

Modélisation probabiliste de champs d'imperfections géométriques de coques résistantes de sous-marins

V. Dubourg¹, B. Sudret¹, M. Cazuguel²

1. PHIMECA Engineering S.A.

Centre d'affaires du Zénith, 34 rue de Sarliève, 63800 COURNON

2. DCNS Ingénierie Sous-Marins – Département Coque-Structures-Bretagne
Rue Choiseul, 56311 LORIENT Cedex

Correspondance : dubourg@phimeca.com, sudret@phimeca.com,
mikael.cazuguel@dcnsgroup.com.

Mots clés : imperfections géométriques, champ stochastiques, krigeage, flambement non linéaire, cylindres raidis.

La coque résistante des sous-marins est soumise principalement aux effets de la pression d'immersion. Cette pression externe induit un état de compression, et par conséquent nécessite la prise en compte de la problématique du flambement dès le stade de pré-dimensionnement. Une telle structure est particulièrement sensible à la présence de défauts, qui vont orienter son comportement vers un mode de flambement particulier. Sont donc pris en compte à cette étape :

- les défauts de circularité favorisant les modes de flambement d'ensemble (Figure 1.a) ;
- les défauts de flèche en maille favorisant les modes de gondolement de bordé (Figure 1.b) ;
- les défauts d'équerrage âme / bordé favorisant les modes de flambement par déversement de raidisseur (non abordés dans ce papier).

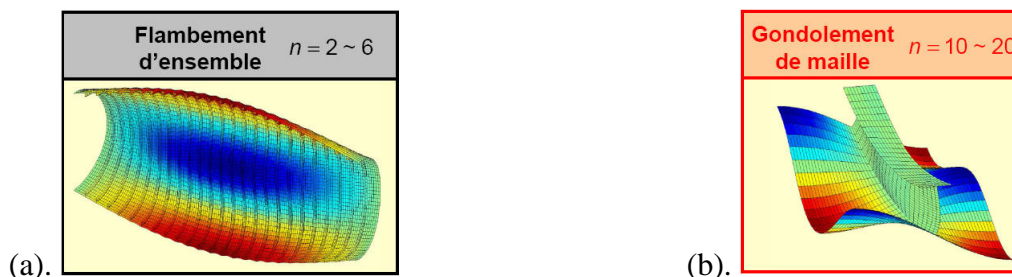


Figure 1. Exemples de modes de flambement de coque résistante de sous-marin

La prise en compte de ces imperfections sous l'angle de leur variabilité aléatoire et/ou spatiale est un problème majeur. Dans ce contexte, une conception sous contrainte fiabiliste nécessite de construire un modèle probabiliste de ces imperfections, afin de les prendre en compte dans de futures simulations. Ces simulations devront permettre de quantifier un niveau de sûreté associé à une *pression de service* cible – i.e. une *profondeur de plongée* cible. Des méthodes récentes ont ainsi montré leur aptitude à traiter ce problème de flambement, telle que la méthode ²SMART présentée dans Deheeger et al. (2009). Il convient maintenant de les alimenter en données d'entrée.

Ce papier présente donc une méthodologie de traitement de champs de défauts, mesurés par photogrammétrie numérique sur coque résistante de sous-marins de conception DCNS. Deux modèles probabilistes gaussiens sont proposés :

(i) Deux modèles probabilistes de champ de défaut de circularité (i.e. deux champs aléatoires unidimensionnels indexés sur la circonférence) sont construits à partir de deux échantillons représentatifs de deux populations supposées indépendantes :

- le défaut de circularité au pied d'un raidisseur d'une part ;
- le défaut de flèche en maille d'autre part.

Du fait de la propriété de 2π -périodicité du défaut de circularité, on a naturellement choisi de décomposer les trajectoires sur la base de Fourier :

$$\zeta_{mes}(\theta) = A_0 + \sum_{k=1}^K (A_k \cos(k\theta) + B_k \sin(k\theta)) \quad (1)$$

Les matrices de covariances empiriques obtenues n'étant pas définies positives, elles ne peuvent pas être simulées simplement par un algorithme classique basé sur la décomposition de Cholesky de la matrice de covariance. On propose donc de recourir à un algorithme alternatif basé sur la décomposition aux valeurs propres de cette matrice.

(ii) Un modèle probabiliste du champ de défaut dans sa globalité (i.e. un champ aléatoire bidimensionnel indexé à la fois sur la circonférence et sur la longueur du cylindre) est construit à partir d'une unique trajectoire en utilisant des concepts récents issus de la géostatistique, dont notamment la méthode du *krigeage* (Krige, 1963). Dans le cas présent, le champ aléatoire va avoir une fonction d'auto-covariance anisotrope, comportant une partie dépendant de Δx (auto-covariance axiale) et une contribution dépendant de $\Delta\theta$ (auto-covariance circonférentielle). On a donc à calculer, puis identifier deux semi-variogrammes (un par direction). On peut reconstruire ensuite une trajectoire en utilisant un estimateur linéaire sans biais (Figure 2).

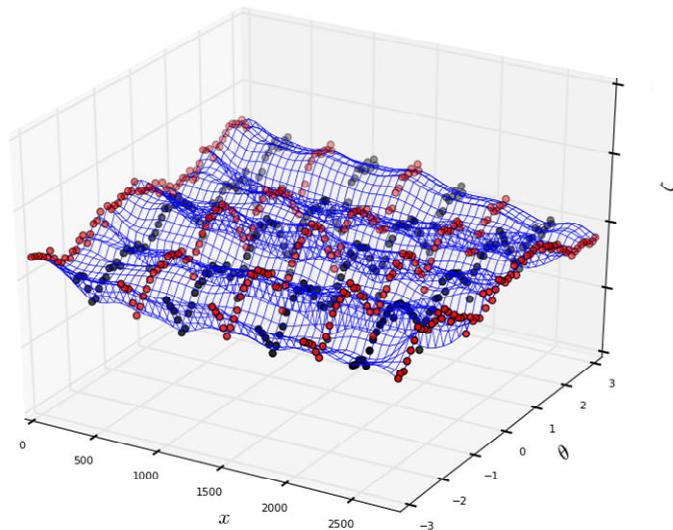


Figure 2. Reconstitution du champ de défaut global sur un tronçon de sous-marin avec superposition des valeurs mesurées utilisées pour l'identification

REFERENCES

- Deheeger, F. Cazuguel, M., Willaume, M. & Pendola, M. 2009. Application de la méthode ²SMART au flambement de coques résistantes de sous-marins. *Proceedings du 9ème Colloque National en Calcul de Structures CSMA, Giens - France*.
- Krige, D. 1951. A statistical approach to some basic mine valuation problem on the Witwatersrand. *J. Chem., Metal Mining Soc. South Africa* 52 (6), 119–139.
- Marquardt, D. 1963. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters. *SIAM J. Appl. Math.* 11, 431–441.
- Santner, T., Williams, B. & Notz, W. 2003. The design and analysis of computer experiments. *Springer*. 283 pp.
- Sudret, B. & Der Kiureghian, A. 2000. Stochastic finite elements and reliability: a state-of-the-art report. *Technical Report UCB/SEMM-2000/08, University of California, Berkeley*. 173 pages.