

Introduction de la dégradation radio-induite dans les simulations d'amplificateurs à fibres dopées terres-rares

Franck MADY, Mourad BENABDESSELAM, Jean-Bernard DUCHEZ

Université Côte d'Azur, UNS, Institut de Physique de Nice (inϕni)

franck.mady@unice.fr

Abstract : Sur la base de caractérisations expérimentales spécifiques, nous proposons un modèle physique validé de la dégradation radio-induite locale dans les fibres optiques dopées terres-rares (erbium et ytterbium principalement) en conditions d'amplification. Ce modèle peut être implémenté naturellement dans les systèmes d'équations aux dérivées partielles permettant la simulation des amplificateurs fibrés. L'objectif est de mettre au point à un outil prédictif capable de simuler le comportement d'un tel composant en milieu radiatif (dégradation de gain) en fonction du champ de débit de dose ambiant, de la dose totale et des puissances lumineuses lancées dans la fibre.

Les amplificateurs à fibres optiques dopées aux terres rares (erbium, ytterbium, thulium...) sont classiquement simulés en résolvant les équations aux dérivées partielles (EDP) régissant la propagation de la pompe, du signal et du bruit ainsi que l'évolution temporelle des populations des divers niveaux des ions actifs. Bien que ces simulations soient utilisées depuis longtemps dans l'ingénierie des amplificateurs fibrés, elles demeurent incapables d'intégrer, sur la base d'un modèle physique dûment justifié, les effets d'une irradiation ionisante. Pouvoir simuler l'impact d'une telle irradiation, pas nécessairement homogène, sur le fonctionnement d'un amplificateur à fibre est pourtant d'un intérêt majeur. La capacité à anticiper l'évolution de la dégradation du gain représente par exemple un enjeu opérationnel certain qui ne peut être obtenu d'après la simple atténuation radio-induite (ARI). La mise au point d'un code de simulation répondant à ce besoin est un problème spatio-temporel complexe qui exige notamment de rendre compte de la façon dont cette dégradation dépend du débit de dose et de sa variation éventuelle le long de la fibre, de la dose totale, des puissances de pompe et de signal injectées ainsi que de la longueur de l'amplificateur.

Pour parvenir à un outil prédictif fiable, le modèle de dégradation introduit dans la simulation se doit d'être « physique », c'est à dire qu'il doit répondre d'équations rationalisant de manière suffisante les processus physiques préalablement identifiés comme responsables de la dégradation du gain de l'amplificateur (développement et guérison). Pour s'implémenter naturellement dans les systèmes d'EDP des amplificateurs fibrés, ces équations de dégradation doivent par ailleurs être locales : elles doivent décrire les cinétiques de développement/guérison en fonction du débit de dose et des puissances lumineuses disponibles localement, i.e. en chaque point de la fibre, et à tout instant. Dans cette optique, les lois phénoménologiques de dégradation radio-induite tirées de l'ajustement de données expérimentales (comme les « lois puissances » décrivant typiquement les effets de dose et de débit sur l'ARI) sont à plusieurs titres très insuffisantes. Au-delà du fait que leur domaine de validité demeure incertain (sont-elles vraiment extrapolables à volonté ?), elles ne rendent pas compte de l'ensemble des grandeurs extrinsèques déterminantes ; il manquerait notamment une loi décrivant l'impact des puissances lumineuses injectées à débit de dose et dose fixes. Plus réhébitorique, ces lois empiriques sont établies sur des fibres « longues », représentatives des conditions d'opération d'amplificateurs « réels ». Elles répondent dès lors d'effets intégrés sur toute la fibre, le long de laquelle les puissances lumineuses sont largement inhomogènes, et ne fournissent donc en rien les équations locales recherchées.

Notre présentation rappellera la démarche suivie à l'Institut de Physique de Nice (inϕni) pour obtenir une caractérisation locale des phénomènes de dégradation/guérison. Elle en résumera les résultats principaux en soulignant les similarités et spécificités entre les mécanismes établis pour différentes terres rares (ytterbium, erbium et, dans une moindre mesure, thulium). Nous en tirerons les équations de dégradation locales aptes à être implémentées dans les systèmes d'EDP des amplificateurs ytterbium et erbium. La validité de ce modèle sera confirmée en démontrant qu'il reproduit parfaitement, après résolution des EDP sur des longueurs centimétriques, l'ensemble des comportements originaux observés pour des échantillons de fibres de longueur identique. Enfin, le modèle complet d'amplificateur fibré, résolu en temps et spatialement, sera présenté (exemple de l'ytterbium qui demeure le plus simple). Sa nécessaire mais délicate calibration en termes de niveaux et de cinétique de dégradation sera discutée, tout comme les raffinements qui restent à y apporter.