

GROUPE RENAULT



**PROPOSITION DE SUJET DE THESE
CAMPAGNE 2021**

Direction (en clair) : **DEA-TD**

Service : **68193**

Tuteur proposé : **Yves Tourbier**

E-mail : **yves.tourbier@renault.com**

TITRE DE LA THESE : **Validation des modèles et maîtrise de l'erreur des workflows de simulation**

1 - Descriptif du thème de recherche et du sujet de thèse associé (1 page maximum) :

Thème et problématique de recherche

Le processus de conception en avant-projet puis en projet s'appuie de plus en plus sur la simulation numérique. De ce fait les modèles de simulation sont de plus en plus utilisés par des non spécialistes, dans des relations de type client – fournisseur : un spécialiste d'un métier et de la simulation numérique met au point un modèle qui sera ensuite utilisé par un acteur d'un projet pour concevoir. Dans ce cadre les modèles sont utilisés dans des workflows, des chaînes de calcul intégrant plusieurs modèles. Par exemple pour simuler tout ce qui concerne un véhicule électrique : cycle de charge / décharge de la batterie, son vieillissement, le temps de parcours, la durée des arrêts... sur un ensemble de cycles clients, de jour et de nuit, en faisant varier la météo...

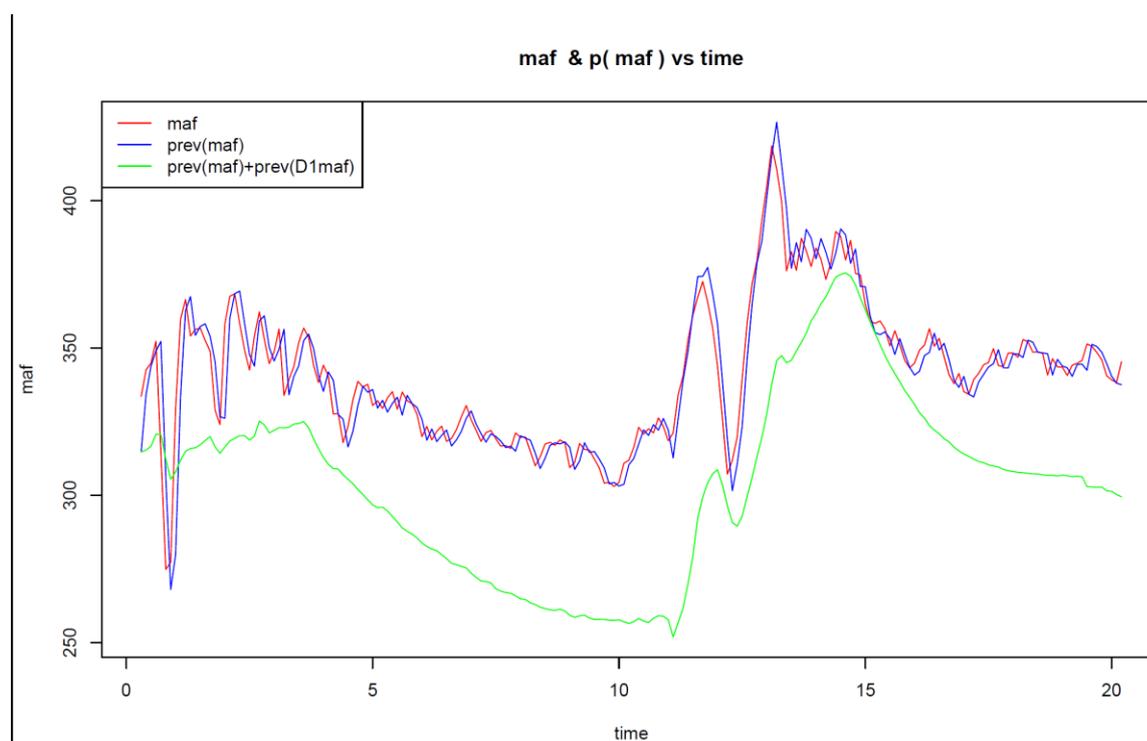
Les modèles utilisés pour prendre des décisions sont soit des modèles 3D de type éléments finis, quand on dispose d'un dessin (une CAO), soit des modèles 0D basés sur une simplification maîtrisée de la physique. **Le sujet de cette thèse concerne les modèles 0D.**

Dans ces modèles le temps a été supprimé, on modélise par exemple les variations de consommation et des polluants conséquences des variations de réglages d'un moteur. En revanche l'utilisateur du modèle réintroduit le temps quand il simule un trajet du véhicule représentatif de l'usage d'un client. La thèse proposée vise à maîtriser l'erreur d'un workflow de calcul sur un ensemble de cycles clients.

Le modèle 0D n'est qu'une représentation simplifiée de la physique, il inclut une part d'erreur. Le travail du métier est de maîtriser cette erreur. Cependant, quelle que soit l'amplitude de l'erreur, on peut parfois constater une propagation / amplification : dans la simulation d'un cycle, le modèle 0D donne par exemple la consommation instantanée à l'instant t mais aussi l'état initial de l'instant $t+1$, par exemple le couple réel (sur lequel le cycle donne une consigne à atteindre). L'erreur sur le couple à $t+1$ provoque un écart sur la consommation à $t+1$ (qui s'ajoute à l'erreur de prédiction de cette consommation) et sur le couple à l'instant $t+2$. Ce phénomène est dû aux propriétés mathématiques de l'opérateur solution des équations résolues par le modèle 0D. On parle d'opérateur contractant quand l'erreur est amortie au cours du temps. Les physiques simulées dans l'automobile sont en général contractantes (mais le crash ne l'est pas par exemple), mais le modèle 0D peut ne pas l'être si les simplifications sont trop importantes ou si le calage sur les données d'essais introduit des constantes trop éloignées des valeurs réelles.

Le modèle 0D a un temps de calcul faible (quelques secondes en général), mais son utilisation sur un cycle client nécessite des milliers d'évaluations. L'évaluation d'une Définition Technique sur l'ensemble des cycles clients peut nécessiter plus d'un mois de calcul malgré l'emploi d'une machine multiprocesseurs. Pour respecter les délais des projets on accélère le workflow avec une méthode de réduction de modèle (dit aussi surrogate model). On introduit de cette façon une nouvelle source de propagation d'erreur.

Exemple de propagation d'erreur dans un modèle « surrogate ».



Le modèle reproduit la masse d'air (MAF) introduite dans les cylindres d'un moteur en fonction du régime, de la charge et des réglages (courbe en rouge). Le graphique montre la MAF au cours du temps dans un cycle client. La courbe en bleu représente le modèle réduit de t vers $t+1$. Dans ce modèle l'état à l'instant t est connu, donné par les entrées de la courbe rouge. Le modèle réduit prédit la variation de MAF entre t et $t+1$ à partir des variations des réglages. La MAF à $t+1$ est donc prédite par la somme de la MAF à l'instant t et de la variation de MAF. Le modèle réduit a une petite erreur sur la MAF à $t+1$ s'il n'y a pas d'erreur sur la MAF à l'instant t . En revanche, pour simuler un nouveau cycle client on ne dispose que de l'état initial à $t = 0$. L'erreur sur la MAF va se propager pour donner la courbe verte, radicalement différente de la rouge. La recherche d'un modèle réduit très précis (ici en modélisant la variation de MAF plutôt que la MAF) aboutit à une erreur importante sur le cycle, le simple critère d'ajustement ne suffit pas pour garantir la qualité des prédictions.

Etat de l'art scientifique

La partie workflow de modèles OD (mesure et maîtrise de la propagation d'erreur directement sur le workflow OD) n'est pas identifiée comme un problème académique type. La propagation d'erreur sur un modèle OD est en principe étudiée lors de la construction du modèle, en étudiant les propriétés de l'opérateur solution du système d'équations que résout ce modèle OD. Pour un ensemble de modèles OD on peut en principe faire de même en rassemblant les modèles en un seul. Cette méthode est utilisable avec le langage MODELICA qui compile les différents modèles en un seul. Cependant la voie choisie par RENAULT est d'utiliser des modèles OD indépendants, chaînés en workflow, les modèles OD sont alors des boîtes noires. Cette méthode est imposée par le fait que les modèles proviennent de fournisseurs différents, RENAULT n'a pas toujours accès à leur contenu exact. D'autre part les workflows RENAULT couplent des modèles OD avec du contrôle optimal, des cartographies, des modèles 3D réduits, des fonctions de décision discrètes... qui rendent le problème plus complexe que la simple fusion de plusieurs petits systèmes d'équations en un seul.

La partie modélisation statistique (modèle réduit) fait l'objet de recherches académiques dans le domaine Deep Learning. Le problème de la propagation d'erreur est traité avec des réseaux de neurones récurrents. Les logiciels open source tels que TensorFlow, Keras, Torch... proposent des packages spécifiques à adapter à chaque cas particulier.

2 - Objectifs et contribution aux axes R&AE de Renault (1/4 page(s) maximum) :

Les objectifs portent sur les modèles OD, les workflows et les modèles réduits. La contribution principale aux axes R&AE porte sur l'amélioration de la qualité des simulations numériques utilisées pour le cadrage et le suivi des projets véhicules et moteurs. Les méthodes et outils à développer ont pour but de détecter les points à améliorer dans le cycle de construction des modèles OD, à destination des métiers en charge de la construction des modèles et du métier synthèse en charge de la simulation inter-systèmes :

- Qualifier les modèles OD. Déterminer les variables d'entrée les plus sensibles par rapport à un cahier des charges en prestations clients ;
- Construire et qualifier le modèle réduit d'un modèle OD. Quantifier l'erreur du modèle réduit par rapport au modèle OD dans un domaine de conception ;
- Mesurer l'erreur d'un workflow dans un domaine de conception ;
- Construire et qualifier le modèle réduit d'un workflow
 - o Assemblage de modèles réduits et de modèles OD pour accélérer les simulations d'ensembles de cycles clients
 - o Modèle réduit de workflow « direct » d'un cycle paramétré

3 - Intérêt du travail de Recherche pour l'Entreprise (3/4 page(s) maximum) :

Etat de l'art chez Renault

RENAULT met au point et utilise de nombreux modèles OD pour le cadrage et le suivi des projets GMP et véhicules. Une plateforme de simulation permet d'assembler ces modèles en workflows. En revanche RENAULT ne dispose pas d'outil pour mesurer ni maîtriser l'erreur d'un workflow.

Complémentarité des travaux proposés / existant chez Renault

La thèse proposée complètera les outils existants pour améliorer la qualité des simulations. Les outils développés pourront être intégrés à la plateforme de simulation OD.

Retombées attendues pour Renault / Evaluations des retombées
 Une plus grande justesse des simulations sur cycles clients, pour de meilleures décisions en projet.

4 - Description des activités de recherche (1 page maxi) :

Liste des activités de recherche

- Qualification d'un modèle OD dans un domaine de conception
- Recalage d'un modèle sur des données d'essais, correction d'un résultat de calcul avec des données d'essais (hybrid twin au niveau OD)
- Mesure de la propagation des erreurs dans un workflow, détection des sources de dérive, qualification d'un workflow dans un domaine de conception
- Calcul de l'erreur maximale acceptable pour une source de dérive (limite de qualification d'une simulation du workflow, déploiement de marges de précision)
- Modèle statistique d'un workflow avec erreur maîtrisée, recherche d'un compromis entre l'accélération des calculs et leur précision

Articulations des activités entre RSA et labo

La partie applicative de la thèse, nécessitant l'utilisation des modèles de simulation RENAULT et de moyens de calcul importants, sera réalisée principalement dans les locaux de RENAULT (TCR). Une répartition du temps de travail de 70% chez RENAULT et 30% au laboratoire sera proposée, à négocier.

Méthodes utilisées

Les problèmes techniques identifiés dans la liste des activités de recherche nécessitent le développement de méthodes d'analyse de sensibilité adaptées à des graphes de séries temporelles, de réseaux de neurones récurrents (maîtrise de la propagation d'erreur), de propagation d'incertitudes et de réduction de modèle.

Principaux livrables

Le travail de thèse requiert principalement des compétences en mathématiques appliquées mais la mise en œuvre concrète nécessite de solides compétences en informatique (programmation de maquettes uniquement).

- Apprentissage des outils RENAULT de calcul, en particulier les workflows de calcul OD. Le résultat est une liste de workflow à investiguer
- Méthode de mesure de la propagation d'erreur dans un workflow, détection des root causes
- Algorithme de modélisation automatique d'un workflow maîtrisant la propagation d'erreur
- Publier les travaux dans les communautés de recherche pertinentes (à déterminer), pour faire accepter les méthodes proposées, participer aux échanges inter-constructeurs.

5 - Choix du ou des laboratoire(s) de recherche

- Y a-t-il un ou plusieurs laboratoires sélectionnés. Justifiez votre choix

- Laboratoire de mathématiques de l'UTC (spécialistes des systèmes dynamiques et de la réduction de modèle)
- ENSAM Paris (spécialiste des systèmes dynamiques et de la réduction de modèle)
- Ecole Centrale de Lyon, LTDS (Laboratoire de Tribologie et de Dynamique des Systèmes)
- Liens éventuels avec « chaires » et/ou instituts collaboratifs
 - A priori aucun. RENAULT a une chaire avec l'UTC mais pas dans le domaine des mathématiques appliquées

6 - Compétences requises du futur thésard

Connaissances requises

Le travail de recherche est principalement dans le domaine « mathématiques appliquées », en particulier les modèles dynamiques, la statistique et le machine learning. Le lien avec les applications métier est cependant indispensable, la connaissance d'un des métiers de la physique serait appréciée : méthodes de modélisation OD moteur, hybride, batterie, climatisation... et des méthodes de résolution associées.

Formation souhaitée

Ecole d'ingénieur généraliste avec option mathématiques appliquées, ou formation universitaire en mathématiques appliquées à la physique.

Aptitudes personnelles souhaitées

- Grande autonomie en programmation, capacité à tester rapidement des idées nécessitant de la programmation et l'usage de packages open source ;
- Capacité à travailler en groupe.

7- Avez-vous déjà présélectionné un ou plusieurs candidats ? Si oui, veuillez joindre CV et lettre(s) de motivation

Non.

Un stage sur la réduction de modèle 3D commencera en Mars, sujet pas très éloigné qui permettra de tester les motivations et les capacités d'un premier candidat.

Avis du ou des Experts Leaders porteurs du sujet (dont niveau de priorité)**Nom/Prénom : Bécamel William****Avis argumenté de façon détaillée :**

Nos véhicules intègrent de plus en plus de technologies complexes, avec des problèmes couplés et inter-systèmes. Que nous parlions d'AD/ADAS, d'hybridation, de véhicules électriques ou de connectivité, la caractéristique est que l'ensemble de ces systèmes doivent être développés en cohérence, en comprenant leurs interdépendances. Une mauvaise anticipation des problématiques inter-systèmes peut conduire à des erreurs de dimensionnement très critique si découverte en phase de validation prototype (ex: refroidissement batterie e-tech). Pour aider au développement de cet inter-système, nous développons des plateformes de simulations qui vont modéliser et connecter chacun des systèmes entre eux, qu'ils soient modèle de contrôle ou modèle physique. Par exemple, nous allons connecter sur la même plateforme thermo-management un lien entre le système de refroidissement batterie, le confort thermique, le torque management et l'optimisation consommation. Le même exemple existe pour la validation d'un ADAS connecté avec la modélisation de la dynamique de la voiture, en lien avec la simulation du réseau et les lois de contrôle ADAS.

Dans ce contexte, et compte-tenu de l'ampleur des décisions prises sur la base de ces plateformes, il est nécessaire de comprendre et de piloter l'erreur. Il s'agit des marges d'incertitudes sur les données d'entrées mais aussi des propagations en fonctions des connexions faites entre modèles. Ce type de résultats permettra de prendre les décisions sereinement, d'anticiper les arbitrages et voire, si la confiance est bonne, démarrer des mises au point sur la base des plateformes de simulations.

Compte-tenu des difficultés actuelles en projet et des enjeux time-to-market, cette problématique est P1 pour le DES simulation numérique.

Signature :

| Noms/Prénoms + signatures | | |
|---|------------------------|--|
| Demandeur | Directeur opérationnel | Directeur Partenariats R&AE & Financements publics |
| Yves Tourbier | Olivier Colmard | Eric Lebeau |
|  | | |