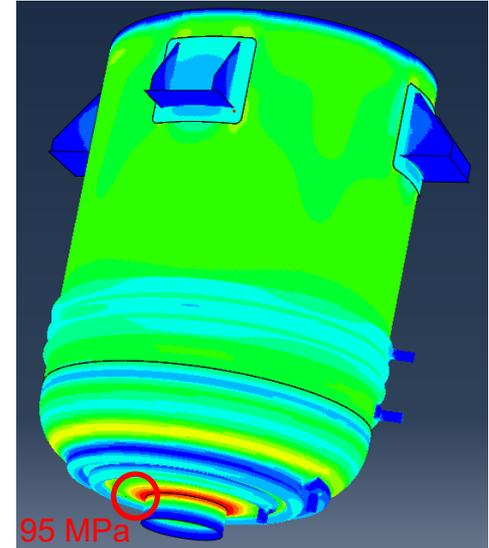
Matériau	P265GH
Module de Young (E)	201 000 Mpa
Limite élastique (σ_y)	265 Mpa
Contrainte à la rupture (R_m)	460 Mpa

EN 10028-2-2009
Steel Flat Non-Alloy Alloy Elevated Temp Prop

- Pression de service interne: $P_i = 5,3$ bars
- Pression de service serpentins : $P_s = 3,8$ bar
- Température de service : $T_s = 100$ °C
- Fluide contenu : Eau
- Dimensions : $H = 1,796$ m , $\varnothing 1,100$ m
- Volume utile : $\sim 1,34$ m³

Calcul par E.F.

Contrainte principale maximale



Approches pour la prédiction de la durée de vie en fatigue

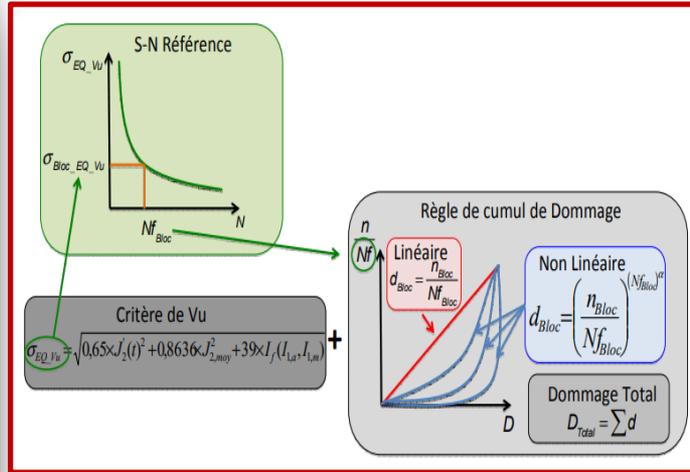
LCF

HCF

Approche courbes S/N

Mécanique de l'endommagement continu

Approche incrémentale

Exemple type Chaboche

$$\sigma_{eff\ locale} = \frac{\sigma_{locale}}{1 - D}$$

$$dD = D^{\alpha(\sigma_{max}, \sigma_m)} \left[\frac{\sigma_{max} - \sigma_m}{M(\sigma_m)} \right]^{\beta} dn$$

$$D = D_c \quad \text{Amorçage}$$

Exemple type Lemaitre

$$\sigma_{eff\ locale} = \frac{\sigma_{locale}}{1 - D}$$

$$\sigma_{micro} = \Sigma_{més0} - aE\varepsilon^p$$

$$f = (\hat{\sigma} - X)_{eq} - \sigma_y$$

$$\varepsilon^p = \lambda \frac{\partial f}{\partial \sigma}$$

$$si\ p \geq p_c$$

$$\dot{D} = \left(\frac{Y}{S} \right)^s \dot{p}$$

$$D = D_c \quad \text{Amorçage}$$

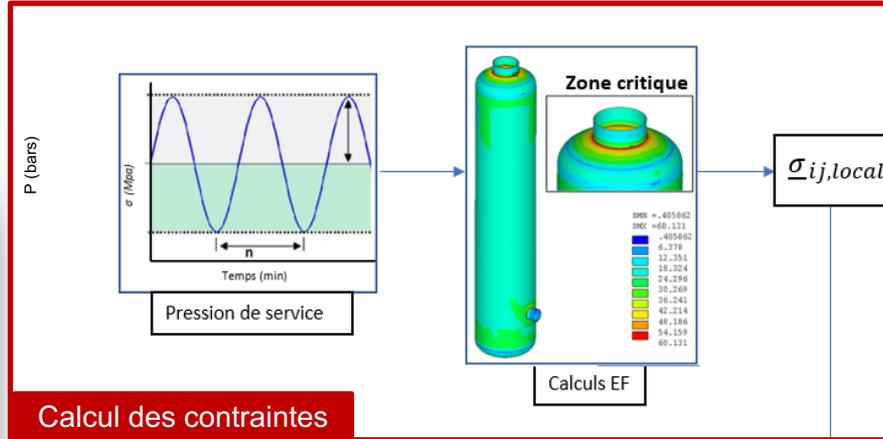
Loi de propagation
Exemple loi de Paris

$$\frac{da}{dN} = C[\Delta k]^m$$

+

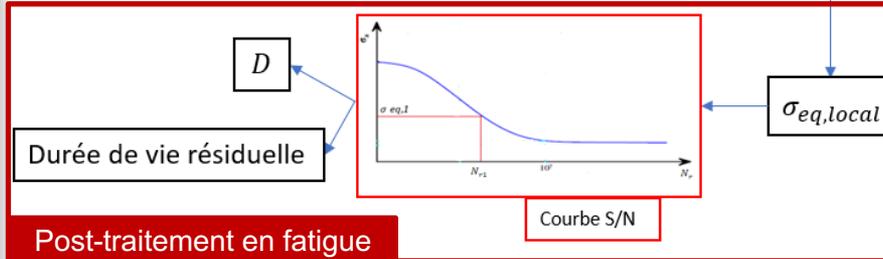
Méthodologies de calcul en fatigue

Méthodologie classique



Accessibilités	Besoins	Données sortie
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Contrainte équivalente (CODAP) ✓ $\underline{\sigma}_{ij,local}$ (EF) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Contrainte équivalente 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dommage ▪ Durée de vie

Nouvelle méthodologie



Accessibilités	Besoins	Données sortie
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Déformations locales bidirectionnel 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Contrainte équivalente 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dommage ▪ Durée de vie

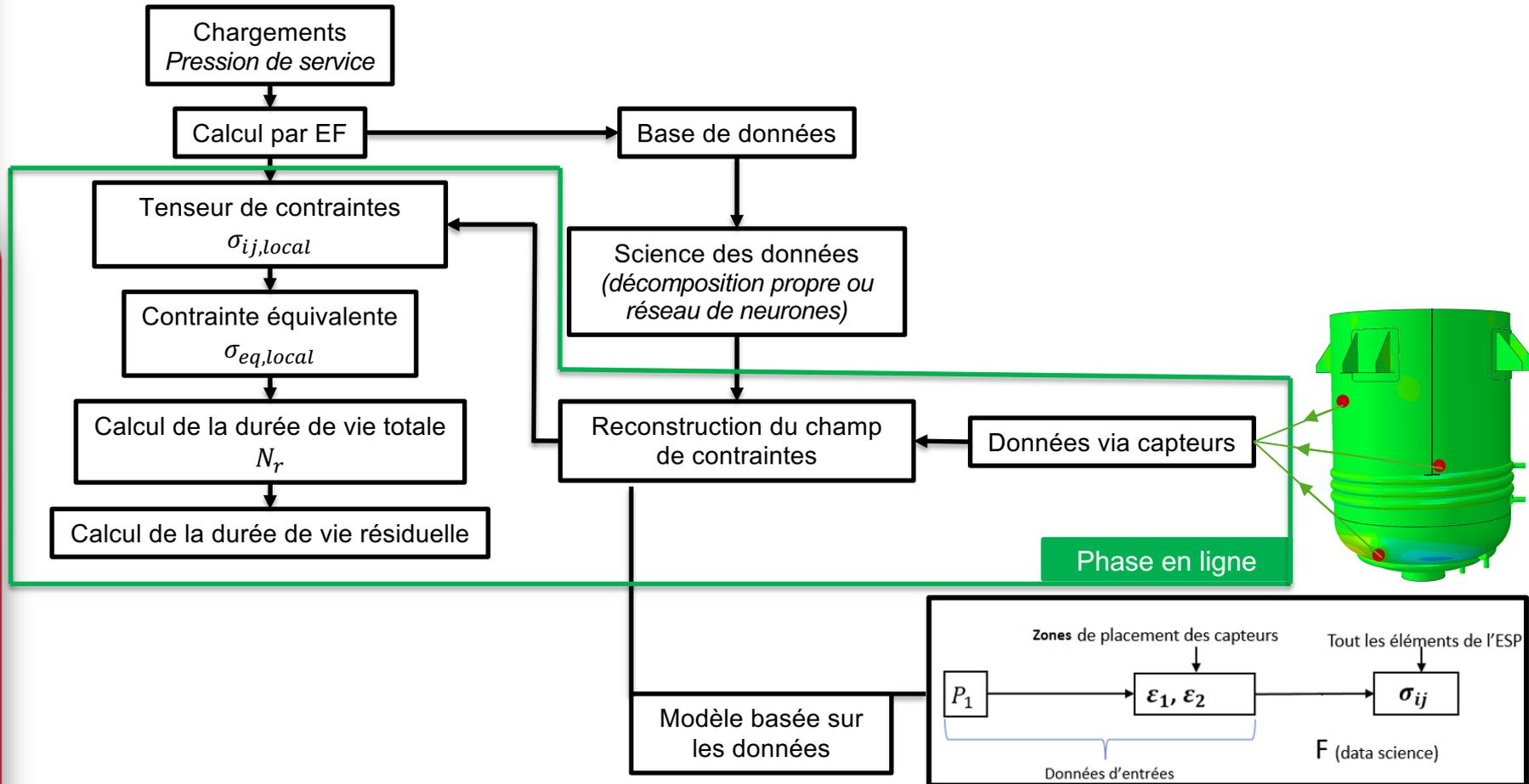
Avantages

- Méthode utilisée pour le dimensionnement
- Prédiction à travers un seul cycle par niveau

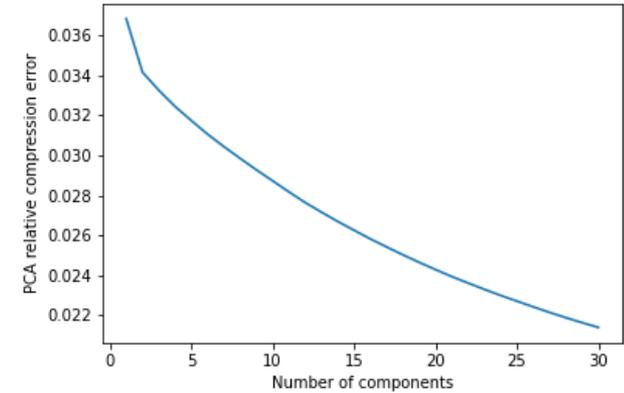
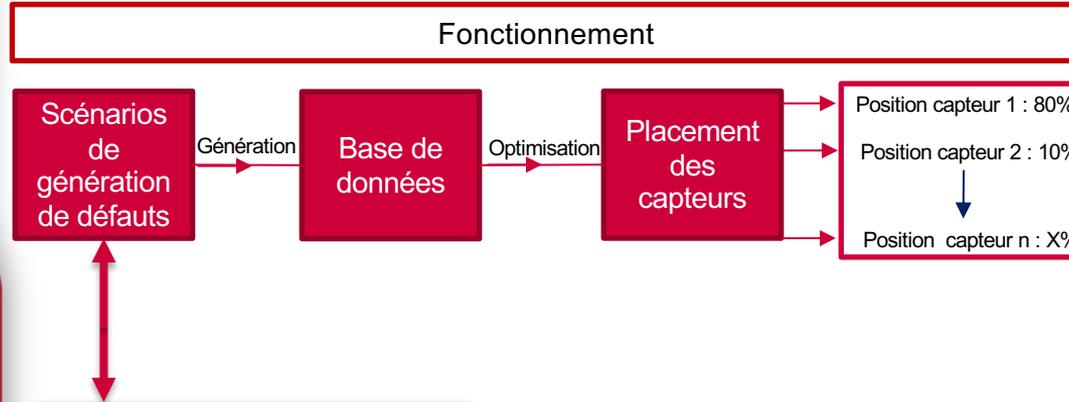
Inconvénients

- Selon cette approche, on a besoin de connaître le tenseur de contraintes

Proposition d'une nouvelle méthodologie (algorithme)

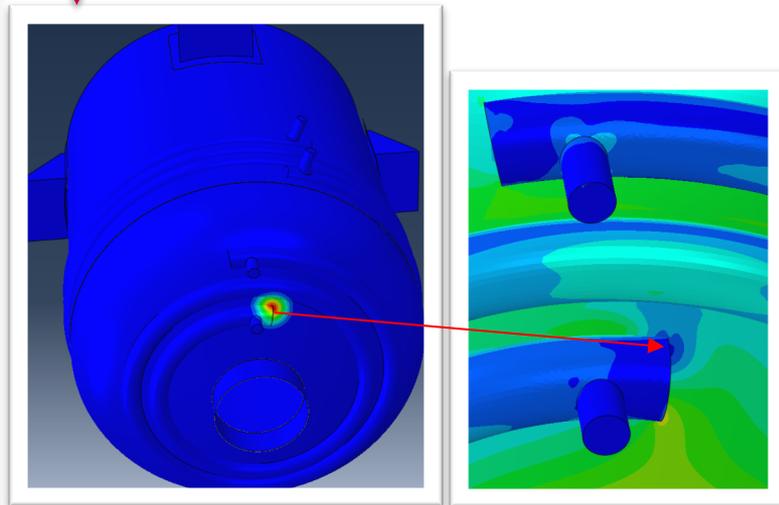


Le code de placement intelligent de capteurs



Objectifs

- Minimiser le nombre de capteurs utilisés pour la surveillance
- Minimiser l'erreur



Conclusion et perspectives

Conclusion

- A travers l'étude bibliographique
 - Choix des approches et des critères pour le calcul de la durée de vie
 - Positionnement par rapport à l'état de l'art et proposition d'une nouvelle méthodologie adapté à notre objectif
- A travers les calculs par EF en statique
 - Identification des zones critiques
 - Placement des capteurs

Perspectives

- Contrôle et instrumentation de l'ESP
- Validation de la reconstruction du champ de contraintes sur l'ESP
- Simulation de la propagation des fissures



Going for the future