

Post-doc (collaboration industrielle) — Safran Landing Systems & ENSAM (LEM3, Metz)

Titre : Développements numériques pour la prédition d'instabilités (matérielles & structurelles) en grandes déformations dans Abaqus/Standard

Mots-clés : Instabilités matérielles/structurelles, Plasticité anisotrope, Grandes déformations, Localisation des déformations plastiques, Critère de Rice, Flambage élastoplastique, Critère de Hill, Abaqus/Standard, UMAT (routines utilisateur), Programmation scientifique (Python / Fortran).

Contexte scientifique

La prédition de la ruine de structures métalliques sous chargements complexes fait intervenir une compétition (et parfois une interaction) entre instabilités matérielles (localisation/striction) et instabilités structurelles (bifurcation globale, flambage élastoplastique, post-flambage). Dans un contexte industriel réel, cette analyse prend une dimension supplémentaire avec la présence de non-linéarités de type contact / frottement. Ces interactions additionnelles aux interfaces ne sont pas de simples contraintes de calcul : elles pilotent la redistribution des efforts, peuvent générer des instabilités de glissement et influencent de manière déterminante le déclenchement des modes de flambage. Les codes industriels, tel que Abaqus/Standard, permettent des analyses non linéaires avancées. Néanmoins l'accès à des indicateurs rigoureux, génériques et reproductibles d'instabilité (au sens de Rice pour la localisation des déformations et de Hill pour les instabilités globales) reste limité, en particulier lorsque l'on tient compte :

- des transformations finies (fortes non-linéarités géométriques),
- des lois constitutives anisotropes et, potentiellement, plus complexes,
- des conditions de contact frottant, qui introduisent des comportements non-conservatifs essentiels à la fidélité du modèle,
- des simulations utilisant des maillages réalistes (coûts de calcul, traçabilité, robustesse).

Ce post-doctorat vise à développer, de manière méthodologique, des briques logicielles internes à (ou connectées à) Abaqus/Standard (UMAT / scripts Python ou C++) pour enrichir l'analyse non linéaire par des outils dédiés à la détection des instabilités matérielles et structurelles.

Objectif général

Concevoir une solution modulaire et générique, interfacée avec Abaqus/Standard, permettant :

1. un diagnostic d'instabilité locale (matériau) centré sur la localisation/striction (critère de Rice),
2. un diagnostic d'instabilité globale (structure) centré sur le flambage élastoplastique (critère de Hill).

Une attention particulière sera portée à la robustesse numérique, à la reproductibilité et à la maîtrise des sensibilités (maillage, incrément, imperfections, choix numériques).

Axes de travail

Axe 1 — Modélisation constitutive et cohérence en transformations finies (Abaqus/Standard / UMAT)

L'objectif est de disposer d'un cadre de comportement matériau adapté aux grandes déformations et à la plasticité anisotrope, compatible avec Abaqus/Standard, afin d'étudier de manière fiable la transition vers des instabilités.

Les contributions attendues portent sur :

- La formulation constitutive rigoureuse et implémentations UMAT associées robustes, permettant d'évaluer la réponse non linéaire sous chargements multiaxiaux et la sensibilité aux paramètres matériaux (anisotropie, écrouissage, etc.).
- L'analyse de cohérence numérique : stabilité de la résolution, précision, efficacité, reproductibilité, dépendance aux choix numériques et impact direct sur la fiabilité des indicateurs d'instabilité.
- L'ouverture vers des comportements adoucissants (ex., endommagement) si pertinent : conditions de validité, limites et précautions d'interprétation, notamment lorsque la réponse devient fortement localisée.

Critère de succès : une base "matériau + implémentation" suffisamment robuste pour servir de socle commun à l'analyse des instabilités, avec un périmètre et des limites clairement établis.

Axe 2 — Instabilités matérielles : localisation/striction et indicateurs de perte de stabilité locale (Rice)

Cet axe vise à étudier l'initiation des instabilités matérielles au sens de la localisation de la déformation (souvent associée à une perte de stabilité locale), et à proposer des indicateurs exploitables dans un cadre éléments finis industriel.

Les points d'attention sont :

- le lien entre la réponse constitutive (anisotropie, écrouissage, éventuellement adoucissement) et l'apparition d'une instabilité locale ;
- la capacité à caractériser non seulement "si/quand" une instabilité apparaît, mais aussi des informations utiles à l'interprétation : conditions de déclenchement, orientation/caractérisation de la localisation, sensibilité aux trajets de chargement ;
- l'analyse de la robustesse du diagnostic : influence du maillage, de la résolution incrémentale, des critères de convergence, et plus généralement des paramètres numériques, pour distinguer ce qui relève du mécanisme physique de ce qui relève de l'artefact de calcul.

Critère de succès : un diagnostic local reproductible, accompagné d'une discussion claire des sensibilités et d'un ensemble de tests permettant de juger de la fiabilité des conclusions.

Axe 3 — Instabilités structurelles : flambage élastoplastique, panorama Abaqus et enrichissement de l'analyse d'instabilité globale (Hill)

L'objectif est d'aborder le flambage élastoplastique en clarifiant ce qu'il est possible de faire de façon fiable dans Abaqus, et ce qui nécessite des compléments méthodologiques "en connexion" avec le code. L'axe se structure autour de trois éléments :

(i) Cartographie des options Abaqus et de leurs domaines de pertinence

- **BUCKLE (linéaire)** : accès aux modes/valeurs propres dans un cadre linéarisé, utile pour une première analyse modale linéaire, mais insuffisant pour décrire le post-flambage et les effets fortement non linéaires ;
- **RIKS (non linéaire)** : accès au post-flambage, au prix d'une dépendance potentielle aux imperfections et d'une information de stabilité parfois difficile à généraliser ;
- et, plus largement, clarification de ce qui est accessible "standard" versus ce qui n'est pas directement disponible pour une analyse d'instabilité non-linéaire approfondie.

(ii) Verrou principal : instabilité globale de type Hill en non-linéaire

Dans un cadre non-linéaire élastoplastique, une analyse d'instabilité au sens de Hill nécessite une information liée à l'état tangent global au voisinage d'un état convergé. L'objectif est de discuter de ce qui est réellement accessible dans Abaqus "tel quel" et de proposer une voie d'analyse enrichie lorsque l'outil standard ne suffit pas, sans surinterpréter ce que le calcul peut garantir.

- (iii) **Capacité à explorer des modes proches/secondaires et interprétation** : Sur des configurations où plusieurs modes sont en compétition (ou très proches), l'analyse doit permettre de discuter la hiérarchie des modes, leur sensibilité (chargement, imperfections, paramètres matériau) et les conséquences pour l'interprétation physique (mécanisme gouvernant) et la robustesse.

Critère de succès : une méthodologie permettant d'aller au-delà d'une lecture "premier mode uniquement", avec une interprétation prudente et documentée des résultats.

Validation et benchmarks (références analytiques et cas tests)

Les développements et analyses seront évalués au travers :

- de cas tests, dont certains admettent des solutions analytiques exactes ou approchées (selon les hypothèses retenues),
- de benchmarks numériques progressifs (du simple au représentatif), avec l'objectif de quantifier : précision, robustesse, sensitivités, et de produire une documentation de référence (conditions d'emploi, limites, bonnes pratiques).

Objectif d'intégration

L'ensemble des travaux vise une solution modulaire, connectée à Abaqus/Standard, articulant :

- un socle constitutif (UMAT) adaptable,
- un diagnostic d'instabilité locale (matériau),
- un diagnostic d'instabilité globale (structure), tout en garantissant une traçabilité des hypothèses et une reproductibilité sur une suite de tests.

Livrables attendus

- Briques logicielles connectées à Abaqus/Standard (UMAT + outils associés) avec documentation et jeux de tests.
- Outils de diagnostic pour instabilités locales (matérielles) et globales (structurelles) avec indicateurs interprétables.
- Suite de benchmarks reproductibles (analytiques/approchés + numériques) et rapport de validation.
- Guide "transfert" : hypothèses, limites, check-list de vérification, recommandations d'usage.

Retombées attendues

Pour le(la) post-doctorant(e) (scientifiques et professionnelles)

- **Sujet au carrefour académique-industriel** : stabilité, bifurcation, plasticité, grandes déformations, avec contraintes réelles (robustesse, intégration Abaqus, reproductibilité).
- **Environnement stimulant** : échanges réguliers avec une équipe académique (instabilités, modélisation) et des interlocuteurs industriels (besoin d'outils fiables et transférables, cas d'études réalistes).
- **Montée en compétences "haut niveau"** : modélisation constitutive, stabilité/bifurcation, développement scientifique (UMAT et/ou Python selon répartition), validation sur benchmarks.
- **Visibilité / valorisation** : selon l'avancement, possibilité de publication(s) ou de note(s) technique(s) de référence, en privilégiant la qualité méthodologique, la reproductibilité et l'explicitation des limites.
- **Positionnement carrière** : expérience valorisable en R&D mécanique numérique/EF (académie, centres techniques, bureaux d'études avancés), grâce à un profil combinant modélisation, numérique et transfert.

Pour Safran Landing Systems (technologies, transfert et capitalisation)

- Capacités renforcées pour l'analyse d'instabilités locales et globales connectées à Abaqus/Standard.

- Clarification opérationnelle des possibilités Abaqus (BUCKLE / RIKS / rôle des imperfections) et de leurs limitations pour le flambage plastique, avec une méthodologie enrichie lorsque nécessaire.
- Capitalisation : suite de benchmarks + documentation, facilitant appropriation et utilisation raisonnée par les équipes de simulation.
- À terme, contribution à une meilleure robustesse des analyses amont (réduction d'incertitudes, meilleure anticipation des mécanismes dominants), avec des recommandations argumentées et un cadrage explicite des hypothèses.

Profil recherché

- Doctorat en mécanique des solides et des structures / mécanique numérique / non-linéaire (plasticité, transformations finies, instabilités, bifurcations, EF).
- Compétences appréciées : modélisation constitutive, grandes déformations, stabilité/bifurcation, programmation scientifique (UMAT/Fortran et/ou Python), sensibilité à la validation et à la traçabilité.

Environnement et interactions

Travail en interaction avec :

- une équipe académique (plasticité, instabilités, bifurcation),
- un partenaire industriel (besoins, intégration, robustesse),
- un doctorant (exploitation applicative/validation globale) selon l'organisation du projet.

Informations pratiques

- **Durée :** de 12 à 18 mois
- **Lieu :** [LEM3-ENSA Metz / site Safran Landing Systems à Vélizy-Villacoublay / hybride]
- **Début :** dès que possible
- **Candidature :** CV + lettre de motivation + liste de publications + lettres de recommandations
- **Contacts**
 - **Safran Landing Systems :** Nicolas Antoni – Responsable Equipe Méthodes Calcul de Structures / Division Trains et Intégration.
 - **LEM3/ENSA :**
 - Farid Abed-Merai – Professeur à l'ENSA Metz / LEM3.
 - Mohamed Ben Bettaieb – Maître de Conférences à l'ENSA Metz / LEM3.