

# Mesure du couple de rappel en 470

Bertrand DUMORTIER, Entraîneur National des 470  
Paul IACHKINE, Responsable du service recherche de l'ENV



*En mars 1999, une étude sur le couple de rappel en 470 a été effectuée avec l'Equipe de France par le secteur recherche de l'Ecole Nationale de Voile. Les mesures de couple de rappel dans des conditions réelles de navigation nécessitent un matériel coûteux, encombrant et qui n'est pas accessible actuellement. Cette étude a donc été menée en statique dans les locaux de l'ENV.*

*Ce travail a donné l'occasion aux membres de l'Equipe de France de 470 de valider des sensations acquises sur l'eau concernant leur couple de rappel. Chaque équipage développe des positions de rappel et de trapèze spécifiques pour gagner en puissance. Cette puissance donne la possibilité d'accroître la vitesse du bateau : élément essentiel recherché en navigation. Le but a donc été de chercher à mesurer les couples de rappel avec différentes attitudes (position longitudinale, position de bras...) et différentes tenues vestimentaires (aspect trop souvent négligé), tout en recherchant le meilleur compromis efficacité-confort.*



## Sommaire

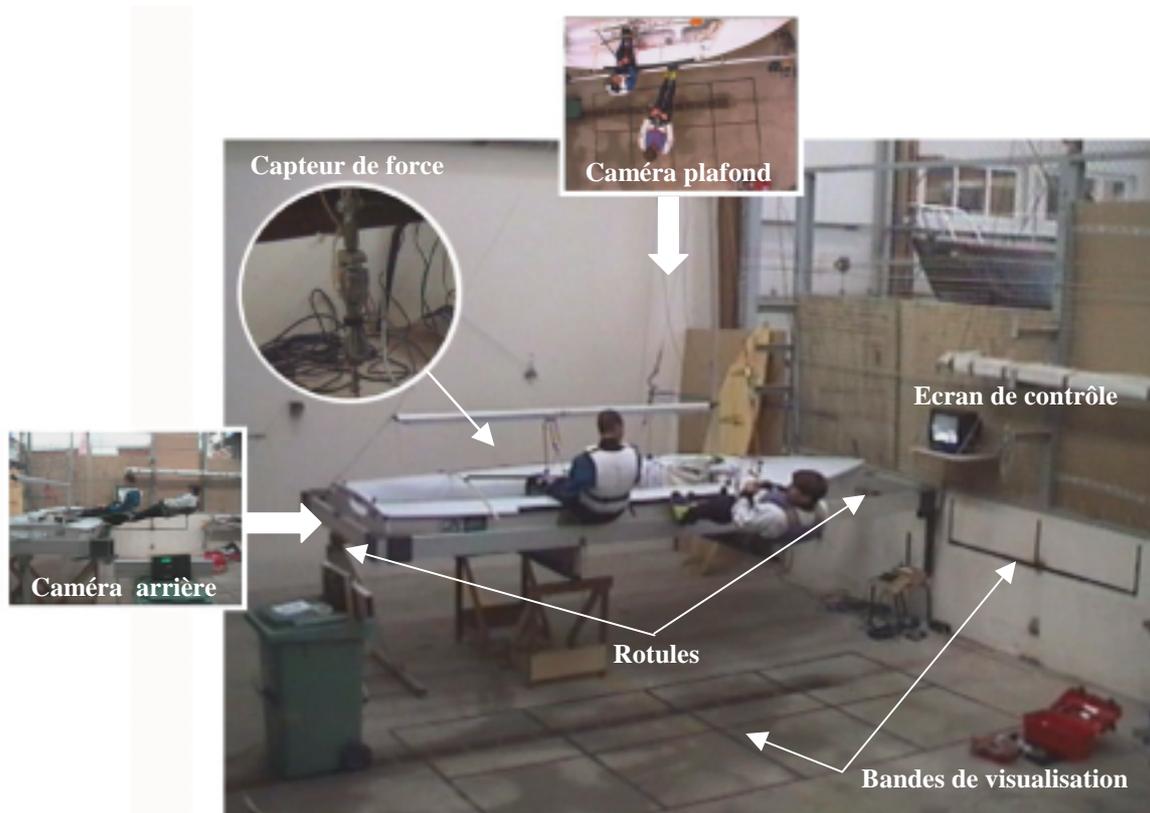
Le banc de mesure .....	2
Descriptif .....	2
Protocole de mesure .....	2
Un peu de mécanique .....	3
Les limites du système.....	3
Présentation des équipages .....	4
Couple de rappel des équipages.....	4
Influence de la position du barreur .....	5
Influence de la position de l'équipier.....	6
Influence de l'aspect vestimentaire.....	7
Conclusion .....	7

## Le banc de mesure

Par rapport aux travaux réalisés en 1979 par Philippe Gouard et son équipe, qui nous ont servi de base de réflexion, cette étude se place dans un contexte un peu différent. Il s'agit en effet de mesurer le couple de rappel de l'équipage au complet avec son propre bateau, et non le couple d'un équipier sur un bateau « laboratoire ». De plus, l'utilisation d'un cadre associé à des rotules, sur lequel repose le bateau (cf. descriptif) permet d'avoir un axe de rotation du bateau qui passe par le centre de carène, ce qui est plus représentatif de la réalité.

### Descriptif

Le banc de mesure est composé d'un cadre en aluminium posé sur deux rotules (attache remorque). Des bers sont fixés sur le cadre, ce qui permet d'utiliser ce banc de mesure pour différentes séries (470, Laser et Finn) et de modifier facilement l'assiette longitudinale et latérale du bateau. Le côté « sous le vent » du cadre est relié au sol par l'intermédiaire d'un câble solidaire d'un capteur de force. Le dispositif est complété par deux caméras, l'une à la verticale de l'équipage et l'autre en arrière du bateau. Des repères au sol permettent de visualiser les angles de la position de l'équipier. L'afficheur du capteur de force est dans le champ de vision de la caméra arrière ce qui permet de lier les positions avec la valeur du couple. Un téléviseur placé en avant du bateau permet à l'équipage de se voir « d'en haut ».



### Protocole de mesure

Chaque équipage a effectué les mesures sur son propre bateau. Toutes les mesures ont été réalisées avec l'équipage complet. Une première série de mesure a été réalisée afin de voir l'influence de différentes positions sur la valeur du couple de rappel. La position appelée « position de référence » correspond à une position de confort pour l'équipage, c'est à dire la

position habituellement utilisée. Cette position sert de base à la variation d'un paramètre de position.

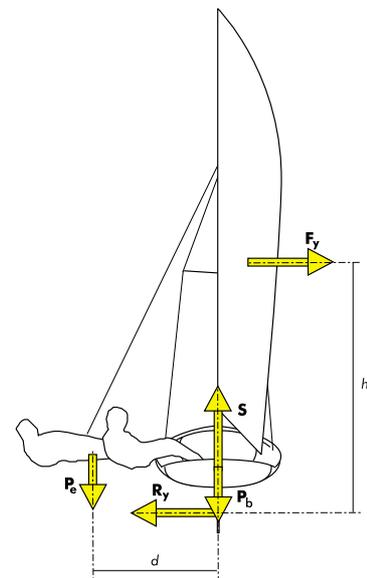
Dans un deuxième temps, une autre série de mesure a été mise en place pour étudier l'influence de la tenue vestimentaire sur la valeur du couple de rappel. Les essais avec les vêtements de médium et de brise ont été réalisés après immersion de l'équipage pendant 30 secondes dans un bassin puis un égouttage de 30 secondes.

## Un peu de mécanique

Considérons le voilier naviguant à vitesse et cap constants, avec une gîte nulle, dans un vent régulier en force et direction et sur une mer plate. Dans ces conditions le bateau est en équilibre relatif, c'est-à-dire que sa vitesse est constante et l'angle de dérive est constant aussi. Considérons l'équilibre transversal (perpendiculaire à l'axe du bateau) avec :

- $F_y$ , la composante latérale de la résultante aérodynamique,
- $R_y$ , la composante latérale de la résultante hydrodynamique,
- $S$ , la poussée hydrostatique appliquée au centre de carène,
- $P_b$ , le poids du bateau appliqué au centre de gravité du voilier,
- $P_e$ , le poids de l'équipage,
- $d$ , la distance entre le centre de gravité de l'équipage et l'axe du bateau,
- $h$ , la hauteur du point d'application de la résultante aérodynamique.

Le couple de rappel ou couple de redressement est égal au produit  $d \times P_e$ ,  $d$  représentant le bras de levier de l'équipage. Ce couple s'oppose au couple de chavirement donné par le produit  $h \times F_y$ . Un couple est exprimé en Newton par mètre (Nm).



Pour le banc de mesure, le capteur est fixé sur le cadre ; le bras de levier « banc de mesure » est donc constant et est égal à 0,85m. La valeur du couple de rappel sera donc le produit de l'indication du capteur par cette distance de 0,85m. Le bras de levier de l'équipage est obtenu par division du couple de rappel par le poids de l'équipage.

Remarque : pour ces deux équipages, le barreur intervient pour 32 % dans le couple de rappel et l'équipier pour 68 %. Pour mieux visualiser les modifications du bras de levier on peut utiliser la relation suivante : **1cm de gain de bras de levier est équivalent à une cale de 1,4cm entre le liston et les pieds de l'équipier.**

## Les limites du système

Pour ces premiers essais, le bateau avait été positionné avec le pont horizontal. Cette mise en place ne correspondait pas à la configuration en navigation et perturbait la sensation des équipiers (l'installation d'un bout, leur évitant par partir sur l'avant, a été nécessaire). Cet élément a été pris en compte pour l'adaptation du banc de mesure au Laser (introduction d'une gîte de 4° et d'une assiette longitudinale de 2°, valeurs obtenues à partir d'images vidéo de référence).

## Présentation des équipages

En 1999, l'Equipe de France de 470 était constituée de deux équipages :

	PETIT Benoît	CUZON Jean-François	PHILIPPE Gildas	CARIOU Tanguy
	Champions du Monde 470 en 1999 Champions du Monde Fireball en 1999		14 <sup>ème</sup> aux JO de Sydney 2000 Champions du Monde 470 en 1998 Champions d'Europe 470 en 2000	
Taille	1,71 m	1,82 m	1,73 m	1,80 m
Poids	65,4 kg	71 kg	61,4 kg	71,4 kg
Poids total	136,4 kg		132,8 kg	

Remarque : A lecture du tableau ci-dessus, la différence de gabarit entre les deux équipages peut sembler peu importante, mais dans le contexte international elle correspond à la fourchette de poids généralement observée.



## Couple de rappel des équipages

	PETIT	CUZON	PHILIPPE	CARIOU
<b>Poids de l'équipage</b>				
Taille	1,71 m	1,82 m	1,73 m	1,80 m
Poids en maillot	65,4 kg	71,0 kg	61,4 kg	71,4 kg
Poids en tenue de référence (sec)	68,8 kg	76,6 kg	64,2 kg	76,2 kg
	Semi-sèche	Lycra néoprène	Intégrale	Lycra
	Ss vêtements Gill	Intégrale	Coupe-vent Gill	Intégrale
	Bottillons	Coupe-vent Gill	Bottillons	Coupe-vent Gill
	Brassière Gill	Bottillons	Brassière Gill	Bottillons
		Ceinture lourde		Ceinture légère
		Brassière		Brassière Gill
Poids total en tenue de référence	<b>145,4 kg</b>		<b>140,4 kg</b>	
<b>Valeurs de référence</b>				
<b>Position de référence :</b>				
Barreur à 120 cm du hauban	<b>209 Nm</b>	<b>97%</b>	<b>202 Nm</b>	<b>96%</b>
Equipier à 40 cm du hauban				
Bras de levier de référence	1,44 m		1,44 m	
<b>Couple maxi</b>	223 Nm	103%	214 Nm	102%
Bras de levier maxi	1,53 m		1,53 m	
<b>Couple maxi réaliste</b>	216 Nm	100%	211 Nm	100%
Bras de levier maxi réaliste	1,48 m		1,50 m	

Sachant que le couple maxi réalisable est le meilleur compromis efficacité-confort, on peut remarquer que le couple maximal possible est supérieur de 2 à 3 % mais cette position étant inconfortable, elle ne peut être tenue que quelques minutes en situation de contact. Le couple maxi réalisable sera donc notre valeur de référence pour les comparatifs, les valeurs en pourcentages utilisées dans les différents tableaux sont exprimées en fonction de cette valeur du couple de rappel.

## Influence de la position du barreur

	<b>PETIT</b>	<b>%</b>	<b>PHILIPPE</b>	<b>%</b>
Position de rappel de référence	<b>1,43 m</b>	<b>96%</b>	<b>1,44 m</b>	<b>96%</b>
<b>Influence de la position longitudinale</b>				
100 cm du hauban	1,43 m	96%	1,44 m	96%
120 cm du hauban	1,43 m	96%	1,44 m	96%
140 cm du hauban	1,43 m	96%	1,44 m	96%
<b>Influence du rappel</b>				
Assis sur le caisson	1,37 m	92%	1,33 m	89%
Les fesses sorties	1,40 m	94%	1,38 m	92%
Position petit rappel	1,42 m	95%	1,42 m	95%
Le buste sorti (jambes courtes)	1,45 m	97%	1,42 m	95%
Le buste droit (jambes sorties)	1,45 m	97%	1,42 m	95%
Rappel maxi	1,47 m	99%	1,47 m	98%
<b>Influence des actions de réglages</b>				
Un peu rentré pour réguler l'écoute de GV	1,39 m	93%	1,42 m	95%
Vers l'arrière pour border l'écoute de GV	1,43 m	96%	1,44 m	96%
Rentré pour d'autres réglages	1,37 m	92%	1,38 m	92%

- Il n'y a pas d'influence de la position longitudinale du barreur sur la valeur du bras de levier et donc du couple de rappel. Le barreur peut donc choisir sa position longitudinale sur des critères de confort (sensations, accès aux réglages...) mais attention au tangage du bateau dans certaines conditions de mer.
- La différence de couple de rappel entre la position de petit rappel et le rappel maxi est de 3 à 4%. Cette valeur est importante et doit être prise en compte par les barreurs.
- Les actions sur les réglages sont fortement pénalisantes pour le couple de rappel. Certaines sont nécessaires pour la marche optimale du bateau, il faut agir vite et à bon escient. Une très bonne ergonomie de l'accastillage (position et fonctionnement) permet de limiter ces pertes de couple de rappel.

## Influence de la position de l'équipier

	CUZON		CARIOU	
Position de trapèze de référence	<b>1,43 m</b>	<b>96%</b>	<b>1,44 m</b>	<b>96%</b>
<b>Influence de la position longitudinale</b>				
20 cm derrière le hauban	1,43 m	96%	1,44 m	96%
40 cm derrière le hauban	1,44 m	97%	1,44 m	96%
60 cm derrière le hauban	1,44 m	97%	1,43 m	95%
80 cm derrière le hauban	1,41 m	95%	1,43 m	95%
<b>Influence de la position des jambes</b>				
Les jambes un peu écartées	1,46 m	98%	1,45 m	96%
Les jambes tendues	1,46 m	98%	1,45 m	97%
Les jambes tendues, pieds vrillés	1,45 m	98%	1,44 m	96%
idem + buste vers l'avant	1,44 m	97%	1,45 m	97%
<b>Influence de la position des bras</b>				
Les bras le long du corps	1,43 m	96%	1,44 m	96%
Un bras derrière la tête	1,45 m	97%	1,45 m	97%
Les deux bras derrière la tête	1,45 m	98%	1,46 m	97%
Un bras tendu	1,45 m	98%	1,46 m	97%
Les deux bras tendus	1,46 m	99%	1,47 m	98%
<b>Influence de la hauteur du trapèze</b>				
+10 cm (descendre)			1,44 m	96%
Leur réglage de référence	1,43 m	96%	1,44 m	96%
- 10 cm (monter)	1,43 m	96%	1,42 m	95%
- 20 cm	1,43 m	96%	1,42 m	94%
- 30 cm	1,40 m	94%	1,40 m	93%
- 40 cm	1,37 m	93%	1,37 m	92%
- 50 cm	1,37 m	93%		
<b>Influence de la rotation de la tête</b>				
La tête tournée vers l'avant	1,42 m	95%	1,42 m	95%
La tête tournée vers l'arrière	1,42 m	96%	1,43 m	95%
Les jambes tendues, le corps à 90°	1,37 m	92%		

- Jusqu'à 60 cm derrière le hauban, il n'y a pas d'influence significative de la position longitudinale de l'équipier sur la valeur du bras de levier et donc du couple de rappel. L'équipier peut donc choisir sa position longitudinale sur des critères de confort mais en prêtant attention au tangage du bateau dans certaines conditions de mer. Il en est de même pour l'écartement des jambes : l'équipier peut donc écarter les pieds sans excès afin d'augmenter sa stabilité. La position jambes tendues améliore le couple de rappel. Cet aspect doit être pris en compte par l'équipier dans les conditions de mer formée afin d'éviter le balancement néfaste du corps.
- La position de l'équipier avec les deux bras tendus augmente le couple de rappel. Mais dans la pratique cette position n'est pas utilisée car elle ne permet pas la régulation du foc. Un bras tendu semble être un compromis intéressant.
- Le réglage de référence de la hauteur de trapèze de chaque équipier est différent et se situe au-dessus de l'horizontale. On observe, sur une plage de 20 cm, peu de variation du couple de rappel, il est donc intéressant pour l'équipier de se remonter au trapèze dans des conditions de mer formée pour avoir une meilleure vision du plan d'eau.

- L'influence de la rotation de la tête en vue de prendre des informations tactiques (placement des bateaux au vent, lecture des risées...) pénalise le couple de rappel. La connaissance de la position au vent des adversaires est souvent un paramètre déterminant pour la tactique, il convient donc de travailler ces positions pour gagner en efficacité. La cassure du corps pour regarder sous le vent ( les bateaux tribord amure, le placement des adversaires...) est très néfaste, il est donc important de laisser cette tâche en priorité au barreur.

## Influence de l'aspect vestimentaire

	PETIT		CUZON		Poids total	Bras de levier	Couple de rappel
	Maillot de bain	65,4 kg	Maillot de bain	71 kg	136,4 kg		
<b>Petit temps</b>	Shorty + bottillons + brassière (sec)	67,8 kg	Shorty + bottillons + ceinture légère + brassière (sec)	74 kg	141,8 kg	1,43 m	202 Nm
<b>Médium Brise</b>	Intégrale + coupe vent + polaire + brassière + bottillons(mouillés 30s)	74 kg	Combi intégrale + lycra néoprène + coupe vent + polaire + bottillons + ceinture lourde + brassière (mouillés 30s)	83,2 kg	157,2 kg	1,43 m	225 Nm
<b>Bottillons surélevés</b>	Idem hiver	74 kg	Idem hiver mais avec bottillons surélevés	83,2 kg	157,2 kg	1,47 m	232 Nm

- La tenue « médium – brise » augmente le couple de rappel de 11%, ce qui est conséquent. Il faut donc prendre en compte cet aspect, souvent négligé. Le choix des vêtements doit être lié à la force du vent et non à la température extérieure. Il faut veiller à utiliser des tenues confortables et fonctionnelles. L'utilisation de deux ceintures de trapèze, légère pour le petit temps et plus lourde pour le médium et la brise, permet de répondre à ces critères de poids.
- Jean-François CUZON a travaillé sur des bottillons à semelle épaisse (6 cm). Les mesures de couple montrent un gain de 3% par rapport à la configuration « médium-brise » avec des bottillons classiques. Le gain en navigation est moindre car la position des pieds est différente par rapport à des bottillons classiques : avec les bottillons surélevés l'angle pieds / tibia est proche de 90° pour des raisons de stabilité, tandis qu'avec des bottillons classiques l'angle est plus ouvert. Le gain obtenu par l'épaisseur de la semelle est compensé par cette diminution d'angle. On obtient donc un bras de levier sensiblement identique dans les deux cas. De plus ce type de bottillons est peu ergonomique et ne facilite pas le déplacement à bord.

## Conclusion

Cette étude a montré l'importance du couple de rappel d'un équipage, aspect qui doit être travaillé consciencieusement pour gagner en efficacité. Les positions de chaque personne à bord peuvent être améliorées, mais il est indispensable de garder à l'esprit la notion de confort et d'efficacité. Le type de vêtements portés a une influence directe sur le couple de rappel et doit être mieux pris en compte par les coureurs.

Il serait intéressant de continuer ce travail avec des équipages de gabarit différents en vue d'une utilisation à des fins de détection.