

Micro-macro : isovaleurs de la contrainte maximale sur un agrégat polycristallin.

Du multiéchelle au multiphysique

Tout serait plus simple si un seul domaine de la physique intervenait en mécanique des structures. Mais dans l'industrie électrique, comme ailleurs, les phénomènes sont souvent couplés. *Code_Aster* propose des outils pour réaliser des chaînages ou des couplages de phénomènes, en interne, comme en externe avec d'autres codes spécialisés.

Pour le multiéchelle et le multiphysique, on peut distinguer les approches internes et externes au code. Dans le premier cas, la multiplicité de la physique est prise en compte directement par *Code_Aster*, alors que dans l'autre, l'interaction est réalisée soit par couplage, soit par chaînage avec un autre logiciel de calcul.

Approches internes

Chaînage **thermo-mécanique** pour des études avec matériaux dépendant de la température, avec des évolutions thermiques ou de l'hydratation-séchage-retrait.

En couplant fortement cette fois les équations de la thermique, de l'hydraulique et de la mécanique (**thermo-hydro-mécaniques**), on s'intéresse aux milieux poreux, saturés ou non : roches, argiles, bétons.

En thermo-métallo-mécanique, plus particulièrement utilisée pour la simulation du soudage multipasse, le comportement des aciers dû aux changements de phase est modélisable en 2D et 3D.

L'interaction **fluide-structure** permet le calcul des vibrations d'une structure contenant (ou baignant) dans un fluide au repos ou en écoulement.

Un chaînage **électricité-mécanique** fournit la dynamique de structures soumises aux forces de Laplace induites.

Enfin, le **multiéchelle** fait son entrée dans le code avec deux nouvelles fonctionnalités : la méthode Arlequin (mot-clé ARLEQUIN) et le micro-macro (DEFI_COMPOR).

La première raccorde, par une technique de superposition, des modèles numériques de natures différentes. Cela ouvre de nombreuses perspectives. Par exemple, on peut effectuer des zooms structuraux dans des zones particulièrement sensibles aux chargements : fissures, soudures, supportages...

Le micro-macro, quant à lui, permet de manipuler de façon modulaire des lois de comportement à diverses échelles (voir encadré).



Approches externes

Chaînage **Code_Saturne** (EDF-CEA, thermohydraulique pour le fluide)-**Syrthes** (EDF, évolution thermique pour la paroi)-**Code_Aster** (structure) avec interpolation du champ de températures ou de pression sur le maillage mécanique.

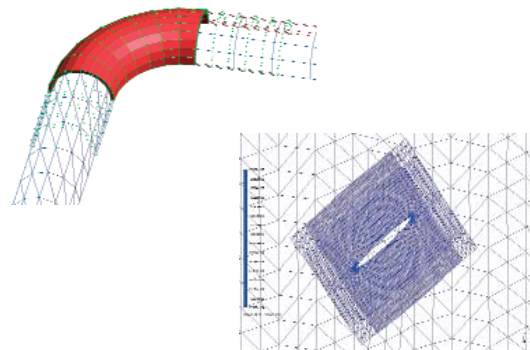
Chaînage **Code_Aster-Europlexus** (code de dynamique rapide du consortium EDF-CEA-CCR/Ispra-SNECMA-Samtech).

Exportation de résultats d'analyse modale vers **LADY** (analyse vibratoire expérimentale). Calcul des déplacements et contraintes induits par des charges statiques et sismiques à partir d'un modèle défini dans **CIRCUS** (vibrations sous écoulements des tuyauteries).

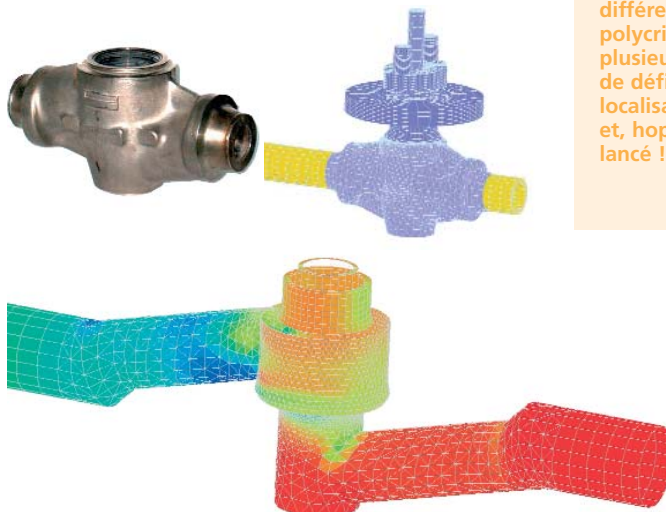
Réponse fréquentielle, par **MISS3D** (code d'équations intégrales pour la propagation des ondes de l'ECP), à une excitation sismique, pour des sols stratifiés avec ou sans domaine fluide.

Importation dans *Code_Aster* de champs d'efforts volumiques délivrés par le code d'électromagnétisme **Flux2D/3D** en vue du calcul de la tenue thermomécanique de transformateurs ou de moteurs électriques.

Arlequin : raccord de modélisation coque-3D sur un coude ; patch d'un bloc fissure sur une structure saine.



Chaînage Code_Saturne/Code_Aster sur un robinet à soupape Alstom-Velan : maillage et champ de pression du fluide interne.



→ Grâce au format MED, **Modélisation et Echanges de Données...**

... d'éléments finis développés par EDF-R&D et le CEA, *Code_Aster* échange avec d'autres codes, des maillages, des entités topologiques et des résultats. La structure de ces derniers est relativement riche : tous types de champs par éléments et de champs de grandeurs, des champs définis partout ou non, et à composantes hétérogènes. Cette richesse, gage d'ouverture à l'utilisation d'outils de pré et post-traitements non propriétaires, a un seul point d'entrée, `FORMAT='MED'`, dans `LIRE_MALLAGE`, `LIRE_CHAMP` et `IMPR_RESU`.

→ **Micro-macro**

DEFnir un **COMPORTEMENT** à partir de briques élémentaires : telle loi d'écoulement, tel écrouissage cinématique, tel autre isotrope, c'est ce qui permet d'éviter la définition de tous les comportements combinés. Via l'opérateur `DEFI_COMPOR`, ces briques sont associées à un monocristal et ses systèmes de glissement, pour créer ainsi un modèle de comportement propre à un groupe de mailles dans `STAT_NON_LINE`. On peut alors effectuer des calculs d'agrégats où chaque grain maillé est constitué d'un monocristal orienté. Cette nouvelle fonctionnalité « micro-macro », ouvre la voie à du multiéchelle complètement modulaire. Il suffit d'intégrer ces différentes échelles dans un polycristal formé de plusieurs monocristaux, de définir une règle de localisation pour l'ensemble et, hop, le calcul peut être lancé !

