

**R S T D**

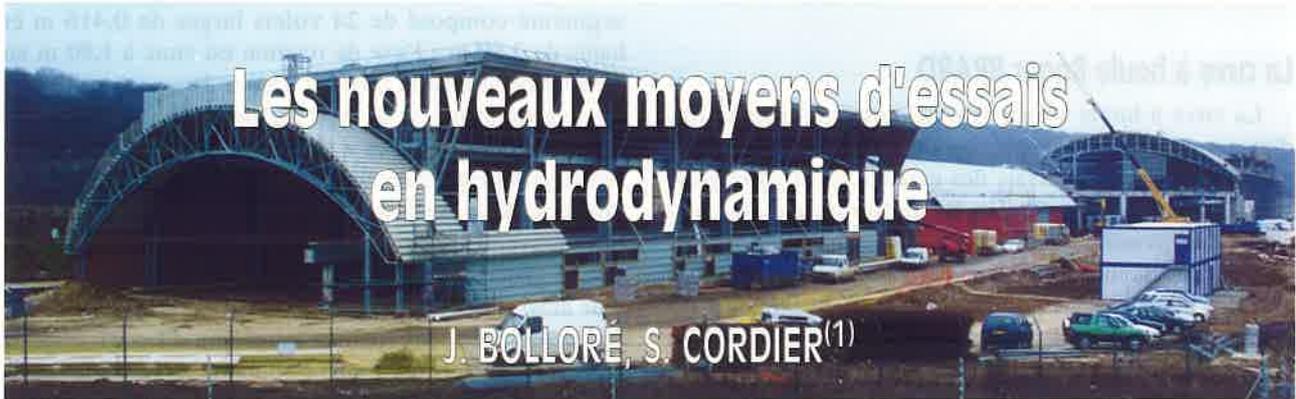
**R E V U E  
S C I E N T I F I Q U E  
E T T E C H N I Q U E  
D E L A D É F E N S E**

# Le Bassin d'Essais des Carènes

**NUMÉRO 43**

**1999 - 1**





**RÉSUMÉ :** La délocalisation du Bassin d'Essais des Carènes à Val de Reuil a commencé en 1987 avec la construction du GTH. Ce déménagement s'achèvera en 1999, année pendant laquelle trois nouveaux moyens d'essais seront recettés, dont la cuve à houle Roger Brard et le nouveau bassin de traction, le B600. Cet article décrit brièvement les caractéristiques techniques et les performances attendues de ces bassins.

**ABSTRACT:** The transfer of the Bassin d'Essais des Carènes from Paris to Val de Reuil was initiated in 1987 with the construction of the GTH. This move will be completed in 1999 with the inauguration of three new test facilities which include the Roger Brard wave tank, and the B600 towing tank. This paper briefly describes the technical characteristics and the expected performances of these new tanks.

## INTRODUCTION

Le site du Bassin d'essais des carènes à Val de Reuil a été créé en 1987 avec la construction du « grand tunnel hydrodynamique », le GTH, qui vient de terminer ses dix premières années d'exploitation, et le déménagement du PTH (anciennement Cavit 2 à Paris). Depuis, sous l'impulsion de la décision de délocaliser le Bassin de Paris à Val de Reuil, différents projets de nouveaux moyens

d'essais ont été élaborés. Ces projets aboutiront en 1999 avec la recette de trois nouveaux moyens d'essais :

- La cuve à houle Roger Brard
- Le B600
- La cuve hydrobalistique

A la fin de l'année 1999, après la fermeture des bassins de Paris, ces trois réalisations compléteront les installations existantes au Val de Reuil pour former un ensemble de moyens d'essais unique au monde, aux per-

(<sup>1</sup>) Bassin d'Essais des Carènes, Chaussée du Vexin, 27100 Val de Reuil, France

formances exceptionnelles, et qui représente un investissement d'environ 1 GF réalisé en un peu plus de 10 ans.

## La cuve à houle Roger BRARD

La cuve à houle Roger BRARD est une installation d'essais qui a été conçue pour servir, d'une part, aux études propres au Bassin d'essais des carènes, et, d'autre part, aux laboratoires de la Région Haute Normandie qui cofinancent cet investissement. En ce qui concerne le Bassin d'essais des carènes, ce moyen d'essai est destiné à étudier expérimentalement les performances hydrodynamiques de navires de surface et de sous-marins à vitesse nulle ou très faible, dans les conditions d'environnement les plus réalistes possibles : houle unidirectionnelle ou multidirectionnelle, par grands fonds ou par faibles profondeurs. L'utilisation de ce moyen d'essai dans le cadre d'études universitaires comprend des études d'interaction entre des ondes acoustiques sous-marines et des structures en présence de la houle (LAUE, Université du Havre) et des études à caractère hydrodynamiques : tenue à la mer, manœuvrabilité (GEMH de l'Université du Havre). Il sera aussi possible d'y faire des essais dans le domaine d'ouvrages portuaires ou côtiers, ainsi que dans le domaine du comportement de structures offshore sur la houle.

La *figure 1* illustre les dimensions et l'architecture de ce bassin qui est constitué des équipements principaux suivants :

- la cuve
- la plate-forme d'essai
- la plate-forme d'observation
- le générateur de houle
- l'amortisseur de houle

### La cuve

La cuve à houle est un bassin dont les dimensions sont : longueur 32,5 m, largeur 10 m, 3,5 m profondeur dans la partie courante. Une fosse de longueur 10 m et largeur 10 m se situe en son milieu. Un plancher amovible permet de la fermer quand celle-ci n'est pas utilisée. La hauteur de l'eau peut varier de 0,4 m à 2,7 m. La surface libre est située à 2,7 m par rapport au fond, 5,5 m par rapport au fond de la fosse. Les parements de la cuve sont, en moyenne, plans et verticaux. Tout point des trois parements humides devra se situer à moins de 1 cm de la section théorique.

La plate-forme du Bassin n°1 de Paris de dimension 13 m x 10 m sera transportée au Val de Reuil pour servir de plate-forme de traction sur la petite cuve à houle avec des vitesses de 0,1 à 1 m/s. Le bassin sera aussi équipé d'une passerelle de 1,20 m de largeur, constituée d'un treillis tubulaire roulant sur les mêmes rails que la plate-forme.

### Génération de la houle

La génération de la houle est assurée par un batteur segmenté composé de 24 volets larges de 0,416 m et hauts de 2,30 m ; l'axe de rotation est situé à 1,80 m en dessous de la surface libre (*cf. figure 2*).

Le générateur est de type segmenté ce qui permet de générer des houles dites « obliques » dont la direction de propagation est différente de celle de l'axe du bassin. La direction de la houle générée est obtenue par déphasage des mouvements de segments adjacents. L'obliquité des houles générées dépend de la taille des segments du batteur ainsi que de la largeur du bassin. Dans le domaine des petites périodes (petites longueurs d'onde), c'est la largeur des volets qui limite l'obliquité de la houle par la relation de Biesel. Dans le domaine des grandes périodes (longueur d'onde) c'est la largeur du bassin qui limite la génération d'ondes obliques. Les dimensions choisies permettront de réaliser des houles jusqu'à 30° pour des périodes entre 1,0 et 1,6 sec. En généralisant ce principe il sera aussi possible de générer des houles directionnelles, c'est à dire une houle comportant des vagues provenant de plusieurs directions selon une distribution, angulaire par fréquence. Un spectre continu en fréquence pour chaque direction peut ainsi être généré pour représenter de manière plus générale un état de mer donné.

Chaque segment est constitué d'un seul volet. L'arrière du batteur est sec, ce qui permet une économie de puissance par rapport à un batteur à dos mouillé qui génère un clapot derrière le batteur. Cette configuration nécessite néanmoins un dispositif pour reprendre l'effort moyen dû à la pression hydrostatique. L'étanchéité est réalisée au moyen de goussets réalisant la continuité de l'étanchéité entre deux volets adjacents. Chaque segment, réalisé en fibre de verre-epoxy, est animé d'un mouvement indépendant piloté par un servomoteur électrique de 2,2 KW, monté sur le châssis, via une courroie de transmission crantée montée sur un secteur cylindrique. Un vérin pneumatique reprend les efforts hydrostatiques et maintient la tension de la courroie. En utilisation, l'écart angulaire maximal entre deux segments voisins ne dépasse pas, en valeur absolue 15°.

L'ensemble des 24 volets est installé sur un cadre support, mobile en altitude, au moyen d'une vis motorisée. Ce cadre

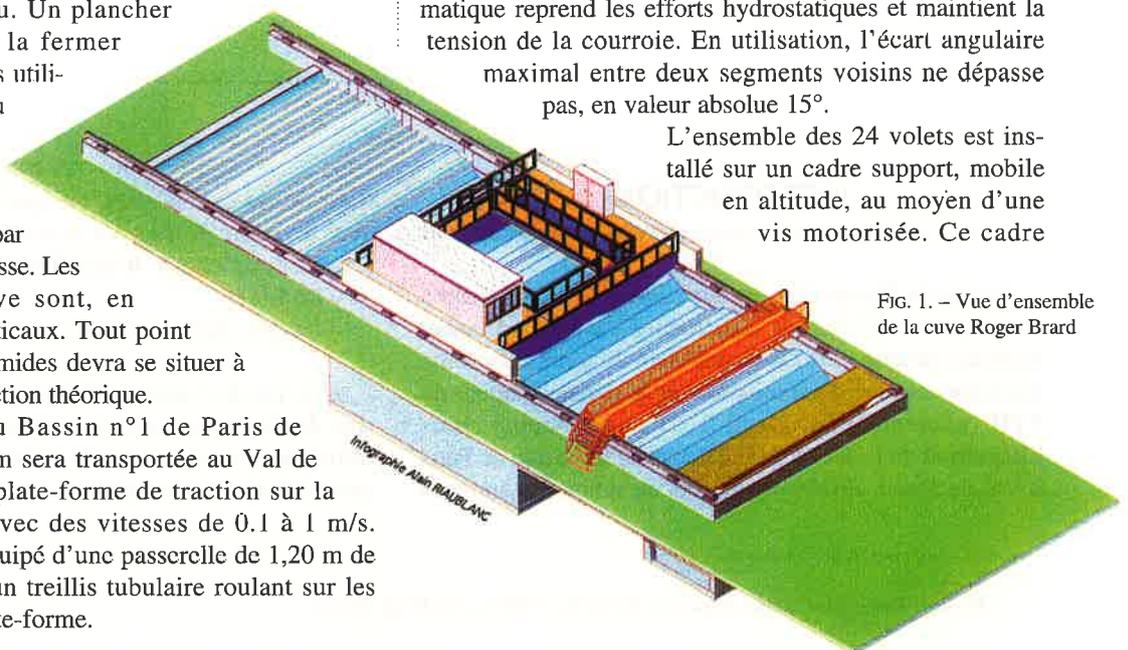


FIG. 1. – Vue d'ensemble de la cuve Roger Brard

FIG. 2. – Vue du batteur segmenté



peut être positionné à différentes altitudes de fonctionnement, selon la hauteur d'eau dans la cuve. Compte tenu de l'encombrement du batteur en position la plus basse, celui-ci s'escamote partiellement dans une fosse de 1.8 m de profondeur aménagée à cet effet. Le fond du bassin a été aménagé en introduisant une rampe à 40° avec un raccord circulaire. Les différentes positions verticales du batteur dans le bassin sont illustrées sur la **figure 3**.

La structure du batteur est suffisamment rigide pour garantir les tolérances d'alignement ; le premier mode propre de l'ensemble constituant le batteur sera supérieur à 6 Hz en eau.

L'asservissement des volets du générateur est du type « position et force ». La position angulaire, ainsi que l'effort hydrodynamique sont mesurés en permanence sur chaque volet et servent à la génération de la consigne des segments du batteur. La mesure d'effort sert aussi pour la mise en œuvre d'un amortissement dynamique.

Les houles régulières (périodiques) pourront être générées à l'intérieur d'un gabarit amplitude/période (cf. **figure 4**) qui a permis de dimensionner la puissance des vérins et la structure des volets :

Les houles irrégulières sont spécifiées par un spectre d'amplitude sur une gamme de période de 0.2 à 3 s.

Le spectre de référence du batteur est de type Pierson Moskowitz caractérisé par la période correspondant au pic d'énergie de la houle ( $T_{pic}$ ) et à une hauteur significative ( $H_s$ ) définie comme la moyenne effectuée sur 1/3 des vagues les plus élevées. Ces houles irrégulières pourront être réalisées dans les limites suivantes :

- $1,5 s < T_{pic} < 1,9 s$ ,
- $H_s < 0,5 H_{max}$ ,

( $H_{max}$  : est la hauteur maximale de la houle régulière produite pour la période  $T=T_{pic}$ )

En ce qui concerne les houles obliques, différentes stratégies peuvent être utilisées pour créer une houle homogène sur une surface du bassin la plus grande possible. Une étude réalisée sur ce point au Bassin a permis de comparer 5 méthodes différentes. Un exemple des résultats obtenus est présenté sur la **figure 5 page suivante**.

### Amortissement de la houle

La génération de la houle en bassin pendant des durées prolongées nécessite un dispositif d'amortissement passif de type plage ou plaques perforées, qui dissipe l'énergie de la houle. Pour la cuve Roger Brard, un amortisseur à plaques perforées a été retenu, car il reste efficace, quelle

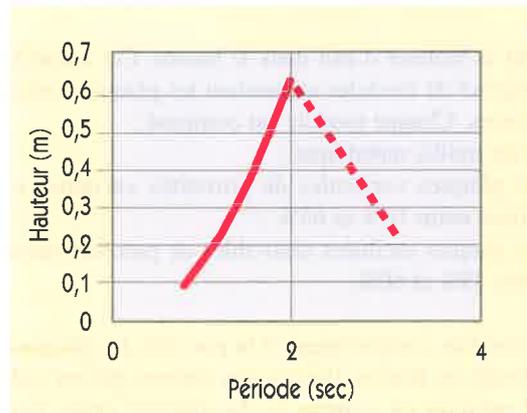


FIG. 4. – Hauteurs maximales des houles régulières réalisables

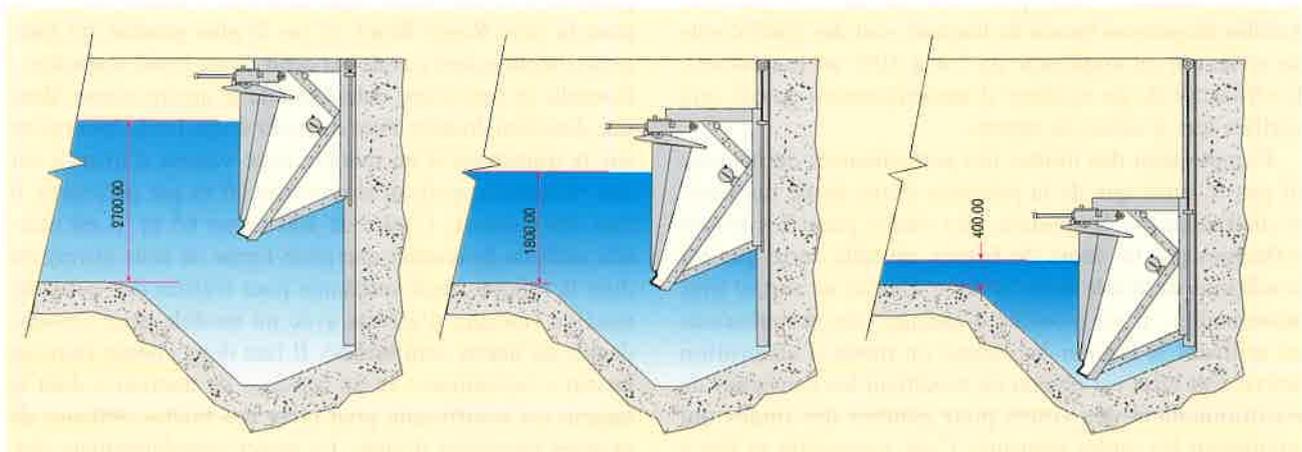


FIG. 3. – Coupe longitudinale du bassin du côté batteur.

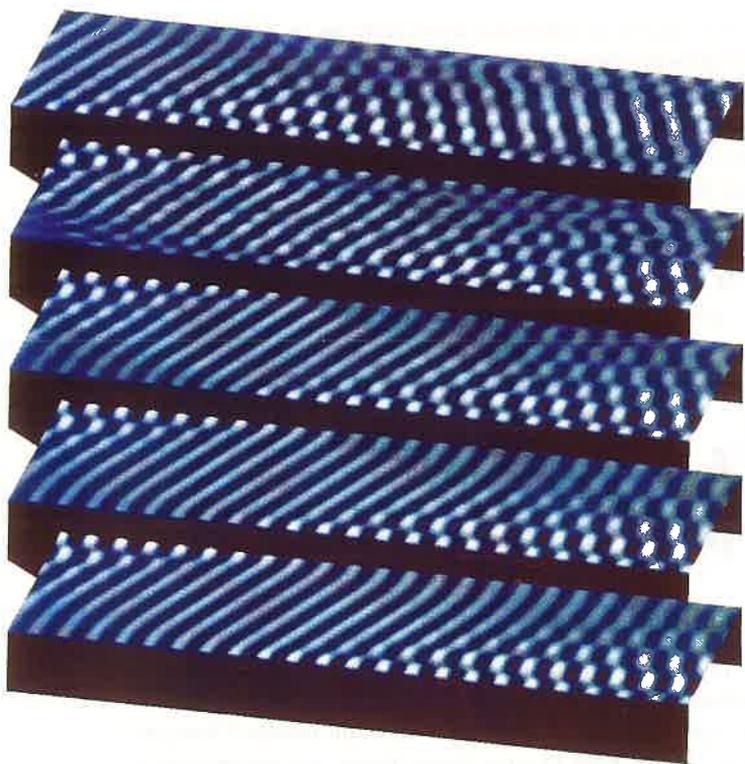


FIG. 5. – Houles obliques générées numériquement selon différents algorithmes de commande du batteur

que soit la hauteur d'eau dans le bassin. Cet amortisseur est composé de modules supportant les plaques verticales et inclinées. Chaque module est composé :

- d'un treillis métallique ;
- de plaques verticales de porosités variables comprises entre 10% et 65% ;
- de plaques inclinées amovibles de porosité variable entre 35% et 60%.

Le nombre, l'espacement et la porosité des plaques ont été calculés au Bassin d'essais des carènes par un code de calcul prenant en compte la dissipation créée par les pertes de charges singulières dans les trous et recalé sur des essais de petites dimensions. Pour les houles de face, les performances d'absorption sont élevées (comparables à celles exigées en bassin de traction, soit des coefficients de réflexion en amplitude de 5% à 10% au maximum). L'efficacité de ce système d'amortissement passif sera vérifiée lors d'essais de recette.

Compte tenu des limites des performances du dispositif passif, ainsi que de la présence d'une houle rayonnée et diffractée par le modèle, des ondes parasites seront réfléchies par les murs du bassin, de telle sorte que les conditions de houle dans la zone d'essai ne seront plus stationnaires. Il est possible d'atténuer ces perturbations en utilisant le batteur lui-même en mode d'absorption active. Cet effet est obtenu en modifiant les consignes de positionnement des volets pour générer des ondes qui annuleront les ondes parasites. Cette correction se fait à l'aide de la mesure d'effort et de vitesse sur le batteur. Le

système breveté par la société qui fournit le batteur peut fournir plus de 95% d'absorption de l'énergie du champ de vague incident sur une large bande passante.

## Bassin de traction B600

### Pourquoi un bassin de traction ?

Un bassin de traction est destiné à l'étude expérimentale des performances d'engins se déplaçant dans un fluide (l'eau et par similitude l'air), mais c'est surtout le moyen d'étude des phénomènes qui ont lieu à l'interface de l'eau et de l'air. Même si certains écoulements associés à ces problèmes commencent à être résolus numériquement, le traitement numérique de la surface libre dans toute sa complexité est loin d'être totalement fiable à l'heure actuelle, et les études expérimentales sont indispensables aussi bien dans le cadre de programmes ou d'études de navires, que pour faire progresser les codes de calcul. C'est en fait la conduite parallèle d'approches numériques et expérimentales qui les fait progresser mutuellement. En effet, si les mesures permettent de juger l'intérêt d'une méthode numérique, le calcul place la barre de plus en plus haut dans la précision et la richesse (quantité et diversité) des mesures à accomplir.

L'intérêt d'un bassin par rapport à un canal de circulation, un tunnel hydrodynamique, ou une soufflerie, se situe dans la grande qualité de l'écoulement incident, parfaitement uniforme, sans effet de confinement, qui est obtenu grâce à la disponibilité d'un grand volume de fluide au repos. L'écoulement incident dépend aussi de la qualité du mouvement de la plate-forme qui supporte l'engin et qui doit être compatible avec le degré de précision recherché (précision et stabilité de la vitesse, accélérations perturbatrices insignifiantes, qualité du chemin de roulement, etc.). Cette capacité à générer un écoulement parfaitement uniforme fait du bassin de traction le moyen d'essai privilégié pour l'étude des propriétés hydrodynamiques de navires de surface ou de sous-marins sur mer calme.

L'étude de la tenue à la mer sur modèle nécessite la génération d'une houle représentative. Comme on l'a vu pour la cuve Roger Brard, le cas le plus général qui intéresse l'architecture navale est celui d'une houle multidirectionnelle et irrégulière dans laquelle le navire avance dans une direction donnée. Pour disposer d'une houle homogène sur la trajectoire d'un modèle avec vitesse d'avance sur une distance significative (environ 50 m par parcours), il faut des cuves de l'ordre de 100 m par 65 m. Il est alors très difficile de réaliser une plate-forme de cette envergure dont la rigidité serait suffisante pour réaliser des essais de traction (mesure d'efforts avec un modèle dont certains degrés de liberté sont bridés). Il faut donc choisir entre un bassin « océanique » et un bassin « de traction » dont la largeur est insuffisante pour créer des houles obliques de grandes longueurs d'onde. Le projet complémentaire étudié par le Bassin, le Bassin à Houles Multidirectionnelles

(BHM) n'ayant pas abouti, et compte tenu de la nécessité de disposer au moins d'une capacité « traction », le B600 est résolument un bassin de traction et les houles générées seront monodirectionnelles dans l'axe du bassin. Des provisions ont néanmoins été faites sur les 100 premiers mètres de l'extrémité Sud du bassin pour implanter un batteur segmenté d'un côté et une plage de l'autre, ce qui permettrait de générer des houles obliques, de longueur d'onde réduite mais suffisante pour exciter la période propre en roulis de navires conventionnels.

Le bassin de traction fait appel à des modèles à échelle réduite dont la taille, ainsi que les vitesses requises dimensionnent le bassin et sa plate-forme. En effet, la section du bassin est déterminée par la taille de la maquette et le confinement accepté ; la profondeur doit être suffisante pour que les ondes générées par une maquette ou par le batteur ne ressentent pas l'influence du fond qui modifie leurs vitesses de phase ; la longueur est déterminée par la durée du régime établi requis pour réaliser la mesure à la vitesse d'essai. Il est donc essentiel de comprendre les paramètres qui conduisent au choix de la taille du modèle ainsi que de sa vitesse d'essais.

Les essais réalisés de manière classique dans un bassin de traction sont les essais de remorquage qui permettent de déterminer la traînée d'un corps, les essais d'autopropulsion, dont le montage est illustré sur la **figure 6**, qui permettent de déterminer la puissance de la machine, les essais de tenue à la mer qui permettent de quantifier le comportement du navire sur la houle, les essais de manœuvrabilité qui permettent de mesurer les efforts auxquels est soumise la carène lors de manœuvres. L'expérience montre que de nombreux autres essais « non-conventionnels » utilisant des montages variés sont aussi réalisés dans un bassin : essais de sillage lointain en aval d'un sous-marin, essais de modèles libres de bâtiments de surface ou de sous-marins, etc.

Les deux principaux paramètres de similitude des écoulements avec surface libre sont le nombre de Froude «  $F_n = V/(g.L)^{1/2}$  », et le nombre de Reynolds «  $Re = VL/\nu$  ». Le premier assure le respect de l'équilibre entre la pression dynamique et la pression hydrostatique, il permet notamment la génération d'ondes en similitude avec le réel. Le second assure le respect de l'équilibre entre la pression hydrodynamique et les contraintes de cisaillement introduites par la viscosité du fluide. Il est possible de satisfaire simultanément ces deux paramètres uniquement à l'échelle réelle ; au modèle l'une de ces similitudes est donc violée : c'est celle du nombre de Reynolds. On ne peut d'ailleurs faire autrement de manière pratique puisque son respect implique notamment que, dans l'eau, les efforts obtenus au modèle sont identiques à ceux du réel... Ainsi, les essais concernant des

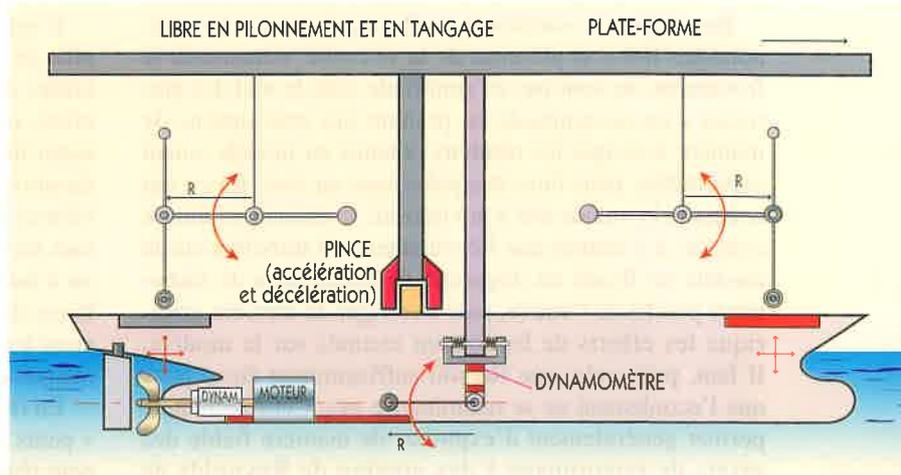


FIG. 6. – Montage d'essai d'autopropulsion

engins évoluant proche ou sur la surface libre sont réalisés en similitude de  $F_n$  ce qui est essentiel pour l'estimation de la résistance de vagues des navires, et ce qui correspond par ailleurs à une gamme d'efforts à échelle humaine (on dépasse rarement 1000 N).

Pour illustrer comment ces paramètres interviennent sur le dimensionnement d'un essai, on montre sur la **figure 7** comment évoluent la longueur et la vitesse des modèles en fonction de  $Re$  pour deux valeurs relativement extrêmes de  $F_n$  :

- $F_n = 0.15$  pour un grand navire de commerce relativement lent (220 m à 14 nœuds)
- $F_n = 1.50$  pour une vedette rapide (30 m à 50 nœuds), ou un mât (0.5 m à 7 nœuds).

On constate qu'une augmentation du  $Re$  au dessus de

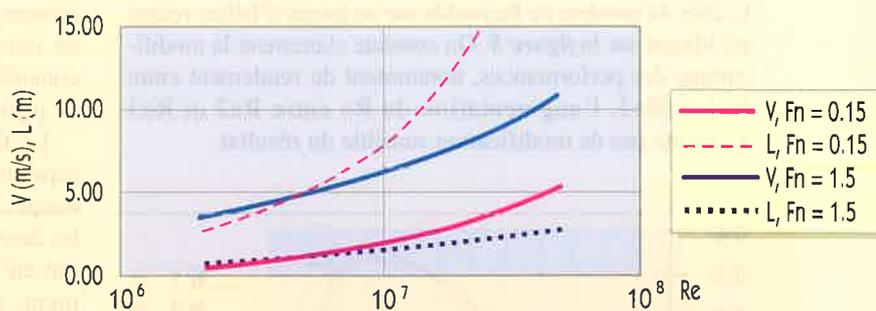


FIG. 7. – Evolutions des caractéristiques du modèle en fonction du nombre de Reynolds

$10^7$  implique une augmentation sensible de la taille (coût et poids) du modèle pour de grands navires lents. La vitesse d'essai de navires rapides croît de manière plus régulière. La taille d'un bassin est donc directement fonction du nombre de Reynolds choisi pour les essais. Pour le B600 celui-ci se situe autour de  $2 \cdot 10^7$  avec des tailles de modèle maximales de l'ordre de 10 m (les moyens de manutention sont limités à des maquettes de 12.5 m de long), et des vitesses d'essais pour les navires conventionnels les plus rapides, de l'ordre de 7m/s.

Renoncer à la similitude de  $Re$  implique que les phénomènes liés à la présence de la viscosité, notamment le frottement, ne sont pas en similitude avec le réel. Le praticien s'en accommode en prenant des précautions de manière à ce que les résultats obtenus au modèle soient exploitables pour faire des prévisions au réel. En ce qui concerne la traînée due à la viscosité, la technique utilisée consiste à s'assurer que l'écoulement est turbulent sur le modèle en fixant un dispositif de stimulation de turbulence proche de l'étrave, puis à corriger de manière empirique les efforts de frottement estimés sur le modèle. Il faut, pour cela, que  $Re$  soit suffisamment élevé pour que l'écoulement ne se relaminarise pas. Cette technique permet généralement d'exploiter de manière fiable des essais de remorquage à des nombre de Reynolds de l'ordre de  $2 \cdot 10^6$  avec des modèles relativement petits (environ 3m).

En revanche, lorsque l'on considère des essais plus complets, comme les essais de remorquage avec appendices et les essais d'autopropulsion, ce n'est pas le  $Re$  du modèle qui est le plus contraignant mais le  $Re$  local sur les appendices (ailerons stabilisateurs, hydrofoil...) et sur les pales du propulseur. En effet, si les dimensions du modèle sont suffisantes pour garantir un régime turbulent sur la carène, ce n'est pas nécessairement le cas sur des appendices ou des pales d'hélice dont la longueur caractéristique (corde à  $0.7 r/R$ ) est environ 100 fois plus faible que celle de la carène. La vitesse locale sur une section de pale étant près de trois fois celle de l'écoulement amont, le nombre de Reynolds local est 30 fois plus faible que celui de la carène. Ceci implique des risques importants, notamment que l'écoulement reste laminaire ( $Re < 10^6$ ) et que le décollement au bord de fuite soit fortement différent de celui à haut  $Re$ . L'effet du nombre de Reynolds sur un projet d'hélice récent est illustré sur la **figure 8**. On constate clairement la modifications des performances, notamment du rendement entre  $Re_1$  et  $Re_2$ , l'augmentation du  $Re$  entre  $Re_2$  et  $Re_3$  n'apporte pas de modification sensible du résultat.

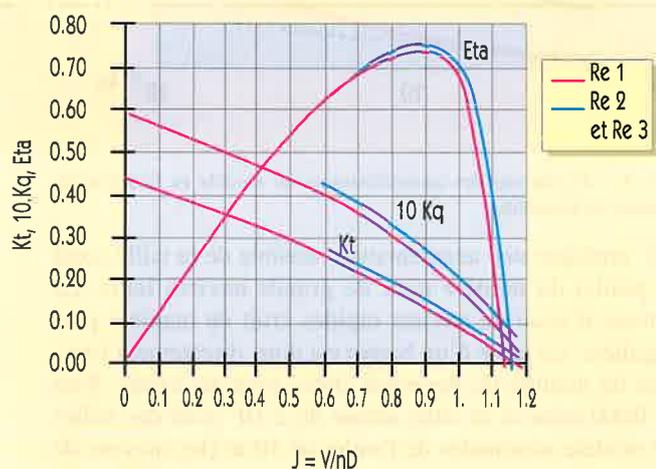


FIG. 8. – Effet du nombre de Reynolds sur les performances mesurées d'un modèle d'hélice (notations cf p 35).

C'est cette contrainte qui impose des tailles d'hélice de plus de 200 mm sur les modèles de bassin, et donc des tailles de maquette de plus de 6 m. On notera que ces effets sont fonctions du dessin du propulseur, et il faut rester très vigilant quant à ce risque d'erreur. Sur certains dessins, il n'est pas possible de s'affranchir des problèmes de  $Re$  avec des modèles de taille standard, et il faut recourir à des essais à plus grande échelle en bassin ou à haute vitesse dans le GTH. Des considérations similaires dans le cas de systèmes de stabilisation amènent aussi à recourir à des modèles de plus de 7 m, même si la maquette n'est pas équipée de propulseur.

En résumé, on peut identifier deux types de bassin : les « petits » (de section typique 6 m x 3 m) dans lesquels on peut réaliser des essais de traction et de tenue à la mer de carènes nues, et les « grands » (de section typique 15 m x 7 m) dans lesquels on peut réaliser des prévisions de points de fonctionnement du propulseur, ainsi que des études de stabilisation ou tranquillisation sur houle.

### Choix des caractéristiques principales du bassin

Une fois connue la taille maximale des maquettes susceptibles d'être testées dans le B600, la section du bassin a été calculée de manière à ce que le confinement soit négligeable. La profondeur de 7 m est nécessaire pour que les plus grandes longueurs d'ondes générées par un modèle à 7 m/s ne soient pas confinées par le fond du bassin. On aboutit donc à une section de 15 m x 7 m.

En ce qui concerne la vitesse maximale de la plateforme, celle-ci doit permettre de tester des appendices de navires rapides (ailerons ou hydrofoils de 2 m de corde à 50 nœuds à l'échelle 1/4 par exemple), ou des engins très rapides (40 m à 80 nœuds à l'échelle 1/10 par exemple) comme les navires à coussin d'air, ou à effet de surface, ou encore de type WIG (Wing In Ground effect). Ces considérations amènent à prévoir une vitesse maximale de plate-forme de 12 m/s.

Le B600 a pour cahier des charges le maintien de la capacité d'essai des bassins de Paris. C'est pourquoi il a été conçu comme deux bassins construits bout à bout. En effet, les deux parties du B600 (l'une de 250 m, l'autre de 350 m) ont été initialement prévues pour fonctionner simultanément, chacune indépendamment avec sa plate forme comme deux bassins classiques. Le fait d'avoir deux bassins bout à bout offre aussi la possibilité de réaliser des parcours sur la totalité de la longueur du bassin, soit à haute vitesse, soit en variant la vitesse de la plate-forme par paliers de manière à réaliser une courbe de remorquage (au moins 5 points autour de la vitesse prévue) en un parcours. La longueur de bassin de 600 m correspond à la distance requise pour accélérer et arrêter la plate-forme en atteignant une vitesse de 12 m/s stabilisée pendant 20 secondes au moins.

Compte tenu de l'amputation, pour des raisons budgétaires, d'une plate-forme sur les deux que comptait initialement le programme, le B600 sera exploité en réalisant des parcours de 600 m avec des paliers de vitesse.

En effet, le retour en tête de bassin et le délai d'attente pour que le plan d'eau se calme étant la partie la plus longue d'une campagne d'essai, la possibilité d'enchaîner les points avec une durée de retour minimale représente un gain de productivité important. L'objectif de haute productivité affiché dès le début du programme est donc concrétisé par la capacité à réaliser une courbe de résistance en une traction.

Enfin, pour illustrer le fait que les dimensions du B600 en elles-mêmes sont en réalité typiques de ce type de moyen d'essai, on a porté dans le tableau ci-dessous les sept grands bassins Japonais qui totalisent 1700 m. On constate que la section de B600 est dans la moyenne de ces bassins. On note aussi que la demi-longueur du B600 correspond à la longueur moyenne de ces bassins.

	L <sub>bas</sub>	B <sub>bas</sub>	D <sub>bas</sub>	V <sub>max</sub>
	m	m	m	m/s
IHI	210	10.0	5.0	12.0
MITSUBI	220	14.0	6.0	7.0
MITSUBISHI	165	12.5	6.5	10.0
NKK	240	18.0	8.0	7.0
SRI	400	18.0	8.0	8.0
KAWASAKI	200	13.0	6.5	5.0
Defense Agency	255	12.5	7.2	8.0
<b>Moyenne</b>	<b>240</b>	<b>14.0</b>	<b>6.8</b>	<b>8.1</b>
<b>B600</b>	<b>545</b>	<b>15.0</b>	<b>7.0</b>	<b>12.0</b>

TABLEAU 1. Dimensions des grands bassins Japonais comparées à celles du B600.

**Description et fonctionnement du bassin B600**

L'utilisation d'un bassin de traction classique comprend de nombreuses périodes d'inactivité dues essentiellement aux deux phases d'essais suivantes :

- les retours de plate-forme et l'attente de calme associés ;
- d'autre part le temps d'immobilisation de la plate-forme pour réaliser des montages.

Dans le B600, ces pertes de productivité seront réduites en exploitant la longueur du bassin pour réaliser les essais sur un nombre limité de parcours (cf. plus haut), ainsi qu'en adoptant un mode de préparation d'essai sur palette. Ces palettes, ou « module d'essais » seront interchangeables et seront déplacés, horizontalement, des piscines de montage de la zone de préparation pour se fixer sous la plate-forme à l'aide d'un chariot de transfert. Une coupe du B600 dans la zone de préparation montre comment est agencé ce concept de manutention (cf. figure 9).

Ce concept détermine toute l'architecture de la plate-forme et du chemin de roulement. En effet, pour que le modèle reste en eau, le module passe sous un rail surélevé qui supporte les roucs libres de la

FIG. 9. – Coupe du B600 dans la zone de préparation

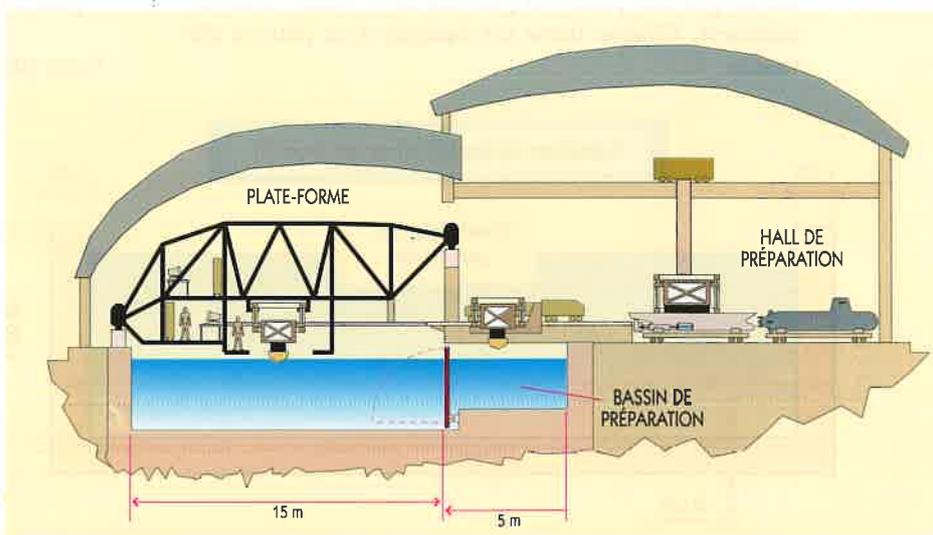


plate-forme. La motorisation de la plate-forme est implantée sur le côté opposé, où la place nécessaire est disponible. Le poids supporté par le rail inférieur est donc plus important. Cette architecture a, pour conséquence, de permettre un accès direct au bassin sous le rail supérieur sans aucune interférence de la plate-forme ce qui permettra l'installation de montage au bord du bassin.

Le hall d'essais est une nef de 625 m de long, orientée nord-sud qui abrite le bassin proprement dit, les darses implantées au sud, les zones de garage aux deux extrémités du bassin et les équipements d'essais. Le hall de préparation est implanté à l'est du hall d'essais, environ au tiers de sa longueur en partant de son extrémité sud, et communique directement avec lui ; il abrite les aires de montage de maquettes et des modules, trois piscines de montage, des magasins, des ateliers.

L'organisation générale des halls d'essais et de préparation est décrite par le schéma de la figure 10.

Les équipements principaux du B600 sont :

- le bassin proprement dit ;
- le chemin de roulement ;
- la plate-forme de traction ;
- les modules d'essais ;
- le générateur de houle ;
- l'amortisseur de houle.

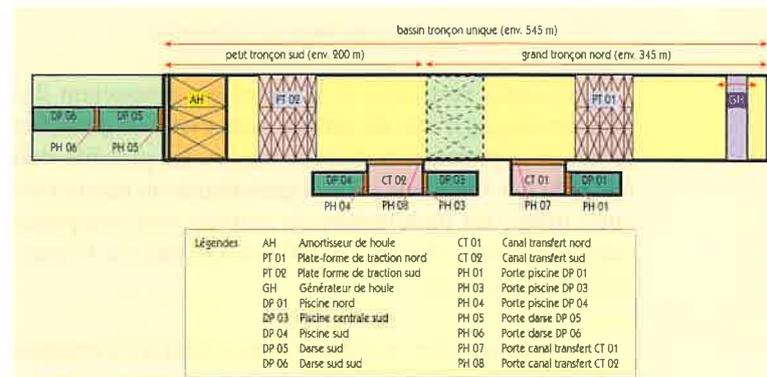


FIG. 10. – Vue d'ensemble du B600

## Le bassin

Le bassin est constitué d'une cuve de 15m de large, 8m de profondeur et 545m de long. Le niveau de l'eau calme est de 7m, il peut être porté à 7,7m pour certains essais. Les parements de la cuve sont en moyenne plans et verticaux. Les tolérances précisent que les trois parements humides sont situés à l'intérieur du volume défini sur la *figure 11*.



FIG. 11. – Vue du bassin en construction

Les parois verticales et horizontales respectent des caractéristiques d'état de surface pour éviter de perturber la houle se propageant dans le bassin. La planéité doit être telle que, dans une section quelconque du bassin exécuté, toutes les ondulations de surface sont comprises entre deux plans distants de 0.01 m, centrés sur le parement moyen exécuté.

Deux darses sont installées bout à bout à l'extrémité sud du bassin pour permettre les interventions sur les maquettes. Elles communiquent entre elles et avec le bassin par des portes et peuvent être vidées indépendamment. Chaque darse est équipée d'un plateau élévateur.

Les darses sont des cuves dont les dimensions sont :

- largeur : 3,5 m
- longueur : 15,8 m et 19,8 m
- profondeur : 8 m

## Les rails

Les rails assurent un mouvement de plate-forme parallèle au plan d'eau ; un système de réglage de l'alignement des rails est prévu. Ils guident aussi la plate-forme latéralement. Le rail inférieur qui supporte la motorisation est de section carrée, pleine, 190x190. Le rail supérieur qui est porté par des arches a une section rectangulaire pleine de 130x170. Ces rails, livrés par segment de 12 m, seront raccordés bout à bout sur place par aluminothermie. Une machine conçue à cet effet usinera les trois faces utiles du rail pour obtenir un rail monobloc dont la partie supérieure sera parallèle au plan d'eau avec une tolérance de 1 mm. Pour s'affranchir du problème de modification du réglage des rails à cause de l'élongation due aux changements de températures, chaque rail sera précontraint en tension de façon que les variations de températures modifient uniquement le niveau de la contrainte en tension du rail sans entraîner de déplacement du rail.

## La plate-forme de traction

La plate-forme de traction est l'élément le plus critique d'un bassin de traction. Pour cette raison, des spécifications précises et sévères ont été imposées sur le contrôle de sa vitesse et sur les vibrations qu'elle pourrait induire sur le modèle. La plate forme est constituée d'un réseau de poutres treillis tubulaires de 18 m de long et de 16 m de large dans lequel sont aménagés deux niveaux. Elle est équipée :

- motorisation : huit moteurs asynchrones de puissance unitaire 132 kW pilotés chacun par un variateur, asservis en couple et vitesse ;
- roulement : huit boggies dont quatre motorisés ;
- d'un système de relevage assurant le décollerment des galets de roulement du rail lors des arrêts de longue durée ;
- d'un système de recentrage assurant la position de la plate-forme lors du chargement des matériels d'essais.

Cette plate-forme de masse 140 tonnes, aura les performances suivantes :

- raideur : 14 Hz.;
- vitesse maximale égale à 12 m/s ;
- vitesse régulée de 0,1 à 12 m/s ;
- accélération maximale 0,75 m/s<sup>2</sup> ;
- décélération d'urgence 2 m/s<sup>2</sup> ;
- précision de la mesure de vitesse 0,5 mm/s.

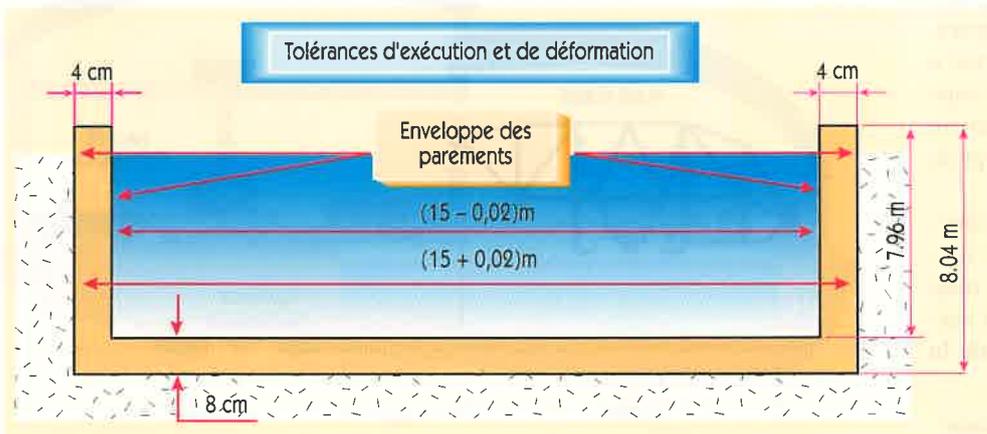


FIG. 12. – Gabarit du volume devant contenir les murs du bassin

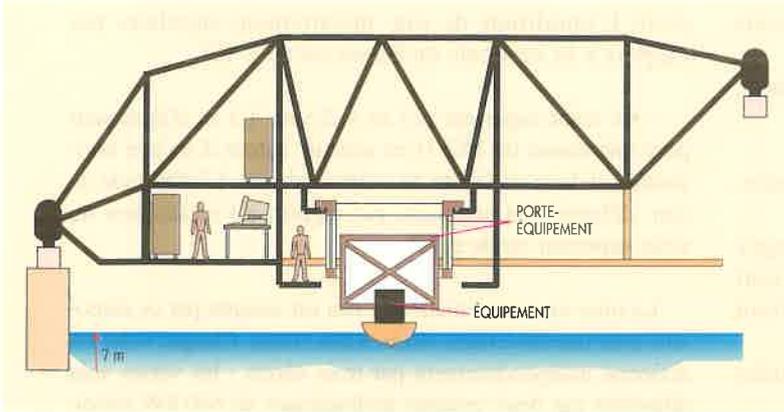


Fig. 13a. - Schéma de la plate-forme - coupe transversale

Le système de Conduite d'Essai permet trois modes de conduite: manuel, semi automatique, ou automatique, et assure ainsi la répétitivité de l'essai. En mode automatique, la plate-forme suit un programme d'essai prédéfini à partir de séquences préalablement programmées et d'informations acquises durant l'essai:

- les paramètres de déplacement à la plate-forme ;
- les types de houle et les ordres de marche et d'arrêt au générateur de houle ;
- des informations relatives à l'équipement d'essais (centrale d'acquisition, maquette...).

Le bassin dispose d'un système de mesures fixes qui mesure, sur un côté du bassin et en trois sections, les données suivantes qui sont ensuite transmises au poste central :

- niveau,
- température (3 immersions),
- vitesse de l'eau (3 immersions).

Un système de télétransmission optique assure la transmission entre le sol et la plate-forme du réseau de données B600, du réseau Générateur de Houle et des liaisons sécurité entre le sol et la plate-forme.

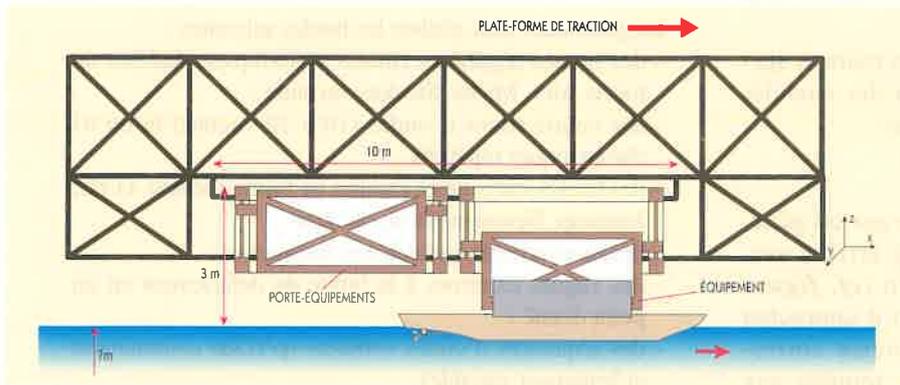


Fig. 13b. - Schéma de la plate-forme - coupe longitudinale

La durée d'un essai est de 24 s à 12 m/s sur le grand bassin, 20 s à 9 m/s sur le plus grand-demi-tronçon, 15 s à 7 m/s sur l'autre demi tronçon.

### Contrôle-commande

C'est un système d'automatisme avec un superviseur qui centralise les informations (mode, événement, défaillance, diagnostic...) des autres systèmes relatifs à la plate-forme : système de sécurité, système de conduite d'essais, système de conduite du générateur de houle. Des automatismes assurent le contrôle commande de la motorisation, du freinage normal, et des modes de transit. Il est aussi garant de la sécurité liée aux mouvements de la plate-forme et à la génération intempestive de houle :

- respect des points d'arrêt ;
- respect des vitesses maximales ;
- contrôle des configurations dangereuses liées aux mouvements de la plate-forme ;
- contrôle du chargement de la plate-forme ;
- autorisation de marche du générateur de houle.

### Les modules d'essais et de mesure

Un module d'essai est un ensemble constitué d'une maquette, d'un équipement de liaison ou d'un capteur, et d'un dispositif appelé porte équipement permettant de régler la position verticale du modèle. Le concept de montage retenu sur le B600 permet d'assembler, de régler, et d'étalonner en eau les montages et les modèles, et de les fixer « en l'état », maquette en eau, sous la plate-forme.

Plusieurs porte-équipements, de dimensions différentes ont été prévus pour accueillir les équipements suivants existants au Bassin :

- Balance type Kempf & Remmers pour le remorquage et l'autopropulsion ;
- Jambe de traction d'engin sous-marin ;
- Balance type LeStrat pour les essais de manœuvrabilité ;

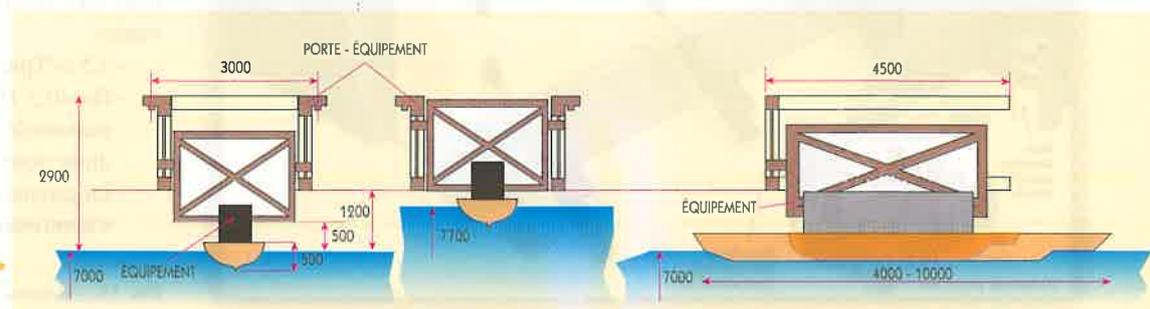


Fig. 14. - Modules d'essai

- Carter H29, et carter contrarotatif pour les essais d'eau libre de propulseur ;
- Bras de pilonnement Comex pour la tenue à la mer ;
- Jambes pour la vélocimétrie laser 3D.

Les équipements principaux utilisés pour la préparation des modules sont :

- 3 piscines qui permettent de réaliser les montages sur les modules et peuvent être asséchées et sont équipées d'un élévateur qui repose sur le fond (L=12.5 m, B=3.5 m, H=8.0 m) ;
- 2 canaux qui permettent de déplacer les modules des piscines à la plate-forme ;
- les bancs de montage supportent les modules durant leur assemblage et leur mise au point, ils sont implantés au-dessus des piscines ;
- les chariots de transfert sont des ponts roulants spéciaux qui permettent le déplacement des modules des bancs de montage à la plate-forme.

### La génération de houle

La génération de la houle est assurée par un générateur de type double volet (biflap) à arrière sec, implanté à l'extrémité Nord du bassin (cf. *figure 15*). L'utilisation de deux volets permet d'approcher de manière plus précise le profil de vitesse correspondant à la cinématique de la houle requise aux grandes longueurs d'onde et de réduire la génération d'ondes évanescentes. Pour les plus petites longueurs d'onde, seul le volet supérieur est nécessaire. Le dos sec du batteur permet de réduire de manière très significative la puissance de la centrale hydraulique. Les volets du batteur ont les caractéristiques suivantes :

- le volet inférieur (15 m x 3.5 m, 1.9 m d'épaisseur pour une masse de 31 t) est articulé au droit de son pied autour d'un axe horizontal lié au génie

civil. L'amplitude de son débattement angulaire par rapport à la verticale du bassin est de  $\pm 12^\circ$

- le volet supérieur (15 m x 2.5 m, 1.1 m d'épaisseur pour une masse de 15.5 t) est articulé autour d'un axe horizontal solidaire de la tête du volet supérieur. L'amplitude de son débattement angulaire par rapport à l'inclinaison du volet supérieur est de  $\pm 12^\circ$

La mise en mouvement de l'eau est assurée par ce dispositif avec une loi à deux vitesses des volets. Chaque volet est actionné indépendamment par trois vérins : les vérins sont alimentés par deux groupes hydrauliques de 660 kW refroidis par des aéro réfrigérants.

Le générateur peut réaliser les houles suivantes :

- des houles régulières (mono périodiques) établies de forme Airy, Miche, Stockes, ou autre ;
- des courts trains d'ondes (10 à 20 vagues) bi ou tri chromatiques répétitifs ;
- des houles irrégulières établies de forme Pierson, ITTC, Jonswap, Newman, Ochi, ou autre ;
- des mouvements ondulatoires transitoires ;
- des vagues extrêmes à la limite du déferlement en un point donné ;
- des séquences d'ondes vobulées (période continûment et lentement variable) ;
- des séquences de houle déterminées, issues d'enregistrements en mer ou provenant d'essais antérieurs.

Les domaines de fonctionnement du générateur de houle s'établissent comme suit :

La gamme des périodes de houle réalisables s'étend de 0.5 à 10 secondes. Les amplitudes maximales des houles régulières réalisables sont données par la *figure 16*. Les houles basse fréquence de faibles amplitudes, de périodes comprises entre 6 et 10 secondes générées par le batteur, seront utilisées en tant que sous-harmoniques pour ajuster la qualité des houles de périodes plus faibles. Ces capacités sont deux fois plus importantes que celles réalisables dans le bassin n° 3 de Paris.

Les houles irrégulières sont spécifiées par la période correspondant au pic d'énergie de la houle ( $T_{pic}$ ) et à une hauteur significative ( $H_s$ ) définie comme la moyenne effectuée sur 1/3 des vagues les plus élevées. Ces houles irrégulières pourront être réalisées dans les limites suivantes :

- $1,5 \text{ s} < T_{pic} < 4 \text{ s}$  ;
- $H_s < 0,5 H_{max}$ , ( $H_{max}$  est la hauteur maximale de la houle régulière produite pour la période  $T=T_{pic}$ ) ;
- La gamme de périodes du spectre généré s'étend entre  $0,5 T_{pic}$  et  $2,5 T_{pic}$ .

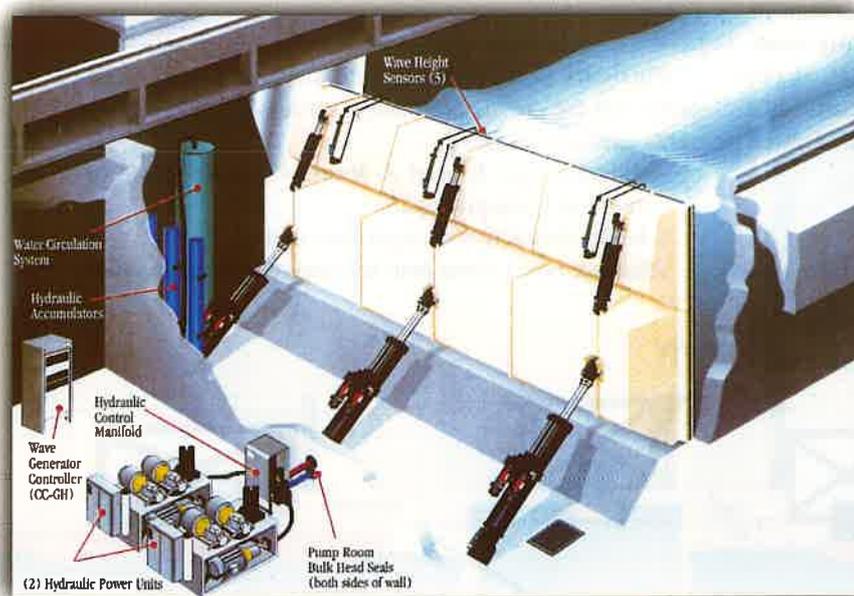


FIG. 15. - Générateur de houle

### L'amortisseur de houle

Conçu pour une utilisation avec 2 plates-formes, l'amortisseur est mobile : utilisé en extrémité sud du bassin configuré en un seul tronçon, utilisé dans une position se situant environ au tiers de la longueur en partant de l'extrémité sud, le bassin est alors configuré en deux tronçons : le tronçon sud n'autorisant que les essais en eau calme et le tronçon nord dans lequel il est possible de générer de la houle. Au centre de l'amortisseur et de la paroi verticale, une zone escamotable permet le passage en darse ou le passage d'un tronçon de bassin à l'autre.

L'amortisseur de houle est constitué d'un châssis roulant supportant la partie amortissement (plage inclinée et de parois verticales réalisées en matériaux poreux) d'une part, et la séparation intermédiaire d'autre part. Son encombrement est de 21.5 m x 15 m x 8.3. Il est installé sur un chariot posé sur le fond du bassin. Ce même chariot supporte également une paroi verticale non poreuse perpendiculaire à l'axe du bassin. ■

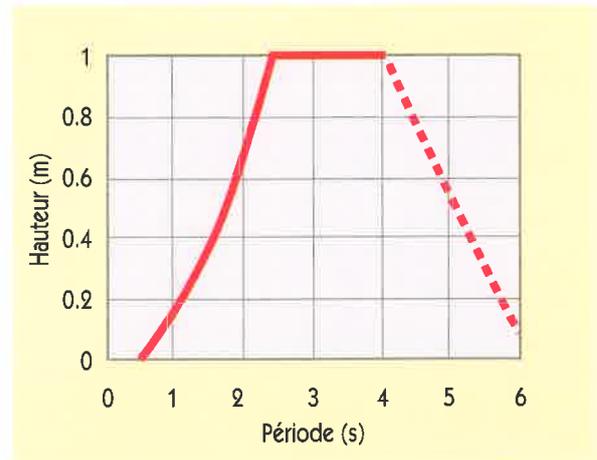


FIG. 16. – Hauteurs maximales des houles régulières réalisables