

Code_Aster[®]

Analyse des Structures
et Thermo-mécanique
pour des Études
et des Recherches

www.code-aster.org

Les possibilités de Code

Code Aster propose, bien au-delà des fonctionnalités standards d'un code de calcul thermo-mécanique, toute une panoplie de méthodes d'analyse et de modélisation multi-physique non linéaire : de l'analyse sismique aux milieux poreux en passant par l'acoustique, la fatigue, la dynamique stochastique... Ses modélisations, ses algorithmes et ses solveurs bénéficient de travaux continus d'amélioration et de complétude (1 200 000 lignes de code, 200 opérateurs). Résolument ouvert, il est chaîné, couplé et encapsulé de façon multiple.

■ Phénomènes

> Mécanique

- Statique, quasi statique linéaire ou non
- Dynamique, linéaire ou non, sur base physique ou modale
- Rupture, endommagement et fatigue
- Interactions Sol-Structure, Fluide-Structure et Sol-Fluide-Structure

> Thermique

- Stationnaire, transitoire, linéaire ou non
- Repère fixe ou mobile

> Phénomènes associés

- Acoustique
- Métallurgie
- Hydratation et séchage

■ Types d'analyse

> Standard

> Décomposition en modes de Fourier

> Sous-structuration

> Superposition de modèles, multiéchelle

> Maillage adaptatif

> Calcul de sensibilité

> Recalage et optimisation

> Calcul mécano-fiabiliste

■ Multiphysique

> Chaînages internes avec la thermique

- Hydratation, séchage
- Métallurgie

> Chaînages internes avec la mécanique

- Thermique
- Métallurgie
- Hydratation et séchage

> Couplages internes

- Thermo-hydro-mécanique
- Fluide-Structure

> Couplage externe avec d'autres codes

- Sol-(Fluide)-Structure (MISS3D)

> Chaînages externes avec d'autres codes

- Hydraulique : Code Saturne
- Thermique : SYRTHES
- Dynamique rapide : EUROPLEXUS

■ Chargements

> Mécanique

- Effort nodaux ou répartis
- Pression
- Poids propre
- Accélération centrifuge
- Mouvements imposés
- Déformation anélastique
- Effet du vent

> Thermique

- Température
- Flux linéaire ou non
- Convection forcée
- Échange entre parois
- Chauffage par effet Joule

> Chargements spécifiques (forces suiveuses, électro magnétiques, états initiaux)

■ Non linéarités en statique et en dynamique

> Géométriques

- Réactualisation géométrique, grandes déformations, grandes rotations
- Forces suiveuses
- Pilotage en déplacement, par longueur d'arc, en déformation, par sortie de critère
- Indicateurs de décharge et non radialité du chargement
- Contact et frottement : par une méthode de contact discret (contraintes actives, pénalisation, gradient conjugué projeté) ou par une méthode de contact continue
- Flambement au premier ordre

> Matériaux (95 lois de comportement)

- Elasticité linéaire, non linéaire
- Hyperélasticité non linéaire
- Elastoplasticité locale et à gradient
- Viscoélasticité non linéaire
- Endommagement local et à gradient
- Elastoviscoplasticité
- Effets métallurgiques
- Données matériaux fonction de la température, de l'état métallurgique, de l'hydratation, du séchage, de la fluence
- Déformation progressive
- Hydratation, retrait et fluage du béton
- Géomatériaux

■ Dynamique

> Analyse modale

- Sans ou avec amortissement (visqueux, hystérétique, modal)
- Directe ou par sous-structuration
- Normalisation, filtrage, paramètres modaux

> Réponse transitoire linéaire

- Directe
- Sur base modale
- Par sous-structuration

> Réponse transitoire avec non linéarités locales (sur base modale)

- Chocs
- Frottement
- Lamme fluide

> Réponse harmonique

- Directe
- Sur base modale
- Par sous-structuration

> Réponse aléatoire

- Probabiliste paramétrique et non paramétrique
- Stochastique

> Analyse non linéaire directe

- Implicite
- Explicite
- Chocs
- Plasticité, endommagement
- Contact et frottement

> Sous-structuration

- Classique ou cyclique
- Analyse modale, transitoire ou harmonique

> Analyse sismique

- Avec chocs ou multi appui
- Spectrale ou transitoire linéaire directe ou sur base modale
- Calcul amortissement modal (RCC-G)

> Extrapolation de mesures expérimentales

- Temporelle ou fréquentielle

■ Interactions

> Fluide-Structure

- Interaction structure-écoulement incompressible ; efforts turbulents
- Vibro-acoustique (surface libre)

> Sol-Structure et Sol-Fluide-Structure

- Éléments de frontière absorbante
- Couplage fréquentiel avec MISS3D

Aster

■ Analyse thermique

- > Thermique linéaire et non linéaire
 - Changement de phase
 - Hydratation et séchage
 - Résolution en repère mobile
- > Evolutions métallurgiques
 - Aciers, Zircaloy
 - Calcul de dureté de phases
- > Traitements thermiques et soudage

■ Génie civil- Géotechnique

- > Lois de comportement béton (armé ou pré-contraint), géomatériaux
- > Hydratation, séchage, fluage propre à différentes échelles de temps
- > Effet des armatures passives ou de la pré-contrainte avec comportement élasto-plastique : barre, grilles et membrane
- > Couplage fluage-fissuration
- > Thermo-hydro-mécanique (milieux poreux, formulation en contraintes effectives, lois de comportement en kit...) en modélisation mixte P1-P2
- > Chargements spécifiques (flux hydriques et gazeux)
- > Procédure d'excavation
- > Rupture, endommagement, fatigue et ruine des structures
- > Taux de restitution d'énergie globale
 - thermo-élasticité : G
 - thermo-élasto-plasticité : GP et GTP
- > Taux de restitution d'énergie locale en 3D
- > Facteurs d'intensité de contraintes
- > Modèles de rupture fragile et ductile, amorçage et instabilité
- > Pilotage spécifique du chargement
- > Endommagement local et non local
- > Modélisation de fissure : élément joint et X-FEM
- > Endommagement découpé

- > Analyse à la fatigue
 - Historique de chargement
 - Méthodes de comptage
 - Applications de critères spécifiques
- > Vérification de critères du RCC-M
- > Méthode Zarka-Casier en chargement cyclique
- > Usure progressive
- > Analyse limite
- > Approche micro-macro : modèle polycristallin

■ Qualité des études

- > Indicateurs d'erreur spatiale
 - Mécanique (en résidu pur, par lissage)
 - Thermique (en résidu pur)
- > Raffinement/déaffinement de maillage via HOMARD
- > Eléments finis plus robustes
 - Mécanique (sous-intégré, incompressible)
 - Thermique (modélisation lumpé)
- > Diagnostic du maillage
- > Redécoupage du pas de temps thermo-mécanique
- > Calculs de sensibilité
 - Mécanique
 - Thermique
 - Par rapport aux matériaux, aux chargements et à des variations de domaine.
- > Recalage de paramètres
 - Matériau ou chargement
 - Par rapport à un échantillonnage d'essais ou de résultats numériques.
- > Calculs fiables : probabilité de dépassement de seuil par une méthode de type FORM

■ Modélisation

- > Catalogue de données matériaux
- > Raccordement de maillages incompatibles
- > Superposition de modèles par méthode Arlequin
- > Raccord de modélisation (coque-3D, poutre-tuyau...)
- > Condition contraintes planes adaptable à tous les modèles
- > Calcul de caractéristiques de poutres
- > Homogénéisation (composites, répétitivité...)

■ Bibliothèque d'éléments (400 éléments finis)

- > Mécanique
 - 2D, 2D axi (avec ou sans décomposition de Fourier), 3D, sous-intégrés, incompressibles
 - Barres, poutres (simple ou multifibres), tuyaux, plaques, coques, membranes, câbles, éléments discrets ou indéformables
- > Thermique : 2D, 2D axi (avec ou sans décomposition de Fourier), 3D, coques
- > Hydratation-Séchage : 2D, 2D axi, 3D
- > Couplage THM : 2D, 2D axi, 3D

■ Solveurs

- > Linéaires (LDLT, multi-frontale, GCPC, MUMPS, FETI)
- > Non linéaires (Newton...)
- > Schémas d'intégration (Runge-Kutta, Newmark, adaptatifs...)
- > Modaux (Puissance, Lanczos, IRAM...)
- > Paramétrage étendu. Plusieurs stratégies de renumérotation, stockage, pré-conditionnement, post-vérification...

■ Outils dédiés

- > Piquage et coude de tuyauteries : ASPIC/ASCOUF
- > Tubes de Générateur de Vapeur : GEVIBUS

■ Environnement logiciel

- > Intégration dans Salomé
- > Pré-post traitements : IDEAS, GIBI, Gmsh, ENSIGHT, Xmgrace
- > Echange de données au format MED
- > Outil de gestion d'études et atelier de génie-logiciel : ASTK
- > Editeur de Fichiers de Commande et Analyseur Syntaxique : EFICAS
- > Portabilité des bases
- > Langage de commande évolué: PYTHON
 - Boucle, test, structures de contrôle...
 - Méthode, classe...
 - Calcul et visualisation inter actives (bibliothèques mathématiques, IHM, tracés...)
- > Traduction de fichier de commande

■ Sans oublier...

- > Logiciel sous AQ (validations indépendantes, référentiel de 2000 cas-tests, couverture documentaire 13000 pages, gestion des sources, qualification des versions...)
- > Site code-aster.org (téléchargement, documentation en ligne, forum, FAQ, exemples...)
- > Communication et réseau (revue trimestrielle ASTER échos ; Club des Utilisateurs, son réseau de correspondants et sa journée annuelle ; Code Aster Libre sous licence GPL...)

Non linéaire

Dans une étude industrielle, il devient indispensable de prendre en compte les non-linéarités : matériau, géométrie et de contact.

Pour chacune d'entre elles Code Aster, au travers des opérateurs DYNA/STAT NON LINE propose des solutions adaptées.

Les opérateurs non-linéaires...

... sont riches en fonctionnalités et conviviaux. DYNA NON LINE et STAT NON LINE permettent de mener une étude statique ou dynamique implicite avec des non-linéarités cinématiques (grandes transformations, grandes déformations), des non-linéarités issues de la loi de comportement et de la prise en compte du contact/frottement.

En thermique, THER NON LINE simule aussi des non-linéarités (matériaux, rayonnement, convection forcée) et permet de calculer l'évolution dans le temps de la composition physique et de l'humidité du béton...

Puissance et expertise

Les opérateurs de mécanique non-linéaires de Code Aster sont ceux qui bénéficient le plus des innovations issues de nos activités de recherche en mécanique numérique.

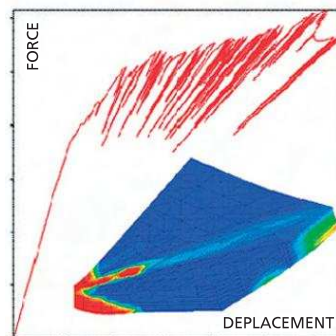
Un effort très important est fait afin de satisfaire aux exigences des experts de la simulation en mécanique non-linéaire mais aussi de rendre disponible la puissance de résolution de la manière la plus conviviale possible.

Ainsi, de nombreuses options facilitent la vie de l'ingénieur en charge des études en lui permettant de surveiller le déroulement de son calcul, de faire un suivi en temps réel des quantités d'intérêts (contraintes, variables internes, déplacements, etc.) et de bénéficier d'options d'optimisation

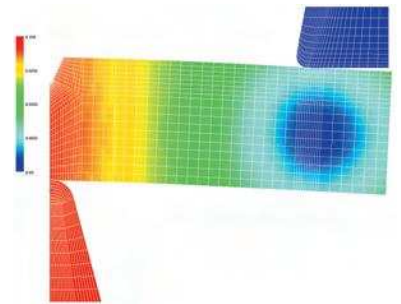
de l'algorithme de Newton-Raphson (choix des matrices et de leur réactualisation, recherche linéaire, discrétisation temporelle intelligente, etc.).

La convergence des calculs non linéaires est contrôlée par des critères de convergence globaux ou des critères utilisant des valeurs de référence physiques (contraintes, déformations...). Ces points forts sont un meilleur confort d'utilisation et une précision plus adaptée, notamment en présence de résidus hétérogènes (mélange de modélisation, de physique...).

Des méthodes générales sont disponibles pour le suivi de structures instables ou le calcul de charge limite : pilotage en déplacement ou par longueur d'arc. Pour les matériaux à comportement adoucissant, le pilotage par prédiction élastique permet de contrôler la perte de stabilité locale de façon efficace, en maîtrisant les points les plus chargés. Une autre technique consiste à s'assurer de la continuité de la réponse en déformation.



Endommagement : pilotage du chargement.



En dynamique non-linéaire, de nombreux schémas d'intégration temporelle sont disponibles (Newmark, HHT, théta-méthode).

Une procédure de recalage (MACR RECAL) identifie les paramètres optimaux en comparant les résultats d'une expérience avec ceux de sa simulation. Enfin, la pertinence finale des résultats peut être confrontée à divers calculs de sensibilité (SENSIBILITE) et à des estimateurs d'erreurs (CALC ELEM).

Non-linéarités cinématiques

Les non-linéarités issues de la description du mouvement sont modélisables de diverses façons (mot-clé DEFORMATION).

SIMO MIEHE traite des grandes déformations plastiques et des rotations importantes en prenant en compte toute l'information issue du gradient de transformation. Il se décline sur plusieurs lois de comportement : plasticité avec écrouissage isotrope, viscoplasticité (avec changements de phases métallurgiques) et endommagement ductile (modèle ROUSSELIER). Ce modèle est incrémentalement objectif et permet donc de traiter les grandes rotations sans aucune limite.

GREEN traite les grandes rotations, grands déplacements et petites déformations, il permet d'utiliser tous les comportements élastiques et incrémentaux.

PETIT REAC se contente de réactualiser la géométrie à chaque

Code Aster, logiciel libre

Les opérateurs non-linéaires ont bénéficié largement de la mise en libre de Code Aster.

Que ce soit en termes de retour d'expérience des utilisateurs ou même en développement de nouvelles fonctionnalités. Pour ces derniers, citons :

- le contact de type « glissière », un travail mené par l'IFP (Institut Français du Pétrole).
- Le comportement de type hyperélastique (pour les élastomères), une loi de type Mooney-Rivlin introduite par l'université de Lyon 1.

pas de temps (nécessairement petit) et ne tolère que les petites rotations.

Pour les éléments de structures, les grands déplacements et grandes rotations des poutres et coques sont traitées par GREEN GR ou REAC GEOM pour les poutres multifibres.

Enfin, l'option COROTATIONNEL permet d'utiliser le module extérieur d'intégration de loi de comportement ZMAT.

Non-linéarités de comportement

Plus d'une centaine de lois de comportement sont disponibles dans Code Aster.

On y trouve les lois les plus classiques comme :

l'élasticité isotrope et anisotrope, l'hyperélasticité (modèle de Signorini déclinable en Mooney Rivlin), la plasticité avec écrouissage isotrope et/ou cinématique, l'élastoviscoplasticité (modèles de Chaboche et Lemaître).

Mais il y a également toute une gamme pour simuler l'endommagement : modèles de déformation progressive (modèle de Taheri, polycristallin), endommagement fragile ou ductile (modèle de Rousselier).

Enfin, on y trouvera les lois issues de problématiques ciblées : la plasticité et l'endommagement du béton, des aciers ou des assemblages, les éléments cohésifs, les lois pour la mécanique



Calcul thermo-mécanique non linéaire d'un compresseur de turbine à combustion : rotor aubagé et quart-compresseur.

des sols et des roches (Cam-Clay, Barcelone, Hujeux), les lois d'homogénéisation micro-macro, et la thermo-hydro-mécanique couplée qui fonctionne sous forme de kit.

Ces comportements se déclinent sur bon nombre de modélisations et de mailles support, l'algorithme de De Borst permettant aisément de les étendre aux coques et poutres multifibres.

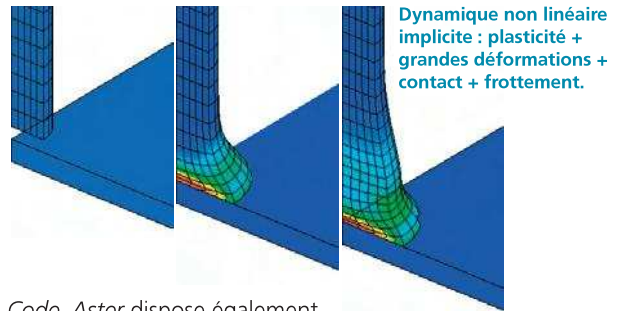
Si cela ne suffit pas, il reste possible de développer une nouvelle loi de comportement. Afin de faciliter sa validation, une macro-commande SIMU POINT MAT a été développée et introduite en V8.

Non-linéarités de contact-frottement...

Le contact/frottement est abordé de différentes manières dans Code Aster. Son périmètre d'utilisation couvre toute la gamme des modélisations (2D/3D, poutre et coque) en se basant éventuellement sur des maillages incompatibles et avec des géométries réactualisées (grands glissements relatifs des surfaces).

On trouvera des formulations discrètes classiques (avec traitement par pénalisation ou dualisation). Un effort important a été mené sur les performances des algorithmes ces dernières années. Un nouvel algorithme itératif de type gradient conjugué projeté a été introduit pour le contact sans frottement. Il permet désormais de résoudre les problèmes mettant en jeu des milliers de mailles

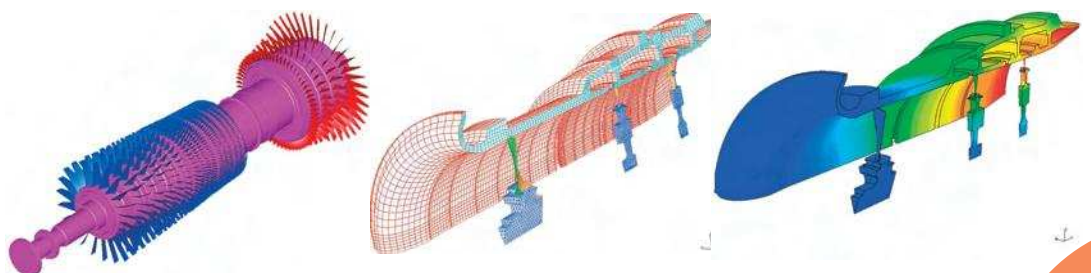
en contact avec d'excellentes performances (à la fois en terme de temps de calcul et d'encombrement mémoire).



Dynamique non linéaire implicite : plasticité + grandes déformations + contact + frottement.

Code Aster dispose également d'une méthode dite « continue » du contact, reposant sur une écriture faible du problème de contact/frottement avec trois champs d'inconnues (déplacement, pression de contact, pression de frottement) et utilisant une formulation par Lagrangien augmenté. Cette méthode est particulièrement précise en terme de physique du contact et elle permet également d'utiliser un modèle dédié à la simulation des micro-aspérités (modèle de compliance), particulièrement efficace dans le traitement des chocs en dynamique.

Le dépouillement est facilité par la création de champs stockant les valeurs des jeux, des réactions, en chaque lieu potentiel de contact qui peuvent être visualisés sous forme d'isovaleurs ou de courbes. Enfin, l'utilisation du contact est simplifiée, grâce à un point d'entrée unique : AFFE CHAR MECA, mot-clé CONTACT.



Géomatériaux

Pourquoi EDF s'intéresse-t-elle à la modélisation du comportement des bétons, limons, sables, argiles et roches ?

Réponse : au-delà de la tenue des barrages, pour l'expertise des solutions envisagées dans le stockage des déchets radio-actifs. Les modèles de thermo-hydro-mécanique de Code Aster sont un des apports d'EDF-R&D dans l'épineuse question de l'aval du cycle.

Non linéaires sous chargement nominal, les géomatériaux sont souvent objet de déformations différées : aussi, prédire l'état des ouvrages à court et long terme requiert la simulation des phases de leur construction. D'autant plus que le comportement de l'eau imbibant ces matériaux n'est pas sans conséquences mécaniques, notamment pour l'évolution lointaine des sols et roches. Il est alors primordial de calculer les écoulements en tant que tels car les effets capillaires liés à des états partiellement saturés influencent significativement l'état de contrainte. En particulier pour des matériaux peu perméables où des fortes succions apparaissent.

Des lois de comportement particulières

Les phénoménologies décrites ici ne peuvent bien sûr être simulées que par des modèles Aster spécifiques. Au delà de leur diversité, tous partagent la propriété de représenter une dégradation du matériau sous cisaillement fonction du confinement et s'accompagnant de variations de volume sensibles. Selon qu'il s'agit d'un béton, d'un limon ou d'un sable, d'une argile ou d'une roche, le cadre de la formulation variera. On préférera le formalisme de l'endommagement pour les bétons dont la micro fissuration détériore la rigidité, alors que pour les sols la plasticité permettra de mieux tenir compte des déformations irréversibles. Pour les argiles, on fera dépendre l'érouissage plutôt de la déformation plastique volumique et pour les roches, de la déformation plastique de cisaillement. Dans tous les cas, au delà d'un certain seuil, un comportement adoucissant apparaît. Pour les sols et roches, les fonctionnalités Aster modélisent assez finement les phénomènes de dilatance concomitants. Elles modélisent également les évolutions hydrauliques

et thermiques ; ces dernières entraînant directement des dégradations de type fissuration par séchage, effondrement par remouillage, plastification par gonflement des argiles, claquage des terrains dû à la dilatation thermique de l'eau.

Une offre Aster adaptée aux géomatériaux

Pour les sables et limons, le premier niveau des lois CJS (Cambou, Jeffari, Sidoroff), très proche d'un critère de Mohr Coulomb permet une approche de type « charge limite ». Les deuxièmes et troisièmes niveaux introduisent un couplage entre mécanismes plastiques isotrope et déviatoire avec des érouissages isotropes ou cinématiques incluant la dilatance et le radoucissement pour le troisième niveau. Pour les argiles saturés, Cam Clay (RELATION KIT='CAM CLAY'), la star des modèles, associe une élasticité non linéaire et une plasticité limitant les contraintes à un domaine dont la taille dépend de la pression de consolidation. Son extension aux sols non saturés, connue sous le nom de modèle de Barcelone, fait en outre dépendre ce domaine de la pression capillaire. Pour les roches, EDF a bénéficié de l'expérience du Centre d'Ingénierie Hydraulique de Chambéry qui a démontré la nécessité de retenir le comportement dit post pic, c'est à dire fissuré, des roches et a proposé une généralisation du modèle de Hoek et Brown ('LAIGLE'). Le modèle de Hoek et Brown, plus simple, mais bénéficiant de la reconnaissance de la communauté des géophysiciens est également disponible. Pour les bétons ainsi que pour certains sols, Code Aster dispose du modèle élasto-plastique de Drucker-Prager.

Code Aster répond à la variété des phénomènes hydrauliques en milieux poreux par des modèles

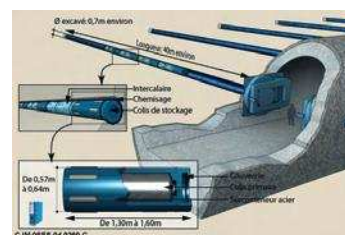


Carte de saturation en eau dans une alvéole de type déchets B.

simples pour le séchage et l'hydratation du béton, ou plus complexes basés sur l'intégration couplée de deux lois d'écoulement non linéaires et celle de conservation de l'énergie. Dans la version élaborée de cette modélisation sans hypothèse sur la pression de gaz, les échanges entre phases sont régis par les lois d'équilibre très générales de la thermodynamique. Les écoulements sont darcéens, perméabilisés et saturation sont reliés par des lois quelconques fournies par l'utilisateur. De même pour la relation entre saturation et pression capillaire. Les mécanismes de diffusion au sein des mélanges gazeux (gaz « sec » et vapeur) et liquides (gaz dissous et eau liquide) sont régis par des lois de Fick.

Une bonne expérience d'utilisation

L'ancienneté de certains de ces modèles, leur longue utilisation ont contribué à accroître leur robustesse. Les modélisations THM couplées sont bien adaptées aux besoins EDF : étanchéité des enceintes de confinement des centrales nucléaires, problèmes liés au stockage profond des déchets, à la resaturation et la thermo-mécanique d'argiles gonflantes, à l'endommagement lors du creusement et de la consolidation de galeries...



Zoom sur une galerie de stockage - Architecture Andra.

Une architecture optimisée en THM

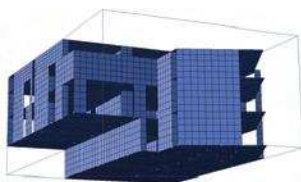
Les modélisations THM ont fait l'objet de récents développements, notamment sur l'optimisation de l'architecture des degrés de libertés avec une interpolation d'ordre 2 pour la mécanique et d'ordre 1 pour la thermo-hydraulique. La méthodologie de l'intégration numérique a également été améliorée, conduisant à la séparation des points d'intégrations pour les termes de types diffusifs (points de gauss) ou capacitifs (sommet de l'élément).

Pour faire cela il faut appeler la modélisation sélective en ajoutant un S à la fin du nom de la modélisation ex : D PLAN HMS.

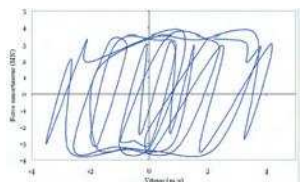
Génie civil, béton

Dans la prévision et la maîtrise de la tenue mécanique des structures de génie civil de production d'électricité, comme les enceintes de confinement, les réfrigérants des centrales nucléaires, ou bien les barrages, les préoccupations EDF de sûreté des installations sont dominantes.

Le positionnement résolu de Code Aster sur la modélisation non linéaire du béton armé précontraint permet d'envisager sereinement un suivi numérique dans le temps de tels ouvrages.



Résistance d'un bâtiment public face au séisme. Contrôle des appareils d'appuis parasismiques. Analyse dynamique transitoire non linéaire à l'aide d'éléments discrets de type ressort linéaire et amortisseur non linéaire. Etudes réalisées par la société NECS (www.necs.eu).



Force développée par les amortisseurs pendant le séisme.



Déplacement du plancher #2 au cours du séisme.

Evaluer la durée de vie d'une structure en béton, anticiper et remédier à ses défauts requièrent la connaissance de son état au jeune âge ou à un instant donné. D'où l'intérêt de la diversité des modélisations béton, des méthodologies d'études réalisables et de leurs validations expérimentales : thermo-hydratation, séchage, retrait, fissuration, endommagement, fluage, effet des armatures actives et passives. Outre la tenue physique, les problématiques à couvrir sont vastes ; par exemple, l'étanchéité des enceintes béton de confinement des centrales nucléaires, leurs déformations dans le temps, mais aussi les effets des chargements accidentels comme le séisme, la perte de réfrigérant primaire ou le choc de projectiles.

Comportement physico-mécanique du béton

Les évolutions des propriétés du béton sont traitées par des modèles de thermo-hydratation et de séchage associés (Granger, Bazant, Mensi...). Les opérateurs Aster calculent le retrait du béton au jeune âge à partir des variations de l'hydratation et le retrait de dessiccation via un calcul de séchage. Pour le fluage propre, deux modèles sont disponibles : GRANGER et BETON UMLV FP. Le fluage de dessiccation peut également être modélisé à l'aide de l'approche proposée par Bazant, disponible soit seul (BAZANT FD) soit couplé avec le fluage propre dans la loi BETON UMLV FP.

Modèles mécaniques non linéaires

Le comportement mécanique non-linéaire du béton est traité par plusieurs modèles à choisir en fonction des problématiques traitées. Un nouveau modèle représentant la loi réglementaire « parabole rectangle » (BETON REGLE PR) en 2D est disponible. Il est bien adapté

pour des modèles à base d'éléments de type coque, sous chargements monotones et vient compléter la palette des modèles déjà existants : Laborerie (LABORD 1D), Double Drücker-Prager (BETON DOUBLE DP), Mazars (MAZARS), Badel (ENDO ISOT BETON), Godard (ENDO ORTH BETON). Les modèles d'endommagement peuvent être régularisés (GRAD EPSI) pour s'affranchir de la dépendance numérique à la taille de maille. Enfin, des méthodes de pilotage permettent de franchir les éventuels snap-backs.

La précontrainte

Code Aster propose plusieurs fonctionnalités pour étudier le comportement des structures précontraintes. Le maillage du béton et des câbles de précontrainte peuvent être préparés séparément pour simplifier cette tâche. La commande DEFIL CABLE BP permet d'une part, de lier solidièrement les câbles au béton, et d'autre part de calculer et intégrer au modèle le profil de tension réglementaire. La mise sous tension des câbles et leur phasage peuvent être obtenus à l'aide des commandes STAT NON LINE et CALC PRECONT, selon la nature des études.

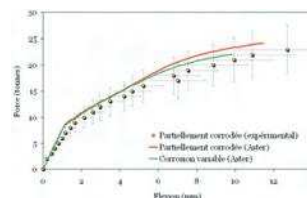
Les armatures du béton peuvent être modélisées par des éléments finis de barres ou des nappes d'armatures. Celles-ci peuvent éventuellement être excentrées par rapport à la surface moyenne si elles sont associées à des éléments de coques, pour représenter les treillis soudés. Une loi non-linéaire peut être appliquée pour les nappes d'armatures pour simuler les mécanismes de plastification et d'érouissage non linéaire.

A noter

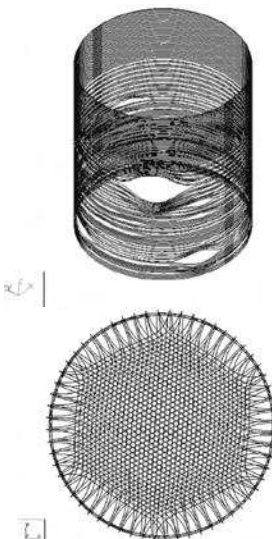
le développement récent du comportement CORR ACIER pour les armatures (éléments BARRE) qui traduit un comportement élasto-plastique endommageable pour lequel la déformation plastique à rupture dépend du taux de corrosion.



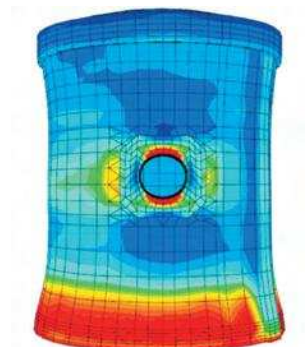
Tenue mécanique de canalisations en béton avec âme tôle. Incidence de la corrosion sur la tenue mécanique. Etude statique non-linéaire intégrant la fissuration du béton, la plastification des armatures et la corrosion de l'âme tôle. Etudes réalisées par la société NECS (www.necs.eu) pour EDF/MMC.



Courbe de comportement de la canalisation. Comparaison essai/simulation Aster.



Maillage des câbles de précontrainte d'une enceinte de confinement. Modélisation des contraintes tangentielles sur le béton : Etude EDF SEPTEN.

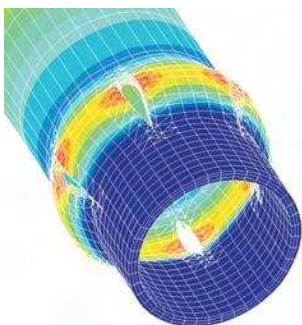


Rupture, Endommagement et Fatigue

L'analyse des causes de la ruine d'un ouvrage ou d'un composant mécanique doit tenir compte de la nature même des dégradations constatées et du degré de finesse recherché.

Code Aster, en offrant une large gamme de modélisations et d'outils d'analyse, des plus exploratoires, couvre les problématiques de l'endommagement, de la rupture, de la fatigue et des charges limites.

Méthode X-FEM : tube multi-fissuré. Maillage de post-traitement.



Etudier une fissure sans la mailler...

... est aujourd'hui possible grâce au développement de la méthode X-FEM dans Code Aster. La fissure est définie de manière géométrique (opérateur DEFI_FISS_XFEM), et est introduite dans le maillage sain par enrichissement des éléments finis classiques.

En post-traitement du calcul mécanique, les facteurs d'intensité des contraintes peuvent être calculés avec l'opérateur CALC_G. La prise en compte du contact sur les lèvres de la fissure est possible.

Pour les dégradations mécaniques sous sollicitations répétées on parle de « fatigue ». Dans le cas contraire il s'agit de « rupture » ou « d'endommagement ». La mécanique de la rupture s'appuie sur des critères globaux pour statuer sur la propagation d'une fissure existante, alors que la mécanique de l'endommagement intervient au niveau des matériaux afin de déceler l'amorçage et le développement de zones endommagées.

■ Evolution de fissures

En mécanique de la rupture, deux paramètres clés permettent d'étudier la stabilité et la propagation d'une fissure : le taux de restitution d'énergie G et les facteurs d'intensité des contraintes K . Dans Code Aster, ces paramètres peuvent être calculés en élasticité linéaire grâce aux opérateurs CALC_G (méthode énergétique) et POST_K1_K2_K3 (interpolation des sauts de déplacement), et ceci pour diverses situations : 2D et 3D, forces de surface ou de volume, pression sur les lèvres...

En élasto-plasticité, il est encore possible de calculer G avec

Coude de circuit RRA : calcul de dommage par le critère de Dang Van et faïençage thermique.



■ Endommagement du béton armé

Deux nouveaux modèles d'endommagement en flexion (GLRC_DAMAGE et GLRC_DM) ont été développés pour l'étude statique ou sismique du comportement des plaques en béton armé.

CALC_G à condition que le chargement demeure monotone et radial. Pour dépasser ces limites, deux nouveaux paramètres ont été définis : GTP (G-total plastique, calculé avec CALC_G sur des entailles en rupture ductile) et GP (G-plastique). Ce dernier critère, réservé à la rupture fragile, est une extension à la plasticité de la formulation de Francfort-Marigo. L'opérateur POST_GP permet d'identifier les valeurs critiques de GP et de prédire l'instant de rupture pour un transitoire thermo-mécanique donné.

Par ailleurs une approche s'appuyant sur des éléments de joint (modélisation PLAN_JOINT) ou sur des éléments à discontinuité (modélisation PLAN_ELDI) permet de modéliser l'évolution de fissures bidimensionnelles dans une direction donnée, en statique comme en dynamique, avec une loi d'interface de type zone cohésive (prise en compte des interactions résiduelles entre les lèvres de la fissure, comportement CZM_EXP ou CZM_EXP_REG).

■ Endommagement de structures

La fissuration suivant une loi d'interface n'est qu'un mode de dégradation, la mécanique de l'endommagement en permet une modélisation plus fine en se situant à l'échelle du point matériel.

Si on se cantonne à l'étude stricto sensu de l'amorçage, l'opérateur POST_ELEM en fournit une probabilité grâce au modèle de

WEIBULL. Par contre, si on souhaite modéliser l'ensemble de la réponse de la structure, de l'amorçage jusqu'à la ruine, il est indispensable de recourir à des lois de comportement couplant à l'échelle du point matériel l'évolution de l'endommagement et des contraintes (critères ENDO_ISOT_BETON, ENDO_ORTH_BETON ou MAZARS pour le béton, ROUSSELIER pour l'acier) ou à des lois de plasticité adoucissante (BETON_DOUBLE_DP pour le béton, DRUCKER_PRAGER pour les sols et VENDO_CHAB pour les métaux). Cependant, si elles autorisent des modélisations plus fines, ces lois se heurtent à deux difficultés : l'instabilité de la réponse globale de la structure et la localisation des déformations. Pour les surmonter Code Aster apporte des réponses novatrices : un pilotage du chargement spécifique permet de suivre les instabilités (phénomènes de snap-back/through) et des comportements à formulation non locale évitent une dépendance pathologique au maillage.

■ Dommage par fatigue

La plupart des ruptures de composants industriels en fonctionnement normal sont dues à la fatigue. Son caractère larvé n'a d'égal que sa nocivité, d'où l'importance de l'évaluation de ce type de phénomène dès la phase de conception.

Code Aster propose des méthodes adaptées (opérateur CALC_FATIGUE) au type de fatigue (à grands nombres de cycles, oligocyclique...), de sollicitations (déterministe, aléatoire, périodique, multiaxiales...), de données d'entrées disponibles (composante ou tenseur des contraintes, des déformations) et de résultats souhaités (champ en un point ou sur la structure, critère).

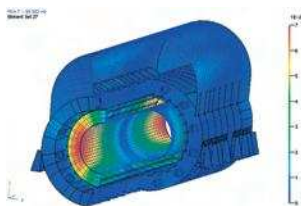
■ Mécanique de la rupture en dynamique modale

L'opérateur POST_K_TRANS permet d'identifier de manière rapide et précise, en post-traitement d'un calcul de dynamique transitoire sur base modale, l'évolution au cours du temps des facteurs d'intensité des contraintes.

Dynamique

Le comportement dynamique des structures peut être l'occasion de surprises, pas toujours des plus agréables. Une résonance et les niveaux de contraintes d'une pompe grimpent ! Lors d'un séisme, les mouvements de surface de l'eau peuvent faire vaciller un réservoir ! Heureusement, Code Aster peut aider à modéliser les forces d'inertie des structures et leurs effets lors des phénomènes transitoires ou stationnaires.

Contraintes modales sur un modèle d'alternateur.



Sous-structurer pour mieux calculer !

Devant la complexité des structures mécaniques, les méthodes numériques ou expérimentales classiques se révèlent parfois trop coûteuses. Il est donc préférable de décomposer le modèle global en plusieurs sous-structures et d'étudier séparément leur comportement vibratoire avant de les raccorder. Différents types de modes d'interface sont disponibles dans DEFINTERF DYNA : Craig-Bampton, Mac Neal ou modes dynamiques d'interface. Les maillages des faces n'ont même pas besoin d'être coïncidents, Code Aster s'accommode de raccords incompatibles. De nouveaux développements dans ce domaine permettent de plus de prévoir les effets d'une modification structurale à partir de mesures faites sur la structure non modifiée.

L'introduction des termes d'inertie dans les équations de la dynamique permet de modéliser la complexité des phénomènes dynamiques, des aspects vibratoires ou transitoires. Qu'ils soient déterministes ou aléatoires, que les lois de comportement soient linéaires ou non, que les déformations des structures soient couplées ou non à de l'acoustique ou à des mouvements de fluide, que des composants rentrent en contact ou frottent. Code Aster permet de travailler, sur base modale ou dans l'espace physique, sur le système dans son ensemble ou par sous-structuration.

Analyse modale

Le calcul des fréquences propres et des modes propres d'un matériel apporte déjà une information précieuse sur son comportement vibratoire. Les opérateurs MODE ITER XX calculent les déformées modales et leurs pulsations propres, avec ou sans amortissement structural. Les modes peuvent être aussi la base d'une réduction du modèle à ses principales libertés de mouvement et ainsi alléger l'étude des transitoires. On peut bien sûr normer les modes (NORM MODE) ou les filtrer (EXTR MODE) selon différentes conventions.

Différents types de force fluide...

... sont modélisées dans le Code Aster. En vibration sous écoulement (crayon combustible) on en distingue deux : les forces indépendantes du mouvement de la structure dues à des turbulences ou à la nature diphasique de l'écoulement (DEFI SPEC TURB) et les « fluide-élastiques » qui concrétisent le couplage fluide-structure proprement dit (CALC FLUI STRU). CALC MATR AJOU calcule les coefficients associés à ce couplage. En outre, il est possible d'étudier le couplage vibro-acoustique et le ballonnement de structures remplies de liquide (tuyauterie, réservoir...) avec surface libre à l'aide d'éléments ad hoc (modélisations XX FLUI PESA/STRU...). Ce couplage fort est traité par une formulation (u,p,f) symétrique. Il est utilisable en analyse harmonique ou transitoire directe : la structure

Analyse transitoire ou fréquentielle

Connaître la réponse de la structure à une excitation est indispensable à une analyse fine des déformations et des contraintes au cours du temps. Des opérateurs dédiés se chargent de traiter les diverses situations : dynamique linéaire harmonique (efforts périodiques), dynamique transitoire sur base modale réduite ou sur base physique (linéaire ou non linéaire, avec de nombreux schémas d'intégration), analyse spectrale et combinaison de chargements sismiques ou dynamique linéaire aléatoire (densités interspectrales).

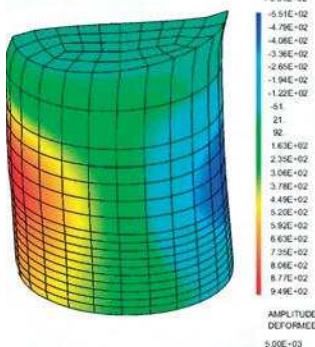
Amortissements

Des phénomènes dissipatifs (frottement, viscosité...) interviennent dans les structures ; ils ont une influence notable sur l'amplitude des réponses. Cependant l'amortissement est souvent délicat à modéliser. C'est pourquoi trois types d'amortissement global sont disponibles : visqueux, hystérétique et modal.

De la mesure au calcul

La modélisation numérique permet de compléter les mesures expérimentales dans les zones où l'on ne

peut présenter tout type de non-linéarité, le fluide restant, lui, modélisé de manière linéaire.

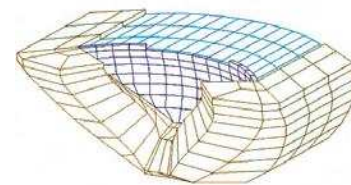


Pression du fluide contenu dans un réservoir et mouvement de la surface libre.

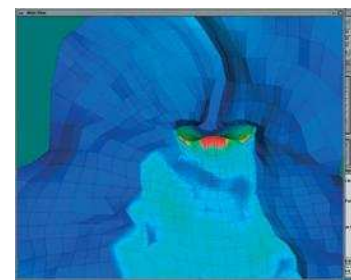
dispose pas de capteur, et où l'on souhaite calculer une contrainte. PROJ MESU MODAL extrapole la grandeur souhaitée en transitant par une base modale du modèle numérique.

Les Interactions sol-structure (ISS)...

... qui interviennent en dynamique des bâtiments réacteurs ou des barrages voûtes, peuvent être résolues de deux manières : par couplage fréquentiel avec MISS3D (XX MISS 3D), code équations intégrales par sous-structuration de l'ECP, ou via des éléments de frontière absorbante modélisant des domaines quasi-infinis (XX ABSO). Dans tous les cas, l'hypothèse d'anéchoïcité est vérifiée (élimination des ondes planes élastiques ou acoustiques diffractées par la structure vers l'infini).



Modélisation d'un barrage voûte au séisme : couplage sol-structure entre le génie civil et la retenue.



Acoustique

L'étude de propagation acoustique dans un fluide compressible et pour des domaines clos est modélisée (phénomène ACOUSTIQUE) via deux formulations (classique et mixte). Elles résolvent l'équation de Helmholtz pour en déduire les champs de niveau sonore et d'intensité acoustique.

Du multiéchelle au multiphysique

Dans l'industrie électrique comme ailleurs, les phénomènes sont souvent couplés. Code Aster propose les solutions 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 ou d'une autre variable.

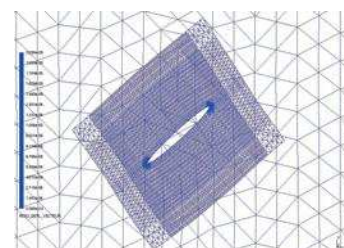
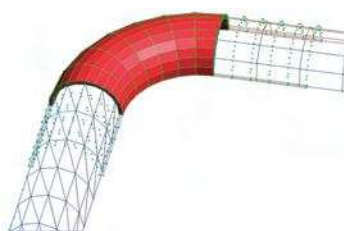
Couplage fort des équations de la thermique, de l'hydraulique et de la mécanique (thermo-hydro-mécaniques), on s'intéresse aux milieux poreux, saturés ou non : roches, argiles, bétons.

Thermo-métallo-mécanique principalement pour la simulation du soudage multipasse.

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 par les positions relatives des conducteurs.

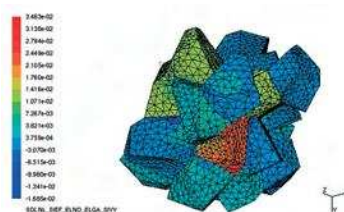
La méthode Arlequin ouvre les portes du multiéchelle en raccordant, par une technique de superposition, des modèles numériques de natures différentes : fissures, soudures, supportages...



Raccordement 3D/coque et patch fissuré avec Arlequin.

Les fissures peuvent également être analysées sans contrainte sur le maillage avec la méthode X-FEM.

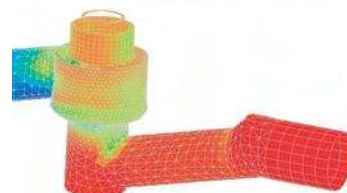
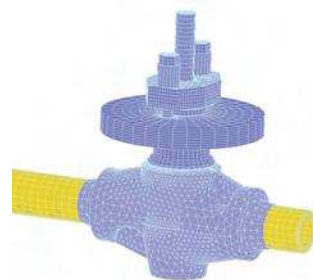
Le micro-macro, quant à lui, permet de manipuler de façon modulaire des lois de comportement à diverses échelles (voir encadré).



Calcul d'agrégats.

■ Approches externes

Chaînage Code Saturne (EDF, 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 Saturne/Aster.

Chaînage Code Aster-Europlexus (code de dynamique rapide du consortium EDF-CEA-CCR/Ispra-Samtech).

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 à la suite de l'analyse modale avec Code Aster.

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 (constants par éléments, aux points de Gauss ou aux nœuds), des champs définis partout ou non, et à composantes de grandeurs hétérogènes (par exemple un modèle 3D jumelé avec des coques et des poutres). 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 MAILLAGE, LIRE CHAMP et IMPR RESU.

Micro-macro

DEFInir 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 hétérogènes, de définir une règle de localisation pour l'ensemble et, hop, le calcul peut être lancé !

Code Aster, logiciel souple et ouvert

L'architecture de Code Aster permet à l'utilisateur avancé de l'adapter facilement à ses besoins, en partie grâce à Python, pour écrire des applications métiers, introduire un élément fini, une loi de comportement ou définir un nouveau format d'échange.

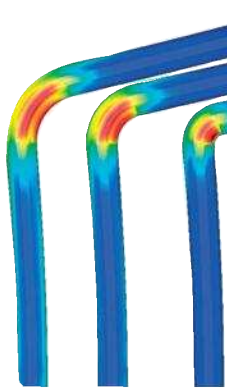
Le langage de commandes en PYTHON

L'utilisateur de Code Aster définit les paramètres et le cheminement de son étude dans un fichier de commandes. La grammaire et le vocabulaire de ce langage de commande, propre à Code Aster mais écrit en langage PYTHON, sont décrits dans des catalogues. Cette structuration de l'information permet d'enrichir à moindre frais le langage de nouvelles commandes ou de capitaliser des séquences de calculs répétitives dans des macro-commandes.

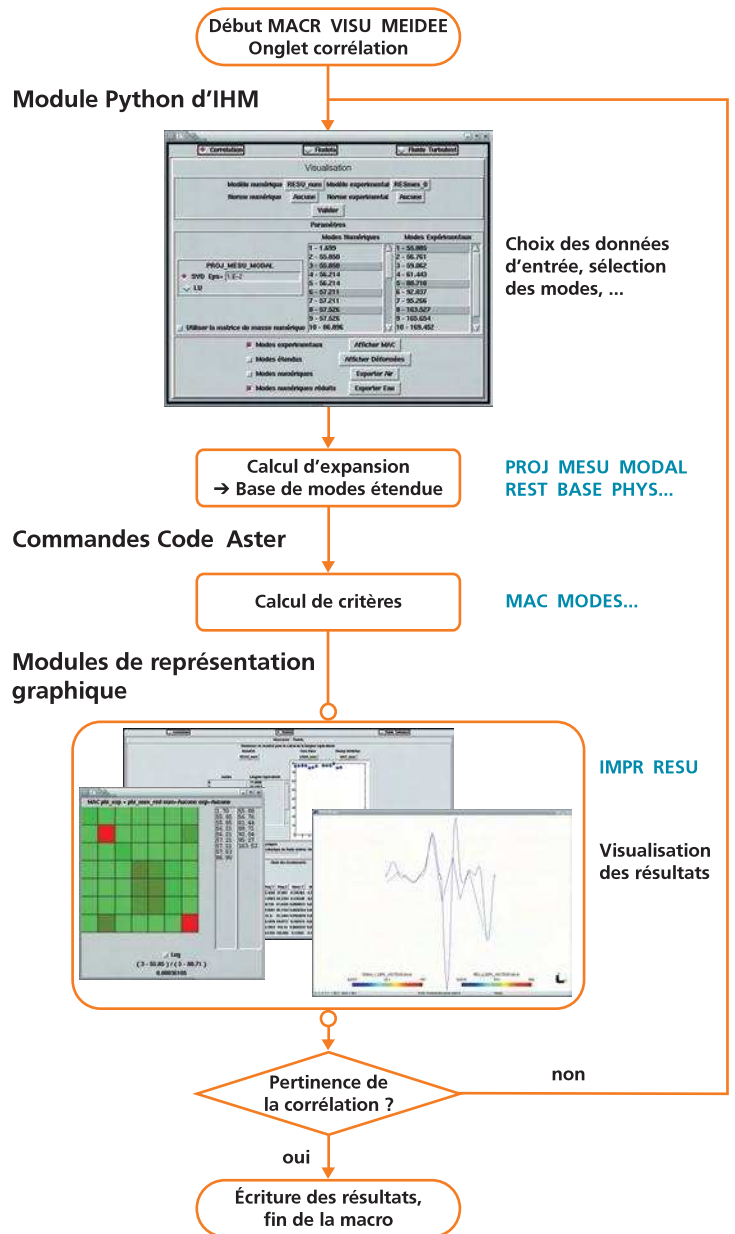
Dans une utilisation plus avancée, on pourra introduire de la programmation dans son jeu de données : de la plus simple (structure de contrôle, boucle, tests), à la plus complexe exploitant toute la richesse de PYTHON (méthodes, classes, importation de module graphique, de calculs mathématiques...).

Un premier exemple simple : l'optimisation du rayon de cintrage d'un tube. Tout résultat de calcul peut être récupéré dans l'espace PYTHON. Ici, il s'agit d'un indicateur de contrainte maximum dans le coude afin de répéter les tâches de maillage, calcul, post-traitement et ainsi optimiser le rayon de courbure du tuyau.

Deuxième exemple : la macro-commande MEIDEE qui permet, au travers d'une interface graphique, de lancer des calculs d'identification d'efforts sur des structures filaires. L'utilisation de module graphique offre une interface intuitive pour procéder à cette identification. L'encapsulation dans une macro-commande en fait un outil métier qui fiabilise et pérennise la méthodologie.



Optimisation d'un coude.



Exemple d'utilisation de Python dans une macro-commande : présentation schématique de MACR VISU MEIDEE.

Éléments finis et lois de comportement

Si votre problème ne s'accommode pas de la centaine de lois de comportements présentes, la programmation ou la modification d'une loi de comportement est aisée. Après avoir enrichi en conséquence le catalogue définissant les paramètres matériau, il reste à écrire la routine réalisant l'intégration du comportement

et fournissant le tenseur des contraintes, les variables internes réactualisées, matrice tangente... Si vous ne trouvez pas l'élément adéquat parmi les 480 existants, vous pouvez créer votre élément. La documentation balise les étapes à réaliser pour ce développement qui ne nécessite pas de maîtriser tout le code.

Code Aster, son site web, sa version libre

Le site www.code-aster.org, base multimédia du code, répond à la double exigence d'être au service des utilisateurs et développeurs, et en soutien à sa diffusion en logiciel libre. Visite guidée des sections et rubriques du site et arrêt sur les motivations techniques et politiques de la mise en libre de Code Aster.

■ Présentation

Les rubriques *Code Aster*, Fonctionnalités, et Domaines de modélisation reprennent et développent les chapitres de cette plaquette *Code Aster V8*. On trouve aussi les transparents présentés lors des Journées Annuelles Utilisateur et *Code Aster Libre*. La rubrique Applications est consacrée à des études industrielles Aster. La distinction entre les versions Libre, de Développement et d'Exploitation est expliquée dans la rubrique Versions. La rubrique Qualité précise les critères d'acceptation des évolutions et des corrections. Enfin la rubrique Outils liste les logiciels utilisant ou utilisés par *Code Aster*.

■ Documentation

La rubrique Documentation offre la totalité de la documentation technique. Le dossier d'Administration (procédures qualité), les données Matériau et les autres documentations relatives à la version qualifiée EDF sont, dans cette rubrique, en accès restreint.

Un wiki est à la disposition de la communauté libre pour rédiger des documents de prise en main, exemples, tutoriaux qui compléteront le corpus officiel.

réseau. Au delà de l'aspect technique, la dimension politique apportée par EDF R&D et *Code Aster Libre* sous licence GPL (GNU General Public License) fruit de la compétence et des exigences qualité de l'ingénierie nucléaire se place résolument dans le transfert innovation-industrie. Cette démarche entend stimuler les contributions Aster d'équipes issues du public et du privé (voir AE n°43) en leur offrant en retour une plate-forme d'accueil pérenne réutilisable pour leurs propres travaux. *Code Aster Libre* est téléchargeable semestriellement et bénéficie, à chaque fois, de la méthodologie Aster de non-régression précision/performance de l'existant.

■ Téléchargement

Cette rubrique donne accès aux téléchargements de *Code Aster*. Le code source du code est fourni accompagné de l'ensemble des outils et pré-requis nécessaires dans un seul paquet *aster-full*. L'installation en est grandement facilitée et se résume en général à une ligne de commande.

Les mises à jour hebdomadaires de la version de Développement sont également disponibles en ligne.

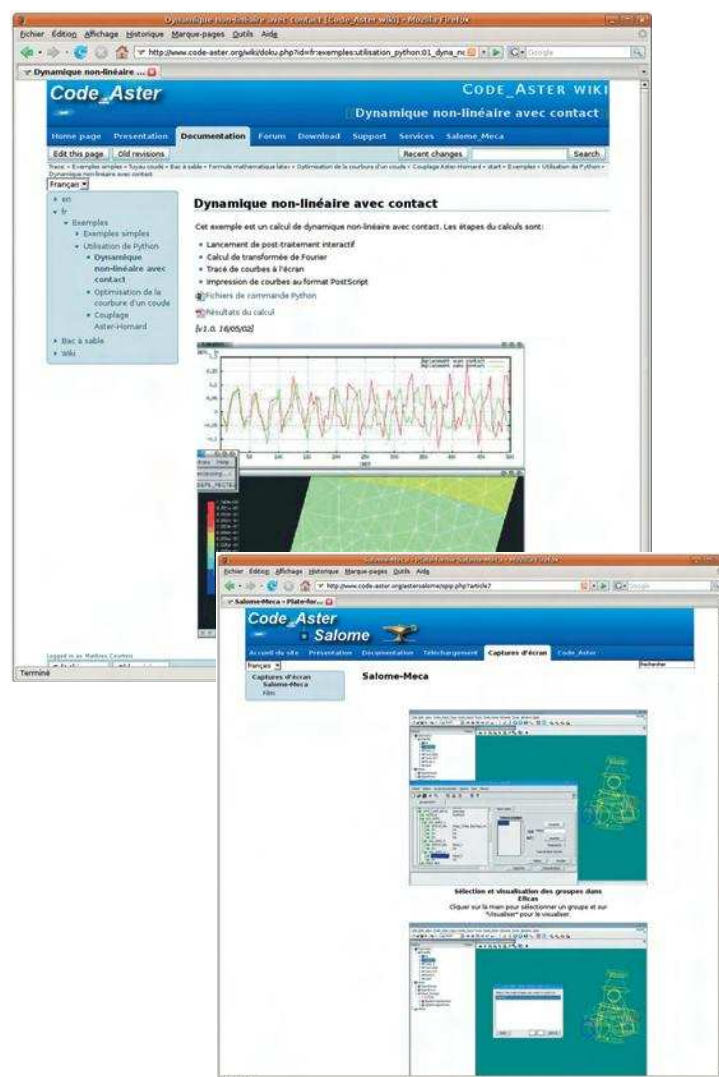
■ Support

Les supports de cours et travaux pratiques des formations sont accessibles à l'utilisateur. On y notera les règles à respecter pour

développer dans la version centralisée et valider son développement, les historiques des mises à jour successives de la version de développement, leurs procès verbaux (accès restreint), ainsi qu'un organigramme des acteurs contribuant au projet. La page Version NEW fournit toutes les informations pour maintenir ses propres surcharges avec les patches hebdomadaires de la version.

■ Services

Rubrique en accès restreint destinée aux utilisateurs EDF donnant toutes les informations pour accéder au code, à l'assistance téléphonique, aux formations, au club des utilisateurs...



Un nouveau look

En 2007, le site fait peau neuve et s'appuie sur des technologies éprouvées pour y ajouter de nouvelles fonctionnalités : wiki, flux RSS, forum remanié...

Code Aster en logiciel libre ! Pourquoi ?

La réponse est bien évidemment la reconnaissance et l'enrichissement par l'usage. Les défauts, plus rapidement et complètement identifiés, les savoir-faire diversifiés et la créativité des contributions métiers précipiteront et garantiront in fine une meilleure validation/qualification des modèles par les utilisateurs du

Produits et services

Depuis 1989, Code Aster est reconnu, au sein d'EDF, comme l'outil de simulation numérique délivrant à temps les innovations indispensables à l'expertise des problèmes. Code Aster confirme sa double mission : un outil de calcul qualifié et opérationnel qui accueille des développements issus de la recherche.

Qualité par la transparence et la validation

Les critères qualité Aster gouvernant le développement et la diffusion du code s'appuient sur un référentiel qualité audité régulièrement satisfaisant aux exigences de l'Autorité de Sûreté des ouvrages nucléaires EDF. Ces critères constituent le Plan Qualité Logiciel Aster et sont définis dans le manuel d'Administration du code. Les fondements théoriques des modèles Aster sont documentés dans les manuels de Référence. La validation indépendante des versions d'exploitation du code, effectuée par des sociétés externes de calculs, porte sur la conformité du logiciel vis-à-vis de sa documentation, la couverture effective des domaines d'analyse affichés, la non-régression précision-performance. La fiche Qualité qui accompagne chaque version d'exploitation est actualisée par sous version (erreurs corrigées, documentations applicables).

Une équipe centrale d'une vingtaine d'ingénieurs...

... d'EDF-R&D se consacre à la cohérence et à la qualité de la plate-forme Aster (2000 tests de validation ou non-régression) : architecture, outils, versionnement, mise en exploitation, gestion du REX, validation, documentation, communication, formation... Elle s'entoure aussi d'acteurs des projets applicatifs EDF, de la recherche industrielle et universitaire, de fournisseurs d'études et de services. Ainsi, plus de 70 ingénieurs ont participé à son développement.

Produits

L'architecture Aster, 1 200 000 lignes de Fortran (dont 440 000 nouvelles ou modifiées en v8), épaulé par du C et du Python, repose sur un gestionnaire de la mémoire/image disque, un superviseur des commandes et un moteur de calculs EF (algorithmes

indépendants de la formulation des éléments finis). Son ouverture s'appuie sur une large utilisation de catalogues décrivant les commandes et les éléments finis.

Code Aster est accessible sous trois formes...

... exploitation, développement, libre, toutes issues d'un code source unique. Ce source, ses outils et pré-requis sont maintenus et validés sous Linux, mais la communauté Aster Libre a proposé un portage sous Windows. La version d'Exploitation répond aux exigences qualité dites IPS (Important Pour la Sûreté). Elle fait pendant 2 ans l'objet de maintenances correctives et de compléments de validation et de documentation. C'est la version des utilisateurs EDF et de leurs fournisseurs agréés. Elle reste disponible pendant 2 années supplémentaires au titre de la reprise d'études.

La version de Développement s'enrichit hebdomadairement de corrections, d'améliorations et d'innovations (50 mises à jour annuelles). Elle devient la version d'Exploitation au terme d'un cycle de développement de 2 ans et après qualification.

Les exécutable Linux Aster d'exploitation et de développement

Le retour d'expérience...

... est un outil précieux dans le processus de développement, il collecte les demandes des utilisateurs, répertorie les anomalies constatées et suit leur évolution au cours du temps. Il s'appuie sur des technologies intranet pour gérer une base de plus de 10 000 fiches.

Toujours plus...

... de ressources calculs pour les utilisateurs de Code Aster : une machine centralisée Bull Novascale (120 processeurs à 1,6 GHz, 960

sont accessibles pour EDF et ses partenaires sur le serveur centralisé. La version semestrielle Code Aster Libre est éditée sous licence GPL sur www.code-aster.org. Elle provient du conditionnement de la version de Développement du moment. Des patches hebdomadaires permettent d'en suivre les mises à jour.

Documentation

Utilisation (généralités, syntaxe des commandes, exemples), Descriptif informatique (architecture, gestion mémoire, superviseur, structures de données), Référence (formulations et algorithmes) et Validation (cas test de mécaniques élémentaires ou de non régression). En v8 : 14 000 pages (50% du corpus renouvelé) sont diffusées sur www.code-aster.org.

Formation et aide à la modélisation

La valeur d'un logiciel de simulation repose aussi sur la compétence et l'esprit critique de ses utilisateurs, qualités qui s'acquissent par une formation initiale et continue significative. Les stages Aster en proposent pour tous les goûts : « Initiation » au code ou à son « Développement », maîtrise des « Post-traitements » ou des outils de « Qualité des études », analyses « Dynamique » ou « Statique non linéaire ».

Go de mémoire, un cluster de développement de 10 processeurs Opteron 64 bits et un accès aux machines massivement parallèles du Centre de Calcul Recherche et Technologie (CCRT) du CEA.

Le service Aide à l'utilisation...

... apporte l'expertise nécessaire aux études complexes ou novatrices. Demande par l'outil de retour d'expérience.

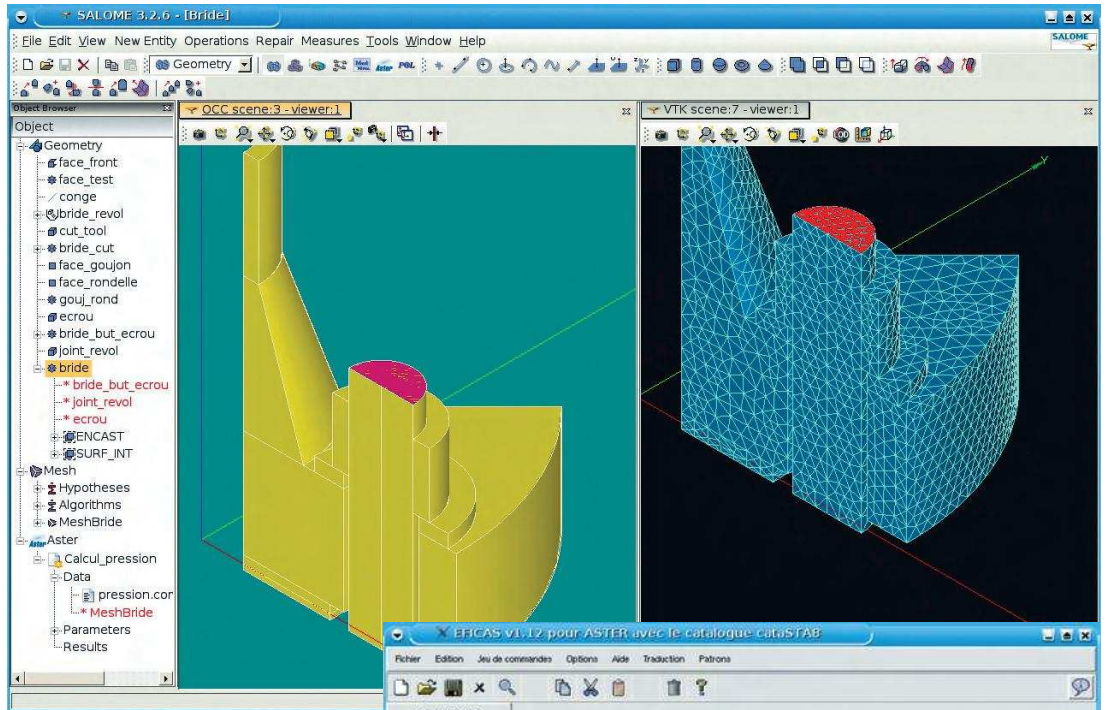


Code Aster, un logiciel co

« Calcul de haut niveau ne rime plus avec casse-tête à l'utilisation. »

Aujourd'hui l'intégration du Code-Aster dans la plateforme Salome-Meca facilite grandement l'utilisation.

Par de simples clics, Salome-Meca définit, effectue et post-traite votre calcul.

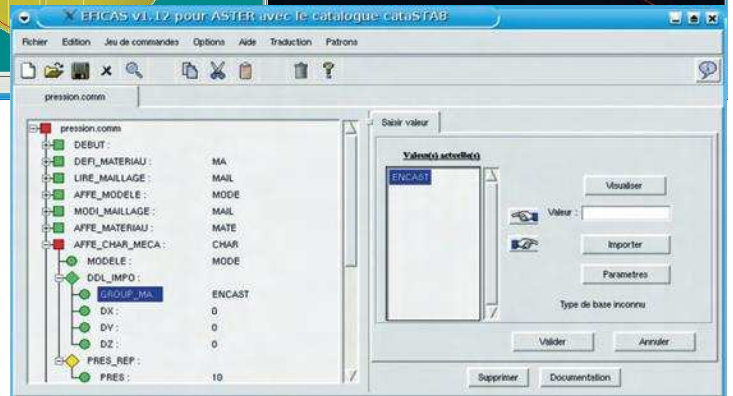


SALOME-MECA : environnement unique pour les phases des études Code Aster.

SALOME-MECA

La plate-forme Salome-Meca propose un environnement unique pour les différentes phases d'une étude :

- création de la géométrie CAO
- maillage libre ou réglé
- mise en données physique (EFICAS)
- lancement du cas de calcul Code Aster (ASTK)
- post-traitement des résultats (STANLEY)



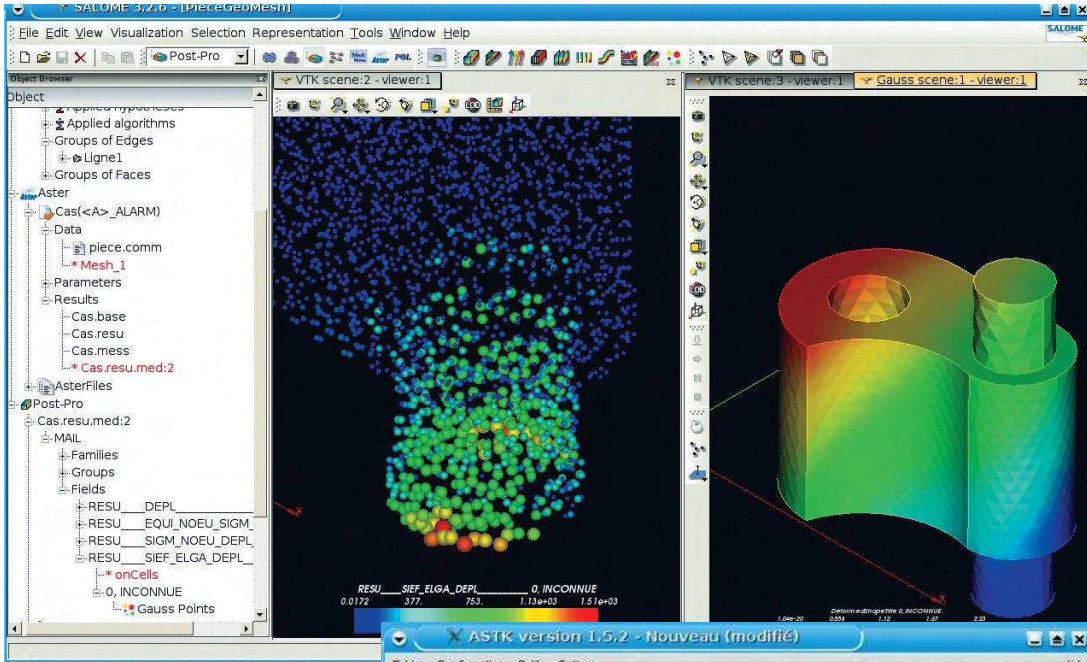
EFICAS : éditeur graphique intelligent de commande Aster.

EFICAS

L'Éditeur de Fichiers de Commande et Analyseur Syntaxique, EFICAS, est un logiciel doté d'une IHM conviviale qui, en fonction des choix de l'utilisateur, génère directement un fichier garanti syntaxiquement valide. En interprétant les catalogues de commande, il gère automatiquement, syntaxe et mots clés, règles diverses et type de concepts attendus.

Ce logiciel intégré à la plate-forme permet de faciliter la manipulation des groupes de mailles, supports des conditions aux limites et des chargements en les sélectionnant directement sur la géométrie. Pour une étude courante, un assistant permet de générer automatiquement un fichier de commande en suivant les quelques choix utilisateurs.

nvivial



SALOME-MECA :
visualisation des résultats.

ASTK

La mise à disposition d'un code de calcul multi-plateforme, multi-version, utilisé et co-développé par différentes équipes passe nécessairement par un gestionnaire d'études et de développements. C'est la raison d'être d'ASTK : sélection de la version du code, définition des fichiers composant une étude, création d'une version surchargée et accès aux outils de gestion de configuration pour les développeurs.

Cette interface utilise des protocoles réseaux pour transférer les fichiers entre les clients et le serveur ou pour lancer des commandes distantes, y compris à travers Internet. L'utilisateur peut facilement répartir ses fichiers de données et de résultats sur différentes machines, l'interface assurant le transfert des fichiers, éventuellement compressés, à travers le réseau.



ASTK : Plaque tournante pour l'utilisation et le développement dans Code Aster.



STANLEY : explorateur des résultats issus de Code Aster.

STANLEY

Stanley est un outil de post-traitement interactif qui permet d'accéder à la liste des champs disponibles dans les structures de données résultats (déplacements, contraintes, ...), d'en calculer de

nouveaux, d'en extraire des sous-parties, de les visualiser sous forme d'iso-valeurs ou de courbes (Salome-meca, gms, Xmgrace).

Il s'adapte à toutes les configurations : poste de travail Unix, Linux ou Windows, calcul en local ou sur serveur distant.