

# 13<sup>e</sup> Colloque National en Calcul des Structures

Du 14 au 19 mai 2017, s'est tenu le 13<sup>e</sup> colloque biennuel organisé par l'association Calcul des Structures et Modélisation (CSMA<sup>1</sup>) qui fédère et structure la communauté française de la mécanique numérique. Depuis presque 25 ans, il prend ses quartiers et rassemble les chercheurs dans la presqu'île de Giens au mois de mai ce qui est, en principe, une garantie de soleil, de ciel bleu (enfin souvent !) et de douceur de vivre mais aussi l'occasion de prendre le pouls de la recherche en mécanique numérique.



## Le CSMA en 2017

L'assemblée générale de l'association, qui se tient traditionnellement lors du colloque, a permis de renouveler une partie du conseil d'administration et de faire le point sur les diverses activités récemment passées ou à venir. En ouverture, nous avons eu un court hommage à notre ami Christian Cornuault<sup>2</sup> qui nous a quittés bien trop tôt. Il fut vice-président industriel du 10<sup>e</sup> colloque.

## Le nouveau Conseil d'Administration

Après de nombreuses années (en général 2 mandats de quatre ans) de bons et loyaux services, **E. Massoni** (CEMEF-Sophia), **E. Feulvarch** (ENISE-Saint Etienne), **M. Renouf** (LMGC-Montpellier), **D. Ryckelynck** (CdM, Evry) ne pouvaient ou ne désiraient pas se représenter. **D. Brancherie** (Roberval-Compiègne), secrétaire générale, **G. Puel** (MSSMat, Saclay), trésorier-adjoint, et **H. Zahrouni** (LEM3-Metz) pouvaient se représenter et ont été réélus. Selon les statuts, il fallait donc élire quatre nouveaux membres, ce sont donc **M. Chevreuil** (GEM-Nantes), **J.-M. Cadou** (IRDL-Lorient), **V. Chiaruttini** (Onera) et **J. Yvonnet** (MSME-Marne-la-Vallée) qui remplacent en quelque sorte les partants.

Le bureau renouvelé et inchangé est ainsi constitué (jusqu'en 2019) :

- Président : **F. Chinesta** (ICI)
- Vice-présidents : **D. Néron** (LMT), **C. Rey** (Safran)
- Secrétaire générale : **D. Brancherie** (Roberval)
- Secrétaire adjoint : **T. Elguedj** (LaMCoS)
- Trésorier : **O. Fandeur** (IMSIA)
- Trésorier adjoint : **G. Puel** (MSSMat)

Les autres membres sont : **M. Chevreuil** (GEM), **J.-M. Cadou** (IRDL), **V. Chiaruttini** (Onera), **I. Iordanoff** (I2M), **L. Laurent** (LMSSC), **P. Massin** (IMSIA), **J. Yvonnet** (MSME) et **H. Zahrouni** (LEM3). Numériquement parlant, aucun changement : 15 membres (2 femmes ! l'honneur est sauf), 14 laboratoires.

## Les diverses activités

Le CSMA est engagé dans beaucoup d'opérations qui doivent lui permettre d'augmenter sa visibilité tant au plan national qu'international (et tant académique qu'industriel). Cela se traduit par des actions de soutien et de collaboration dont nous avons retenu quelques exemples représentatifs mais non exhaustifs depuis le 12<sup>e</sup> colloque et dans un futur proche.

### Une initiative intéressante

La collection CSMA de 2005 à 2015 (années impaires) est disponible, à la consultation ou au téléchargement, (Hyper Articles en Ligne) sur <https://hal.archives-ouvertes.fr/CSMA20nn> à l'initiative de **M. Legrand** (Université McGill) qui promet « une science reproductible et durable ».

## New Challenges in Computational Mechanics



Ce colloque<sup>3</sup>, organisé par **F. Chinesta** (ICI-Nantes) et **O. Allix** (LMT-Paris Saclay) en l'honneur de **P. Ladevèze** (LMT-Paris Saclay) s'est tenu du 23 au 25 mai 2016 à Paris Saclay. Les très nombreux amis et collègues français et étrangers de

Pierre étaient naturellement présents, d'autant que la soirée du 23 était consacrée à la remise des insignes de chevalier de la Légion d'Honneur<sup>4</sup> par P.-P. Zalio, président de l'ENS Paris Saclay. Un honneur qui rejaillit naturellement sur toute notre communauté.

## Workshop SEMNI-CSMA

Le troisième colloque<sup>5</sup> organisé conjointement par le CSMA et son homologue espagnol, SEMNI<sup>6</sup>, a choisi comme thème « Challenges pour le futur : sans maillage, réductions, au-delà... »<sup>7</sup>. Il s'est tenu du 1<sup>er</sup> au 3 février 2017 à Saragosse dans la résidence de Jaca. Il était particulièrement dédié à **P. Villon** (Roberval-Compiègne) – l'un des principaux développeurs de la DEM<sup>8</sup> il y a un quart de siècle – à l'occasion de son départ à la retraite (bienvenue au club Pierre). Les responsables du CSMA et de SEMNI réfléchissent au thème du prochain workshop en 2019.



## DataBEST 2017

Le CSMA (en collaboration avec l'Université de Saragosse, NAFEMS, l'ECN et ESP<sup>9</sup>) a organisé la première édition du workshop "Data-Based Engineering, Science and Technology"<sup>10</sup> qui s'est tenu à Nantes du 27 au 29 mars 2017. Il a été organisé par **E. Abisset-Chavanne** (ICI-Nantes), **F. Chinesta** (ICI-Nantes), **E. Cueto** (Espagne), **D. González** (Espagne), **D. Large** (NAFEMS France<sup>11</sup>). De nombreux industriels et chercheurs ont assisté à une



trentaine de conférences sur ce thème peu abordé dans notre communauté. A cette occasion le diplôme de docteur *honoris causa*<sup>12</sup> a été remis, par **A. Poitou**, directeur de l'ECN, aux professeurs (très francophiles) **C. Farhat**<sup>13</sup> (Stanford) et **A. Huerta** (Barcelone). Ce sont des habitués de la France et du CSMA.

## CFRAC 2017

Le CSMA parraine la V<sup>e</sup> Conférence Internationale<sup>14</sup> "Conference on Computational Modeling of Fracture and Failure of Materials and Structures"<sup>15</sup> qui se tient à Nantes du 14 au 16 juin 2017. **X. Oliver**, **M. Jirasek**, **O. Allix** (LMT-Paris Saclay) et **N. Moës** (GEM-Nantes) l'ont organisée avec des séances plénières, toutes passionnantes, données par **P.-O. Bouchard** (CEMEF-Sophia), **B.-A. Bourdin** (USA), **P.-P. Camanho** (Espagne), **L. de Lorenzis** (Allemagne), **L.-J. Sluys** (Pays-Bas).



## YIC 2017

La quatrième édition<sup>16</sup> de la "ECCOMAS Young Investigators Conference"<sup>17</sup> a lieu du 13 au 15 Septembre 2017 à Milan. Elle est spécialement dédiée aux doctorant(e)s et aux jeunes chercheurs(-euses) afin de favoriser les échanges et les collaborations parmi la "jeune" génération (CSMA juniors 2017). C'est aussi une manifestation à laquelle les chercheurs expérimentés sont invités à participer pour partager leur expérience.

## Reduced Basis, POD and PGD Model Reduction Techniques

Le quatrième<sup>18</sup> workshop international<sup>19</sup> sur ce thème aura lieu du 8 au 10 novembre 2017 à Séville (*besoin d'un compte-rendu ?*), organisé par **T. Chacon Rebello** (Espagne), **F. Chinesta** (ICI-Nantes) et **P. Ladevèze** (LMT-Paris Saclay). Ce sujet-phare vient encore une fois d'être largement traité au cours du colloque de Giens et ce workshop permettra d'observer les évolutions concernant les méthodes et les applications en ajoutant de nouvelles thématiques, notamment autour des données massives (voir DataBEST 2017).

## WCCM 2020

A l'heure où vous appréciez ce compte-rendu, on sait que Paris organisera les Jeux Olympiques en 2024 (les deux villes candidates s'étant d'ores et déjà mises d'accord). Et, *ceteris paribus*, nous sommes sûrs que la quatorzième édition<sup>20</sup> du "World Congress on Computational Mechanics" (WCCM) se déroulera à Paris du 19 au 24 juillet 2020. Il est certain que la magistrale organisation (on s'en souvient) de la quatrième "European Conference on Computational Mechanics (Solids, Structures and Coupled Problems in Engineering)"<sup>21</sup> en mai 2010 à Paris, mais aussi la solidité du dossier préparé par le CSMA et le GAMNI ont largement contribué à ce succès face aux villes d'Oslo (Norvège) et de Poznan (Pologne). Les chairmen devraient être **F. Chinesta**, **O. Allix** et **R. Abgrall**.

Bien entendu, il y a encore du travail pour montrer notre capacité à accueillir plus de 3500 participants (Barcelone 2014) car maintenant «La difficulté de réussir ne fait qu'ajouter à la nécessité d'entreprendre<sup>22</sup>».

## CSMA juniors 2017

C'est évidemment la grande nouveauté de cette édition. Les chercheurs (plus de 70) de moins de 40 ans se sont réunis de dimanche midi à lundi midi. Ce workshop est un lieu d'échanges entre jeunes chercheurs (thésards, post-docs, permanents juniors) et a proposé des animations/formations utiles, uniques pour ces jeunes chercheurs.

Comme les aînés, ces futurs grands se sont dotés du bureau chargé d'animer la section au cours des années à venir. Il est constitué de **L. Chamoin** (ENS Paris Saclay) qui en assure la présidence et le représente au bureau du CSMA, **R. Bouclier** (INSA Toulouse), **R.**



**Cottureau** (Centrale Saclay), **C. Giry** (ENS Paris-Saclay), **T. Heuzé** (Centrale Nantes), **M. Jebahi** (ENSAM Metz), **A. Nait-Ali** (ENSMA Poitiers), **E. Prulière** (Univ. Bordeaux), **V.-A. Yastrebov** (Mines ParisTech). Attention les jeunes : 0

chercheuse ! Cherchez bien, elles existent. Ce bureau est chargé d'animer la jeune communauté et propose d'organiser au moins un événement annuel.

Que nous ont-ils proposé durant cette journée de travail ? Six « mini-cours », organisés par les jeunes pour les jeunes, afin de faciliter la compréhension des présentations du congrès CSMA sur chacun des 6 thèmes des symposiums : vibrations non-linéaires ; comportement des grands ouvrages de Génie Civil ; optimisation de forme ; fatigue, endommagement, rupture ; calculs époustouffants, HPC ; dialogue essais-calcul. Et une soirée plus conviviale durant laquelle les jeunes ont pu se mesurer lors d'un hackathon<sup>23</sup> organisé par **R. Cottureau** (MSSMat-Saclay) sur le thème du contact (vainqueur : **B. Marchand** - LMT-Paris Saclay), ou échanger sur des thèmes tels que Python<sup>24</sup> (animateur : **D. André**) : un véritable *pro domo* pour Python, Paraview<sup>25</sup> (animateur : **F. Bordeu**) : un TP présentant quelques



unes des possibilités de Paraview, partage de méthodes & logiciels (animateur : **M. Jebahi**), l'expérience des seniors (animateurs : **P. Le Tallec**, **P. Massin**, **F. Feyel**) qui ont été confrontés aux interrogations des jeunes chercheurs sur leur avenir.

Pour chaque thème, le mini-cours d'une heure introduit les concepts de base, l'état de l'art, les challenges de recherche, et propose une illustration numérique sur une application simple.

## Vibrations non-linéaires

Le mini-cours *Dynamique non linéaire et rayonnement acoustique des structures à interfaces frottantes* est donné par **K. Sooborayen** (LaMCoS-Lyon). Il est consacré à l'étude du crissement des freins à disque, et présente en premier lieu la démarche globale de modélisation : modélisation non linéaire, analyse de stabilité, analyse transitoire. Puis le calcul proprement dit est décrit : un modèle éléments finis précis est construit pour un calcul avec le code SDTOOLS<sup>26</sup> qui conduit à des analyses non linéaires. Puis un modèle équations de frontières est proposé puis analysé avec le code OpenBEM<sup>27</sup> permettant d'extraire les pressions sur les parois. Un test permet de détailler les équations sur un oscillateur non linéaire à 2 degrés de liberté. L'influence des différents paramètres est étudiée et conduit au petit TD proposé.

## Comportement des grands ouvrages de Génie Civil

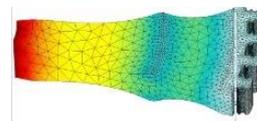
Le mini-cours est donné par **S. Capdevielle** (LMT-Paris Saclay) qui met l'accent sur le développement et l'utilisation d'une poutre multifibre et sur la difficulté de tels calculs par essence multiéchelles (structure et matériau) avec de plus, de nombreuses incertitudes, d'où le besoin de méthodes simplifiées mais riches d'enseignement. L'élément de poutre multifibre proposé prend en compte un élément de poutre et un modèle de la section aux points d'intégration. Cela permet de choisir l'échelle de modélisation et éventuellement d'y introduire des non linéarités matérielles. Les développements se poursuivent dans le cadre du projet SINAPS@<sup>28</sup> afin d'enrichir les possibilités tout en restant simple d'utilisation et raisonnable en temps calcul.

## Optimisation de forme

Le mini-cours est donné par **F. de Gournay** (IMT-Toulouse) sous la forme d'une introduction. Cette revue montre quelques méthodes d'optimisation (en se référant beaucoup aux travaux du CMAP) : sensibilité de la forme avec son principal inconvénient, il n'est pas possible de changer de topologie, la dérivation de la solution à la base des méthodes de type quasi-Newton et enfin la dérivation de la fonction objectif avec l'introduction d'une fonction pression ou d'une formulation de type *level-set*. Un exemple permet de comparer les performances de ces méthodes.

## Fatigue, endommagement, rupture

Le mini-cours est donné par **S. Feld-Payet**<sup>29</sup> (Onera-Palaiseau) et constitue une belle entrée en matière sur le sujet durée de vie qui a une grande importance lors de ce congrès. Le plan de la présentation aborde les trois sujets figurant dans le titre en insistant sur l'importance de ces sujets dans l'industrie comme le montre les accidents décrits dans l'introduction. De plus l'organisation du plan



permet d'aborder les difficultés pas à pas : une prouesse pédagogique. Premier chapitre, endommagement en fatigue. Les divers cas de chargements sont abordés avec leurs

critères adaptés (Courbe de Wolher, méthode rainflow). Deuxième chapitre, rupture en fatigue, ou comment déterminer l'avancement du front et prendre en compte les effets de la plasticité. Troisième chapitre, endommagement-rupture sous chargement critique avec l'importance du maillage et les différentes méthodes. Chaque partie est accompagnée d'un exemple détaillé et en conclusion des ouvrages de références sont présentés.

## Calculs époustouffants, HPC

Le mini-cours est donné par **P. Jolivet** (IRIT-Toulouse). Il est très focalisé sur les développements autour de la bibliothèque MUMPS<sup>30</sup>, l'objectif étant de réduire le temps CPU de la partie résolution pour les calculs implicites évalué ici à 80% du temps (CPU) total incluant le temps passé de la génération du maillage à

l'export de la solution. Objectif louable même si l'ingénieur calculait bien que le temps total est passé ailleurs ! Mais chacun son travail, celui du numéricien étant de proposer des méthodes rapides et robustes tenant compte de l'évolution du matériel. Ainsi ce cours nous propose une revue des méthodes disponibles, le plus souvent en *open source* sous forme de bibliothèques bien utiles aux développeurs de codes industriels et académiques et nous conseille en conclusion : « si vous voulez des performances et ne pas gaspiller du temps, ne réinventez pas la roue ».

### Dialogue essais-calcul

Le mini-cours *Dialogue essais-calculs*, donné par **J.-D. Garaud** (Onera-Chatillon), passe en revue diverses méthodes des plus classiques aux plus avancées. Le dialogue doit se concevoir à toutes les échelles : micro pour, et ce n'est qu'un exemple, identifier les paramètres d'une loi de comportement ; de l'échantillon et de la pièce éventuellement en service. Il expose plusieurs raisons pour développer ce dialogue, ce qui le conduit à articuler l'exposé autour de quatre points de vue différents : expérimentateur, modélisateur, expert et logiciel en s'appuyant sur la plateforme ESCALE. La suite de l'exposé est consacrée à la corrélation d'images numériques (DIC) et ses nombreuses évolutions : DIC locale, corrélation sur GPU, FE-DIC, X-DIC, décomposition de domaines, NURBS-DIC. Chacune de ces évolutions trouvera son pendant dans le Symposium "Dialogue Essais-Calculs". L'exposé s'achève sur la problématique de l'identification, principalement la FEMU. Une pléthorique bibliographie accompagne ce brillant exposé qui a sans aucun doute permis à l'assemblée de profiter pleinement du symposium et de la conférence plénière. Il est encore temps d'aller plus loin : on pourra donc profiter des résultats du projet ANR Vertex<sup>31</sup>.

## Colloque 2017

Le colloque est co-organisé par un consortium des laboratoires de la région parisienne (IMSI, LMS, CEA, Onera) qui en assurent la logistique, sous la direction de **P. Le Tallec** (LMS-Palaiseau) et de **P. Massin** (IMSI-Palaiseau). On comprend dès lors que la durée de vie et l'optimisation de forme soient placées au centre des préoccupations. Ainsi, les grands thèmes abordés en session (de



durées différentes moyennant quelques ajustements de dernières minutes) sont : méthodes numériques, réduction de modèles, dynamique des structures, identification de lois de comportement, contact et frottement, biomécanique, problèmes inverses, multiéchelle et multiphysique, interaction fluide-structure. A côté de ces grands classiques, cinq symposiums sont organisés par les chercheurs pour mettre en valeur les grandes tendances : Optimisation de forme, Dialogue essais-calculs, Vibrations non linéaires, Fatigue, endommagement, rupture, Calculs époustoufflants en mécanique des fluides, matériaux et structures.

Outre ces séances techniques, le colloque comprend sept sessions plénières, plus une consacrée à nos meilleur(e)s jeunes chercheurs(-euses), une autre dédiée à la démonstration de logiciels, une dernière rassemblant une trentaine de présentations sous forme de posters sans omettre (cela fait partie du charme de Giens) un aspect convivial très important.

Le programme a été bâti, à partir de près de 250 propositions, par un comité scientifique présidé par **O. Allix** (LMT) assisté par un industriel, **L. Rota** (PSA) et **P. Le Tallec** (LMS) au nom des laboratoires organisateurs.

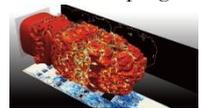
Le colloque 2017 a rassemblé près de 350 participants et a reçu le soutien des sociétés DS Simulia, AREVA, ALTAIR, ANDRA, CEA, EDF, MICHELIN, ONERA, PHIMECA, POLYTECH, SAFRAN, SIXENSE, SNCF, SOCOTEC.

## Sessions plénières

Elles constituent un des grands moments du colloque avec la participation d'un chercheur étranger, de trois chercheurs et deux industriels permettant d'élargir nos horizons et d'encourager synergies et fertilisations croisées.

La présentation de **G. Allaire** (CMAP-Palaiseau) [On some recent developments of topology optimization of structures for additive manufacturing](#), a présenté un survol (la vastité du sujet mériterait une longue course en montagne<sup>32</sup> pour atteindre les sommets) sur l'optimisation topologique qui connaît un regain d'intérêt avec les techniques de fabrication additive. On sait que des algorithmes d'optimisation topologique produisent des formes structurelles optimales qui peuvent être difficiles à fabriquer par des méthodes classiques. La fabrication additive, de son côté, semble sans limitation pour construire des structures optimales. Malheureusement, ce n'est pas toujours vrai et cet exposé aborde deux questions : comment quelques contraintes de la fabrication additive peuvent-elles être prises en compte dans un algorithme d'optimisation topologique ? et une comparaison pour les structures en treillis de la méthode d'homogénéisation qui permet de tenir compte de l'anisotropie par rapport à la méthode SIMP avec une isotropie artificielle. Ces travaux sont intégrés dans les projets RODIN<sup>33</sup> et SOFIA<sup>34</sup>.

**S. Candel**<sup>35</sup> (EM2C-Saclay) nous a présenté [Calculs frontières dans le domaine de combustion](#) durant lequel nous avons été embarqués dans de réels calculs époustoufflants, en général inatteignables pour le mécanicien des structures. Il traite plus spécialement des progrès réalisés en simulation des grandes échelles (LES) pour analyser des problèmes de combustion turbulente et de dynamique de la combustion<sup>36</sup>. On retiendra deux



exemples : allumage d'une chambre de combustion annulaire utilisée dans les moteurs d'avions ou les turbines à gaz (1,5 M h. CPU !) et combustion cryotechnique transcritique utilisée dans les moteurs de fusées. On comprend alors l'utilité ou la nécessité du HPC. D'autres exemples de calculs frontières<sup>37</sup> ont été présentés à l'Académie des Sciences le 9 mai. A la fin de l'exposé, la présence nationale dans la communauté CFD est montrée au travers de trois des plus importants laboratoires mondiaux dans ce domaine : CERFACS<sup>38</sup> qui vient de fêter son 30<sup>e</sup> anniversaire<sup>39</sup>, CORIA<sup>40</sup>, EM2C<sup>41</sup>.

Deux anciens chercheurs du LMT ont représenté les calculs dans le Génie Civil : **A. Delaplace** (LafargeHolcim) souligne, dans [Les matériaux de construction dans les nouveaux contextes environnementaux : impacts sur la caractérisation et la modélisation](#) une application relativement récente de la simulation compte tenu de la complexité des phénomènes physiques (processus couplés d'hydratation, échelles spatiales très larges, échelles de temps très différentes). Même s'il n'existe pas aujourd'hui de modèle prédictif, la progression des modèles et l'augmentation de la puissance de calcul permettent de mieux représenter les principaux phénomènes physiques liés au comportement des matériaux cimentaires, tandis que des hypothèses simplificatrices de découplage permettent de prédire le comportement complet du matériau durci. La présentation de **B. Capra** (Oxand), [Comportement des ouvrages en service : simulation numérique et aide à la décision](#), propose de montrer au travers de deux exemples l'utilisation de la simulation numérique comme outil de dimensionnement des ouvrages neufs mais aussi dans le cadre du comportement en service tenant compte du vieillissement. L'objectif du 1<sup>er</sup> exemple (puits pétroliers non conventionnels) est d'expliquer l'origine des fuites et de faire des recommandations sur le processus d'exploitation afin de limiter ces risques. Le comportement d'une enceinte nucléaire en béton précontraint vis-à-vis du confinement et de son étanchéité fait l'objet du second exemple (projet MACENA<sup>42</sup>).

Dans sa présentation [Variational modeling of pattern formation in thin elastic films under compression](#), **S. Conti** (Université de Bonn) nous transporte dans le monde des mathématiques appliquées ou plutôt



dans un monde où les membranes élastiques par essence 2D sont plongées dans l'espace 3D. Le sujet est très ardu mais les qualités pédagogiques de Sergio (qui lui ont valu une distinction universitaire en 2016<sup>43</sup>) permettent à l'assistance de suivre et de sourire de ses papiers chiffonnés, balles cabossées, origamis... Plus sérieusement une analyse variationnelle détaillée révèle la présence de plusieurs échelles de longueur de la déformation et que l'énergie potentielle d'un pli est proportionnelle à l'épaisseur de la membrane à la puissance 5/3.

**J.-J. Sinou**<sup>44</sup> (LTDS-Lyon) [Approches expérimentales et simulations numériques en dynamique non linéaire des structures avec interfaces frottantes](#) propose d'illustrer la démarche de conception en dynamique non-linéaire à travers une approche combinant expérimentations et simulations numériques dans le but de mieux comprendre et prédire l'impact des phénomènes non linéaires et des comportements vibratoires qui en résultent avec des modèles simples mais suffisants. Il rappelle que la simulation s'appuie sur des modèles et que la modélisation est alimentée par des essais expérimentaux. Deux exemples sont plus spécifiquement discutés. Le premier traite la problématique du crissement de frein (projet ACOUFREN<sup>45</sup>) qui se caractérise par des vibrations non-linéaires auto-entretenues résultant d'une instabilité par frottement (du point de vue de l'utilisateur des transports en commun par rail, le phénomène est persistant malgré les nombreuses recherches dans le domaine) et le second illustre l'apport de la compréhension des phénomènes vibratoires non-linéaires pour une simulation et prédiction plus justes de structures à interfaces frottantes multiples (CEA-DAM).

**F. Hild**<sup>46</sup> (LMT-Paris Saclay) nous propose [De l'intégration de données mesurées dans la simulation numérique](#). Quand la mécanique numérique invite la mécanique expérimentale, cela montre l'intégration des données de capteurs et d'imagerie dans des procédures numériques à des fins d'identification de lois de comportement et de leur validation pour différentes échelles de modélisation. La faisabilité de telles approches est montrée dans le contexte d'essais *in situ* suivis par tomographie ou laminographie. Ainsi, des analyses spatiotemporelles (c'est-à-dire 4D) sont menées avec des algorithmes dédiés et intégrés de corrélation d'images volumiques. Dans le cas présent, une



procédure non intrusive est développée par l'équipe Eikologie<sup>47</sup> pour obtenir des champs de sensibilité 4D avec des codes éléments finis (commercial ou académique), ce qui permet une grande polyvalence dans l'incorporation de lois de comportement complexes.

## Mini-symposia & Sessions thématiques

Le nombre de présentations (plus de 200 et, pour certaines, de très haut niveau) est le reflet du dynamisme et de l'ouverture de nos laboratoires. Dans ce compte-rendu, ma subjectivité l'emportera sur l'exhaustivité (subjectivité guidée par les aspects industriels ou novateurs, ou en lien avec des projets collaboratifs de type ANR<sup>48</sup> – très présente – ou FUI<sup>49</sup>, ou parce que cela donne l'occasion de citer de nouveaux noms). Je retrouve donc mon compagnon habituel de ces congrès « l'embarras du choix ». La tâche des organisateurs est de plus en plus complexe tant il y a de superposition entre les sujets mais on peut toutefois noter que cette année les grandes orientations tournent autour de réductions de modèles, mais aussi de durée de vie et d'optimisation même si cela comporte une part de subjectivité (de ceux qui choisissent) tant sont nombreuses les communications qui parlent de sujets transverses. Avec ces 3 sessions, on a plus de 25% des communications ! Pour ces importantes sessions nous avons choisi d'extraire deux, voire trois conférences.

## Symposium "Optimisation de forme"

Organisé par **L. Rota** (PSA), **P.-A. Boucard** (LMT-Paris Saclay), il a rassemblé 16 conférences réparties en 5 sessions. L'exposé [Reconstruction automatique et validation de structures 3D optimisées topologiquement](#) de **V. François**, **J.-C. Cuillière**, **A. Nana** (doctorant) (ERICCA) présente une méthode automatique de reconstruction d'un modèle CAO à partir d'un résultat d'optimisation topologique qui aujourd'hui n'est quasiment pas repris dans la boucle de conception. Une triangulation de la frontière du modèle optimisé est lissée par une méthode basée sur un laplacien pondéré. Elle est ensuite mise sous forme d'un squelette afin de construire un modèle structurel. Ce squelette est ensuite transformé en un ensemble de poutres normalisées. La perspective ultime serait de reconstruire des solutions de nature volumique.

[TOPOLEV: Topological optimization using level-set method](#) de **D. Lachouette**, **P. Conraux** (ESI-Group), **G. Allaire** (CMAP-Palaiseau), **F. Jouve** (IJLL-Paris) présente quelques résultats du

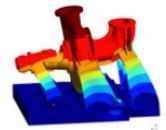


projet FUI RODIN<sup>33</sup> (ceux obtenus par ESI) et en particulier le développement d'un outil d'optimisation basé sur les *level sets* qui permettent une meilleure prise en compte des contraintes (géométrie, conditions aux limites, procédés) que des méthodes plus classiques telles que : SIMP, homogénéisation... des exemples industriels issus de l'automobile (minimisation de volume avec contraintes de raideurs et vibratoires) et de l'aéronautique (attache moteur avec minimisation de la compliance sous contraintes de masse et de déplacement) sont présentés.

## Symposium "Dialogue Essais-Calculs"

Organisé par **V. Chiaruttini** (Onera), **J. Réthoré** (GEM-Nantes), il a rassemblé 10 conférences réparties en 3 sessions.

[Corrélation calculs-essais en dynamique des structures : du système simple libre-libre à l'assemblage boulonné dans son environnement industriel \(Projet FUI SICODYN 2012-2016\)](#)<sup>50</sup> de **S. Audebert** (IMSIA-Palaiseau) présente les résultats définitifs d'un benchmark international qui a pour objectif de fournir des informations quantitatives et des méthodes de quantification *a priori* du niveau de confiance à accorder à un résultat issu de simulation numérique. L'exemple industriel est un assemblage de 8 composants boulonnés. Selon les modes propres considérés et les composants, l'écart fréquentiel va de 5 à 40% mais la sensibilité des modes propres pour représenter des connexions entre composants et des conditions aux limites est trop élevée pour autoriser l'utilisation directe des résultats de simulation sans confrontation avec d'autres résultats numériques (basés sur d'autres hypothèses) et avec de possibles informations expérimentales.



[Etude expérimentale et numérique de la propagation de coupure dans des stratifiés composites soumis à de la traction simple](#) de **B. Castanié**, **J. Serra**, **C. Bouvet** (ICA-Toulouse), **C. Petiot** (Airbus group innovation) est un autre exemple de mécanique expérimentale puisque les auteurs cherchent à appréhender les singularités de type coupure (trou et entaille dans des structures minces en matériaux stratifiés composites) vis-à-vis de l'endommagement et des mécanismes de rupture à l'aide de thermographie infra-rouge qui s'avère, dans ce cas plus précise que la corrélation d'image puis de simulations avec un modèle de type DPM. Une véritable démarche de validation en milieu industriel ! Cette même équipe a par ailleurs, présenté d'autres résultats du projet VERTEX<sup>51</sup>.

## Symposium "Vibrations non linéaires"

Organisé par **C. Touzé** (IMSIA-Palaiseau), **O. Thomas** (LMSSC-Paris), il a rassemblé 18 conférences réparties en 6 sessions. L'exposé [Réduction de modèle et problèmes de contact en dynamique explicite](#) de **D. Dureisseix**, **N. Adam**, **A. Gravouil** (LaMCoS-Lyon) utilise la réduction de modèles (POD) pour extraire des informations pertinentes d'un jeu de données, ou pour prendre en compte l'influence de paramètres du problème tout en limitant les coûts de

calcul. C'est le cas du disque en rotation sur un massif rigide (représentant une roue sur une route) qui est présenté. L'influence de la quantité d'intérêt et du nombre de modes garantissant la représentation sont étudiées. La robustesse de l'approche pour l'intégration d'autres non linéarités, ainsi que son utilisation pour des analyses multiparamétriques sont des perspectives directes à ces travaux.

Étude d'un oscillateur de Duffing<sup>51</sup> stochastique via la phase de **E. Sarrouy** (LMA-Marseille) montre la volonté de pouvoir traiter des systèmes mécaniques dynamiques à la fois non linéaires et incertains. Les méthodes utilisées sont classiques pour les systèmes avec point de retournement : dans le cas déterministe, balance harmonique pour traiter la dynamique, méthode de continuation pour le non linéaire et pour les aspects stochastiques, chaos polynomial à la place d'une méthode de Monte Carlo qui peut s'avérer coûteuse et qui présente l'inconvénient de ne pas connecter entre elles les réponses pour les différentes réalisations. L'idée de paramétriser par la phase conduit à une solution unique : elle pourrait s'avérer généralisable aux systèmes à plusieurs degrés de liberté et multi-harmoniques.

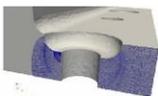
### Symposium "Fatigue, endommagement, rupture"

Organisé par **H. Maitournam** (IMSIA-Palaiseau), **P. Le Tallec** (LMS-Palaiseau), il a rassemblé 30 conférences réparties en 9 sessions. Le gros succès de ce 13<sup>e</sup> congrès, et pour cause : les spécialistes annoncent que 70 à 80% des ruptures en service sont dus à la fatigue<sup>52</sup>.

Analyse comparative de trois méthodes performantes de simulation numérique de la fissuration de **K. Wojtacki**, **L. Daridon**, **F. Dubois**, **Y. Monerie** (LMGC-Montpellier), **N. Moës** (GEM-Nantes) propose de comparer trois méthodes numériques récentes de simulation de la fissuration et notamment pour les matériaux hétérogènes. Ces trois approches sont : Zones Cohésives (CZM), Thick Level Set (TLS) qui propose une « transition continue vers la discontinuité<sup>53</sup> » et Eigenerosion. Les résultats numériques obtenus sont comparés avec des données expérimentales pour un cas d'une fissuration du béton (quasi-fragile) en mode mixte. La présentation de ces trois méthodes permet d'en apprécier les avantages, de percevoir les inconvénients et de tisser des liens entre chacune des méthodes.

To be or not to be quadratic (with X-Fem) de **N. Valoroso** (Dipartimento di Ingegneria-Naples), **A. Martin** (IMSIA-Palaiseau) pose la question à laquelle tout le monde pense depuis l'introduction de la méthode X-FEM. Tous les exemples montrent l'utilisation d'éléments finis tétraédriques linéaires alors que tous les articles écrivent que la généralisation au cas quadratique est évidente ou triviale. Ce papier propose une éventuelle alternative utilisant des éléments volumiques avec degrés de liberté de rotation proposés par Hughes et Brezzi il y a près de 30 ans. Un premier exemple montre la supériorité de cet élément par rapport au classique *serendipity*.

XFem appliquée aux structures aéronautiques de **A. Barrot** (STELIA), **N. Roussouly**, **O. Allain** (LEMMA) montre tout simplement les premiers pas (qui en amèneront bien d'autres : adaptation de maillages, structures minces) de la société STELIA dans l'utilisation de la méthode X-FEM. Pour cela elle s'est appuyée sur un développement effectué par la société LEMMA dans son logiciel ANANAS<sup>54</sup>. Des comparaisons avec NASGRO (largement utilisé pour les certifications dans



l'aéronautique) sur deux tests (académique et industriel) sont tout à fait concluantes (résultats équivalents et mise en œuvre plus simple).

Critère unifié pour la modélisation de l'endurance sous chargement combiné : statique et vibratoire de **B. Bholah** (doctorant), **Y. Guilhem**, **S. Pommier**<sup>55</sup> (LMT-Paris Saclay), **J. Jaravel** (Safran Helicopter Engines) propose une méthode justificative pour la tenue en fatigue (des composants aéronautiques en particulier) qui tient compte des gradients de contraintes qui ne sont pas pris en compte dans les approches classiques de type point chaud. L'une des difficultés de ces composants réside dans l'existence de chargements combinés : statique basses fréquence et amplitude de type LCF et dynamique

hautes fréquence et amplitude de type HCF. La méthodologie proposée consiste à post-traiter les résultats d'un calcul dynamique précontraint avec couplage thermique d'une pièce ayant des formes complexes avec de nombreuses itérations sur la géométrie.

### Symposium "Calculs époustouflants en mécanique des fluides, matériaux et structures"

Organisé par **P. Massin** (IMSIA-Palaiseau), **P. Gosselet** (LMT-Paris Saclay), il a rassemblé 11 conférences réparties en 4 sessions.

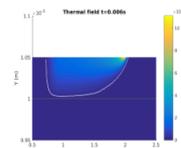
Méthodes de décomposition de domaine robustes appliquées au calcul en régime linéaire et non linéaire de structures industrielles de grande taille de **A. Parret-Fréaud**, **B. Marchand** (doctorant), **C. Rey**, **F. Feyel** (Safran Tech), **C. Bovet** (Onera), **P. Gosselet** (LMT-Paris Saclay), **N. Spillane** (CMAP-Palaiseau) nous présentent de nouveaux développements destinés à améliorer la robustesse des approches de décomposition de domaine sans recouvrement de type FETI en vue de permettre leur utilisation dans le contexte de problèmes industriels de grande taille. Ces méthodes, appelées AMPFETI (pour Adaptive Multipreconditioned), reposent sur l'usage d'une stratégie de multi-préconditionnement adaptatif au niveau du solveur itératif du problème d'interface. Leurs performances sont illustrées sur une étude d'extensibilité faible d'un problème hétérogène pathologique à plusieurs centaines de millions de ddl. Un cas d'application au calcul non linéaire d'une aube oligocristalline est aussi présenté.

### Session thématique "Contact-Frottement"

Cette session a rassemblé 8 conférences réparties en 3 chapitres. L'exposé Simulation par éléments finis de la flexion sur poulie de câbles tressés pour la compréhension des mécanismes d'endommagement de **A. Belkhabbaz**, **D. Durville** (MSSMat-Saclay), **P. Davies** (Ifremer) présente une méthode de simulation par éléments finis avec le code Multifil<sup>56</sup> afin de déterminer la configuration initiale *a priori* inconnue des structures tressées qui subissent des endommagements internes lors de leurs passages sur des poulies du fait des interactions de contact-frottement entre leurs constituants, et d'évaluer les contraintes au niveau des brins constituant le câble tressé lors de sa flexion sur une poulie. Différentes architectures de câbles sont étudiées, et des tests de rupture en traction droite et en traction sur poulie sont simulés. Il reste à tenir compte des effets thermomécaniques pour caractériser l'endommagement.

### Session thématique "Procédés"

Cette session a rassemblé 5 conférences réparties en 2 chapitres. L'exposé Contribution à la modélisation du procédé de Fabrication Additive : Fusion laser sur lit de poudre de **R. Ruysen** (doctorant), **A. Barbarulo**, **H. Ben Dhia** (MSSMat-Saclay) est l'un des nombreux exemples d'exposé qui ont pour thématique générale la fabrication additive et dans ce cas particulier le procédé par fusion laser. Son utilisation reste encore marginale à cause du manque de contrôle du procédé d'un point de vue t et technique. Les pièces produites comportent encore des écarts géométriques importants par rapport aux formes théoriques attendues par le cahier des charges. Seule la modélisation et la simulation numérique peuvent apporter des informations clés pour le dimensionnement des pièces : champ de contraintes résiduelles, rugosité des surfaces, état du matériau constituant. Plusieurs niveaux de modélisation multi-échelle sont comparés. Naturellement le cadre Arlequin constitue un outil privilégié pour ce domaine en faisant communiquer les différents modèles



### Session thématique "Modélisation/identification des lois de comportement"

Cette session a rassemblé 11 conférences réparties en 4 chapitres. L'exposé Microscopic modelling of weld formation in EMW: Open Questions de **K. Macocco** (Phimeca Engineering SA), **A. Deldicque** (ICAM-Lille), **C. Scheffler** (Fraunhofer) propose, dans le cadre du projet

JOIN'EM<sup>57</sup>, un modèle microscopique du procédé de soudage électromagnétique EMW entre cuivre et aluminium. Il mêle modèles éléments finis et SPH et les calculs sont effectués à l'aide du code LS-Dyna. La loi décrivant le matériau est de type Johnson-Cook dans un premier temps isotherme. Une autre tâche du projet n'utilise que les éléments finis pour un modèle macroscopique. Les questions ouvertes restent nombreuses : couplage fort, sensibilité, conditions aux limites, effets de la température. C'est l'occasion de souhaiter un bon quinzième anniversaire<sup>58</sup> à cette PME qui a réuni ses supporters le 10 mai lors des quatrième journées de la conception robuste et fiable<sup>59</sup>.

### Session thématique "Dynamique des structures"

Cette session, par définition très variée, a rassemblé 12 conférences réparties en 4 chapitres. L'exposé [Le benchmark KARISMA revisité : enrichissements de la modélisation en interaction sol-structure sous séisme](#) de **N. Greffet, A. Nieto-Ferro, G. Devésa** (IMSIA-Palaiseau), **D. Clouteau** (MSSMat-Saclay) présente les récents résultats obtenus sur ce benchmark proposé par l'IAEA et composé de deux parties principales : structure et équipement. Suite aux différences avec les mesures, les auteurs ont décidé de poursuivre les analyses dans le cadre du projet SINAPS@<sup>28</sup>, en introduisant différentes non-linéarités (sol, frottement) afin de mesurer leur influence et de confronter les méthodologies numériques récentes à un cas industriel avec des résultats mesurés sur site.

L'exposé [Calcul du comportement dynamique d'une portée de téléphérique bicâble à l'aide de bases modales](#) de **G. Hurel, J. Laborde, L. Jézéquel** (LTDS-Lyon) s'intéresse à la modélisation précise du comportement dynamique d'une ligne de téléphérique urbain. A chaque pas d'avancement, on effectue un calcul statique, un calcul modal puis un calcul transitoire qui fournit les conditions initiales du pas suivant. Cette procédure simplifiée suppose l'avancement quasi-statique de cabines et des petits déplacements dynamiques. Ce travail dans le cadre du projet I2TC<sup>60</sup> pourrait être amélioré en représentant les cabines par des pendules pesants ce qui permettrait de coupler leur mouvement avec celui du câble.

### Session thématique "Biomécanique et ingénierie du vivant"

Cette session a rassemblé 7 conférences réparties en 2 chapitres. L'exposé [Simulation numérique de la propagation d'une onde de choc issue d'une explosion en champ libre et son interaction avec un modèle biomécanique humain](#) de **M. Bodo**<sup>61</sup> (doctorante), **S. Roth** (IRTES, UTBM) se propose d'étudier l'effet d'une onde de souffle primaire sur les organes humains contenant du gaz. Ce travail consiste à modéliser



l'onde de pression en champ libre, par la méthode des éléments finis et à modéliser l'interaction de l'onde de choc avec un modèle biomécanique du thorax humain appelé HUByx<sup>62</sup> en se basant sur un test expérimental de la littérature. Les résultats

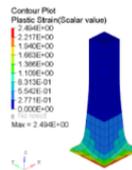
sont évalués en termes de pics de pression dans les organes internes qui peuvent être à l'origine de sévères traumatismes thoraciques. Le même principe peut très bien s'appliquer à d'autres structures pouvant être soumises à un chargement explosif comme les structures mécaniques ou les bâtiments.

### Session thématique "Méthodes numériques"

Cette session a rassemblé 14 conférences réparties en 5 chapitres et de nombreux industriels. L'exposé [Couplage non-intrusif d'un modèle global coque et de modèles locaux solides 3D non-linéaires pour la simulation d'aérostructures](#) de **S. Guinard** (Airbus group innovation), **R. Bouclier, J.-C. Passieux** (ICA-Toulouse), **M. Tonioli** (Bresil) propose une méthode pragmatique aux industriels confrontés au problème de l'analyse globale et de l'analyse locale. Bien entendu, à terme, la montée en puissance des moyens HPC et du lien CAO-

calcul permettra d'envisager le déploiement de modèles complets prédictifs, mais aujourd'hui il faut des méthodes robustes pour mener ces analyses de la manière la plus simple possible. Cette simplicité passe nécessairement par une mise en œuvre non intrusive. L'enrichissement d'un panneau composite aéronautique réel par des éléments solides 3D non-linéaires, avec ABAQUS démontre la simplicité et la puissance de la méthode (projet ICARE<sup>63</sup>).

[Implémentation de l'analyse isogométrique dans le solveur explicite Radioss](#)<sup>64</sup> de **M. Ocelli** (doctorant), **T. Elguedj** (LaMCoS-Lyon), **L. Morancay, S. Bouabdallah** (ALTAIR Engineering France) présente l'implémentation de l'analyse isogométrique dans le code explicite Radioss pour traiter des problèmes de dynamique non



linéaire. L'adaptation de routines existantes a permis d'intégrer des éléments NURBS et de les faire fonctionner de façon transparente avec des éléments finis classiques basés sur les polynômes de Lagrange. Il y a plusieurs points critiques : le raffinement pour traiter le contact, le pas de temps pour respecter la stabilité, la génération des maillages, la visualisation. Ce papier ne prétend pas résoudre tous les problèmes mais des résultats prometteurs sont proposés : la célèbre barre de Taylor (qui manque de solutions de référence), la *crash box*.

### Session thématique "Méthodes de réduction de modèles"

Cette session a rassemblé 17 conférences réparties en 5 chapitres. L'exposé [Application de la méthode de Base Réduite pour la réponse vibroacoustique de structures immergées avec paramètres incertains](#) de **C. Leblond, J. Vernet-Castex, S. Prigent, J.-F. Sigrist** (DCNS<sup>64</sup> Research), **M. Abbas** (IMSIA-Palaiseau) s'intéresse à la réponse fréquentielle des structures immergées avec paramètres incertains. Le problème vibroacoustique et la méthode de la base réduite associée à un algorithme glouton permettent de construire un modèle d'ordre réduit paramétrique. Les développements sont implémentés dans Code\_ASTER ce qui nécessite un algorithme de construction peu intrusif. Le cas d'étude choisi est constitué d'un tronçon de coque avec des raidisseurs en T et une carlingue générique. Un effort ponctuel est appliqué verticalement au milieu de la plaque de la carlingue. Le modèle est finalement implémenté sur une tablette numérique via l'application *SmartCal\_DCNS*.

[Contrôle des calculs éléments finis à partir de modèles réduits PGD](#) de **L. Chamoin, P.-E. Allier, P. Ladevèze** (LMT-Paris Saclay) explore l'utilisation de la réduction de modèle dans les procédures de vérification des simulations par éléments finis. La technique PGD peut largement faciliter la construction de champs admissibles nécessaires pour l'erreur en relation de comportement. L'analyse en deux temps consiste d'abord à introduire un modèle réduit à l'échelle de chaque élément du maillage, puis à partir de la représentation PGD précédente, on aborde l'optimisation des densités d'effort en introduisant les inconnues duales sur chaque élément du maillage. L'exposé montre une diminution drastique du temps CPU (très inférieur au temps du calcul EF) et de la technicité nécessaires pour mettre en œuvre l'estimation d'erreur, ainsi que la qualité accrue des bornes d'erreur obtenues.

### Session thématique "Problèmes inverses"

Cette session a rassemblé 5 conférences réparties en 2 chapitres. L'exposé [Identification expérimentale des paramètres de suspensions des trains à grande vitesse par méthode statistique inverse](#) de **D. Lebel** (doctorant), **C. Soize** (MSME-Marne-la-Vallée), **C. Funkschilling** (SNCF), **G. Perrin** (CEA) présente une méthode d'identification robuste par la résolution d'un problème statistique en inverse de paramètres mécaniques de suspension de train à grande vitesse à partir de données expérimentales utilisant la simulation de la réponse dynamique du train. Cette méthode s'articule autour de deux axes : d'une part l'introduction d'un bruit sur les sorties de simulation permettant la prise en compte des incertitudes de mesure et de

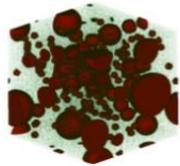
modèle du train, d'autre part la définition d'un problème d'optimisation via l'introduction d'une fonction coût sur le processus stochastique de sortie. La méthode permet de déclencher une maintenance lorsque les paramètres sortent du domaine admissible.

### Session thématique "Interaction fluide-structure"

Cette session a rassemblé 6 conférences réparties en 2 chapitres. L'exposé [Modélisation éléments finis non-linéaire de réservoirs élastiques soumis à une charge siveuse hydrostatique](#) de **C. Hoareau, J.-F. Deü** (LMSSC-Paris) développe une modélisation éléments finis non-linéaire quasi-statique d'un réservoir flexible soumis à des forces hydrostatiques dues à la présence d'un liquide interne incompressible non visqueux afin d'évaluer la précontrainte avant un calcul vibratoire. Ce problème non-linéaire est résolu grâce à une méthode itérative de type Newton-Raphson, sans maillage du fluide. Une attention particulière est portée à la discrétisation spatiale de la structure et de la surface mouillée. Deux méthodes sont envisagées : une stratégie de remaillage et une stratégie de découpage des éléments par une méthode de ligne de niveau.

### Session thématique "Approches multi-échelles et homogénéisation"

Cette session a rassemblé 7 conférences réparties en 2 chapitres. L'exposé [Un schéma de calcul multi-échelles de type Éléments Finis au carré pour la simulation de combustibles nucléaires hétérogènes](#) de **I. Ramière, R. Masson, B. Michel, S. Bernaud** (CEA/DEN/DEC/SESC/LSC) propose de coupler deux échelles de modélisation dans un même schéma de calcul (avec la plateforme PLEIADES<sup>65</sup>) afin de pouvoir



obtenir des informations moyennées ou éventuellement complètes sur l'état mécanique local de la microstructure lors d'un calcul macroscopique à l'échelle d'un crayon combustible sans temps de calcul prohibitifs. C'est un algorithme de type EF<sup>2</sup> qui permet d'accéder à toutes les

informations locales dans la microstructure. Les perspectives de développement concernent la prise en compte de la fissuration dans l'algorithme multi-échelles et la comparaison de l'approche avec une approche de type réduction de modèles comme la méthode par champs de transformation non uniforme.

### Prix CSMA

Encore une tradition à la fois utile et sympathique. Le CSMA (à l'instar de la SMAI/GAMNI) décerne tous les ans depuis 2005 deux prix pour récompenser les meilleures thèses soutenues l'année précédente. L'évaluation prend en compte la qualité scientifique, le caractère original et innovant pour le calcul des structures, la qualité (pas forcément le nombre) des publications issues du travail, les applications potentielles ou réalisées ; elles sont le plus souvent rédigées en anglais. Le jury est composé de : **P. Breikopf** (Roberval-Compiègne), **E. Cueto** (Espagne), **E. Feulvarch** (LTDS-Saint-Etienne), **I. Iordanoff** (I2M-Bordeaux), **L. Jason** (IMSIA-Saclay), **D. Ryckelynck** (CdM-Evry), **H. Shakourzadeh** (ALTAIR), **J. Yvonnet** (MSME-Marne-la-Vallée) et **H. Zahrouni** (LEM3-Metz). Comme tous les deux ans, ce sont cette année les meilleures des thèses soutenues en 2016 et 2015 qui sont présentées en séance. Trois des quatre jeunes chercheurs (l'autre est en Chine) ont donc eu l'occasion de présenter leurs travaux devant l'ensemble de la communauté avant de se voir remettre leur juste récompense : une tablette offerte par ALTAIR et un chèque de 1 500 € chacun.

### Thèses soutenues en 2016

Pour les thèses soutenues en 2016, le jury a reçu 13 candidatures. Les deux vainqueurs sont **A. Cattabiani**, actuellement en stage post-doctoral au CERN, pour un travail intitulé [Simulation de la réponse en basse et moyenne-fréquence de choc par une approche en fréquence](#)<sup>66</sup> (04-03-2016) sous la direction de **P. Ladevèze** et **H. Riou** (LMT-Paris Saclay), et **M. Shakoov**, actuellement en stage post-doctoral à

NorthWestern University, pour [Modélisation numérique tridimensionnelle des mécanismes de rupture ductile à l'échelle microscopique](#)<sup>67</sup> (04-11-2016) sous la direction de **P.-O. Bouchard** et **M. Bernacki** (CEMEF) – en image, sa très originale page de remerciements. C'est un résultat du projet DIGIMU qui vient de recevoir l'un des trophées de la simulation numérique<sup>68</sup>.

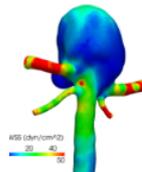


C'est ce dernier qui viendra en juillet 2017 pour participer au prix de thèse ECCOMAS 2017

Cette compétition rassemblait 18 participants venant de 9 pays. Deux prix (structures et fluides) ont été décernés : **R.-O. Ortigosa** (Grande Bretagne) pour [On a new variational and computational framework for polyconvex nonlinear continuum mechanics and convex multi-variable nonlinear electro-elasticity](#) (30-03-2016) et **D.-S. Guignard** (Suisse) pour [A posteriori error estimation for partial differential equations with random input data](#) (02-11-2016).

### Thèses soutenues en 2015

Ces deux lauréats succèdent (thèses soutenues en 2015<sup>69</sup>) à **T.-T. Nguyen** pour [Modeling of complex microcracking in cement based materials by combining numerical simulations based on a phase-field method and experimental 3D imaging](#)<sup>70</sup> (05-11-2015), sous la direction de **J. Yvonnet** (MSME-Marne-la-Vallée), **M. Bornert** et **C. Château** (Navier-Marne-la-Vallée) et à **L. Xia** pour [Towards Optimal Design of Multiscale Nonlinear Structures. Reduced-Order Modeling Approaches](#)<sup>71</sup> (25-11-2015) sous la direction de **P. Breikopf** (Roberval-Compiègne) distingués pour leurs thèses (parmi 26 candidats).



**L. Xia** avait participé au prix de thèse ECCOMAS 2016. Cette compétition rassemblait 17 participants venant de 9 pays. Deux prix (structures et fluides) y ont été décernés : **U. Rasthofer** (Allemagne) pour [Computational Multiscale Methods for Turbulent Single and Two-Phase Flows](#) (13-01-2015) et **F. Negri** (Suisse) pour [Efficient Reduction Techniques for the Simulation and Optimization of Parametrized Systems: Analysis and Applications](#) (30-10-2015).

Pour représenter CSMA au 6<sup>th</sup> PhD ECCOMAS Olympiad, qui se tient parallèlement au Congrès ECCOMAS 2016 (Crète), le jury a désigné **Jérémy Bleyer**<sup>72</sup>, pour ses travaux [Méthodes numériques pour le calcul à la rupture des structures de génie civil](#)<sup>73</sup> (17-07-2015) thèse effectuée sous la direction de **P. de Buhan** (Navier-Marne-la-Vallée).

### CFM2017

Signalons qu'un autre prix (le prix Paul Germain) de la meilleure thèse<sup>74</sup> est décerné lors du prochain Congrès Français de Mécanique<sup>75</sup> à Lille, du 28 août au 1<sup>er</sup> septembre 2017. A cette occasion, le prix Jean Mandel<sup>76</sup> qui désignera le successeur (peut-être était-il parmi les participants !) de **N. Auffray** (MSME-Marne-la-Vallée) et **R. Quey** (LGF-Saint-Etienne) sera également attribué<sup>77</sup>.

Le fil conducteur de cette 23<sup>e</sup> édition sera les Transports qui recouvre un très large champ des domaines de la Mécanique. Un symposium commun Industrie-Recherche, organisé par **A. Boukamel** (IRT Railenium<sup>78</sup>), **E. Markiewicz** (LAMIH-Valenciennes), **A. Merlen** (Université Lille) sera consacré à cette thématique.

### Que sont-ils devenus ?

Et si l'on s'intéressait au devenir des brillants ex-prix de thèse ! le site du CSMA<sup>79</sup> nous permet de remonter très facilement le temps, ensuite la recherche peut être plus compliquée !

2005 : **E. Capiez-Lernout**<sup>80</sup> est Maître de Conférences à l'UTM Génie Civil de l'Université Paris-Est et chercheuse au MSME & **A. Suffis** est chef de projet chez Airbus Helicopters.

2006 : **F. Massa**<sup>81</sup> est Professeur Associé à l'Université de Valenciennes et chercheur au LAMIH & **J. Réthoré** – médaille de bronze CNRS 2011 et prix Jean Mandel 2011 – est chercheur au GEM.

2007 : **A. Bastier** (*help me!*) & **G. Legrain**<sup>82</sup> est Maître de Conférences à l'ECN et chercheur au GEM.

2008 : **R. Cottreau**<sup>83</sup> est chercheur à MSSMat & **L. Chamoin**<sup>84</sup> est Professeur des Universités et chercheur au LMT.

2011 : **V.-A. Yastrebov**<sup>85</sup> est chercheur au CdM & **F. Guinot** est Ingénieur de Recherche chez Thales Alenia Space.

2013 : **L. Boucinha** est Ingénieur de Recherche chez ANSYS France & **M. Jebahi** est Professeur Associé à Arts et Métiers ParisTech et chercheur au LEM3.

2014 : **R. Bouclier**<sup>86</sup> est Maître de Conférences à l'INSA Toulouse et chercheur à l'IMT & **N. Spillane**<sup>87</sup> est chercheuse au CMAP

2015 : **T.-T. Nguyen** est Chercheur à l'Université de Luxembourg après un post-doc au LaMCoS & **L. Xia** est "*assistant professor*" à Huazhong University of Science and Technology à Wuhan après un post-doc à MSME.

## Session Logiciels

Une bonne douzaine de logiciels ont été présentés lors d'une soirée toujours survoltée : dans une salle de 200 m<sup>2</sup> étaient rassemblés les ordinateurs, les moniteurs et la plupart des congressistes. Dans cette chaude ambiance, on a ainsi pu voir les codes industriels et les codes de recherches qui viennent régulièrement, mais aussi des petits outils présentant des développements innovants qui seront bientôt utilisés dans l'industrie : ALTAIR<sup>88</sup>, CAST3M<sup>89</sup>, GMSH<sup>90</sup>, LMGC90<sup>91</sup>, MFRONT<sup>92</sup>, SALOME-MECA<sup>93</sup>, SIMULIA<sup>94</sup>, STRAINS<sup>95</sup>, ZEBULON<sup>96</sup>. Ceux-là même, qu'ils reviennent à chaque fois ou viennent pour la première, ont mis en valeur des nouveautés ou améliorations à voir sur leurs sites internet respectifs.

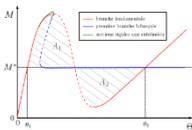
## Session Posters

Cette session présentée par **P. Le Tallec** (LMS-Palaiseau), est découpée, cette année, en trois sections :

1. Modélisation multiphysique avec 18 posters,
2. Schémas numériques pour la multiphysique avec 8 posters,
3. Statique des structures avec 9 posters.

Cette session permet de communiquer sur des travaux d'une autre manière : les vingt minutes d'une présentation en salle sont remplacées par deux heures non-stop, durant lesquelles le chercheur répond aux questions d'un public averti et intéressé. Si la plupart des posters ont une finalité industrielle, quelques-uns mettent explicitement des industriels parmi les co-auteurs. On peut citer : AIRBUS D&S, ANSYS<sup>97</sup>, AREVA, SAFRAN, EDF, THALES. D'autres affichent des collaborations avec des institutions étrangères : Barcelone, Karlsruhe, Lausanne.

Le jury et l'assemblée ont parcouru la totalité de la trentaine de posters en questionnant, admirant, réfléchissant, comparant avant de décerner les 3 prix à **E. Psarra** (*doctorante*), **K. Danas**<sup>98</sup>, **L. Bodelot** (LMS-Palaiseau) pour [Instability of MRE film – substrate block under magneto-mechanical loadings](#) pour le premier thème, à **C. Bahbah** (*doctorante*), **Y. Mesri**, **E. Hachem**, **R. Valette**, **E. Massoni** (CEMEF-Sophia) pour [Éléments finis adaptatifs pour la simulation des phénomènes interfaciaux avec changement de phase](#) pour le deuxième thème, et à **M. Martin** (*doctorant*), **J. Ducame**, **F. Guinot** (THALES), **S. Bourgeois**, **B. Cochelin** (LMA-Marseille) pour [Modèle de poutre à section flexible pour le comportement des mètres rubans : aspects numériques liés à la non-convexité de l'énergie de déformation](#) pour le troisième thème.



## Aspect sociétal

Cela fait partie intégrante du congrès et contribue largement au charme et à la convivialité que tout le monde apprécie à chaque édition : les soirées studieuses (lundi, conférence de S. Candel et débat sur le HPC - les équipements existent, les applications restent rares en mécanique des structures hors explicite -, mardi, assemblée générale du CSMA, mercredi, session logiciel et jeudi, le grand banquet), le résidentiel avec souvent la découverte d'un nouveau voisin de chambre, les cocktails d'accueil et de conclusion à une heure vespérale et douce, le banquet et son bruit de fond, ses remerciements en tout genre, l'excursion à l'île de Porquerolles au début de laquelle le bateau est le lieu des discussions postprandiales, de nouvelles activités mercuriales postméridiennes (pétanque, volley-ball, tir à l'arc) autant d'ingrédients "annexes ou périphériques" sans lesquels Giens ne serait pas Giens ! favorisant les échanges amicaux et studieux qui se prolongent parfois fort tard autour d'un pot réunissant professeurs et leurs épigones.

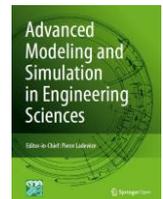
## Perspectives

### Colloque 2019

Le prochain colloque CSMA aura lieu du 13 au 17 mai 2019 à Giens. Son organisation sera prise en charge par le LEM3 de Metz : une première je crois, pour l'Est de la France. Le CSMA junior sera organisé les 12 et 13 mai.

## Journal AMSES

Le CSMA a lancé en juin 2012 une revue internationale, AMSES<sup>99</sup>, "*Advanced Modeling and Simulation in Engineering Sciences*". Le premier article est paru en janvier 2014. Cette revue scientifique à comité de lecture, publication rapide et en accès libre, est éditée par Springer et très fortement soutenue par le CSMA. Elle se place au carrefour de la modélisation et de la simulation, sans exclure le dialogue avec les essais, essentiel pour la modélisation, la caractérisation et la validation, mais aussi certainement avec des disciplines connexes. Afin de satisfaire l'ambition justement affichée par le comité éditorial – devenir un des journaux de référence en mécanique numérique – il est certain que les congrès tels que Giens, CFRAC et DataBEST, et d'autres à venir, sont un vivier important qui permettra d'accroître rapidement le nombre de publications (presque quatre-vingt-dix<sup>100</sup> articles en 36 mois dont beaucoup sont issus de Giens), d'accélérer sa reconnaissance par le CNU et donc de se rapprocher de l'indexation<sup>101</sup>.



## En Conclusion

Le colloque de "Giens" est un événement depuis (et pour) longtemps incontournable pour montrer le dynamisme de la recherche en mécanique numérique (et cette année avec un bel effort vers la mécanique expérimentale) en rassemblant les jeunes pousses, les leaders scientifiques de la communauté et l'industrie. Car c'est bien l'applicatif, même s'il se cache souvent derrière des présentations plus fondamentales, qui pousse la recherche et qui supporte une importante partie des sujets traités à Giens. Ces applicatifs devraient permettre aux chercheurs en mécanique de s'impliquer davantage dans de la communication grand public ce qui ne serait pas pour déplaire à la direction de l'INSIS<sup>102</sup> d'autant que cet objectif : « insister sur le volet communication de la mécanique numérique en montrant des applications grand public qui rassurent », figure dans le livre blanc de la mécanique<sup>103</sup>. Gageons que d'ici WCCM 2020, toutes ces recherches qui font progresser l'industrie, feront autant rêver que d'autres progrès scientifiques. Il manque sans doute de faire savoir le savoir-faire.



- <sup>1</sup> [Computational Structural Mechanics Association](#)
- <sup>2</sup> [Christian Cornuault](#) sur le blog Sciences de l'Ingénieur et Simulation
- <sup>3</sup> [New Challenges in Computational Mechanics](#)
- <sup>4</sup> [Promotion du 27 mars 2016](#)
- <sup>5</sup> Éditions précédentes : Saragosse (12-15 mars 2013), Biarritz (2-4 février 2015)
- <sup>6</sup> [Sociedad Española de Métodos Numéricos en Ingeniería](#)
- <sup>7</sup> [Numerical techniques for nowadays highly computationally demanding challenges: meshless, MOR and beyond](#)
- <sup>8</sup> [Diffuse Element Method](#) (lien en anglais !)
- <sup>9</sup> [ESI Group](#)
- <sup>10</sup> [DataBEST 2017](#)
- <sup>11</sup> [NAFEMS France](#)
- <sup>12</sup> [Honoris causa ECN](#)
- <sup>13</sup> **C. Farhat** sera fait [Docteur Honoris Causa de l'École Normale Supérieure Paris-Saclay](#) le 5 octobre 2017
- <sup>14</sup> Éditions précédentes : Nantes (11-13 juin 2007) - [1<sup>er</sup> CFRAC](#); Barcelone (6-8 juin 2011) - [2<sup>e</sup> CFRAC](#); Prague (5-7 juin 2013) - [3<sup>e</sup> CFRAC](#); Paris Saclay (3-5 juin 2015) - [4<sup>e</sup> CFRAC](#)
- <sup>15</sup> [5<sup>e</sup> CFRAC 2017](#)
- <sup>16</sup> Éditions précédentes : 24-27 avril 2012 – Aveiro (Portugal) ; [1<sup>er</sup> YIC](#), 2-6 septembre 2013 – Bordeaux ; [2<sup>e</sup> YIC](#), 20-23 juillet 2015 – Aix-la-Chapelle ; [3<sup>e</sup> YIC](#)
- <sup>17</sup> [4<sup>e</sup> ECCOMAS Young Investigators Conference](#)
- <sup>18</sup> Éditions précédentes : 16-18 novembre 2011 – Paris Saclay ; 3-6 novembre 2013 – Blois ; 4-6 novembre 2015 – Paris Saclay
- <sup>19</sup> [MORTech: Reduced Basis, POD and PGD, Model Reduction Techniques](#)
- <sup>20</sup> Venise 2008, Sidney 2010, Sao Paulo 2012, Barcelone 2014, Séoul 2016, New York 2018
- <sup>21</sup> [ECCM 2010](#)
- <sup>22</sup> Pierre-Augustin Caron de Beaumarchais (1732-1799) dans le Barbier de Séville ou la Précaution inutile (A. I Sc. 6)
- <sup>23</sup> [Hackathon](#)
- <sup>24</sup> [Python](#)
- <sup>25</sup> [Code Paraview](#)
- <sup>26</sup> [Code : SDTOOLS](#)
- <sup>27</sup> [Code : OpenBEM](#)
- <sup>28</sup> [SINAPS@](#) : projet ANR
- <sup>29</sup> [Sylvie Feld-Payet sur Youtube](#)
- <sup>30</sup> [Bibliothèque MUMPS](#)
- <sup>31</sup> [VERTEX](#) : projet ANR MatetPro 2012
- <sup>32</sup> [Journal d'un alpiniste](#)
- <sup>33</sup> [RODIN](#) : projet FUI13
- <sup>34</sup> [Projet SOFLA](#) : **S**olutions pour la **F**abrication **I**ndustrielle **A**dditive métallique
- <sup>35</sup> [Sébastien Candel](#)
- <sup>36</sup> CFD : Computational Flame Dynamics
- <sup>37</sup> [Les simulations "frontières" en mécanique des solides et des fluides](#)
- <sup>38</sup> [CERFACS](#)
- <sup>39</sup> [Le CERFACS a 30 ans](#)
- <sup>40</sup> [Coria](#)
- <sup>41</sup> [EM2C](#)
- <sup>42</sup> [MACENA](#) : Projet ANR
- <sup>43</sup> [Award Sergio Conti](#)
- <sup>44</sup> [Professeur Sinou](#)
- <sup>45</sup> [ACOUFREN](#) : projet ADEME
- <sup>46</sup> [François Hild](#), médaille d'argent du CNRS 2017 sur le blog Sciences de l'Ingénieur et Simulation
- <sup>47</sup> Eikologie : néologisme du grec eikon (image) et logos (discours)
- <sup>48</sup> [Agence Nationale Recherche](#)
- <sup>49</sup> [Fonds Unique Interministériel](#)
- <sup>50</sup> [SICODYN](#) : projet FUI12
- <sup>51</sup> Georg Wilhelm Christian Caspar Duffing (1861-1944) : ingénieur et savant allemand (*Erzwungene Schwingungen bei veränderlicher Eigenfrequenz und ihre technische Bedeutung* – 1918)
- <sup>52</sup> **S. Calloch** (IRDL-Brest) : De la statistique de la mesure à celle des matériaux (03-07-2017 – Paris Saclay)
- <sup>53</sup> **N. Moes** (GeM-Nantes) dans [la Tête au Carré](#) (3 octobre 2014)
- <sup>54</sup> [Code : ANANAS](#)
- <sup>55</sup> [Sylvie Pommier](#)
- <sup>56</sup> [Code Multifil](#)
- <sup>57</sup> [Projet JOIN'EM](#)
- <sup>58</sup> [Anniversaire Phiméca](#)
- <sup>59</sup> [4<sup>e</sup> Journée conception robuste](#)
- <sup>60</sup> [I2TC](#) : projet FUI17
- <sup>61</sup> [L'amour vache de Michèle Bodo](#)
- <sup>62</sup> [HUByx](#)
- <sup>63</sup> [ICARE](#) : Projet ANR
- <sup>64</sup> Depuis le 28 juin 2017 on doit dire [Naval Group](#)
- <sup>65</sup> [Plateforme : PLEIADIES](#)
- <sup>66</sup> Thèse Alessandro Cattabiani : Simulation of low- and mid-frequency response of shocks with a frequency approach (en anglais)
- <sup>67</sup> Thèse Modesar Shakoor : Three-dimensional numerical modeling of ductile fracture mechanisms at the microscale (en anglais)
- <sup>68</sup> [DIGIMU](#) : [trophée de la simulation numérique 2017](#), catégorie collaboration
- <sup>69</sup> Voir [IACM Expressions](#) (39/16 p. 22)
- <sup>70</sup> Thèse Thanh Tung Nguyen (en anglais)
- <sup>71</sup> Thèse Liang Xia (en anglais)
- <sup>72</sup> Finaliste du prix Paul Germain 2017
- <sup>73</sup> Thèse Jérémy Bleyer : Numerical methods for the yield design of civil engineering structures (en anglais)
- <sup>74</sup> Lauréat prix Paul Germain 2017 : **S. Brach** (IJLRDA-Paris) « Strength properties of nanoporous materials : theoretical analyses and molecular dynamics computations » (29-11-2016)
- <sup>75</sup> [CFM 2017](#)
- <sup>76</sup> [Prix Jean Mandel 2017](#)
- <sup>77</sup> Lauréats prix Jean Mandel 2017 : **S. Brisard** (Navier-Marne-la-Vallée) et **T. Morgeneyer** (CdM-Evry)
- <sup>78</sup> [IRT Railenium](#)
- <sup>79</sup> [Les prix de thèses](#)
- <sup>80</sup> [Evangéline Capiez-Lernout](#)
- <sup>81</sup> [Franck Massa](#)
- <sup>82</sup> [Grégory Legrain](#) : HDR du 28/09/2017
- <sup>83</sup> [Régis Cottereau](#)
- <sup>84</sup> [Ludovic Chamoïn](#)
- <sup>85</sup> [Vladislav A. Yastrebov](#)
- <sup>86</sup> [Robin Bouclier](#)
- <sup>87</sup> [Nicole Spillane](#)
- <sup>88</sup> [Code ALTAIR](#)
- <sup>89</sup> [Code : CAST3M](#)
- <sup>90</sup> [Code : GMSH](#)
- <sup>91</sup> [Code : LMGC90](#)
- <sup>92</sup> [Code : MFRONT](#)
- <sup>93</sup> [Code : SALOME-MECA](#)
- <sup>94</sup> [Code : SIMULIA](#)
- <sup>95</sup> [Code : STRAINS, Trophée 2017 de la simulation numérique](#), catégorie start-up
- <sup>96</sup> [Code : ZEBULON](#)
- <sup>97</sup> [Code : ANSYS](#)
- <sup>98</sup> [Kostas Danas](#), médaille de bronze 2017 du CNRS
- <sup>99</sup> [Revue : Advanced Modeling and Simulation in Engineering Sciences](#)
- <sup>100</sup> 1 – 2017, 33 – 2016, 32 – 2015, 18 – 2014 (lecture du 1<sup>er</sup> juin 2017)
- <sup>101</sup> [Facteur d'impact](#)
- <sup>102</sup> [Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes](#)
- <sup>103</sup> [Livre Blanc de la Mécanique](#) (chap. 3.14.9 p 195)