

Salome-Meca : une plate-forme au service de la simulation mécanique

Josselin Delmas, Aimery Assire

▶ **To cite this version:**

Josselin Delmas, Aimery Assire. Salome-Meca : une plate-forme au service de la simulation mécanique. 9e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2009, Giens, France. hal-01413149

HAL Id: hal-01413149
https://hal.science/hal-01413149

Submitted on 9 Dec 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Salome-Meca : une plate-forme au service de la simulation mécanique

Josselin Delmas, Aimery Assire

EDF R&D
Département Analyses Mécaniques et Acoustique
1 avenue du Général de Gaulle, F-92141 Clamart Cedex
{josselin.delmas, aimery.assire}@edf.fr

Résumé – Salome-Meca est une plate-forme dédiée à la simulation en mécanique. Elle fournit un environnement logiciel permettant de réaliser la chaîne complète de calcul CAO, maillage, calcul, visualisation des résultats. Deux exemples d'utilisation sont présentés : une étude thermo-mécanique d'une enceinte de confinement et une étude thermo-hydraulique d'un té de mélange.

Mots clés – *Code_Aster*, Salome, Salome-Meca, mécanique des structures, simulation numérique, Open Source.

1 Code_Aster

1.1 Un outil d'expertise et de capitalisation

La sûreté et la disponibilité des installations mécaniques et de génie civil d'EDF nécessitent d'étayer les décisions d'exploitation, de réparation ou de remplacement par des modélisations non linéaires en mécanique. Ainsi, au delà des fonctionnalités standards d'un logiciel généraliste de simulation aux éléments finis en mécanique, *Code_Aster* (développé principalement par le département Analyses Mécaniques et Acoustique d'EDF R&D) capitalise les modèles numériques issus des travaux de recherche spécifiques à ces enjeux, assurant ainsi la maîtrise de leur mise en œuvre et surtout leur transfert rapide aux études d'ingénierie.

L'ambition de *Code_Aster* est donc double :

- mettre un logiciel de simulation puissant, robuste et pérenne à disposition des études d'expertise (environ 200 utilisateurs en interne et des milliers pour la diffusion en logiciel libre), dans un contexte de développement et de diffusion sous assurance de la qualité ;
- accueillir et capitaliser les modèles en mécanique numérique produits par EDF R&D.

En lien avec les deux objectifs cités, développer son propre code garantit la maîtrise, la capitalisation de la R&D et son transfert rapide vers l'ingénierie, difficile à obtenir avec un code commercial. Cette R&D est spécifique car EDF est exploitante, et non manufacturière de ses matériels, en particulier nucléaires, dont elle doit justifier la durée de vie, économiquement et réglementairement.

Ainsi, *Code_Aster* intègre des modèles numériques spécifiques :

- pour simuler le vieillissement des matériaux et des structures : fatigue, endommagement, mécanique de la rupture, milieux poreux, etc. ;

- pour les calculs propres aux problématiques de l'exploitation nucléaire : interaction sol-structure et séisme, calculs réglementaires, modélisation des assemblages combustibles, etc.

1.2 Un logiciel libre

Depuis 2001, *Code_Aster* est diffusé comme *logiciel libre* (GNU general public licence) avec les objectifs suivants : améliorer la qualité et le référencement du code par la démultiplication de son usage ; être le support logiciel de nos partenariats. Le logiciel et son code source, mais aussi les cas tests et toute la documentation, sont librement accessibles à tous sur le site web du code [1]. Après 7 années, *Code_Aster* est un succès mondial de diffusion comme en témoigne le réseau d'utilisateurs fédéré par le forum du site web.

2 Salome

2.1 Une plate-forme d'intégration

Les besoins en simulation sont de plus en plus grands, aussi bien sur la fidélité de la modélisation numérique du problème physique (codes de calculs) que sur la mise en oeuvre dans des environnements interactifs permettant de construire les jeux de données (Pré-Processeur) et d'interpréter les résultats (Post-Processeur). D'autre part, les évolutions à venir pour les problématiques d'ingénierie vont de plus en plus mettre en jeu des couplages multi-physiques.

EDF R&D développe depuis plusieurs années des codes de calculs dans le domaine de la simulation (*Code_Aster*, Code_Saturne, Syrthes, etc.). Ces codes de calculs sont très souvent stratégiques, porteurs d'une très forte innovation technologique par les phénomènes physiques qu'ils permettent de simuler et sont l'objet d'investissements lourds.

Pour ces raisons, EDF R&D a pris part au développement de Salome avec l'objectif de rendre disponible sur le poste de ses ingénieurs un environnement permettant de mener la chaîne complète de calcul pour des simulations faisant intervenir des phénomènes physiques couplés. En effet, Salome propose un environnement utilisateur interactif (Pré/Post Processeur) unifié, indispensable à l'utilisation de codes dans l'ingénierie, en facilitant la phase de construction du jeu de données et limitant le coût d'entrée de nouveaux utilisateurs. De plus, de part son architecture modulaire, la plate-forme Salome facilite l'interopérabilité entre la CAO / codes de calculs et l'implémentation des couplages entre les codes de calculs, dans un environnement hétérogène distribué. Ceci permet de répondre aux exigences de couplages multi-physiques.

2.2 Un consortium pour un logiciel libre

La plate-forme Salome, développée dans le cadre d'un consortium, est diffusée sous une licence libre LGPL [2]. Le choix du modèle Open Source permet aux développeurs de codes de calculs de se concentrer sur leur cœur de métier (la physique et les méthodes numériques) et d'optimiser, par le système de la mutualisation, l'investissement requis pour disposer d'un environnement interactif efficace.

3 Salome-Meca

Salome-Meca est la déclinaison de la plate-forme Salome pour les besoins de simulation en mécanique pour EDF. Son ambition est de fournir un environnement logiciel permettant de réaliser la chaîne complète de calcul CAO, maillage, calcul, visualisation des résultats.

La plate-forme Salome-Meca, construite à partir des versions stabilisées de *Code_Aster* et de Salome mis à disposition par le département Sinetics d'EDF R&D. Salome-Meca est

disponible sur le site CAElinux [3] en suivant le rythme des versions stabilisées de *Code_Aster*, soit une version semestrielle.

La plate-forme Salome-Meca permet de répondre à trois ambitions :

- offrir l'utilisation du *Code_Aster* dans une plate-forme intégrée présentant des modules de pré et post-traitement ;
- permettre la construction facilitée d'outils métiers enchaînant la production de géométries et de maillages paramétriques avec des séquences de calcul *Code_Aster* prédéfinies ;
- offrir à la communauté des mécaniciens l'accès à tous ses besoins en simulation, au-delà de *Code_Aster*, dans un environnement unique et homogène. Salome-Meca est donc un réceptacle idéal pour la construction de schémas de chaînage/couplage de codes, par exemple avec Code_Saturne pour la thermo-hydraulique.

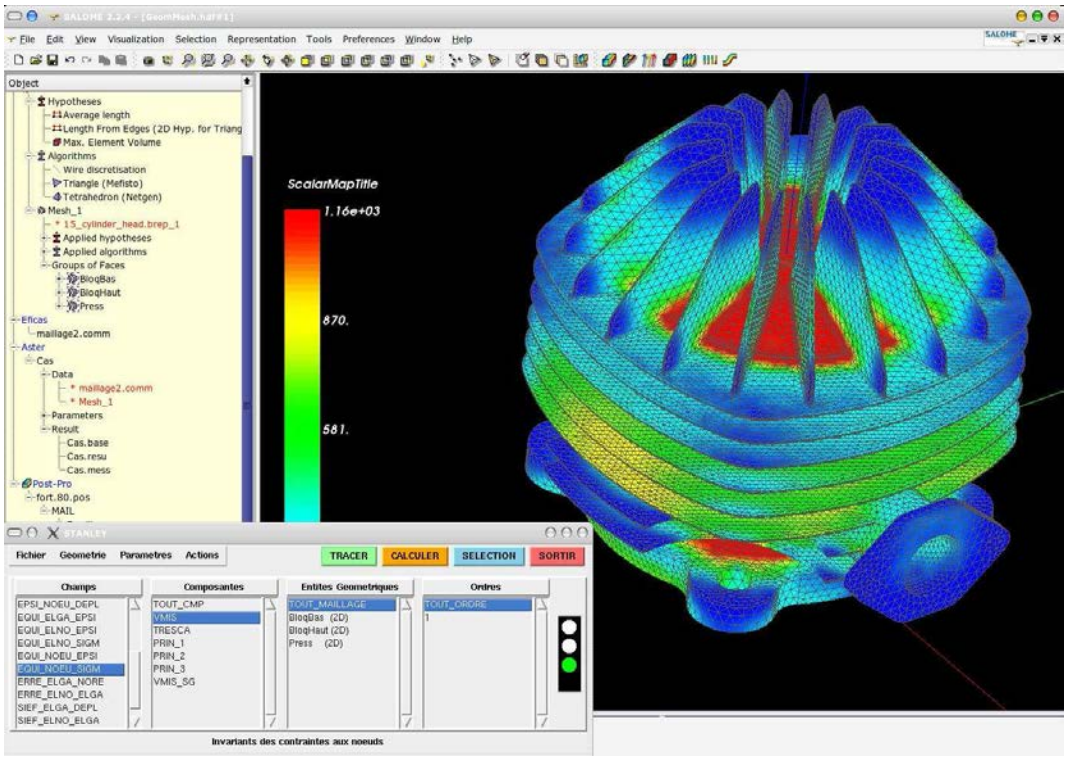


Figure 1 – Salome-Meca : visualisation de la contrainte de Von Mises.

4 Exemples d'études réalisées avec Salome-Meca

4.1 Etude thermo-mécanique d'une enceinte de confinement

Les enceintes de confinement font l'objet de divers types d'études qui adressent plusieurs problématiques pour lesquelles il faut étudier le comportement :

- thermique (propagation de chaleur, ...) ;
- mécanique (fluage, fissuration, déformation, ...) ;
- hydrique (hydratation, séchage, transport, ...) ;
- hydraulique (transport, fuite, ...) ;
- multiphysique (thermomécanique, thermo-hydromécanique, ...).

Pour réaliser ces études il faut disposer non seulement des lois de comportement et des algorithmes de résolution nécessaires, mais également de la description géométrique la plus adaptée sous forme de maillage aux éléments finis. Un maillage est défini par le type d'éléments finis (formulation des variables) et la finesse de discrétisation qui peut varier plus ou moins fortement d'une région à l'autre selon les sollicitations dans les matériaux. La structure d'une enceinte de confinement en béton armé précontraint est assez complexe si l'on cherche à intégrer tous ses éléments constitutifs (différentes parties en béton, armatures longitudinales et transversales, câbles de précontrainte horizontaux et verticaux, éventuellement le liner et autres pièces métalliques assurant la fonction d'étanchéité, virole et tampon du sas matériel et autres ouvertures, ...).

A titre d'exemple, une enceinte peut contenir jusqu'à 700 câbles de précontrainte (Figure 2), et les variations spatiales de taux de ferraillage sont importantes. Ceci nécessite un découpage plus ou moins fins du modèle aux éléments finis. Pour ces raisons, la tâche de préparation d'un modèle aux éléments finis peut s'avérer assez lourde si on intègre le processus complet depuis la lecture des plans de coffrage, de ferraillage et tracé de câbles de précontrainte, jusqu'à la préparation des fichiers de modélisation et d'analyse, mise au point des paramètres matériaux, conditions aux limites et chargements, réalisation des calculs, post-traitement des résultats et leur analyse. Il est donc important d'innover en terme de méthodologie de réalisation d'étude pour éviter les actions à répétition (lecture des plans, préparation de modèle physique, choix d'hypothèses, ...) et ainsi, réduire les coûts d'étude et minimiser les risques d'introduction d'erreur dans les données.

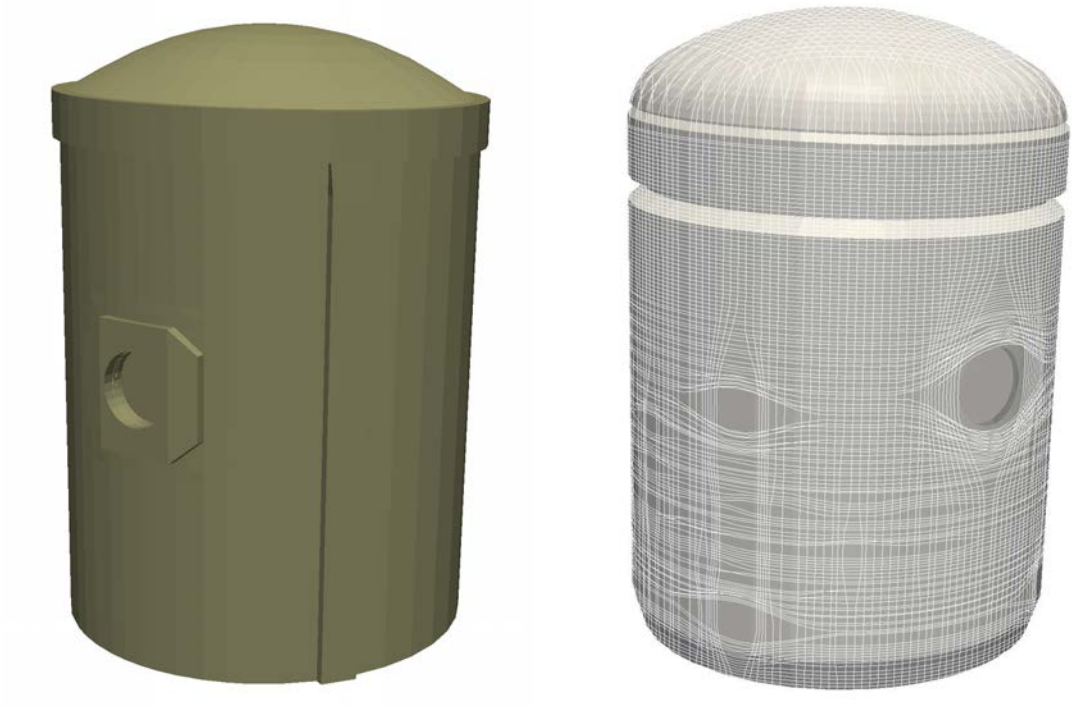


Figure 2 – CAO de l'enceinte et du ferraillage.

Pour cela l'une des meilleures façons de procéder consiste à élaborer un modèle CAO de la structure, avant de l'employer pour la construction de différents maillages aux éléments finis dont la discrétisation peut alors obéir à différentes règles selon les études à mener. En effet, la

finesse des maillages adaptés aux différents types d'études (ex. thermique et mécanique) peut différer de manière significative, bien qu'il s'agisse de la même structure.

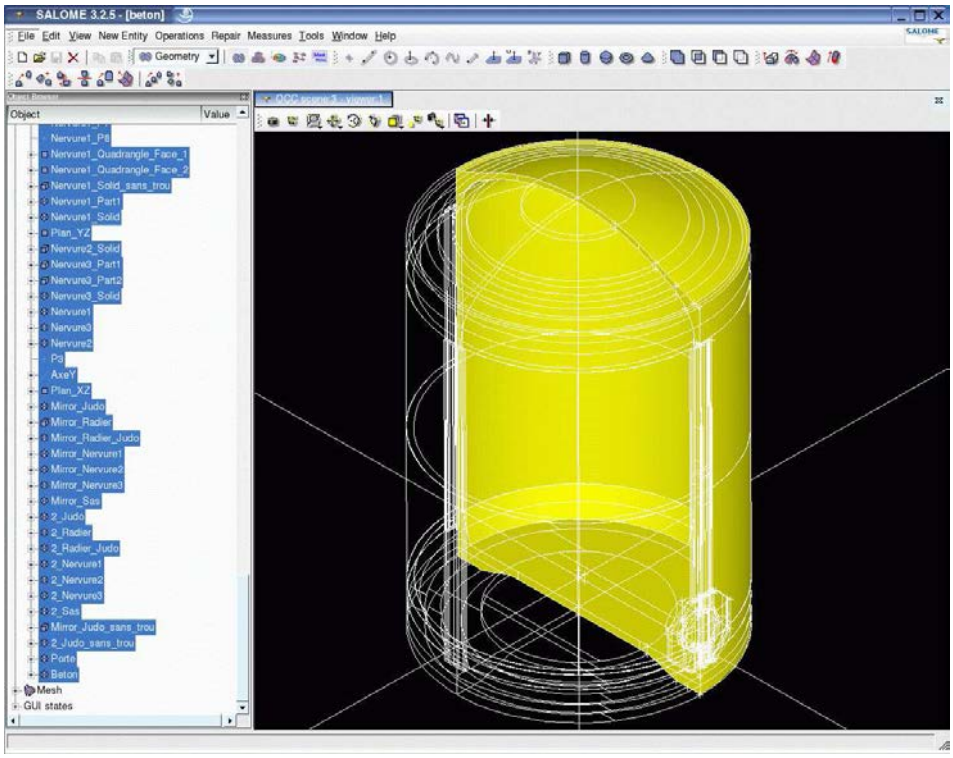


Figure 3 – Vue de la réalisation de la CAO.

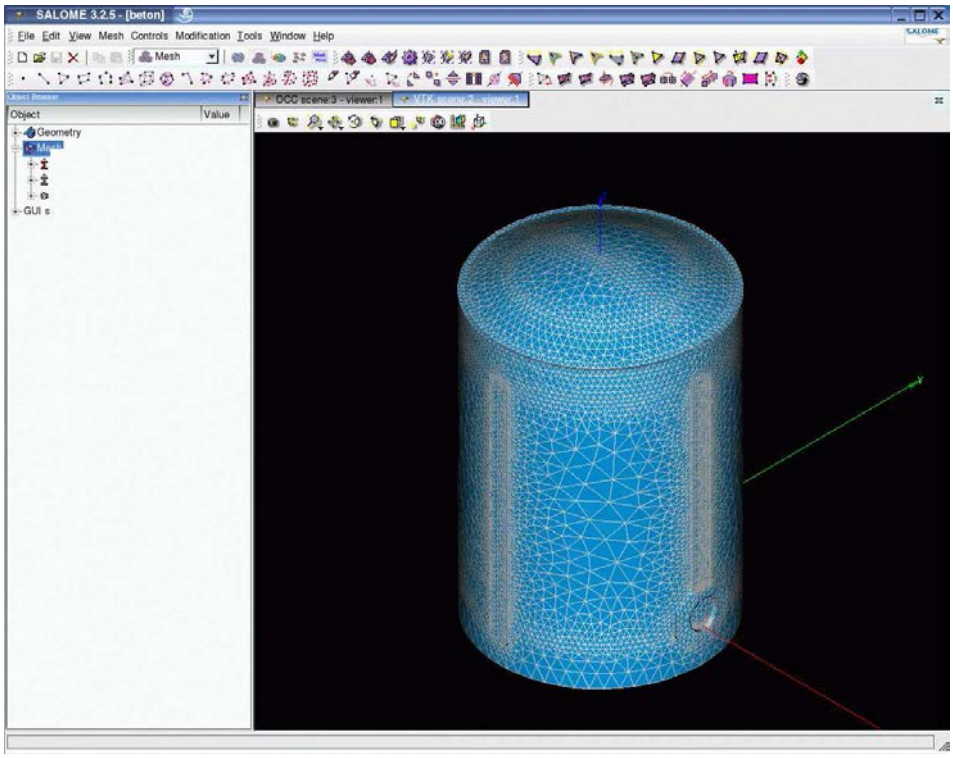


Figure 4 – Vue de la réalisation du maillage.

Salome-Meca permet de répondre à ce besoin. L'étude de l'enceinte du palier CP0 du site de CNPE de Fessenheim illustre ainsi l'intérêt de réaliser la chaîne de calcul complète au sein d'un outil intégré. Une étude thermique et une étude mécanique ont été réalisées en se basant sur un cahier des charges techniques, les plans d'exécution de la structure et en utilisant la plateforme Salome-Meca pour effectuer les tâches de représentation géométrique (CAO) et de création de maillage, le calcul ainsi que le post-traitement des résultats.

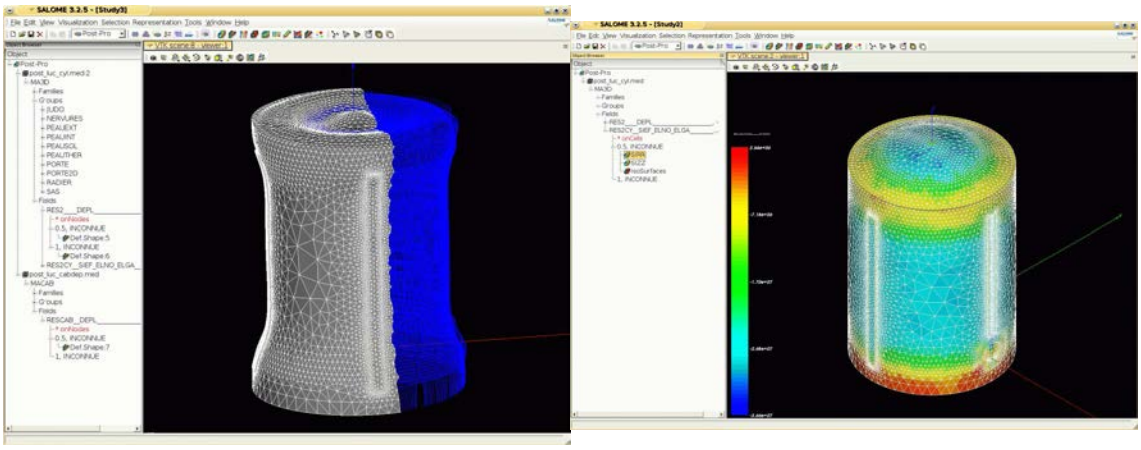


Figure 5 – Visualisation de la déformée et de la contrainte σ_{rr}.

Un maillage libre et un maillage réglé ont été réalisés. Pour ce dernier, à l'aide des règles de discrétisation (nombre de maillages dans les différentes parties et selon les différentes directions de l'espace) et selon l'algorithme de maillage, il est possible de générer plusieurs maillages de finesses différentes en fonction de l'étude visée.

4.2 Chaînage thermo-hydraulique

4.2.1 Définition du problème

Dans cette étude, on s'intéresse à la maquette RRA N4 (té de mélange) où un branchement chaud se fait sur une conduite froide, juste en amont d'un coude. C'est un cas classique d'étude mécanique à EDF qui fait partie des cas-tests de validation de Code_Saturne [4]. Cette étude a, par ailleurs, fait l'objet de publications internes à EDF R&D (Département SINETICS) et de publications externes dans le cadre de l'ANR SCOS [5]. Une des productions de l'ANR SCOS est la mise à disposition d'un module pour Salome permettant d'intégrer un code de calcul sous forme de boîte noire. Cette étude permet de démontrer les capacités de couplage et de supervision de Salome, appliquées à un cas de chaînage simple.

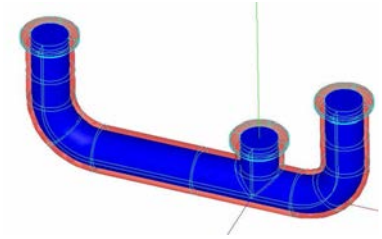


Figure 6 – Té de mélange : partie solide en rouge et écoulement fluide en bleu

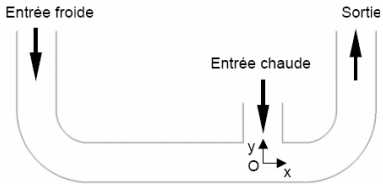


Figure 7 – Conditions aux limites pour le fluide

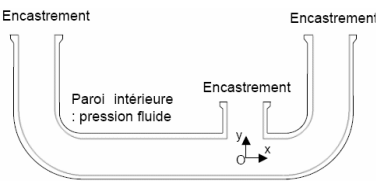


Figure 8 – Conditions aux limites pour le solide

On étudie l'écoulement d'un fluide dans toute la maquette et la déformation de la paroi suite à la pression exercée par le fluide. Il s'agit d'affecter la pression calculée sur le fluide en tant que chargement du calcul solide, pour déterminer la déformée du tuyau sous l'effet de la pression de l'écoulement.

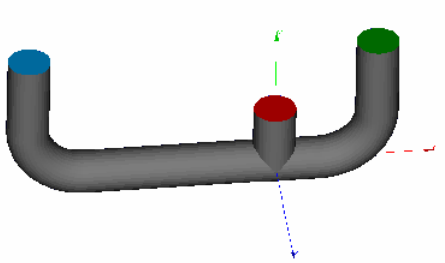


Figure 9 – Modélisation fluide : en bleu, une entrée froide, en rouge une entrée chaude, en vert une sortie et en gris la paroi.

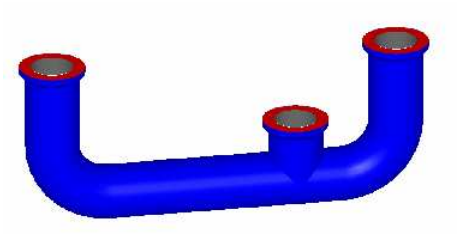


Figure 10 – Modélisation solide : en rouge les bases des tuyaux encastrées, en gris la paroi interne du tuyau où est affectée la pression du fluide

Les géométries et les maillages sont effectués sous Salome-Meca.

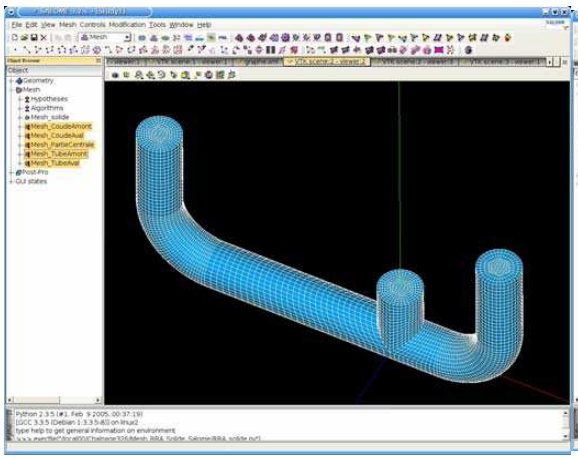


Figure 11 – Maillage de la partie fluide en hexaèdres

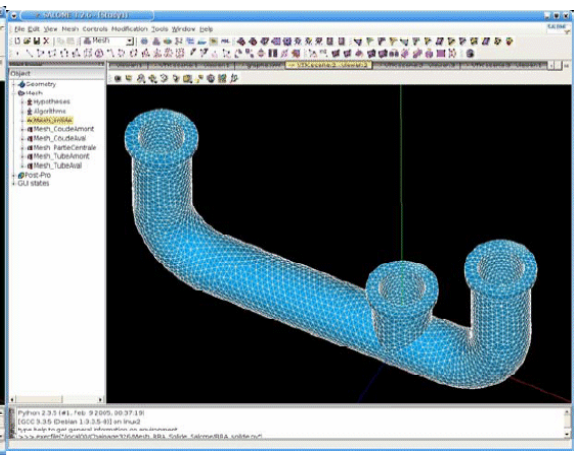


Figure 12 – Maillage de la partie solide en tétraèdres

Dans ce travail, la plate-forme Salome a été étendue pour intégrer, en plus du module d'accès à *Code_Aster* présent dans Salome-Meca, un module d'accès au code de calcul Code_Saturne pour la mécanique des fluides.

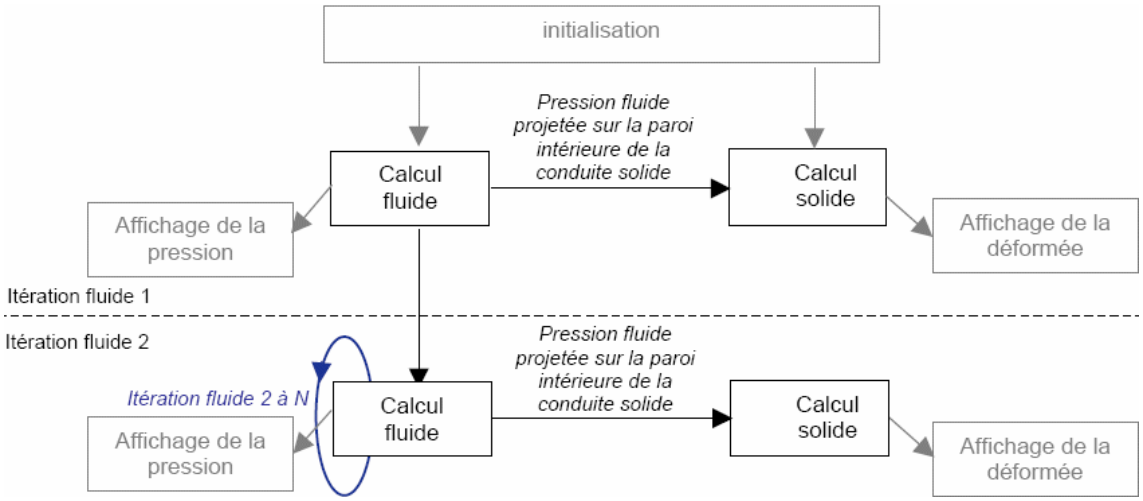


Figure 13 – Schéma de chaînage

Pour simplifier la présentation, l'étude est un simple chaînage explicite entre les deux codes de calcul. Le schéma est constitué d'une première itération d'initialisation, puis, dans une boucle, des appels successifs à Code_Saturne et à *Code_Aster*, la pression issue du calcul fluide étant projetée sur le maillage solide et utilisée comme chargement.

4.2.2 Utilisation du superviseur de Salome

On utilise les possibilités du superviseur de Salome pour générer des « nœuds » dans le superviseur, correspondant à chacun des codes, en définissant pour chacun les paramètres d'entrée et de sortie :

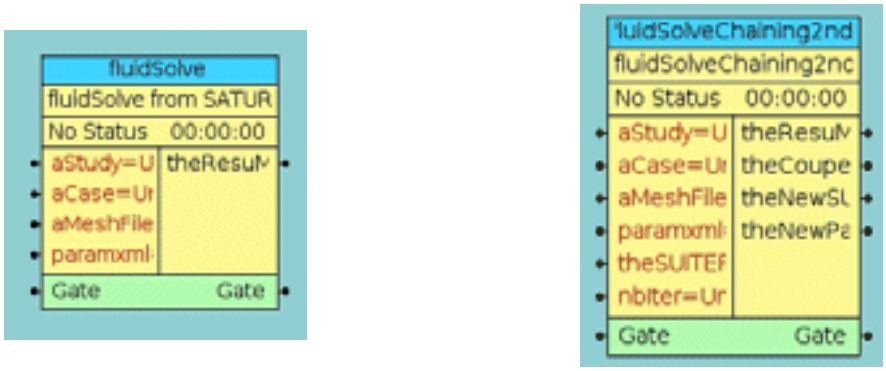


Figure 14 – Nœuds de calcul du superviseur de Salome-Meca pour Code_Saturne

Le nœud « fluidSolve » effectue un calcul fluide avec Code_Saturne en prenant en entrée le nom de l'étude et du cas (répertoire de calcul), un maillage (Salome ou fichier au format MED) ainsi que les paramètres physico-numériques. Il propose en sortie le fichier résultat au format MED à transmettre à *Code_Aster*. Le nœud « fluidSolveChaining2st » a la même fonction que le nœud précédent, avec des entrées et des sorties supplémentaires afin de pouvoir interrompre/reprendre le calcul Saturne avec les données actualisées issues de *Code_Aster*.



Figure 15 – Nœuds de calcul du superviseur de Salome-Meca pour *Code_Aster*

Le module Aster fournit deux nœuds de supervision : le nœud « LocalSupervSolve », qui effectue un calcul *Code_Aster* prenant en entrée un fichier de commandes et un maillage et, en sortie, renvoie l'état du calcul, le fichier .resu et le fichier MED résultat. Le nœud « LocalSupervSolveChainage » a un port d'entrée supplémentaire pour fournir à *Code_Aster* le champ de pression calculé par Saturne.

Le superviseur de Salome permet également facilement de générer des nœuds de visualisation, qui seront utilisés pour contrôler l'avancement du calcul en temps réel.

4.2.3 Résultats dans Salome

Le schéma de chaînage, construit à partir des nœuds de calcul et de visualisation, est affiché sur la partie inférieure de la Figure 16. Les nœuds de visualisation mettent à jour, en cours de calcul, les champs de pression et de déformation (partie supérieure de la Figure 16).

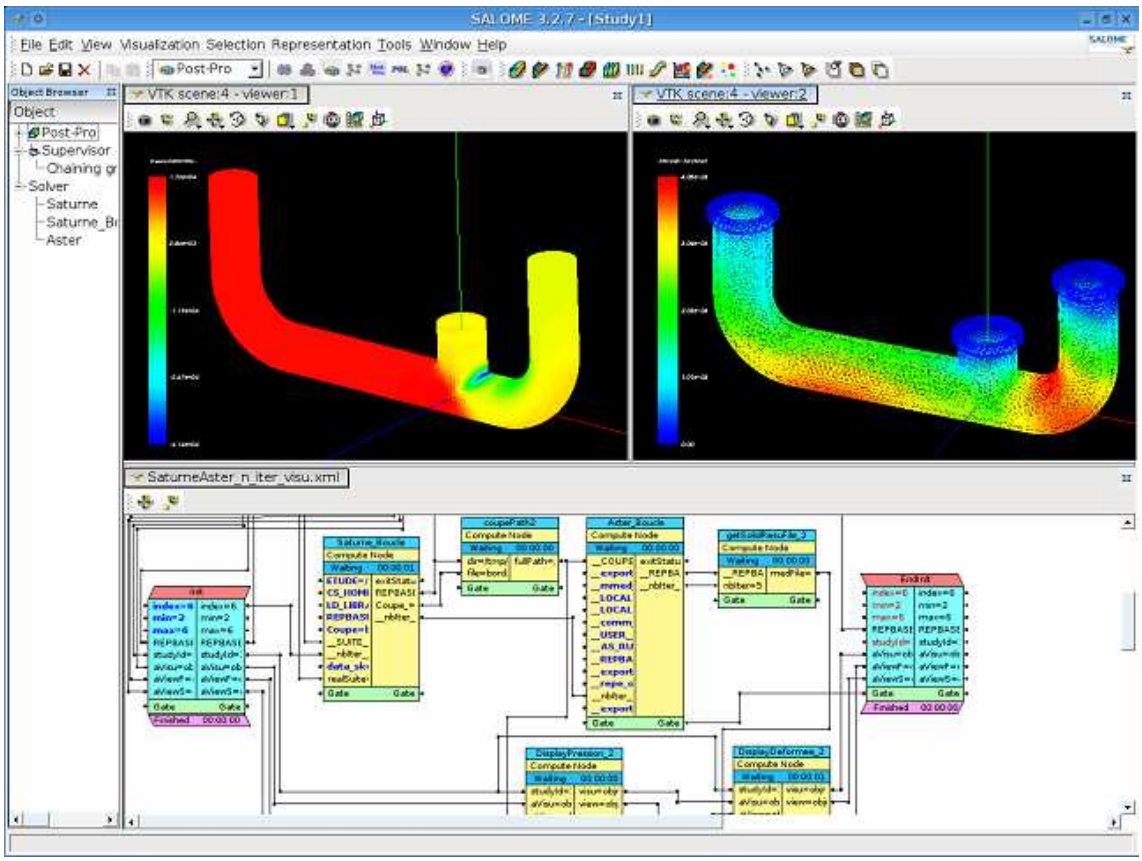


Figure 16 – Visualisation de l'étude chaînée dans Salome-Meca

Références

Site officiel de Code_Aster, www.code-aster.org

Site officiel de Salome, www.salome-platform.org

Site partenaire pour la diffusion de Salome-Meca, www.caelinux.com

Site officiel de Code_Saturne, www.code-saturne.org

[1] Site ANR SCOS, www.oscos.org