

Le GM-METER TEST

L'instrument de référence pour les expériences de stabilité

Les moyens traditionnels de mesure d'inclinaison des expériences de stabilité : pendule, tube en U, niveau à bulle ont l'avantage d'un coût d'acquisition pratiquement nul et d'une mise en œuvre apparemment simple et directement accessible. Par contre, ils présentent des inconvénients qui les rendent obsolètes au regard des besoins de la technique et des contraintes de gestion actuels :

- Précision de mesure, au mieux 2 %, au prix d'un grand soin opérationnel exigeant des opérateurs confirmés.
- Inclinaisons de plus de 2° nécessaires pour obtenir cette précision, nécessitant donc des poids importants à manipuler.
- Mesure impossible avec un mouvement résiduel même modéré engendré par un plan d'eau agité.
- Multiplication des opérateurs afin de fiabiliser les résultats surtout dans un contexte de mesures officielles.
- Non traçabilité des mesures si ce n'est par les témoignages des opérateurs.
- Vulnérabilité aux incidents et aléas : déplacement accidentel de la règle du pendule, déformation de la structure supportant le point d'accrochage, surtout si elle est occasionnelle, déplacement de lest liquide sous l'effet de l'inclinaison...
- Non mise en évidence de ces incidents et aléas, et impossibilité de correction après coup.

Le GM-METER TEST permet de s'affranchir de toutes ces limitations et inconvénients et ajoute des mesures complémentaires aux résultats de l'expérience de stabilité :

- Mesure de la période naturelle de roulis
- Mesure des inclinaisons sous l'effet de manœuvres.
- En option, mesure des tirants d'eau

Précision des mesures :

Le cœur du système est un capteur électrique d'inclinaison. Ce capteur est suivant l'option choisie, d'une précision de 0,001° ou 0,0001°, donc au moins 10 fois meilleur que ce que l'on peut faire de mieux avec un moyen traditionnel.

La plus faible est déjà meilleure que ce que l'on peut faire de mieux avec un moyen traditionnel. La plus grande précision dépasse la précision des bancs de test habituels, aussi ces appareils sont étalonnés par un organisme métrologique officiel qui fournit un certificat attestant du raccordement aux étalons métrologiques internationaux.

Ces précisions sont garanties dans la plage de température 0°C à 45°C pour une durée de 2 ans. Au delà de cette durée, l'étalonnage doit être vérifié par un service de métrologie compétent.

Avec ces précisions on comprend qu'il n'y a pas d'inconvénient contrairement aux systèmes mécaniques (les autres sources d'erreur égales par ailleurs) à travailler avec des inclinaisons de faible valeur (inférieures à 1°), ce qui limite en conséquence les poids inclinant à déplacer.

Le traitement et l'enregistrement des mesures :

La mesure des inclinaisons fluctue avec le mouvement résiduel du navire. Avec un système mécanique, l'opérateur recherche la position d'équilibre comme la demi somme de deux amplitudes extrêmes consécutives, et en répétant et moyennant une dizaine de fois cette opération.

Le GM-METER TEST exécute la mesure un peu de la même manière, mais il le fait plusieurs milliers de fois en effectuant l'acquisition pendant quelques minutes à la fréquence de 20 Hz. Pour une meilleure précision, la simple moyenne est aussi remplacée par un filtre numérique passe-bas qui ne laisse passer que le continu.

L'utilisation de ce filtre élimine l'influence du mouvement résiduel du navire. Son efficacité divise par 100 les fluctuations de la mesure (avec un roulis de 1° la mesure fluctue de 0,01°). Cette fluctuation est à nouveau divisée par 100 en utilisant un filtre supplémentaire, dénommé Super filtre, qui atteint cette performance par un ajustement fin de ses paramètres à la période du mouvement mesurée par le système.

De cette façon les précisions nominales sont conservées avec un mouvement résiduel important, ce qui permet généralement de réaliser l'expérience au poste à quai habituel du navire.

Le traitement pour accéder à l'inclinaison du navire peut être réalisé in situ ou après coup car l'ensemble de l'opération est enregistrée. De cette manière, non seulement les points de mesures peuvent être vérifiés, mais d'autres points peuvent être calculés à des moments jugés plus propices, pour remplacer ou pour compléter ceux déjà réalisés.

L'enregistrement continu de toute l'opération, même des temps morts permet de vérifier, et apporte la preuve qu'aucun incident n'a perturbé les mesures. En cas d'incident, une procédure de reprises permet de récupérer les mesures et de poursuivre l'expérience.

L'examen fin de l'enregistrement à chaque prise d'inclinaison permet de mettre en évidence une éventuelle dérive des mesures due à un écoulement de lest liquide dans les fonds. La parade, si cette situation n'a pu être corrigée pendant l'expérience, est de créer après coup des points de mesures à des temps égaux après les mouvements de poids.

L'enregistrement constitue enfin un traçage complet des mesures qui peut être repris à tout moment pour vérification, ce qui est indispensable dans un esprit d'assurance qualité.

La facilité de mise en œuvre, et la sécurité apportée par l'enregistrement complet, permettent d'effectuer les mesures avec un seul opérateur, même pour deux appareils éventuellement. Cet opérateur n'a pas besoin de se trouver constamment auprès du système de mesure, et donc peut en même temps diriger les opérations de mouvements de poids. On obtient ainsi une économie de moyen non négligeable.

Les mesures complémentaires :

Période de roulis :

Le GM-METER TEST mesure la période naturelle de roulis du navire. Cette période est mesurée avec une grande précision par analyse spectrale du mouvement résiduel.

L'amplitude des mouvements étant très faible, la mesure n'est pas faussée par les effets non linéaires des grandes amplitudes.

L'utilisation d'une méthode spectrale pour la mesure permet d'éviter l'influence d'oscillations parasites en particulier les sèches (oscillations de plans d'eau quasi fermés) qui modifient la période apparente.

La mesure de la période de roulis au moment où l'on mesure aussi le GM du navire permet d'accéder au coefficient de roulis f de la relation :

$$GM = (f B / T)^2 \quad \text{B largeur du navire}$$

T période de roulis mesurée

Telle qu'elle est donnée dans la résolution A/ES.IV/168 de l'OMI.

Cette résolution recommande pour les navires de moins de 70 m, la mesure du **GM** par la mesure de la période de roulis et fournit pour cela des valeurs standards de f .

En déterminant f de façon expérimentale on améliore le résultat de cette méthode, et on peut l'appliquer aux plus grands navires.

Inclinaison en manœuvres :

Une autre mesure complémentaire est la mesure de l'inclinaison sous l'action de manœuvres.

En effet comme le GM-METER TEST enregistre en continu l'inclinaison du navire et filtre le mouvement de roulis, il est possible de mesurer l'inclinaison prise lors d'une giration ou sous l'action du déplacement d'un épar : bras de grue, mise en place de rampe etc. Ce qui sera utile pour calculer la stabilité résiduelle au cours de telles manœuvres.

Tirants d'eau :

Avec l'option *Mesure des tirants d'eau*, ceux-ci sont évalués par la mesure de la pression hydrostatique à une profondeur connue par rapport à la ligne de quille **OH**.

Le capteur de pression est immergé à une profondeur proche du tirant d'eau à mesurer à l'aide du système potence/touret, et sa position est repérée par rapport au pont d'où s'effectue la mise en œuvre, par la mesure de la longueur de câble filé :

L'altitude du pont de mise en œuvre par rapport à la **OH**, et ρ la densité de l'eau de mer étant connus, la pression mesurée permet de déterminer le tirant d'eau.

La position immergée du capteur produit un important affaiblissement des perturbations de la surface libre. Le mouvement résiduel est en final filtré avec le filtre utilisé pour la saisie des inclinaisons. Il en résulte une précision de la mesure de h de $\pm 0,5$ cm.

Un avantage supplémentaire de la méthode est que l'influence de la valeur de la densité saisie s'élimine en premier ordre dans le calcul du déplacement du navire. Cette valeur peut donc être approximative. De plus, si le capteur est positionné à la hauteur de la quille du navire, la mesure intégrera les variations de densité jusqu'à la surface, ce qui est très intéressant pour une pesée dans un estuaire avec des strates d'eau de salinité différentes.

Avec cette option, le GM-METER TEST permet d'améliorer la précision de mesure des deux grandeurs qui conditionnent la précision générale de l'expérience : les inclinaisons et le déplacement du navire (voir *l'Expérience de stabilité*)

Qualification des opérateurs, guide opératoire de l'expérience, utilisation avec le pendule :

La précision des mesures effectuées avec le GM-METER TEST est intrinsèque à l'appareil et ne dépend pas de la qualification de l'opérateur, aussi tout a été fait pour permettre la mise en œuvre par des opérateurs sans qualification particulière.

Les possibilités de reprises et de correction rendent impossible les fausses manœuvres irrémédiables, et l'enregistrement continu permet de contrôler la validité des mesures.

Pour les opérateurs sans expérience, un guide opératoire a été incorporé au programme d'exploitation. Une fois la procédure opératoire choisie dans une gamme importante de procédures possibles, le programme guide pas à pas l'opérateur en lui indiquant à chaque étape les opérations à réaliser et ne passe à l'étape suivante qu'une fois l'étape précédente complètement réalisée. Bien sûr ce guide est facultatif et peut être aussi quitté à chaque instant si nécessaire, avec possibilité d'y revenir à la demande.

Certains règlements exigent l'utilisation de deux systèmes de mesure indépendants dont un pendule traditionnel.

L'utilisation du GM-METER TEST permet alors d'améliorer aussi la précision de la mesure avec le pendule : en visualisant les mouvements du navire il permet en effet de déterminer les moments de mesure favorables correspondant à la stabilisation du navire à sa position d'équilibre et à la minimisation du mouvement résiduel. La précision des mesures réalisées à l'aide du pendule sans atteindre celle du GM-METER TEST est ainsi grandement améliorée.

* *
*