

Proposition de thèse (Octobre 2016 - Septembre 2019)

Simulation du comportement dynamique non linéaire de train de tiges de forage pour l'extraction pétrolière ou géothermique

I. Contexte

Le travail de thèse proposé s'inscrit dans le cadre du laboratoire commun DRILLAB, Labcom ANR, entre le LaMCoS UMR 5259 - INSA Lyon et la PME DrillScan, qui consiste à développer des modèles non linéaires pour simuler le comportement dynamique de train de tiges de forage pour l'extraction pétrolière et pour l'exploitation géothermique. DrillScan est une entreprise innovante dans le domaine du forage pétrolier et géothermique proposant des études, des solutions logicielles et, des formations aux nombreux acteurs de cette industrie.

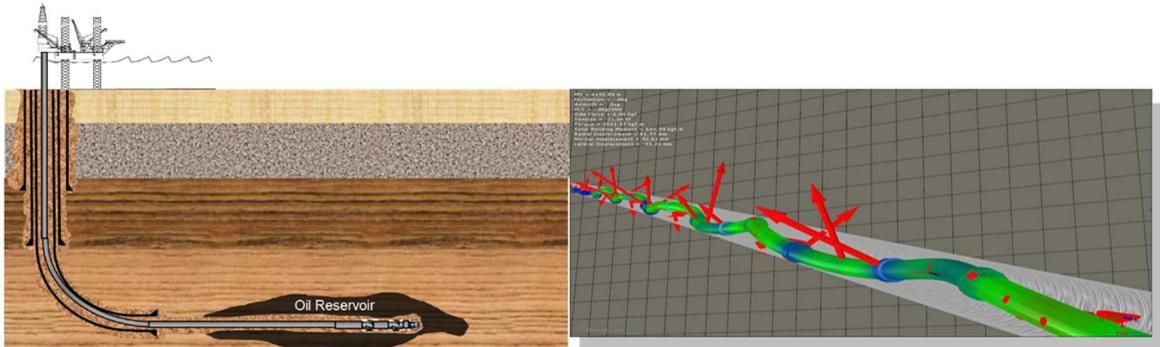


Figure 1 : Principe du forage. Visualisation de résultats de simulation du forage

Le forage pétrolier mobilise des moyens importants en termes d'équipements et de personnels. Les opérations de forage consistent en la réalisation d'un ouvrage pour atteindre une cible géologique enfouie profondément sous terre. Le puits, ou trou de forage, est réalisé à l'aide de trépanis mis en mouvement depuis la surface. Une fois le trou réalisé ses parois – i.e. son intégrité – sont maintenues à l'aide de tubes (cuvelage ou casing) descendus et cimentés dans le puits. Un puits est constitué de différentes sections (couple d'opérations : forage du trou et descente casing) dont les diamètres, les longueurs et les points d'arrêts sont imposés par des contraintes géologiques (pression de pore/de fracturation du massif et incident géologique – zone fracturée, incompatibilité de boue entre deux formations). Une fois l'objectif géologique atteint, le puits est équipé d'une colonne de production – étape appelée complétion.

Le train de tiges est un assemblage de tubes de 9 à 10 m de long confinés en tension dans un puits qui a un parcours 3D pouvant atteindre plusieurs kilomètres de long. Vers l'outil, sur un à deux cents mètres de long, les tiges ont un diamètre extérieur plus important pour assurer le poids de l'outil sur la roche et constituent alors les masse-tiges (BHA). Des stabilisateurs jouent le rôle de paliers pour maintenir la masse-tige concentrique dans le puits et contribuer à l'orientation du forage. La masse-tige est gardée en compression avec, à son extrémité supérieure, le point neutre tension-compression. Depuis quelques années, des turbines de fond viennent équiper le forage rotatif classique. Un des vecteurs clé d'optimisation et d'amélioration de la qualité des puits est la maîtrise et la compréhension du comportement vibratoire des éléments en rotation dans le puits.

II. Présentation des travaux

Le travail est centré sur la modélisation des phénomènes et leur simulation numérique. Une comparaison avec les données du terrain sera aussi réalisée. Le modèle de calcul ciblé et à développer, doit prendre en compte: la géométrie 3D du puits, la gravité, la poussée d'Archimède de la boue, le flot descendant de boue interne aux tiges et le flot de boue-débris remontant dans l'espace annulaire tige-puits avec une viscosité dépendant de la température, les frottements et impacts des tiges contre la garniture du puits et contre la roche, les précontraintes variables dues aux tensions et aux compressions, les balourds, les couples et forces axiaux de l'outil, le couple moteur. La vitesse de rotation peut s'élever à 300 tr/min et dépend de l'abscisse curviligne du train de tige. Elle est à calculer à partir de la connaissance du couple moteur alors que la vitesse de la turbine de fond est donnée.

Feuille de route envisagée

La modélisation fera appel à la méthode des éléments finis en utilisant principalement des éléments de poutre à deux nœuds et prenant en compte les effets secondaires de cisaillement transverse et d'inertie de rotation de section.

Un premier volet calculera la position d'équilibre statique du train de tiges dans le puits soumis aux différents chargements statiques et des lois de contact seront imposées aux niveaux des interactions tige-puits. La méthode itérative de Newton-Raphson sera employée. Les résultats concerneront principalement la déflexion statique et les contraintes.

Fort de la position d'équilibre statique, **le deuxième volet**, sous l'hypothèse de petits mouvements, conservera les raideurs figées des lois de contact pour effectuer une analyse modale linéaire pour plusieurs vitesses de rotation, c'est-à-dire pour tracer le diagramme de Campbell. L'analyse de la partie réelle des valeurs propres donnera une indication sur l'amortissement et la stabilité du mode.

Le troisième volet, tout en conservant elle aussi les raideurs de contact figées et l'hypothèse de petits mouvements, dresse les cartes d'instabilité du train de tige soumis aux seules excitations axiales de l'outil (couple et force). Pour cela les équations d'état et la méthode de Floquet seront utilisées.

Sous l'hypothèse de régime stationnaire, mais avec des interactions tige-puits évolutives, **la quatrième étape** utilise la méthode de la balance harmonique (Harmonic Balance Method - HBM) utilisant des développements en séries de Fourier tronquées pour le déplacement et pour les efforts non linéaires. Combinée à la méthode itérative de Newton, elle permet de calculer les coefficients des séries de Fourier et donc par la suite de reconstruire l'approximation du déplacement pour chaque vitesse de rotation.

Quand le régime est non stationnaire, comme dans le cas des transitoires dus à la montée et à la descente en vitesse de rotation, ou dans le cas de mouvements chaotiques, c'est la méthode d'intégration temporelle de Newmark qui est utilisée. Dans un souci de gain de temps de calcul, il va d'une part être fait appel à la méthode de Craig & Bampton, d'autre part à la parallélisation des codes de calculs sur plusieurs cœurs.

III. Matériel et environnement.

La thèse sera réalisée au sein du LaMCoS avec une interaction permanente avec la Société DrillScan.

Matériel de mesure et d'acquisition expérimental du laboratoire. Support d'un ingénieur de recherche (CNRS) et d'un post doctorant au LaMCoS.

Programmation sous Fortran (Matlab)

IV. Profil recherché

Ingénieur mécanique des grandes écoles (INSA, UT, Centrale, Arts & Métiers, ...) avec Master recherche si possible, ou Titulaire d'un Master Recherche en mécanique.

Compétences en modélisation, simulation numérique, dynamique des structures et dynamique non linéaire.

V. Rémunération:

Salaire d'un ingénieur débutant.

VI. Candidature & contact

Lettre de motivation, CV, lettre de recommandation, bulletins de notes, classement / promotion.

lionel.manin@insa-lyon.fr , +33 (0) 472 438 587