

## **Intervalles de variation des points de référence RMD/MSY estimés via des distributions gamma bivariées générées par des copules**

Benoit Mesnil, Stéphanie Mahévas

IFREMER, Unité Ecologie et Modèles pour l'Halieutique (EMH), BP 21105, 44311 Nantes Cedex 3, France

Les copules sont des objets mathématiques puissants pour modéliser des processus multivariés avec différentes formes de dépendance entre les variables. Ils sont beaucoup utilisés dans certains domaines (finance, assurance, hydrologie) mais les applications halieutiques semblent rares. Nous illustrons leur potentiel sur la question classique de cerner le domaine de variation des estimations de points de référence liés au Rendement Maximum Durable (i.e. le RMD, la mortalité  $F_{msy}$  et la biomasse féconde  $B_{msy}$  associés) sous l'effet des incertitudes dans la spécification de la relation stock-recrutement (RSR). Les copules permettent de générer en grand nombre des répliques des paramètres de la RSR, sous contrainte de distributions marginales gamma (pour qu'ils restent positifs) et d'une corrélation entre les deux paramètres (négative quand on suppose une SRR continue en crosse de hockey). Pour chaque couple de paramètres simulé, on calcule les points de référence RMD associés. Les distributions des points de référence ainsi simulées servent à identifier des intervalles de confiance, support indispensable à une prise de décision. Ces distributions sont comparées à celles obtenues 1) en échantillonnant les posteriors d'ajustements Bayésiens, 2) avec une méthode de bootstrap des résidus, et aussi 3) avec diverses hypothèses de copules. La méthode des copules a produit beaucoup moins d'estimations hors normes (outliers) que le bootstrap, et a réussi à maintenir la corrélation entre paramètres alors que les approches Bayésienne et bootstrap ne le font pas. Toutes les approches testées montrent que les estimations de points de référence RMD traditionnels, inscrits dans de nombreuses législations des pêches, sont généralement obtenues avec d'énormes intervalles dits « de confiance » et, parfois, coïncident avec des points de référence limites ( $F_{crash}$ , Blim). On peut se demander si la pression pour que les avis scientifiques soient basés sur des repères aussi incertains, voire dangereux, est vraiment utile pour la gestion opérationnelle des pêches. La science aiderait plus efficacement les gestionnaires en identifiant, à l'aide de simulations stochastiques, des domaines de mortalité par pêche permettant de « bons » rendements à long terme (« Pretty Good Yield » de Ray Hilborn) tout en garantissant un faible risque d'effondrement du stock. Nous pensons que les copules sont également un outil précieux pour de telles simulations, chaque fois que la dépendance entre variables ne saurait être ignorée.