

Aster

échos

www.code-aster.org


Dernières nouvelles de Code_Aster

Éditorial

par F. WAECKEL
(Pilote stratégique du projet Code_Aster)

> A quelques semaines de la fin d'année, retour sur trois faits marquants de 2005.

Audit qualité du processus de développement

Afin de s'assurer de la maîtrise et de la pérennité des codes de calculs utilisés par EDF dans le cadre d'études de démonstration de sûreté, le SEPTEN (Service d'Etudes et Projets Thermiques et Nucléaires de la Division Ingénierie Nucléaire d'EDF) a commandité auprès du CEIDRE (Centre d'Expertise et d'Inspection dans les domaines de la Réalisation et de l'Exploitation) une action de surveillance de l'activité de développement de Code_Aster.

Au terme de deux jours d'audit, les utilisateurs de Code_Aster peuvent être confiants et les membres de l'équipe de développement légitimement fiers du verdict : zéro observation et zéro remarque. En outre, et bien qu'il ne réponde pas au traditionnel cycle en V, les auditeurs ont souligné la rigueur et la maîtrise de l'organisation du processus de développement.

Vers une plate-forme Salomé-Code_Aster

Annoncé lors de la Journée Utilisateurs de mars 2005, le développement de l'intégration de Code_Aster dans la plate-forme Salomé a été engagé et a déjà donné lieu à une première démonstration lors du dernier Club des Utilisateurs. Vous trouverez en pages centrales une présentation plus détaillée de ce projet dont l'objectif est de diffuser la future version 8 de Code_Aster dans un environnement intégré issu de Salomé. En cohérence avec notre volonté de partage et de maîtrise des compétences, ce projet est réalisé en partenariat avec la société CS. Nous espérons qu'il pourra s'ouvrir à d'autres acteurs pour devenir à terme une « core team » autour du développement et de la diffusion en logiciels libres de l'ensemble Salomé-Code_Aster.

Une volonté d'ouverture et de partenariat qui se concrétise et se poursuit

En plus du partenariat autour de l'intégration de Code_Aster dans Salomé, et des collaborations déjà bien établies avec notamment ECP ou le Laego (ENSG Nancy), cette année 2005 aura vu la restitution des premiers développements issus de la communauté des utilisateurs de Code_Aster Libre ainsi que l'intégration de nouveaux composants externes tels MUMPS, SCOTCH et l'interface avec ZMAT qui vous sont présentés dans ce numéro et viennent concrétiser de nouvelles collaborations avec respectivement le CERFACS, le LABRI (Laboratoire de Recherche en Informatique de Bordeaux) et le Centre des Matériaux de l'Ecole des Mines de Paris. Cette volonté d'ouverture s'est aussi traduite par l'engagement cet automne d'une thèse sur les éléments finis de coques volumiques en partenariat avec le Cetim, l'Ensam de Metz et l'Insa de Lyon. Enfin, et notamment pour ce qui concerne ses solveurs parallèles, Code_Aster tirera directement profits de l'engagement d'EDF R&D dans plusieurs projets soumis cet été à l'ANR ainsi que dans le projet IOLS (Infrastructure et Outils Logiciels pour la Simulation) du pôle de compétitivité SYSTEM@TICS [www.systematic-paris-region.org]. Dernière année du cycle projet en cours, 2005 aura donc été riche d'événements importants pour l'avenir et aura sans nul doute contribué à mettre le futur cycle projet « en route vers Aster 2010 » pour reprendre les termes d'Yves Bamberger dans son éditorial du n° 40.

Nouveauté :
Code_Aster Libre v8.1
sur Windows

Corrosion de tuyaux en béton en bord de mer

Vers une plate-forme Salomé-Code_Aster

Du nouveau pour les lois de sol

La méthode continue ... continue

Quand Code_Aster rencontre ZMAT

Sous-structuration dynamique



Du nouveau pour les lois de sol

Une nouvelle méthodologie d'intégration numérique dite "Sélective" pour mieux traiter le couplage thermo-hydro-mécanique, ainsi qu'une loi de comportement, s'appuyant sur un critère de type Hoek et Brown pour le domaine de réversibilité et sur un potentiel de Drucker Prager pour l'écoulement, complètent la panoplie du code en milieux poreux.

Dans les études avec couplages THM, une interpolation maladroite des degrés de libertés ou des "chocs" thermiques ou hydrauliques peuvent conduire à l'apparition d'oscillations numériques.

Pour optimiser la résolution numérique, on définit désormais en chaque nœud le nombre de degrés de liberté strictement nécessaire. Les déplacements sont calculés sur tous les nœuds (interpolation d'ordre 2) tandis que les températures ou les pressions le sont uniquement aux sommets des

éléments (ordre 1). On réduit ainsi les temps de calcul d'un facteur 2 à plus de 6.

D'autre part, les modélisations lumpées précédentes se révèlent peu précises pour lisser les chocs en mécanique.

Pour garder le bénéfice de la diagonalisation des termes capacitifs tout en ayant une bonne précision d'intégration des termes de la matrice de raideur mécanique, on utilise deux méthodes d'intégration numérique adaptées : une technique de lumping pour la thermo-hydraulique et une quadrature de Gauss classique pour la mécanique. Cette amélioration est disponible en ajoutant la lettre S au nom des modélisations classiques : par exemple `AXIS_THHMS`.

Par ailleurs, lors d'un essai de compression biaxial d'un échantillon de roche, on observe que la déformation volumique



commence par diminuer légèrement puis augmente brusquement dès qu'une certaine contrainte de pic a été franchie : c'est le phénomène de dilatance. Pour représenter cette physique, l'utilisateur dispose de la loi de Laigle, développée par le CIH. Le modèle de `HOEK BROWN` est plus simple mais reconnu par la communauté des géophysiciens. C'est pourquoi il a été choisi comme référence dans le projet ALLIANCES piloté par l'ANDRA.

R. Fernandes, C. Chavant en collaboration avec G. du Suau (ENS Cachan) et V. Gervais (C-5)

En savoir +

Rapport Technique : R. Fernandes, C. Chavant, G. du Suau, *Définition d'une modélisation à intégration sélective pour les couplages thermo-hydro-mécaniques* - EDF R&D/HT-66/05/012 (2005).

Doc. de Référence : R7.01.18.

Cas-tests : SSNA116, SSNV184, WTNV128.

La méthode continue ... continue

Le contact en dynamique des structures est encore un domaine de recherche. Grâce à ses liens avec le monde universitaire et industriel, `Code_Aster` étend à la dynamique la méthode de contact continue, une évolution de la méthode de Lagrange pénalisée, qui a fait ses preuves en quasi-statique.

La méthode continue a été développée dans le cadre de la collaboration avec l'Ecole Centrale de Paris pour améliorer la prise en compte du contact. D'abord disponible en statique elle a été étendue à la dyna-

mique. Dans sa formulation en vitesse avec un théta-schéma pour l'intégration des équations en temps, elle permet de résoudre des problèmes d'impact en évitant les oscillations sur les champs d'accélération. Cette précision accrue se retrouve dans le calcul des vitesses et des déplacements que l'on obtient soit par les méthodes discrètes classiques, soit par la formulation continue en déplacement avec des schémas d'intégration en temps de type Newmark. Les valeurs de post-traitement, disponibles sous `VALE_CONT`, sont

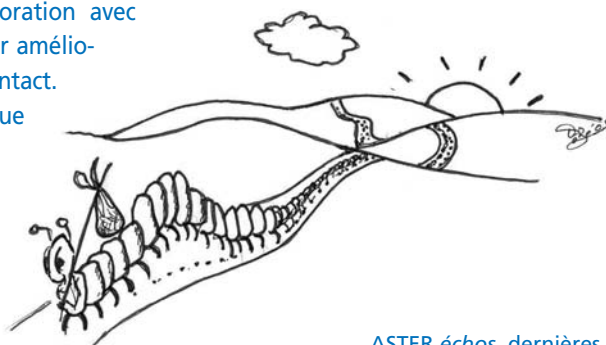
désormais disponibles pour cette méthode. Enfin la fonctionnalité `GLISSIERE`, contribution de M. Guiton de l'Institut Français du Pétrole dans le cadre de `Code_Aster Libre`, a été étendue à la méthode continue.

P. Massin et M. Kham (Dépt. AMA) en collaboration avec H. Ben Dhia et C. Zammali (ECP)

En savoir +

Doc. de référence : R3.03.52.

Cas-tests : SDNV100, SDNL111, SDNV103, SDNV104.



Quand Code_Aster rencontre Zmat

Fruit d'un partenariat entre EDF R&D (Départements MMC, AMA, LaMSiD) et l'Ecole des Mines de Paris (Centre des Matériaux), le couplage entre Code_Aster et Zmat accroît la palette des lois de comportement accessibles.

Zmat étant le module de définition et d'intégration des comportements du code Zebulon, son couplage avec Code_Aster lui permet d'enrichir celui-ci de sa vaste bibliothèque de comportement, qui va de l'élasto-visco-plasticité



(conçue comme un assemblage de briques élémentaires) aux modèles multi-échelles en passant par l'endommagement. Le couplage, limité pour l'instant aux petites déformations, est réalisé au niveau du point de Gauss, l'intégration du comportement étant ensuite assurée par Zmat. Disponible pour EDF dans le cadre de travaux de R&D, cette fonctionnalité apporte en outre la possibilité de prototyper des lois de comportements via un langage de haut niveau, appelé Zebfront, en écrivant les équations constitutives des modèles sous forme algébrique.

Grâce à ce développement, on conserve toute la puissance des algorithmes

non-linéaires de Code_Aster dans lesquels on peut insérer un modèle de comportement spécifique. Cependant, la souplesse d'écriture et l'interface au niveau des points d'intégration se paient en terme de performances, le couplage ne pouvant égaler l'intégration native (en FORTRAN) dans Code_Aster.

M. Courtois, J. M. Proix (Dépt AMA)
en collaboration avec S. Quilici (Ecole des Mines)

En savoir +

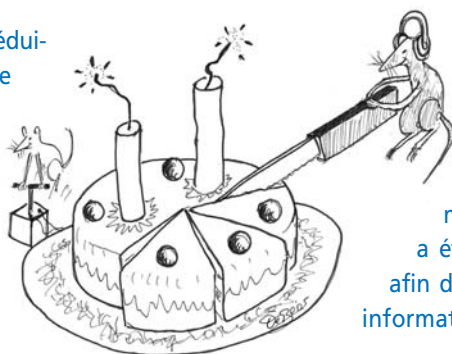
Doc. d'utilisation : U2.10.01.

Cas-tests : ZMAT001, ZMAT002, ZMAT003, ZMAT004.

La sous-structuration c'est de la dynamite !

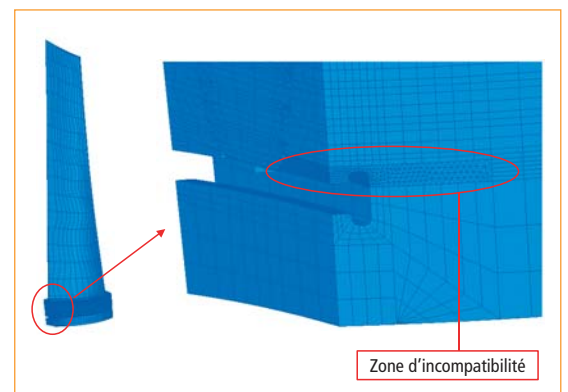
La sous-structuration est un moyen efficace pour gagner en temps de calcul en dynamique. Elle n'est toutefois pas toujours simple à mettre en œuvre. Deux innovations, basées sur des résultats mathématiques mais programmées de façon pragmatique, rendent la méthode plus simple d'accès.

L'une des méthodes pour réduire la taille d'un modèle consiste à le découper en sous-structures dont l'étude se fait de manière indépendante. Jusqu'à présent l'utilisation des opérateurs de sous-structuration s'avérait délicate



pour deux raisons. D'une part, l'obligation de compatibilité des maillages à l'interface entre sous-structures obligeait l'utilisateur à créer ses maillages en un seul morceau. Cette limitation a été levée en v7, rendant possible le raccordement de plusieurs études indépendantes ainsi qu'une véritable approche par composants. D'autre part, la taille des modèles sous-structurés pouvait se montrer

conséquente dès que l'interface était étendue. Une méthode de réduction des modes d'interface a été mise en place afin de considérer une information globale à



l'interface, et non plus locale, et ainsi diminuer très nettement la taille du modèle sous-structuré.

O. Nicolas (Dépt AMA)

En savoir +

Doc. de référence : R4.06.02, R4.06.03.

En bref...

La méthode de Connors...

..., prise des constructeurs, complète les méthodes disponibles dans les opérateurs `DEFI_FLUI_STRU` et `CALC_FLUI_STRU` pour simuler le comportement vibratoire des tubes de générateurs de vapeur. Partant des fréquences, déformées et amortissements modaux, du champ de vitesse fluide incident sur le tube et de la "constante de Connors", paramètre physique évalué par un grand ensemble de résultats expérimentaux mondiaux, elle évalue la stabilité vibratoire d'un tube donné.

A. Adobes (Dépt. MFTT)

Les nouvelles possibilités offertes par X-FEM ...

... en matière de post-traitement en mécanique de la rupture ont permis d'étendre au 3D l'extraction des facteurs d'intensité de contraintes par la méthode énergétique « G-théta » (option `CALC_K_G`). La représentation de la fissure par des level sets (opérateur `DEFI_FISS_XFEM`) est pour le moment seulement disponible en 3D, mais une extension au 2D est en cours et la prise en compte du contact en cas de refermeture des fissures à l'étude.

P. Massin, S. Géniaut (Dépt. AMA), en collaboration avec **N. Moës** (ECN)

Calcul de sensibilité en analyse modale

Vous souhaitez évaluer l'effet de la rigidification d'une partie d'une structure linéaire sur la réponse fréquentielle, qu'elle soit modélisée à l'aide d'éléments volumiques ou d'éléments de structure ?

Ce calcul peut être réalisé facilement en insérant dans la commande `DYNA_LINE_HARM` le mot clé `SENSIBILITE`. De même on accède aisément aux dérivées des modes propres via `MODE_ITER_INV` ou `MODE_ITER_SIMULT`.

H. Andriambololona (Dépt. AMA)

Assemblages boulonnés

Le comportement non linéaire des assemblages de cornières de pylônes est modélisé par des éléments discrets `DIS_TR` au moyen de la loi `ASSE_CORN`. La relation représente à la fois le comportement en traction de l'assemblage et la relation moment-rotation autour de l'axe des boulons. On y distingue deux mécanismes successifs : le premier est le frottement et le glissement des boulons jusqu'à la butée, le second la plastification de l'assemblage jusqu'à la ruine. `ASSE_CORN` s'enrichit pour pouvoir modéliser des chargements alternés sur les assemblages. Désormais, on peut repasser dans le premier mécanisme lors du changement de signe du chargement après une décharge à partir du second.

G. Devesa (Dépt. AMA)

Code_Aster sur un tapis

La modélisation d'un tapis de ressorts (pour par exemple simuler un déplacement de fondation, un glissement de terrain ...) avec des conditions aux limites en déplacement est maintenant possible. On peut également affecter à ce tapis un comportement unilatéral pour représenter par exemple un décollement de fondation. Ces développements sont opérationnels en statique et dynamique non-linéaires (`RIGI_PARA_SOL`).

J.-L. Fléjou (Dépt. AMA)

Code_Aster se met au SCOTCH et à MUMPS...

... puisqu'il intègre depuis peu le partitionneur de maillage du LaBRI et le solveur linéaire du CERFACS. Complétant l'offre du code qui se limitait à METIS, le nouveau partitionneur prend en compte des contraintes particulières (regroupement de mailles, affectation de poids ...) afin de mieux préparer les flots de données parallèles qui vont être ingurgités par le solveur multidomaine FETI. Quant à MUMPS, il seconde la multifrontale "maison" de Code_Aster, en proposant un pivotage tardif bien utile pour résoudre des modélisations exotiques, ainsi que des pré et post-traitements avancés (calculs d'erreur, raffinement itératif...).

O. Boiteau (Dépt. SINETICS), **A. Assire, J. Pellet & P. Legallou** (Dépt. AMA) en collaboration avec **F. Pellegrini** (LaBRI) et l'équipe de développement de MUMPS.

Vie du projet

■ Agenda

- **Formations Code_Aster** : Analyse dynamique du 15 au 17 novembre 2005, Développement début 2006 et Initiation en mars, Non linéaire en juin 2006
- **Club des Utilisateurs** : prochaine réunion le 19 janvier 2005.
- **14^{ème} Journée Utilisateur** le 16 mars 2005 à Clamart.

■ Les fonctionnalités évoluent...

... certaines en remplacent d'autres... c'est le cycle normal d'un projet de développement logiciel. Suivant le Plan de Développement [A2.01.02], les fonctionnalités qui ne satisfont pas les exigences de qualité peuvent être supprimées du code à la demande du Chef de Projet, après instruction par le Club des Utilisateurs. Dans ce cadre, des demandes de résorption pour la version STAB2 sont en cours. Elles concernent les comportements qui n'ont pas de documentation de référence et ne sont pas maintenus, : `CHABOCHE` et `VISCOCHAB` (remplacés par `VISC_CINX_CHAB`), `OHNO` (repris par `VISC_TAHERI`), `NADAI_B` (équivalent à `ENDO_ISOT_BETON` ou `ENDO_ORTH_BETON` pour la fissuration du béton), en THM, `CAM_CLAY_THM`, `SURF_ETAT_*`, `LIQU_*`, le modèle `APPUI_REP`, obsolète par rapport à `RIGI_PARASOL`, et, enfin, le modèle `ASSE_GRIL`.

J.M. Proix (Dépt. AMA)

■ News Club U

Une enquête portant sur "les demandes et besoins des utilisateurs dans et autour de Code_Aster" a été réalisée. Les résultats sont dans le compte rendu du Club des Utilisateurs du 14 avril 2005. Le projet Code_Aster a répondu à la majorité des points soulevés. Une attente de plusieurs unités concerne la compatibilité ascendante des fichiers de commandes par l'intermédiaire d'EFICAS. Pour d'autres points, l'équipe du projet Aster demande l'émission de demandes d'évolution, qui sont à la charge des correspondants concernés.

J.L. Fléjou (Dépt. AMA)

■ La 13^{ème} journée Annuelle des Utilisateurs de Code_Aster ...

... s'est déroulée le 17 mars 2005 et a rassemblé un peu plus de 180 personnes d'EDF R&D, des Divisions Ingénierie & Services et Production Nucléaire, ainsi qu'une cinquantaine d'organismes extérieurs utilisant ou intéressés par Code_Aster. Les exposés sont disponibles : <http://www.code-aster.org/produit/applications.php?page=2>

M. Courtois (Dépt. AMA)

■ Arrivées/Nominations

A l'issue de sa thèse, Jérôme Laverne a pris la responsabilité de la documentation de validation "statique", tout en gardant la maîtrise des approches CZM. De nouvelles thèses débutent autour de Code_Aster : Mohamed Torkhani sur la méthode de contact "continue", J. Delmas et S. Meunier sur les estimateurs d'erreur, l'un en quantité d'intérêt l'autre pour la THM, P.E Dumouchel sur la modélisation de la rupture fragile en amorçage et propagation dynamique et V.D. Trinh sur de nouveaux éléments de coque. J.-F. Rit et E. Champain succèdent à J.-L. Fléjou et J.-G. Astier à la présidence du Club U.

J.M. Proix (Dépt. AMA)

■ Un nouveau capitaine ...

..., E. Boyère, prend la barre d'ASTER échos. Après trois années passionnantes de chantiers journalistiques, il est temps de passer la main. De nouvelles énergies viennent vivifier votre périodique pour continuer à vous apporter la meilleure information autour de Code_Aster.

O. Boiteau (Dépt. Sinetics)

Responsable de la Publication : F. Waeckel • Responsables de la Rédaction : O. Boiteau, E. Boyère • Dessins : D. Bosselut • Copyright EDF Recherche et Développement 2004 • Réalisation : **FAUNE** • Contact ASTER échos : E. Boyère (tél. : 01 47 65 43 19) • Contact Code_Aster : M. Courtois (tél. : 01 47 65 41 56 - mail : code-aster@edf.fr) • Abonnement papier gratuit sur simple demande, archives ASTER échos au format pdf sur le site.



Vers une plate-forme Salomé - Code-Aster

Le projet est né de la volonté d'offrir aux ingénieurs et chercheurs les possibilités de Salomé et de Code_Aster dans un environnement unique. Il aboutira à la réalisation d'une plate-forme intégrant les éléments de la chaîne des calculs éléments finis en mécanique : **modélage, maillage, résolution, visualisation.**

Salomé est un projet RNTL (Réseau National des Technologies Logicielles) dont l'objectif est la réalisation d'une plate-forme logicielle open-source de pré/post traitement, d'intégration de composants (codes de calcul, modelleur, mailleur, etc...) et de couplage de codes. Le département SINETICS, côté EDF R&D, fait partie avec le CEA des co-développeurs de cette plate-forme. Salomé, aujourd'hui dans sa version 2, est un produit mûre qui offre des possibilités professionnelles :

- Le pré-traitement est basé sur la librairie Open-Cascade qui fournit des outils de modélage puissants (formes de base, opérations booléennes, chanfrein automatique, réparation de géométrie, ...);

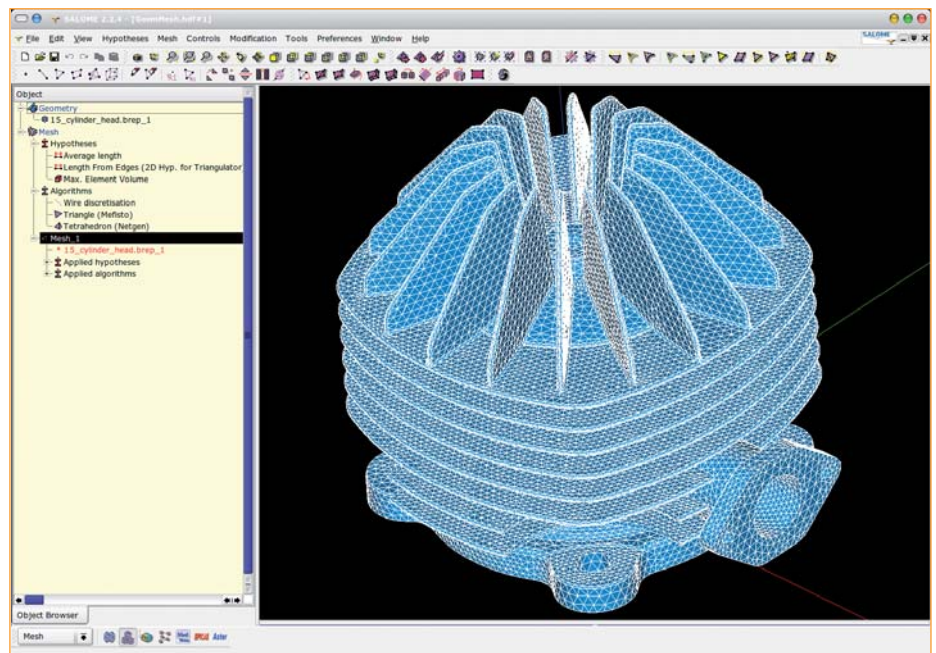


Figure 2 : Maillage créé dans Salomé.

- Divers algorithmes de maillage sont disponibles permettant la génération automatique de maillages à base d'éléments hexaédriques ou tétraédriques;
- Sa visualisation est basée sur la librairie VTK, standard en la matière. Ce module dispose aussi de son propre module de tracé de courbe "à la Excel®";
- Le couplage de code, basé sur le format d'échange MED et le protocole de communication CORBA, peut s'opérer sur plates-formes hétérogènes et distantes.

EDF R&D s'est fixé un objectif de convergence de Code_Aster et de Salomé. Il vise à distribuer la version 8 de Code_Aster sur la plate-forme Salomé et, déjà engagé avec la société C-5, il devrait se traduire par un partenariat avec elle. Cette convergence s'articule autour de deux logiques :

- Intégrer Code_Aster en tant que composant de Salomé. Code_Aster se trouvera ainsi doté d'un environnement d'étude intégré avec modelleur/mailleur/post-traitement. La rédaction des fichiers de commandes sera facilitée par la possibilité d'interaction avec la géométrie au travers de l'outil Eficas (affectation des charges et conditions aux limites directement sur la géométrie) et la mise en place d'outils de vérification de modèles (visualisation des divers groupes de mailles et de nœuds, visualisation des éléments de structures en vraie 3D).
- Disposer des services Salomé au sein de Code_Aster. Il sera ainsi possible de réaliser les opérations de modélage et de maillage directement à partir du fichier de commandes, d'utiliser Salomé au sein de l'outil Stanley (visualisations de champ, tracé de courbes, ...).

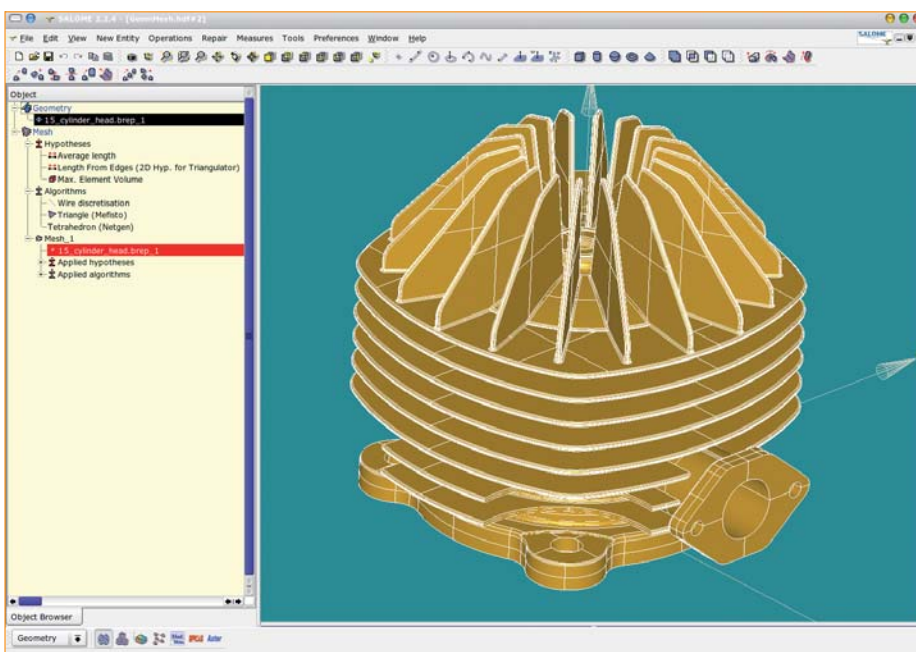


Figure 1 : Géométrie d'un carter lue dans Salomé.

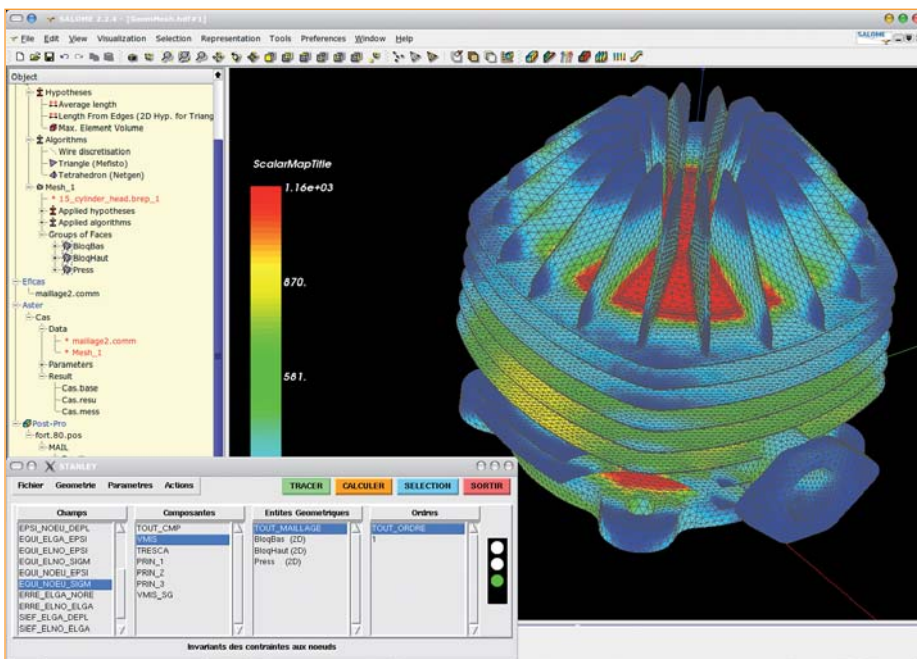


Figure 3 : L'assistant de post-traitement Stanley intégré dans Salomé.

Un objectif clair est de faciliter la prise en main et la manipulation de Code_Aster. L'utilisateur chevronné ne perdra pas pour autant ses marques dans la mesure où les outils « traditionnels » tels le gestionnaire d'étude Astk ou l'assistant de post-traitement Stanley ont été intégrés à Salomé. Ceci évitera la perte d'études réalisées précédemment qui pourront donc être "rejouées" au sein de Salomé-Code_Aster.

Sur un plan purement pratique, l'utilisateur exploitera Salomé sur une machine locale pour bénéficier de l'interactivité de l'interface graphique et lancera des calculs soit sur la même machine locale soit sur une machine distante. Il est important de noter que Salomé exploite nativement des plates-formes Linux. A ce titre, des automates d'installation ont déjà été réalisés pour diverses distributions (Calibre, Debian, SuSE, Mandrake).

Outre la mise à disposition d'un environnement d'étude intégré, les apports majeurs de cette convergence permettront :

- La naissance d'une nouvelle génération d'outils-métiers. La modularité de Salomé autorise la réalisation d'inter-

faces graphiques dédiées, qui faciliteront la prise en main et la maîtrise de ces outils par l'accroissement de leur interactivité.

- L'ouverture vers la modélisation multiphysique. Salomé dispose d'un module de supervision qui permet le couplage de codes ; Code_Aster sera donc couplable avec les autres codes intégrés à Salomé modélisant d'autres phé-

nomènes physiques. Un des objectifs affichés est de mieux simuler l'interaction fluide-structure par un couplage avec Code_Saturne.

Au travers de la description de ces objectifs, il est clair que la convergence Code_Aster-Salomé espère toucher un large public : le néophyte prendra plus facilement en main Code_Aster tandis que le spécialiste découvrira un outil aux possibilités étendues.

Pour bénéficier de ce qui sera un nouvel outil, il vous faudra patienter jusqu'à la mise en exploitation de la version 8 !

N. Tardieu (Dépt. AMA) en collaboration avec G. Boulant (C-S)

En s@voir +

Internet : <http://www.salome-platform.org>.

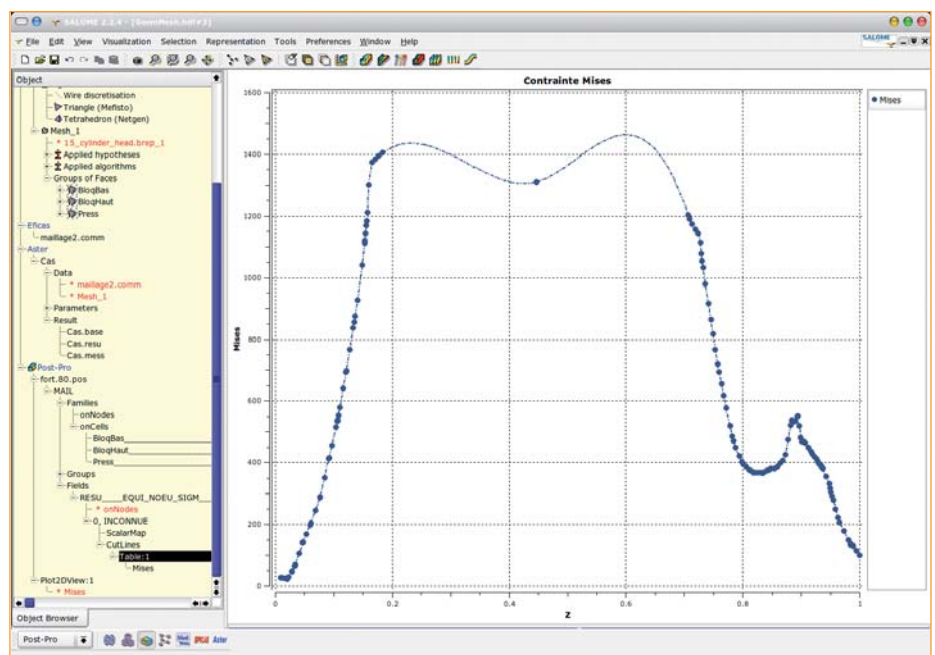


Figure 4 : Tracé d'une courbe de résultat.

Corrosion et tenue mécanique des tuyaux en béton avec une âme en tôle des centrales situées en bord de mer

Plusieurs circuits de transport d'eau de mer sont constitués de tuyauteries en béton armé à âme tôle dits tuyaux Bonna. Après 20 ans de service, des signes de corrosion ont été observés. EDF souhaite



Figure 1 : Percement et défauts de corrosion sur une âme tôle.

donc pouvoir estimer l'impact d'un état de corrosion donné sur la fonction mécanique des tuyauteries afin de définir les caractéristiques d'un défaut limite. Ce défaut s'exprime comme la taille du percement maximal de l'âme tôle ou la perte maximale d'épaisseur admissible du point de vue mécanique. Dans les situations étudiées, le béton résiduel suffit à assurer que l'étanchéité ne soit pas un paramètre limitant.

Au niveau du matériau, la corrosion provoque la diminution de la section d'acier de l'âme tôle ou des armatures. De plus, la ductilité de l'acier résiduel est diminuée, à cause de l'apparition de piqûres. Pour capter ces phénomènes, la loi `CORR_ACIER` de `Code_Aster` modélise le comportement de l'acier noir en fonction de l'état de corrosion. Elle est basée sur une formulation de type élasto-plastique endommageable. Selon une étude réalisée par EDF R&D et le Laboratoire de Mécanique et Technologie de Cachan, la rigidité de l'acier et la déformation plastique ultime décroissent avec le niveau de corrosion.

Au niveau de l'élément de structure, on s'est intéressé au comportement mécanique d'une tuyauterie en béton âme tôle, également appelée « Bonna ». Dans

notre cas, ces éléments ont un rayon interne de 600 mm. Ils sont constitués d'une couche de béton interne de 22 mm, d'une couche de béton externe de 36 mm, d'une âme tôle de 2 mm, des armatures longitudinales et des spires de 6 mm noyées dans le béton externe. Les difficultés de modélisation sont liées au fait que toutes ces couches contribuent avec des bras de levier différents à la tenue mécanique et que la transmission des efforts entre les composants se fait par l'intermédiaire du béton, qui est un matériau quasi-fragile. Jusqu'à présent le comportement mécanique des Bonna n'était connu que par le biais de formules empiriques obtenues par des essais sur des éléments sains.

Pour disposer d'une base expérimentale des essais de flexion ont été réalisés avec plusieurs configurations de défauts. Ensuite une modélisation numérique des conduites Bonna (saines et corrodées) a été mise au point et validée par comparaison avec ces données. Les paramètres du modèle ont été identifiés sur un corps d'épreuve (sain) et utilisés, en aveugle, pour la simulation des quatre autres configurations avec défauts.

Pour réaliser cette étude à orientation industrielle avec `Code_Aster`, un modèle numérique adapté a

été mis en place afin de limiter les coûts de calculs tout en assurant une description adéquate des phénomènes non-linéaires (fissuration du béton, plastification et corrosion des aciers) et ce jusqu'à la ruine de la structure.

La description géométrique et cinématique des différents éléments du tuyau a été réalisée par des éléments `HEXA20_SI` pour le béton, des éléments de `COQUE_3D` pour l'âme tôle et des éléments `GRILLE_MEMBRANE` pour les armatures filaires. Le comportement non linéaire des matériaux était pris en compte au travers des lois suivantes : `ENDO_ISOT_BETON` pour le béton endommageable, `VMIS_ISOT_LINE` et `GRILLE_ISOT_LINE` pour la plastification des aciers sains et enfin `CORR_ACIER` pour les aciers corrodés. Afin de limiter la taille des simulations, l'association d'éléments poutre à cinématique de tuyau pour les zones extrêmes faiblement sollicitées et la description précédente pour la partie centrale, lieu des phénomènes non-linéaires, a également été testée. Toutefois l'importance de l'étendue de la zone de béton endommagée a conduit à abandonner cette voie.



Figure 2 : Essai mécanique de flexion réalisé pour valider les simulations.

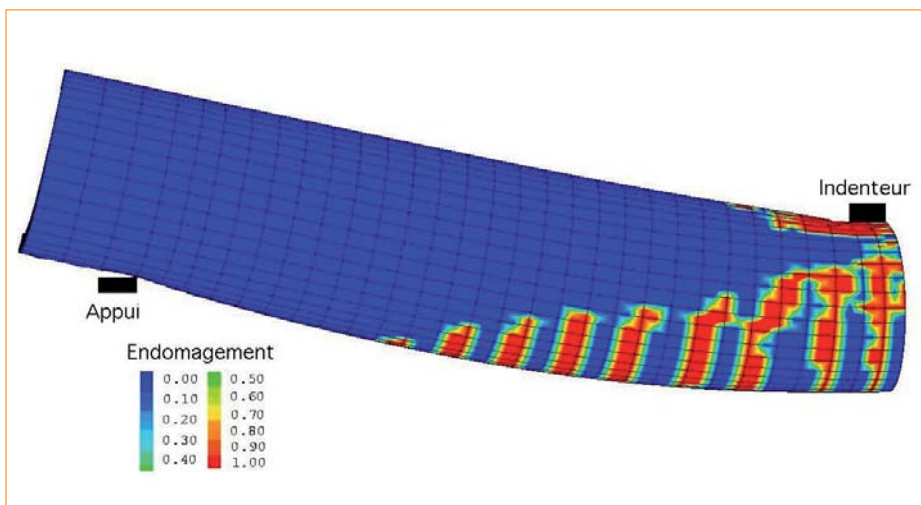


Figure 3 : Visualisation de la déformée avec endommagement.

On notera que l'atteinte et le suivi du plateau plastique ont été considérés comme critère de ruine structurelle des tuyaux lors d'une ruine par rupture des aciers tendus. La conduite de ces simulations vers la convergence est très délicate (endommagement important, appels à l'option `DEBORST`, corrosion des aciers) mais rendu possible grâce aux fonctionnalités couplées de `STAT_NON_LINE` et de l'environnement python (boucles de tests successifs, poursuites de calculs). Une stratégie de pilotage basée sur `STAT_NON_LINE` limitant la déformation s'est montrée efficace pour passer d'éventuels snap-backs. Toutefois, le coût de la méthode n'a pas permis de l'utiliser sur l'ensemble des cas étudiés. Lors de cette étude, la loi `CORR_ACIER` a été corrigée puis validée par comparaison expérimentale (Figure 4).

La qualité des résultats obtenus est bonne vis-à-vis à la fois du comportement global et de la détection du mécanisme de ruine probable. Des améliorations pourraient être apportées à la description de certains phénomènes locaux tels que les écrasements sous appui et l'ovalisation du tuyau.

Finalement, ce modèle numérique a été utilisé pour déterminer le comportement d'un tronçon de tuyauterie avec défauts sous une combinaison dimensionnante de chargements. Selon les études d'ingénierie cette combinaison est constituée des effets du séisme et de la pression interne. Les résultats des calculs s'avèrent favorables pour EDF. La tenue mécanique des circuits étudiés n'est pas

remise en cause, même avec un percement de 250 mm x 250 mm dans l'âme tôle.

La simulation via `Code_Aster` a réduit les conservatismes des méthodes de conception et a montré qu'un certain état de corrosion est acceptable avant d'affecter la sûreté de l'installation. Elle justifie la taille du défaut limite et rationalise ainsi le suivi *in situ* de l'évaluation des zones corrodées et les éventuels travaux de remplacement.

I. Petre-Lazar, A. Ouglova (Dépt. MMC),
B. Zuber, L. Davenne (NECS) dans le cadre du projet "DURO_GC – Durabilité et Réparation de Ouvrages de Génie Civil" en collaboration avec NECS, LMT Cachan, OXAND et Bonna-Sabla

En s@voir +

Doc de référence : R7-01-20A.

Rapport technique : I. Petre-Lazar, tenue mécanique des conduites en béton armé – âme tôle corrodés des circuits SEC des centrales en bord de mer - HT-25/05/033A (2005).

Cas-tests : SSNL127.

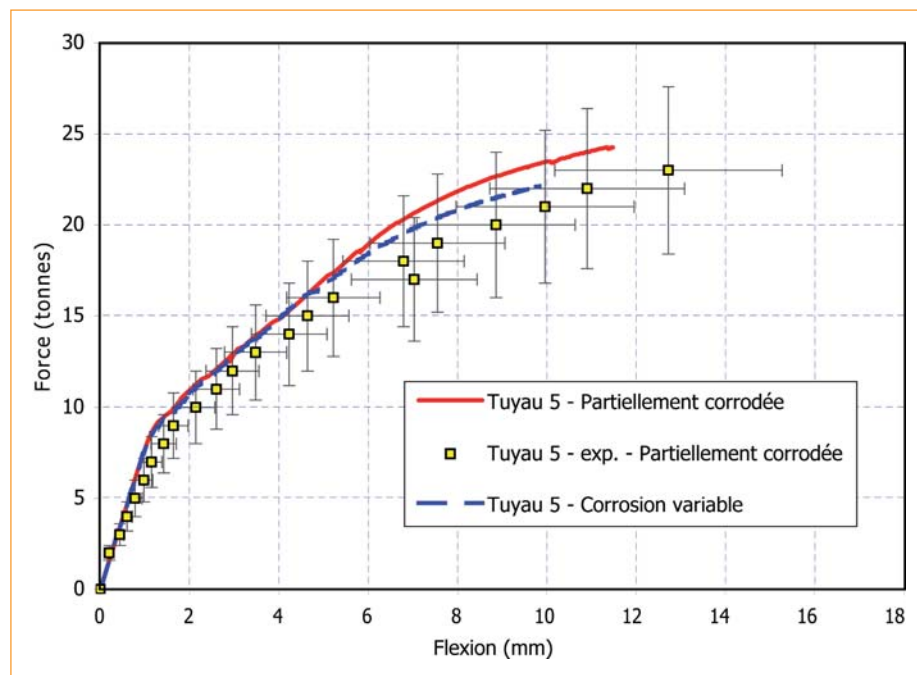


Figure 4 : Déformations de flexion d'un tuyau en béton avec une âme tôle corrodée : comparaison simulation - essai :