

8^{èmes} Journées

Fiabilité des
MATÉRIAUX & DES STRUCTURES

Aix-en-Provence,
9 et 10 avril 2014



ECOSYSTEMES CONTINENTAUX
ECCOREV
ET RISQUES ENVIRONNEMENTAUX



Actualisation bayésienne des paramètres de loi d'endommagement pour la fatigue temporelle

Benjamin Rocher^(1,2), Franck Schoefs⁽²⁾, Marc François⁽²⁾, Arnaud Salou⁽¹⁾

Thèse Cifre co-financée par STX France Solutions et l'ANRT

Intégrée au projet SurFFEol soutenu par la région Pays de la Loire

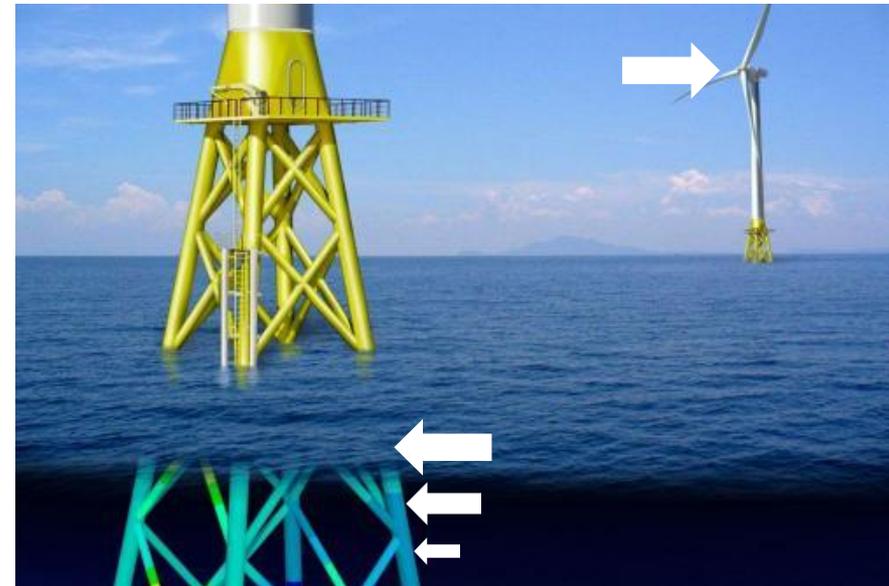


Introduction

- Objectif :
 - Optimisation du dimensionnement en fatigue des fondations des éoliennes offshore

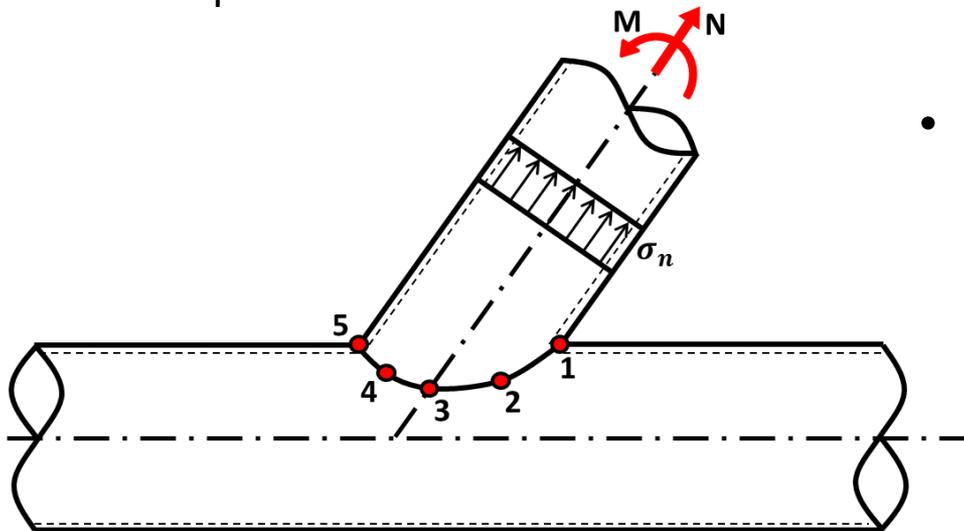
- Problème de l'optimisation :
 - Méthodes de fatigue actuelles trop conservatives

- Optimisation du plan de maintenance :
 - Basé sur des relevés in-situ



Calculs de fatigue actuels

- Deux types d'analyse :
 - Spectrale



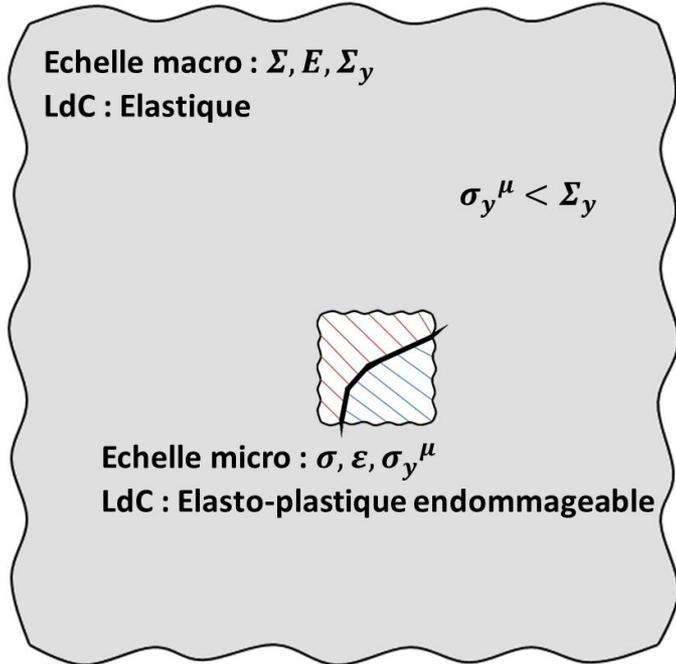
- Temporelle

- Algorithme de comptage de cycles de type rainflow
 - Pas d'historique de chargement
 - Pas d'effet de la contrainte moyenne

- Contraintes (1 à 8) : Combinaisons des contraintes issues d'une modélisation simple
- Cumul linéaire de Miner

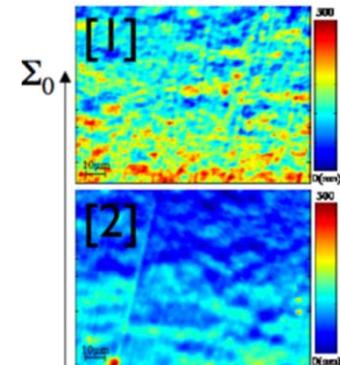
Modèle d'endommagement

- Modèle à deux échelles [Lemaitre, 1996] :
 - Fatigue : $\sigma_y^\mu < \sigma < \Sigma_y$
 - Localisation de Lin-Taylor (1957) : $E = \varepsilon$
 - Elasto-plasticité :
 - $|\sigma - X| < \sigma_y^\mu$
 - $dX = C d\varepsilon^p$
 - Loi d'endommagement : $dD = \left(\frac{Y}{S}\right)^s dp \mathcal{H}(p - p_d)$



- Avantages :
 - Prise en compte de la contrainte moyenne

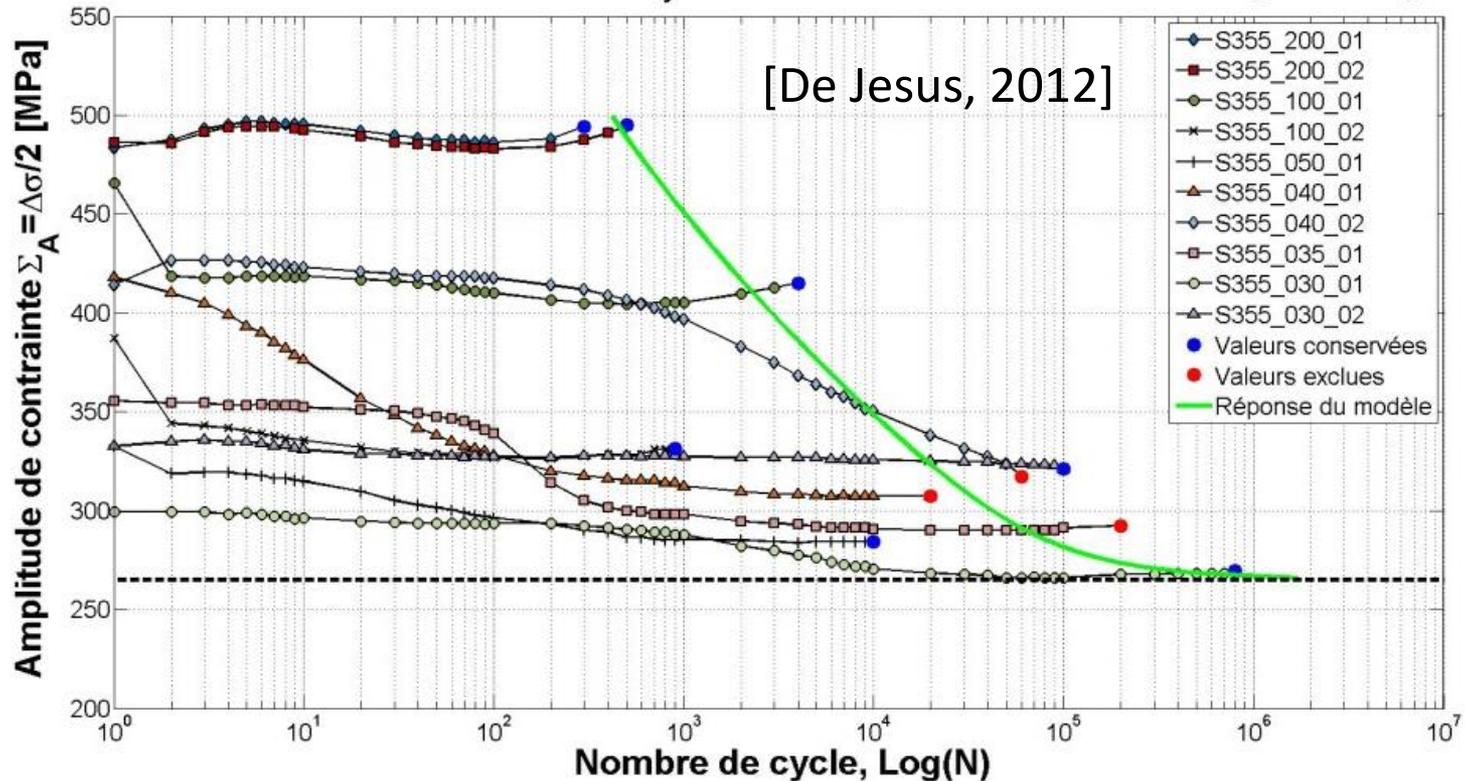
$$D = \mathcal{M}_{inc}(E(M, t); C, \sigma_y^\mu, S, s, p_d, D_C)$$



Problème de l'identification sur une base de données d'essai

- Modèle analytique : $N_R = \mathcal{M}_{an}(\varepsilon(M, t); C, \sigma_y^\mu, S, s, p_d, D_C)$

$E = 210500 \text{ MPa} \mid C = 842000 \text{ MPa} \mid \sigma_y = 265 \text{ MPa} \mid S = 0.3 \text{ MPa} \mid s = 5 \mid D_c = 0.5 \mid p_D = 0.1$



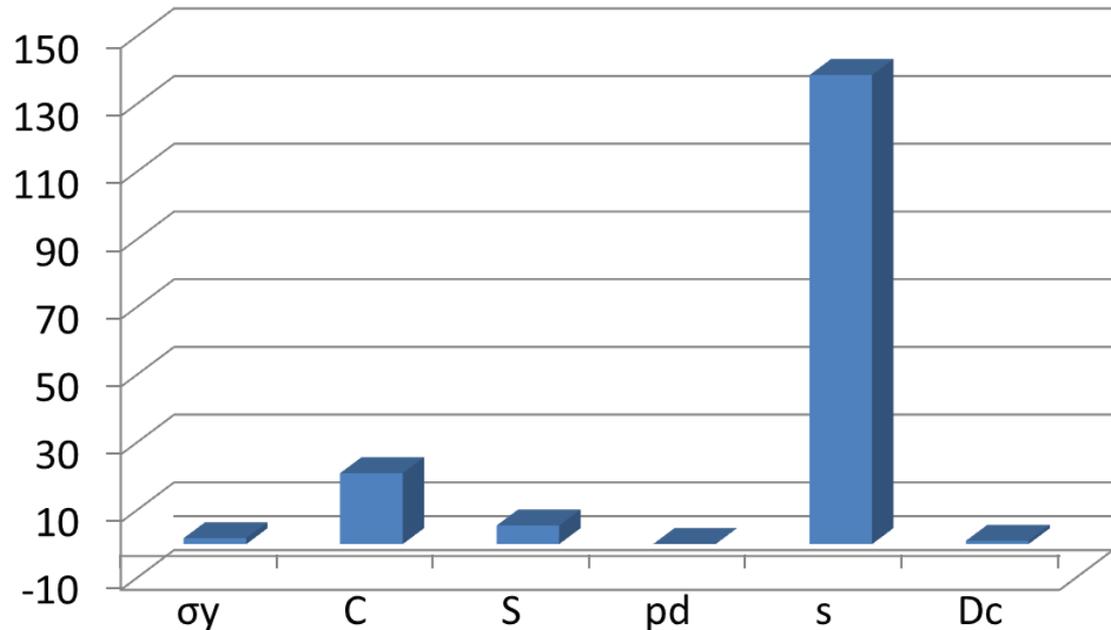
Etude de sensibilité par élasticité

- Plages de variation des paramètres :
- Développement de Taylor au 1^{er} ordre :

- p_d : [0.1 : 10]
- D_C : [0 : 1]
- σ_y : [180 : 300] MPa
- C : [$2 \cdot 10^3$: $2 \cdot 10^6$] MPa
- S : [0.01 : 3] MPa
- s : [1 : 10]

$$\frac{\delta N_R}{N_R} = \sum_k S_{\mathcal{A}_k}^{N_R} \frac{\delta \mathcal{A}_k}{\mathcal{A}_k}$$

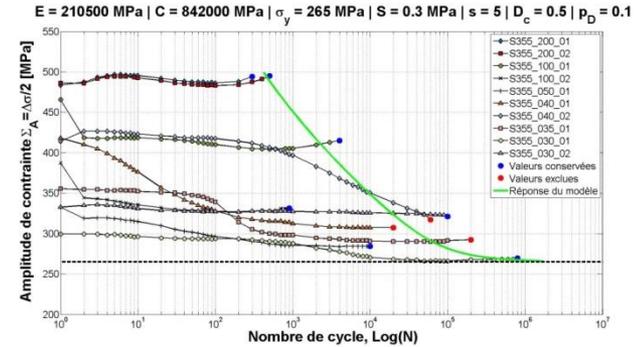
Poids des variables aléatoires



- Résultats

Actualisation Bayésienne

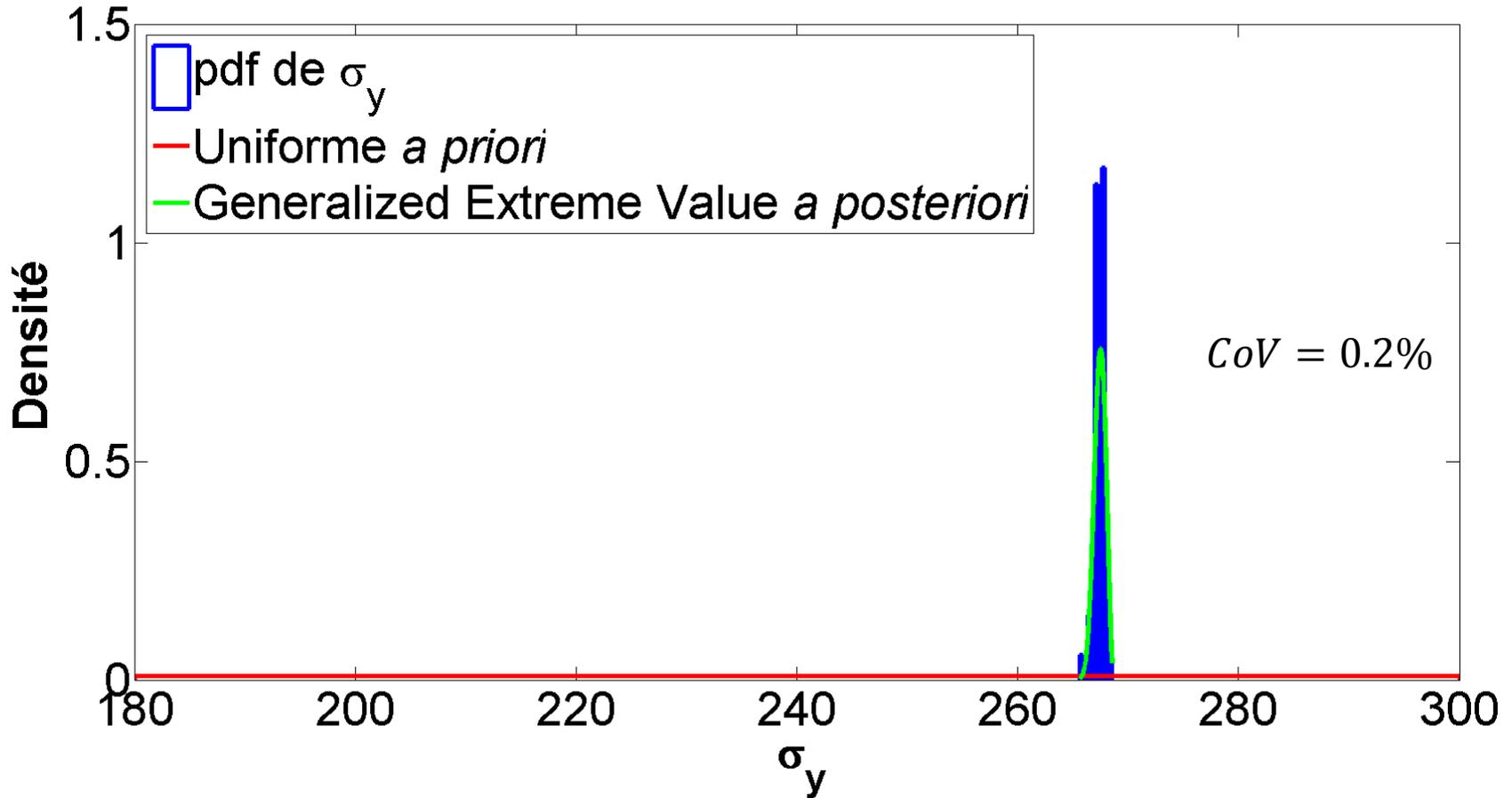
- Pourquoi ?
 - Observations aléatoires
 - Analyse inverse
- Principe :
 - Enrichir les distribution *a priori* des paramètres x à partir d'observations $y(x_p)$
 - Maximisation de la fonction de vraisemblance
- Résultats :
 - Distribution *a posteriori* des paramètres
- Hypothèses sur les paramètres :
 - Indépendance des variables
 - Loi uniforme a priori



$$L(x, Y^{obs}) = \prod_{p=1}^P \varphi \left(\frac{M_{an}(x) - y(x_p)}{\sigma} \right)$$

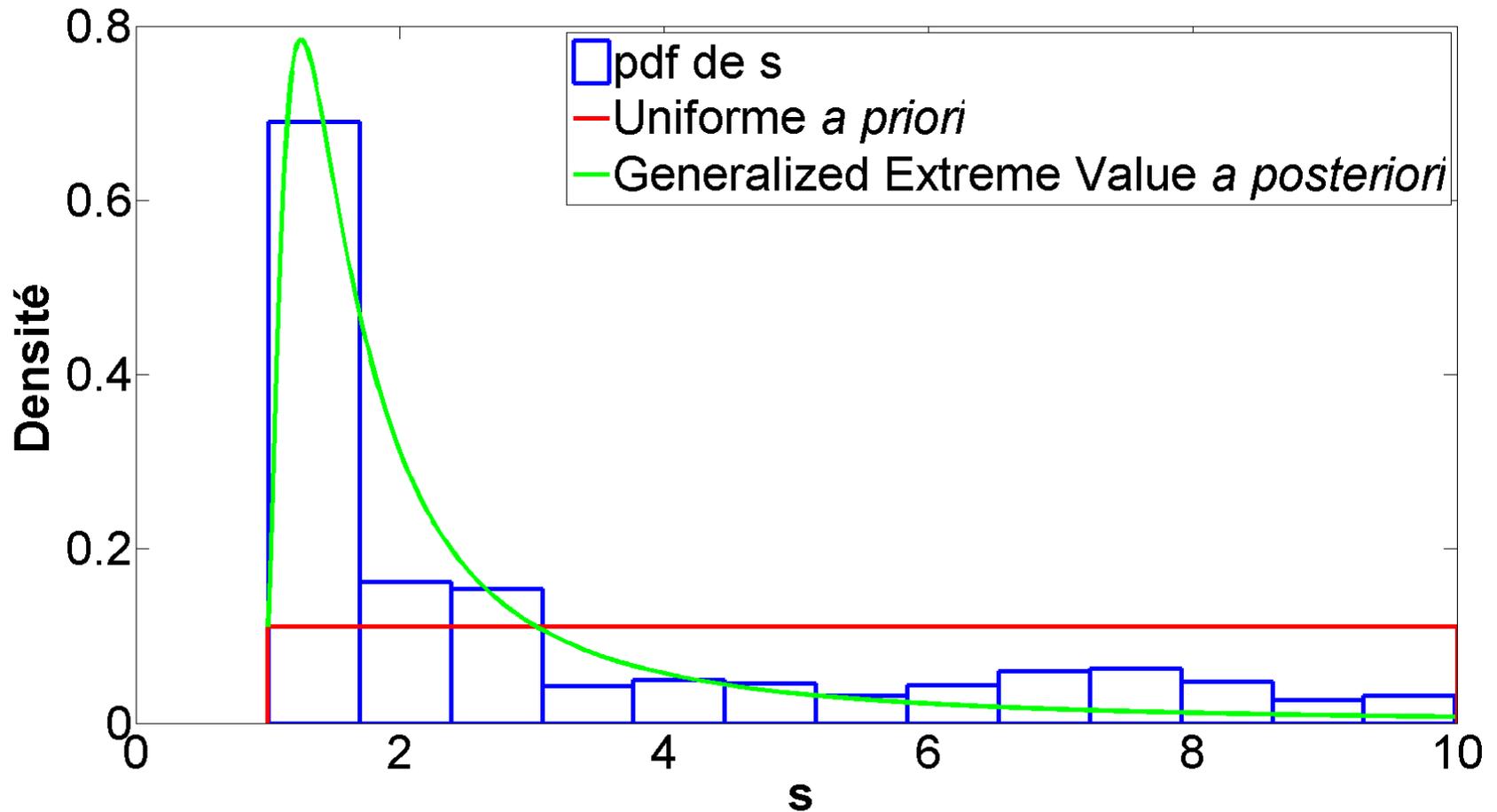
Résultats

Densité de probabilité de σ_y



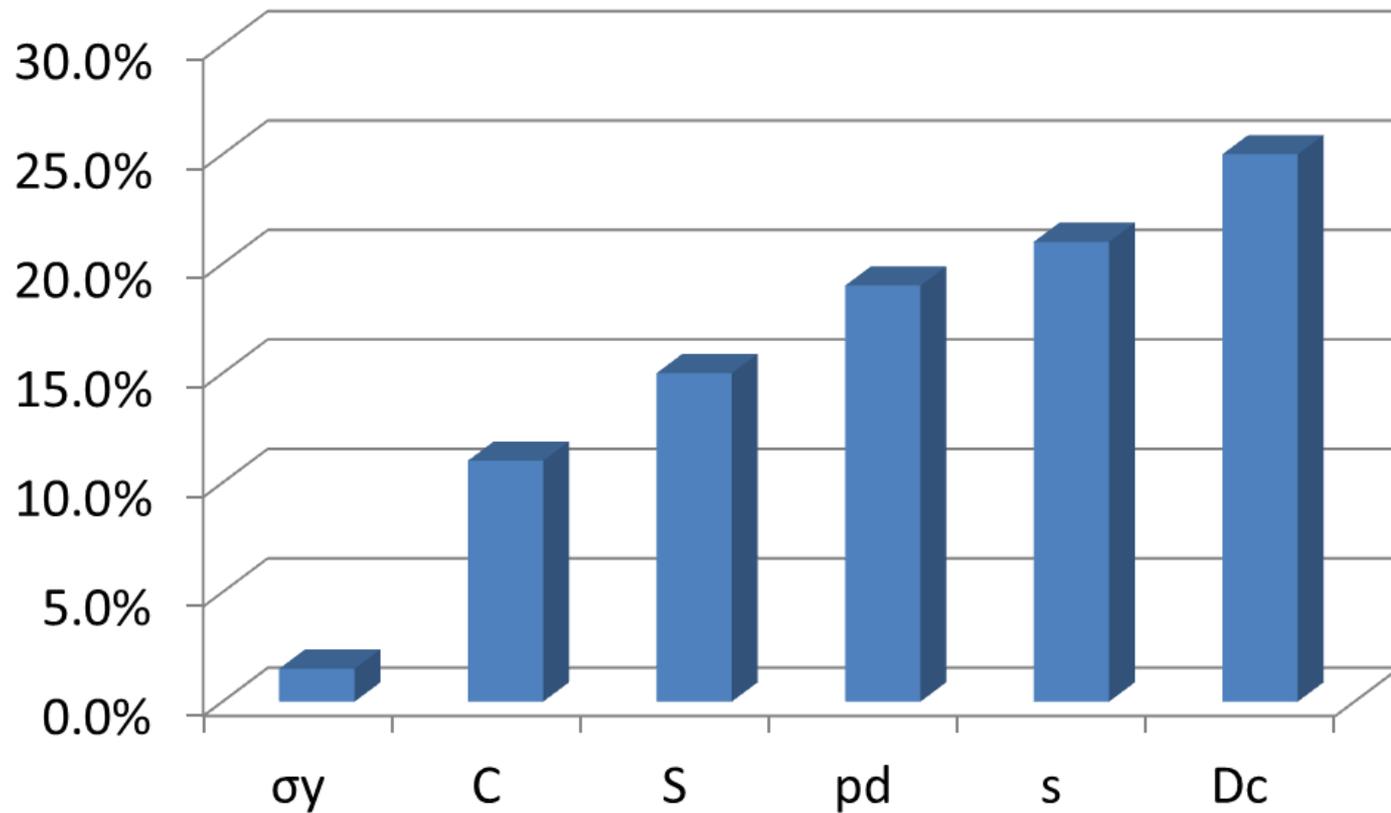
Résultats

Densité de probabilité de s



Résultats

Taux d'acceptation des évaluations des paramètres



Conclusion et Perspective

- Conclusion :
 - Possibilité d'identifier les paramètres matériau sur la base d'essais
 - Besoin d'informations sur les distributions *a priori* des paramètres
 - Besoin d'observations supplémentaires (essais de fatigue ou relevés in-situ)
- Perspective :
 - Réaliser le même exercice pour la phase d'exploitation avec des signaux de déformations relevés in-situ

Références

- De Jesus A. M. P., « A comparison of the fatigue behavior between S355 and S690 steel grades », *Journal of Construction Steel Research*, 2012
- DNV-RP-C203, Fatigue Design of Offshore Steel Structure, 2011
- Dong W., Moan T., Gao Z., « Fatigue reliability analysis of the jacket support structure for offshore wind turbine considering the effect of corrosion and inspection », *Reliability Engineering and System Safety*, Elsevier, 2012
- Dubourg V., Adaptive surrogate models for reliability analysis and reliability-based design optimization, Thèse de doctorat, Université de Blaise Pascal – Clermont II, 2011.
- Lemaitre J., *A Course on Damage Mechanics*, Dunod, 1996.
- Lemaitre J., Desmorat R., *Engineering Damage Mechanics*, Springer, 2004.
- Magnusson A. K., Variability of sea state measurements and sensor dependence, Brest, 30-01 septembre 2013
- Poncelet M., Multiaxialité, hétérogénéité intrinsèques et structurales des essais d'auto-échauffement et de fatigue à grand nombre de cycles, Thèse de doctorat, LMT Cachan, 2007.

Longueur de la chaîne de Markov : 30000 points

$$\frac{\Delta s}{s} = 0.993$$

Exclusion des 10000 premiers points

$$\frac{\Delta p_d}{p_d} = 0.980$$

Densité à posteriori de 4000 points (1/5 points)

$$\frac{\Delta D_C}{D_C} = 1.000$$

Rejet effectué paramètre par paramètre

$$\frac{\Delta \sigma_y}{\sigma_y} = 0.250$$

Temps de calcul : \approx 4 min

$$\frac{\Delta C}{C} = 0.998$$

$$\frac{\Delta S}{S} = 0.993$$