

Les essais en bassin d'un modèle réduit du Polar POD

Le caractère innovant du Polar POD et les conditions extrêmes de navigation dans les mers du sud imposent une réflexion particulièrement approfondie sur l'architecture et la construction de ce navire. Au cours de cette phase préliminaire, il est donc nécessaire de prendre appui sur des expérimentations conduites dans des bassins d'essais, à l'aide de modèles réduits.

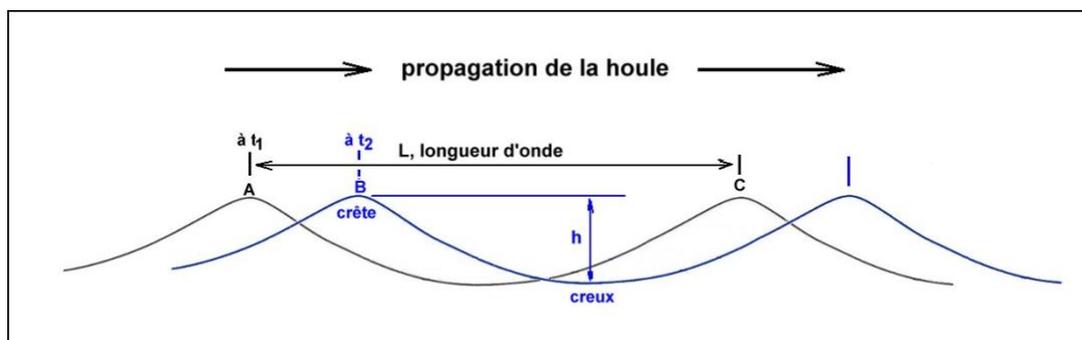
Le Polar POD, un projet innovant

En lui-même, le principe d'une bouée dérivante stabilisée en position verticale par un flotteur et un lest n'est pas nouveau, puisqu'il est connu sous le nom de « perche de Froude », du nom de son concepteur, l'hydrodynamicien britannique William Froude (1810-1879). En fait, fort peu de laboratoires océanographiques flottants ont été réalisés sur ce principe. Au cours de ces dernières décennies, on peut citer la bouée océanographique française BORHA et le navire océanographique américain R/P FLIP qui peut basculer en position verticale lorsqu'il arrive sur zone d'activités scientifiques (voir en annexe).

Le Polar POD, s'il s'inscrit dans la lignée du FLIP dont il est le plus proche, diffère très fortement de ses précurseurs par les conditions dans lesquelles il est amené à opérer. Aucun laboratoire océanographique flottant et dérivant de cette dimension (plus de 100 m de haut, près de 1000 tonnes) n'a été jusqu'alors mis en situation dans cette zone de la planète réputée pour ses conditions de mer éprouvantes pour les hommes et le matériel.

La zone de navigation ; conditions météorologiques et hydrologiques

Le Polar POD entraîné par le courant circumpolaire antarctique va dériver dans les « cinquantièmes hurlants », une immense étendue océanique animée par de fortes dépressions atmosphériques qui génèrent des vents forts et soutenus pendant de longues périodes. Il en résulte une houle puissante, avec des vagues de grande hauteur et une mer parfois très difficile quand plusieurs trains de houles de directions et de hauteurs différentes se superposent.

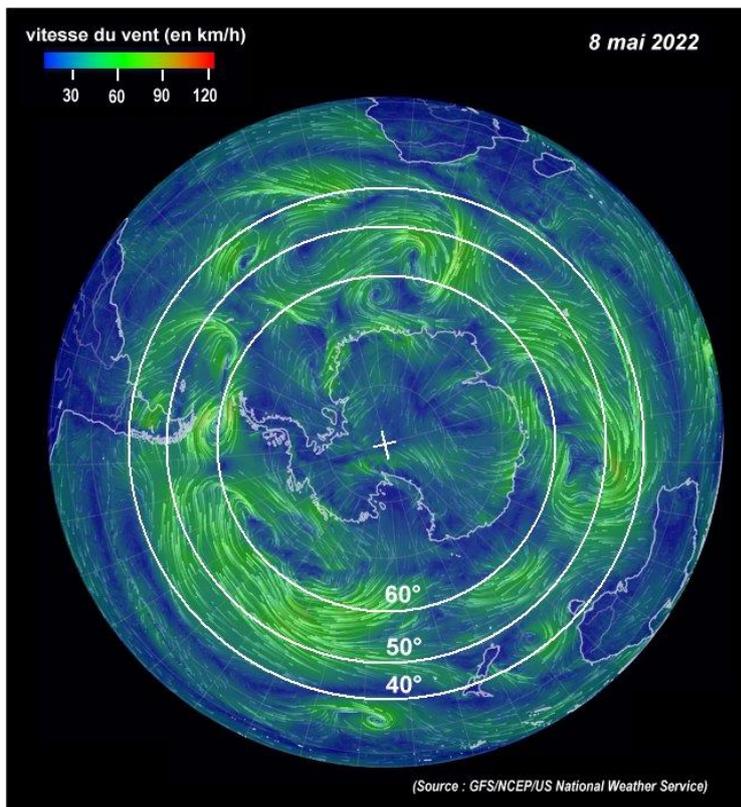


Une houle est caractérisée par :

- sa longueur d'onde, L, distance qui sépare deux crêtes ou deux creux consécutifs.
- la hauteur des vagues, h, distance verticale entre creux et crête.
- sa période T, durée qui s'écoule entre le passage d'une crête en un point et celui de la crête suivante (ou durée nécessaire pour que la crête de vague située en A atteigne le point C).

La houle se propage avec une certaine vitesse, la célérité c, telle que $c = L/T$.

Dans la zone de navigation du Polar POD, la période de la houle peut varier entre 5 et 25 s, avec une majorité de situations autour de 8 à 15 s. La hauteur des vagues se situe fréquemment entre 4 et 8 m. Toutefois, des vagues extrêmes pourraient être rencontrées par le Polar POD ; en mai 2018, une bouée de mesures océanographiques a enregistré à 700 km au sud de la Nouvelle Zélande une vague de 23,8 m de hauteur (ce qui correspond sensiblement à la hauteur des immeubles haussmanniens de 7 étages à Paris !).



La carte ci-contre réalisée à partir de données satellitaires illustre la circulation atmosphérique autour de l'Antarctique à une date précise.

Les vents y sont représentés par une couleur qui correspond à leur vitesse.

On voit qu'entre 50° et 60° de latitude sud, il y a abondance de vents forts (entre 60 et 90 km/h, soit Force 7 à 9 dans l'échelle Beaufort). Ces vents effectuent des mouvements de rotation, ce qui a pour conséquence de générer des houles d'orientations différentes qui peuvent donner naissance à des mers « croisées » particulièrement chaotiques et destructives.



Le Polar POD entraîné par le courant circumpolaire grâce à sa structure immergée et lestée sera néanmoins soumis à l'action de la houle et à l'action du vent, actions qui peuvent être très variables en intensité et en direction, et parfois très puissantes.

Pour faire bonne mesure, il convient également d'y ajouter des températures basses et la présence possible de glaces de mer de plus ou moins gros volume ...

Pourquoi des essais en bassin ?

Pour les concepteurs de ce type de plate-forme océanique dérivante, la problématique est difficile :

- Le Polar POD doit être opérationnel, c'est-à-dire réellement habitable pendant plusieurs semaines d'affilée par un équipage et des scientifiques qui doivent être en mesure de supporter les mouvements de la plate-forme dérivante tout en exerçant les activités prévues par le programme de la mission. La sécurité de ces personnes doit être assurée.
- Les conditions météorologiques et hydrologiques sont particulièrement hostiles et peuvent se traduire par des contraintes mécaniques fortes sur la structure du Polar POD.
- Il n'y a pas de retour d'expériences antérieures de bouées dérivantes habitées dans ces zones.

Dans la construction navale, au cours des siècles, il a été le plus souvent procédé par la méthode « essais-erreurs ». Chaque nouveau navire construit était modifié de façon empirique, pour essayer d'améliorer le précédent. Des progrès ont été réalisés : au 15^{ème} siècle, on arrivait à construire des bateaux capables d'ouvrir les grandes voies maritimes. Des échecs ont également eu lieu, comme en témoigne l'histoire du Vasa, navire de guerre de la marine royale suédoise qui sombra après moins d'un mille de navigation dans le port de Stockholm lors de son lancement officiel en 1628. C'est au 19^{ème} siècle, à la suite de quelques accidents dramatiques que l'idée de réaliser, avant construction d'un navire, des essais de modèle réduit dans un bassin, s'est concrétisée. En France, le premier bassin d'essais, d'une longueur de 160 m fut construit en 1906 à Paris.

Les essais de modèles réduits en bassin permettent d'étudier de façon approfondie le comportement hydrodynamique d'objets flottants (ou fixes ou sous-marins) soumis à la houle : navires, plateformes pétrolières, éoliennes flottantes, hydroliennes, engins de pêche. La tenue à la mer d'Antarctica (Tara), coque large et très arrondie pour esquiver la compression de la banquise, a été testée au bassin des carènes de Paris sur une maquette de 6 mètres.

Cette phase d'expérimentation en bassin avant construction est fréquemment mise en œuvre car elle permet d'optimiser la conception générale de l'objet surtout lorsque celui-ci est innovant. Les outils numériques associés sont d'une aide majeure au cours de ces essais qui permettent aussi de mener des études beaucoup moins coûteuses que sur un objet à l'échelle 1.

Les bassins d'essais :

Aujourd'hui, nombre de pays possèdent des bassins d'essais, le plus grand, de 1300 m de long se situant en Russie. Le plus grand bassin d'essais en France, long de 600 m, se situe à Val de Rueil. Dépendant de la DGA (Direction Générale des Armées), il est dévolu en priorité aux recherches en hydrodynamique navale liées aux activités militaires. Citons par ailleurs :

IFREMER Brest

- bassin de génie océanique (50 m x 12,5 m x 10 m (et 20m)) + houle + vent
- canal de courantométrie (50 m x 5 m x 3m)
- canal extérieur (50 m x 5 m x 2m)

IFREMER Boulogne sur Mer

- bassin à circulation d'eau (18 m x 4m x 2 m) + houle + courant

Ecole Centrale de Nantes – LHEEA

- bassin de houle (50 m x 30 m x 5 m) + vent
- canal (140 m x 5 m x 3 m) + houle
- cuve à houle

Les essais du modèle réduit du Polar POD

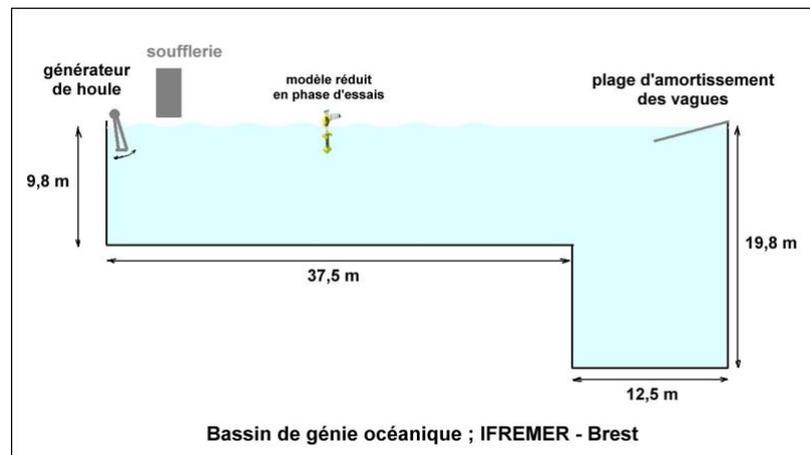
Réalisés à l'initiative des concepteurs du Polar POD et tout particulièrement du Bureau d'ingénierie et d'architecture navale Ship ST dirigé par Laurent Mermier, ces essais se sont déroulés en premier lieu à IFREMER – Brest, puis quelques mois plus tard à l'École Centrale de Nantes.

Les essais dans le bassin de génie océanique IFREMER, à Brest



Ci-contre :

Bassin de génie océanique vu depuis la plage d'amortissement. Le générateur de houle se situe en arrière-plan. Le gros cube gris est la soufflerie. Le système d'acquisition des mesures est à gauche du bassin. On devine le modèle réduit de Polar POD (en jaune au milieu du bassin).



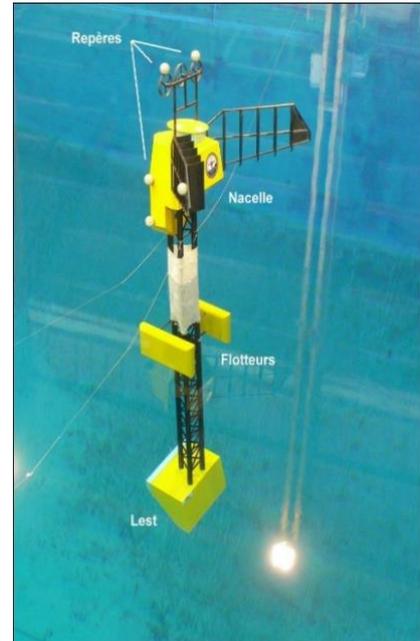
Les vagues sont créées par le générateur de houle constitué par un volet oscillant à une fréquence et une amplitude pilotée par l'opérateur. La profondeur du bassin permet à la houle de se propager sans être freinée par la présence du fond. La plage d'amortissement en pente douce empêche les réflexions de vagues qui pourraient s'effectuer en bout de bassin.



Le modèle réduit, d'une hauteur de 2,5 m environ (échelle 1/41)



De gauche à droite :
 - Laurent Mermier (Ship-ST)
 - Marc Le Boulluec (IFREMER)
 - Jean-Louis Etienne.



Le modèle réduit immergé. Les petites sphères sont des marqueurs pour la capture des mouvements par vidéo.



Modèle réduit de Polar POD subissant les vagues créées par le générateur de houle.



Acquisition des données expérimentales par Marc Le Boulluec, ingénieur en hydrodynamique, responsable des essais.

Pour les essais, le modèle réduit est immergé et positionné à l'aide de lignes d'ancrage assez fines pour ne pas perturber les mouvements induits par la houle (mouvements verticaux, et oscillations). Des caméras situées sur les bords du bassin permettent d'acquérir les images et grâce à la présence de « marqueurs », (légères sphères réfléchissantes collées sur la maquette) d'analyser ensuite les mouvements effectués dans les 3 dimensions de l'espace par le modèle réduit.

Au cours de ces essais, de multiples paramètres sont modifiés pour différentes phases d'essais (période et hauteur de la houle, équipement du modèle réduit (modèle et position de flotteur...)). Deux séquences vidéo tournées au cours de ces essais sont accessibles en fin de document.



Gros plan sur la nacelle et ses marqueurs.



Modèle de flotteur cylindrique dans les mains de Jean-Louis Etienne.

Les essais dans le bassin de houle de l'Ecole Centrale de Nantes

L'océan Austral peut voir se développer des vagues de hauteur extrême. Le bassin de houle et de génie océanique de l'Ecole Centrale de Nantes présente la particularité de disposer d'un générateur de houle segmenté en 48 volets indépendants, chacun ayant 0,6 m de largeur, répartis sur la largeur totale du bassin, soit 30 m. Ce système permet de générer des houles directionnelles régulières ou non d'une hauteur de 0,8 m à 1 m ainsi que des situations complexes. Il est également possible de créer des vagues de très grande hauteur (jusqu'à 2 m de crête à creux) par focalisation de l'énergie émise par le générateur.



Bassin d'essais de l'ECN. Vue du générateur de houle et de ses 48 volets indépendants.

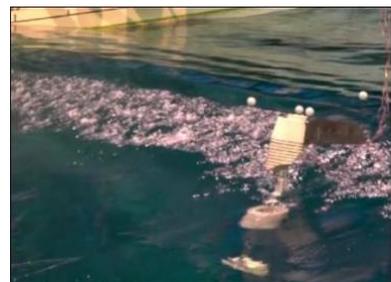
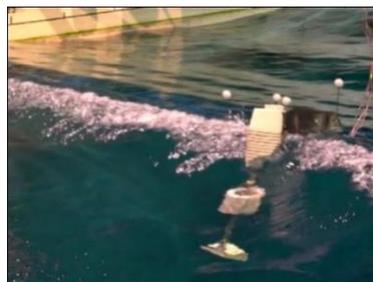
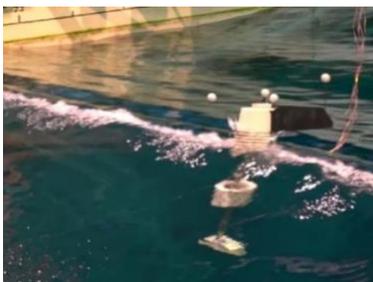


(Source :Ecole Centrale de Nantes)

Exemple de vague « extrême » générée dans le bassin de génie océanique de l'ECN.



Ci-contre : Le modèle réduit de Polar POD en essais dans le bassin de l'ECN (situation de houle irrégulière).



Les trois photos ci-dessus illustrent, de gauche à droite, le comportement du modèle réduit du Polar POD soumis à une vague extrême.

Dans la réalité, ceci correspondrait à une vague « cinquantennale », de 32 m de hauteur, de crête à creux. On voit que cette vague atteint la base de la nacelle, que le modèle s'incline vers l'avant pendant le déferlement, puis émerge et se redresse.

Le film complet de ce test peut être visualisé depuis ce document (voir en dernière page).

Du modèle réduit à la réalité

Au vu de ces tests en bassin, il est légitime de se poser la question du sens à donner aux essais pratiqués à l'aide d'un modèle réduit.

En effet, un bassin d'essais, même s'il est rempli d'eau de mer n'est pas réellement comparable à un océan « ouvert ». De plus, l'échelle de réduction a des conséquences sur les paramètres pris en considération.

Le modèle réduit subit lors de l'arrivée d'une vague une poussée vers le haut, puis un mouvement vers le bas, tout en étant affecté de mouvements de roulis et de tangage plus ou moins prononcés au moment du passage de la vague. Ces oscillations s'amortissent progressivement après le passage de la vague. Gravitation et viscosité du fluide (l'eau de mer) interviennent donc dans le comportement dynamique du modèle réduit. Pour une succession de vagues, une houle entretenue, les mouvements sont incessants et peuvent être complexes.

Il convient donc ici de préciser les règles de similitude applicables pour ces essais :

L'échelle, E, désigne le rapport entre dimension réelle du Polar POD et modèle réduit, ici, $E = 41$ (ce qui signifie que le modèle réduit est 41 fois plus petit que le « vrai » Polar POD).

Pour restituer dans le bassin la période d'une houle réelle, il faut diviser celle-ci par la racine carrée de E (soit ici, 6,4).

Pour restituer dans le bassin la hauteur d'une vague réelle, il faut diviser celle-ci par E (soit ici, 41).

$$\text{Échelle (E)} = \frac{\text{dimension réelle}}{\text{dimension réduite}} = \frac{102,5}{2,5} = 41$$

$$T_{\text{houle bassin}} = \frac{T_{\text{houle réelle}}}{\sqrt{E}} = \frac{T_{\text{houle réelle}}}{\sqrt{41}} = \frac{T_{\text{houle réelle}}}{6,4}$$

$$h_{\text{houle bassin}} = \frac{h_{\text{houle réelle}}}{E} = \frac{h_{\text{houle réelle}}}{41}$$

Exemple : Une houle océanique d'une période de 18 secondes sera dans notre cas (échelle $E = 41$) modélisée dans le bassin par une houle de période $18/6,4 = 2,8$ secondes. Si cette houle océanique génère dans la réalité des vagues de 6 m de crête à creux, il faudra créer dans le bassin d'essais des vagues d'une hauteur égale à $6/41$, soit 0,15 m.

Attention ! Lors de la visualisation de films enregistrés lors des essais, il faut tenir compte de ces problèmes de similitude. En effet, si le film est tourné à la cadence habituelle de 24 images par seconde, il sera restitué à cette cadence et ne traduira donc pas la réalité de ce qui se passera en mer. Vis-à-vis des essais en bassin, en mer, ce sera une durée 6,4 fois plus longue qui séparera le passage de deux vagues consécutives (et c'est tant mieux pour l'équipage !) Il faudrait tourner le film avec une cadence de $24 \times 6,4 = 154$ images par seconde, puis le restituer à la cadence de 24 images par seconde pour « dilater » le temps et traduire ainsi la réalité des mouvements du point de vue temporel.

Les films des essais :

Bassin de génie océanique - IFREMER - Brest : premiers essais, essai 1 [ici](#) et essai 2 [ici](#)

Bassin de l'École Centrale de Nantes : essai de comportement pour une vague cinquantennale de 32 m de crête à creux, voir [ici](#)

Pour en savoir plus :

Une conférence de Marc Le Boulluec et Jérémy Ohana, intitulée

« Des essais de modèles réduits en bassin : représentation du réel », voir [ici](#)

Annexe : Les précurseurs :

Les bouées BORHA : BOHRA 1(pour Bouée Océanique de Recherche Habitée), réalisée en 1963 à l'initiative du commandant Cousteau et mouillée par grands fonds en Méditerranée au large de Villefranche sur Mer. Détruite en 1965 par un incendie, elle fut remplacée en 1973 par la bouée **BORHA 2**, construite pour le CNEXO (Centre National pour l'Exploitation des Océans). Cette structure imposante (870 tonnes, 65 m de hauteur) comportait en sa partie supérieure une nacelle à trois niveaux abritant les laboratoires et services pour 2 marins et 4 scientifiques. Mouillée en Méditerranée par 3000 m de fonds, elle fut désarmée en 1977.

Le R/P FLIP (pour Floating Instrument Platform) est un navire de 108 m de long mis à l'eau en 1962 au service de la Scripps Institution of Oceanography, située à San Diego sur la côte ouest des Etats Unis. Grâce à un système de ballasts, ce navire qui ne dispose pas de moyens de propulsion peut, après remorquage, basculer à la verticale. La partie habitable reste alors émergée, culminant à 17 m au-dessus de la surface de l'eau. Ses missions demeurent localisées, au large de la côte ouest des Etats Unis.



Bouée BORHA 2



R/P FLIP