



SUJETS DE STAGE LM2S

CAMPAGNE 2019/2020

Le **LM2S (Laboratoire de Mécanique Système et Simulation)** est un laboratoire CEA du Service d'Etudes Mécaniques et Thermiques (SEMT), unité de compétence de la Direction de l'Energie Nucléaire (DEN) en mécanique. Dans ce cadre, le LM2S est porteur de **compétences en simulation numérique en mécanique des structures**. Il pilote le développement et la maintenance du logiciel Cast3M pour répondre aux besoins des projets du CEA et de leurs partenaires (EdF, Framatome notamment). Il réalise également de la recherche de base et des études avancées en mécanique des structures à l'aide de Cast3M. Les principaux domaines d'expertise du LM2S sont :

- le calcul de structures,
- les méthodes numériques appliquées aux éléments finis,
- le développement d'outils numériques au service de différentes thématiques industrielles, dont les principales sont actuellement la thermomécanique des assemblages combustibles, les structures en béton armé, les géomatériaux.

Dans ce cadre, le LM2S développe, valide et maintient le logiciel Cast3M, et « les outils-métier » associés.

Le présent feuillet regroupe l'ensemble des propositions de stage portées par le LM2S pour la campagne 2019/2020. Les sujets proposés s'adressent aux étudiants d'école d'ingénieurs (stage de fin d'étude) ou formation universitaire (niveau master 2). Chaque proposition est autoportante dans son contenu et peut être communiquée en dehors de l'ensemble. Les sujets de stage sont les suivants :

- **« Modélisation et simulation du comportement mécanique de poutres en béton armé »**
- **« Traitement de la dépendance au maillage pour les calculs de structures composites acier-béton »**
- **« Mise au point et intégration de machine learning au sein d'un calcul par éléments finis d'une structure de réacteur à eau pressurisée »**
- **« Analyse de sensibilité pour le dimensionnement du système de maintien d'un assemblage REP (Réacteur à Eau Pressurisée) »**
- **« Développement d'outils de maillage de partitions de Voronoï pour le calcul de microstructures »**
- **« Implémentation dans Cast3M d'un modèle d'ajout de matière pour des applications d'impression 3D ou de soudage »**
- **« Optimisation topologique d'un composant de liaison détecteur/châssis »**

En souhaitant vivement que les sujets de stage proposés trouvent écho auprès de vos étudiants.



Modélisation et simulation du comportement mécanique de poutres en béton armé

Nom - Prénom du tuteur JASON Ludovic
Tél 01 69 08 56 10
Mail (auquel les candidatures doivent être adressées) ludovic.jason@cea.fr



Essai de flexion sur poutre en béton armé

Les structures en béton armé sont des éléments qui peuvent se fissurer sous l'action de sollicitations mécaniques diverses. Cette fissuration peut avoir des conséquences sur la durabilité de l'ouvrage ou sa capacité à maintenir sa fonction. Ainsi maîtriser la fissuration est un enjeu majeur.

La simulation par des codes éléments finis reste l'outil le plus efficace pour appréhender le comportement fissurant des structures en béton armé. Le choix de la loi de comportement pour le béton, reliant la contrainte à la déformation, est alors un ingrédient clé. Il faut en particulier s'assurer que celle-ci sera capable de reproduire les phénomènes physiques visés. C'est dans ce cadre que se place le sujet de stage proposé.

Il s'agira ici de simuler le comportement mécanique de poutres en béton armé (ruine en flexion et cisaillement) et de comparer les résultats de la simulation à un ensemble de résultats expérimentaux récent. On s'intéressera notamment à la capacité de différentes lois de comportement disponibles dans le code éléments finis Cast3M (<http://www-cast3m.cea.fr/>), à reproduire les réponses expérimentales globales (courbes force – flèche) et locales (faciès de fissuration). Une attention particulière sera également portée à la représentativité de la simulation vis-à-vis des conditions expérimentales (appui, chargement, liaison entre éléments structuraux...).

Le stage pourra se dérouler en plusieurs étapes incluant une prise en main du code éléments finis Cast3M, une mise en données du problème expérimental (proposition d'un maillage, d'un modèle éléments finis et d'une stratégie de post-traitement) et la réalisation de la simulation suivie d'une analyse critique des résultats. Celle-ci pourra déboucher sur une stratégie d'études paramétriques permettant d'améliorer les résultats du calcul.

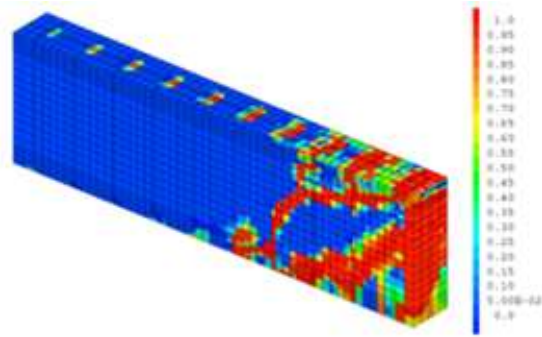
Domaine de spécialité requis	Modélisation
Autres domaines de spécialités, mots clés	Mécanique des structures, génie civil
Moyens mis en œuvre (expériences, méthodes d'analyses, autres...)	Calculs éléments finis (maillage, modèle, post-traitement)
Moyens informatiques mis en œuvre	
- Environnement informatique	Linux (calcul scientifique)
- Langages	Gibiane (langage interprété)
- Logiciels	Cast3M - http://www-cast3m.cea.fr/

Niveau souhaité	Bac + 5	Formation souhaitée	Ingénieur/Master
Durée	4 à 5 mois environ	Possibilité de poursuite en thèse	non



Traitement de la dépendance au maillage pour les calculs de structures composites acier-béton

Nom - Prénom du tuteur JASON Ludovic
Tél 01 69 08 56 10
Mail (auquel les candidatures doivent être adressées) ludovic.jason@cea.fr



Faciès d'endommagement simulé sur une poutre composite en flexion

Les structures en béton armé sont des éléments qui peuvent se fissurer sous l'action de sollicitations mécaniques diverses. Cette fissuration peut avoir des conséquences sur la durabilité de l'ouvrage ou sa capacité à maintenir sa fonction. Ainsi maîtriser la fissuration est un enjeu majeur.

La simulation par des codes éléments finis reste l'outil le plus efficace pour appréhender le comportement fissurant des structures en béton armé. Néanmoins, le recours à des lois de comportement d'endommagement dites « adoucissantes », caractéristiques du béton (diminution de la contrainte à déformation croissante) pose des difficultés : la réponse simulée est dépendante au maillage jusqu'à représenter une rupture sans dissipation d'énergie physiquement irréaliste. Pour remédier à cette difficulté, des techniques numériques existent. C'est dans ce cadre que s'inscrit ce stage.

On s'intéressera ici aux techniques dites de régularisation énergétique qui introduisent la taille de l'élément fini dans la formulation du modèle. Sur la base de développements réalisés dans le cadre d'une thèse sur le comportement de structures composites acier-béton, il s'agira d'évaluer la pertinence d'une régularisation en compression et en cisaillement, d'en comprendre le formalisme et le cas échéant, de proposer des améliorations.

Pour cela, le stage pourra se dérouler en plusieurs étapes incluant une prise en main du code éléments finis Cast3M, la compréhension de la problématique de dépendance au maillage, l'introduction aux développements réalisés dans la thèse et leur application sur des cas tests bien choisis (traction, compression, cisaillement...). A partir de cette première analyse, des améliorations pourront être identifiées, développées puis appliquées y compris à l'échelle de structures sandwich acier-béton réelles (essai « push-out » ou poutres en flexion par exemple).

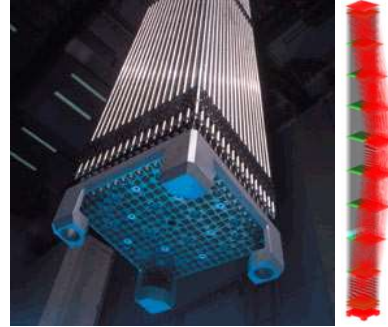
Domaine de spécialité requis	Modélisation
Autres domaines de spécialités, mots clés	Mécanique des structures, génie civil
Moyens mis en œuvre (expériences, méthodes d'analyses, autres...)	Calculs éléments finis (maillage, modèle, post-traitement), développements numériques
Moyens informatiques mis en œuvre	
- Environnement informatique	Linux (calcul scientifique)
- Langages	Gibiane (langage interprété), fortran
- Logiciels	Cast3M - http://www-cast3m.cea.fr/

Niveau souhaité	Bac + 5	Formation souhaitée	Ingénieur/Master
Durée	4 à 5 mois environ	Possibilité de poursuite en thèse	non



Mise au point et intégration de machine learning au sein d'un calcul par éléments finis d'une structure de réacteur à eau pressurisée

Nom - Prénom du tuteur LETURCQ Bertrand
Tél 01.69.08.93.80
Mail (auquel les candidatures doivent être adressées) Bertrand.leturcq@cea.fr



Assemblage combustible et son modèle éléments finis en flexion

Le cœur des Réacteurs à Eau sous Pression (REP), sujet aux fissions nucléaires productrices de chaleur, est refroidi en régime nominal grâce à un écoulement d'eau qui génère des efforts importants sur les assemblages combustibles. La déformation induite par ces efforts est préjudiciable pour la sûreté et le coût d'exploitation. Lors des dernières années, le CEA a mis au point un modèle numérique capable de reproduire fidèlement le comportement mécanique d'un cœur REP. Au stade actuel du développement, on cherche à réduire sa durée d'exécution par l'adoption d'un métamodèle de type réseau de neurones MLP se substituant à une partie du modèle détaillé. Il s'agit d'une part de reproduire le comportement hystérétique complexe d'une liaison mécanique dans son espace paramétrique avec une fidélité suffisante et, d'autre part, d'implanter ce métamodèle dans le calcul éléments finis de l'assemblage.

Le premier objectif du stage consiste donc à définir la méthodologie de construction et d'apprentissage du réseau de neurones en se positionnant dans le cadre de fonctionnement d'une simulation aux éléments finis. Pour l'apprentissage, l'évaluation initiale et la génération du RN on s'appuiera sur la plateforme d'incertitude URANIE développée au CEA.

Une seconde phase de vérification de la robustesse sera menée sur un cas test connu.

Enfin le métamodèle de liaison sera dupliqué et intégré à la simulation mécanique de l'assemblage sous Cast3M, puis validé par une méthode à définir, permettant d'estimer la qualité de simulation sur l'ensemble du domaine d'étude.

Le stage se déroulera au Service d'Etudes Mécaniques et Thermiques (SEMT). L'étudiant bénéficiera de l'encadrement d'un ingénieur spécialiste de modélisation numérique en mécanique des structures. Outre ses connaissances de base en mathématiques et mécanique, le candidat devra faire preuve d'autonomie, d'initiative, de rigueur intellectuelle et ne pas être réfractaire à la programmation (C++ pour la plateforme d'incertitude URANIE ; fortran et scripts CAST3M pour la simulation)

Domaine de spécialité requis	Modélisation/simulation numérique
Autres domaines de spécialités, mots clés	Mécanique des structures
Moyens mis en œuvre (expériences, méthodes d'analyses, autres...)	Réseaux de neurones, calculs éléments finis
Moyens informatiques mis en œuvre	
- Environnement informatique	Linux (calcul scientifique)
- Langages	Gibiane (langage interprété) – C++
- Logiciels	Cast3M - http://www-cast3m.cea.fr/ URANIE - sourceforge.net/projects/uranie

Niveau souhaité	Bac + 5	Formation souhaitée	Ingénieur/Master
Durée	5 à 6 mois environ	Possibilité de poursuite en thèse	

Le LM2S est un laboratoire du CEA spécialisé en calcul de structure regroupant des activités de développement logiciel (développement du code éléments finis Cast3M) et d'expertises scientifiques et techniques en direction de la communauté scientifique (académique et industriel)

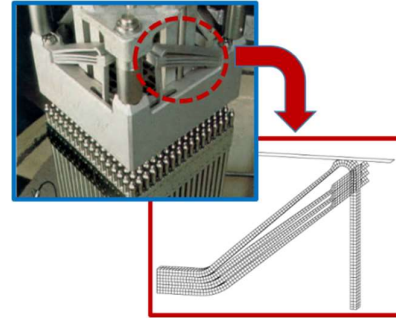


Analyse de sensibilité pour le dimensionnement du système de maintien d'un assemblage REP (Réacteur à Eau Pressurisée)

Nom - Prénom du tuteur Nicolas HOURDEQUIN
Jean-Charles LE PALLEC

Tél 01 69 08 52 17

Mail (auquel les candidatures doivent être adressées) Nicolas.hourdequin@cea.fr



Embout supérieur et système de maintien d'un assemblage REP - modèle détaillé d'un ressort à lames

Le système de maintien des assemblages combustibles dans le cœur d'un Réacteur nucléaire à Eau Pressurisée (REP) est un dispositif mécanique constitué de quatre ressorts à lames disposés en périphérie de la partie haute de l'embout supérieur de l'assemblage. La fonction de ce dispositif est d'une part, de maintenir l'assemblage en appui sur sa base, d'autre part d'accommoder les dilatations thermiques différentielles entre l'assemblage et les structures internes du cœur ainsi que l'allongement de l'assemblage sous irradiation. Toutefois, l'assemblage est une structure élancée susceptible de subir de grandes déformations latérales sous l'action de la compression longitudinale du système de maintien. Par conséquent, la maîtrise de la force de maintien à appliquer sur les assemblages en cœur est critique vis-à-vis de la maîtrise des déformations latérales des assemblages. En outre, du fait des nombreux contacts avec frottement se produisant entre lames des ressorts et entre la lame supérieure de chacun des ressorts et la plaque supérieure, la réponse force-flèche du système de maintien présente un caractère hystérétique.

Sur le plan expérimental, des essais croisés entre Framatome et EDF destiné à mesurer finement l'hystérésis du système de maintien ont montré une dispersion dans les résultats obtenus dans les mêmes conditions expérimentales avec un embout identique sur deux bancs différents. Ceci suggère une compréhension approfondie du système mécanique, avec notamment une analyse de la sensibilité du dispositif expérimental à de petites perturbations

L'objectif du stage est d'utiliser la modélisation Cast3M existante du dispositif expérimental de l'essai EDF, basée sur le modèle simplifié de ressort à lames, dans le cadre d'une analyse systématique des sensibilités et des corrélations entre paramètres, avec une confrontation aux expériences disponibles. L'analyse sera menée avec la plateforme de calcul d'incertitudes URANIE développée au CEA.

Domaine de spécialité requis	Modélisation/simulation numérique
Autres domaines de spécialités, mots clés	Mécanique des structures
Moyens mis en œuvre (expériences, méthodes d'analyses, autres...)	Méthodologie d'analyse d'incertitudes Comparaison calcul/mesure
Moyens informatiques mis en œuvre	
- Environnement informatique	Linux (calcul scientifique)
- Langages	Gibiane (langage interprété) – C++ (notions)
- Logiciels	Cast3M - http://www-cast3m.cea.fr/ URANIE - sourceforge.net/projects/uranie

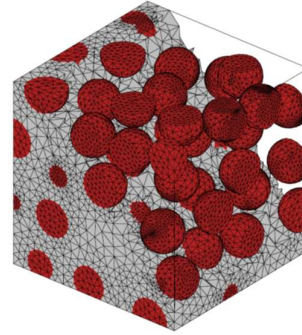
Niveau souhaité	Bac + 5	Formation souhaitée	Ingénieur/Master
Durée	5 à 6 mois environ	Possibilité de poursuite en thèse	-

Le LM2S est un laboratoire du CEA spécialisé en calcul de structure regroupant des activités de développement logiciel (développement du code éléments finis Cast3M) et d'expertises scientifiques et techniques en direction de la communauté scientifique (académique et industriel)



Développement d'outils de maillage de partitions de Voronoï pour le calcul de microstructures

Nom - Prénom du tuteur DI PAOLA Francois
Tél 01 69 08 95 82
Mail (auquel les candidatures doivent être adressées) francois.dipaola@cea.fr



Partition de Voronoï – application aux microstructure composite à inclusion

La thématique du calcul de microstructures est en essor depuis plusieurs dizaines d'années notamment grâce à l'augmentation de la puissance de calcul des ordinateurs. Ce type d'approche consiste à modéliser explicitement la microstructure des matériaux par des outils numériques (maillage et modèles éléments finis), ce qui permet de représenter différents phénomènes physiques au sein du matériau (mécanique, thermique, diffusion chimique, etc.) et d'établir des liens entre la microstructure et les propriétés des matériaux.

Le logiciel de modélisation par éléments finis Cast3M, développé au CEA [1], dispose déjà d'outils de modélisation de microstructures, basés notamment sur la partition en polyèdres de Voronoï (appliquée, par exemple, aux agrégats polycristallins ou au composites à inclusions sphériques). Pourtant, les algorithmes numériques mis en œuvre dans ces outils souffrent de problèmes de robustesse et de performance, comme par exemple la gestion des "petites arêtes" dans les polyèdres ou bien la gestion du grand nombre de polyèdres dans un agrégat.

L'objectif du stage est d'améliorer la procédure de maillage des polyèdres de Voronoï actuellement disponible dans Cast3M sur les aspects suivants : gestion des "petites" arêtes, maillage de particules, restriction de la partition, amélioration des performances.

Les voies d'amélioration envisagées sont issues de récents travaux disponibles dans la littérature scientifique [2].

[1] Cast3M : code de calcul éléments finis, développé au CEA. <http://www-cast3m.cea.fr>

[2] R. Quey, P.R. Dawson, F. Barbe, *Large-scale 3D random polycrystals for the finite element method: Generation, meshing and remeshing*, **Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering**, vol. 200, pp. 1729-1745, 2011

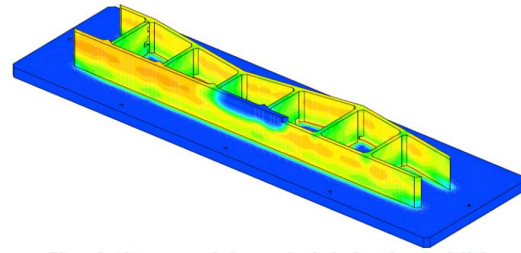
Domaine de spécialité requis	Modélisation
Autres domaines de spécialités, mots clés	Maillage, microstructure, Voronoï, éléments finis
Moyens mis en œuvre (expériences, méthodes d'analyses, autres...)	Géométrie, maillage
Moyens informatiques mis en œuvre	
- Environnement informatique	Linux (calcul scientifique)
- Langages	Gibiane (langage interprété), Fortran (optionnel)
- Logiciels	Cast3M - http://www-cast3m.cea.fr

Niveau souhaité	Bac + 5	Formation souhaitée	Ingénieur/Master
Durée	5 à 6 mois environ	Possibilité de poursuite en thèse	Non

Le **LM2S** est un laboratoire du CEA spécialisé en calcul de structure regroupant des activités de développement logiciel (développement du code éléments finis Cast3M) et d'expertises scientifiques et techniques en direction de la communauté scientifique (académique et industriel)



Implémentation dans Cast3M d'un modèle d'ajout de matière pour des applications d'impression 3D ou de soudage



Nom - Prénom du tuteur BERTHINIER Clément

Tél 01 69 08 65 43

Mail (auquel les candidatures doivent être adressées)

clement.berthinier@cea.fr

Simulation numérique de fabrication additive avec Cast3M

L'ajout de matière est un domaine incontournable dans le domaine du nucléaire avec comme application directe le soudage de composants métalliques. De nouvelles applications comme l'impression 3D de pièces issues d'optimisations topologiques font leur apparition. Aujourd'hui il devient primordial de pouvoir simuler les procédés de réalisation de telles pièces.

Il est déjà possible de réaliser la simulation de l'ajout de matière dans Cast3M (logiciel aux éléments finis développé au CEA), mais c'est au prix d'un jeu de donnée dont la complexité est incompatible avec une utilisation rapide et efficace en bureau d'étude.

L'objectif de ce stage est tout d'abord de proposer une syntaxe GIBIANE simple et épurée permettant de modéliser l'ajout de matière par la méthode des éléments « fantômes ». Lorsque l'équipe de développement de Cast3M aura validé la syntaxe en question, le candidat devra réaliser les développements dans Cast3M :

- Développement de nouvelles fonctionnalités dans Cast3M en ESOPE (FORTRAN 77 étendu)
- Rédaction des notices documentant les nouveaux développements.
- Développement de cas-tests de vérification et validation en GIBIANE (langage de Cast3M)

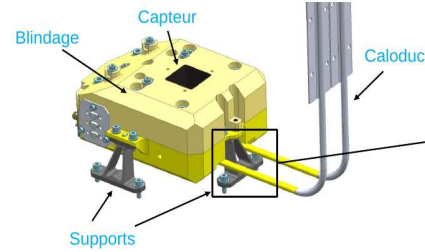
Domaine de spécialité requis	Programmation FORTRAN 77 Modélisation/simulation numérique
Autres domaines de spécialités, mots clés	Logique algorithmique
Moyens mis en œuvre (expériences, méthodes d'analyses, autres...)	
Moyens informatiques mis en œuvre	
- Langages	ESOPE (FORTRAN 77 étendu) Gibiane (langage interprété pour Cast3M)
- Logiciels	Cast3M - http://www-cast3m.cea.fr/

Niveau souhaité	Bac + 5	Formation souhaitée	Ingénieur/Master
Durée	5 à 6 mois environ	Possibilité de poursuite en thèse	



Optimisation topologique d'un composant de liaison détecteur/châssis

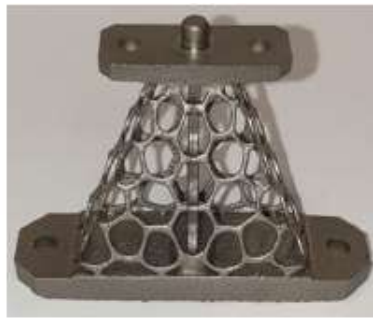
Nom - Prénom du tuteur BERTHINIER Clément
 Tél 01 69 08 65 43
 Mail (auquel les candidatures doivent être adressées) clement.berthinier@cea.fr



Le niveau de performance exigé des détecteurs physiques exige d'optimiser les composants de liaison entre ceux-ci et le châssis de l'instrument.

Cette optimisation met en balance le design géométrique et le choix du matériau, en regard des sollicitations en termes de thermique et de contraintes mécaniques.

Les outils d'impression 3D permettent d'éprouver assez facilement des pistes de développement élaborées avec des approches numériques.



L'objet du stage consiste à participer à la démarche des concepteurs mécaniques, en s'appropriant les moyens expérimentaux et numériques disponibles au CEA (en relevant que la procédure TOPOPTIM a été développée par Guenael Le Quilliec, enseignant chercheur au Laboratoire de Mécanique Gabriel Lamé de Tours) et en la prolongeant, par exemple en envisageant une optimisation selon 2 critères.

Domaine de spécialité requis	Modélisation/simulation numérique
Autres domaines de spécialités, mots clés	Mécanique / Matériaux
Moyens mis en œuvre (expériences, méthodes d'analyses, autres...)	Impression 3D
- Langages	Gibiane (langage interprété pour Cast3M)
- Logiciels	Cast3M - http://www-cast3m.cea.fr/

Niveau souhaité	Bac + 5	Formation souhaitée	Ingénieur/Master
Durée	5 à 6 mois environ	Possibilité de poursuite en thèse	