L' HYDROPTERE Historique et conception

Présentation au titre d’YCAR le 17/03/2019 Par Boris PRAT, du Team technique du projet Hydroptére

1- HISTORIQUE DES BATEAUX A FOILS

Dans les années 50, ont été réalisés des prototypes de bateau à moteur munis de foils, afin de déjauger la coque pour éliminer la traînée de flottaison ‘’archimédienne’’ afin d’aller plus vite. Ce principe a prouvé son efficacité et conduit à la réalisation de bateaux motorisés à foils : militaires (US) – navettes civiles italiennes de circulation entre les îles du sud.

Pour ces bateaux à moteur, il suffit d’appliquer une forte poussée au départ afin de déjauger la coque archimédienne vers 15 à 20nds : le bateau est alors porté hydro-dynamiquement par ses foils, la traînée archimédienne disparait et ne reste que la traînée de portance, soit une réduction d’environ 2/3, ce qui permet au bateau d’accélérer et d’aller plus vite avec moins de poussée !

Pour un voilier, la poussée des voiles est très conditionnée et moins simple qu’une poignée de gaz. Il est moins facile de donner le coup de fouet au départ pour déjauger, et permettre d’aller beaucoup plus vite.

Dans les années 60 sont réalisés des prototypes de petits voiliers à foils capables de sortir de l’eau sous l’effet du vent en eau calme.

On trouve ainsi quelques réalisations sérieuses telles que :

o « Monitor » de M.Baker fin des années 60

o « Force 8 » des frères Pattisson dans les années 70

o « Philfly » de Philip Hansford dans les années 80 (Ces deux derniers ayant obtenu des résultats intéressants en eau calme)

o « Longshot » 43,55 nds en 92 pour lequel a été faite une tentative de commercialisation

Tous se sont heurtés aux difficultés de réalisation de structures légères mais très résistantes pour être capables de résister aux chocs dans l’eau dont les efforts sont proportionnels au carré de la vitesse pour fluide 800 fois plus dense que l’air .Is ne pouvaient donc naviguer que sur plan d’eau assez lisse passé 20nds ce qui est assez incompatible avec les vents nécessaires pour un voilier rapide !.

o On doit citer également l’Australien « Yellow Pages Endeavour » avec Simon Mac Keon , engin de vitesse dissymétrique, un seul foil , très rapide sur eau lisse, qui a atteint 46,52 nds en Oct 92, puis a explosé vers 46 nds en voulant battre son propre record en 2003.

o « Macquarie Innovation », un autre Australien qui a explosé à 45,9 nds fin 2005

o Et également, le voilier d’études « Techniques Avancées » de l’Ecole d’Ingénieurs Aéronautiques ENSTA à Paris, dans les années 96 à 2000 , avec 42,12 nds en 97 (par économie de moyens, ce prototype était dissymétrique avec un seul foil )

Ces 3 derniers « engins à voile » sont des prototypes dissymétriques de pure vitesse qui ne peuvent naviguer à grande vitesse que sur un seul bord et sur plan d’eau assez lisse.

Le record de vitesse à la voile sur 500 m a éte détenu par Finan Maynard sur Windsurf avec 48,7 nds en 2007, dans le canal aux Saintes Maries-de-la-Mer, mais en Septembre 2009, c’est l**’Hydroptère** qui a détenu pendant quelques jours ce record sur 500 m, nds, avec **51,36** ravi depuis par un kite-surf à **54,1nds**( Alex Caizergues.) Mais l’Hydroptère détient toujours le **record absolu avec 50,17 nds** de moyenne au large, sur un mille marin (1852m), depuis le 8 Nov 2009.

**2- HISTORIQUE et DEVELOPPEMENT de L’HYDROPTERE jusqu’en 2011**

Dans les années 76, Eric Tabarly s’était fait construire sur la base d’une coque de tornado un bateau à foils, avec lequel il avait réussi à déjauger, ce qui l’avait conduit à faire construire en 1978, avec l’aide de Dassault et un sponsor, un trimaran à foils en aluminium, le « Paul Ricard » avec lequel il s’était classé deuxième en 79 dans la transat en double (Lorient - Les Bermudes et retour), équipage E.T. et Marc Pajot à 5’ 42’’ du premier (VSD), ceci après 34 jours de course en tête! Puis en 80, il a battu en 10j 5h et 13’ le record de la traversée de l’Atlantique détenu par Charlie Barr avec la goélette à trois mâts « Atlantic », depuis 1905, avec 12j 4h et 1’

Cette expérience lui avait confirmé le bien-fondé de son idée, mais il avait vite compris que, pour que ce genre de bateau à voiles donne toute sa mesure il fallait qu’il déjauger complétement , il devait donc être plus léger . Pour cela il fallait concevoir des structures de haute technologie en fibre de carbone qui devenaient une réalité industrielle en construction aéronautique. C’est ainsi qu’en 88, Alain Thébault avec l’aide de Tabarly et de la Société Dassault et des mêmes ingénieurs de 78, font construire un bateau un peu spécial, genre trimaran à foils, d’un peu plus de 6 m de long et 7 m de large, qu’Alain T. va expérimenter pendant quelques mois à La Rochelle, afin de mieux approcher le comportement aéro et hydrodynamique de ce concept. En 92, Alain Thébault , aidé par E.Tabarly arrive à rassembler et à convaincre un groupe de mécénat technologique autour de Dassault - DGA - CNES - Chantiers de l’Atlantique à St Nazaire - Pays de la Loire, pour lancer son projet d’un un bateau hauturier à foils de 60 fts (18m28) de long et 22 m de large, destiné à porter le record de l’Atlantique nord à moins de 5 jours. Il s’appellera « L’HYDROPTERE ».

Il s’agissait donc de créer le premier voilier hauturier qui utiliserait pour l’essentiel de durée de ses navigations courantes , la sustentation dynamique à la place de la sustentation d’Archimède. en déjeaugeant

Pour réaliser ce voilier, il allait falloir dominer la dualité contradictoire efforts/poids, c'est-à-dire, le problème qu’avait déjà dû résoudre les constructeurs d’aéronefs depuis le début du 20ème siècle. Mais, si pour les avions, l’expérience et les recherches cumulées depuis 100 ans étaient considérables, pour ce qui concerne les bateaux à voile, et de plus à foils, les données archivées étaient quasi inexistantes!

Comme l’a souvent dit Alain, cette transition de la portance d’Archimède à la portance dynamique, que matérialise l’Hydroptère pour les bateaux, est la même que celle du passage du dirigeable à l’avion à ailes fixes réalisée aux débuts de l’aéronautique..

Avec des moyens assez réduits disponibles au départ du projet en 1993 ,( soit quelques calculs et moyens de fabrication limités, mais, tout de même, des essais hydrodynamiques à l’échelle 1/2 d’un foil dans le tunnel d’essais des carènes de la DGA/CEAT à Toulouse),l’équipe initiale avait en 92 réalisé un bateau dont les grands principes architecturaux sont,( par économie) restés les mêmes ,et c’est avec cette conception ancienne juste un peu peaufinée a l’économie,que les records ont été battus. Jusqu’à la fin du rêve en 2010 .

La première version de L’Hydroptère dite « THX » navigue fin 1994, en baie de Quiberon, pour quelques mises au point. En juin 95, intervient un incident majeur avec une rupture du bras bâbord au cours d’un « slalom spécial » à environ 30nds dans la vague d’étrave de la Frégate de la Marine Nationale « Le Surcouf » qui l’accompagnait. Malgré cela, les premiers résultats obtenus encouragent toute l’équipe à poursuivre l’aventure.

. Cette rupture de 95 va donner à A Thébault , l’occasion de contacter l’usine AEROSPATIALE /EADS (futur AIRBUS) , de Nantes (spécialisée dans les structures carbone) pour convaincre , avec ma complicité la Directiion du Bureau d’Etude à Toulouse, d’entrer dans son projet pour étudier et fabriquer des bras renforcés. C’est ce qui m’a donné l’occasion de piloter ce projet, en tant que futur retraité (en 96), pour conduire ,au début, l’étude et la fabrication de nouveaux bras, cela devait durer quelques mois ! Mais, déjà passionné par les voiliers, j’ai été aspiré par ce projet extraordinaire et je suis resté à titre privé dans l’équipe technique Hydroptère pour piloter tout ce qui par la suite à concerné les structures nouvelles ou leurs réparations ,tels que les nouveaux foils en 98, et des nouveaux bras plus tard etc.. , et ceci jusqu’à la fin de l’aventure

Ainsi sont refaits en 96 les deux nouveaux bras et à cette occasion, l’introduction d’améliorations suggérées par les résultats des navigations précédentes : Elargissement du bateau à 24 m au lieu de 22 m. Introduction dans les articulations des foils sur les bras d’un réglage d’incidence des foils ,malgré les efforts énormes à passer dans ces articulations .

Le bateau version TH2X est alors remis à l’eau fin 97 et confirme nos attentes : la vitesse de pointe s’approche de 40 nds. Mais, à l’occasion d’une navigation « confortable » pour rejoindre le départ du record des 24 h, le 8 juin 1998, le foil tribord se détache en douceur et s’endommage suite à la rupture d’un boulon défectueux de ces foils initiaux conçus en 92 L’affaire est grave, car le foil est irréparable à peu de frais, et le défaut existe également à bâbord.

L’équipe technique se resserre alors autour d’Alain Thébault pour reconvaincre les Sponsors que cet évènement ne remet aucunement en cause le bien fondé du projet.

Il faut noter que ce projet bénéficiait à cette époque d’un avantage important par le fait que ses Sponsors étaient des Sociétés de culture éminemment technique high-tech, donc tout à fait en mesure de juger rapidement du sérieux et du bien fondé de notre démarche technique.

Les sponsors et en particulier AIRBUS acceptent fin 2000 de poursuivre et d’autoriser la conception et la fabrication de deux nouveaux foils par EADS /AIRBUS à Toulouse et à Nantes. sous mon pilotage comme en 96 pour Les Bras.

C’est l’occasion d’introduire à nouveau dans ces nouveaux foils et sur le bateau des améliorations suggérées par les navigations passées depuis 94:

1 Réduction de 30% de la corde des profils

2 Vrillage négatif en envergure ( 2° pour passage de la houle sans enfourner )

3 Création d’un winglet vertical de 60 Cm ,lié au foil par une pièce courbe en titane ,hydrodynamiquement profilée, en remplacement des deux petits winglets horizontaux et verticaux plusieurs fois perdus dans le passé

4 Allongement de l’empennage vertical arrière pour plus de sécurité de pilotage en tangage à grande vitesse car la sortie de l’eau du plan horizontal qui lui est accroché serait grave ;

Le bateau TH3X est remis à l’eau au printemps 2001 et confirme les améliorations de perfos  prévues. En Août 2001, la fragilisation des matériaux (aluminium de haute technologie aéronautique trempés dans l’eau de mer), nécessitent le remplacement de l’aluminium par du titane. Après ces nouveaux travaux et une remise à l’eau au printemps 2002, le bateau confirme des vitesses stabilisables en mer formée autour de 38 nds, et L’ HYDROPTERE atteint la vitesse de pointe de 43 nds

L’été 2002, il se met en attente à St Malo pour le record de la Manche Douarnenez / Southampton, mais la météo le trahit et ne lui donne pas l’occasion de s’exprimer, malgré plusieurs départs. Dépité, au bout de 2 mois, l’équipage s’oriente vers le record du tour des îles Britanniques, et le 5 septembre 2002, dans l’euphorie de la vitesse dans une mer très formée, creux de 3 à 4 m et bon vent, une manœuvre intempestive précipite violemment sur la vague le foil au vent (bâbord), ce qui a conduit à des dépassements importants de tous les efforts initialement prévus. S’ensuit un endommagement sérieux de l’extrémité du bras bâbord, qui nécessitent le retour à la base.

Les mesures enregistrées par les nouveaux moyens d’exploitation améliorés nous permettent alors de découvrir e après dépouillements détaillés :que la contre fiche à enregistré 80 T !! pour environ 40 T !! sur le foil et que la configuration rencontrée était effectivement exceptionnelle et ne remet pas en cause les efforts retenus pour les configurations normales les plus sévères de navigation .Mais qu’il est illusoire de compter sur la simple alerte à l’équipage pour qu’il puisse éviter ces sur-dépassements .et qu’en conséquence ;la seule solution était d’introduire un moyen mécanique automatique pour neutraliser ces efforts exceptionnels et parasites. Que des moyens techniques sont possibles , mais que cela nécessite ,une étude fines et un peu d’alourdissement.Et bien sûr ,quelques financements supplémentaires !

De plus en plus convaincue du bien fondé de ce projet, toute l’équipe se resserre à nouveau autour d’Alain Thébault en septembre 2002 pour présenter aux Sponsors l’explication crédible de l’avarie et des solutions possibles pour continuer. Après audits, explications et moultes réflexions et analyses, les Sponsors se montrent une fois de plus compréhensifs et nous « supportent » pour refaire des bras neufs plutôt que de bricoler les existants abimés , mais à condition de savoir concevoir une Contre-Fiche « Amortisseur/précontrainte/ satturante en compression et accompagnatrice en détente » ,en remplacement de la CF d’origine incompressible.

Une décision est prise dans ce sens au printemps 2003 pour :

1) Deux bras neufs de conception similaire aux précédents, mais optimisés en fonction du cumul des informations depuis 1996.

2) Un système d’écrêtage des efforts foils par une contre-fiche télescopique pneumatique complexe satturée à 56T

3) une légère réduction du dièdre des foils pour amélioration de la stabilité latérale. (38°)

Après ces réparations et modifications, le bateau, version TH4X est remis à l’eau début 2004 ,pour une campagne d’essais à grandes vitesses , puis, après quelques mois de reprise en main, il se dirige en Manche, mais cette fois à Calais pour battre le record de la traversée Douvres-Calais détenu alors par Jean Lecam , et surtout, faire mieux que les 37’ de Blériot.

. Après quelques jours d’attente de la météo, il bat ce record en 34’ 24’’ le 09/02/2005 …..

Il file ensuite à Cadix pour s’attaquer au record de la traversée de l’Atlantique sud ( Cadix - San Salvador) qu’il attaque le 27/06/2005.

Apres début très prometteur En plein milieu du parcours , alors qu’il est franchement au dessus des temps du record, il rencontre le 29/06/2005 autour de 30nds un gros objet flottant non identifié « OFNI » probablement une baleine ou une très grosse tortue qui fait quelques dommages au bras au vent (bâbord), ce qui compromet le record et l’oblige à rentrer à Lanzarote aux Canaries, où il est mis sur cales, et le bras endommagé est ramené à La Trinité pour réparations. En décembre 2005, alors que tout est prêt pour retourner le bras à Lanzarote, le cyclone tropical Delta qui ne devait pas toucher les Canaries, balaye violemment le port de Lanzarote, fait tomber le bateau de ses supports, ravage le mât, et endommage d’autres éléments importants. Tous les éléments du bateau sont alors ramenés à La Trinité pour les réparations nécessaires et dans l’attente d’un nouveau mât : si financement!.

Le moral n’est pas au mieux dans toute l’équipe ! C’est alors qu’encore une fois la détermination d’Alain Thébault se déchaîne et provoque l’arrivée du Père Noël sous la forme d’un nouveau Sponsor solide et passionné, bien déterminé à faire aboutir ce projet et même, à le pousser vers un nouveau bateau plus grand pour l’avenir . Un banquier Suisse **Thierry Lombard** sauve ainsi in extrémis le projet, mais les autres Sponsors baissent les bras et quittent le navire ! mais pas les Papets !

A ce nouveau sponsor providentiel, on ne peut refuser sa demande de changement d’objectif : laisser en sommeil le record de traversée de l’Atlantique et viser des records de vitesse à la voile plus porteurs. Ainsi L’HYDROPTERE est réparé et mis en configuration pour battre des records de vitesse pure : Modification des profils des foils, carénages aérodynamiques généralisés, modification du système de pilotage, voiles profilées.

En même temps, à sa demande, est lancé en 2006 avec la collaboration de l’Ecole Polytechnique de Lausanne, un autre voilier hydrofoil plus petit appelé «**HYDROPTERE . CH** » destiné a naviguer sur le lac Léman pour y battre les records Suisses et permettre quelques expérimentations pour l’avenir. en vue d’un plus grand hydroptére pour le tour du monde en équipage

A ce jour en 2019 le « .CH », mis à l’eau fin 2010, glane tous les records du lac. malgré une météo infernale par sa variablilité Voir le site internet :

http://www.hydroptere.com/index.php?page=l-hydroptere-ch---presentation

**En 2008**, L’HYDROPTERE fait des essais de grandes vitesses en baie de Marseille et porte les records de vitesse des voiliers sur 500 m à 46,15 nds, puis celui du mille marin à 43,09 nds, mais ne s’en contente pas, et vise les records absolus toutes catégories à la voile .Au cours d’une navigation de préparation a haute vitesse supérieure à 40 nds , avec fort vent, forte houle, et une fausse manœuvre, il enfourne violemment dans la vague et « sancit » (c’est à dire cul par-dessus tête !!!) s’ensuivent quelques dommages, essentiellement le mât cassé, et l’électronique inondée. Pendant la fabrication d’un mât nouveau, le reste du bateau est encore affiné pour les grandes vitesse : flotteurs à redans, ré-amélioration des profils des foils.

Au printemps 2009 le bateau version TH5X est remis à l’eau à la Seyne sur Mer où il s’entraine dans la baie de Hyères et porte alors le record des 500 m à 51,36 nds le 4 Sept 2009 et celui du mille à **50,17** nds le 8 Nov 2009.

3 - **CONCEPTION DE L’HYDROPTERE**

L’HYDROPTERE n’est ni un trimaran ni un catamaran classique. Il comporte une coque centrale de 60 ft soit 18,28 m, étroite (max 3 m, mais habitable !!!) qui supporte le mât et à laquelle sont accrochés, de part et d’autre, deux bras de 10,5 m chacun à l’extrémité desquels on trouve : voir la maquette assez fidèle a l’échelle 1/20

1° Un flotteur à redan qui ne sert de flotteur d’équilibre qu’a l’arrêt, mais sert de volume de ballastage par remplissage dynamique pour créer le couple de rappel et d’anti enfournement aux grandes vitesses. La largeur hors tout est de 24 m.

2° Un foil de 6 m, véritable aile inclinée de 37° vers le bas et l’intérieur, par rapport à l’horizontale), articulée sur l’extrémité du bras par un dispositif de réglage en incidence et maintenue déployée par une contre fiche élastique, écrêteuse d’efforts à 56 tones .la C/F est pliable pour pouvoir ranger le foil sous le bras en Nav Archimedienne

Les profils utilisés pour les foils sont proches de profils aéronautiques NACA légèrement cambrés, d’épaisseur relative 10% avec des cordes allant de 60 à 150cm. Les foils de 6 m de long sont prolongés par des winglets verticaux de 60 cm en continuité de profil du foil.

3° Sur l’extrémité de chaque bras, est installé un poste de pilotage présentant un volant de direction, une commande de profondeur par stick et une commande du vérin de grand voile et des winches, ainsi que l’affichage des paramètres de navigation et de sécurité.

A l’arrière de la coque, on trouve un safran vertical de 3,6 m, pour la direction, qui supporte à son extrémité inférieure immergée, une gouverne horizontale de 2,5 m d’envergure, pilotable en incidence pour la profondeur, comme pour un avion. Les profils ici sont symétriques à 10% d’épaisseur relative. Cette gouverne horizontale est également escamotable en rotation élastique dans son plan horizontal sous efforts de chocs d’OFNI , pour éviter d’entrainer le safran en rotation et donc d’eviter un tête- à- queue du bateauçà grande vitesse ;

L’ensemble safran plus sa gouverne de profondeur sont relevables au port par basculement vers le haut pour le tirant d’eau au port .

Le mât , initialement de 27 m, profilé et tournant, supporte la Grand Voile de 168 m2 à deux ris , plus la trinquette de 33 m2 plus un Solent de 83m2, plus le genhaker,de240m2 . Dans la dernière version du bateau (TH5X) le mât a été allongé à 28 m pour porter plus de voile par petit temps.

Pour modifier le centre de gravité selon les besoins d’équilibre au cours des navigations, un ballastage par eau de mer jusqu'à 800 l est organisé dans les flotteurs du bout des bras pour créer du couple de rappel en roulis, et à l’arrière de la coque, jusqu'à 1000 l, pour l’équilibre d’assiette longitudinale en tangage. L’alimentation de ces ballastages en eau de mer est assurée par une goulotte frontale placée au bas du safran AR, qui permet grâce à la pression dynamique de l’eau dès les vitesses supérieures à 20 nds d’alimenter les ballasts, en particulier ceux des flotteurs d’extrémité de bras. « au vent », situés à plus de 5 à 6 m de haut ( pour info la pression d’arrêt de l’eau au niveau de cette goulotte du bas du safran peut atteindre et dépasser 3 à 4 bars au dessus de 30 nds).

Pour la navigation, et pour la surveillance des efforts, une centaine de paramètres (vitesses – accélérations – configurations – positions – vents -- et efforts structuraux) sont mesurés sur la base de capteurs électroniques, tels que jauges de contraintes, accéléromètres, centrale à inertie ou centrale anémométrique sophistiquée et sont traités en « live » et enregistrés par un ordinateur embarqué.

Le tirant d’eau du bateau est de 4,5 m à basse vitesse foils déployés et de l’ordre du mètre à grande vitesse.

la largeur hors tout est de 24 m.

Le poids total du bateau complet sans l’équipage est de l’ordre de 7 Tonnes.

Tous ces éléments structuraux sont de conception de type aéronautique, en fibres de carbone pour 90 % et environ 7 % de titane, le reste est en acier inox, aluminium ou divers.

Bien sûr, aucune énergie autre que celle du vent ou celle de l’équipage ne doit être utilisée pour la propulsion ou les manœuvres. Les seules exceptions autorisées sont la transmission électrique de la commande de profondeur et un classique pilote automatique électrique. L’énergie hydraulique de la commande de grand-voile et du safran de direction est manuelle, l’énergie d’élasticité nécessaire pour l’écrêteur est stockée dans deux bouteilles d’azote à 300 bars, mais pas consommée .

Le bateau est démontable en éléments séparés : coque, bras, mât, foils, flotteurs, safran. Il est équipé d’un moteur de 40cv pour les manœuvre au port et l’électricité de bord .Son hélice est en l’air en navigation de vitesse et ne peut servir que bateau posé.

4 - PERFORMANCES

Au début du projet, en 95, les premières vitesses de navigation se situaient en pointe autour de 30/35 nds, en 2005 les pointes étaient à 43 nds et, en 2011, on a atteint 54 nds. Ceci indépendamment des records de vitesses moyennes officialisés sur les distances standards de 500m et du mille marin, indiqués plus haut.

En résumé :

- Décollageà vers 15 nds pour 20 à 25 nds de vent réel minimum entre 70et et 130°

- Vents réel utilisables pour performances : 20 à 5O nds dans le 80° à 135 ° suivant force

- Hauteur max de houle courte acceptable sans précautions particulières : 2 m

- Vitesse max stabilisée atteinte en 2010 : 56 nds

5- EQUIPE TECHNIQUE de CONCEPTION du PROJET

Elle etait constituée depuis l’origine pour certains, et depuis 1996 pour les autres, autour d’Alain Thébault, d’ingénieurs de l’industrie aéronautique dits ‘’les Papets ‘’: trois de DASSAULT autour de Philippe Perrier pour l’hydro et l’aero- dynamique , et 3 d’AIRBUS avec moi pour les structures. Tous retraités,, et tous bénévoles,. plus des jeunes ingénieurs et techniciens embauchés par la Société Hydroptère d’Alain Thébault

Tous les éléments structuraux majeurs ont été conçus, calculés et fabriqués selon les principes les plus actuels des technologies aéronautiques ou marines de haut niveau, et en étroite collaboration avec le cabinet d’architectes de marine historiques, Marc Van Pétéghem et Vincent Lauriot-Prévost .

Pour les pilotes, et navigants autour d’Alain Thébault, on trouve : Michel Desjoyeaux, Jean Lecam, Yves Parlier , Jacques Vincent (8 tours du monde) , Jérémie Lagarrigue. J Mathieu Bourgeon j

7 - ETAT DU PROJET en 2019

HELAS Par manque de moyens suite à la brouille d’A Thebault avec T Lombard sur l’objectif de poursuite du projet HYDROPTERE ; En 2010 A Thébault a transféré le bateau à Los Angeles pour tenter le record du Pacifique et suite à une lamentable tentative de record du Pacifique Nord ,malgré les avis de tout le Team en 2015 ,Il a pratiquement abandonné le bateau à Honolulu ,où il est probablement dépouillé à ce jour.

Il avait tout de même eu la possibilité de faire naviguer en 2010 sur L’ Hydroptére ,à San Francisco, quelques Syndicats de bateaux de la Coupe América qui après Valence s’entrainaient à San Francisco pour 2013 .Ce qui leur avait donné des idées pour les coupes suivantes, qui se font désormais avec des multicoques à foils à grandes vitesses .mais leurs largeurs sont hélas ,limitées par le règlement de la course.

Voir le : DVD .LE SOUFFLE D’UN RÊVE

Et la maquette au 20 iême

BP