

# Mesure du couple de rappel en Laser

Jean-Yves LE DEROFF, Entraîneur National des Laser  
Paul IACHKINE, Responsable du service recherche de l'ENV



*Le rappel en dériveur "solitaire" est un élément essentiel de la performance en compétition. En observant l'élite internationale en Laser, on constate un travail physique dynamique du barreur qui se concrétise par des variations de la position de rappel. S'il est bien sûr évident que l'augmentation du couple de rappel permet de gagner en vitesse ; il est important de souligner que les actions coordonnées du barreur dans une position bien calée au rappel restent déterminantes dans la recherche de la bonne trajectoire. "Faire du rappel" n'est donc pas seulement augmenter le couple de rappel pour compenser le couple de chavirement.*

*L'étude réalisée en mai 99 par le service recherche de l'ENV avec la collaboration de l'Equipe de France Laser a pour objectif de connaître les variations du couple de rappel de laséristes de gabarits différents (taille et poids) en faisant varier les positions de rappel adoptées en compétition. Il a donc été demandé aux coureurs de reproduire le rappel à partir de leurs propres sensations. En prenant comme référence une position de rappel dite "de confort", dix attitudes au rappel ont été comparées en modifiant le placement du barreur (rappel maximum, position avancée et reculée, rappel au largue serré) et la tenue vestimentaire (de petit temps, de brise).*

## Sommaire

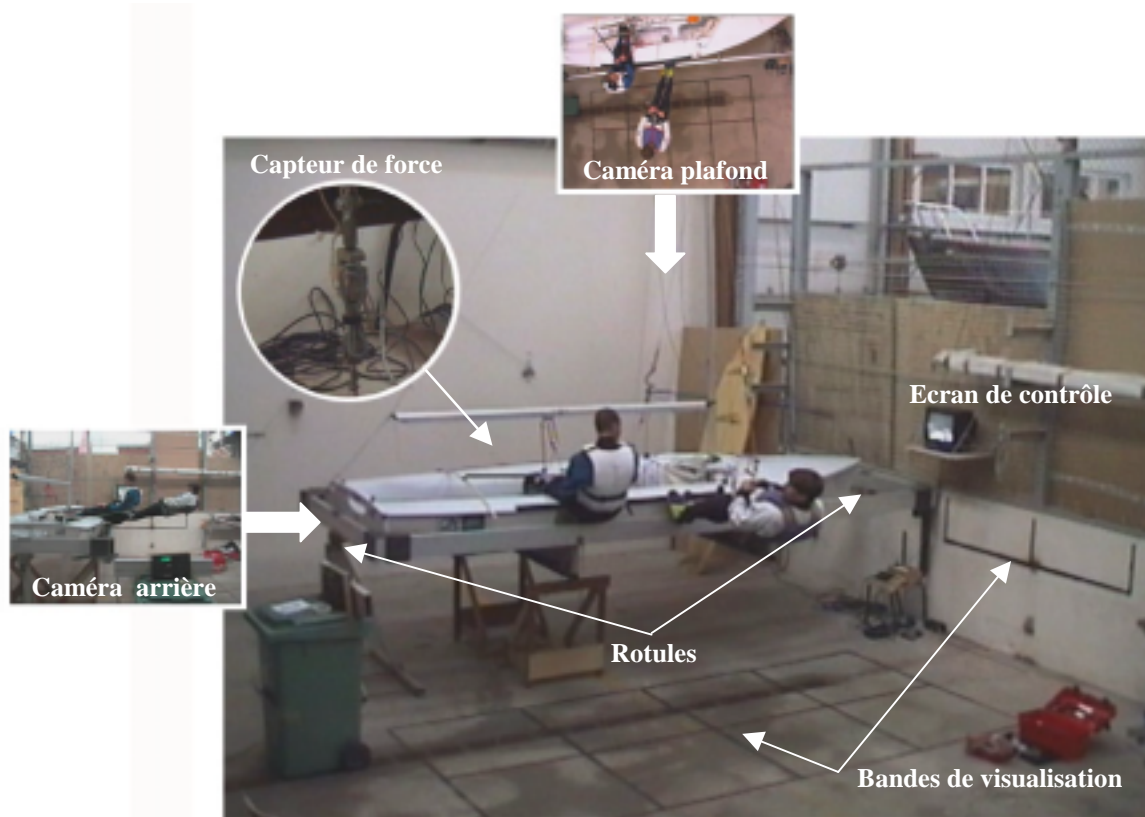
Le banc de mesure .....	2
Descriptif .....	2
Protocole de mesure.....	2
Un peu de mécanique .....	3
Les paramètres de la position de rappel.....	3
Présentation des barreurs .....	5
Influence de la position longitudinale .....	5
Influence de l'angle cuisse / tronc (C).....	6
Influence de la distance genou / liston (E).....	7
Comparatif des deux gabarits .....	8
Influence des vêtements.....	8
Le largue serré .....	9
Conclusion.....	9



## Le banc de mesure

### 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 du barreur. 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 au barreur de se voir « d'en haut ».



### Protocole de mesure

Un Laser a été positionné sur le banc de mesure avec un angle de gîte de  $4^\circ$  et un angle d'assiette de  $2^\circ$ . Ces valeurs ont été déterminées à partir de prises de vues vidéo en navigation de laséristes de niveau international. Chaque barreur a effectué les mesures avec son matériel : sangle de rappel et barre. Une première série de mesure a été réalisée afin de voir l'influence de différentes positions sur la valeur du couple de rappel. Des repères ont été placés aux articulations. Ils permettent de mesurer l'angulation des membres inférieurs et l'inclinaison du tronc. 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.

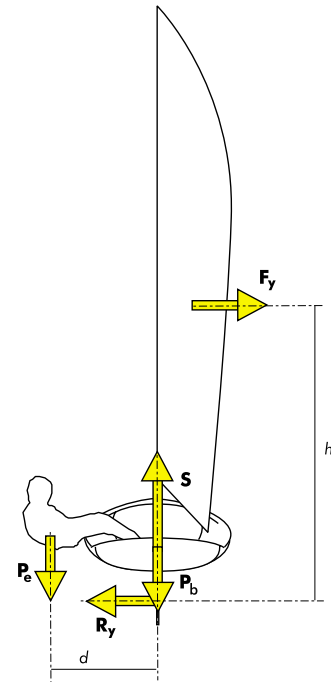
## Un peu de mécanique

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 déca-Newton par mètre (daNm).

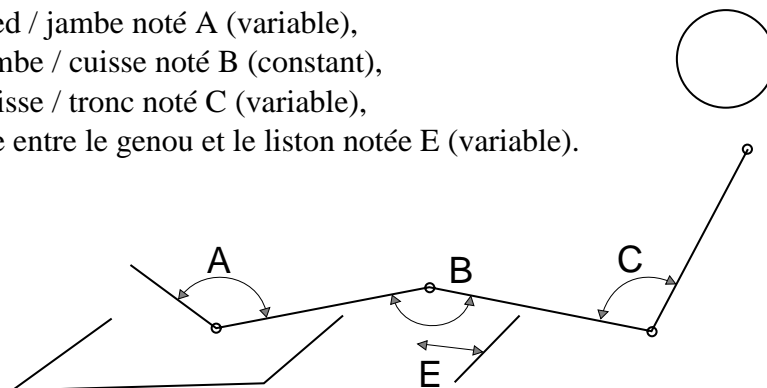
Pour le banc de mesure, le capteur est fixé sur le cadre ; le bras de levier « banc de mesure » est donc constant et est égal à 0,85m. La valeur du couple de rappel sera donc le produit de l'indication du capteur par cette distance de 0,85m. Le bras de levier du barreur est obtenu par division du couple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



## Les paramètres de la position de rappel

Les différents paramètres utilisés sont :

- La taille (fixe),
- Le poids du barreur (varie en fonction de l'habillement),
- L'angle pied / jambe noté A (variable),
- L'angle jambe / cuisse noté B (constant),
- L'angle cuisse / tronc noté C (variable),
- La distance entre le genou et le liston notée E (variable).



### ***L'angle A***

Variation des mesures de 115° à 143°.

On observe au niveau international une variation importante de cet angle (flexion / extension de la cheville). La cheville est en extension lorsque la sangle de rappel est tendue et inversement en flexion lorsque la sangle est relâchée. En fonction de leur morphologie mais aussi des conditions de vent et de mer, chaque barreur possède son propre réglage de la sangle de rappel. Ce réglage de la sangle de rappel a des conséquences importantes sur la position, la tenue, l'efficacité et le confort du barreur au rappel.

Le principe directeur est de trouver un réglage qui donne une "position calée" dans le but de "faire corps" avec le Laser. Le muscle le plus sollicité est le **jambier antérieur**.

### ***L'angle B***

Variation des mesures de 155° à 162°, **158° est la valeur moyenne**.

Cet angle presque constant des membres inférieurs permet au barreur d'obtenir 2 surfaces d'appui au niveau du caisson du Laser (bord intérieur et liston).

La diminution de l'angle B est provoquée soit par une mauvaise position de rappel, soit par un manque de puissance musculaire des quadriceps ou soit par une augmentation de l'état de fatigue. Les muscles les plus sollicités sont les **quadriceps antérieurs**.

### ***L'angle C***

Variation des mesures de 106° à 147°.

L'angle C détermine l'inclinaison du tronc. Les muscles les plus sollicités sont le **psaos** et la **sangle abdominale**.

### ***La distance E*** entre le genou et le liston

Variation des mesures de 7 à 19 cm.

Les angles A, B, C, la distance E ainsi que le placement du barreur par rapport au tableau arrière sont des repères qu'un entraîneur ou un coureur peut observer afin d'évaluer la position et l'efficacité du rappel.

***La position de référence*** : c'est une position de rappel dite "de confort" qui reste efficace. Le barreur s'installe au rappel de manière à pouvoir tenir cette position pendant l'équivalent de la durée d'une régata (1h30).

Dans la suite du document, sont indiquées sur les différentes photos, les valeurs du couple de rappel (en daNm) et du bras de levier (en m).

## Présentation des barreurs

En 1999, l'Equipe de France de Laser était constituée de deux barreurs :

LECLAIR Xavier	GUILMIN Frédéric
16e au championnat du Monde 2000 7e à l'Eurolymp de Hyères 2000 9e à l'Eurolymp de Hyères 1999 Champion de France 1999, 2000	18e au championnat du Monde 1999 10e au championnat d'Europe 1998 5e à l'Eurolymp de Hyères 1998 Vice-champion de France 1999
Taille : 1,86 m	Taille : 1,79 m
Poids en maillot : 79 kg	Poids en maillot : 82 kg
	

A la lecture du tableau ci-dessus, la différence de taille (7 cm) entre les 2 français est assez importante. Par contre le plus petit en taille compense par un poids supérieur (3 kg).

Les gabarits moyens des 10 meilleurs mondiaux relevés pendant la régates préolympique de Sydney 1999 sont :

Laser :	Taille : 1,82 m	Poids : 80,5 kg	Age : 27 ans
Europe :	Taille : 1,74 m	Poids : 68 kg	Age : 26 ans
Finn :	Taille : 1,87 m	Poids : 99,5 kg	Age : 28 ans

## Influence de la position longitudinale

Par rapport à la position de référence, la "position maxi reculée" augmente le couple de rappel de 10% à 17%. Par rapport à la position de référence, la "position maxi avancée" augmente le couple de rappel de 9% à 12%. Il y a donc peu de variation du couple de rappel entre la "position maxi reculée" et la "position maxi avancée". La position reculée adoptée au prés correspond au placement du barreur sur la plus grande largeur du Laser. Elle améliore légèrement le couple de rappel.



**Attention**, les positions plus ou moins avancée permettent d'une part d'améliorer le passage du Laser suivant l'état de la mer (clapot, houle...) et d'autre part de choisir le compromis cap/vitesse que l'on veut privilégier. La technique de navigation devient alors prépondérante sur le léger gain du couple de rappel.

## Influence de l'angle cuisse / tronc (C)

A partir d'une position fixe des membres inférieurs, il est demandé aux 2 membres de l'Equipe de France d'augmenter au maximum l'inclinaison du tronc en ouvrant l'angle cuisse / tronc (maximum compatible avec les exigences de la navigation).

**LECLAIR Xavier**  
1,86 m et 82,7 kg

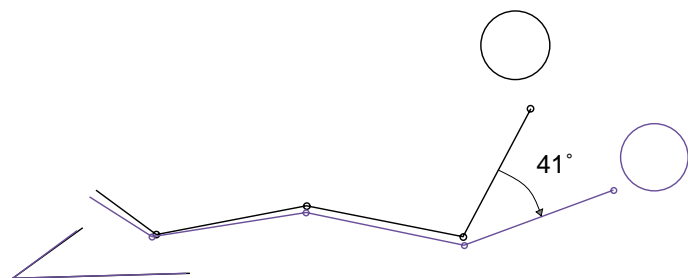
**69 daNm et 0,83 m**  
Position de référence



**77 daNm et 0,94 m**



Augmentation du couple de rappel de **12%**  
pour une ouverture de l'angle cuisse / tronc de **41°**



**GUILMIN Frédéric**  
1,79 m et 85,2 kg

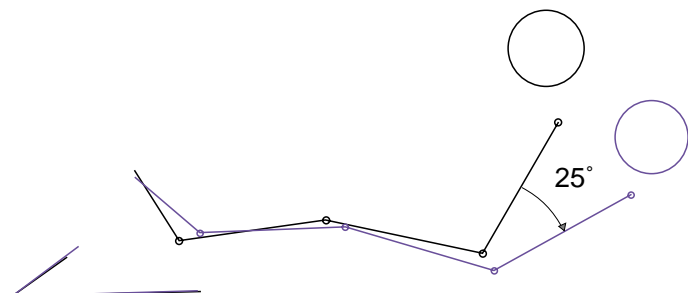
**74 daNm et 0,87 m**  
Position de référence



**81 daNm et 0,95 m**



Augmentation du couple de rappel de **9%**  
pour une ouverture de l'angle cuisse / tronc de **25°**



L'ouverture de l'angle cuisse / tronc augmente le couple de rappel d'une manière importante. 10° d'inclinaison du tronc fait gagner environ 3% de couple de rappel.

## Influence de la distance genou / liston (E)

A partir d'une position fixe de l'angle cuisse / tronc (C), il est demandé aux 2 membres de l'Equipe de France de sortir d'avantage au rappel en diminuant la distance genou / liston (E).

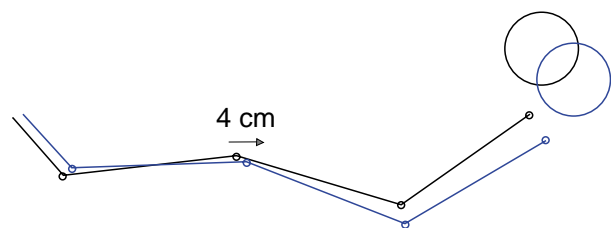
**LECLAIR Xavier**  
1,86 m et 82,7 kg

Augmentation du couple de rappel de **4%**, pour une diminution de la distance genou/liston (E) de **4cm**

78 daNm et 0,95 m



81 daNm et 0,98 m



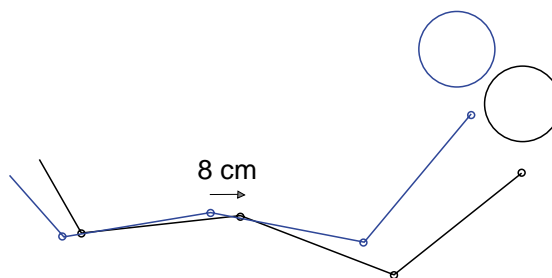
**GUILMIN Frédéric**  
1,79 m et 85,2 kg

Augmentation du couple de rappel de **14%**, pour une diminution de la distance genou / liston (E) de **8 cm**

72 daNm et 0,85 m

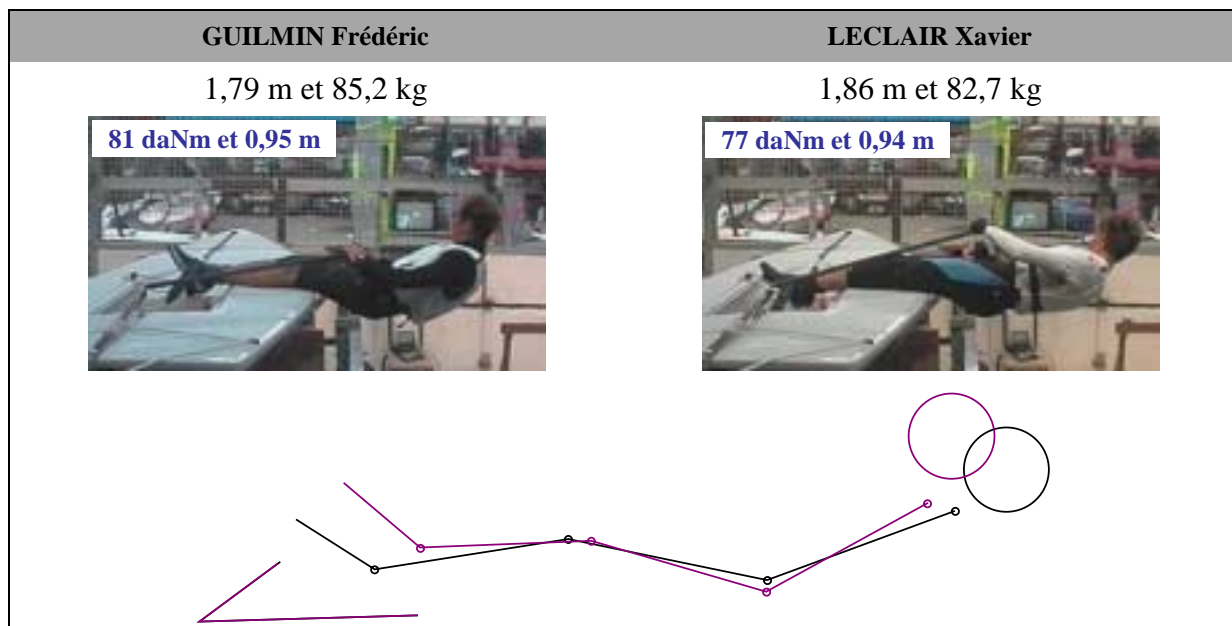


82 daNm et 0,96 m



La diminution de la distance genou / liston (E) augmente le couple de rappel d'une manière importante. 10 cm de diminution de la distance genou / liston fait gagner environ 10% de couple de rappel.

## Comparatif des deux gabarits



Malgré des tailles différentes, on note une valeur similaire du couple de rappel. Le lasériste de plus petite taille compense par un poids de corps supérieur, mais il est obligé d'adopter une position de rappel plus difficile à tenir.

En comparant les 2 photos, on remarque des différences significatives dans les positions de rappel :

- Fred a un réglage de sangles de rappel plus choqué que Xavier. En conséquence la cheville de Fred est plus fléchie que celle de Xavier et la surface d'appui au niveau du bord intérieur du caisson est moins importante.
- Fred a son genou plus près du liston que celui de Xavier.
- Fred a une inclinaison du tronc moins importante que Xavier.
- Fred est globalement plus sorti au rappel que Xavier. Cela implique une dépense musculaire plus importante.
- Pour un même couple de rappel, d'une part le coût énergétique de Fred est supérieur à celui de Xavier et d'autre part le rapport poids/puissance au près comme aux allures portantes est défavorable pour Fred.

En conclusion, un gabarit de grande taille pour un poids moindre procure de nombreux avantages. Le gabarit idéal pour le Laser est celui de Xavier (1m86 pour 79 kg).

## Influence des vêtements

Il est demandé à Xavier de reproduire la même position de référence afin de pouvoir mesurer le couple de rappel en modifiant uniquement la tenue vestimentaire. Les 2 tenues vestimentaires testées sont :

la tenue de petit temps sèche (3,7 kg),

la tenue de brise égouttée (6,8 kg).



Une augmentation de 3 kg de vêtement mouillé fait gagner 10% de couple de rappel, ce qui est important. Pour information le poids de vêtement mouillé égoutté autorisé est de 9kg.



## Le large serré

Il est demandé aux 2 membres de l'Equipe de France d'adopter leur propre position de rappel au large serré dans la brise (Remarque : les mesures ont été réalisées en tenue de petit temps).

Par rapport à la position de rappel au près Xavier perd 13,5% de couple de rappel dans la position de rappel adoptée au large serré. Frédéric quant à lui perd 20,5%. Cependant le couple de rappel des deux laséristes est sensiblement le même. Là aussi le lasériste de plus petite taille compense par un poids de corps supérieur et par une position de rappel modifiée. Le lasériste de grande taille produisant moins d'effort au rappel.

<b>Frédéric</b> 1,79 m et 85,2 kg	<b>Xavier</b> 1,86 m et 82,7 kg
<b>59 daNm et 0,70 m</b> 	<b>60 daNm et 0,72 m</b> 

Au large serré dans la brise, il est nécessaire d'adopter une position très calée et reculée au rappel afin de faire planer le Laser en utilisant les formes plates de l'arrière de la coque. De plus une conduite avec le Laser légèrement gîté permet d'augmenter la valeur du bras de levier (CG / centre de carène), donc du couple de rappel ; dans ce cas le hale-bas doit être réglé afin d'éviter que la bôme ne touche l'eau.

## Conclusion

Cette étude démontre d'une part l'importance du gabarit en solitaire, d'autre part le soin qu'il est nécessaire d'apporter au bon positionnement du barreur au rappel et enfin la manière d'augmenter le couple de rappel.

Un lasériste qui souhaite atteindre le haut-niveau doit avoir une taille de 1m80 minimum pour un poids d'environ 80 kg.

Pour avoir une conduite de navigation optimale une bonne position au rappel est indispensable. Tout d'abord la sangle de rappel doit être réglée de manière à obtenir le maximum de surface d'appui sur le caisson ; ceci permet d'être calé et de sentir le bateau. Ensuite les membres inférieurs doivent être semi-tendus avec un angle jambe/cuisse constant d'environ 160°.

Une fois le barreur convenablement installé au rappel, trois éléments principaux permettent d'augmenter le couple de rappel :

- l'ouverture de l'angle cuisse/tronc, 10° d'inclinaison du tronc fait gagner environ 3% de couple de rappel,
- la diminution de la distance genou/liston, 10 cm en moins fait gagner environ 10% de couple de rappel,
- l'augmentation du poids des vêtements, 3 kg de vêtement mouillé fait gagner 10% de couple de rappel.

L'apprentissage du rappel qui doit être progressif demande du temps et de la persévérance. Si rien ne remplace les heures passées sur l'eau, il est aussi nécessaire de s'entraîner physiquement à terre afin de renforcer principalement les quadriceps, les muscles abdominaux (grand droit, oblique, transverse) et leurs antagonistes.