s



Club Cast3M 2026

27 novembre 2026 – La Coupole – Paris

Recueil des résumés

https://www-cast3m.cea.fr/

Procédure post rupture brutale – Application de la méthode AC 2-a pour l'analyse de nocivité des défauts

Noémie Umba
DES/SEMT/Laboratoire d'Intégrité des Structures et de Normalisation, CEA Paris-Saclay

Cette présentation décrit la Procédure PostRuptureBrutaleRCCM qui automatise l'application de la méthode AC-II a pour l'analyse de la nocivité des défauts décrite dans l'annexe ZG de la norme RCC-M. La réglementation française impose de dimensionner les équipements en fonction entre autres de la rupture brutale et cette méthode est une manière de le faire pour les composants d'un réacteur à eau pressurisée (REP) par exemple.

La procédure présentée est une procédure de post traitement qui permet au concepteur de savoir si oui ou non le critère de rupture est vérifié ou non.

Après une brève introduction sur la rupture brutale, nous déroulerons les différentes étapes principales de la procédure sur un cas test. Ensuite, nous détaillerons les arguments qu'un utilisateur de cette procédure doit fournir et enfin nous montrons brièvement les différentes géométries traitées par la procédure.

Besoins de l'ingénierie nucléaire et réponse apportées par Cast3M en mécanique de la rupture

Stéphane Chapuliot
EDF

La présentation est focalisée sur les besoins de l'ingénierie nucléaire en termes de modélisation en mécanique de la rupture. Ces besoins sont à la fois pour les nouvelles constructions (EPR, EPR2) et pour l'extension de la durée d'exploitation des réacteurs existants. Dans les deux cas, l'objectif est d'avoir la capacité de démontrer la tolérance aux défauts des composants importants pour la sûreté.

Après l'expression de ces besoins, la présentation explique et illustre où et comment Cast3M contribue à la problématique : outil imbattable d'expertise et de mise au point, Cast3M apporte des solutions rapides et robustes aux experts du domaine où la modélisation est omniprésente, en dimensionnement / évaluation des structures, tout comme pour l'interprétation fine des essais.

Avec le vieillissement du parc, de nouvelles problématiques émergent, couplées pour la plupart. Il conviendra donc de maintenir cette capacité de réactivité ouverte pour l'avenir.

Concept et prototype d'une structure élastique compressible innovante : Application à l'étanchéité

Chloé Fouque[1], Serge Pascal[1], Ayoub Ladaci[1], Riccardo Finotello[2] , Julien Nespoulous[2], , Cédric Gourdin[3] , Michel Schlegel[4]
(1) Université Paris-Saclay, CEA, Service de Recherche en Matériaux et procédés Avancés, 91191 Gif-sur-Yvette, France
(2) Université Paris-Saclay, CEA Saclay, Service de Génie Logiciel pour la Simulation
(3) Université Paris-Saclay, CEA Saclay, Service d'Etudes Mécaniques et Thermiques
(4) Université Paris-Saclay, CEA Saclay, Département de Recherche sur les matériaux et la physico-chimie pour les énergies bas carbone

L'optimisation topologique et l'intelligence artificielle occupent une place croissante dans la conception de structures aux propriétés mécaniques optimisées. Associées aux avancées des procédés de fabrication innovants, notamment la fabrication additive, elles ouvrent de nouvelles perspectives pour le développement de structures fonctionnelles aux comportements mécaniques spécifiques. Toutefois, lorsque la réponse mécanique recherchée devient complexe, les approches actuelles atteignent rapidement leurs limites. L'objectif de l'étude a été de coupler un algorithme d'optimisation avancé adapté à des simulations mécaniques non linéaires afin de concevoir des structures élastoplastiques présentant des courbes de réponse mécanique ciblées. Plus particulièrement, la courbe de réponse issue de la compression et de la décharge de l'objet doit atteindre un effort suffisamment élevé, tout en possédant une énergie élastique restituée la plus importante possible. Afin d'obtenir une courbe caractéristique présentant un chemin sur-mesure, une possibilité est d'explorer diverses géométries de l'objet, en écho au principe des métamatériaux mécaniques [1]. La démarche proposée pour obtenir un objet possédant une courbe caractéristique optimisée s'est organisée autour du développement d'un algorithme d'optimisation, permettant d'explorer de nouvelles géométries à travers l'espace de conception. Basé sur des techniques d'intelligence artificielle, cet algorithme est capable de faire évoluer la courbe caractéristique issue de simulations éléments finies réalisées avec Cast3M, en changeant la géométrie de l'objet, par l'ajout et le retrait de certaines parties de la structure. Cette démarche s'appuie sur une validation expérimentale comprenant la fabrication additive de structures à lames minces, leur caractérisation et la réalisation d'essais mécaniques. Tout d'abord, un modèle de simulation numérique simplifié de métamatériaux, présentant des instabilités de basculement [2], avec la méthode des éléments finis, a été implémenté dans Cast3M. Le modèle a ensuite été validé expérimentalement sur des structures fabriquées en Inconel 718. Pour cette étape, le procédé de fabrication additive de Fusion Laser sur Lit de Poudre (LPBF) [3] réunissait des capacités intéressantes pour prototyper des structures à géométries complexes. Des essais de traction réalisés avec le dispositif IMEC, selon différentes orientations d'impression, ont mis en évidence une anisotropie du composé fabriqué, avec des propriétés mécaniques (module de Young, Rm, Rp02) présentant des valeurs plus élevées dans le plan perpendiculaire à la direction de fabrication. Suite à ces essais, le modèle éléments finis intégrant une loi d'écrouissage en grandes déformations plastiques a été validé expérimentalement par des essais de compression couplés à des mesures de déplacements par corrélation d'images. Une validation à deux niveaux d'échelle, spécifique aux matériaux architecturés, a pu être effectuée. Ensuite, une base de données d'apprentissage a été construite avec des structures simulées par éléments finis, et un algorithme adapté pour l'optimisation a été mis en place, en utilisant une méthode d'optimisation Bayésienne locale au sein de régions de confiance évoluant dynamiquement [4], [5].

Références :

[1] **A.A. Zadpoor**, Mechanical meta-materials, Mater. Horiz. 3 (2016) 371–381. https://doi.org/10.1039/C6MH00065G.

[2] **K. Che**, C. Yuan, J. Wu, H. Jerry Qi, J. Meaud, Three-Dimensional-Printed Multistable Mechanical Metamaterials With a Deterministic Deformation Sequence, Journal of Applied Mechanics 84 (2016). https://doi.org/10.1115/1.4034706.

[3] **P. Peyre**, E. Charkaluk, La fabrication additive des alliages métalliques Tome 1 - Procédés, matière première et simulation numérique, ISTE Edition, 2022.

[4] **D. Eriksson**, M. Pearce, J. Gardner, R.D. Turner, M. Poloczek, Scalable Global Optimization via Local Bayesian Optimization, Advances in Neural Information Processing Systems (2019). https://proceedings.neurips.cc/paper/2019/hash/6c990b7aca7bc7058f5e98ea909e924b-Abstract.html (accessed July 2, 2025).

[5] **D. Eriksson**, M. Poloczek, Scalable Constrained Bayesian Optimization, in: Proceedings of The 24th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics, PMLR, 2021: pp. 730–738. https://proceedings.mlr.press/v130/eriksson21a.html (accessed June 25, 2026).

Fissuration en mode mixte dans les matériaux orthotropes viscoélastiques en sollicitations hydro-mécaniques

Loic Chrislin Nguedjio[1][2], Rostand Moutou Pitti[1][3], Benoît Blaysat[1][4], Frédéric Dubois[5], Naman Recho[1]

(1) Université Clermont Auvergne, Clermont Auvergne INP, CNRS, Institut Pascal, Clermont-Ferrand, F-63000, France
(2) Faculté des Sciences, Université de Dschang, BP 067, Dschang, Cameroun
(3) CENAREST, IRT, Libreville, BP14070, Gabon
(4) Institut Universitaire de France, Paris, France
(5) Université de Limoges, GC2D, UR 14477, 19300, Egletons, France

Le comportement à la rupture des matériaux biosourcés dépend de leur orthotropie, de leur réponse viscoélastique et de leur sensibilité aux variations de teneur en humidité et de température. L'analyse numérique de ces phénomènes nécessite des outils capables de représenter les champs mécaniques dans des géométries fissurées et d'exploiter les résultats pour caractériser les mécanismes de rupture. Le logiciel Cast3M permet grâce à l'opérateur Gθ de calculer le taux de restitution d'énergie d'un matériau fissuré, mais ne permet pas dans le cadre d'un matériau orthotrope qui se fissure en mode mixte, de séparer la contribution de chaque mode élémentaire. Nous proposons dans nos travaux des formalismes (Mθ et Aθ) comme celui de l'opérateur Gθ permettant de séparer les contributions énergétiques élémentaires de chacun des modes participant à la fissuration d'un matériau orthotrope. Une attention particulière est portée à la prise en compte du comportement viscoélastique et des sollicitations hygro-mécaniques. L'objectif est d'intégrer progressivement les effets du temps et des variations de teneur en humidité dans l'analyse des champs locaux et des paramètres de rupture. Cast3M fournit ainsi l'environnement de simulation par éléments finis, tandis que les développements numériques et les outils de post-traitement permettent d'adapter l'exploitation des résultats aux spécificités de la fissuration dans les matériaux orthotropes. Ces travaux illustrent ainsi l'utilisation de Cast3M non seulement comme outil de simulation, mais également comme support au développement de méthodologies numériques avancées en mécanique de la rupture, avec des perspectives pour l'étude de la durabilité et de la fiabilité des matériaux orthotropes.

Propriétés matériaux, lois de comportement et modèle points MFront : Utilisation dans Cast3M et capitalisation des données matériau

Thomas Helfer
CEA Cadarache, DES/IRESNE/DEC/SESC/LMCP

Résumé à venir.

Couplage éléctromagnétique-thermique lors d'une transition rapide dans une bobine supraconductrice

Yann Perron
CEA Saclay , DRF/IRFU/DACM/LEAS

Dans le cas d'un électro-aimant construit à partir de bobines, la puissance du champ magnétique est proportionnelle à l'intensité du courant qui le traverse. Afin d'atteindre ces champs magnétiques dans des électro-aimants de dimensions raisonnables, il faut faire circuler des courants électriques avec une grande intensité dans les bobines. Pour cela, il est nécessaire d'utiliser des câbles composés de matériaux supraconducteurs. Un matériau est considéré supraconducteur lorsqu'il conduit un courant sans résistance électrique et donc sans perte d'énergie. Cet état de supraconductivité se manifeste à des températures proches du zéro absolu. On appelle température critique T_C , la température à laquelle un supraconducteur transite vers un état résistif. Lorsqu'une partie de la bobine a transité, elle devient une source de chaleur à cause de la puissance dissipée par effet Joule. Elle va alors venir chauffer les zones voisines de la bobine qui une fois transitée vont devenir des sources de chaleur à leur tour. On appelle ce phénomène de transition brutale et irréversible de la bobine le «Quench». La modélisation repose sur un couplage électromagnétique-thermique, car à basse température, la résistivité électrique ρ varie fortement avec la température et dépend également du champ magnétique. Cast3M constitue un outil très adapté pour ce type de modélisation car il permet de manipuler les paramètres de calculs entre chaque pas de résolution. La procédure «CHARTHER» nous permet de mettre à jour le chargement thermique en incluant les zones de la bobine ayant dépassé la température TC au pas de calcul précédent. Lorsqu'un quench est détecté, on coupe l'alimentation afin de décharger le courant de la bobine. Cette décharge permet de limiter l'élévation de température et d'éviter que la bobine atteigne une température susceptible de l'endommager. L'option «PROCEDURE_PERSO2» de la procédure «PASAPAS» permet de recalculer la densité de courant à chaque pas de temps, en prenant en compte la décharge à travers une résistance externe et la résistance développée par la bobine. Cette dernière augmente à mesure que la zone transitée se propage et que sa température augmente.

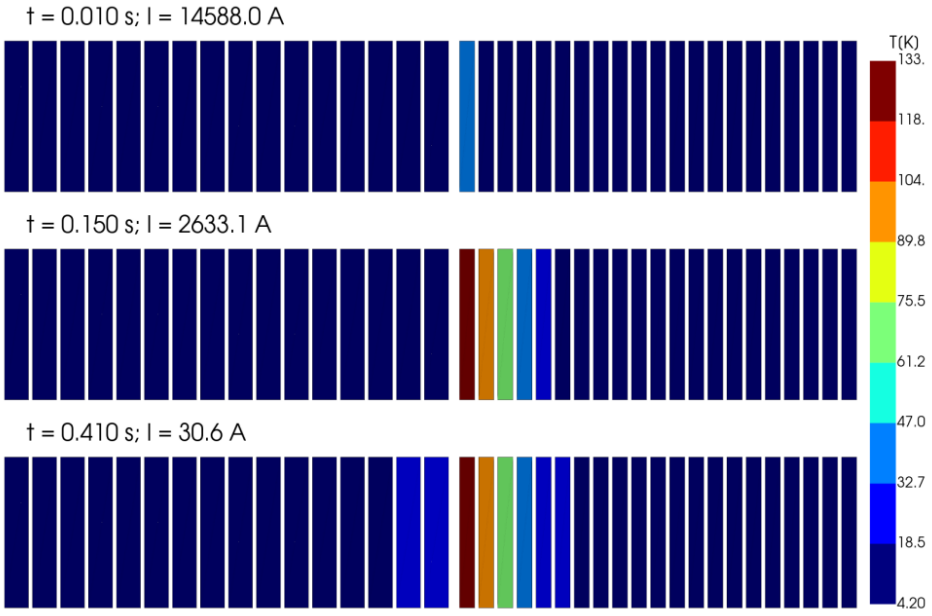


FIGURE 1 – Cartes de température durant la propagation du quench dans une section de bobine supraconductrice

Accélération d'un solveur partitionné quasi-Newton à réordonnancement dynamique pour la simulation de phénomènes thermo-hydro-corrosifs dans le stockage souterrain de déchet radioactifs

Daniel Zegarra Vasquez[1] [2], **Christopher Nahed**[1] [2], **Jacques de Lamare**[1] [3]
(1) Université Paris-Saclay, CEA, 91190 Gif-sur-Yvette, France.
(2) Service d'Études Mécaniques et Thermiques.
(3) Service de recherche en Corrosion et Comportement des Matériaux.

Andra, the French national agency for radioactive waste management, is currently developing Cigéo, an underground disposal facility for high-level and intermediate-level long-lived radioactive waste. In the high-level waste concept considered in this work, waste packages are emplaced in steel-lined disposal tunnels. Long-term corrosion prediction requires coupled heat transfer, water-vapor transport, oxygen transport, and interfacial rust growth. In particular, threshold-type evaporation/condensation phenomena at the air-steel interface make the coupled problem highly nonlinear [1].

The *chicken-egg* algorithm [2], presented in Club CAST3M 2024, is a partitioned quasi-Newton strategy that uses dimensionless coupling-strength indicators to dynamically reorder physics modules and activate synchronization only when required, while preserving accuracy close to that of a monolithic reference. Implemented entirely in Gibiane, this application-specific solver relies on NLIN for finite-element assembly and uses a custom time-stepping and nonlinear solution framework, independently of the standard PASAPAS and UNPAS procedures. Although the original algorithm already avoids many redundant coupling iterations, the linear solves in the thermal module remain a major computational bottleneck.

We investigate two complementary enhancements. The first consists of filtered, Anderson-like extrapolation [3] of thermal residuals using ACT3, applied outside synchronization stages. The second is a Shamanskii-like strategy [4] for adaptive reuse of tangent matrices and their sparse direct factorizations. The latter introduces a residual-based strategy to decide when the tangent matrix should be updated or reused, thereby exploiting the factorization reuse mechanism of RESO without modifying the Cast3M kernel. Shared-memory RESO solves also replace sequential KRES solves in [2].

On a two-dimensional axisymmetric benchmark, the accelerated implementation reduces wall-clock time from 74.60 h, the monolithic reference, and 42.48 h, the original *chicken-egg* algorithm, to 15.31 h, corresponding to speed-ups of 4.87 and 2.77, respectively. Monitored axial temperature profiles remain close to the monolithic reference, with relative errors below 1% outside the initial thermal transient.

Références :

[1] **J. de Lamare**. *CORRAT - Modélisation de la corrosion atmosphérique, condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air ambiant, modèle de corrosion atmosphérique en micro-tunnel haute activité*. Notes techniques CEA-Saclay, DPC, SCCME, 2014-2019.

[2] **C. Nahed, J. de Lamare**. *Dynamic characterization of cross-physics coupling strengths, a methodology to coupling and reordering partitioned solvers for multiphysics applications*. Computers and Structures, 307, 107615, 2025. doi: 10.1016/j.compstruc.2024.107615

[3] **D. G. Anderson**. *Iterative procedures for nonlinear integral equations*. J. ACM, 12(4), 547-560, 1965. doi: 10.1145/321296.321305

[4] **V. E. Shamanskii**. *A modification of Newton's method*. Ukrainian Mathematical Journal, 19(1), 118-122, 1967. doi: 10.1007/BF01085183

Finite element modelling of inflatable beams up to the ultimate stability phase

Pierre Verpeaux
CEA Saclay, DES/ISAS/DM2S/SEMT

Usuellement, les conditions aux limites de type Dirichlet visent à imposer des valeurs à des inconnues primales du problème.

En mécanique des structures, ces conditions se formulent naturellement sous forme de relations linéaires portant sur les inconnues primales du problème, et de forces de liaison permettant de les vérifier. Ces forces sont alors orthogonales à la condition.

Une première généralisation est utile pour représenter par exemple un problème de contact : c'est d'utiliser des relations d'inégalité et non d'égalité.

Une deuxième généralisation pour pouvoir traiter les problèmes de contrôle est de dissocier les forces de liaison de la condition. C'est alors un opérateur non symétrique qui décrit la condition.

Une troisième généralisation pour pouvoir imposer une condition globale sans perturber le problème est de l'imposer sous forme faible, c'est-à-dire d'imposer l'intégrale de la densité d'inconnue primale sur un sous domaine.

Cette forme faible peut aussi être utilisé pour dualiser une condition de Neumann en condition de Dirichlet, qui peut alors s'interpréter comme une longueur d'arc.

