# # Contexte

Dans le domaine de la fabrication du combustible MOX, l’un des principaux enjeux consiste à étudier l’étape de mélange-broyage dans un broyeur à boulet. En effet, cette étape permet d’obtenir un mélange homogène en particulier de poudres fines d’oxyde d’uranium, d’oxyde de plutonium et de chamotte. Ce procédé est critique car il détermine la qualité du produit final ainsi que l’utilisation du combustible dans les réacteurs nucléaires.

Le problème est que le contrôle de ce procédé repose sur une recherche empirique de l’expérimentateur. Ceci a pour conséquence d’augmenter le temps de broyage, la consommation du procédé et le nombre d’intervention nécessaire sur l’installation. Ceci conduit à modéliser cette étape afin de mieux comprendre et optimiser cette étape pour l’optimiser. Le problème est que les modèles développés jusqu’ici sont simplifiés, doivent être calibré et ne tiennent pas compte de l’ensemble des physiques. Ceci a pour conséquence d'augmenter l'erreur de prédiction de modèle.

Pour réduire cette erreur de modélisation, l’un des principaux enjeux consiste à construire un Jumeau Numérique. Ceci est dû au fait que l’on voudrait prendre en compte les informations ici des capteurs pour améliorer la prédictibilité du modèle. Le problème est que des méthodes doivent être développé pour combiner la simulation et les observations de manière optimale.

## # Etudes (2 exemples)

- Evensen 1994 A FAIT un filtre séquentiel d'ensemble. Il se base sur la propagation des incertitudes par une méthode de Monte-Carlo et une estimation des statistiques de l'état et des observations à partir d'un ensemble pour écrire le gain de Kalman.

- A PERMIS d'étendre le filtre de Kalman à des problèmes non-linéaire de grande dimension.

- LIMITES Cependant, du fait du modèle non-linéaire, les hypothèses de distribution Gaussienne ne sont plus conservées. Ils n’ont montré une

- Sulzky et al. 1994 on fait une méthode particulaire avec grille sous-jacente, appelée méthode des points matériau (MPM) adaptée à des matériaux avec variables d’état.

- A PERMIS de simuler des problèmes de mécanique des solides en grande transformation, de gérer des interfaces, des géométries complexe ou de la fracturation. Ils ont montré qu'il était possible de combiner des idées de PIC et ceux de FEM pour traiter le cas des déformations irréversibles.

- LIMITES Ils n'ont pas exploré en détail comment définir les conditions limites, relaxer la condition de frottement sans glissement, l'utilisation de plusieurs matériaux par points matériau.

## # Bilan général de l'ensemble du travail avant vous

- Pour modéliser le mélange de poudre dans le broyeur à boulets pour la fabrication du combustible MOX, des simulations ont été développés par des méthodes sans maillage.

- D'autres part, à partir de méthodes de traitement d'image, il est possible de mesurer les profils d'écoulement ou les champs de vitesse dans le broyeur à boulets.

- Pour construire un modèle de Jumeau Numérique capable d’intégrer les observations issues de l’observation, des méthodes d'assimilation de données propose des schémas de mise à jour de l'état de la simulation à partir d'observations en tenant compte à la fois des incertitudes sur l’état et les observations.

- Toutefois, les méthodes d'assimilation sont définies sont pour des discrétisations (maillage, grille) qui ne varient pas au cours du temps. Or les méthodes particulaires/sans maillage sont définies à l’aide particules qui se déplacent en suivant l’écoulement du milieu.

## # C'est ce qui justifie cette thèse,

Elle consiste à développer des méthodes d'assimilation de données adaptées à des simulations sans-maillage afin de construire le jumeau numérique du broyeur à boulet intervenant dans la fabrication du combustible MOX.

## # La démarche consiste à...

La démarche consiste dans le chapitre I à développer des méthodes pour adapter le filtre de Kalman d'ensemble à des simulations particulaires. Pour cela, l'idée a été de définir une correction qui soit indépendante des discrétisations particulaires des états. En effet, l'écriture du gain de Kalman d'ensemble dépend habituellement de celles-ci. L’objectif ensuite a été ensuite de mettre en place des mises à jour des représentations particulaires pour obtenir les états assimilés. Ceci s’est effectué en développant différents schémas soit par remaillage de la discrétisation, soit par projection de la solution analysée sur la précédente discrétisation. Sachant que…

Le chapitre II consiste à évaluer les capacités de ces filtres à assimiler les données sur plusieurs applications. L'idée a été de vérifier l'influence des paramètres de simulation et d'assimilation sur la qualité, c'est à dire en analysant leurs courbes de convergence d'erreur. Pour cela nous avons appliqué les filtres à plusieurs problèmes : un problème 1D où la solution analytique est connue, et un problème non linéaire de mécanique des fluides 2D en utilisant la méthode Vortex.

L'objectif du chapitre III a été de développer un filtre d'ensemble mettant à jour la position des particules. Pour cela nous formuler le problème d'assimilation de données tenant compte des erreurs d'alignement et capable de corriger la position des particules. L'idée a été d'introduire une transformation pour aligner les particules dans un cadre variationnel.

L'objectif du chapitre IV a été d'évaluer l’amélioration obtenue avec ce nouveau filtre.