



Modélisation de la déformation d'assemblages combustibles d'une centrale REP

Activité dans le cadre du projet MADRAS :
Maintien Axial, Déformations, Robustesse des
Assemblages combustibles sous Sollicitations
thermo-hydrauliques

Roméo FERNANDES, Erwan GALENNE, Vincent GODARD, Raphaël PERONY (AMA)

Benoit LEVASSEUR, Jean-Philippe ARBEY (SEPTEN)



Qu'est-ce qu'un Assemblage Combustible



Vue d'un Assemblage Combustible

Dimensions :
4-5 m de haut
264 crayons combustibles (1/2 tonne d'uranium)
25 tubes
20 cm de côté
8-10 grilles de maintien

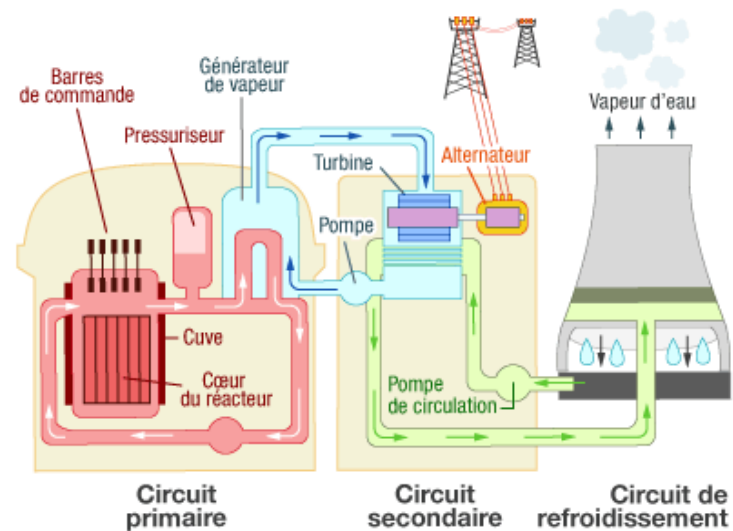


Schéma d'un réacteur à eau pressurisée



Pourquoi EDF s'intéresse aux déformations des Assemblages Combustibles

- o Pour des raisons de sûreté nucléaire :
 - ⇒ en cas de mauvaise insertion des AC dans le cœur
 - ⇒ difficulté d'insertion des grappes de commande
- o Pour des raisons économiques liées à la difficulté de la manutention

Illustrations :

- ▶ Quelques exemples des difficultés d'extraction/d'insertion des AC
- ▶ Accrochage/Endommagement de grilles à la décharge/recharge du cœur

Les déformations d'Assemblages Combustibles sont la cause de difficultés de manutention coûteuses en temps lorsqu'il faut mettre en œuvre des parades.



Objectifs technique

Comprendre les phénomènes multi-physiques qui conduisent aux déformations des assemblages combustibles en cœur (mécanique, thermique, hydraulique, Interaction Fluide-Structure, matériaux...)

Développer des outils numériques pour évaluer par la simulation les amplitudes et le type des déformées :

- pour aider à la compréhension des phénomènes physiques (approche expérimentale nécessairement incomplète)
- pour expertiser les nouvelles conceptions proposées par les fournisseurs



Méthodologie de travail mise en oeuvre

- ◎ Les différentes étapes de la modélisation :
 - Développement d'un modèle représentatif du comportement purement mécanique d'un AC
 - Prise en compte de l'impact de l'irradiation
 - Extension du modèle d'un AC au coeur complet (pour prendre en compte tous les phénomènes physiques) :
 - Contact entre assemblages et avec le cloisonnement de la cuve
 - Chargement hydraulique due à la circulation de fluide dans la cuve
 - Comparaison des solutions numériques par rapport aux mesures in-situ



Nécessité d'une modélisation simplifiée

Le premier modèle (début des années 90) représentatif du comportement d'un assemblage combustible dans Code_Aster était constitué de **81.748** ddls. Les performances numériques étaient telles qu'il avait été estimé à **6 mois** de temps CPU pour la réalisation d'une simulation sur coeur complet.

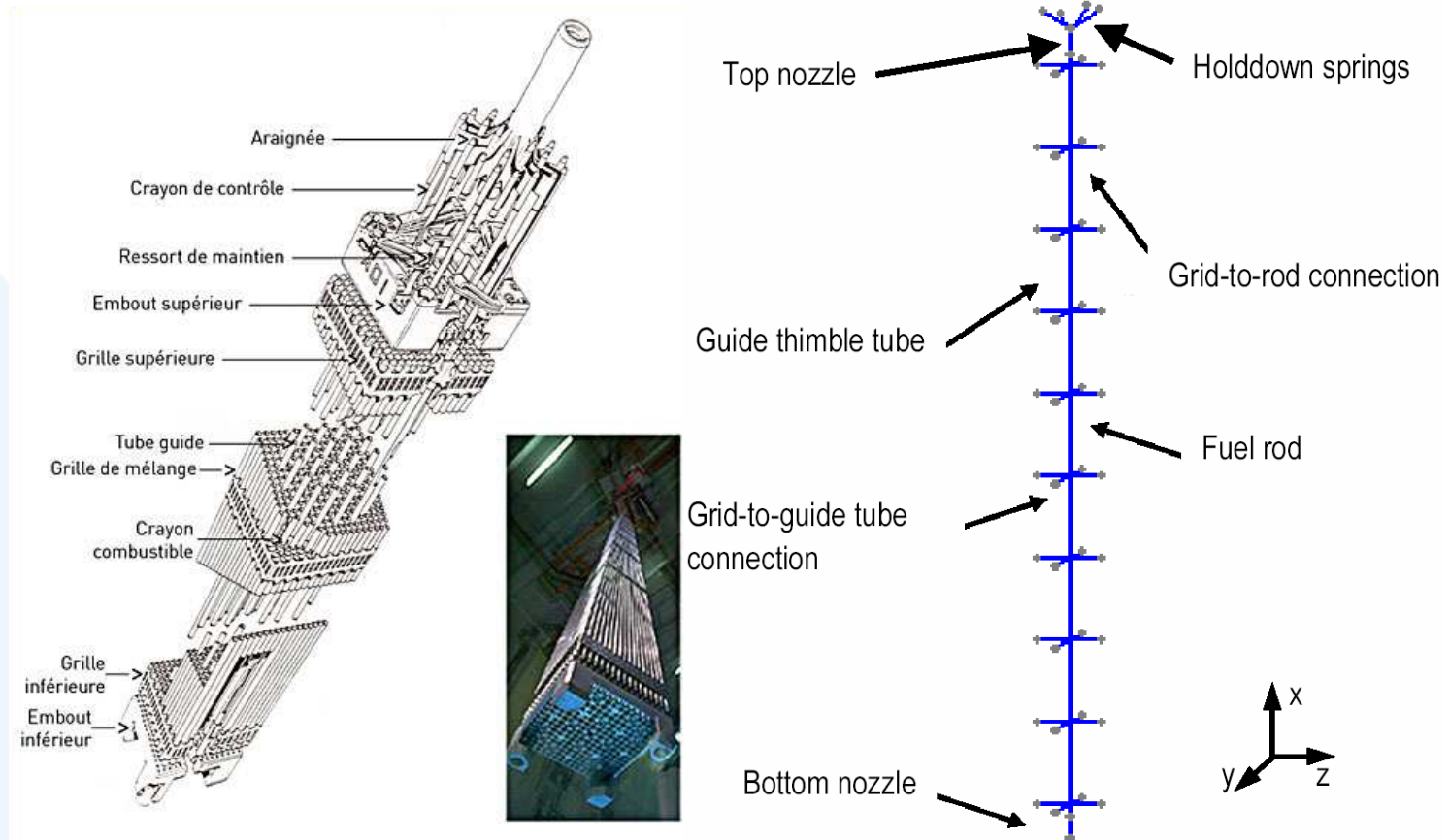
Une première version simplifiée d'un assemblage combustible a ensuite été proposée (fin 90). Celle-ci comportait 1.740 ddls.

La version actuelle a été revisitée et comporte 800 ddls par AC.

=> Une précision sur les temps de calcul est donnée en fin de présentation



Modélisation d'un Assemblage Combustible

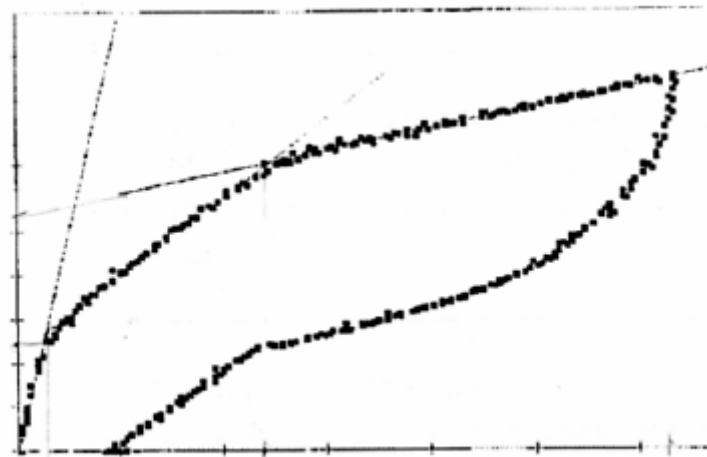


- Une poutre équivalente pour modéliser les 25 tubes
- Une poutre équivalente pour modéliser les 264 crayons combustibles
- Prise en compte du fluage et du grandissement des tubes et crayons
- Relation non-linéaire pour modéliser le comportement des crayons dans leur cellule de grille

Détermination des caractéristiques matériau

- Les caractéristiques mécaniques et matériau sont déterminés analytiquement à partir des données constructeurs.
- Les paramètres de la liaison grille-crayon sont obtenus par recalage sur des essais de compression axiale, de flexion latérale et sur un calcul des premiers modes de flexion.

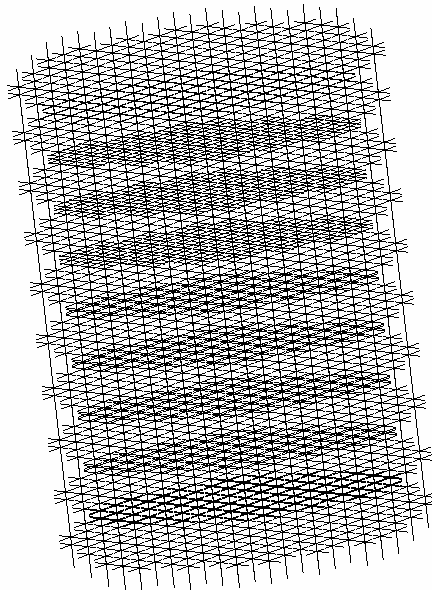
=> Utilisation de la commande MACR_RECAL de Code_Aster





Modélisation du cœur complet

- Principe : duplication de la modélisation mono-assemblage :
 - Prise en compte des contacts inter-AC et entre AC et cuve
 - Prise en compte des efforts hydrauliques dans la cuve
 - Prise en compte de l'effet thermique dans le coeur



Représentation géométrique 3D du cœur

	R	P	N	M	L	K	J	H	G	F	E	D	C	B	A	
1																1
2																2
3																3
4																4
5																5
6																6
7																7
8																8
9																9
10																10
11																11
12																12
13																13
14																14
15																15
	R	P	N	M	L	K	J	H	G	F	E	D	C	B	A	

Représentation du cœur (vue de dessus) 1300MWe

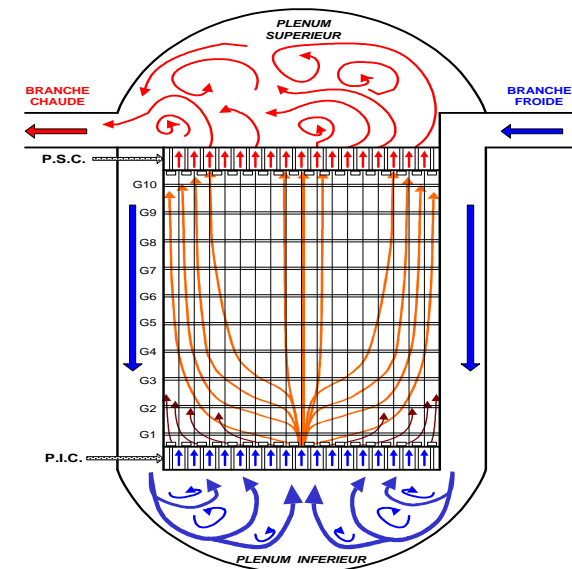


Illustration des chargements hydrauliques



Comportement de l'assemblage en coeur

Les sollicitations au niveau de chaque AC sont de type :

- Forces externes :
 - Effort axial de maintien F_S
 - Efforts latéraux et axiaux d'interaction avec le voisinage (hydraulique F_H + assemblages voisins + cuve)
- Forces internes :
 - Frictions au niveau des grilles dues au grandissement des crayons
 - Dilatation thermique
- Forces réparties :
 - Poids de l'AC / Poussée d'Archimède

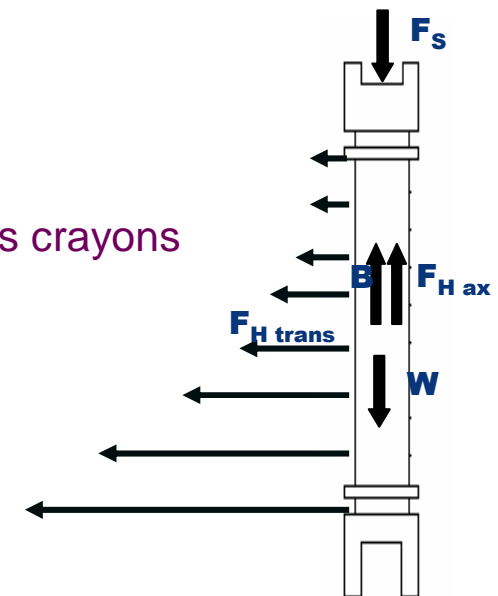


Illustration des sollicitation subies par les AC

Application numérique sur une centrale du parc

Description

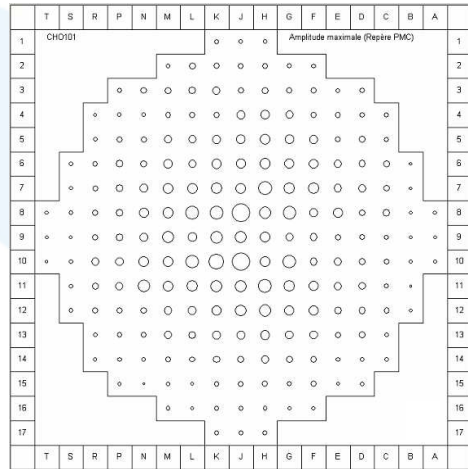
- 1^{er} cycle : 205 AC de conception A
- 2^{ème} cycle : 52 AC neufs B + 153 AC irradiés A
- 3^{ème} cycle : 52 AC neufs B + 52 AC irradiés B + 101 AC irradiés A

Hypothèses

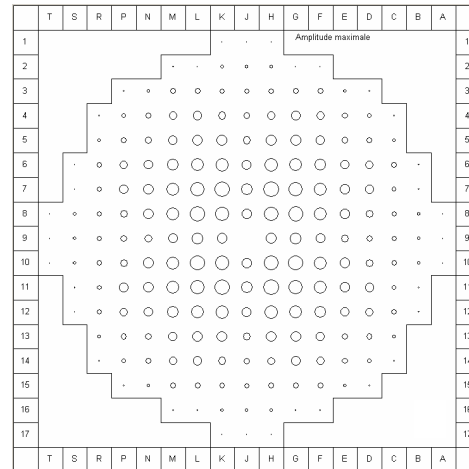
- Géométrie identique pour les 2 conceptions d'AC
- Les jeux sont identiques à chaud/à froid
- Chargement hydraulique transverse symétrique par 1/8^{ème} de cœur

Cartographie des déformations après le 1er cycle

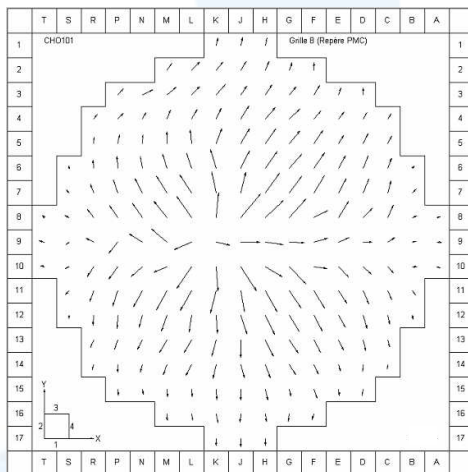
amplitudes des déformations



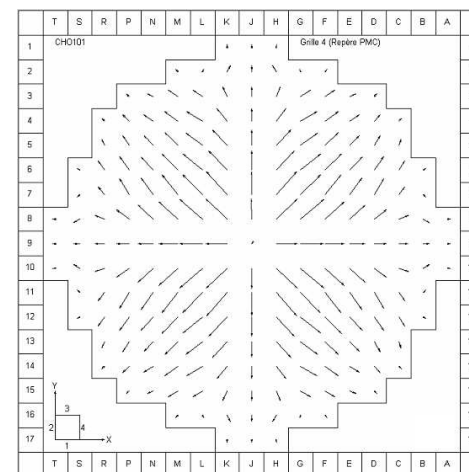
mesures



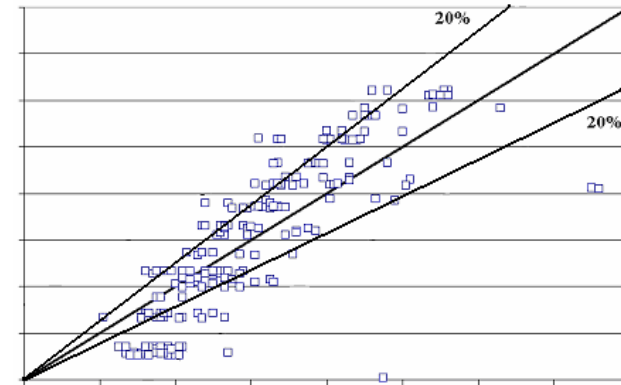
simulation



orientation des déformées



Amplitude des déformations résiduelles de simulation



Amplitude des déformations résiduelles des DAMAC

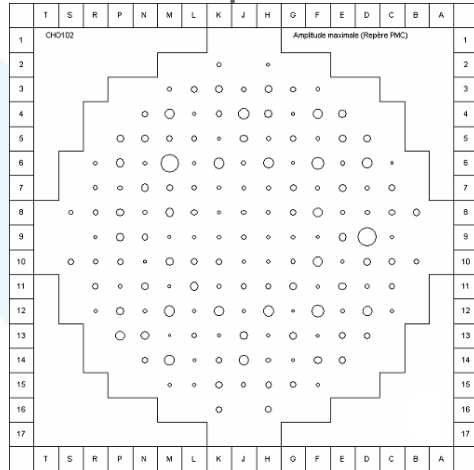
écart mesures / simulation

- déformations max au centre mais localisations différentes
- amplitudes max/moy cohérentes
- déformation limitée par les jeux pour la simulation en contradiction avec les mesures (AC de bord)
- orientation des déformées très liées à la direction du chargement hydraulique dans la simulation

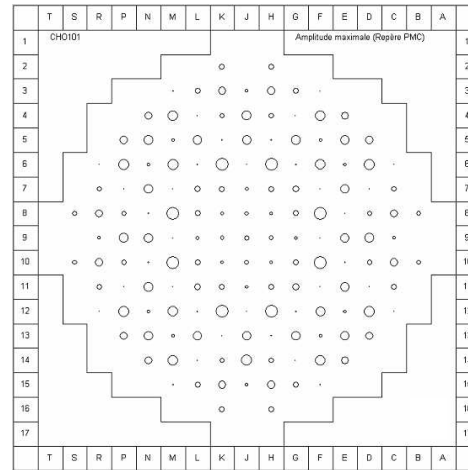


Etat initial du 2ème cycle

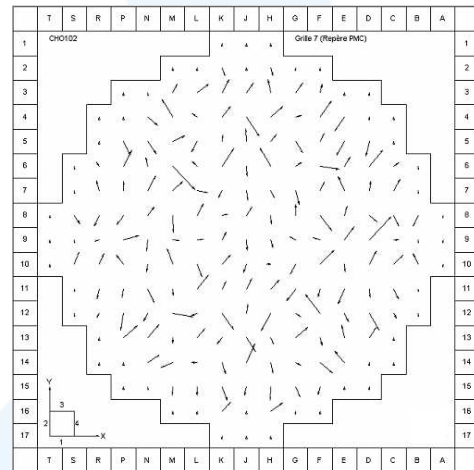
amplitudes des déformations



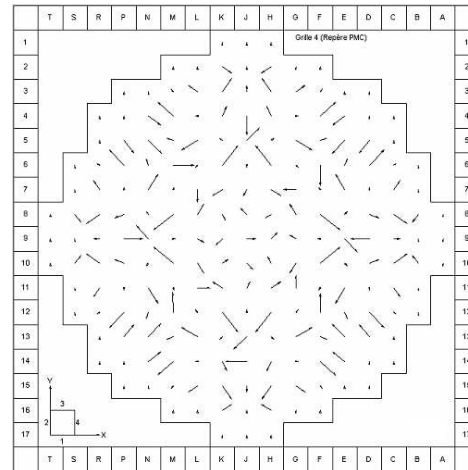
mesures



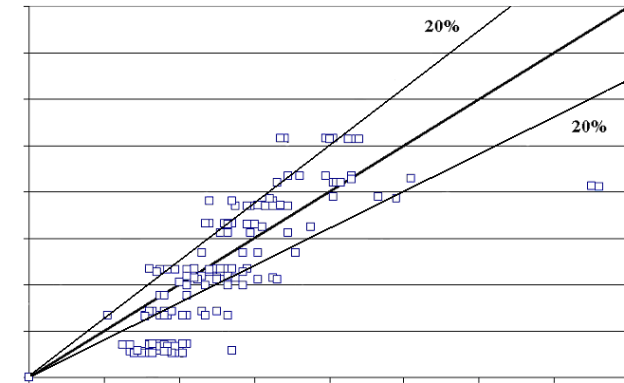
simulation



orientation des déformées



Amplitude des déformations résiduelles de simulation



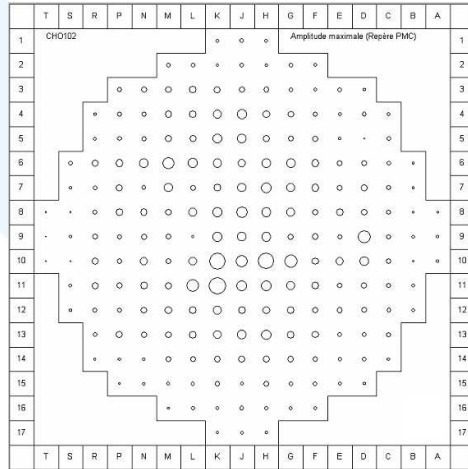
Amplitude des déformations résiduelles des DAMAC

écart mesures / simulation

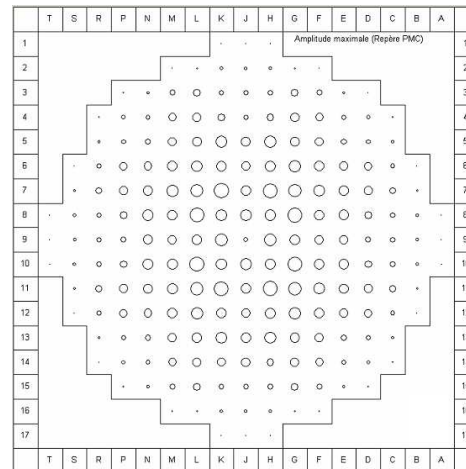
- Etats initiaux différents
- Estimation des chargements hydrauliques sans prise en compte de cet état perturbé

Cartographie des déformations après le 2^{ème} cycle

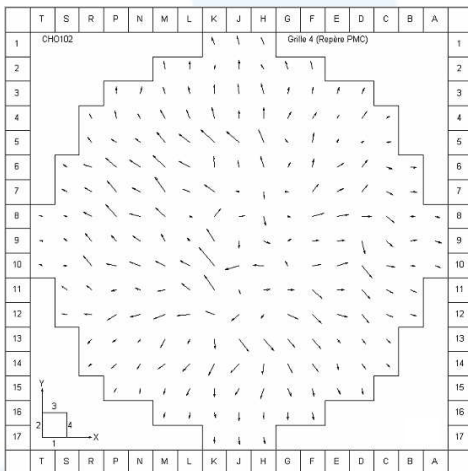
amplitudes des déformations



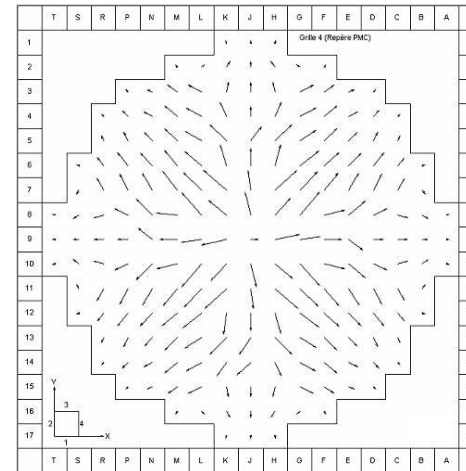
mesures



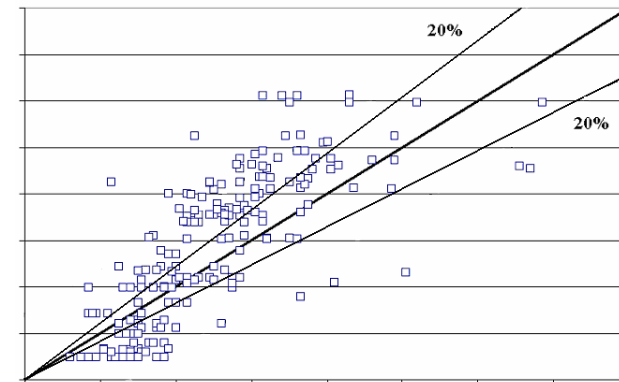
simulation



orientation des déformées



Amplitude des déformations résiduelles de simulation



Amplitude des déformations résiduelles des DAMAC

écart mesures / simulation

- Résultats numérique proche du cycle 1
- Orientation des déformées semblables au cycle 1 excepté sur les axes verticaux et horizontaux
- Impact faible de l'état initial (non pris en compte pour le chargement hydraulique)



Bilan simulations / mesures sur les 3 cycles

	Déformation résiduelle	Ecart de la simulation Code_Aster/mesures (en %)	
		Chargement hydraulique n°1	Chargement hydraulique n°2
Cycle 1	Maximale	18%	2%
	Moyenne	2%	3%
Cycle 2	Maximale	11%	2%
	Moyenne	15%	19%
Cycle 3	Maximale	21%	13%
	Moyenne	11%	16%

Ecart
< 20%

Nombre d'inconnues nodales totales : 277.540 ddls

Besoin en capacité mémoire : 900 Mo

Temps de calcul : ~ 2h (séquentiel) / **1h10min** (parallèle/4 procs)



Conclusion

- La faisabilité des simulations a été démontrée sur un coeur complet réel pour lequel on dispose d'un retour d'expérience in-situ
- Les résultats sont globalement cohérent avec les mesures
- Apport conséquent de la mise en oeuvre d'une modélisation simplifiée pour la réalisation de simulation sur coeur complet

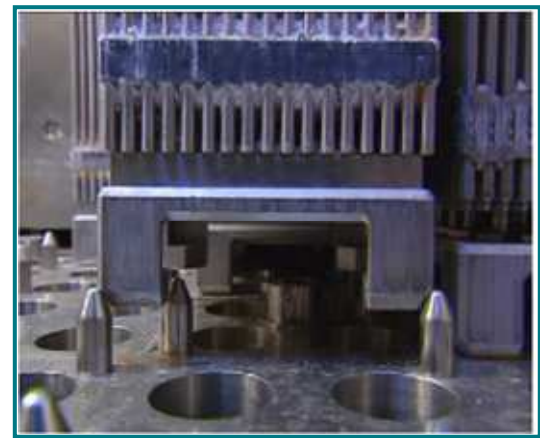
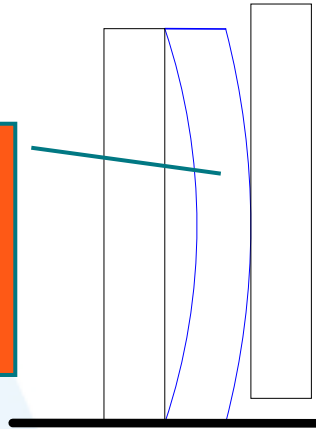
Perspectives

- Synthèse du modèle de calcul de déformations d'AC
- Mise en oeuvre d'un outil métier intégré dans la plate-forme SALOME-MECA



Difficulté d'extraction/d'insertion des AC

Assemblage déformé décalant assemblage voisin



Dépose à côté des pions



Espace Insuffisant pour insertion

