RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

www.onera.fr

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DEMR-2026-10**
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Toulouse

Département/Dir./Serv. : DEMR

Tél. : 0562252802 / 0562252672

Responsable(s) du stage : Xavier Ferrieres / Vincent Mouysset

Email. : xavier.ferrieres@onera.fr / vincent.mouysset@onera.fr

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Mathématiques Appliquées

Type de stage : ☒ Fin d'études bac+5 ☒ Master 2 ☐ Bac+2 à bac+4 ☐ Autres

Intitulé : Méthode de correction de l'erreur de dispersion pour le schéma différences finies en électromagnétisme

Sujet : Dans le domaine de la simulation numérique des équations de Maxwell un des schémas les plus utilisés, et tout particulièrement dans le contexte d'études industrielles, est celui des différences finies en domaine temporel introduit par K.S Yee en 1966 (FDTD). Parmi les raisons de sa popularité nous pouvons citer : la précision (ordre 2 en temps et en espace), le faible coût mémoire et la vitesse de calcul (permettant de faire des simulations de très grandes scènes), la simplicité de mise-en-œuvre et les nombreux modèles et couplages développés au cours des dernières décennies. Toutefois, parmi ses limitations, l'approximation par différences finies induit une erreur de dispersion qui peut s'avérer très pénalisante sur de grands domaines. A titre d'indication, pour un mode Transverse Magnétique en espace libre l'erreur sur la phase est de 12% au bout de 10 périodes (ou 10 longueurs d'ondes *L*) avec un maillage uniforme de pas *L/10* et un CFL ½ (voir figures). Cette erreur est divisée par 4 en raffinant le maillage par 2 dans toutes les directions, mais aux prix d'un coût de calcul multiplié par 16 et d'un stockage multiplié par 8 ! D'autres méthodes, d'ordre plus élevé ou construites sur d'autres formulations des équations (formulations variationnelles ou asymptotiques, équations intégrales…), ont alors été développées pour remédier à ce problème mais généralement avec des coûts de simulation bien plus importants.

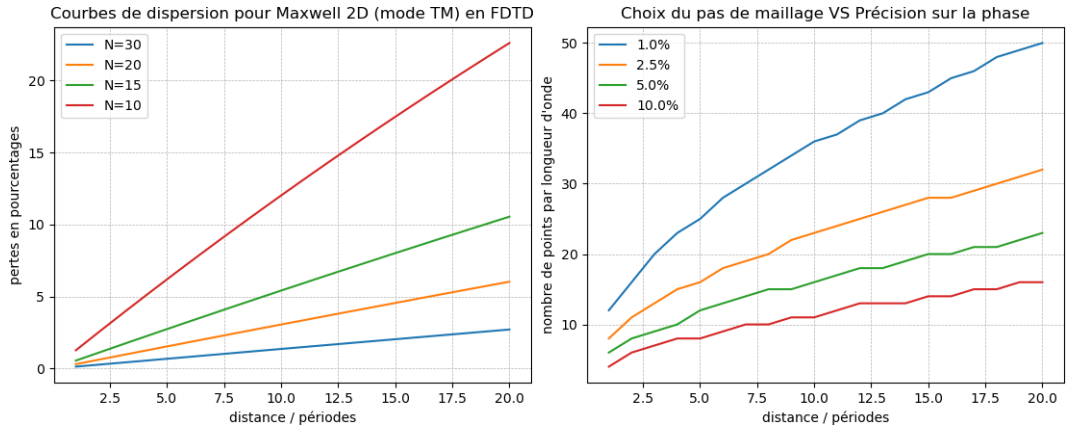

Figure 1 : d'après A. Taflove and S.C. Hagness, "Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method", 2000.

Le but de ce stage est d'étudier une méthode de correction de l'erreur de dispersion pour la FDTD basée sur la correction du nombre d'onde. En corrigeant l'erreur de dispersion, nous augmentons le domaine de validité des simulations tout en conservant un schéma efficace. L'idée est, partant du schéma établi pour un nombre d'onde *k* donné (celle du signal à étudier), d'établir l'équation de dispersion et d'en déduire un nombre d'onde (numérique) *k'* à utiliser dans la simulation. La solution numérique obtenue pour *k'* est alors une approximation plus fine de la solution recherchée en *k*. D'un point de vue pratique, cette méthode introduit un terme de correction (pseudo-différentiel) dans les équations initiales dépendant des paramètres de discrétisations (pas de temps et d'espace).

Dans ce stage nous souhaitons donc tout d'abord étudier cette méthode à la fois théoriquement (reprendre la formulation et les résultats de convergence) et numériquement (mise-en-œuvre, évaluation de la précision et des coûts). Dans un second temps nous étudierons l'adaptation de différents modèles à ce modèle dont l'introduction de surfaces de Huygens et les conditions aux limites absorbantes de type « Perfectly Matched Layers » (obtenues par une formulation augmentée des équations de Maxwell). Cette méthode pourra aussi être étudiée pour proposer une méthode de correction efficace dans le cadre des simulations de milieux infinis périodiques illuminés par une onde plane d'incidence non-normale pour lesquelles des phénomènes de dispersions similaires sont observés au niveau des conditions de bord périodiques, induisant une instabilité des calculs.

Est-il possible d'envisager un travail en binôme ? Non

Méthodes à mettre en oeuvre :

☒ Recherche théorique ☐ Travail de synthèse

☒ Recherche appliquée ☐ Travail de documentation

☐ Recherche expérimentale ☐ Participation à une réalisation

Possibilité de prolongation en thèse : Oui

Durée du stage : Minimum : 5 mois Maximum : 6 mois

Période souhaitée : début possible à partir de février-mars 2026

PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis :	Ecoles ou établissements souhaités :
Mathématiques Appliquées, Simulation numérique	Master 2 université ou école d'ingénieurs avec spécialisation en Mathématiques Appliquées