

Séminaire LaMCoS 2006

Jeudi 12 janvier 2006
8h30 – 18h



Château de Saint-Priest
2, rue de l'égalité 69800 St Priest
T. 04 72 28 79 55



8h30-9h	Accueil Café		
9h – 10h30 Présentations	9h – 9h30	B. Maurel	Modélisation de l'impact d'un fluide sur une structure par la méthode SPH.
	9h30 – 10h	T. Robert	Analyse du rattrapage d'équilibre debout suite à une perturbation de la surface d'appui. Application au passager de transport en commun.
	10h – 10h30	W. El Hamar	Simulation Numérique du Soudage sur géométries simples en acier 316L. Effet de la viscosité sur les contraintes résiduelles et les distorsions.
10h30 – 11h	Pause Café		
11h- 12h30 Présentations	11h – 11h30	M. Organisciak	Etude du gravage des chemises des moteurs.
	11h30 – 12h	B. Watremetz	Modélisation thermomécanique 3D d'un système multicouche à gradient de propriétés avec des techniques numériques avancées
	12h – 12h30	K. Yagi	Distributions inhabituelles d'épaisseur de film dans les contacts EHD glissants lubrifiés par des alcools gras.
12h30 – 14h15	Repas		
14h15 – 15h15 Présentations	14h15 – 14h45	T. Menouillard	Explicit time Stepping for eXtended Finite Element Method.
	14h45 – 15h15	M. Bettaieb	Modélisation du comportement mécanique d'engrenages Couplages entre engrènements et éléments de structure flexibles.
	15h15- 15h45	P. Chassagne	Conséquences mécaniques induites par les transferts de chaleur et de masse durant l'opération de séchage du bois.
15h45 – 16h15	Pause Café		
16h15-17h15	16h15-16h45	I. Demirci	Approche numérique du contact lubrifié
	16h45-17h15	M. Renouf	Dynamique Non Régulière des Milieux Granulaires aux Simulations Temps Réel.
17h15 – 17h45	Discussions et clôture de la journée : A. Combescure		

MODELISATION DE L'IMPACT D'UN FLUIDE SUR UNE STRUCTURE PAR LA METHODE SPH

BERTRAND MAUREL

Mécanique des Solides et des Endommagements (MSE)
Intégrité sous Sollicitations extrêmes (ISE)

Thèse Cifre EDF.

Dans le cadre d'un projet visant à modéliser l'impact d'un réservoir rempli de fluide sur une structure bétonnée le choix a été fait de tenter de modéliser l'ensemble des éléments (fluide , béton et parois du réservoir) à l'aide d'une méthode particulière ou méthode sans maillage, la méthode SPH qui consiste à modéliser un corps par un ensemble de billes. Cette méthode est couramment utilisée pour simuler le comportement de fluides. Dans le cas des solides elle présente l'intérêt de gérer de manière simple et assez efficace les décohésions et les détachements de matière ce qui explique le choix de cette méthode pour modéliser la structure en béton et les parois du réservoir soumis respectivement à de la fracturation et à des déchirements. Cependant la mise au point d'un code SPH solide , se révèle plus délicate qu'un code SPH fluide notamment à cause de gros problèmes d'instabilités. Ces derniers se manifestent sous différentes formes, notamment celles de multiples fractures purement numériques lorsque les déformations deviennent suffisamment importantes. Pour s'affranchir de ces problèmes la méthode la plus efficace consiste à passer à une formulation de type lagrangienne totale qui permet de se référer à la configuration initiale pour laquelle la répartition des billes est régulière et homogène. Cette technique présente également d'autres intérêts comme la réduction du temps de calcul. Ce gain provient en grande partie du fait qu'il n'est plus nécessaire de déterminer à chaque pas de temps l'ensemble des voisins d'une bille. Ceci empêche en contrepartie de traiter les problèmes de contacts entre deux corps SPH par les méthodes classiquement utilisées dans la littérature. On utilise donc pour ce faire une technique différente, indépendante de la formulation SPH, la méthode pinball. Celle-ci permet, à l'aide de multiplicateurs de Lagrange de gérer les interactions entre les billes se situant sur les surfaces des corps en contact en imposant une condition de non pénétrabilité. Cette stratégie n'est pour l'instant utilisée que dans le cadre des d'interactions fluide/structure mais peut se généraliser au cas des contacts/impacts de type solide/solide.

References :

- [1] BELYTSCHKO, GUO , LIU, XIAO. *A unified stability analysis of meshless particle methode*. Compt Methods Appl Mech Engrg 193 (2004) 1035-1063
- [2] MONAGHAN, GRAY, SWIFT *SPH elastic dynamics* Compt Methods Appl Mech Engrg 190 (2000) 6641-6662
- [3] JOHNSON, STRYK, BEISSEL. *SPH for high velocity impact computations* Compt Methods Appl Mech Engrg 139 (1996) 371-373

SIMULATION NUMERIQUE DU SOUDAGE SUR GEOMETRIES SIMPLES EN ACIER 316L EFFET DE LA VISCOSITE SUR LES CONTRAINTES RESIDUELLES ET LES DISTORSIONS

Walid El Ahmar

**Mécanique des Solides et des Endommagements (MSE)
Intégrité sous Sollicitations extrêmes (ISE)**

Programme de recherche INZAT 4 : (EADS, EDF, ESI, FRAMATOME, R. R-A),
INSA(LaMCoS, GMPPM, CETHIL), ENISE(LTDS).

Keywords

Welding viscosity, Multipass welding, 3D welding simulation, stainless steel.

ABSTRACT

The highly localized transient heat and strongly nonlinear temperature fields in both heating and cooling processes cause nonuniform thermal expansion and contraction, and thus result in plastic deformation in the weld and surrounding areas. Consequently, residual stress, strain and distortion are permanently produced in the welded structures. High tensile residual stresses are known to promote fracture and fatigue, while compressive residual stresses may induce undesired, and often unpredictable, global or local buckling during or after the welding. It is particularly evident with large and thick panels, as used in the construction of nuclear building. These adversely affect the fabrication, assembly, and service life of the structures. Therefore, prediction and control of residual stresses and distortion from the welding process are extremely important for the nuclear installation's security.

This study focuses on the three-thermo-mechanical behavior of 316L stainless steel, during a TIG welding process. In this paper we investigate the effect of viscosity property on experimental and numerical results. Therefore, a parallel experimental and numerical study is carried out on an industrial 24-25 mock-up benchmark, a test more representative of a real welding operation, considering repair welding, is implemented to validate three-dimensional numerical effect. The TIG process, with 316L material filler, is considered. Comparative analyses through numerical simulations using finite element code (version 7.4 code_Aster from EDF) are performed.

ETUDE DU GRAVAGE DES CHEMISES DES MOTEURS

Michel ORGANISCIAK

Systèmes Mécaniques et Contacts (SMC)
Contacts et Mécanismes (CM)

Les constructeurs automobiles sont, aujourd'hui, confrontés à deux principales contraintes lors la conception de leurs nouveaux moteurs. Tout d'abord, ce sont les normes environnementales fixées par l'Union Européenne. Ensuite, le marché et les consommateurs imposent une course continue à la puissance des moteurs. En effet, il faut sans cesse compenser l'augmentation du poids des véhicules due aux nouveaux équipements et aux renforts structurels nécessaires pour satisfaire les normes anti-collision de plus en plus sévères. Cette course à la puissance doit s'accompagner d'une baisse de la consommation de carburant et également de besoins d'entretien plus légers, comme par exemple des intervalles de vidange de plus en plus longs.

Ces contraintes se traduisent par une nécessité de baisser la consommation de carburant et d'huile du moteur. Pourtant, ces contraintes apparaissent comme contradictoires. Il est donc essentiel, pour les motoristes, de comprendre les mécanismes de génération du frottement et de la consommation d'huile. L'ensemble segment-piston-chemise est au centre de cette problématique. En effet, il génère plus de la moitié des pertes par frottements du moteur et régule en grande partie la consommation d'huile du moteur.

L'état de la surface de la chemise et sa topologie influencent ces paramètres. Jusqu'à présent, ils étaient imposés par le processus d'usinage et de rodage des chemises : le pierrage ou honing-grinding crée une surface avec un motif dominant formé de stries inclinées. Depuis quelques années, une nouvelle technique, le gravage laser, permet une plus grande liberté dans le choix de la microgéométrie des surfaces usinées. On peut considérer qu'un bon choix du motif de la microgéométrie permettrait de réaliser un meilleur compromis entre pertes par frottement et consommation d'huile.

Le but de ce travail est de modéliser un contact segment-chemise avec une microgéométrie de la surface parfaitement décrite. Les différences d'échelle entre géométrie d'un motif et taille du contact, la sous-alimentation ainsi que la nécessité d'observer les phénomènes transitoires imposent l'utilisation de techniques de calcul multigrilles pour garder un temps de résolution convenable. Le code développé permet de comprendre l'influence des microgéométries sur le champ de pression et l'écoulement de la couche de lubrifiant dans le contact. Ainsi des lois de comportement (en fonction des paramètres géométriques et de fonctionnement) peuvent être établies pour aider au choix du motif lors de la conception d'une nouvelle génération de moteurs.

MODELISATION THERMOMECHANIQUE EN 3D D'UN SYSTEME MULTICOUCHE A GRADIENT DE PROPRIETES AVEC DES TECHNIQUES NUMERIQUES AVANCEES.

Benoit Watremetz

**Tribologie et Mécanique des Interfaces (TMI)
Frottement, Usure et Lubrification Solide (FULS)**

Les revêtements permettent d'améliorer les performances et la durée de vie des pièces industrielles soumises à des jeux de sollicitations cycliques d'origine tribologique de plus en plus sévères, tout en conservant leurs caractéristiques de volume. Les solutions recherchées dépendent des pièces à revêtir et des conditions de fonctionnement. La procédure de choix de ces revêtements comporte des phases expérimentales et numériques. La simulation numérique permet d'analyser le comportement des revêtements et de préciser la gamme de configuration géométrique (épaisseur, séquence,...) et de propriétés mécaniques et thermiques optimales en réponse aux sollicitations appliquées.

Un groupe d'industriels (VALEO, L'OREAL, ESSILOR, HEF) s'est formé pour étudier l'influence d'un revêtement fin déposé à la surface des moules d'injection de pièces en polymères (optiques de phare, verres de lunettes, boîtiers de cosmétique, ...). Les objectifs sont de réduire les opérations d'entretien (temps et coût) des moules et d'améliorer la productivité (cadence de production).

Le laboratoire intervient dans ce projet pour :

1. caractériser les conditions de contact et de frottement entre le moule et le polymère,
2. étudier la tenue de revêtements dans les conditions spécifiques de la plasturgie.

Le travail présenté ici concerne la deuxième partie du projet.

Les modèles développés considèrent habituellement des couches parfaitement adhérentes entre elles, homogènes et isotropes avec des propriétés constantes. Cette dernière hypothèse introduit intrinsèquement des discontinuités à l'interface entre les couches, que ce soit au niveau de la répartition du champ de température ou des champs de contraintes. Ces discontinuités sont d'autant plus importantes que la différence de propriétés entre les couches successives est grande, à épaisseur de couche constante.

Les moyens de calcul actuels nous permettent d'envisager une résolution du problème thermomécanique discrétisé avec les différences finies sur toute l'épaisseur du massif, les propriétés mécaniques et thermiques étant des fonctions continues quelconques, à l'aide de méthodes rapides multigrilles. Ces méthodes permettent de réduire le temps de calcul et surtout d'augmenter le nombre de points de discrétisation et ainsi d'améliorer la précision. De plus, ces méthodes multi-échelles peuvent être couplées avec des techniques de raffinement local du maillage, pour localiser l'effort de calcul là où il est nécessaire. Un code de calcul 3D a été développé pour étudier les contraintes thermomécaniques dans un massif traité (nituration, traitement thermique, ...) ou revêtu (variation quelconque des propriétés dans l'épaisseur h) soumis à des chargements mécaniques et/ou thermiques.

DISTRIBUTIONS INHABITUELLES D'ÉPAISSEUR DE FILM DANS LES CONTACTS EHD GLISSANTS LUBRIFIÉS PAR DES ALCOOLS GRAS

Kazuyuki YAGI

**Tribologie et Mécanique des Interfaces (TMI)
Modèles de Lubrification et Lubrifiants (ML2)**

D'habitude dans l'étendue d'un contact en régime élastohydrodynamique (EHD), la forme du film lubrifiant est plate au centre du contact et elle a une forme en fer à cheval vers la zone de sortie où l'épaisseur minimum est trouvée. Cependant quelques distributions inhabituelles du film dans des contacts EHD ont été trouvées récemment [1-3] et ont été appelées "dimples". Concernant les formes inhabituelles du film au centre du contact, il a été conclu [1,2] que le mécanisme d'apparition du dimple est dû aux effets thermiques qui génèrent un "coin de viscosité" qui modifie l'écoulement de Couette dans la direction du glissement. D'autre part, la distribution inhabituelle observée dans la zone d'entrée [3] a été comparée à celle obtenue par un modèle basé sur le comportement Elasto-Plastique du fluide. Les résultats théoriques et expérimentaux ont été similaires.

Le travail présenté propose la découverte d'une autre distribution inhabituelle de film dans des contacts EHD lubrifiés par des alcools gras. Les expériences ont été faites à l'aide d'un appareil de type de bille/disque qui permet de changer les vitesses de la bille d'acier et du disque en verre indépendamment. Le dodécanol et l'alcool laurique ont été utilisés comme lubrifiants. La technique par interférométrie optique a été utilisée pour mesurer les distributions d'épaisseur de film lubrifiant dans les contacts EHD glissants.

La forme du film dans des conditions de roulement pur reste classique. Puis, lorsqu'un glissement entre les surfaces est ajouté, la forme du film au centre du contact est changée en fonction du taux de glissement. L'épaisseur du film au centre a augmenté, comparativement à celle obtenue en roulement pur. En plus, les formes du film entre la condition où la vitesse de la bille d'acier est plus rapide que la vitesse du disque en verre et celle où la vitesse du disque est plus rapide que la vitesse de la bille ont été différentes, malgré la même valeur absolue du taux de glissement. Le mécanisme qui permet de générer cette forme inhabituelle du film est discutée en utilisant un modèle simple pour calculer les températures des surfaces et du film.

- [1] Kaneta, M., Nishikawa, H., Kameishi, K., Sakai, T. and Ohno, N. Effects of Elastic Moduli of Contact Surfaces in Elastohydrodynamic Lubrication. Trans. ASME, J. Tribology, 1992, 114, 75-80.
- [2] Yagi, K., Kyogoku, K. and Nakahara, T. Relationship between Temperature Distribution in EHL Film and Dimple Formation. Trans. ASME, J. Tribology, 2005, 127, 658-665.
- [3] Guo, F. and Wong, P. L. An Anomalous Elastohydrodynamic Lubrication Film: Inlet Dimple. Trans. ASME, J. Tribology, 2005, 127, 425-434.

EXPLICIT TIME STEPPING FOR EXTENDED FINITE ELEMENT METHOD

Thomas MENOILLARD

**Mécanique des Solides et des Endommagements (MSE)
Intégrité sous Sollicitations extrêmes (ISE)**

CFR-CEA

We present here a development of a pure Explicit formulation of the eXtended Finite Element Method. The development of dynamic analysis for impacts, crashes or explosions is one important use for finite element. The size of the time step may be close to the Courant condition for a given mesh. This is also the case when an explicit solver is used for long durations. To reduce the computational cost of transient analysis, an explicit time integration scheme can be used. Moreover, if the mass matrix is lumped, the resolution of the system does not require any linear system resolution. Unfortunately, a very important improvement of the finite element method (PUM) does not seem to be compatible with the stability condition of the explicit time integrators. The eXtended Finite Element Method uses a local partition of unity to incorporate a discontinuity in displacement or strain field into the interpolation. Consequently, the mesh does not need to describe the geometrical support of this discontinuity. This method allows to simulate the propagation of arbitrary crack. It has been shown that using a discontinuous enrichment the critical time step decreases drastically when the crack surface path comes close to the nodes of the finite element mesh, according to what happens in equivalent finite element problem. To avoid this difficulty, several solutions have been proposed in literature: implicit-explicit time integrator, modification of crack path, and a large reduction of factor is applied to the standard critical time step in order to ensure the stability of the explicit time integrator. Here, we describe a new technique to lump mass matrix for enriched functions. The idea of the proposed lumping technique is based on an exact kinetic energy approximation for basic motions. A proof of stability is given for the one, two and three dimensional cases. It enables one to use an explicit time integrator with a time step size which is about one half of that of the standard finite element (without discontinuity). We illustrate these results on the interpretation of some published experiments of dynamic crack propagation (Kalthoff experiments, Compact Compression Specimen).

MODELISATION DU COMPORTEMENT MECANIQUE D'ENGRENAGES COUPLAGES ENTRE ENGRENEMENTS ET ELEMENTS DE STRUCTURE FLEXIBLES

Mohamed Nizar BETTAIEB

**Systèmes Mécaniques et Contacts (SMC)
Contacts et Mécanismes (CM)**

Le travail vise à prédire le comportement dynamique de réducteurs à engrenages comportant des éléments de structures flexibles. Le modèle développé est une approche hybride qui consiste à combiner des éléments finis de poutre classiques, des fondations élastiques pour les contacts entre dents et, pour les parties structurelles flexibles des sous structures issues de modèles éléments finis tridimensionnels. L'arbre et le corps du pignon (denture exclue) sont modélisés par des éléments poutres en flexion, torsion et traction compression. Le contact entre deux dents est assimilé à deux fondations élastiques de Pasternak de caractéristiques différentes liées par des raideurs de contact indépendantes. Pour intégrer un corps de roue à voile mince (denture exclue), un maillage éléments finis tridimensionnel de type brique est construit. L'introduction de ce maillage dans les équations du mouvement impose une réduction de la taille de ce modèle basée sur une méthode de réduction modale. Les résultats d'applications académiques et industriels montrent une influence certaine de la flexibilité de la roue à voile mince sur le comportement statique (déformée, distribution de charge, erreur de transmission) et dynamique (coefficient dynamique globale) de réducteurs.

CONSEQUENCES MECANIQUES INDUITES PAR LES TRANSFERTS DE CHALEUR ET DE MASSE DURANT L'OPERATION DE SECHAGE DU BOIS

Pierre Chassagne

Mécanique des Solides et des Endommagements (MSE)
Intégrité sous Sollicitations extrêmes (ISE)

L'opération de séchage doit être reconsidérée pour améliorer la compétitivité de la filière bois et obtenir des qualités répondant aux exigences et critères nécessaires pour l'obtention d'un matériau d'ingénierie (teneur en eau définie et classement mécanique). Dans un souci de productivité du procédé, une température suffisante est indispensable. Cette opération sur ce matériau poreux hygroscopique engendre des conséquences mécaniques et des dommages éventuels. Souvent mal maîtrisée, les dommages engendrés peuvent entraîner la nécessité de recourir à des usinages sources d'importantes pertes matière (rabotage des sections du aux défauts géométriques) et une détérioration des propriétés mécaniques.

Les travaux présentés ici concernent le développement d'un outil numérique capable de modéliser des phénomènes multiphysiques. Il permet de mieux comprendre les conséquences mécaniques induites par les transferts de chaleur et de masse pendant le process de séchage : distorsions du matériau, fissures, contraintes internes résiduelles.

Un outil thermo-hydro-mécanique avec orthotropie cylindrique a été développé. Le couplage de la mécanique avec le thermo-hydrique est faible, par contre le couplage thermo-hydrique est fort. Aussi, la simulation de l'évolution thermo-hydrique est réalisée par la méthode des volumes finis pour les directions radiale et tangentielle du bois. Aujourd'hui, aucun gradient d'humidité et de température n'est considéré dans la direction longitudinale ; ce qui permet de se limiter au développement d'un outil 2D. Les analyses conduisent à la détermination de l'évolution fortement couplée de la température, de l'humidité et de la pression de gaz interne en considérant les différentes phases et les différents états de l'eau dans le bois (vapeur d'eau, eau libre, eau liée dans le domaine hygroscopique).

A la suite, une simulation mécanique 3D aux éléments finis est réalisée avec l'introduction des champs de température / humidité calculés précédemment et supposés transposables dans la direction L. Ce module prend en compte les effets de retrait / gonflement dans le domaine hygroscopique, les effets visqueux (fluage sous conditions hydriques constantes) et les effets mécanosorptifs (fluage sous conditions hydriques variables).

Une application montre la prédiction des distorsions et des contraintes résiduelles d'une planche de bois lors d'une procédure de séchage (température < 100°C).

Mots-clés :

Procédé de séchage, modélisation numérique, transfert de chaleur et de masse, distorsions, fluage

APPROCHE NUMERIQUE DU CONTACT LUBRIFIE.

Ibrahim Demirci

Tribologie et Mécanique des Interfaces (TMI)
Modèles de Lubrification et Lubrifiants (ML2)

La lubrification EHD est un cas particulier du régime hydrodynamique dans lequel de fortes pressions au contact entraînent d'une part des déformations élastiques importantes, d'autre part un accroissement considérable de la viscosité du lubrifiant, lié au coefficient de piézoviscosité. La génération de pression est régie par l'équation de Reynolds. Cette équation a été établie à partir des équations de Navier Stokes, en appliquant des hypothèses précises.

Comme il est fréquent en lubrification, les déformations élastiques sont calculées au moyen d'une intégrale de Boussinesq, appliquée au champ de pression hydrodynamique.

L'objectif de ce travail est de modéliser par éléments finis le comportement du lubrifiant dans un contact EHD sphère/plan à l'aide du logiciel Femlab (COMSOL Multiphysics). Cette modélisation fera intervenir des lois de comportement du lubrifiant basées sur des concepts physiques et fortement non linéaires.

Dans un premier temps, l'étude d'un cas modèle, le patin incliné (ou blochet) a été réalisée, ceci pour évaluer les possibilités et les limites du logiciel Femlab ainsi que pour tester la prise en compte de non linéarités (piézodépendance, comportement non newtonien) et le couplage entre hydrodynamique et déformation élastique.

Après avoir introduit la formulation faible de l'équation de Reynolds, le modèle a été validé par comparaison avec les résultats existants. Nous avons également introduit le comportement du lubrifiant dont la viscosité dépend entre autres de la pression (inconnue du problème), ce qui rend le problème fortement non linéaire.

Une fois cette première phase validée, nous sommes passés à la modélisation du contact sphère/plan, situation à la fois plus proche du roulement à billes et de la configuration expérimentale. De par sa nature (charge imposée, présence de gradients importants) ce type de problème est plus délicat à résoudre, notamment pour obtenir un compromis raisonnable entre temps de calcul, finesse du maillage et précision. Le modèle développé pourra être confronté aux résultats de la littérature ainsi qu'aux données expérimentales obtenues avec le dispositif sphère/plan du laboratoire pour un fluide dont la loi de comportement rhéologique a été établie indépendamment.

DYNAMIQUE NON REGULIERE DES MILIEUX GRANULAIRES AUX SIMULATIONS TEMPS REEL.

Mathieu Renouf

CR2 CNRS

**Tribologie et Mécanique des Interfaces (TMI)
Frottement, Usure et Lubrification Solide (FULS)**

Si vous avez manqué le début:

La simulation d'assemblés de corps interagissant par contacts (on parle alors de systèmes multi-contacts) intéresse aussi bien la mécanique, la robotique, la réalité virtuelle que la tribologie. Bien entendue, les problématiques de chaque discipline sont souvent différentes, mais ils leurs arrivent aussi d'être connexes notamment dans la recherche de méthodes numériques rapides et robustes.

La méthode *Contact Dynamics* [Moreau1988] ou *Non Smooth Contact Dynamics* [Jean1999] est une des méthodes, au même titre que les méthodes type *Molecular Dynamics*, permettant de simuler des systèmes multicontacts. Les grandes différences avec les autres méthodes est le traitement unilatéral des interactions locales (contact, frottement, adhésion,...) et sa formulation mathématique reposant sur des résultats de convergence (discrétisation temporelle).

Le but de cette présentation est de présenter la méthode (son formalisme et ses optimisation) et de l'illustrer par des résultats de simulations effectué dans un premier temps dans le but d'étudier les milieux granulaires (écoulements de surface, mouvements tectoniques) puis dans un second temps d'étendre la méthode au domaine de la réalité viruelle dans le but de simulation temps-réel.

Références:

J. J. Moreau, *Unilateral contact and dry friction in finite freedom dynamics*, in: *Non Smooth Mechanics and Applications*, CISM Courses and Lectures, J.J. Moreau and P.-D. Panagiotopoulos, eds., **vol. 302** (Springer-Verlag, Wien, New York), pages 1-82 (1988)

M. Jean, *The Non Smooth Contact Dynamics Method*, *Compt. Methods Appl. Math. Engrg.*, **vol 177**, pp 235-257 (1999)