

Une étude approfondie de la Monotypie stricte met en évidence que TOUS les paramètres constituant un bateau doivent être encadrés afin que la notion de Monotypie soit réelle. C'est le seul gage d'équité sportive entre les concurrents.

Le plus important de tous est sûrement le facteur "centre de gravité". Voici une analyse des principaux paramètres.

## LA MONOTYPIE

. En fonction de la masse réelle du bateau, ces règles prévoient des masses compensatrices qui devront être stratifiées dans le bateau. Reste que cette décision d'ajouter des masses compensatrices ne rend pas les bateaux identiques hormis sur la question de la masse générale. Les lois de l'hydrodynamique et de la dynamique sont plus complexes. La masse de chaque bateau ne constitue qu'un des paramètres, d'autres interfèrent sur la vitesse et les performances du bateau.

### Conditions d'une Monotypie stricte

Dans la réalité deux coques pontées, lestées et aménagées sont dites identiques donc monotypes, si :

- elles ont la même masse,
- la répartition de la matière de construction est identique en tout endroit du bateau,
- leurs centres de gravité respectifs sont identiques en position,
- leurs formes (dimensions) géométriques sont « superposables ».

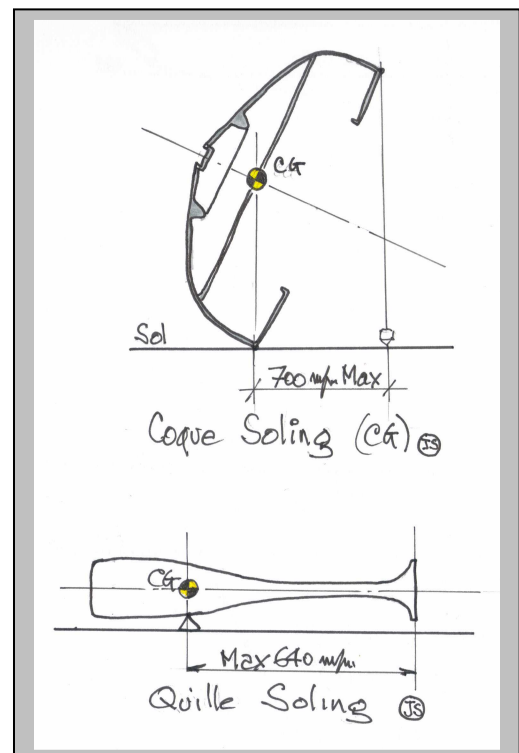
La forme : C'est sûrement l'élément technique le moins sensible aux tolérances de fabrication, à condition que les coques sortent toutes du même moule stable et que le processus de fabrication soit draconien. Les tolérances dimensionnelles sont relativement faibles (quelques dixièmes de mm) et leurs effets sur l'écoulement hydrodynamique est négligeable.

La rigidité de l'ensemble coque/pont représente un facteur beaucoup plus important car il influe sur la forme des voiles donc sur le rendement aérodynamique.

La masse : Pour que les bateaux soient monotypes, il faut qu'ils aient des masses identiques. La mise en œuvre consiste à peser à vide les bateaux à leur sortie de chantier et à leur imposer des masses compensatrices, lorsque l'on constate que la masse du bateau fabriqué est inférieure à celle prescrite. On suppose qu'aucun bateau fabriqué n'aura une masse supérieure à celle imposée par la jauge. Mais une question se pose : ou doit-on installer la ou les masses compensatrices ? En effet, lié à la masse du bateau se trouve le centre de gravité et le moment d'inertie, qui dépendent uniquement de la répartition des masses dans le bateau.

Centre de gravité : Physiquement, il représente le point d'équilibre d'un objet. Sa position cartésienne X,Y,Z dépend de la répartition des masses dans l'objet. Dans notre cas : un bateau.

Sur un bateau, on recherchera surtout à abaisser le CG, ce que ferait une masse compensatrice si on la plaçait sous le plancher du bateau. Afin d'éviter de donner un avantage aux bateaux plus légers en construction, les règles de jauge monotypes imposent des masses compensatrices (0.5, 1.0 ... 8kg par exemple) stratifiées généralement au niveau du mât. Le propriétaire n'ayant évidemment pas le choix de l'endroit.



Dans l'absolu plutôt que de compenser les différences de masse des bateaux par des masses compensatrices, il serait plus équitable de mesurer la stabilité du bateau à 90° et de compenser la position de centre de gravité de la coque lestée.

Certaines séries comme le SOLING, imposent de mesurer la position verticale du centre de gravité de la coque et du lest lors de la construction. La méthode est relativement facile à mettre en œuvre : la coque et le lest étant posés en équilibre sur un appui « couteau » ou sur le livet, le jaugeur vérifie qu'une distance définie par la règle n'est pas inférieure ou supérieure suivant l'élément mesuré, à une valeur définie par la jauge. On peut procéder d'une manière identique pour le mât, surtout si il est construit en composite.

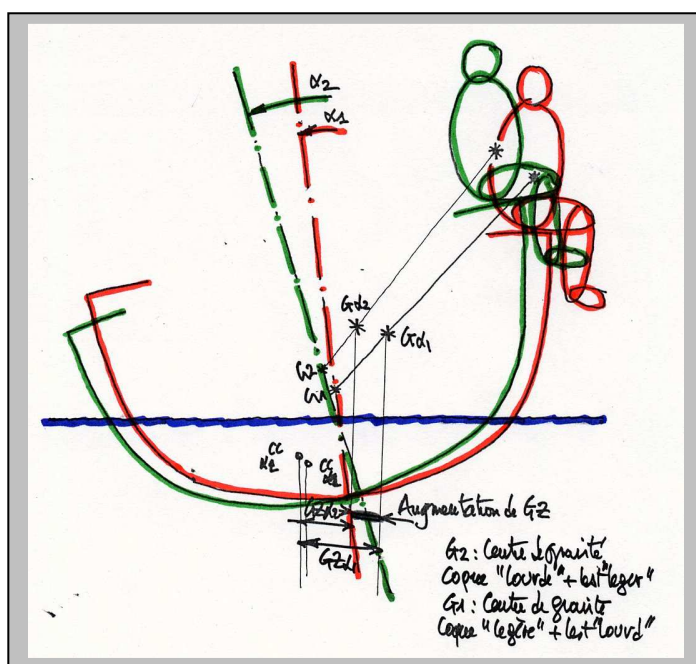
Car finalement le skipper (cela s'est vu en Figaro « 1 » par exemple) choisira une coque légère (à la limite de la tolérance inférieure admise) et un lest « lourd », c'est à dire à la limite supérieure de la tolérance admise. Les différences restent globalement faibles –quelques 10, 15 ou 20kg- mais en monotypie l'optimisation doit être de rigueur.

Lorsque le couple de rappel de l'équipage est limité par un poids maximum de l'équipage, tout gain vers le bas pour le centre de gravité du bateau améliorera intrinsèquement les performances du bateau.

## DOSSIER TECHNIQUE

### « Influence de la fabrication du voilier sur son couple de Rappel »

En monotypie la règle de jauge limite généralement le poids de l'équipage, ce qui interdit d'augmenter la raideur à la toile en jouant sur ce paramètre.



### Hypothèses

En régime « statique », c'est à dire en supposant que les paramètres d'accélération angulaire transversale et longitudinale sont négligeables<sup>1</sup>, on constate : qu'un centre de gravité plus bas de la coque pontée et lestée a pour effet de déplacer vers l'extérieur et vers le bas le centre de gravité général du bateau avec son équipage au rappel. En conséquence le bras de levier  $Gz$ , comme le couple de rappel, augmentent, ce qui induit une gîte plus faible et de meilleures performances.

La position de centre de gravité ( $G$ ) du bateau ponté, lesté et gréé est le résultat d'opérations de fabrication du bateau.

L'étude ci-dessous a été réalisée sur le MELGES 24 à partir des hypothèses suivantes :

<sup>1</sup> Ces conditions sont réalisées par mer plate, vent 10 à 12 nœuds, équipage au rappel, « immobile ».

- *modèle numérique du MELGES 24*
- *prise en compte de deux configurations déterminant deux positions du CG*
- *prise en compte d'un équipage au poids maximal*
- *calcul de stabilité de 0° à 20°.*

### **Position de centre de gravité du bateau**

*Les règles de jauges de la classe MELGES 24 précisent les dimensions des appendices et leurs masses. Comme ces éléments proviennent d'opération de fabrication, ils sont chacun affectés d'un intervalle de tolérance (Quelques mm pour les distances ou quelques kg pour les masses). L'intervalle de tolérance sur la distance entre le fond de coque et le haut du bulbe est de 20mm. Cela est dû au fait que la quille étant mobile (transport), la tolérance de position sur l'élément mobile (la quille) doit être plus grand que dans un système à quille fixe. Si on imposait un intervalle de tolérance plus faible sur cet assemblage (quille dans le puits de quille), cela reviendrait à imposer des intervalles de tolérances très serrés sur les pièces constituant cet assemblage, ce qui rendrait la fabrication plus complexe et plus onéreuse.*

*Les deux éléments importants sont:*

- *La distance du fond de coque à la naissance du bulbe : mini 1195mm, maxi 1215mm*
- *La masse du bulbe en plomb et du voile de quille : mini 300 kg, maxi 313 kg*

*La masse du bateau gréé est de 809 kg minimum. Tous les bateaux sont amenés en usine à cette masse par l'ajout d'une gueuse en plomb (maximum 20kg) que l'on stratifie au pied de l'épontille. Il existe quelques bateaux plus lourds que les 809 kg, mais ils sont rares.*

$$809 \text{ kg} = (\text{voile de quille} + \text{bulbe}) + \text{bôme} + \text{mat et gréement} + \text{coque accastillé}$$

<b>300 à 313 kg</b>	7.30kg	38kg	<b>450.7 à 463.7 kg</b>
---------------------	--------	------	-------------------------

*L'idéal en terme de mouvement dynamique est d'obtenir la matière du bateau répartie la plus uniformément possible sur toute la « surface » du bateau. L'ajout d'une gueuse disposée sensiblement au pied du mât va engendrer des mouvements infimes de tangage qui apparaîtront comme néfastes à la marche du bateau au près.*

*Souvenons-nous que :*

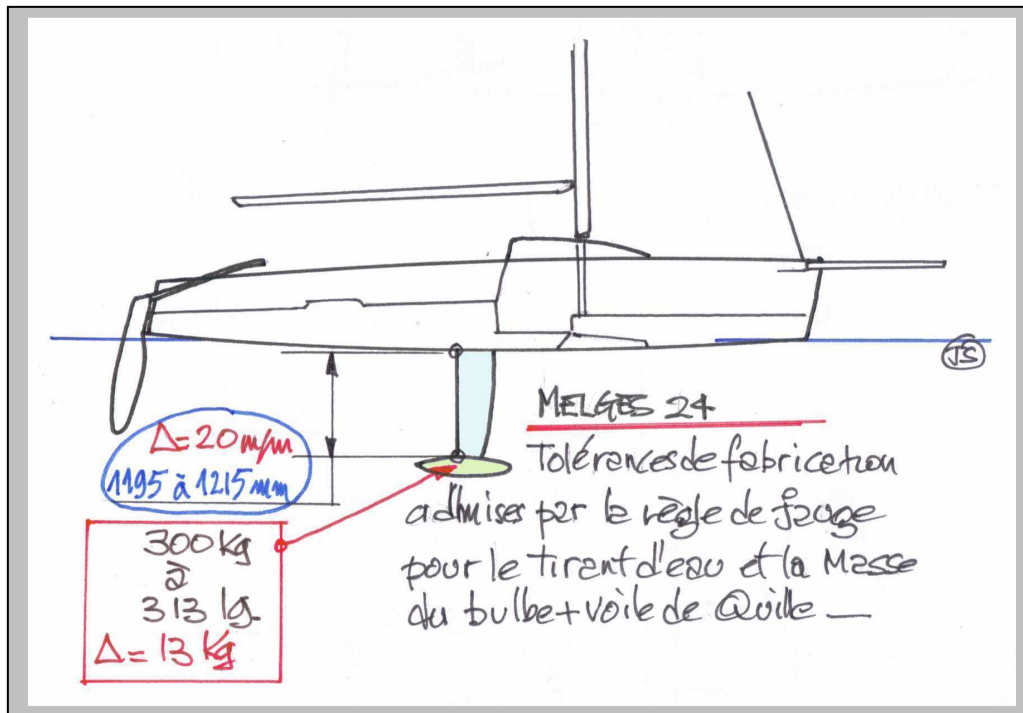
- *le moment d'inertie d'une masse est égal au produit  $m \cdot R^2$  ( $m$  étant la masse en kg et  $R$  la distance entre le centre de rotation du mouvement de tangage et le centre de gravité de la masse).*
- *le couple créé par les forces d'inertie est égal au produit  $I \cdot \omega'$  ( $I$  étant le moment d'inertie décrit ci-dessus et  $\omega'$  l'accélération angulaire de la masse).*

*La disposition des gueuses compensatrices dissuade d'alléger le bateau (ce qui reste illégal) en ponçant le stratifié, la masse des gueuses augmentant de facto. Mais comme cette masse de gueuses est limitée (20 kg), le bateau risque finalement d'être hors jauge.*

### **Influence de la distance bulbe/fond de coque et de la masse du bulbe**

*Ces deux paramètres dimensionnels pris avec leurs tolérances maximales, engendrent les effets suivants :*

- *Augmentation du tirant d'eau (20mm)*
- *Augmentation du plan anti-dérive (0.7 dm<sup>2</sup>)*
- *Augmentation de la masse du bulbe en plomb, celle de l'aileron étant considérée comme négligeable dans les calculs.*



La masse plus lourde et plus profonde du bulbe, associée à une coque plus légère permet d'obtenir une position verticale plus basse du centre de gravité<sup>2</sup> du bateau sans équipage.

Suivant que le bateau soit équipé d'un bulbe « lourd » ou d'un bulbe « léger » et d'un « grand » tirant d'eau ou d'un « petit tirant » d'eau (différence entre les deux tirants d'eau 20mm), le centre de gravité de l'ensemble voile de quille et bulbe sera plus bas de 20mm (référence prise par rapport à la flottaison pour 809 kg de déplacement).

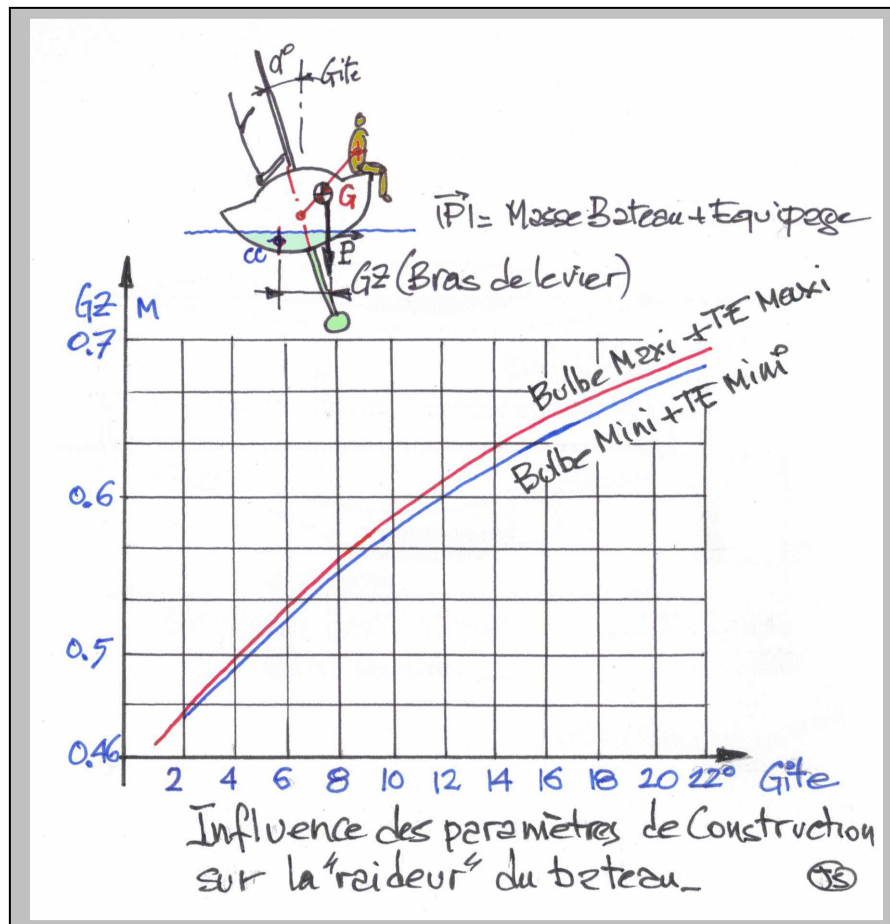
- **Assemblage 1** : Coque lourde, lest léger et « petit tirant d'eau » (CG « haut »)
- **Assemblage 2** : Coque légère, lest lourd, et « grand tirant d'eau » (CG « bas »)

Dans cette simulation nous considérerons le centre de gravité de la coque pontée, comme invariant, la différence de masse de la coque (2.9% environ) pouvant être considérée comme uniformément répartie sur tout le volume du stratifié. Cette hypothèse réaliste met en évidence un centre de gravité général du bateau à vide (sans équipage) plus favorable de 36mm que dans le cas de l'**Assemblage 2**. Résultat normal, puisque ce bateau possède une coque légère associée à un lest plus lourd et plus profond.

Poursuivons l'analyse en étudiant l'influence de ces configurations avec l'équipage maximum (360kg) au rappel.

Ces bateaux recherchent en permanence la navigation avec une gîte minimum (5 à 15°). Plus le bateau sera « à plat sur l'eau » plus il ira vite au près et meilleurs sera son VMG.

<sup>2</sup> Nous avons construit un modèle numérique du bateau et avons calculé par une expérience de stabilité (à 90°) la position du CG, bateau vide.



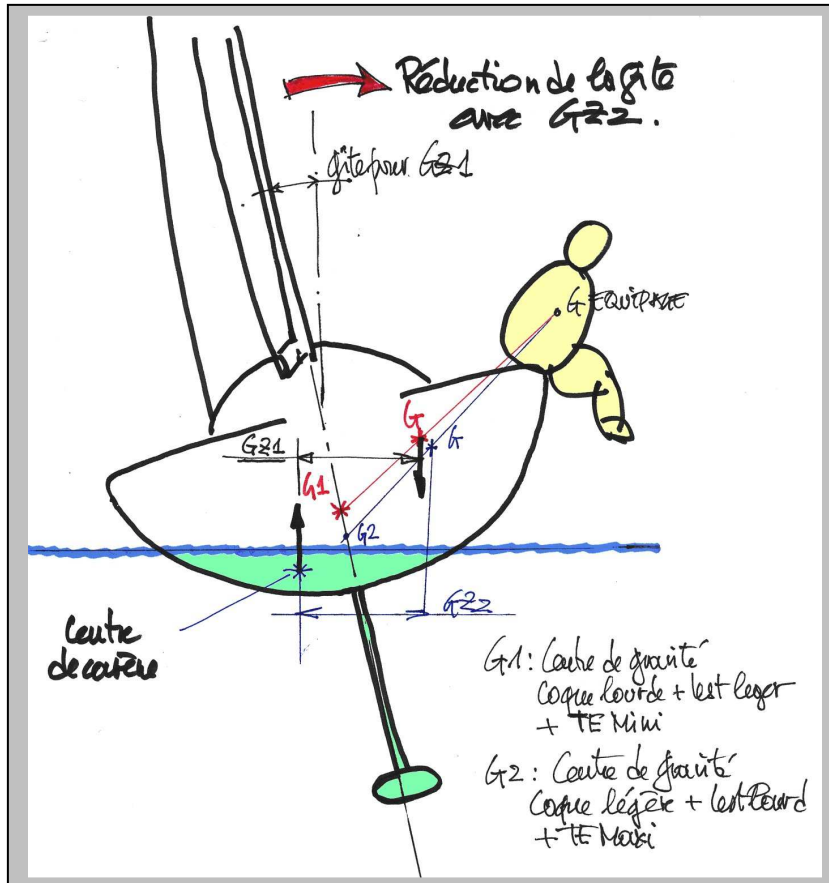
L'étude suivante représente l'influence des deux assemblages possibles (1 & 2) associés au même équipage exerçant un rappel identique sur le Gz (bras de levier).

On constate immédiatement que plus l'angle de gîte augmente, plus le bateau (**assemblage 2**) apparaît comme avantage (le Gz est plus grand).

Le GZ (bras de levier de redressement) représente une approche scientifique du problème qui est difficile à appréhender par le skipper, soyons plus pragmatique et recherchons quelle masse il faudrait ajouter à la masse de 360kg de l'équipage installé sur le bateau (**Assemblage 1**) pour que sa raideur soit identique à l'autre bateau (**Assemblage 2**).

Les calculs de stabilité transversale montrent qu'en ajoutant 7 kg à la masse autorisée de l'équipage (367 au lieu de 360 kg) soit 1.95 %, on retrouve sensiblement une raideur identique entre 0 et 15° de gîte.

Ce supplément de masse (+7kg) est très faible, mais non négligeable, compte tenu que notre hypothèse prend un coque lourde et un lest léger et vice-versa. Dans la réalité d'une fabrication, les répartitions des dimensions ou de masses dans un produit fabriqué suivent une répartition gaussienne. Sauf à assembler les coques et les lests en les choisissant, il y a très peu de chance pour que les assemblages de l'hypothèse se réalisent.



La règle, consciente de ce Meccano possible, se prémunit normalement des petits malins, qui par quelque entregent, pourraient obtenir une coque légère et un lest lourd. L'ensemble de cette étude reste un calcul théorique statique. Dans la réalité, d'autres paramètres dynamiques influent sur les performances générales du bateau.

Cela démontre que la réalisation de vrais bateaux monotypes demeure possible, mais au prix de contraintes de fabrications très serrées et d'une règle de jauge draconienne. On trouverait des résultats identiques dans des séries comme le J24, J22, Star, Soling, Dragon etc.

Ces résultats expliquent en partie les coûts des différentes séries de bateaux monotypes. Par contre si la règle de jauge est laxiste (pas de pesée des bateaux, pas de limite de la masse de l'équipage etc.) la monotypie du bateau va rapidement dériver et rien ne pourra la sauver.

### Des difficultés de la Monotypie

Dès qu'apparaissent plusieurs constructeurs, les procédures de fabrication se compliquent, car les lots (en terme de nombre de bateaux produits) sont généralement peu importants et non continus dans le temps. L'application de contrôles de qualité du type ISO 9000 ou dérivé, n'améliore pas la production, car les conditions de construction de tels bateaux ne rentrent pas vraiment dans le cadre de ces normes, rédigées pour des activités industrielles de grande ou moyenne série.

La gestion d'une classe comme ses règles de Monotypie deviennent aussi importantes que la fabrication par elle-même. En fait ces deux entités sont imbriquées et ne peuvent être dissociées. Une fabrication exemplaire n'engendrera une Monotypie stricte que si les règles de classes sont précises, contrôlées et dont la gestion est indépendante du chantier naval. A ce jeu les structures de classes de culture anglo-saxonne demeurent les maîtres à penser pour la rédaction d'une règle de Monotypie.

Enfin contrairement à l'idée répandue, plusieurs constructeurs n'insufflent ni la concurrence ni la baisse des prix pour de tels bateaux. Pour s'en convaincre il suffit de se reporter aux catalogues des constructeurs de Dragon ou d'autres séries très implantées.

## **Certaines pratiques**

Lors de certains championnats (Jeux ISAF par exemple), l'organisateur fournit des bateaux neufs, construits pour la circonstance. Cette méthode nivelle les différences car sur une série continue de 15 à 20 bateaux les écarts entre les bateaux construits demeurent infimes même si ces bateaux sont quelque peu différents du bateau théorique. Il arrive aussi que l'organisateur impose aux équipes de changer de bateau chaque jour (chaque équipe conservant ses voiles), ce qui aplanit encore plus les différences techniques qui peuvent exister entre les bateaux. Ces pratiques supposent des moyens financiers importants, ou des régates très typées comme le Match Race.

## **Voiles**

Paradoxalement les voiles sont définies par toutes les jauges comme un objet plan alors que dans la réalité elles se matérialisent par des volumes complexes. Aucune jauge ne s'applique à en déterminer les performances aérodynamiques ou à imposer une « forme » hormis le guindant, la bordure et les ronds de chute, contrairement aux carènes et aux appendices qui sont très strictement encadrés et contrôlés. Pourtant les voiles représentent par essence le moteur du bateau. La raison de cette impasse est que les mesures de creux et de répartition du creux sont pratiquement impossibles à réaliser sur des voiles de fabrications conventionnelles (voiles à panneaux). Par contre avec le développement de la technique des voiles moulées (type 3DL), on pourrait imaginer qu'une série monotype soit propriétaire des moules des voiles (Grand-voile et focs), ce qui autoriserait à contrôler la forme des voiles en contrôlant l'outil de fabrication d'une manière identique à ce qui est fait pour les coques.

## **Monotypie stricte, quelles conclusions, quel avenir ?**

Dans l'inconscient collectif, *Monotypie* signifie absence de jauge, régates à « armes égales ». En réalité, nous trouverons le pire et le meilleur dans les séries monotypes. Le meilleur lorsque les séries sont structurées et savent analyser la « nouveauté » en laissant du temps au temps, le pire, dans les séries monotypes de circonstances où le constructeur assure tous les rôles, jauge, administration de la règle, gestion de la « classe ».

Si les contraintes de la Monotypie apparaissent généralement faciles à traiter et à accepter pour les dériveurs et les quillards de régates, elles deviennent plus complexes, voire impossible à gérer pour les bateaux de courses-croisières. Rares sont les séries monotypes habitables existantes dans le monde, qui peuvent se prévaloir d'être véritablement monotype.

La Monotypie ne paraît donc pas être le cadre idéal pour la diffusion du plus grand nombre de bateaux de régate, elle n'est pas non plus la tasse de thé des constructeurs généralistes, car assurer la pérennité, l'identité d'une série de bateaux pendant 10, 15, 20 ans... voire plus (le Star) n'apparaît pas comme très commercial pour une entreprise industrielle importante. Actuellement il ne se construit plus de Class 8 et de Figaro Bénéteau 1 depuis au moins 5 ans. Seules de petites structures industrielles s'intéressent à la construction de monotypes et elles réussissent d'ailleurs fort bien dans ce domaine. Si quelques grands chantiers communiquent sur ce thème de la monotypie en organisant un circuit de régate ou des rassemblements, c'est souvent plus par intérêt commercial du moment, ou dans le but de donner une image sportive de l'entreprise auprès du grand public, que de promouvoir l'idée de Monotypie.

Jean SANS (2008)