



Session de l'ATMA 2023

Paris, 4 Place Saint Germain des Prés
17 octobre 2023

Jean-Yves Billard, Ecole Navale | ATMA 2023 | 17 octobre 2023

1

1



Analyse des erreurs dues au vent lors d'une expérience de stabilité

Jean-François Leguen, DGA Technique Hydrodynamique
Jean-Yves Billard, Institut de Recherche de l'Ecole Navale
François Grinnaert, Ecole Nationale Supérieure Maritime

ENSM
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE MARITIME



IRENAV

Jean-Yves Billard, Ecole Navale | ATMA 2023 | 17 octobre 2023

2

2

Introduction

- Objectif :
 - Evaluer le biais et l'incertitude liée à la force du vent durant une expérience de stabilité
- Constat :
 - La limite de vent acceptable pour la réalisation d'une expérience de stabilité est fixée arbitrairement à **10 nds**.
- Cette limite ne tient compte :
 - Ni des caractéristiques du navire considéré
 - Ni de la précision recherchée

Problème posé et méthode adoptée

- Comment peut-on déterminer une limite de vent calculée en fonction du navire, des conditions de l'expérience et de la précision recherchée?
- La solution proposée consiste à exprimer GM en fonction des différents paramètres du problème puis de différentier cette expression en ne conservant que les termes qui dépendent de la force du vent.
- La validation est réalisée par une méthode statistique.

Sommaire

- Calcul du vent maximum
- Validation par la méthode de Monte Carlo
- Résultats
- Mesures de vent associées à une expérience de stabilité
- Conclusions et perspectives



Le porte-avion Clémenceau pendant une expérience de stabilité

5

Calcul

- La valeur de GM s'exprime :

$$GM = \frac{wy + \frac{1}{2} \rho_a a S V^2 C_y}{\rho_e g \nabla \varphi}$$

- Dont la dérivée par rapport au vent est :

$$dGM = \frac{\rho_a a S V C_y}{\rho_e g \nabla \varphi} dV$$

w [N]	Poids déplacés pendant l'expérience
y [m]	Distance de déplacement
φ [rad]	Angle d'inclinaison mesuré
S [m ²]	Surface de fardage
V [ms ⁻¹]	WinVitesse du vent
a [m]	Bras de levier du vent
C_y [-]	Coefficient de trainé
∇ [m ³]	Volume de carène
ρ_a, ρ_e [kg.m ⁻³]	Masses volumiques de l'air et de l'eau
g [m.s ⁻²]	Accélération de la pesanteur

On remarquera que :

* L'angle de gîte, φ , tient compte à la fois de la gîte imposée par le déplacement de poids et de celle ajoutée par le vent

* Que la précision sur GM (dGM) est directement proportionnelle à la fluctuation du vent (dV).

6

Vent maximum admissible

- Deux équations :

$$GM = \frac{wy + \frac{1}{2} \rho_a S V^2 a C_y}{\rho_e g \nabla \varphi}$$

$$\frac{1}{2} \rho_a a V^2 C_y = \rho_e g \nabla \varphi_{vent}$$

On remarquera que :

* Le vent admissible est proportionnel à la racine de φ_{poids}

* Que la précision sur GM (dGM) est directement proportionnelle à la fluctuation du vent (dV).

- Permettent d'écrire :

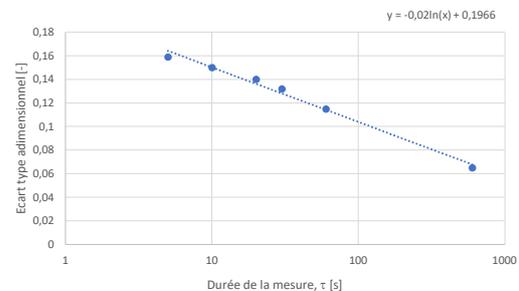
$$\delta = \frac{dGM}{GM} = 2 \frac{\varphi_{vent}}{\varphi_{vent} + \varphi_{poids}} \frac{dV}{V}, \quad \frac{dV}{V} = \lambda \quad \text{Et enfin} \quad V < \sqrt{\frac{GM}{2 \frac{\lambda}{\delta} - 1} \frac{2 \rho_e g \nabla}{\rho_a S a C_y} \varphi_{poids}}$$

7

Analyse du vent

- Les variations du vent ont été déterminées par une analyse bibliographique qui montre que les fluctuations de vent sont de nature gaussienne et que pour une mesure du vent moyen sur une heure les fluctuations observées sur des durées τ plus courtes obéissent à la loi suivante :

$$\sigma = 0.1966 - 0.02 \ln \tau$$



8

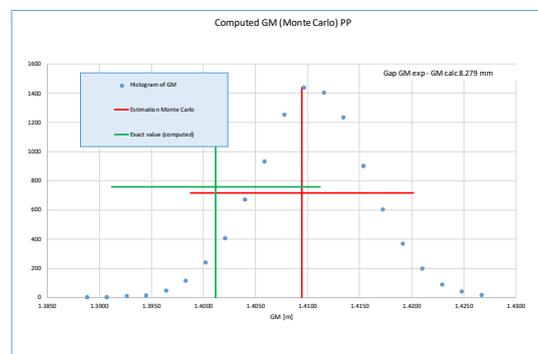
Analyse probabiliste

- La fluctuation dGM est proportionnelle à la fluctuation du vent, dV . Or dV respecte une loi gaussienne on vérifiera donc que la fluctuation dGM suit également cette loi.
- Statistiquement, le résultat de l'expérience nous donnera alors dans 95% des cas une valeur comprise la valeur dans la fourchette : $GM \pm 2\sigma_{GM}$ où GM représente la valeur réelle de GM si la transformation de dV en $d\phi$ est linéaire.
- Cette transformation étant liée à la courbe des GZ elle dépend de la linéarité de cette courbe au voisinage de l'origine et peut introduire un biais si l'angle ϕ_{poids} est supérieur à la limite de linéarité de la courbe.

9

Résultats

- Utilisation de la méthode de Monte Carlo par simulation de 10000 expériences de stabilité pour la même condition de vent moyen.



10

Résultats pour plusieurs navires

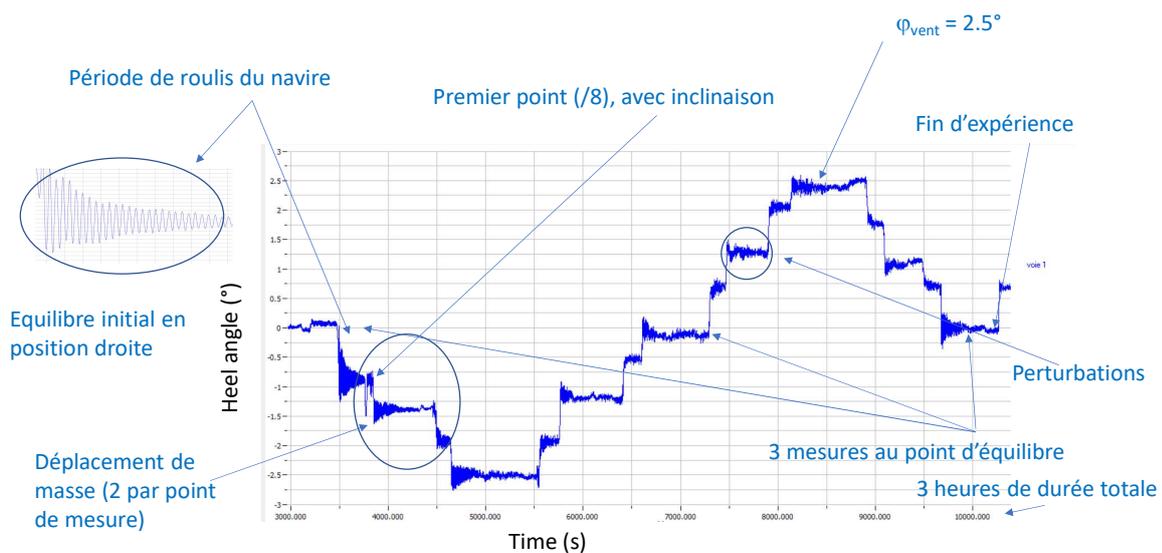
Navire	$\phi_{\text{vent}}=4^\circ, \delta KG=10\text{mm}, N=10000, \text{méthode GM}$						$\phi_{\text{vent}}=4^\circ, \delta KG=10\text{mm}, N=10000, \text{méthode KN}$			
	KG (exact) [m]	2σ	KG (estim) [m]	Biais [mm]	% accep.	$V_{\text{pour } 1^\circ}$ [ms^{-1}]	KG (estim) [m]	Biais [mm]	% accep.	V_{vent} [ms^{-1}]
Patrouilleur polaire	6.367	10.74	6.359	8	63.5	3.9	6.367	0.3	93.4	6.7
Bateau école	3.1	10.65	3.1	0.1	93.5	2.81	3.1	0.2	93.5	5.62
Chasseur de mines	3.84	10.9	3.834	6	79	4.8	3.84		92.9	9.6
POM	1.954	9.07	1.943	11	42.5	3.2	1.954	0.3	97.02	6.1
Porte hélicoptère	9.00	10.73	8.993	7	69	3.33	9	0.3	93.4	6.67
Frégate de 76 m	4.44	10.78	4.436	4.2	85	3.07	4.44	0.4	93.2	6.1
Frégate de 129 m	6.04	10.71	6.034	6	75	2.9	6.037	0.4	93.4	5.8
ERF Caouane	1.95	10.74	1.5	480	0	2.55	6.7	0.2	96.9	6.21
PHA	12.34	10.26	12.285	55	0	0.85	12.34	0.2	94.55	4.06
PAN	14.03	10.7	13.994	36	0	3.6	14.03	0.3	93.32	7.3

Jean-Yves Billard, Ecole Navale | ATMA 2023 | 17 octobre 2023

11

11

Mesures de vents pendant une expérience récente

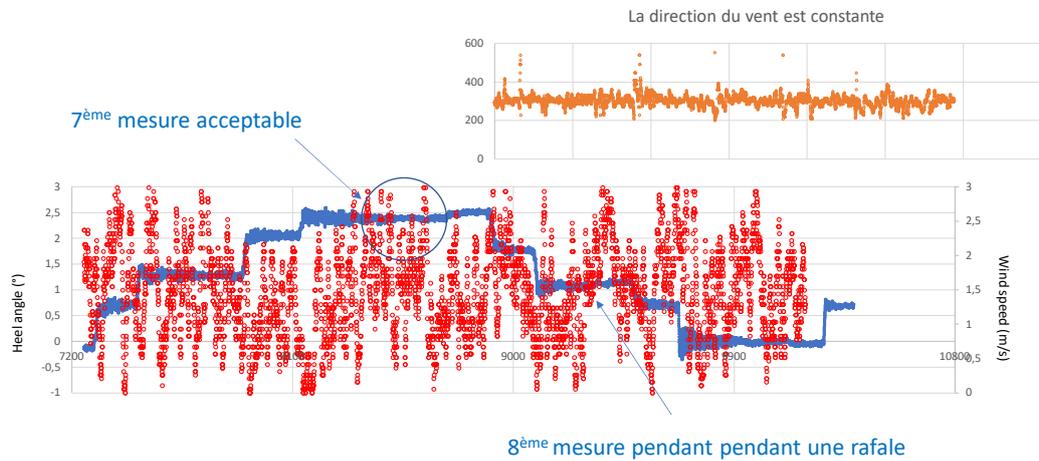


Jean-Yves Billard, Ecole Navale | ATMA 2023 | 17 octobre 2023

12

12

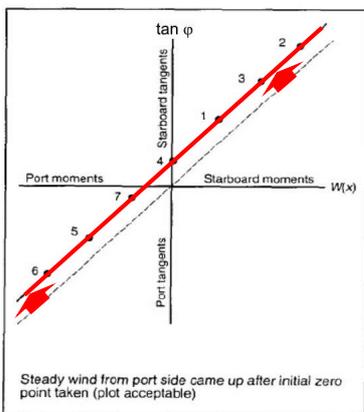
Mesures de vent pendant l'expérience



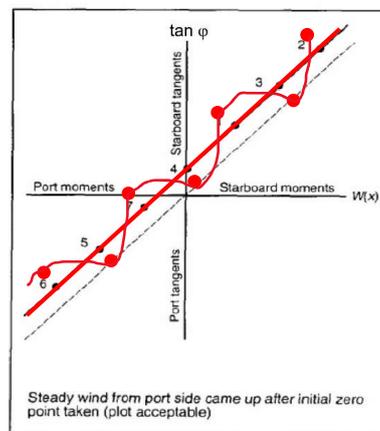
13

Effet du vent pendant l'expérience (MSC.1/Circ.1281 December 9th 2008)

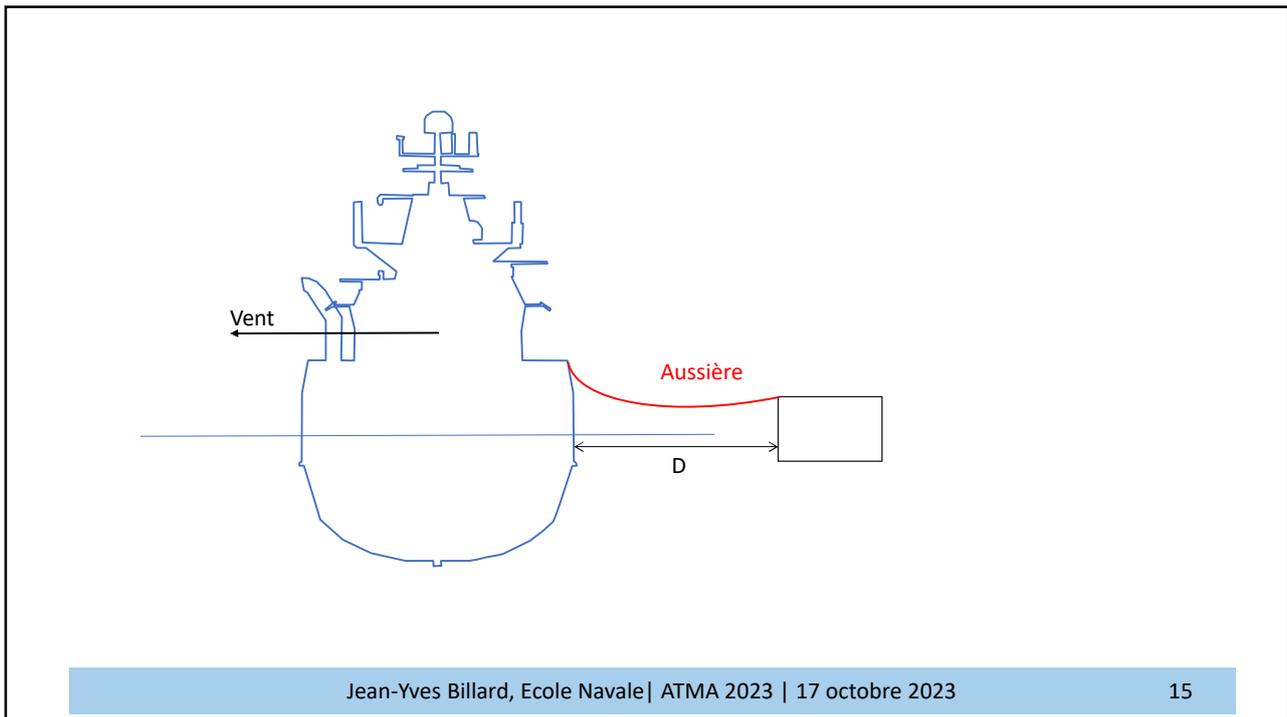
Effet d'un vent constant



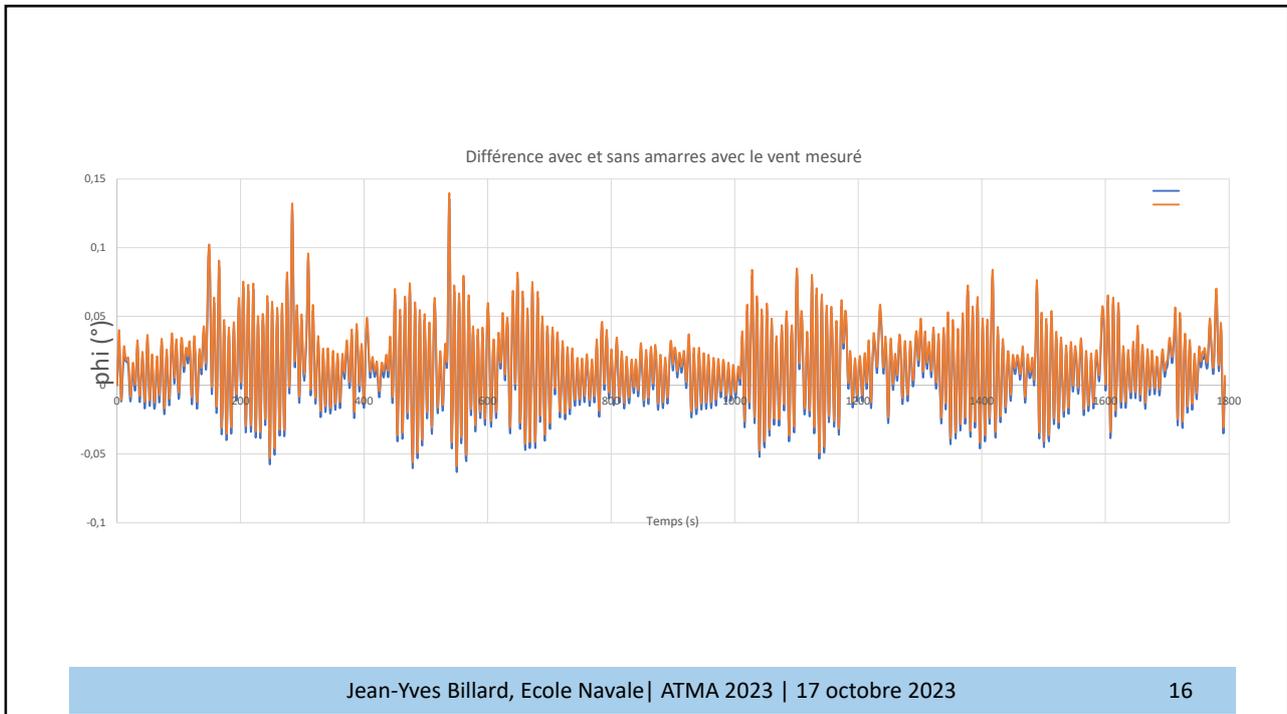
Effet des rafales de vent



14



15



16

Conclusions

- Les fluctuations du vent contribuent de façon significative à l'incertitude sur la mesure de KG lors d'une expérience de stabilité
- La méthode d'évaluation proposée permet soit la détermination du vent maximum à précision exigée ou permet l'évaluation de la précision obtenue pour le vent observé lors de l'expérience
- Le traitement par une méthode de KN permet d'éliminer le biais NL

Perspectives :

- Proposer une nouvelle procédure pour l'expérience de stabilité
- Inclure le vent dans les estimation de l'incertitude globale
- Déterminer les probabilités de chavirement pour la gamme de KG comprise entre $KG_{mes} - 2\sigma_{KG}$ et $KG_{mes} + 2\sigma_{KG}$