



Groupe scientifique et technique N° 15

Simulation Numérique du Soudage

Lettre n°001-2011

La lettre SNS est diffusée en fonction de l'actualité. Les précédents envois sont archivés sur le site de l'AFM <http://www.afm.asso.fr/>. Cette lettre constitue une analyse des manifestations, des formations et des évolutions récentes dans le domaine de la modélisation et la simulation du soudage. Elle résulte du travail de synthèse et de veille des membres du bureau du GST Simulation Numérique et Modélisation du Soudage. Elle ne constitue en aucun cas une analyse exhaustive. De plus, les membres du bureau déclinent toute responsabilité de l'exploitation de cette lettre.

Si vous souhaitez ne plus recevoir la lettre par courriel envoyer un courriel à secretariat@afm.asso.fr avec en OBJET "Unsubscribed lettre GST SNS".

Pour toutes informations complémentaires n'hésitez pas à contacter secretariat@afm.asso.fr.

1 Groupement Scientifique et Technique Simulation Numérique du Soudage

La Commission Simulation Numérique du Soudage (SNS), mise en place en 2002 au sein de l'AFM, a évolué en un Groupe Scientifique et Technique afin d'accompagner l'essor continu de la SNS en favorisant les liens et les échanges entre les différents acteurs industriels et universitaires. Ces échanges d'informations permettent d'aider à définir les actions nécessaires à une caractérisation globale du soudage afin de simuler numériquement le comportement d'une structure soudée (distorsion, contraintes résiduelles, tenue en fatigue, endommagement), tout en s'appuyant sur des cas-tests de validation (comparaisons calcul/essai).

Cette manifestation annuelle fait suite aux séminaires de :

- 2003 «Prédiction des distorsions et composants soudés : simulations et validations expérimentales »,
- 2004 «Simulation numérique du soudage multipasses : contraintes résiduelles, effets de revenu, maîtrise du chanfrein, méthodes simplifiées »
- 2005 «Impact de la modélisation des matériaux en simulation numérique du soudage»,
- 2006 «couplage procédé pièce : apport de chaleur, forme du cordon, soudabilité...»,
- 2007 «Traitement industriel des distorsions induites par le soudage ».
- 2008 «Comment valider la simulation numérique du soudage ? »
- 2009 «Validation de la simulation numérique du soudage : comment choisir les méthodes de mesure ? »
- 2010 «La fissuration des soudures »
- 2011 Modélisation et simulation pour la prévention de la ruine des structures soudées

2 Manifestations-événements

2.1 Manifestations à venir

On trouvera dans les manifestations reportées ci-dessous de la modélisation et de la simulation du soudage, avec une extension aux congrès connexes où l'on parle des outils numériques, des mesures de température et des contraintes résiduelles

Titre	Organisateur	Date & lieu	Centre intérêt	Référence
2011-2012				
Journée technique Simulation du soudage	Institut de soudure	6 Décembre 2011 Villepinte (France)	Simulation du soudage	Site de l'IS
FSWP'2012, 2nd International Conference on Friction Stir Welding and Processing	LTDS/Enise	26-27 janvier 2012 - Saint-Etienne (France)	Conférence internationale sur les technologies de soudage FSW	http://www.fswp2012.org/
10ème Séminaire du Groupement Scientifique et Technique « Simulation Numérique du Soudage »	GST N°15 AFM	22 Mars 2012 Paris (France)	Simulation Numérique du Soudage : 10 ans de progrès en France ».	sylvie.box@afm.asso.fr
10th Welding and repair technology for Power Plants	EPRI	26-29 Juin 2012 Floride (USA)	Réparation par soudage	sburnett@epri.com
65 ème IIW Annual Assembly	IIW	8-13 Juillet 2012 Denver (USA)	Généraliste en soudage	www.iw-iis.org
10 th international seminar Numerical analysis of weldability	IIW	24-26 Septembre 2012 (Graz) Austria	Modélisation du soudage	http://iws.tugraz.at
2013				
11ème colloque Arc électrique	AEE	Mars 2013 Toulouse (France)	Modélisation Arc électrique	http://association-arc-electrique.org/fr/actualites.html
11ème Séminaire du Groupement Scientifique et Technique « Simulation Numérique du Soudage »	GST N°15 AFM	Mars 2013 Villepinte (France)	Simulation du soudage	sylvie.box@afm.asso.fr
66 ème IIW Annual Assembly	IIW	11-17 September 2013, Essen (Allemagne)	Généraliste en soudage	www.iw-iis.org

2.2 Manifestations passées

Les membres du bureau vous proposent une synthèse non exhaustive de congrès passés d'intérêt pour la SNS et les thèmes connexes.

- **8^{ème} Séminaire du Groupement Scientifique et Technique n°15 « Simulation Numérique du Soudage**

Le séminaire avait pour objectif la modélisation et la simulation de la fissuration dans les soudures dont les principaux mécanismes ont été présentés en introduction (J.M. Carpreau EDF R&D). Les prestations étaient principalement concentrées sur la fissuration à chaud (D Ayrault CEA, A. Niel LMGC Montpellier, F. Tancret LGMPA Nantes, C. Touvrey CEA DAM) avec en particulier une intervention de J.M. Drezet (EPFL) qui a présenté le modèle RDG et son extension au niveau granulaire. De plus, nous signalons l'intervention d'E. Giraud (SIMAP) qui a présenté des travaux intéressants d'observation par microtomographie X de la présence de fissures dans la zone fondue. Les présentations sont accessibles sur le site de l'AFM dans l'espace consacré au GST n°15. De plus, il est à noter qu'un numéro spécial de la revue Matériaux et Techniques reprend les principales contributions de ce séminaire (M&T, Vol. 98 N°4 2010)

- **10^{ème} Colloque National en Calcul de Structures 9-13 Mai 2011, Giens (83)**

Ce colloque rassemble théoriciens, numériques, développeurs de logiciels et ingénieurs pour faire le point sur les grands axes et les thèmes nouveaux dans le domaine du calcul de structures. En parallèle des sessions générales, un mini-symposium sur la Simulation Numérique et Optimisation de Procédés a été organisé. Deux contributions abordant la modélisation du soudage ont été proposées lors de ce colloque. La première sur la modélisation de la fissuration à chaud a été proposée par le LaMSID et le CEMEF. Elle traite d'un modèle thermomécanique sous Code_Aster afin de déterminer la déformation plastique cumulée en zone de transition pâteuse. Les perspectives d'évolution sont d'une part l'introduction des éléments cohésifs pour modéliser l'ouverture de la fissure et d'autre part une détermination plus fine des lois de comportement en zone de transition pâteuse. La seconde contribution proposée par l'UBS et Peugeot a été consacrée au soudage par point et plus précisément au rôle des conditions interfaciales (usure de l'électrode sur le développement du noyau. Un modèle bidimensionnel axisymétrique intégrant les couplages entre les phénomènes Electro-Thermiques, et Métallurgique (ETM) dans les matériaux et aux interfaces est mis en oeuvre à l'aide du logiciel aux éléments finis Sysweld® pour simuler numériquement la phase de soudage en configuration électrode usée. Dans la configuration électrode non usée, le modèle ETM est couplé à une analyse mécanique (ETMM) qui permet de calculer en fonction du temps les évolutions des aires de contact mécanique qui sont assimilées aux surfaces apparentes de contact électrothermique. Les modèles ETM et ETMM et les hypothèses associées ont permis de retrouver respectivement les résultats expérimentaux sur des embouts usagés et sur configuration électrodes neuves à face active convexe.

Articles disponibles = <http://CSMA2011.lmgc.unis-montp2.fr>

- **10^{ème} colloque Arc électrique 14 et 15 Mars 2011 Limoges**

Le Colloque sur les Arcs Electriques (CAE) s'adresse aux universitaires et aux ingénieurs qui travaillent dans le domaine des arcs et des décharges électriques et qui en développent les applications industrielles comme par exemple le soudage. Deux contributions abordant la modélisation du soudage ont été proposées lors de ce colloque. La première de l'équipe du GREMI à Orléans traite de « l'étude de la caractéristique tension courant (U, I) d'un arc TIG et la seconde de l'équipe de Toulouse aborde la modélisation des « Arcs libres 3D sous Code_Saturne ». Les travaux expérimentaux et le modèle développé par le GREMI montrent que pour $I < I_{min}$, les phénomènes de conduction thermique sont

prépondérants, tandis que pour $I > I_{min}$ les pertes d'énergie par voie radiative deviennent de toute première importance. Pour de faibles courants, la température de l'arc varie peu. Lorsque l'on augmente l'intensité du courant, le rayon de la décharge augmente. Il arrive un moment où le rayon de la colonne se « sature ». Dès ce moment, lorsqu'on augmente l'intensité du courant, la température de la colonne augmente peu car le surplus d'énergie reçu est perdu sous forme de rayonnement. Ainsi, la conductivité augmentant très faiblement, il est nécessaire d'augmenter le champ électrique pour faire passer plus de courant. Les premiers travaux de Toulouse ont permis de mettre en place des méthodes et des outils pour l'utilisation du Code_Saturne. Les résultats de modélisation d'arc sont compatibles avec ceux de la littérature. Ces travaux constituent une première étape vers un modèle plus complet qui prendrait en compte des vapeurs métalliques, l'interaction de la colonne d'arc avec la surface anodique et le bain métallique. Un travail particulier sera mené sur les phénomènes compressibles. De plus, il est à signaler des contributions plus axées sur les arcs électriques dont les résultats intéresseront les équipes travaillant sur la modélisation multiphysique du soudage TIG, à titre d'exemple nous pouvons citer :

*Vapeur métallique et pied d'arc cathodique

Lefort André(1,2) ; Abbaoui M'Hammed(1,2), (1) Clermont Université, Université d'Auvergne, LAEPT, BP 10448, F-63000 CLERMONTFERRAND (2) Clermont Université, Université Blaise Pascal, LAEPT, BP 10448, F-63000 CLERMONTFERRAND

*Etude des écarts à l'équilibre thermique dans un plasma d'arc

Z.A. Ranarijaona, J.J. Gonzalez et P. Freton ; Université de Toulouse ; UPS, INPT, CNRS ; LAPLACE (Laboratoire Plasma et Conversion d'Energie UMR 5213) ; 118 route de Narbonne, F-31062 Toulouse cedex 9, France.

*Bilan de puissance sur un arc transféré

Ramanantsoa R. Masquère M., Gonzalez J-J. Université de Toulouse ; UPS, INPT, CNRS ; LAPLACE (Laboratoire Plasma et Conversion, d'Energie UMR 5213) ; 118 route de Narbonne, F-31062 Toulouse cedex 9, France

*Diagnostic des zones périphériques des arcs électriques

Charles de IZARRA Groupe de Recherche Sur l'Energétique des Milieux Ionisés, UMR 6606 CNRS-Université d'Orléans, Antenne de l'UFR Sciences à Bourges, rue Gaston berger, BP 404318028 BOURGES Cedex, France

- **9^{ème} Séminaire du Groupement Scientifique et Technique n°15 « Simulation Numérique du Soudage »**

Le séminaire avait pour objectif la modélisation et la simulation des techniques de parachèvement (exemple travaux du CETIM sur le Martelage) ou de mitigation utilisées afin de prévenir la ruine des structures. Après une introduction sur les techniques de mitigation utilisées dans le nucléaire (J.M. Carpreau EDF R&D), Ph. Gilles d'AREVA a présenté une contribution sur l'efficacité du traitement de détensionnement et EDF sur le billage par ultra-sons. Ensuite, deux contributions de Ph. Bastid du TWI et D. Lawrjaniec de l'IS ont permis de montrer que la maîtrise des cycles thermiques lors d'une opération de soudage permettait de maîtriser les contraintes résiduelles dans les structures. La présentation de F. Corpacce (CEA) montre comment la simulation contribue définir les stratégies opératoires permettant d'éviter les pertes de propriétés mécaniques après soudage d'aciers ODS. NT. Niane (PSA Peugeot Citroën) montre dans son exposé que le chaînage de SNS analyse en fatigue a permis d'identifier l'origine de zones d'amorçage de rupture.

Les présentations sont accessibles sur le site de l'AFM dans l'espace consacré au GST n°15. De plus, il est à noter que la revue Matériaux et technique éditera un numéro spécial sur le thème qui reprendra les principales contributions de ce séminaire.

Articles disponibles sur :

<http://www.afm.asso.fr/GroupeSetCommissions/GroupeScientifiquetTechniques/15SimulationNumeriqueduSoudage/tabid/346/Default.aspx>

- **CFM 2011**

Le 1^{er} colloque "Simulation numérique et modélisation du soudage" réalisé dans le cadre du CFM a comporté 7 présentations et a rassemblé plus de 30 auditeurs.

Les thématiques abordées lors du séminaire ont été très variées: caractérisation des lois de comportement, simulation de la thermique de la Zone Affectée thermiquement, prédiction des distorsions pour l'automobile, simulation du procédé Friction Stir Welding, interprétation d'essai de fissuration à chaud.

Le format 15' de présentation et 5' de questions a permis une bonne dynamique du séminaire, des présentations de bonne qualité scientifique et des discussions intéressantes. Celles-ci ont notamment mis en évidence l'importance de la caractérisation du comportement, de la validation par l'expérience et les problèmes numériques difficiles pour la simulation multiphysiques avec transformation de phase liquide-solide.

Nous recommandons la poursuite de ce séminaire pour le prochain CFM.

3 Thèses

3.1 Thèse en cours

Un certain nombre de thèses se déroulent actuellement autour des problématiques liées au soudage. On y trouvera des travaux d'inclinaison plutôt numériques et/ou expérimentaux.

Titre de la thèse	Labo accueil	Partenaire industriel	Année Début de thèse	Date de soutenance	Contact
Modélisation de la fissuration à froid	EDF R&D ENSTA	EDF	2011	2014	Jean.angles@edf.fr Jean-michel.carpreau@edf.fr
Approche thermomécanique pour la simulation de la fissuration à chaud dans les soudures	CEA-UBS	CEA	2010	2013	olivier.asserin@cea.fr
Modélisation de la fissuration à chaud de l'inconel 600	EDF R&D SIMAP (UMR 5614)	EDF	2010	2013	Jean.angles@edf.fr Jean-michel.carpreau@edf.fr
Modélisation du soudage hybride arc-laser des aciers	CEMEF	ANR SISHYFE	2010		Michel.bellet@mines-paristech.fr
Modélisation des transferts thermiques des plasmas d'arc application au	LaMSID UMR EDF-CNRS- CEA 2832, CORIA, UMR	EDF	2010	2013	Jean.angles@edf.fr Jean-michel.carpreau@edf.fr

Titre de la thèse	Labo accueil	Partenaire industriel	Année Début de thèse	Date de soutenance	Contact
soudage à l'arc des bases fer et nickel	6614				
Modélisation des mouvements du fluide et des transferts thermiques dans les alliages métalliques liquides applications au soudage TIG des aciers inoxydables austénitiques	LaMSID UMR EDF-CNRS-CEA 2832, UMR6591-IUSTI	EDF	2010	2013	Jean.angles@edf.fr Jean-michel.carpreau@edf.fr
Modélisation Thermohydraulique du Bain de soudage	CEA-ENISE-IUSTI	AREVA	2009	2012	olivier.asserin@cea.fr philippe.gilles@areva.com
Soudage par résistance du gainage combustible ODS d'un réacteur nucléaire de 4 ^{ème} génération	CEA-UBS-ICMCB	CEA	2008	2012	olivier.asserin@cea.fr
Mesures des contraintes résiduelles sur des Liaisons BiMétalliques	CEA-UTT	CEA	2008	2012	danielle.ayrault@cea.fr olivier.asserin@cea.fr
Simulation et étude expérimentale des contraintes résiduelles dans les dépôts durs NOREM des matériels de robinetterie	LaMCoS UMR 5259	EDF	2008	2011	Michel.coret@insa-lyon.fr jean-philippe.mathieu@edf.fr

3.2 Thèses soutenues

On recense ici les thèses parues sur la modélisation et la simulation du soudage depuis la lettre précédente. Cette première lettre donne les thèses référencées de 2008 à 2011.

Auteurs	Titre de la thèse	Labo accueil & Partenaire industriel	Date de soutenance	Localisation de la thèse
2008				
Makhlouf Hamide	Modélisation numérique du	CEMEF Aubert et Duval	17-07-2008	http://pastel.archives-ouvertes.fr/

Auteurs	Titre de la thèse	Labo accueil & Partenaire industriel	Date de soutenance	Localisation de la thèse
	soudage à l'arc des aciers	Industeel		
Guilhem. Roux	Prévision des contraintes résiduelles induites par le soudage TIG d'un acier martensitique (X10CrMoVNb9-1)	CEA-LMT Cachan	2008	
Ngoc Thuy Trinh	Sur la modélisation du comportement thermomécanique et métallurgique des aciers. Application au procédé de soudage et de traitements thermiques	Ecole Polytechnique X	16/06/2008	http://tel.archives-ouvertes.fr/index.php
Jean-Pierre Planckaert	Modélisation du soudage MIG/MAG en mode short-arc	CRAN Air liquide		http://tel.archives-ouvertes.fr/index.php
2009				
Jean Wisniewski	Modélisation thermomécanique de la fissuration à chaud en soudage par faisceau d'électrons d'un alliage CuCrZr	CEA-SICMA	13-03-2009	
Michel Brochard	Modèle couplé cathode plasma-pièce en vue de la simulation du procédé de soudage à l'arc TIG	CEA-IUSTI-AREVA	22-01-2009	
2010				
Eliane Giraud	Etude expérimentale et modélisation du comportement mécanique d'un alliage d'aluminium 6061	LaMCoS & SIMAP AREVA	27-10-2010	

Auteurs	Titre de la thèse	Labo accueil & Partenaire industriel	Date de soutenance	Localisation de la thèse
	à l'état Pâteux application à la fissuration à chaud lors du soudage TIG Et FE			
Daniel Maisonnnette	Influences mécaniques et métallurgiques de procédés haute température sur un alliage d'aluminium 6061-T6	LaMCoS & SIMAP-AREVA	05-02-2010	
Emilie Le Guen	Etude du soudage hybride laser-MAG : caractérisation de la géométrie et de l'hydrodynamique du bain de fusion et modélisation 3D	PIMM (Arts& Métier Paris-Tech)	04-11-2010	http://tel.archives-ouvertes.fr/index.php
2011				
Christophe Pradille	Vers une meilleure compréhension et caractérisation du comportement des aciers à très haute température	CEMEF	02/05/2011	http://pastel.archives-ouvertes.fr/
Aurelie Niel	Etude et modélisation du phénomène de fissuration à chaud en soudage à l'arc	Université de Montpellier 2	02-11-2011	
Abderrazak Traidia	Multiphysics modelling and numerical simulation of GTA weld pools???	ENSTA- AREVA		
Julien Chapuis	Une approche pour l'optimisation des opérations	Université de Montpellier 2	09/03/2011	http://tel.archives-ouvertes.fr/index.php

Auteurs	Titre de la thèse	Labo accueil & Partenaire industriel	Date de soutenance	Localisation de la thèse
	de soudage à l'arc			

3.3 Offres de thèses

4 Publications

L'objectif à travers la lecture de la littérature consultée par les membres est d'attirer l'attention du lecteur sur les articles et ou études intéressantes depuis la lettre précédente.

Nota : pour la première lettre les thèses référencées seront celles de 2008 et 2010.

5 Formations - Ecole d'été

6 Projets en cours, Round-Robin, benchmark, Cas-tests

Création d'un nouveau TG (Technical group) dans le cadre réseau européen qui a pour nom NeT (mesure et le calcul des contraintes résiduelles). La signification complète de Net est la suivante : Network on Neutron Techniques Standardization for Structural Integrity - NeT. Ce réseau bénéficie d'un financement européen pour ce qui concerne l'organisation des réunions ainsi que le déplacement et l'hébergement des participants qui viennent des pays de l'Europe de l'est. Son but est de faire avancer les connaissances sur les aciers qui sont utilisés dans l'industrie nucléaire par le partage et la mise en commun de résultats d'études et de mesures. L'objectif de ce nouveau TG est l'étude des contraintes et déformations résiduelles dans une plaque d'Inconel 600 recouverte par trois cordons de soudage.

7 Réseau connexe, autres groupes thématiques

Commission de l'IIW (WG du CIX et SG 212)

8 Appels d'offres ANR, etc