
Calculs EF sur des matériaux hétérogènes (bétons de chanvre, agrégats HCP)



Ph. Pilvin, S. Pascal

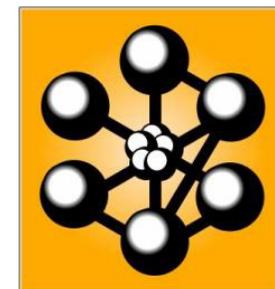


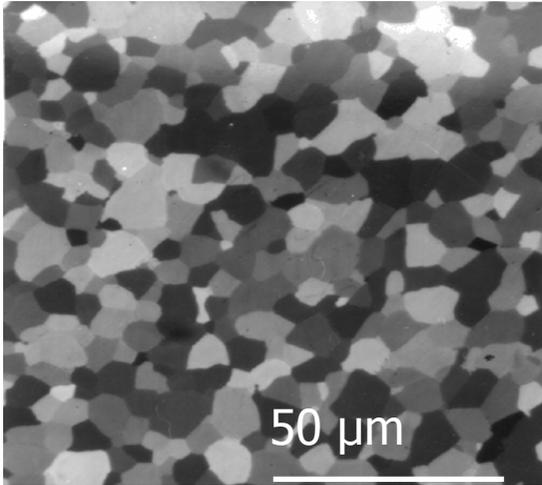
M. Priser (2011), T. H. Pham (2013), A. Castro Moreno (2014)



**Equipe « Comportement des Matériaux
Hétérogènes » (GC & GM)**

Club Cast3M – 29-nov-2012 – 92-Montrouge





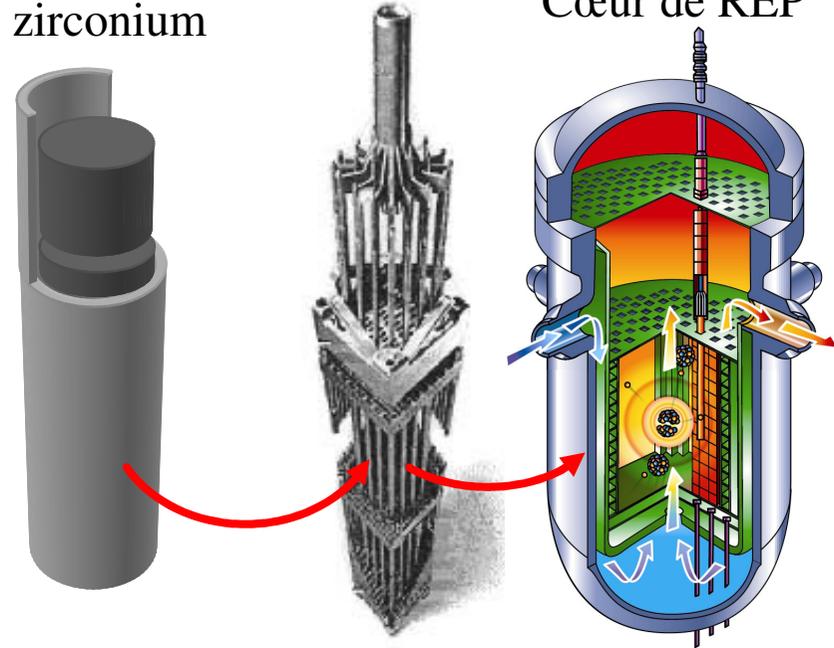
**Matériaux à
microstructures
aléatoires**



Gaine alliage
de zirconium

Assemblage
combustible

Cœur de REP



Contexte : éco-matériaux (thèse T. H. Pham)

Matériau

Béton de chanvre = chènevotte + liant (chaux+eau)



Avantages :

- Faible impact environnemental
- Faible conductivité thermique
- Faible masse volumique

Inconvénient :

- Faible résistance mécanique

Objectif : Étude de l'effet des inclusions végétales
=> conductivité thermique du béton de chanvre

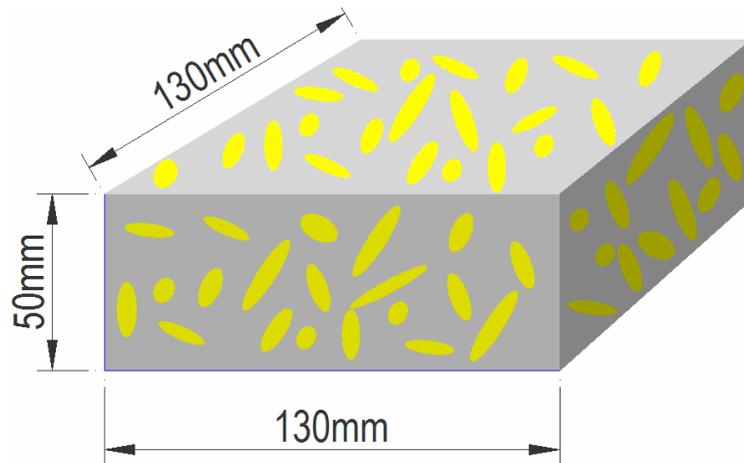
Matériaux composites étudiés

■ Formulations

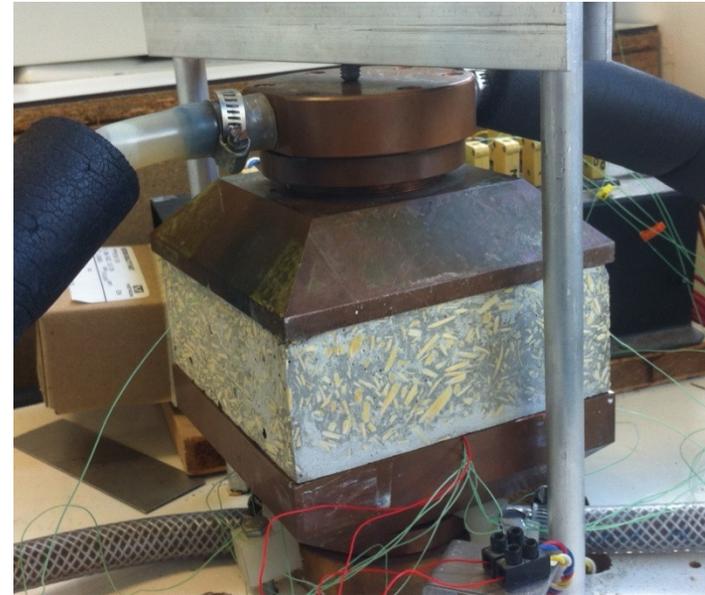
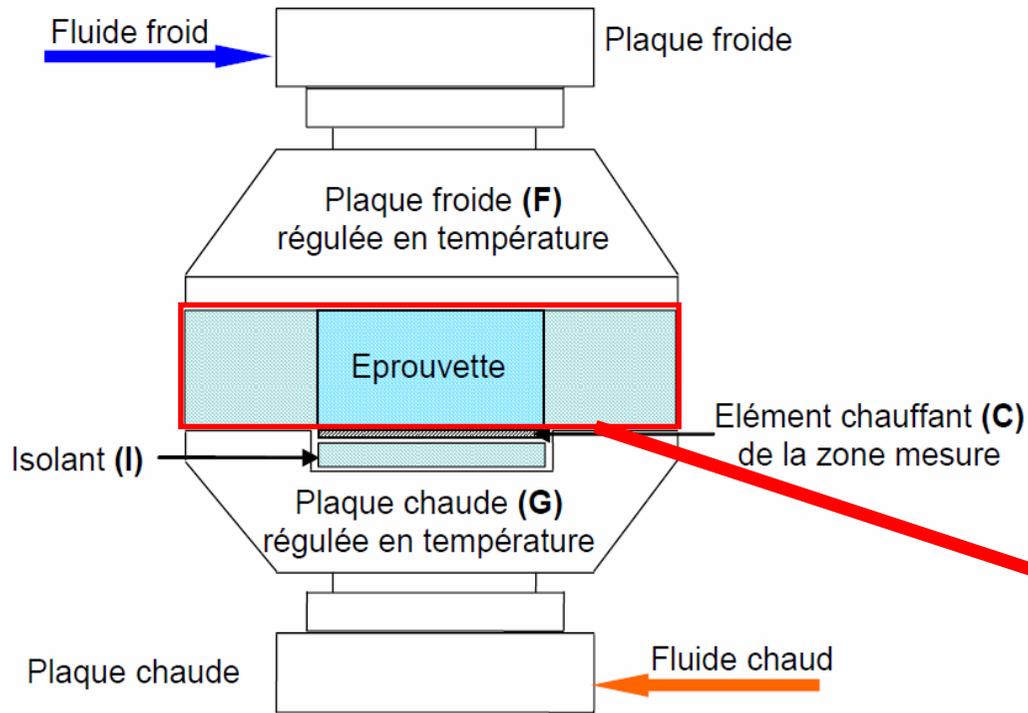
Formule	1	2	3	4	5	6	7
E/C	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
V _f (%)	0	5	10	15	20	25	30

■ Préparation des échantillons

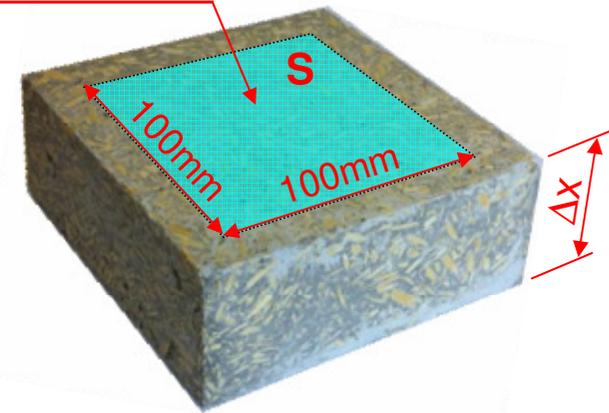
- 28 jours de maturation
- 2 semaines de séchage à 60°C



Mesures de la conductivité thermique

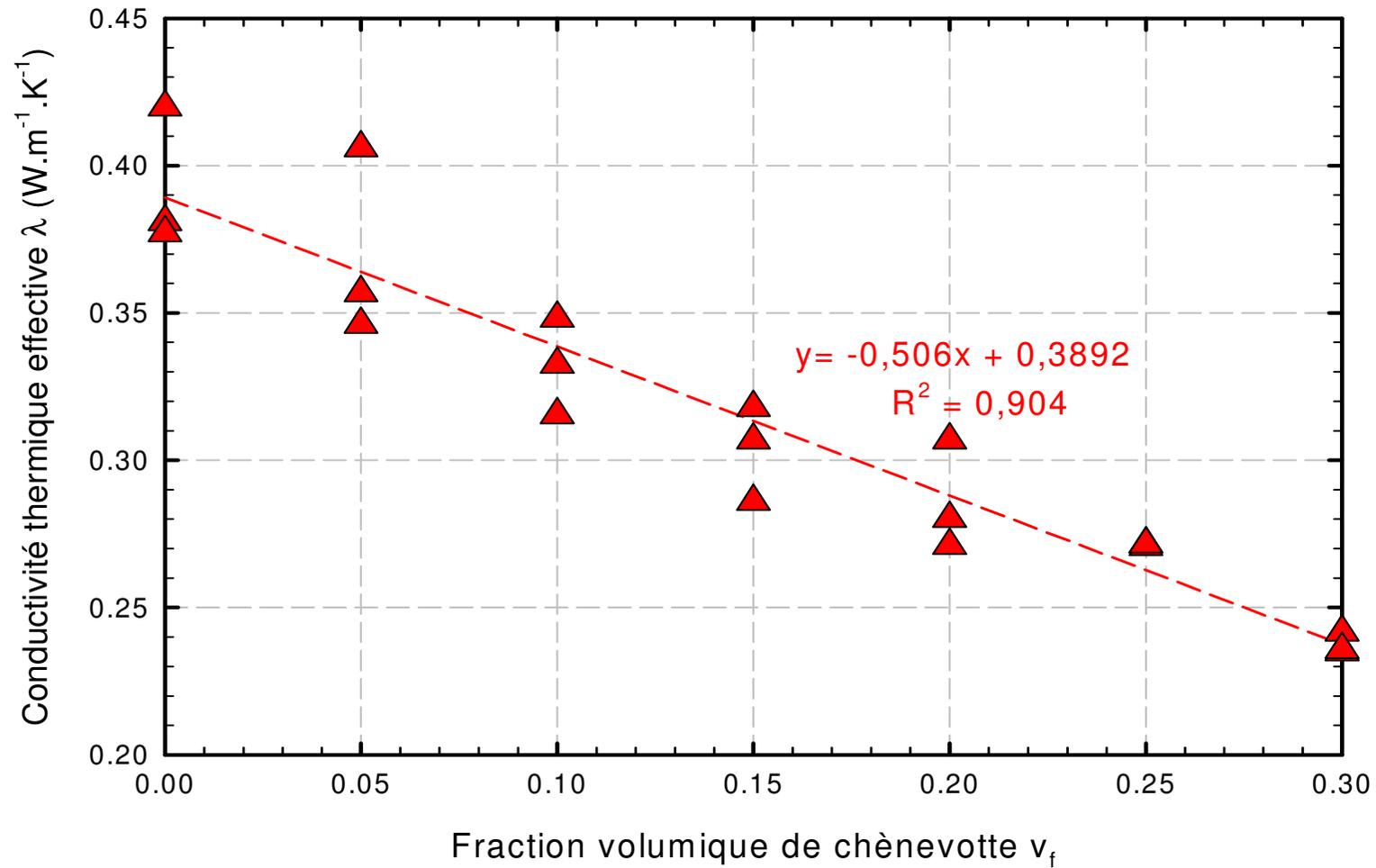


Zone de mesure



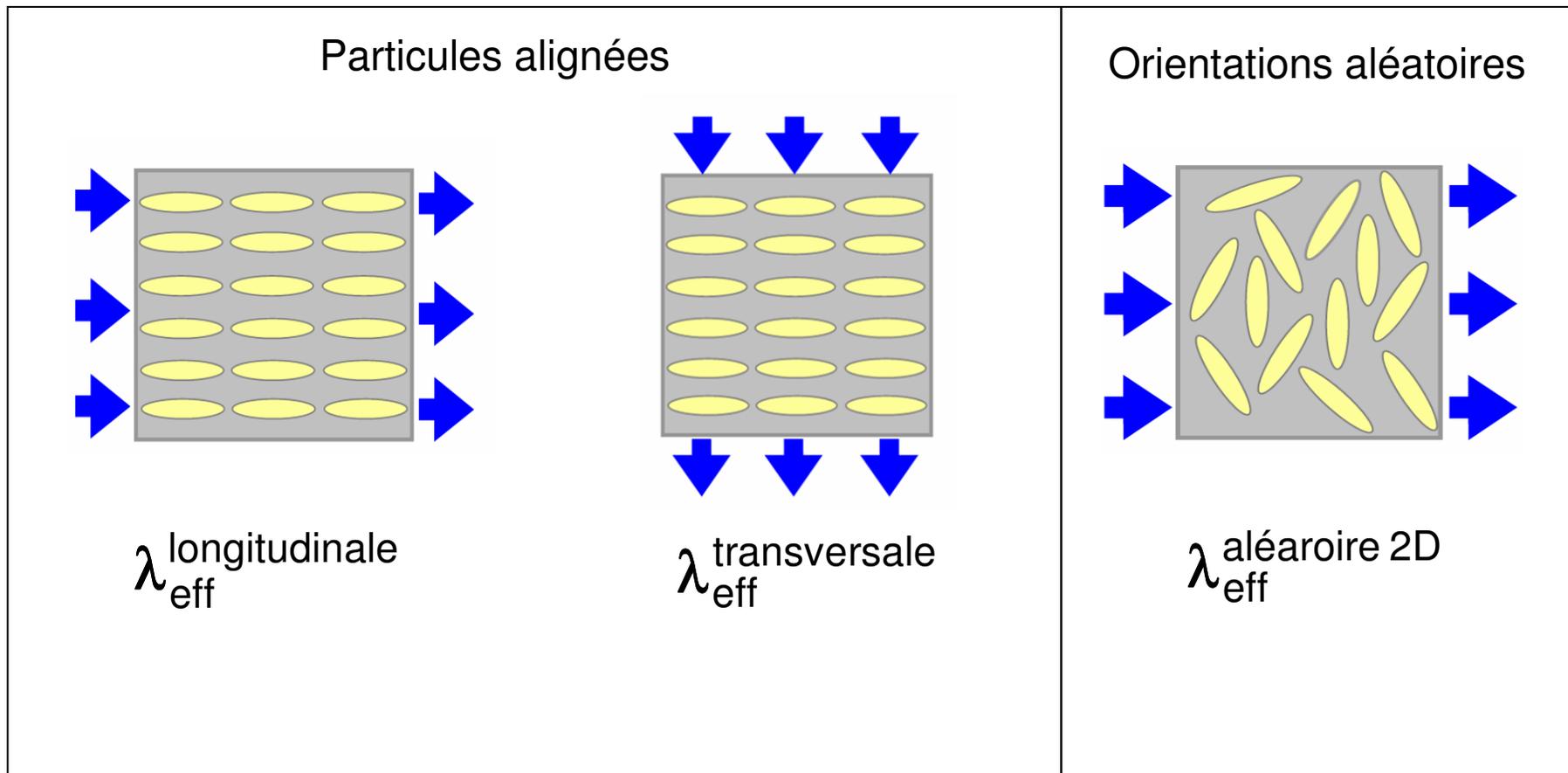
Méthode de la plaque chaude gardée

Résultats expérimentaux



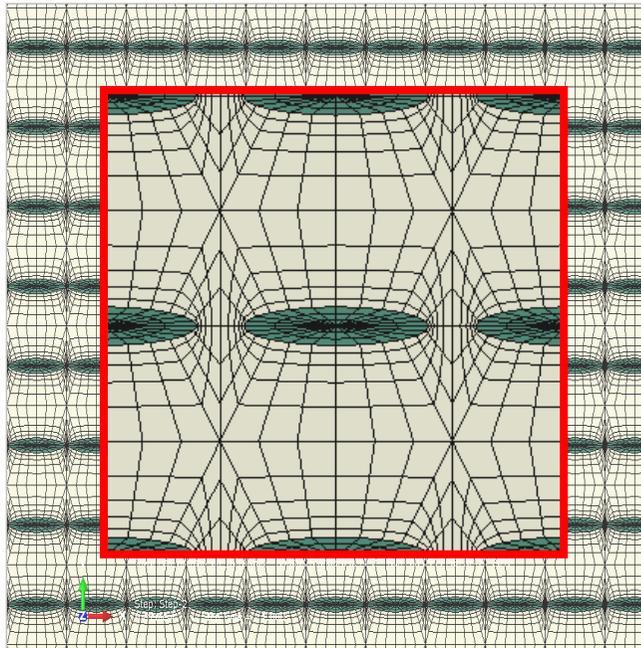
Homogénéisation : approche numérique

Calculs éléments finis en 2D : ABAQUS®

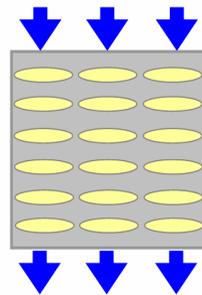
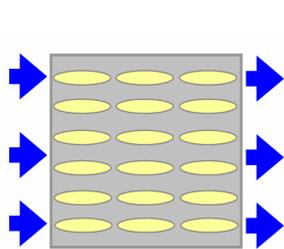
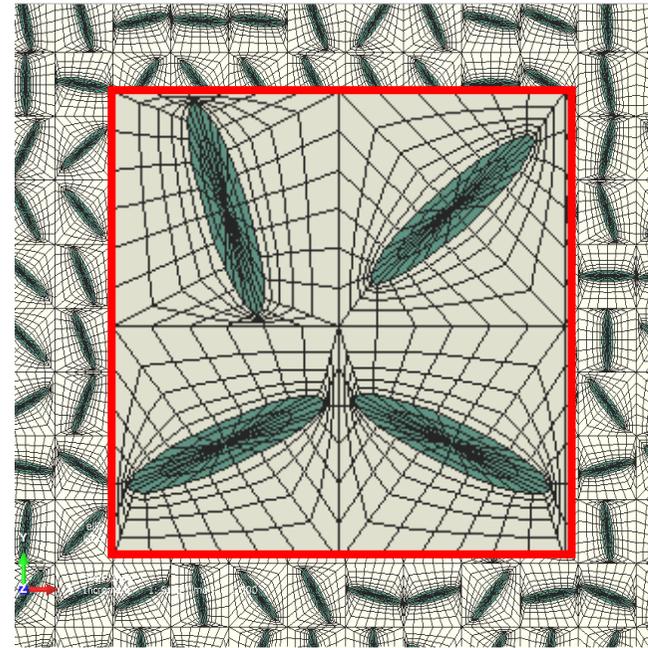


Maillages EF 2D (scripts paramétrés)

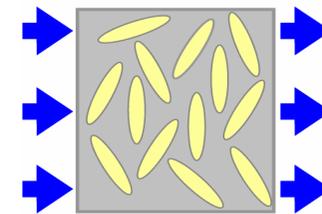
orientations alignées



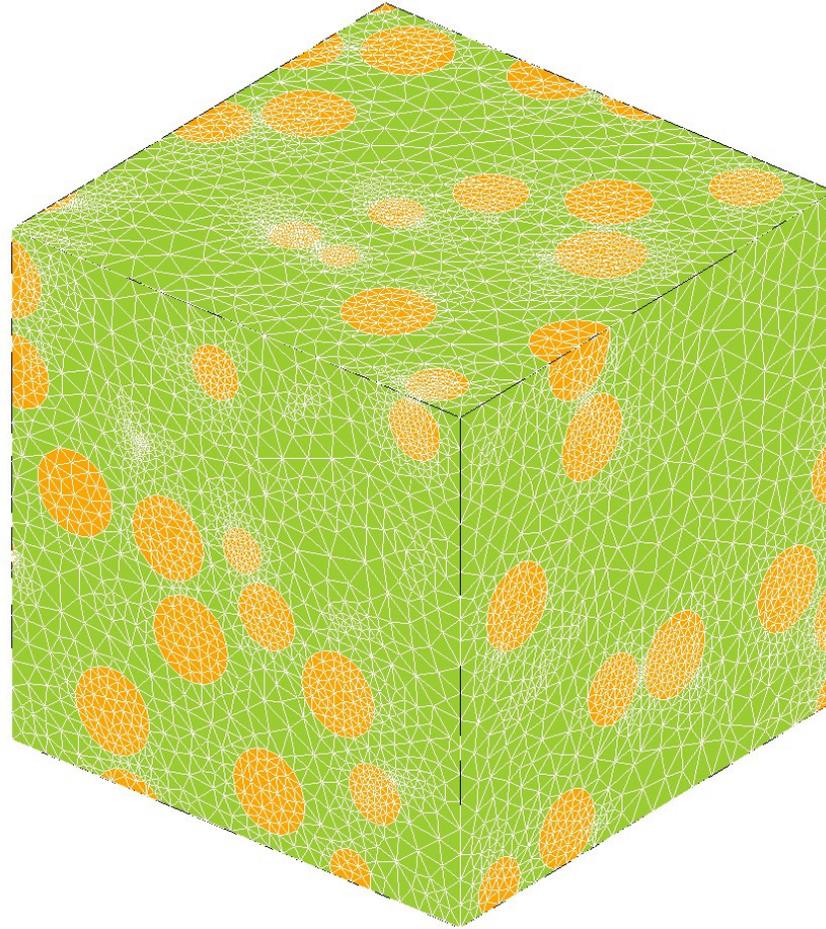
orientations aléatoires en 2D



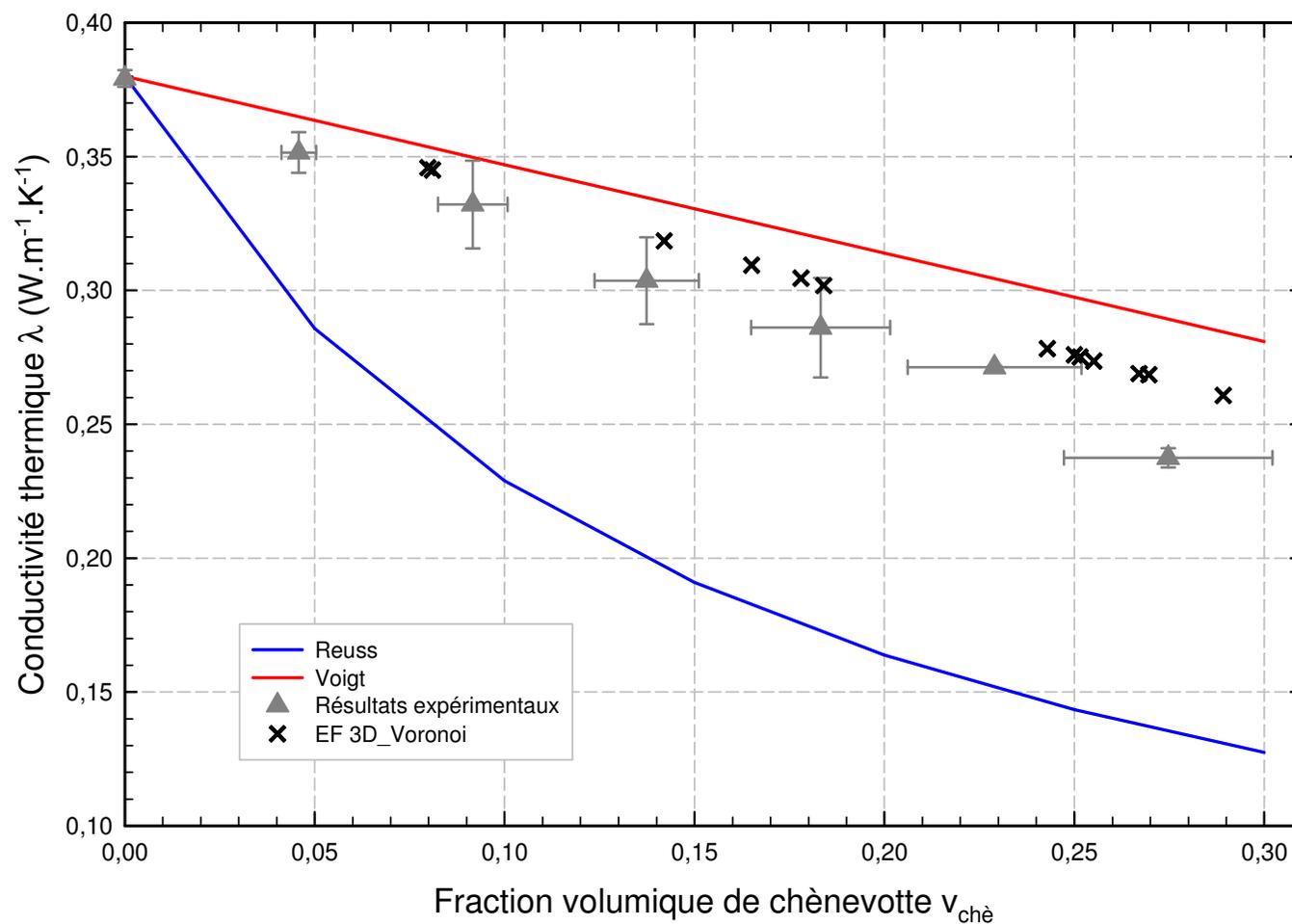
Nombre de cellules
20x20



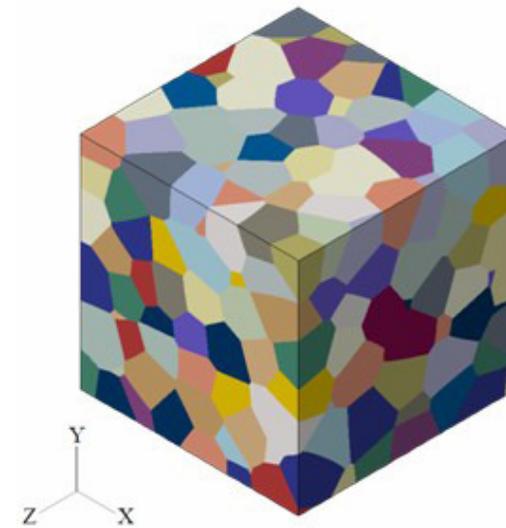
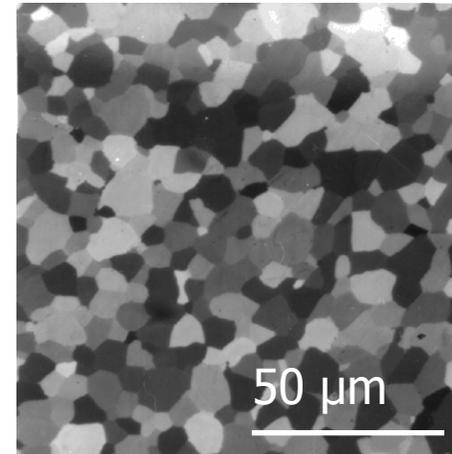
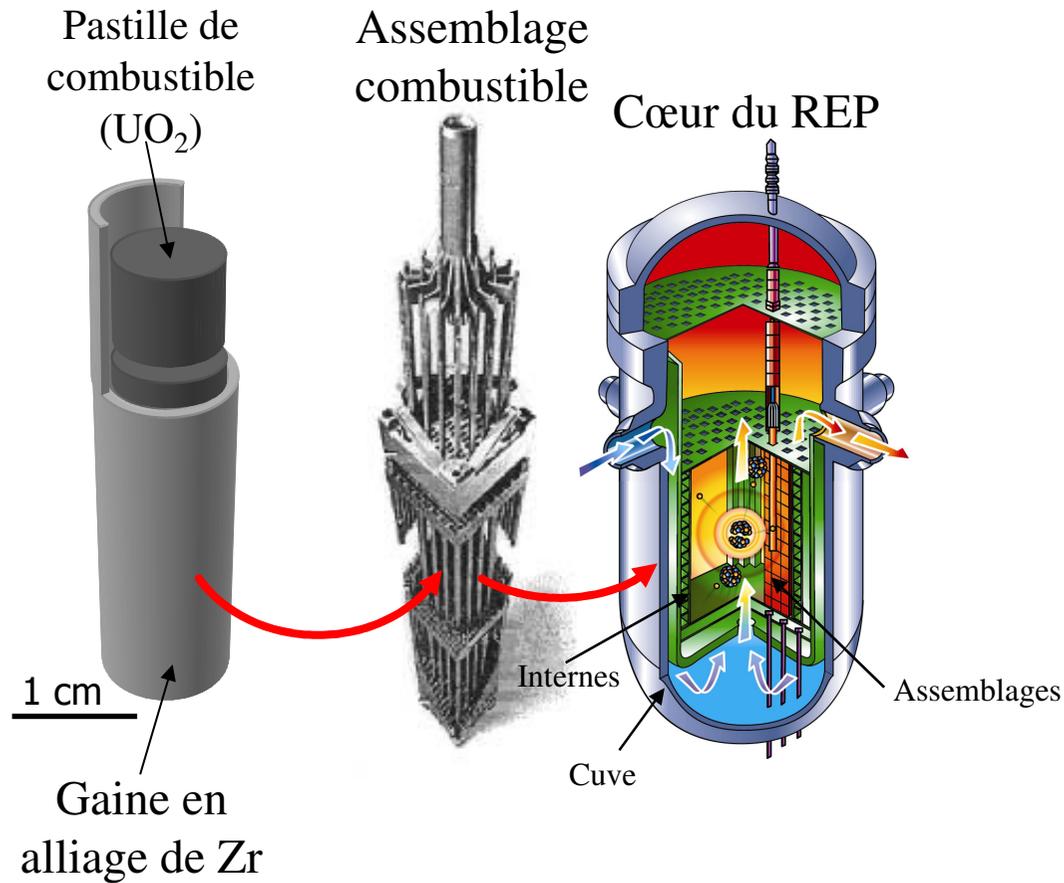
Maillages 3D aléatoires Cast3M



Résultats EF 3D (maillages Cast3M)



Alliages de Zr pour l'industrie nucléaire



Thèses de M. Priser (2011) et
A. Castro Moreno (2014)



Calculs d'agrégats par éléments finis

Comment modéliser le comportement du MHE ?

↙

Lois de transition d'échelles

- Loi de comportement à l'échelle du grain
- Hypothèses simplificatrices dans l'étape de localisation
 - Homogénéisation

↘

Calcul d'agrégats

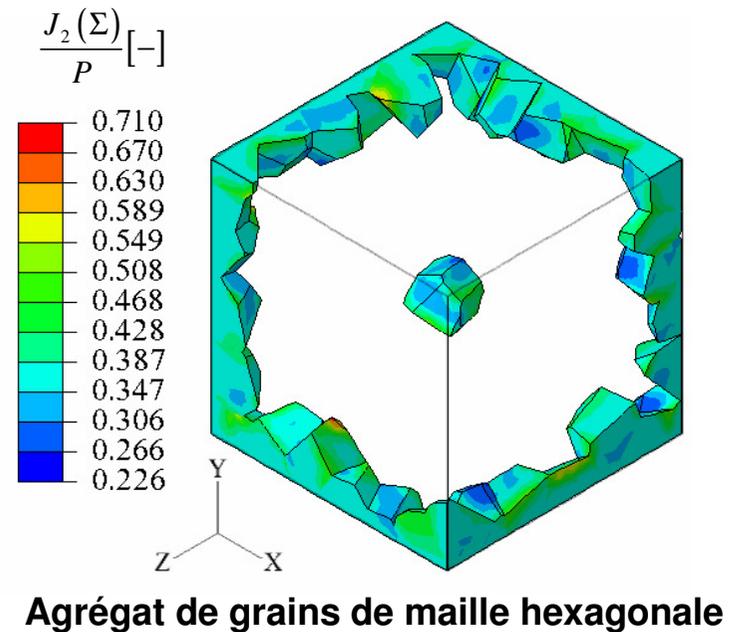
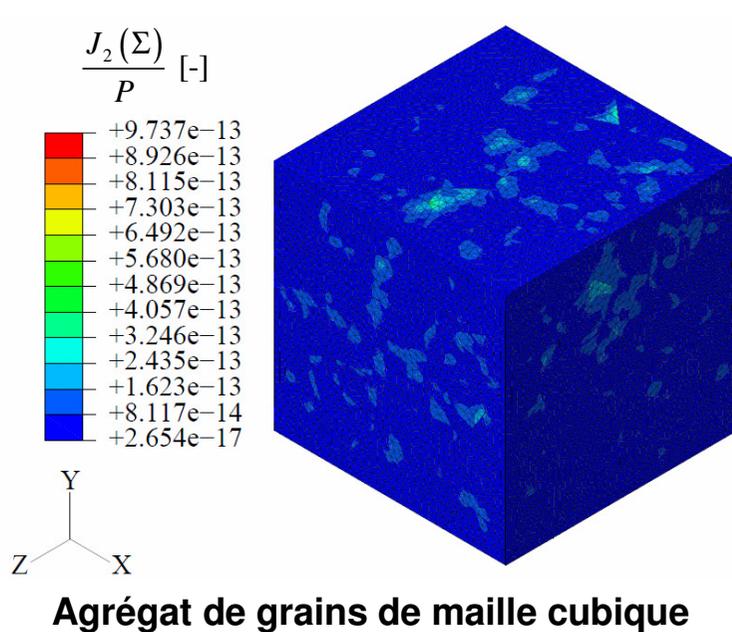
- Loi de comportement à l'échelle du grain
- Géométrie des grains
- Effets de voisinage



Utiliser des calculs EF d'agrégats pour analyser le degré d'approximation des règles de transition d'échelles sur des alliages HCP.

Calculs EF d'agrégats (élasticité anisotrope)

I. Intérêt de l'approche :

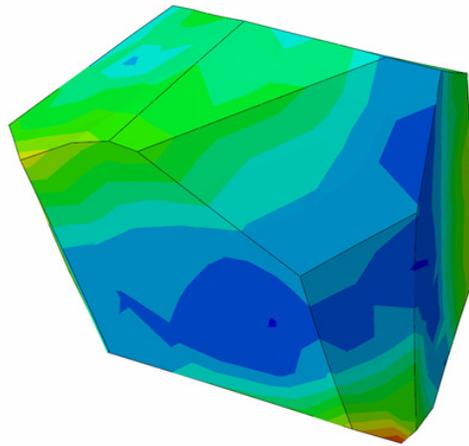
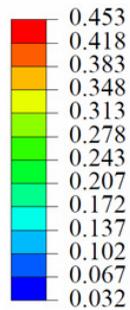


Comparaison de la réponse mécanique d'un agrégat soumis une condition limite en déformation homogène, CLDH, de dilatation isotrope avec une déformation de $0,5 \cdot 10^{-3}$.

Calculs EF d'agrégats (plasticité)

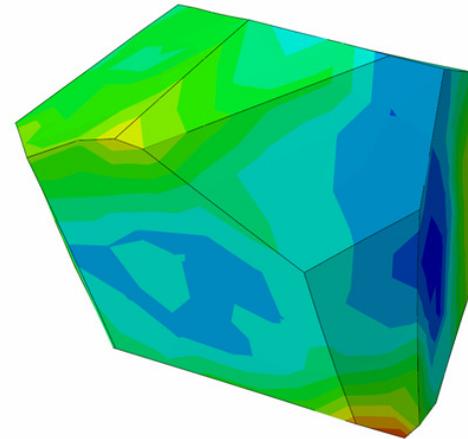
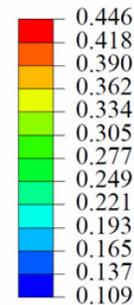
I. Intérêt de l'approche :

$FS_{P\langle a \rangle}$



Facteur de Schmid Prismatique sur le GC

$FS_{\pi\langle a \rangle}$



Facteur de Schmid Pyramidal sur le GC

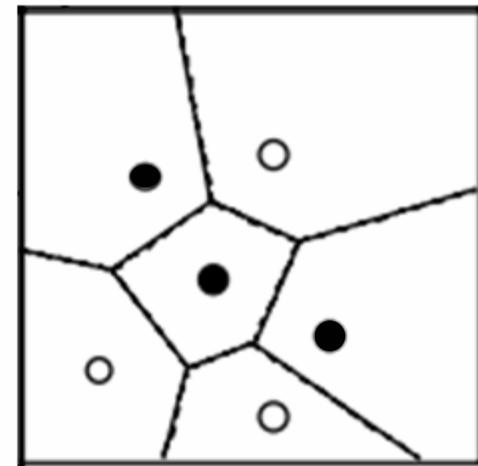
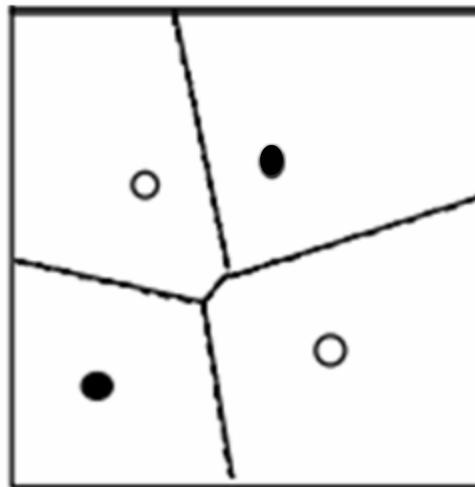
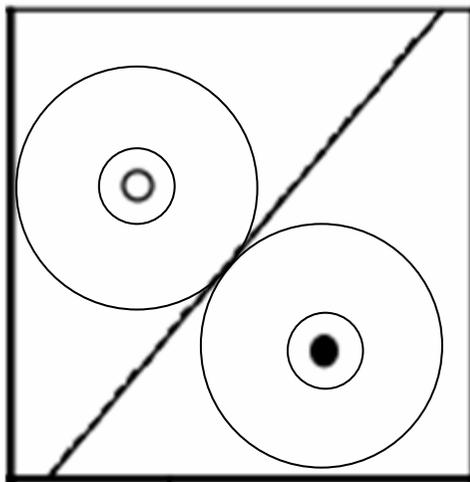
Variation du FS dans le grain central comme conséquence de la variation de l'état de contraintes induite par le voisinage de grains. (Agrégat soumis une condition limite en déformation homogène, CLDH, de dilatation isotrope avec une déformation de $0,5 \cdot 10^{-3}$).

Maillage d'agrégats par EF (Cast3M)

I. Méthodologie de création des agrégats :

Procédure de Voronoï avec distance de répulsion

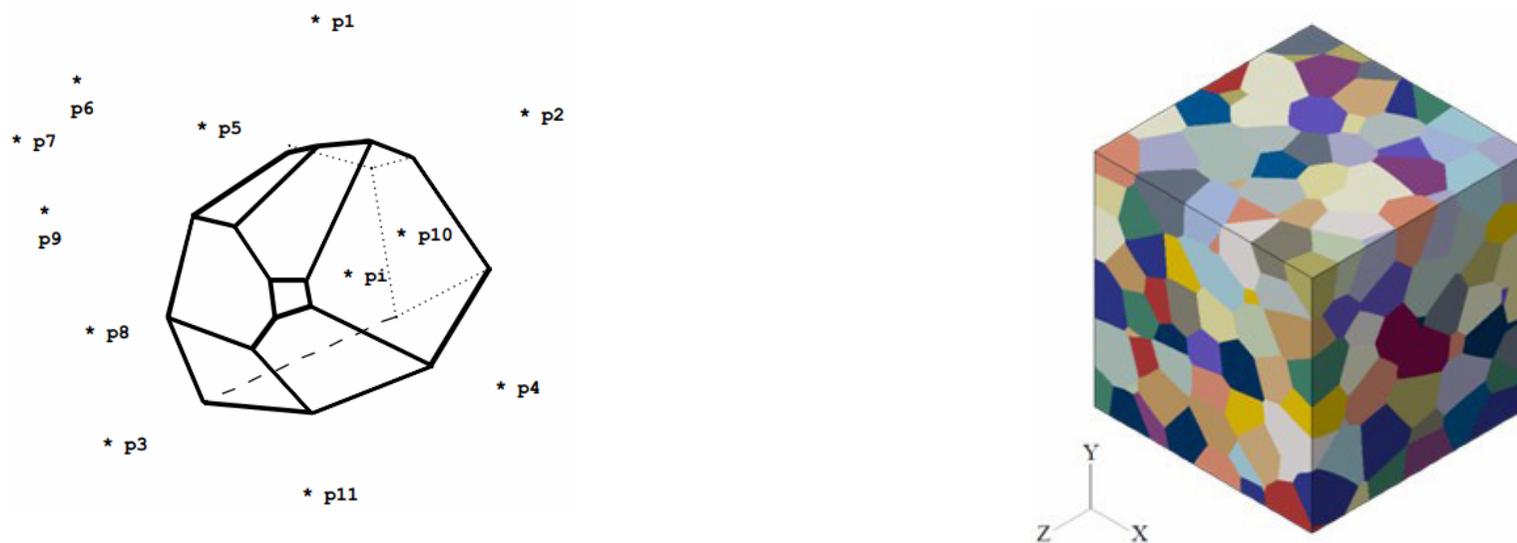
1.1°.- Tirage de germes en respectant la distance de



**Autant de germes que de grains souhaités
avec un grain au centre.**

Maillage d'agrégats par EF (Cast3M)

I. Méthodologie de création des agrégats : Procédure de Voronoï avec distance de répulsion



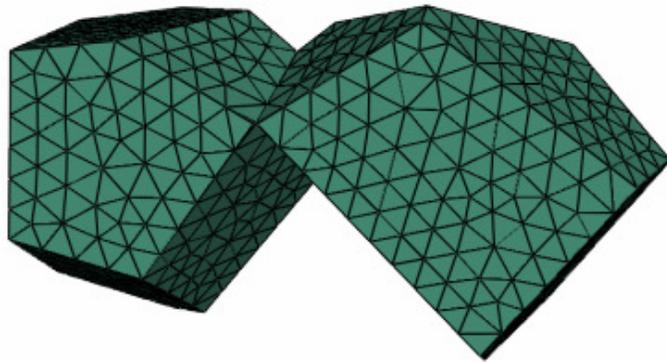
Grains tronqués ou non aux frontières

Maillage d'agrégats par EF (Cast3M)

I. Méthodologie de création des agrégats :

Procédure de Voronoï avec distance de répulsion

> Maillage des grains avec TET4 (C3D4) ou TE10.



Grains	Elements (C3D4)	Nœuds
$343 = 7^3$	335880	61515
$512 = 8^3$	493552	89588
$729 = 9^3$	944062	169121
$1000 = 10^3$	1291266	230152

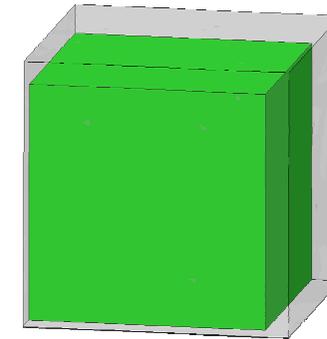
Simulations en élasticité

- ▶ **2 Textures : « isotrope » et marquée**
- ▶ **4 Matériaux : Zn à 20 °C et Zr à 20 °C, 45 °C et 400 °C**
- ▶ **2 Chargements pour la texture « isotrope » : Sphérique et « Cisaillement »**
- ▶ **6 Chargements pour la texture marquée**
- ▶ **1 Chargement pour la dilatation thermique**
- ▶ **3 types de Conditions Limites : CLMCT0, CLMN et CLDH**
- ▶ **2000 réalisations par jeu « CL+Chargement »**

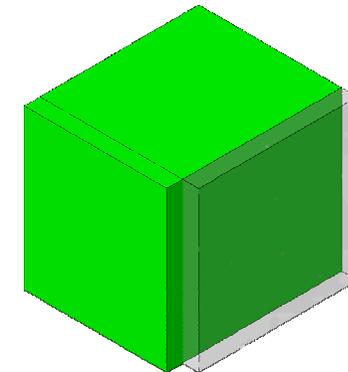
Simulations avec texture « isotrope »

► Conditions limites et chargements :

Type de CL	Chargement associé	
	« Sphérique »	« Cisaillement »
CLMCTO	$\delta_k = 1/2 \varepsilon^0 \forall k$	$\delta_1 = 1/2 \varepsilon^0 ; \delta_2 = 0 ; \delta_3 = -1/2 \varepsilon^0$
CLMN <small>A^k représente la position du coin du cube distinct de O coïncidant avec l'axe k</small>	$\underline{U}(A^1) \cdot \underline{e}_1 = \delta_1$ $\underline{U}(A^2) \cdot \underline{e}_2 = \delta_2$ $\underline{U}(A^3) \cdot \underline{e}_3 = \delta_3$	$\underline{U}(A^1) \cdot \underline{e}_1 = \delta_1$ $\underline{U}(A^2) \cdot \underline{e}_2 = \delta_2$ $\underline{U}(A^3) \cdot \underline{e}_3 = \delta_3$
CLDH	$\underline{\underline{E}} = \varepsilon^0 \underline{\underline{I}}$	$\underline{\underline{E}} = \varepsilon^0 (\underline{e}_1 \otimes \underline{e}_1 - \underline{e}_3 \otimes \underline{e}_3)$



Hydrostatique



« Cisaillement »

Simulations avec texture « isotrope »

► Résultats en élasticité isotrope transverse (2000 réalisations)

Matériau	Nombre de Grains	CL	(GPa)	(GPa)	(-)	(-)
Zn	343	CLMCT0	208.1±5.7	41.8±1.1	0.368±0.020	0.276±0.015
		CLMN	209.2±3.1	42.2±1.0	0.365±0.019	0.274±0.015
		CLDH	213.0±3.6	43.2±1.1	0.359±0.019	0.270±0.015
	512	CLMCT0	208.2±4.6	42.1±1.0	0.364±0.021	0.274±0.015
		CLDH	212.6±3.0	43.2±0.9	0.360±0.019	0.271±0.015
	-	Solution AC	208.21	41.87	0.362	0.276
Zr	343	CLMCT0	275.4±1.0	27.6±0.3	0.331±0.002	0.338±0.002
		CLMN	275.6±0.7	27.7±0.2	0.331±0.002	0.338±0.002
		CLDH	275.6±0.9	27.9±0.3	0.331±0.002	0.338±0.002
	-	Solution AC	275.56	27.53	0.331	0.338

> Très bon accord (maillages et FDOC réalisations indépendantes)

Conclusions

I. Outils de maillage efficaces dans Cast3M

➤ Matériaux à microstructures aléatoires

I. Utilisation des procédures UMAT à venir ?

➤ Calculs non linéaires (lois EVP)

I. Un grand merci à Serge et François