

RESTITUCION VOLUMÉTRICA DEL CASCO DE *LA BELLE*¹

por J.C. Lemineur

Traducción: Cayetano Hormaechea

Consideraciones generales

La restitución seria de *La Belle*, y en este caso de su carena, recurre a numerosos datos precisos relativos a sus dimensiones pero también, y en esto reside la dificultad, a la manera con la que han sido dibujados los volúmenes del casco.

La memoria de construcción, que debemos a Jean Boudriot, nos informa de las dimensiones principales pero estas dimensiones son insuficientes para determinar con rigor las formas de la carena.

Afortunadamente, el descubrimiento del pecio aporta preciosas indicaciones complementarias sobre el manejo de los gálibos hasta la altura de la vagra del fondo.

Este descubrimiento proporciona ante todo la situación exacta de la cuaderna maestra sobre la quilla e indirectamente la de las cuadernas de armar, posiciones sin cuyo conocimiento sería imposible cualquier restitución seria.

Otra indicación fundamental es la información que proporciona la sección transversal de las formas del *Profond* atestiguando que en 1684 ya se utilizaban los medios gráficos para el trazado de las cuadernas de proa y popa a partir del gálibo de la cuaderna maestra, medios sin duda utilizados también para realizar la carena de *La Belle*.

Por último, *La Belle* presenta una particularidad importante: la posición muy avanzada de la varenga maestra, identificada en el pecio a 17 pies de la roda. Esta posición, que corresponde aproximadamente al 62% de la quilla a partir del codaste, es singular pues se aparta del reglamento real de 1673 que sitúa esta varenga a 7/12 de la quilla a partir del codaste, es decir a un 58,33% de ésta.

Los constructores de Rochefort, excepto Masson, se muestran muy respetuosos con el reglamento real de 1673 en una lista de barcos que construyeron, al menos en lo que concierne a la posición de la varenga maestra sobre la quilla. Su varenga maestra se sitúa muy próxima al 59% de la quilla a partir del codaste.

Solamente Masson sobrepasa claramente este reglamento colocando su varenga maestra a más del 61% de esta longitud. La posición muy avanzada de la varenga maestra sobre la quilla la identifica como obra suya; esta identificación permite remitirse a otros barcos construidos por él para comprender de qué forma los ha concebido. *La Belle*, en comparación a estos últimos, se distingue por algunas particularidades.

¹ Trabajo publicado en la edición francesa de la obra de Jean Boudriot: *Cavelier de la Salle – L'Expédition de 1684 - LA BELLE*, (París: 2000), páginas 126 a 134.

Oficialmente, según los documentos de la marina real, *La Belle* estaba considerada como “barque longue” de un porte de 50 toneladas y armada con 6 cañones. Teniendo en cuenta las dimensiones corresponde más bien a una embarcación de carga que a una barca de guerra.

En efecto, por comparación con estas últimas de igual eslora, *La Belle* es sensiblemente más ancha; su carena es claramente más profunda y la varenga maestra equivale a los 2/3 de la manga máxima, en vez de la mitad o incluso los 9/20. El levantamiento de 6 pulgadas en el extremo de la varenga, constatado en el pecio, es netamente inferior al que presenta una barca de guerra.

Construida con tales proporciones, *La Belle* no puede más que poseer una gran capacidad. Sin embargo, en tanto que el lanzamiento de la roda, el lanzamiento del codaste y la altura de los delgados de popa no ofrecen ninguna particularidad, la altura de los delgados de proa es anormalmente elevada alcanzando más del 63% de los de popa en lugar del 50% normal.

Tal altura de los delgados, teniendo en cuenta el lanzamiento de proa, que a pesar de todo es muy corto, implica infaliblemente un pronunciado recogimiento de formas en la roda y, dado un igual reparto de volúmenes, de una cierta finura de la carena en el otro extremo.

Por el contrario, la posición de la varenga maestra a 17 pies de la roda es conforme con las prácticas de Masson. Estos 17 pies no corresponden a los 5/12 de la longitud de la quilla como impone el reglamento real de 1673 sino más bien a los 5/12 de la distancia entre los puntos de llegada de la vagra del fondo sobre la roda y sobre el codaste.

Después de haber situado en un plano la roda y el codaste en los extremos de la quilla, respetando el lanzamiento, inclinación y alturas mencionados en la memoria de construcción de 1684, de haber dado a la roda una curvatura conforme a los usos de la época, de haber posicionado los puntos de intersección entre alefrices y altura de los delgados de proa y popa, se obtiene entre estos puntos una distancia de 48 pies 4 pulgadas 4 líneas. (Figura 1).

La distancia del punto de intersección del alefriz de la roda con la altura de los delgados hasta la varenga maestra es de 48 pies 4 pulgadas 4 líneas x 5/12 o sea 20 pies 1 pulgada 9 líneas. (Figura 1)

La distancia entre el extremo de la quilla y el punto de encuentro de la vagra del fondo y el alefriz de la roda es de 3 pies 1 pulgada 6 líneas. La diferencia entre estas dos dimensiones da una longitud de 17 pies 3 líneas que, sobre el plano, separa el extremo de la quilla y la varenga maestra.

Se puede observar la precisión del dibujo y sobre todo la de la curvatura de la roda que, por comparación a las cifras reales, no presenta más que una desviación de de 3 líneas sobre una longitud de más de 48 pies. Esta precisión confirma la división en 12 partes iguales de la distancia entre los extremos de los delgados de proa y popa.

Esta forma de repartir las cuadernas de armar dividiendo esta longitud se encuentra en el plano del *Laurier* construido por Masson en 1691 y también en el proyecto del *Gaillard*. (Fig. 2 y 3). En el *Fulminant*, esta longitud no está dividida en 12 sino en 20. (Fig. 4)

Una vez determinada con exactitud la posición de las cuadernas de armar de La Belle, conviene definir los contornos; éstos salen del gálibo de la cuaderna maestra que desempeña un papel fundamental en el establecimiento de los volúmenes de la carena. Una de las primeras tareas del maestro carpintero es trazar la forma, una forma destinada a dar al barco las cualidades náuticas buscadas y, sobre todo, una forma cuya superficie sea apropiada para dar a la carena las capacidades requeridas.

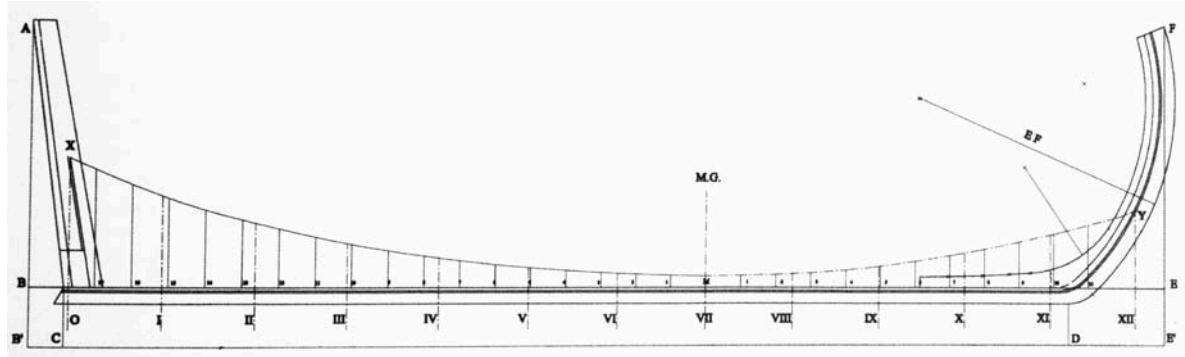


Fig. 1: El dibujo se ha realizado basándose en el trazado de los arqueólogos. Este trazado, puesto a escala 1/24, ha sido calcado escrupulosamente respetando el inicio de la roda y del codaste así como el posicionamiento de las cuadernas.

Los lanzamientos de roda y codaste han sido representados en ambos extremos de la quilla y en sus límites se han trazado las perpendiculares correspondientes a la altura de ambos. Los alefrices han sido dibujados de acuerdo con los usos de la época. Sobre los alefrices de la roda y del codaste se han marcado las alturas de los delgados que determinan en cada extremo del buque, el punto de llegada de la vagra del fondo. En las construcciones de Masson, la distancia horizontal que separa estos 2 puntos x e y está dividida en 12 partes.

Masson colocaba la varenga maestra en la 7^a parte; así ésta se encuentra alejada 17 pies del extremo de la quilla.

Realizaciones de Pierre MASSON

<u>1er RANGO</u>			
1691	FULMINANT	98 cañones	1800 T. Rochefort
1694	FIER	90 cañones con H. Mallet	1750 T. Rochefort
<u>2º RANGO</u>			
1690	AIMABLE	70 cañones	1200 T. Rochefort
1690	LAURIER	64 cañones	900 T. Bayona
1691	SIRENE	64 cañones	985 T. Bayona
1693	FORT	70 cañones	1200 T. Rochefort
1700	FERME	70 cañones con H. Mallet	1300 T. Rochefort
1707	POMPEUX	72 cañones inacabado	1400 T. Rochefort
1722	ST-PHILIPPE	74 cañones acabado por B. Ollivier	1500 T. Rochefort
1723	ST-LOUIS	64 cañones acabado por J.B. Ollivier	1000 T. Rochefort

		<u>4º RANGO</u>		
1696	AMPHITRITE	44 cañones	550 T.	Rochefort
		<u>5º RANGO</u>		
1683	BADINE	32 cañones	350 T.	Rochefort
1683	GAILLARDE	36 cañones	350 T.	Rochefort
		<u>FRAGATAS LIGERAS</u>		
1704	ANDROMEDE	12 cañones	120 T.	Rochefort
1704	SIBYLLE	12 cañones	120 T.	Rochefort
		<u>URCAS</u>		
1693	CHARENTE	34 cañones con Morineau padre	600 T.	Rochefort
1696	GIRONDE	42 cañones	600 T.	Rochefort
1698	SEINE	46 cañones	640 T.	Rochefort
1707	ATLAS	48 cañones	650 T.	Rochefort
		<u>"BARQUES LONGUES"</u>		
1684	BELLE	6 cañones	50 T.	Rochefort
1691	UTILE	8 cañones	80 T.	Bayona
1702	AGATHE	8 cañones	78 T.	Rochefort
1708	ETOILE	8 cañones	78 T.	Rochefort

De esta larga lista de embarcaciones no nos ha llegado más que el plano completo del *Laurier* y la proyección transversal de formas del *Fulminant*.

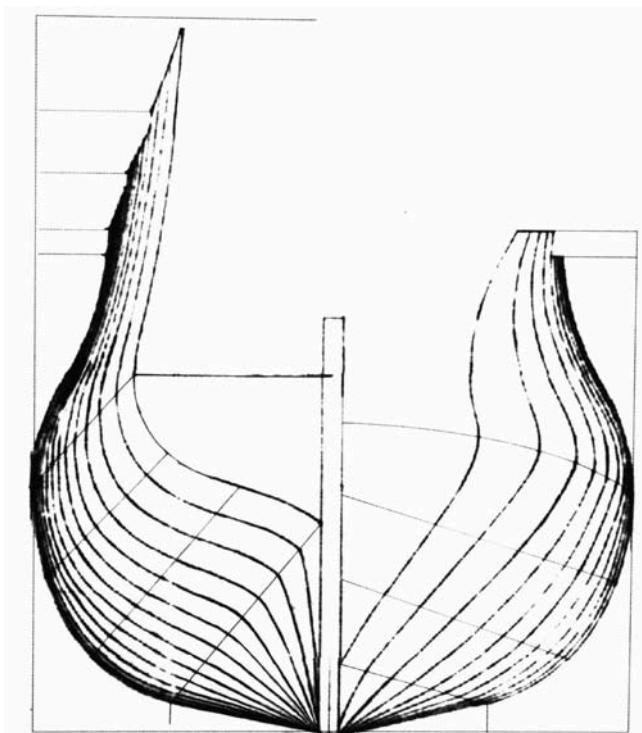


Fig. 2: Esta sección transversal está sacada de un plano en el que figuran las tres vistas del Laurier. En la sección original no figura ninguna vagra; éstas se han añadido siguiendo escrupulosamente los puntos que se revelan de forma regular sobre cada una de las cuadernas en los lugares ordinarios; se aprecia que solamente la vagra del fuerte de proa presenta una curvatura contrariamente a las otras que son rectilíneas. Se aprecia también que la sección muestra 10 cuadernas a proa de la cuaderna maestra y 14 cuadernas a

popa de la cuaderna maestra comprendiendo a ésta; estas 24 secciones están repartidas a iguales distancias sobre la longitud en línea recta de la línea de fondo. Se halla así una división en 12 partes, estando colocada la varenga maestra a 7/12 de la distancia que separa la altura de los delgados de proa y de popa.

Biblioteca del Musée de la Marine – Documento signatura PH. 177.163

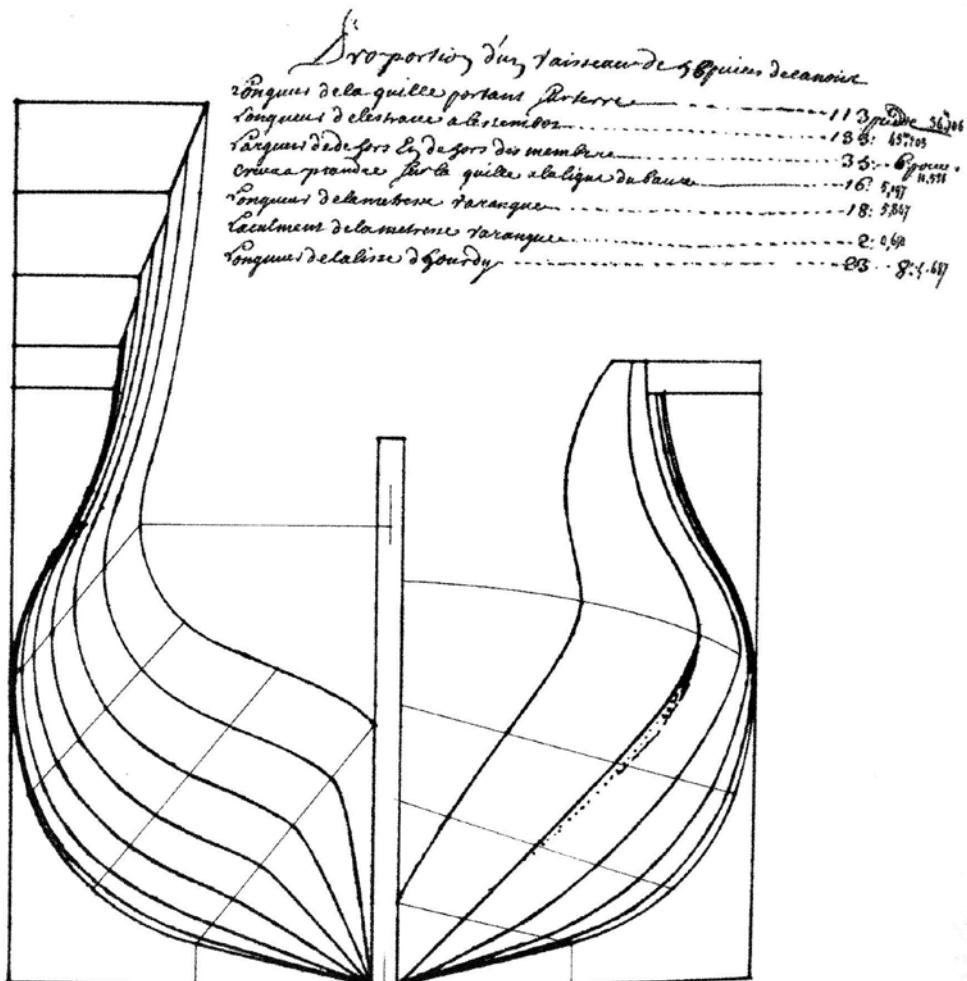


Fig. 3: Este proyecto del **Gaillard** representa un documento de 1692 procedente de Bayona. Se trata de una sección transversal de formas de un navío de 58 cañones con 133 pies de eslora.

Este transversal no está firmado pero acompaña al plano de la popa de un navío de 68 cañones construido el mismo año; este plano de popa fue trazado con objeto de dibujar la decoración. Este navío de 68 cañones era, según todas las apariencias, el **Bizarre** de 1.100 toneladas construido por Félix Arnaud. Arnaud sucedió a Pierre Masson para dirigir las construcciones en Bayona. Masson había construido el año anterior el **Laurier** y la **Sirène** de 900 toneladas y 64 cañones.

En 1692, Arnaud, además del **Bizarre**, construyó el **Mignon** y el **Pelican** de 500 toneladas y 50 cañones.

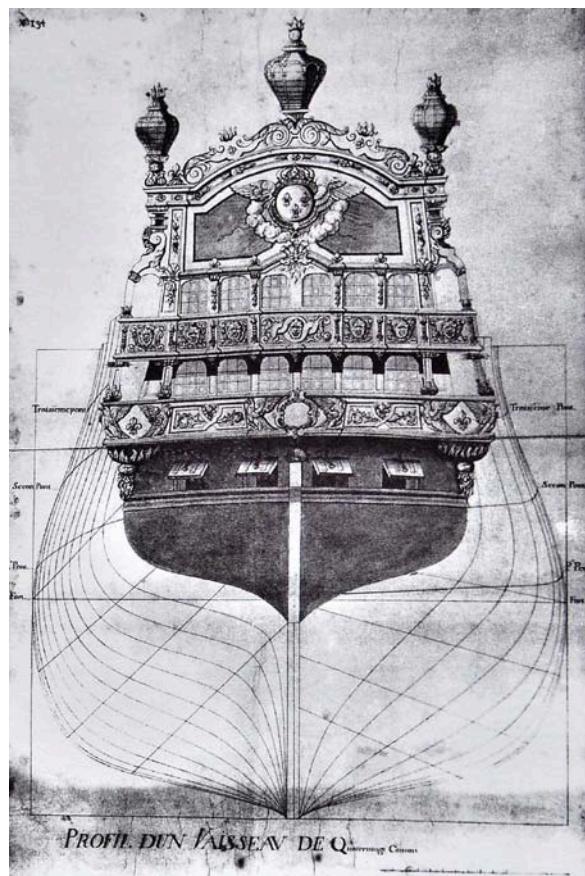
El plano transversal que acompaña al plano de la popa del **Bizarre** corresponde lógicamente al **Gaillard** de 54 cañones construido al año siguiente. Las dimensiones del

Gaillard no corresponden a las que figuran en el plano transversal citado pero se aproximan mucho. Se puede suponer que fueron corregidas en el momento de establecer la memoria de construcción después de haber presentado el proyecto. El interés de esta sección transversal reside en la perfecta similitud de formas del buque proyectado con las del **Laurier**. Esta similitud se debe al hecho de que Félix Arnaud trabajó bajo la dirección de Masson dado que Bayona dependía directamente de Rochefort. Arnaud adoptó los mismos procedimientos que Masson para concebir sus propios barcos lo que permite, en el marco de este estudio, asimilar las realizaciones de Félix Arnaud con las de Masson.

En comparación con el **Laurier**, la varenga maestra es ligeramente más corta. Se encuentra un genol de gran curvatura que se eleva, como en el **Laurier**, muy alto hasta el fuerte. El recogimiento es prácticamente similar. En la sección transversal original no figuran las vagras que han sido dibujadas por necesidades del estudio. Su posición, que respeta los usos de la época, ha sido facilitada por la presencia de puntos sobre las cuadernas que jalonan su trazado.

Las cuadernas están repartidas de forma equidistante sobre la distancia que separa los puntos de llegada de la vagra del fondo sobre la roda y el codaste. Como en el **Laurier**, esta distancia se ha dividido en 12 partes. Se cuentan 5 a proa de la cuaderna maestra y 6 a popa, lo que corresponde al reparto de las cuadernas de armar del **Laurier**. El trazado de las cuadernas a popa presenta formas muy acusadas a la altura de la vagra del fondo como en el **Laurier**. A proa las cuadernas bajo la vagra del fuerte se distinguen por una pendiente similar.

Biblioteca del Musée de la Marine – Documento signatura PH 177.165



*Fig. 4: Esta sección transversal es del **Fulminant** de 80 cañones. Contrariamente al documento referente al **Laurier**, este plano superpone la decoración de la popa al trazado de las cuadernas. Aunque el recogimiento es más rectilíneo que en el **Laurier**, a causa sobre todo de un tercer puente que aumenta su altura, y aunque la varenga maestra sea sensiblemente más larga, el parentesco conceptual se muestra innegable en la forma de disminuir las formas de proa y popa.*

*En efecto, las cuadernas de popa presentan formas muy parecidas a las del **Laurier** especialmente a la altura de la vagra del fondo. Del mismo modo las cuadernas de proa presentan una pendiente que se parece mucho.*

Las aletas sin embargo son mucho más planas con el fin de aumentar los volúmenes bajo la popa.

*Se observará que, a diferencia del **Laurier**, la vagra del fuerte en la proa es rectilínea. Se observará también que la distribución de las cuadernas es distinta que la del **Laurier**. 7 cuadernas determinan las formas de proa en tanto que otras 12 cuadernas trazan las de popa, incluida la cuaderna maestra. No está representada la primera cuaderna de proa situada en el punto de encuentro con la vagra del fondo. Esta cuaderna que falta fija el número total de secciones en 20 y no en 19. Siguiendo esta distribución, el gálibo maestro se encuentra adelantado hacia proa al 64,29 % de la longitud de la quilla.*

*A pesar de estas diferencias, estas cuadernas se reparten sobre la distancia que separa las alturas de los delgados de proa y popa, como en el **Laurier**, y no sobre la longitud de la quilla.*

*Esta particularidad, del mismo modo que la forma de construir la cuaderna maestra, se encuentra en el **Laurier** y en el proyecto del **Gallard**. Esta analogía es la que ha llevado a que este documento sea asociado a los otros.*

Biblioteca del Musée de la Marine – Documento signatura PH 11043

Trazado del gálibo maestro

El gálibo se descompone en 4 partes:

La primera se refiere a la varenga que traza, con la segunda parte muy redondeada que es el genol, el fondo del barco.

La tercera parte prolonga el genol y determina la ligazón que llega al fuerte o a la manga máxima del gálibo.²

La cuarta parte forma el recogimiento que sigue una curvatura en sentido contrario que se adapta a los reveses en la prolongación de las ligazones.

² La forma del gálibo de la obra viva circunscribe un trapecio cuya base menor es igual a la longitud del plan de la varenga maestra, la base mayor igual a la manga máxima del barco y la altura a la del fuerte desde el canto superior de la quilla.

El método de trazado probablemente utilizado por Masson consiste, descomponiendo el dibujo en las cuatro partes descritas, en enlazar armoniosamente secciones de circunferencia entre ellas como prolongación del plan de la varenga.³

Los arcos que forman estas porciones de círculo son más o menos tensos según la importancia del volumen que se quiere dar a la carena, los radios largos tensan mucho más los arcos que los pequeños radios. La posición de los centros es función de estas longitudes y función de los puntos de unión que deben encontrarse obligatoriamente sobre la línea recta que pasa por estos puntos a fin de que los arcos se toquen sin cortarse.

El examen de los gálibos maestros de los barcos construidos por Pierre Masson muestra una forma muy personal de dimensionar y empalmar estas porciones de círculo.

Sea cual sea la forma de trazar el gálibo maestro, la primera operación consiste en configurar la varenga maestra.

La de *La Belle*, observada en el pecio, presenta una sección próxima a 17,5 cm de altura y 12 cm de anchura en su centro en el punto A. Esta sección en pulgadas corresponde a +/- 6 pulgadas 5 líneas sobre 4 pulgadas 5 líneas.

La altura de la varenga se reduce a 4 pulgadas 5 líneas en su extremo, en el punto G, que se curva hacia arriba y que presenta una sección cuadrada. La cara superior es prácticamente horizontal, en tanto que la cara inferior se levanta hacia el extremo curvado a causa de la reducción de altura. (Fig. 5)

Su longitud, determinada por los arqueólogos, es de 148 cm a cada lado del eje central, extremo curvado incluido, o sea 296 cm. Esta dimensión corresponde sensiblemente con la de la memoria de construcción de 1684. La elevación en su extremo curvo es de 16,2 cm aproximadamente, es decir 6 pulgadas. Este extremo curvo comienza a los 4/5 de la longitud del plan.

Hay que observar que 4/5 de los 9 pies 1 pulgada 4 líneas de la longitud del plan, equivalen a 7 pies 3 pulgadas 5 líneas; esta dimensión corresponde a la mitad de la manga que es de 14 pies. (Fig. 6)

La varenga maestra de *La Belle* está por tanto configurada como si la parte rectilínea del plan estuviese dimensionada según la semimanga en el fuerte del gálibo maestro, como manda la norma, con una simple elevación en el extremo de esta parte rectilínea inferior a 6 pulgadas, sin talón, y el genol comenzando solamente más allá del extremo del plan, excepto el hecho de que la vagra del fondo no pasa por el extremo de la parte rectilínea del plan sino más allá, en el extremo del inicio del genol.⁴

³ Este método, probablemente antiguo, es objeto de un amplio comentario de Blaise Ollivier en su tratado en forma de diccionario. (SHM 310)

⁴ Esta particularidad es mencionada por Blaise Ollivier en sus comentarios sobre la configuración de la varenga maestra. En su informe, redactado en forma de diccionario y conservado en el servicio histórico de la Marine bajo la signatura SHM 310, describe estas dos formas de proceder donde el punto de paso de la vagra del fondo se sitúa antes o después del inicio de la curvatura del genol. La configuración de la varenga de *La Belle* no tiene por tanto nada de anormal.

Blaise Ollivier, considerado un innovador, se reveló como uno de los mejores constructores de su época. El reconocimiento de su talento le valió ser nombrado jefe de la "Direction générale des

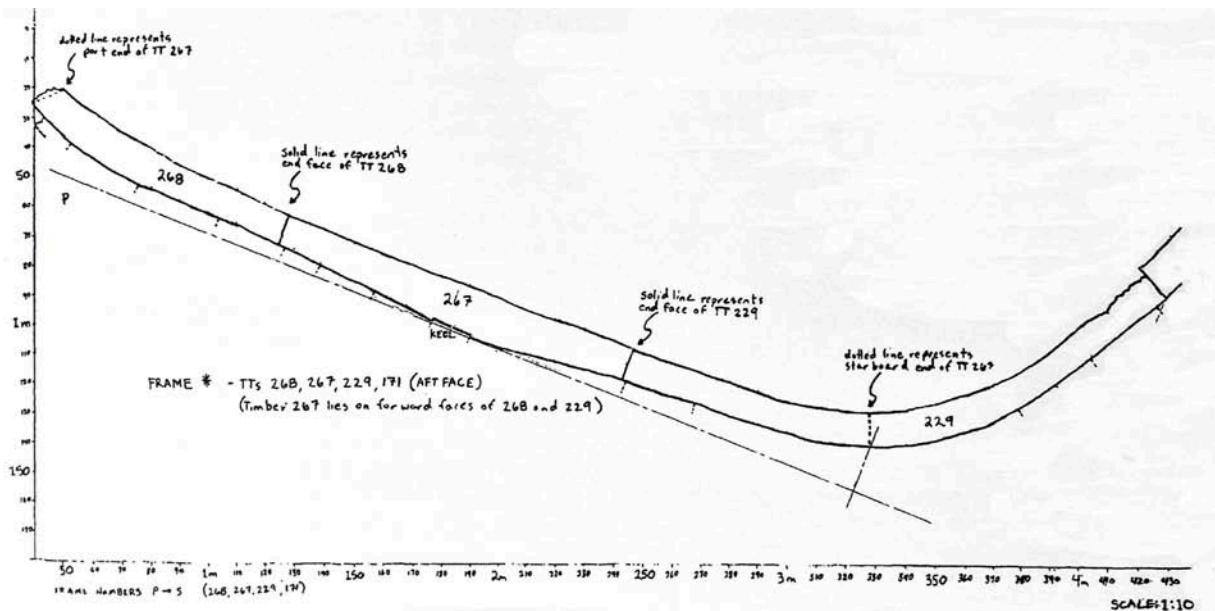


Fig. 5: Trazado de la varenga maestra realizado por los arqueólogos. Esta posición oblicua del trazado por comparación a las escalas dispuestas en abcisas y ordenadas puede que no sea la mejor. Sin embargo este trazado nos aporta una representación indiscutible de la varenga maestra de La Belle. En este levantamiento, aparecen los extremos de la varenga y también el pie y la cabeza del genol que llevan los nº 268 y 229.

14 dibujos parecidos, referentes a las varengas y piques de proa y popa, han permitido de golpe una restitución fiel de los fondos de La Belle.

Las varengas maestras del *Laurier*, el *Fulminant* y del proyecto *Gaillard* están configuradas de la misma forma con la diferencia de que la vagra del fondo está emplazada en el extremo de la parte rectilínea del plan y no en la punta o comienzo del genol.

Sin que esto tenga consecuencias sobre la forma de trazar el gálibo, la posición de la vagra del fondo sobre la varenga maestra de *La Belle* resulta pues un poco excepcional. Las razones de esto no son evidentes. Está claro que el retraso de la vagra del fondo más allá del comienzo del genol aumenta la anchura de los fondos en tanto que la curvatura de los genoles iniciada antes del paso de esta vagra favorece el estrechamiento de los fondos a medida que las varengas se alejan de la varenga maestra.

Estando configurada la varenga maestra y la curvatura del comienzo del genol, parece fácil unir éste con el punto que materializa la línea del fuerte sobre el gálibo. Este punto está determinado en la memoria de construcción que fija el fuerte en el centro a una altura de 6

Travaux du port de Brest" en 1739 y después recibir en 1742 la cruz de Caballero de la Orden de San Luis.

La muerte le sorprenderá en Brest en 1746. Tenía entonces 45 años. Dejaba tras de sí varios manuscritos concernientes a la construcción naval, entre los cuales el manuscrito SHM 310 y una memoria sobre las marinas inglesa y holandesa redactada con ocasión de una misión en 1737. Estos dos preciosos documentos acompañados de la descripción del navío de tercer rango *Le Fleuron* (MS 273) han sido impresos y editados por la editorial OMEGA.

pies 3 pulgada respecto a la cara superior de la quilla; el fuerte está alejado de el eje central la semimanga del gálibo maestro, es decir 7 pies. (Fig. 7)

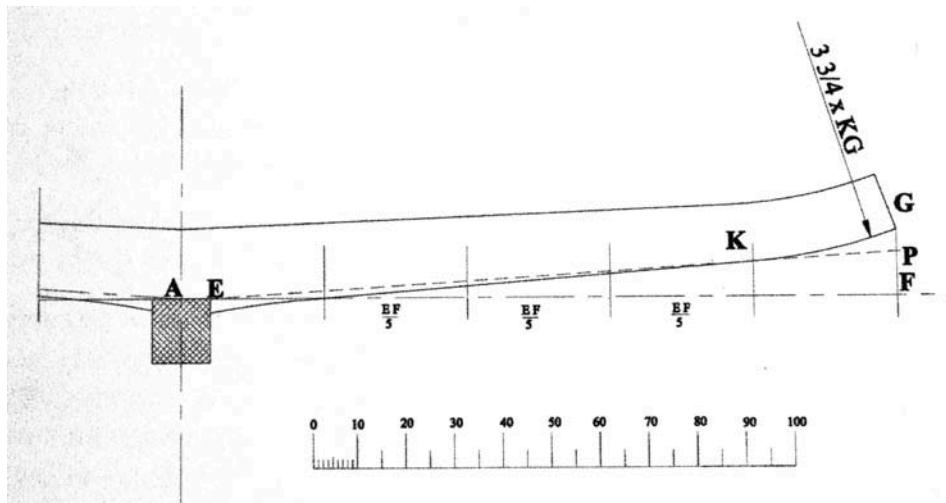


Fig. 6: Restitución de la varenga maestra siguiendo el trazado proporcionado por los arqueólogos.

En esta restitución, el punto P está elevado a los $5/8$ de la altura $G F$ que es la de la astilla muerta. La posición del punto P está, según Ollivier, de acuerdo con las prácticas habituales. La diferencia de altura entre los puntos K y G , determina una curvatura que anuncia el genol. El radio constatado en el pecio corresponde a $3 \frac{3}{4}$ de la distancia KG .

Sin embargo, cuando sea trazado el genol al encuentro de la ligazón, la longitud de este radio se determinará teniendo en cuenta el punto de encuentro con el arco de la ligazón.

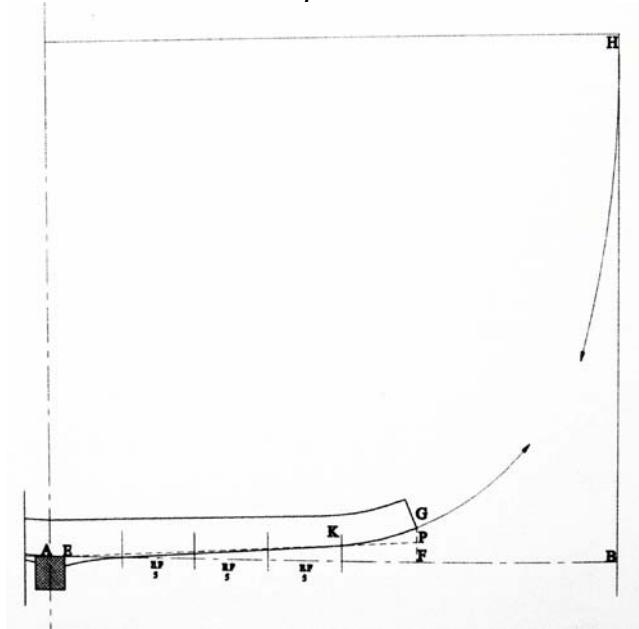


Fig. 7: Conociendo las posiciones de los puntos H y G , así como la curvatura del genol, iniciado sobre el extremo del plan de la varenga maestra, parece fácil reunir estos dos puntos con dos arcos de radios apropiados. El problema consiste en determinar el punto de encuentro de estos dos arcos. Masson determinaba este punto de una forma muy personal.

En los gálibos del *Laurier* y del *Fulminant*, Masson recurre a un procedimiento particular que se verifica en el gálibo del proyecto del *Gaillard* y que consiste en construir un cuadrado en el extremo del plan de la varenga en el lugar donde pasa la vagra del fondo.

El lado de este cuadrado equivale a la semimanga AB del gálibo, del cual se resta la semilongitud de la varenga AF. (Fig. 8, 9, 10)

El radio del arco de la ligazón se lleva sobre la horizontal que pasa por el fuerte H. La longitud de ese radio corresponde a la longitud total de la varenga FF', sin tener en cuenta la longitud de la quilla EE'. Partiendo del punto H, situado en el fuerte y donde es tangente a la vertical, y descendiendo al encuentro del genol, el arco de la ligazón corta el costado superior del cuadrado en un punto. Es precisamente en este punto donde los dos arcos deben unirse.

Ahora falta trazar el arco del genol. Para obtener una unión perfecta con el extremo de la varenga y el arco de la ligazón, el centro del arco debe encontrarse en el punto donde se cortan la perpendicular elevada sobre el plan de la varenga en su extremo y el radio de arco de la ligazón uniendo su centro al punto de su intersección con el borde superior del cuadrado. La longitud del radio así determinado representa, siguiendo las proporciones del gálibo, del 83% al 86% de la longitud de la diagonal del cuadrado BB'.

Sin embargo tal precisión de enlace no se alcanza realmente. El 83% de la diagonal BB' da una curvatura demasiado pronunciada. El 100% de la diagonal da un arco más fiel al contorno original pero los arcos se cortan imperceptiblemente.

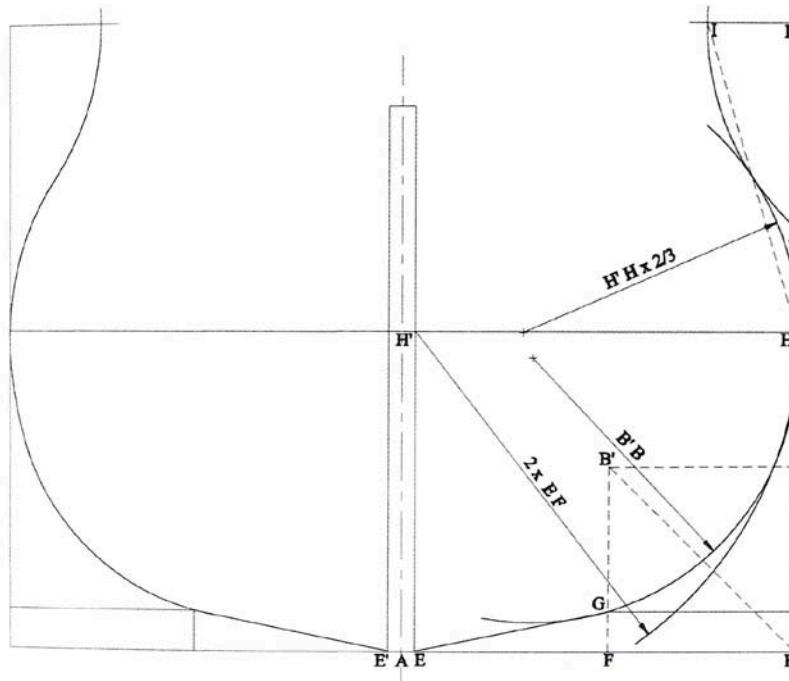
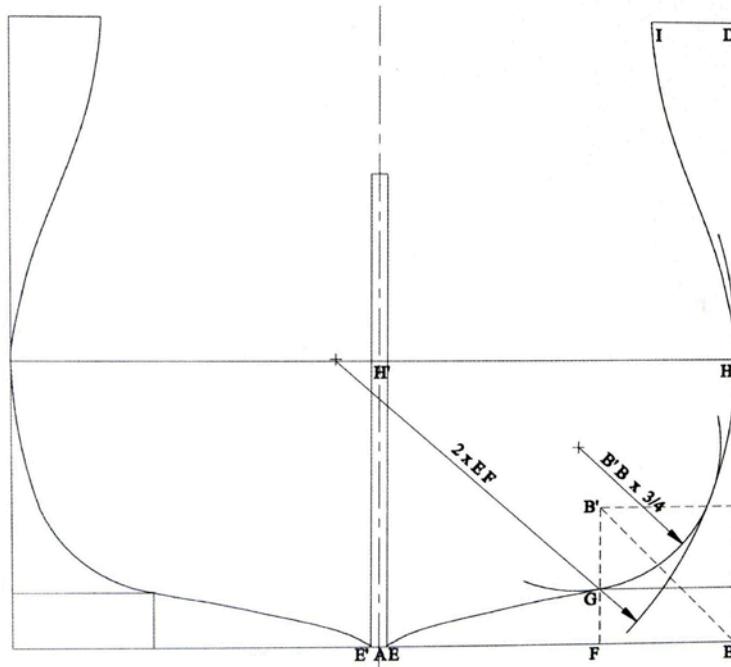


Fig. 8: Construcción del gálibo maestro del *Laurier* calcado sobre el plano transversal original. Aunque con un porte de 900 toneladas según los documentos de marina, el arqueo calculado no corresponde más que a una carga máxima de de 700 toneladas. Se advierte la importancia de la astilla muerta o alzado de la varenga maestra lo que es una constante en los barcos construidos por él.



*Fig. 9: El alzado o levantamiento de 3 pies 2 pulgadas 6 líneas dado a la varenga maestra del **Fulminant**, de 80 cañones, es sorprendente para un navío de esta importancia a pesar del hecho de que la longitud del plan equivale a los 2/3 de la manga del gálibo maestro. Con unas proporciones claramente diferentes de las del *Laurier*, se construyó de una manera prácticamente idéntica.*

Por el contrario, el arco del genol del *Fulminant* exige un radio más corto para que los trazados se superpongan, pero sin obtener una unión perfecta.

Trasponiéndolo al gálibo maestro de *La Belle*, el procedimiento no se aplica sin la adaptación de los parámetros a causa de su desproporción.

La construcción del cuadrado se efectúa de la misma manera en la cabeza de la varenga, allí donde pasa la vagra del fondo. En el extremo del plan, más acá del inicio del genol, se eleva la perpendicular sobre la que se llevará el centro del arco del genol, a una distancia que corresponde precisamente a la diagonal BB'. (Fig. 11)

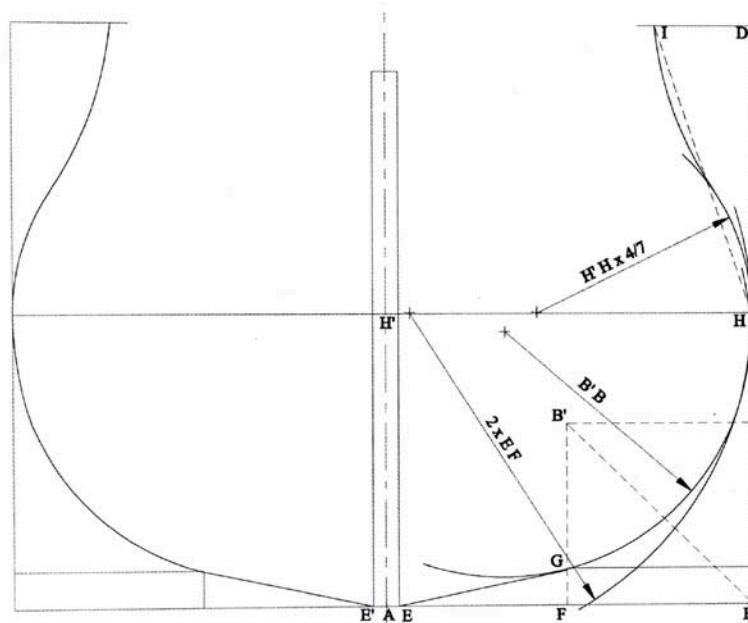
Se observa que el arco del genol se superpone exactamente a su inicio comprobado sobre el pecio, confirmando así la validez del procedimiento tomado de Masson.

El arco del genol corta el lado superior del cuadrado determinando el punto de unión con el arco de la ligazón.

La longitud total de la varenga, inicio del genol comprendido, da un radio demasiado corto. Sea que el centro no se encuentra en la horizontal que pasa por H y el arco no es tangente a la vertical, sea que el arco es tangente a esta vertical y entra exageradamente en el interior del gálibo pasando francamente al lado del arco del genol.

Para obtener una unión tangencial al fuerte en H y la unión con el arco del genol, el radio del arco debe ser tomado sobre la manga total del gálibo. La unión con el genol sigue

siendo imperfecta, esta imperfección es imperceptible y nos conduce a los ejemplos encontrado en los otros gálibos de Masson y Arnaud.



*Fig. 10: El gálibo maestro del proyecto del **Gaillard** se construyó de forma absolutamente idéntica a la del **Laurier**.*

*Es cierto que la eslora de este navío proyectado está a 3 pies de ser igual a la del **Laurier**. Su arqueo corresponde a un volumen de 1.122 toneladas. El **Laurier** y el proyecto del **Gaillard** son prácticamente de la misma importancia, de ahí la perfecta correspondencia entre sus gálibos maestros.*

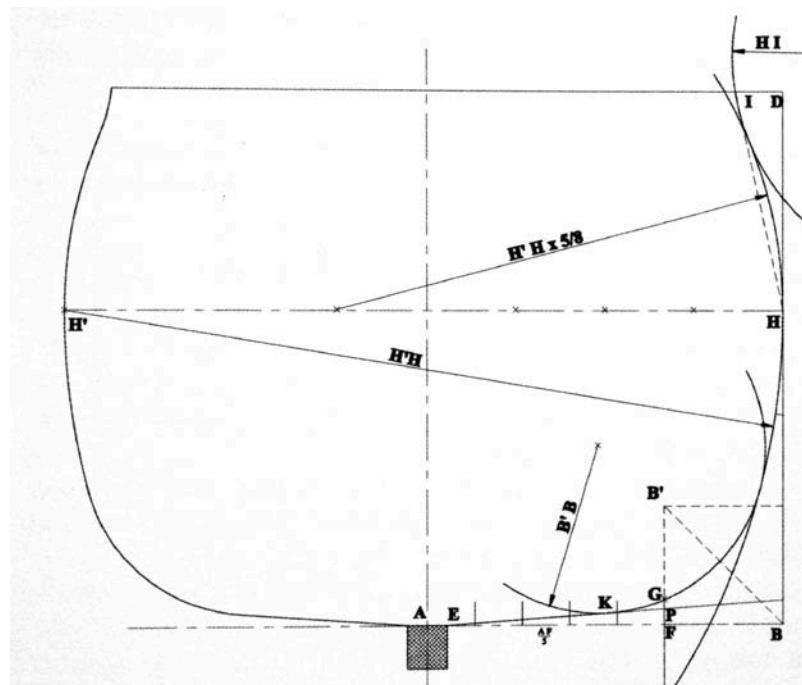


Fig. 11: Construcción del gálibo maestro de La Belle según el procedimiento tomado de Masson para la parte sumergida y del yacht de Rochefort extraído del tratado de Morineau para la parte emergida.

Teniendo en cuenta la exacta superposición del trazado de la varenga y el genol con el diseño del pecio y de la similitud con los otros gálibos de Masson y Arnaud, la forma del gálibo maestro de *La Belle* difícilmente podría estar más próxima a la realidad.⁵

La referencia a los gálibos de Masson, aunque se trata de barcos muy diferentes de *La Belle*, ha resultado ser el único medio capaz de dar los resultados obtenidos **con todo conocimiento de causa**.

Estando definido el gálibo de la parte sumergida hace falta completar el de la parte emergida.

Este gálibo está formado, en principio, por una curva entrante seguida de una contracurva. La curva entrante prolonga la ligazón tangencialmente a la vertical pasando por el fuerte en H. La configuración de estas dos curvas contribuye a estrechar el gálibo maestro al nivel de la borda.

El estrechamiento a la altura de la borda es, siguiendo la memoria de construcción, de 12 pulgadas o sea 1 pie. Es netamente inferior a las de los navíos que pueden llegar a tener el cuarto de la manga lo que en este caso serían 3 pies.⁶ (2)

Por el contrario, no está indicada la altura de la borda; ha sido determinada sumando a partir del puente la altura del batiporte, la de la porta y la de la baranda.

Esta suma se traduce en una altura de 37 pulgadas a la que se añade 1 pulgada 9 líneas de tablazón y 15 pulgadas que hacen la diferencia entre el puntal en línea de bao y el fuerte situado normalmente en la línea de flotación. El total da 53 pulgadas 9 líneas de altura para la parte emergida del gálibo o sea 4 pies 5 pulgadas 9 líneas.

Conociendo el punto donde termina el recogimiento, es obligado unir éste al fuerte en H por un segmento de recta útil para la construcción del gálibo. El trazado de este gálibo no cuenta con ninguna referencia de dimensiones. No se puede tomar ejemplo de los gálibos de Masson que corresponden a barcos cuyos recogimientos son netamente más pronunciados. Ahora bien, la tendencia que tienen los barcos pequeños a embarcar agua cuando escoran mucho ha incitado a los maestros carpinteros a dar muy poca redondez a la curva entrante. En las chatas de Rochefort incluso no existe curva a contra sentido, la curva entrante muy tendida sube hasta la borda.

⁵ Ha parecido conveniente comparar el trazado obtenido por el procedimiento utilizado por Masson con los obtenidos por otros medios y especialmente por los que describe Ollivier en su tratado SHM 310. Esta comparación ha dado lugar a bastantes reflexiones y enseñanzas que merecerían ser comentadas.

⁶ Blaise Ollivier y Duhamel de Monceau se cuentan entre los escasos autores que dan los valores para estos recogimientos. Los que cita Ollivier son de 3 pulgadas a 3 pulgadas 4 líneas por cada pie de manga para los navíos de 1er rango y de 2 pulgadas 6 líneas a 3 pulgadas para los demás navíos y fragatas. Según Duhamel de Monceau, el recogimiento de los navíos de tres puentes debe ser de 6 pies, el de los navíos de 74 cañones de 5 a 4 ½ pies, de 4 ½ a 4 pies para los navíos de 64 cañones y de 4 a 3 ½ pies para los navíos de 50 cañones, en tanto que para las fragatas este recogimiento se reduce a 3 pies. Ni Blaise Ollivier, ni Duhamel de Monceau indican valores para los barcos pequeños de la dimensión de *La Belle*.

La Belle habría podido presentar un recogimiento idéntico. Sin embargo, a causa de los volúmenes de carena buscados para darle una cierta gracia y finura, a causa también de la presencia de un alcázar a popa y un castillo a proa, que exigen un cierto revés de gálibo, se ha decidido prolongar la curva entrante con un pequeña curva a contra sentido.

El trazado del recogimiento se opera describiendo un arco de círculo entrante tangente a la vertical que pasa por el fuerte y cuyo radio corresponde a 5/8 de la manga del gálibo. El arco de revés se describe de forma tal que sea tangente a la vez al segmento de recta de construcción y al arco entrante. (Fig. 11)

De esta forma se obtiene un recogimiento poco acusado, muy redondo, que termina con una ligera contra curva que se puede comparar a la de los "yachts" de Rochefort y que remata los altos de *La Belle* de una forma elegante como conviene a este tipo de barco. (Fig. 12)

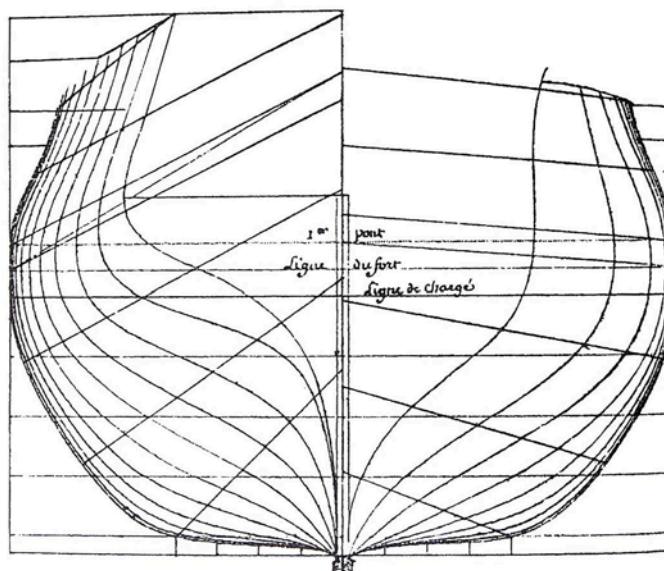


Fig. 12: Plano transversal de un "yacht" de 66 pies de eslora extraído del manuscrito de Morineau. La contracurva del recogimiento es poco pronunciada. Se puede comparar a la de una "barque longue". Común a los pequeños barcos, apoya el trazado del recogimiento dado a *La Belle*.

Definición de la carena

Una vez establecidas las formas del gálibo maestro, interesa extenderlas a los extremos de la carena reduciéndolas armoniosamente y apretándolas para facilitar la división de los hilos de agua contra la proa y la popa para dar al timón la máxima eficacia.

La elaboración de la carena debe responder a dos exigencias: conseguir el volumen previsto y que éste quede repartido a partes iguales entre proa y popa de forma que el barco esté naturalmente equilibrado y asentado en sus líneas.

El volumen de carena de *La Belle* debe asegurarle, según los documentos de la época, un arqueo de 50 toneladas. La carga máxima corresponde aproximadamente a la mitad del

peso del barco completamente equipado y cargado, el volumen de la carena debe ser igual al volumen de 100 toneladas de agua de mar o sea 2.800 pies cúbicos.⁷

El centro de carena, que corresponde de alguna manera al centro de gravedad del volumen de agua desplazado, debe situarse tan cerca como sea posible de la mitad de la eslora de la roda al codaste que es de 51 pies.

Estos son los datos del problema que se le presentó a Masson en 1684. Estos son los datos del problema que se nos presenta hoy en día en el marco de la restitución de la carena que se quiere que sea lo más fiel posible sabiendo que el calado a popa es, según las informaciones de la época, de 7 pies 6 pulgadas y que la línea de flotación pasa por el fuerte en el centro, se deduce que el calado a proa es de 6 pies.

Teniendo en cuenta el plano transversal de las formas de la urca le *Profond*, construida el mismo año que *La Belle* y cuyo trazado ha sido obtenido por proyección de vagras, Masson ha debido recurrir al mismo procedimiento para concebir la carena.

Este procedimiento consiste en proyectar sobre el gálibo maestro el trazado de las 4 vagras de construcción que unen la roda y el codaste.

La vagra inferior, llamada “del fondo”, une la roda y codaste pasando por el extremo de la varenga maestra. El punto de unión con la roda y el codaste viene dado por la altura de los raseles.

La vagra superior, llamada “del fuerte”, enlaza tres puntos cuya altura en cifras viene dada en la memoria de construcción; la altura del fuerte a popa está situada en principio en el extremo del yugo principal. En el centro, sobre el gálibo maestro, se sitúa en la flotación; finalmente en la roda, su altura respecto a la línea de flotación es normalmente idéntica o muy ligeramente inferior a la del fuerte a popa.

En la memoria de *La Belle* se aprecia una altura del fuerte a proa anormal que sitúa a ésta por encima del extremo de la roda. Los ensayos de trazado respetando esta dimensión han resultado infructuosos y han conducido a despreciarla y a adaptarse a las prácticas habituales.

Sobre el plano transversal se trazan dos vagras intermedias, llamadas también “del medio”, a igual distancia de las vagras del fuerte y del fondo. Habitualmente estas cuatro vagras son rectilíneas. Su división, progresivamente desigual, proyectada sobre el plano horizontal y el plano longitudinal le dará la trayectoria curva buscada.

Sin embargo, contrariamente a los hábitos, la vagra del fuerte en los planos verticales de Masson está igualmente curvada.

Esta curvatura implica ineludiblemente un trazado previo de esta vagra sobre los planos de elevación y esquemático.⁸

⁷ El peso de la tonelada corresponde al de 28 pies cúbicos de agua de mar, pesando cada uno 27 libras. Por tanto, una tonelada equivale 2.016 libras de París de un peso aproximado de 489 gramos cada una.

Una tonelada equivalía por tanto a 0,985 toneladas métricas.

Sobre el plano de elevación esquemática el trazado de la curva, especialmente a proa, es mucho más complejo. Puede ser determinada de una sola pieza desde el gálibo maestro hasta la roda, después del gálibo maestro hasta el codaste, pero puede trazarse también en dos partes que tomen en cuenta la manga en los redeles determinados inicialmente.

El cambio brusco de la trayectoria, sin embargo regular, a una parte y otra de los redeles que aparecerá en el curso del análisis, indica que estas vagras están bien trazadas en dos partes tanto a proa como a popa.

En el plano vertical de formas de La Belle la posición de las vagras corresponderá a la que da Masson sobre los planos verticales de sus barcos.

La vagra del fuerte será proyectada siguiendo su doble curvatura. (Fig. 13)

La reducción progresiva de las cuadernas a partir del gálibo maestro hacia los extremos se obtiene dividiendo estas vagras en partes progresivamente desiguales. La correspondencia de estas divisiones de una vagra a otra da al trazado, de la borda a la quilla, curvas y contracurvas armoniosas. Esta armonía es imposible de obtener si las divisiones no respetan esta correspondencia.

Para facilitar la obtención de ésta, las divisiones de las vagras se establecen unas en función de otras en sistemas coherentes puestos a punto empíricamente.

El Prévost de la Magdelaine,⁹ en sus “Tablettes de Marine” destinadas a sus sobrinos, describe dos de estos métodos entre los más extendidos: el primero, que él denomina “Método por la convexidad de los arcos”, determina la abertura de los gálibos a la altura de cada vagra por medio de arcos de círculo más o menos tendidos. El segundo llamado “Método de los triángulos equiláteros reducidos por la progresión de los cuadrados” consiste en llevar sobre estos triángulos, divididos en haz polar,¹⁰ regletas cuya longitud corresponde a cada una de las vagras.

⁸ Igualmente la distancia entre los puntos donde llega la vagra del fondo sobre la roda y el codaste no puede ser obtenida más que por el trazado previo de la quilla, la roda y el codaste sobre el plano de elevación esquemática longitudinal.

⁹ Jean Boudriot, en la obra que ha consagrado a los navíos de 50 a 64 cañones, ha preparado un inventario de los métodos utilizados por los maestros carpinteros para concebir las formas de la carena de sus barcos. El Prévost de la Magdaleine encuentra un gran espacio como autor de una especie de tratado de arquitectura naval.

Los diferentes métodos que describe han sido objeto de comentarios por parte de Jean Boudriot. Las páginas referentes a los que utilizan la convexidad de los arcos y los triángulos equiláteros, de los que se trata en las líneas siguientes, han sido extraídas de esa obra y figuran como anexos al final del capítulo. El lector podrá acudir a ellas para una mejor comprensión.

¹⁰ El haz polar se establece de tal manera que cada valor elevado al cuadrado sea llevado sobre el triángulo partiendo cada vez del punto de origen. De esta manera, un haz polar compuesto de 10 segmentos de recta, que determinan 9 intervalos, forma un triángulo equilátero cuyo lado está compuesto solamente de 81 partes.

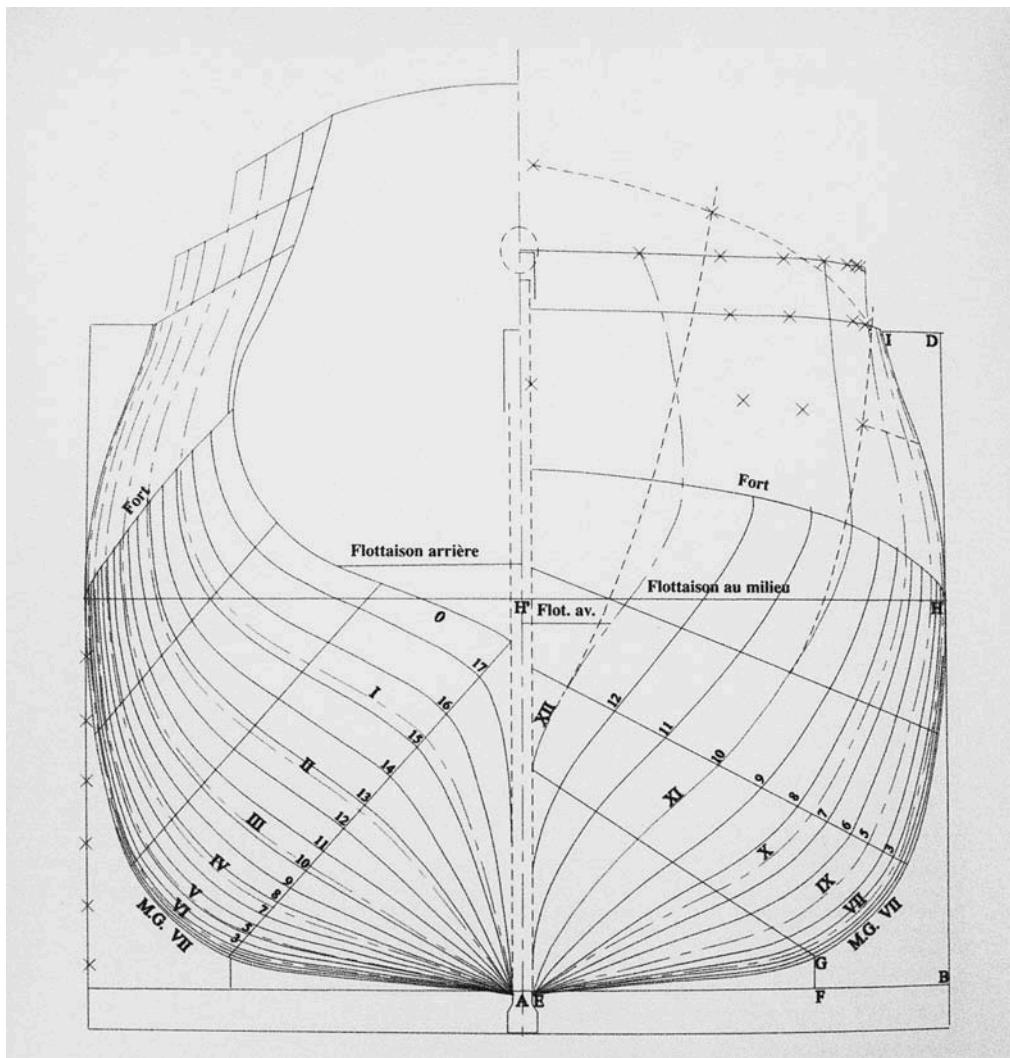


Fig. 13: Restitución transversal de las formas de La Belle que se apoya en las concepciones de Pierre Masson. Su presentación prematura tiene por objeto mostrar la disposición de las vagras proyectadas sobre la sección transversal según los datos de la memoria de construcción de 1684.

La parte que está por encima de la vagra del fuerte está sin terminar. Ha sido simplemente sugerida dejándose totalmente a discreción de Jean Boudriot quien la ha adaptado a las necesidades de su estudio de la distribución. Existen algunas diferencias entre esta propuesta y el plano definitivo que él ha realizado.

El trazado en líneas discontinuas toma en cuenta la posición del fuerte tal como está dada en la memoria de construcción. La vagra del fuerte se convierte entonces en esta línea curva en trazo discontinuo que arranca de encima de la roda y desciende hacia el punto H. Las cuadernas XI y XII se conectan fácilmente con la vagra pero ha resultado imposible obtener un trazado válido de la borda entre estas dos cuadernas y el gálibo maestro. En consecuencia, esta posibilidad ha sido abandonada y el fuerte sobre la roda ha sido colocado a una altura conforme con los usos.

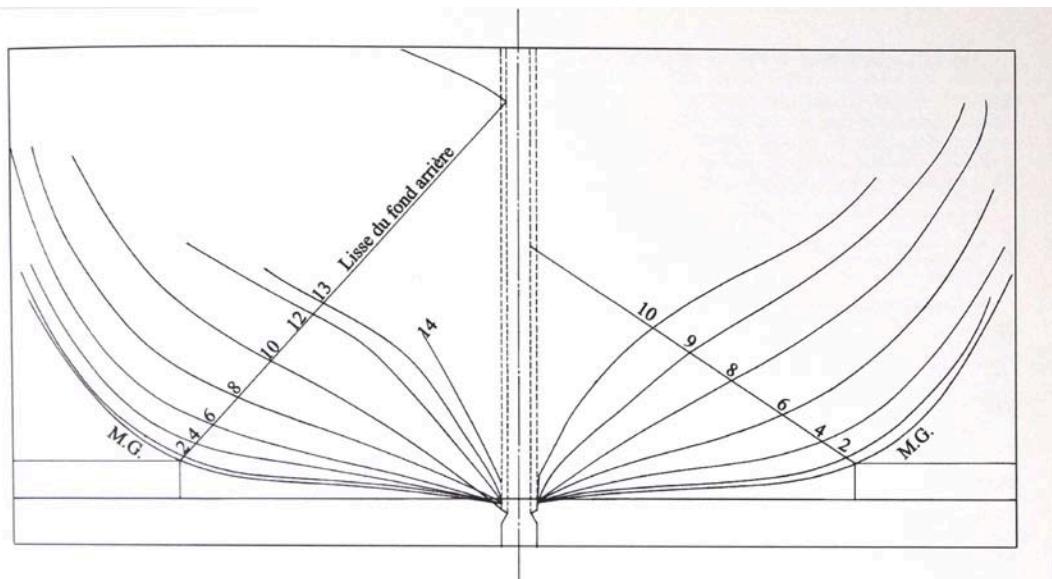


Fig. 14: Restitución parcial de la proyección transversal original de las formas de La Belle obtenida colocando sobre la quilla los perfiles de las cuadernas trazados por los arqueólogos. Se puede observar que la parte superior de las cuadernas está deformada hasta el punto de que su prolongación hacia arriba les llevaría a salir del cuadro correspondiente al gálibo maestro. Sin embargo esta deformación no se nota más que a partir de la vagra del fondo y va acentuándose excepto en las cuadernas de popa nº 12 y nº 13 que manifiestamente están deformadas en esta parte. La cuaderna 14, demasiado corta, no puede contribuir al trazado más que proporcionando el ángulo de partida del pique. El croquis de las separaciones entre cada cuaderna en la vagra del fondo y su adición en plano sobre el esquema objeto de la figura nº 14, da una curva armoniosa de la cual solamente se aparta la cuaderna nº 8 de proa. Por suerte, el punto de intersección de la cuaderna nº 12 de popa con la vagra es correcto a pesar de su deformación. Curiosamente la cuaderna se ha deformado como si este punto fijo hubiese servido de pivote. No solamente la curva obtenida gracias a esta restitución parcial permite conocer mediante análisis por qué procedimiento fue trazada originalmente sino que, igualmente, permite aproximaciones con las curvas tomadas de otras construcciones. También da la inclinación de las cuadernas en su nacimiento sobre la quilla, facilitando así la restitución completa del vertical de formas bajo la vagra del fuerte.

Cada intersección de estas regletas con los segmentos de este haz polar es objeto de una graduación.

La regleta puede posicionarse paralelamente al lado superior del triángulo situado éste con la punta para abajo. De esta forma la regleta puede inclinarse hacia un lado o hacia el otro. La inclinación de la regleta modifica los espacios de la graduación. Por consiguiente estas inclinaciones son interdependientes.

El método da para cada una de las vagras un ángulo referido al lado derecho del triángulo situado con la punta hacia abajo lo que permite el enlace armonioso entre las divisiones.

A continuación las regletas con sus graduaciones se llevan sobre la proyección transversal de las formas, dando la apertura de los gálibos sobre cada una de las vagras.

Los trazados obtenidos por la convexidad de los arcos se caracterizan por curvaturas constantes, excepto para las del fuerte y medias a proa, así como para las de la obra

muerta para las que la utilización conjugada de haces polares altera la curvatura suministrada por los arcos. Las curvas no son constantes pero sí progresivas.

La misma alteración se encuentra en las curvas producidas por el método que utiliza los triángulos equiláteros reducidos por la progresión de los cuadrados.

Masson no utiliza ninguno de estos dos métodos.

Sin embargo, su procedimiento está relacionado en parte con el segundo.

Este es el mismo procedimiento que ha utilizado para trazar la vagra del fondo de *La Belle*.

La restitución parcial de la proyección transversal de formas a partir de las piezas de cuadernas constatadas en el pecio y su planteamiento sobre la quilla ha aportado la confirmación.

A priori, este planteamiento sobre la quilla parecería aleatorio. Con el paso del tiempo y de ruina progresiva, *La Belle* se abrió como una corola, cuadernas, roda y codaste se doblaron bajo el peso de los puentes y de la carga.

Sin embargo, se ha comprobado que esta deformación no ha afectado prácticamente a la parte que reposaba sobre el suelo.

Catorce varengas, incluida la maestra, han sido colocadas de nuevo sobre la quilla en los emplazamientos previstos.

Sobre el plano transversal, así reconstruido en parte, se ha dispuesto la vagra del fondo conforme a la disposición que debía ocupar sobre la proyección transversal original. (Fig. 14)

La abertura de los gálibos ha sido determinada en cada punto de intersección de las cuadernas con la vagra.

Fig. 15 Lisse du fond de l'avant et de l'arrière

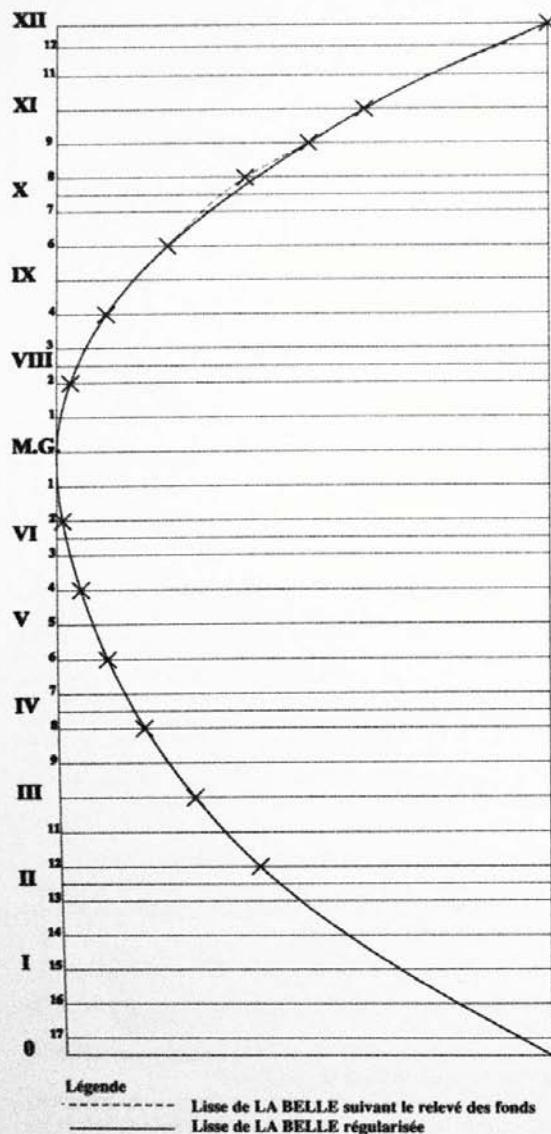
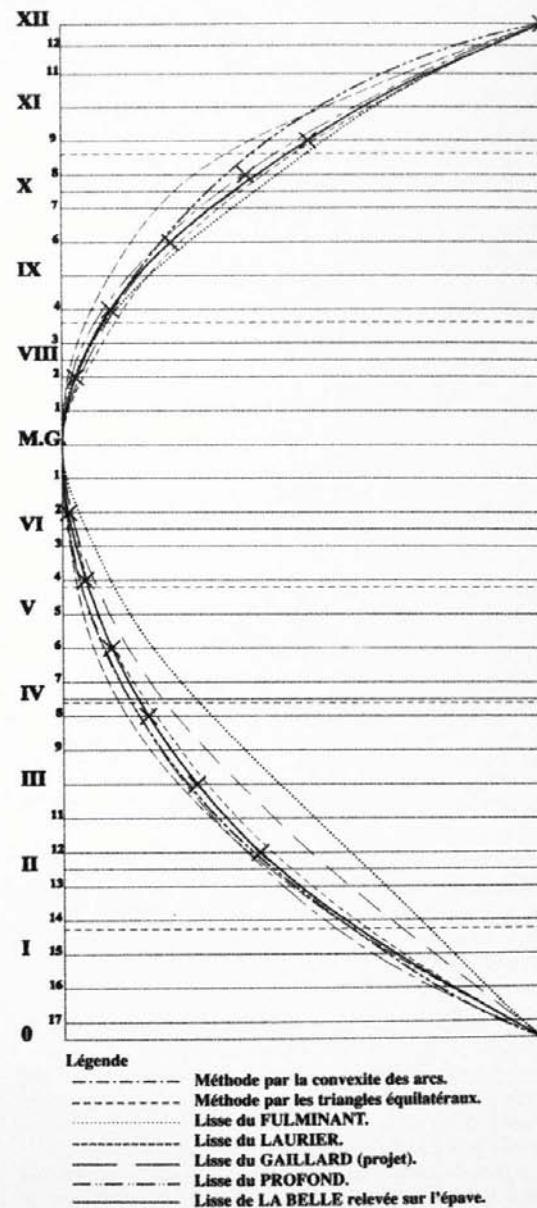


Fig. 16 Lisse du fond de l'avant et de l'arrière

**Leyenda**

- Vagra de LA BELLE siguiendo el croquis del fondo.
- Vagra de LA BELLE regularizada.

Leyenda

- . — . — . Método de la convexidad de los arcos.
- . — . — . Método de los triángulos equiláteros.
- Vagra del FULMINANT.
- Vagra del LAURIER.
- — — — — Vagra del GAILLARD (projeto).
- .. — .. — .. Vagra del PROFOND.
- — — — — Vagra de LA BELLE, trazada a partir del pecio.

Sobre los esquemas de las figuras 15 y 16, la numeración en cifras romanas de 0 a 12 corresponde a las 12 cuadernas de armar teóricas. Están dispuestas a la misma distancia una de otra a lo largo de la longitud que separa el punto de encuentro de los raseles de popa en 0 del correspondiente a los raseles de proa, estando esta longitud dividida en 6 partes iguales, antes que la de la quilla, como lo impone el reglamento real de construcción de 1673. Esta longitud sobre el plano es arbitraria e idéntica para las diferentes curvas estudiadas, su división en 12 partes era aplicable a los barcos en cuestión. Las cifras árabes corresponden a las cuadernas reales cuyos emplazamientos han sido determinados en el pecio. La anchura del rectángulo también es arbitraria. Representa la abertura máxima de las cuadernas sobre la longitud de las vagras, abertura máxima comprendida entre la vagra y su punto de llegada a la roda y al codaste en el hueco del alefriz.

Las longitudes entre las alturas de los raseles así como la abertura de cada una de las vagras Han sido llevadas a las mismas proporciones de forma que la superposición de sus curvaturas puedan ser comparadas y apreciadas con precisión.

Estas aberturas de los gálibos, llevadas sobre un plano horizontal de intervalo en intervalo regular, esquematizando el espaciado de las varengas sobre la quilla, han producido una curva armoniosa. Solamente sale de la trayectoria la intersección de la 8^a varena de proa con la vagra indicando de esta forma que esta varena no estaba colocada a la altura conveniente respecto a la quilla. (Fig. 15)

Esta armoniosa curva sobre el plano se compara a continuación con las que, proyectadas de la misma forma, traducen la trayectoria de las vagras del fondo obtenidas por los métodos de reducción de las cuadernas por la convexidad de los arcos y por los triángulos equiláteros. (Fig. 16)

La trayectoria de la vagra del fondo de *La Belle* presenta también una inconstancia y una progresividad pero se distingue de la producida por los triángulos equiláteros en que su inconstancia se revela en otro lugar. En fin, la trayectoria de la vagra del fondo de *La Belle* se aproxima claramente a las de los barcos de Masson, transferidas de la misma forma sobre el gráfico.

Si, profundizando el análisis, se lleva sobre el triángulo equilátero dividido en un haz de rectas siguiendo la progresión de los cuadrados, tal como lo describe La Magdelaine, una regleta graduada según la abertura de los gálibos resultado del método de la convexidad de los arcos,¹¹ no habrá concordancia entre esta regleta y el haz sea cual sea el ángulo dado. Esto excluye su utilización para concebir *La Belle*.

¹¹ El método de la convexidad de los arcos es uno de los descritos por La Magdelaine. Ha sido objeto de comentarios por parte de Jean Boudriot en un libro consagrado a los navíos de 50 y 60 cañones.

LA BELLE
Vagra del fondo a popa, determinada sobre el pecio.

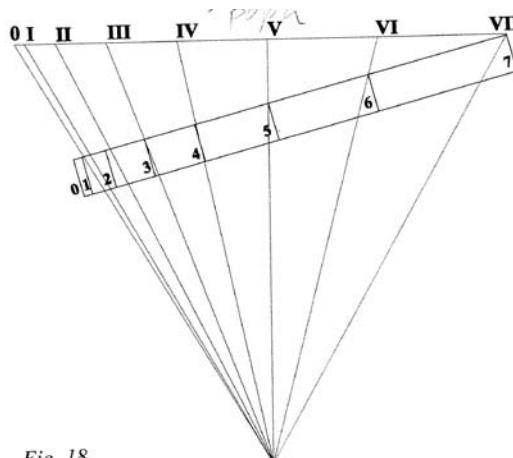


Fig. 18

LA BELLE Vagra del fondo a proa, determinada sobre el pecio.

LE LAURIER Vagra intermedia inferior a proa.
Progresión de los cuadrados

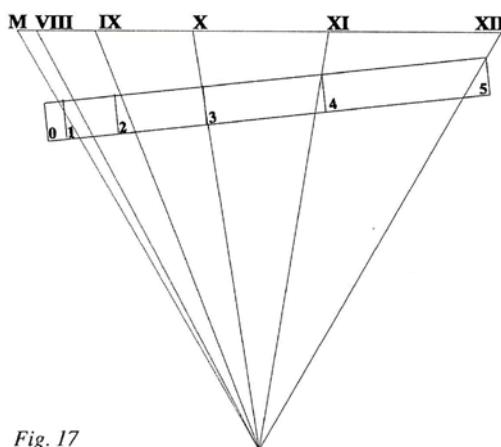


Fig. 17

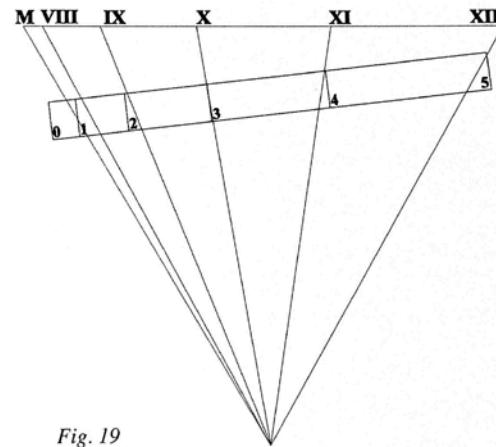


Fig. 19

Por otra parte, si se repite la operación con una regleta graduada según la abertura de los gálibos de *La Belle*, la concordancia solamente afecta a los gálibos situados más allá de las tres primeras cuadernas más cercanas al gálibo maestro, tanto a proa como a popa, la regleta siempre desborda el triángulo del lado de la 1^a división. (Fig. 17, 18)

La misma experiencia aplicada a las vagras del *Laurier*, del *Profond*, del *Fulminant* y del proyecto *Gaillard* da exactamente los mismos resultados, las graduaciones de la regleta y las rectas del haz triangular no concuerdan más que a partir de los tres primeros intervalos situados a una y otra parte del gálibo maestro, y el extremo de la regleta desborda el triángulo en el lado de la primera división. (Fig. 19, 20)

Indiscutiblemente, aunque de una amplitud más o menos importante, todas las vagras de los barcos construidos en Rochefort presentan trayectorias cuya curvatura sale del mismo método de reducción.

De hecho este método combina otros dos.

La trayectoria de cada vagra se descompone en 2 curvaturas distintas colocadas como prolongación una de otra, a una y otra parte del la 3^a cuaderna de proa y de popa contando a partir del gálibo maestro.

Las curvas que unen la 3^a cuaderna a la cuaderna maestra se determinan haciendo deslizar una primera regleta sobre un haz triangular establecido siguiendo una progresión aritmética.¹² (Fig. 21 y 22)

La segunda curvatura que da la abertura de las cuadernas siguientes se obtiene gracias a una segunda regleta que se desliza sobre el haz triangular construido según una progresión de cuadrados. (Fig. 19, 20)

LE LAURIER

Vagra intermedia inferior a popa.

Progresión de los cuadrados

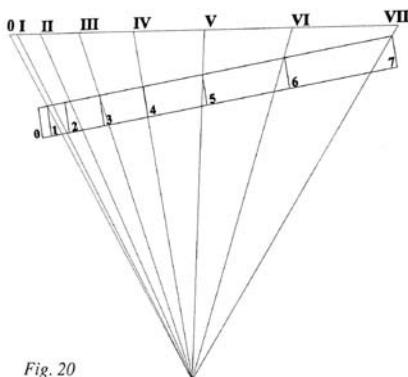


Fig. 20

LE LAURIER

Vagra intermedia inferior a proa

Progresión aritmética

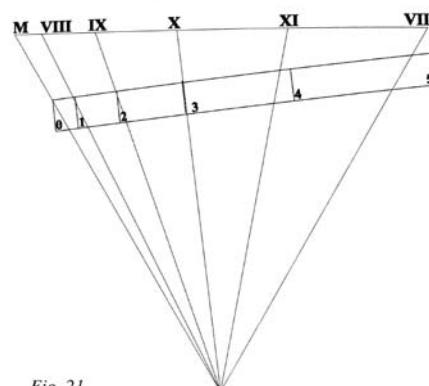


Fig. 21

¹² El número total de partes de una progresión aritmética de razón = 1 se puede calcular utilizando la fórmula: Suma = $\{(a+z)/2\} * n$, en la que "a" representa el primer término, "z" el último y "n" el número de términos. Para 10 espacios, el número de partes según esta fórmula es de $\{(1+10)/2\} * 10 = 55$.

Este medio, muy simple, permite trazar curvas más o menos tendidas. La creación de un haz polar establecido sobre la base de esta progresión y transformado en triángulo equilátero, ofrece la posibilidad de transportar esta progresión a regletas de diferentes longitudes correspondientes a los trazados de las diferentes vagras sobre el vertical de formas. La inclinación de estas regletas siguiendo ángulos dados modifica sensiblemente el ritmo de la progresión que tiende a convertirse en lineal o exponencial.

En mi opinión está en la base del procedimiento utilizado en el siglo XVIII que consiste, para cada línea de agua y cuaderna de armar por cuaderna de armar, en dar tantas partes de la máxima anchura.

LE LAURIER**Vagra intermedia inferior a popa.**

Progresión aritmética

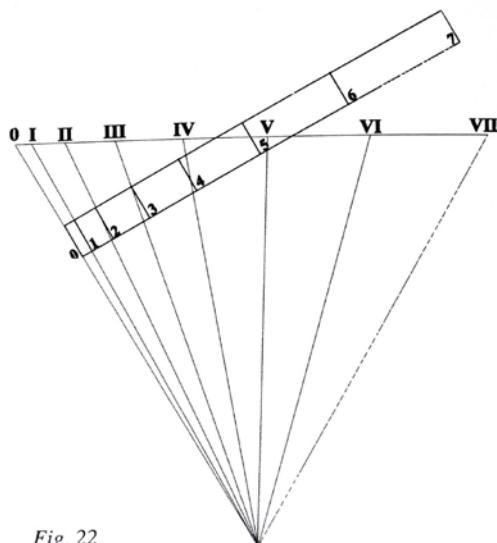


Fig. 22

La inclinación de estas regletas respecto al lado derecho del triángulo modifica la amplitud de la curvatura. Las curvas obtenidas por la progresión aritmética son naturalmente más tendidas que las que proporciona la progresión de los cuadrados. Por tanto es lógico que la curvatura dada a la trayectoria de las vagras entre la cuaderna maestra y la 3^a cuaderna de proa y de popa sea obtenida de una progresión aritmética y que la prolongación de esta trayectoria sea el resultado de la progresión de los cuadrados.

Si la amplitud de las vagras puede variar según el ángulo que forman las regletas con el lado derecho del triángulo, es curioso comprobar que no es necesariamente más fuerte en los barcos de gran tonelaje como el *Fulminant* que en los de menor tonelaje, tal como lo muestra el diagrama de la figura 15.

Puede ser, como en el caso del *Fulminant*, claramente más amplia para los gálibos de proa que para los de popa.

Por tanto, cada caso es un caso especial en el que juegan todos los parámetros.

Ante todo es función de las proporciones atribuidas al gálibo maestro y al gálibo de la aleta. Igualmente depende, en los casos que estamos estudiando, de las proporciones de los redeles o cuadernas de balance que son las 3^a cuadernas situadas a un lado y otro del gálibo maestro.

La arbitraria abertura de estas cuadernas, apartándose más o menos de la trayectoria constante y regular de las vagras, provoca la desviación de éstas, rompiendo la curvatura y aumentando más o menos la amplitud en este preciso punto. Por tanto es posible influir sensiblemente sobre los volúmenes de la carena modificando las formas de los redeles y la curvatura de la aleta, sin intervenir sobre la amplitud de las vagras.

Esta posibilidad será explotada para restituir las formas de la carena de *La Belle*.

En tanto que los métodos de reducción de las cuadernas que describe La Magdelaine determinan la trayectoria de las vagras de una sola pieza desde el gálibo maestro hasta la roda y desde el gálibo maestro hasta la aleta, procedimiento que se

generalizará desde el último decenio del siglo XVII, Masson con el Laurier y Arnaud con el proyecto Gaillard descomponen esta operación en dos tiempos.

En primer lugar predeterminan la abertura de los redeles. A continuación unen éstos al gálibo maestro, a la roda y a la aleta por vagras más o menos tendidas.

Esta forma de operar no parece apoyarse en exigencias técnicas. Es posible, en efecto, obtener trayectorias de vagras comparables de una sola pieza.

Se puede ver en toda lógica una persistencia de las prácticas relacionadas con el método de la puja y de la joba.

Recordemos que este método consistía en modificar el trazado de las cuadernas comprendidas entre los redeles mediante el basculamiento progresivo del gálibo formado por el genol y la primera ligazón.¹³

La utilización de este método implicaba la predeterminación del gálibo de la aleta, de los redeles, del gálibo maestro y del horcón o última cuaderna de proa.

Parece pues natural que los nuevos métodos de reducciones gráficas, que permiten determinar la abertura de las vagras por la oblicuidad de los triángulos divididos siguiendo progresiones matemáticas, no habían puesto fin sin esfuerzo a ciertos hábitos.

Sucede lo mismo con la vagra del fuerte proyectada sobre el vertical de formas con su doble curvatura. Esta doble curvatura que implica un trazado previo en los alzados y en las proyecciones longitudinales no es necesaria para nada en los procedimientos gráficos de reducción de las cuadernas tal como los describe La Magdelaine.

Por el contrario, es indispensable predeterminar la curvatura de la vagra del fuerte en los dos planos para conducir con precisión la determinación de la joba del gálibo del genol y de la ligazón.

La curva que describe la joba de este gálibo debe, en efecto, prolongarse armoniosamente hacia la aleta y la roda, y no puede hacerlo más que si el maestro carpintero dispone de la representación de un extremo al otro del buque.

La abertura de los redeles y la curvatura de la aleta pueden influir en los volúmenes de la carena sin que sea modificada la abertura de las vagras, haciendo imposible toda correspondencia entre ésta y el tonelaje de los buques. Un croquis de los ángulos correspondientes a la división de las diferentes vagras de barcos típicos llevados sobre los haces triangulares hubiese permitido establecer una tabla que diese la abertura de las cuadernas en función del tonelaje de carga máxima.

¹³ N. del T.: En francés se llama método de la “tablette” y el “trébuchet”, que son las tablillas graduadas que sirven para medir la puja y la joba, tal como lo explica Gaztañeta en su Arte de Fabricar Reales. El término francés “trébuchement” significa el giro o desplazamiento que se da al genol sobre la escoa o codillo de la varenga con ayuda del “trébuchet”, es decir la joba tal como la describió Gaztañeta.

Habiendo comprobado que es imposible una tal correspondencia, la base sobre la que podría determinarse la amplitud de las vagras de *La Belle* debería tomar en cuenta todos los factores que intervienen en su trayectoria. En otras palabras, las vagras de *La Belle* deberían adaptarse a trayectorias similares a las de los barcos susceptibles de poseer las formas de carena más parecidas.

Ahora bien, tal similitud aparece comparando las vagras del fondo del *Laurier* y de *La Belle* sobre el diagrama de la figura nº 16.

Tal constatación conducía a pensar que las demás vagras también podrían ser parecidas y que dar a las de *La Belle* trayectorias idénticas permitiría dar a su carena formas de una fidelidad difícilmente cuestionable.

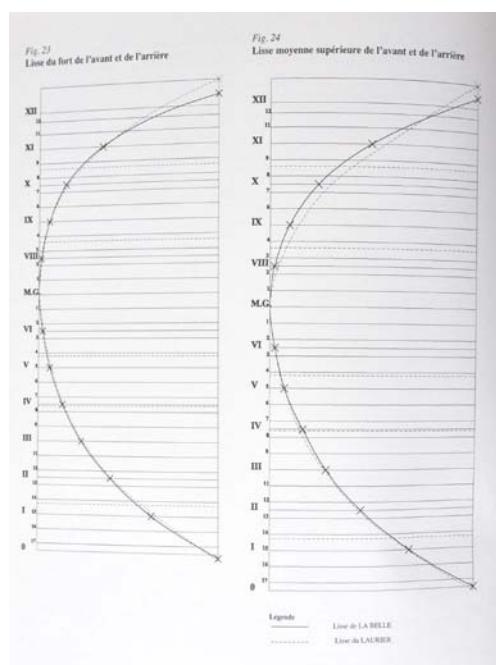
Sin embargo, la transposición de la trayectoria de la vagra del fuerte del *Laurier* a *La Belle* era imposible sin adaptación, dado que el lanzamiento de la roda era mucho mayor en los barcos de Masson, y por tanto en el *Laurier*, que en *La Belle*. En el *Laurier*, el punto de unión de la vagra del fuerte con la roda se sitúa a una distancia de la primera cuaderna a proa que corresponde a más del 66% del intervalo entre las cuadernas de armar, mientras que en *La Belle* esta distancia se reduce a un 30% de esta misma distancia. El traslado fiel de la trayectoria de la vagra del fuerte del *Laurier* sobre las 12 cuadernas de armar provoca una acentuación brusca de la curvatura entre la primera cuaderna de proa y la roda.

En tanto que la vagra del fuerte del *Laurier* se une a la roda formando un ángulo bastante pronunciado, la de *La Belle* lo hace casi perpendicularmente, aplastando la proa de una forma poco creíble en función del importante encogimiento que adapta bajo la flotación.

Fig.23 - Vagra del fuerte de proa y de popa

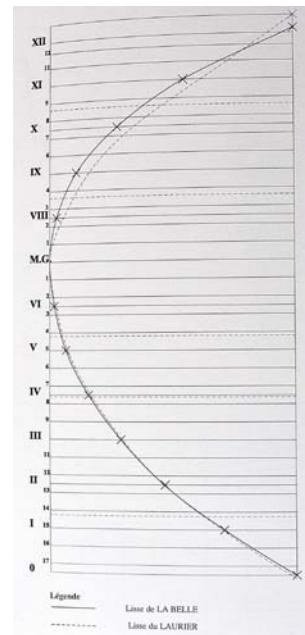
Fig. 24 - Vagra intermedia superior de proa y de popa

Fig. 25 - Vagra intermedia inferior de proa y de popa.



Leyenda:

- Vagra de LA BELLE
- - - - - Vagra del LAURIER



A fin de evitar este aplastamiento y de obtener una trayectoria idéntica a la del *Laurier*, habría sido necesario decidirse a modificar las distancias intermedias entre la roda y las cuadernas de armar para que fuesen perfectamente proporcionales a las del *Laurier*. Evidentemente esta modificación sería totalmente contraria a la verdad histórica.

Después de haber considerado este problema en todos sus aspectos, la adaptación de la abertura de los gálibos de proa sobre la vagra del fuerte, proporcionalmente a la distancia entre la roda y la primera cuaderna de proa, parecía ser la restitución más plausible. (Fig. 23)

La vagra del fuerte se une a la roda de forma más progresiva, la abertura de los gálibos se reduce en el conjunto de las 5 cuadernas de armar a proa y no brutalmente de la primera a la roda.

En comparación con la primera solución esta vagra presenta pues menos amplitud y tiende a reducir las capacidades de la proa. El cálculo de los volúmenes de la carena a proa y popa y su comparación apoyará a posteriori la elección de esta adaptación mediante ajustes en función de otros imperativos.

La vagra del fuerte, en virtud del lanzamiento de la roda, ha tenido que adaptarse en la proa pero no en la popa. En el diagrama en el que se comparan las trayectorias de las vagras, se confunde prácticamente con la del *Laurier*.

En función de esta similitud, las aberturas de los gálibos del *Laurier* a la altura de las vagras intermedias han sido llevadas sobre el vertical de formas de *La Belle* en curso de trazado.

Contra toda previsión, a pesar de la reducción de la amplitud de la vagra del fuerte, estas aberturas son insuficientes en la parte de proa. Esta insuficiencia hace que sea imposible todo empalme con las aberturas dadas a la altura de las vagras del fuerte y del fondo, su amplitud ha sido aumentada.

Este aumento no ha podido ser determinado más que por tanteo uniendo los puntos de paso de las vagras del fuerte y del fondo por una o dos líneas ficticias armoniosas en la prolongación de las varengas y piques.

La intersección de estas líneas con las vagras del vertical ha permitido trazar trayectorias aproximadas. A continuación estas trayectorias han sido precisadas utilizando los medios de reducción utilizados por Masson.

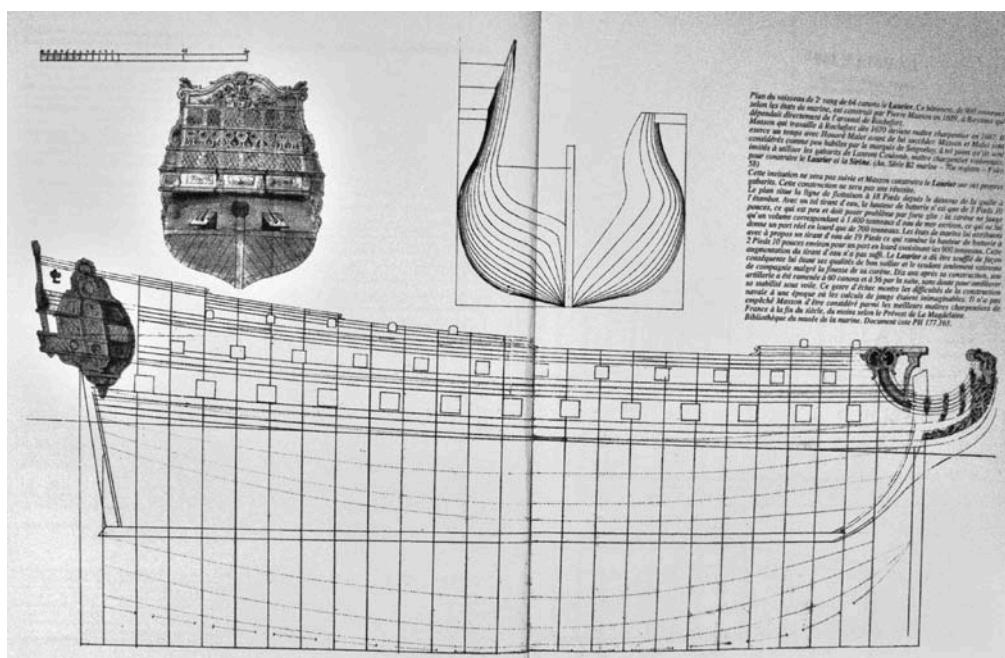
A popa nada ha cambiado. Las trayectorias de las vagras intermedias tomadas del *Laurier* han sido simplemente transpuestas sobre *La Belle* permitiendo completar el vertical. (Fig. 24 y 25)

Sin embargo, este vertical sufrirá varios ajustes antes de llegar al resultado más satisfactorio.

Los esquemas de las figuras 23, 24 y 25 están construidos con los mismos principios que los de las figuras 15 y 16. La numeración de las cuadernas es idéntica y corresponde, para los números romanos, a las cuadernas de armar teóricas y, para los números árabes, a las cuadernas reales tal como están dispuestas en el pecio y en la elevación esquemática que figura en las páginas siguientes. La distancia entre cuadernas, así como su abertura, han sido llevadas a las mismas proporciones. Los lanzamientos de la roda y el codaste,

proporcionalmente más largos que en *La Belle*, están traducidos en el esquemático, alejando más el punto de llegada de la vagra del fondo de *La Belle* a la roda, el codaste y la aleta del punto de unión de la vagra del fondo con su roda, su codaste y su aleta, siguiendo esta misma proporción. Incluso la abertura de las cuadernas de popa es proporcional a las dimensiones de los dos barcos sin tener en cuenta la abertura de las aletas, que sobre el esquema está llevada al alefriz de la quilla.

Esta representación permite comparar las trayectorias de las vagras de *La Belle* y del *Laurier* que, a aberturas proporcionalmente iguales de las cuadernas, se superponen.



*Plano del navío de 2º rango de 64 cañones **Laurier**. Este buque, de 900 toneladas según los registros de la marina, fue construido por Pierre Masson en 1689 en Bayona que dependía directamente del arsenal de Rochefort.*

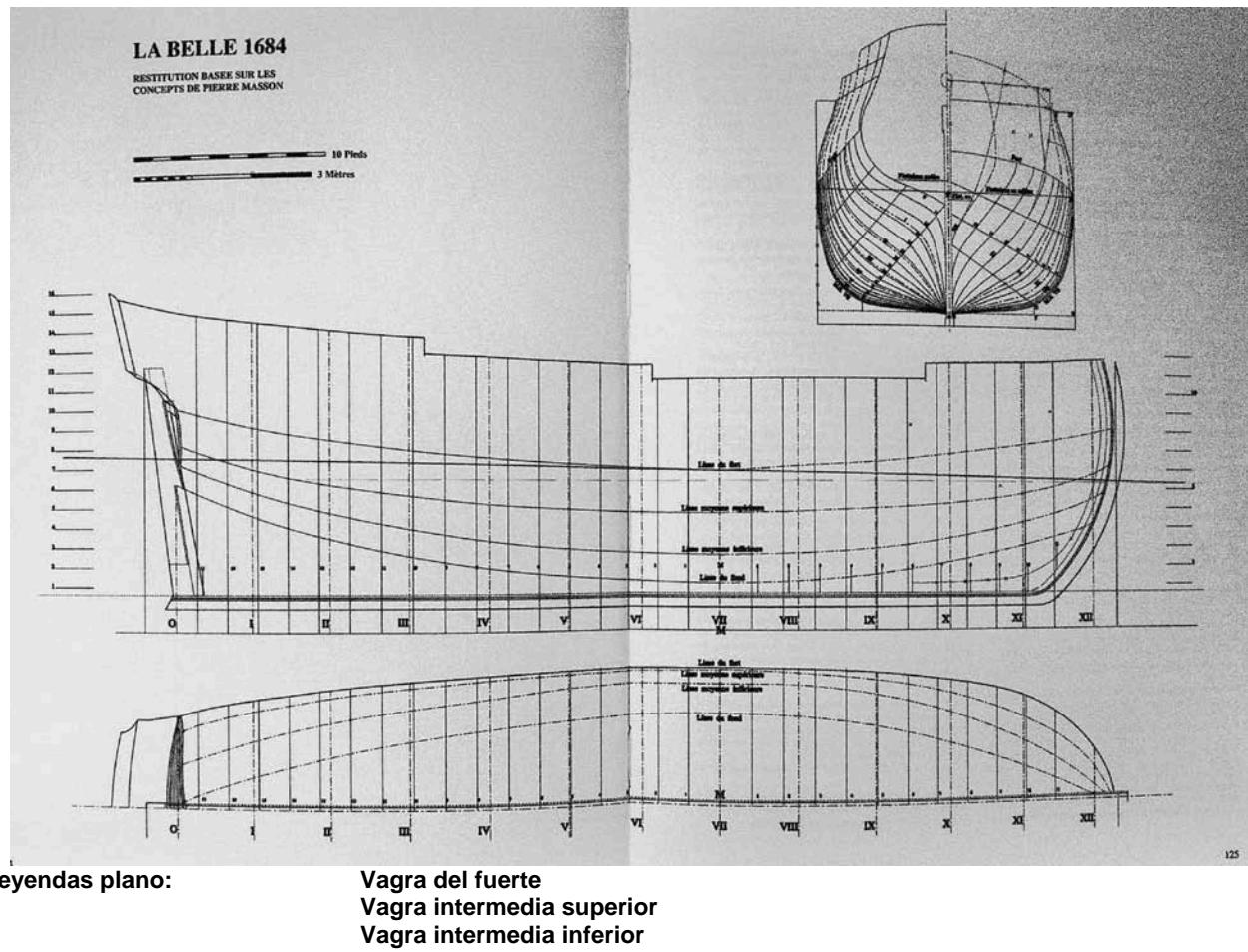
Masson que trabajó en Rochefort desde 1670 llegó a maestro carpintero en 1687. Ejerció durante un tiempo con Honoré Malet antes de sucederle. Masson y Malet fueron considerados como poco hábiles por el marqués de Seignelay, hasta tal punto que fueron invitados a utilizar los gálibos de Laurent Coulomb, maestro carpintero tolonés, para construir el **Laurier** y la **Sirène**. (An. Serie B2 marina – 70º registro – Folio 58).

Esta invitación no fue atendida por Masson que construyó el Laurier según sus propios gálibos. Esta construcción no fue un éxito.

El plano sitúa la línea de flotación a 18 pies desde la cara inferior de la quilla en el codaste. Con un calado como éste, la altura de la batería no es más que de 3 pies 10 pulgadas, lo que es poco y debe presentar problemas en caso de fuerte escora; la carena no arquea más que un volumen correspondiente a 1.400 toneladas de agua de mar aproximadamente, lo que le da una carga máxima de 700 toneladas nada más. Los registros de marina le atribuyen intencionadamente un calado de 19 pies lo que sitúa la altura de la batería a 2 pies 10 pulgadas aproximadamente para una carga máxima cercana a las 900 toneladas. Este aumento de calado no fue suficiente.

Consecuentemente el *Laurier* debió ser embonado con pérdida de sus cualidades de buen velero convirtiéndolo en buque de acompañamiento a pesar de la finura de su carena. Diez años después de su construcción, su artillería fue reducida a 60 cañones y a continuación a 56, sin duda para mejorar su estabilidad en navegación. Este tipo de fracasos muestra las dificultades de la construcción naval en una época en la que los cálculos de tonelaje eran inimaginables. Esto no impide que Masson fuese considerado uno de los mejores maestros carpinteros de Francia del fin de siglo, al menos según el *Prévost de la Magdelaine*.

Biblioteca del museo de la marina. Documento signatura PH 177.163.



ESTIMACIÓN VOLUMÉTRICA

Conviene concluir este trabajo de restitución con la verificación de las características volumétricas de la carena en comparación con los buques que han servido de referencia en ciertos puntos.

El contorno del gálibo maestro determina una sección, siguiendo una altura tomada desde la flotación hasta el alefriz de la quilla, con la manga medida fuera de forro, de 78,92 pies cuadrados. El rectángulo circunscrito a esta sección maestra da una superficie de 90,52 pies cuadrados. La relación entre una y otra es de 87%. La misma relación para el *Laurier* es de 77%, en tanto que para la chata de Morineau es de 86%.

Siguiendo las indicaciones suministradas por los croquis del pecio, se dispusieron 12 cuadernas entre la roda y la varenga maestra y 17 entre ésta última y el codaste. Se añade una 13^a sección, correspondiente a una teórica primera cuaderna de proa. Estas 30 secciones transversales han dado 32 rodajas de una anchura de 1,62 pies a proa y 1,58 pies a popa. Las dos primeras rodajas de proa, próximas a la roda, y la última de popa, próxima al codaste, son de anchuras variables.

Las 14 rodajas de proa representan un volumen de 1.078,91 pies cúbicos contra 1.575,48 pies cúbicos para las 18 rodajas de popa. Según estas cifras, el 41% del volumen está repartido a proa de la varenga maestra, siendo el volumen total de 2.654,39 pies cúbicos a los que se añaden 134 pies cúbicos correspondientes al volumen del forro, o sea un total de 99,59 toneladas.

En comparación al paralelepípedo circunscrito ¹⁴ que da un volumen de 4.677 pies cúbicos, el de la carena fuera de forro representa solamente el 57%.

Esta misma comparación hecha para las chatas de Rochefort alcanza el 64%, en tanto que para el *Laurier* se aproxima al 54%.

A pesar de las formas panzudas que le da su gálibo maestro, la carena presenta una finura innegable comparada con la de los barcos de carga.

La posición del centro de carena ha sido situada por cálculo a 26 pies 3 pulgadas 6 líneas de la perpendicular del codaste, o sea a 9 pulgadas 6 líneas del centro de la eslora de la roda al codaste, lo que representa el 51,56%.

Comparativamente, el centro de carena de las chatas se sitúa a 50,52% de esta misma eslora en tanto que el del *Laurier* está a 49,50%.

La posición un poco avanzada del centro de carena de *La Belle* por comparación al centro de la eslora de roda a codaste traduce una ligera insuficiencia de volúmenes a popa.

Esta insuficiencia se puso ya de manifiesto en los primeros bosquejos del trazado.

Se han hecho varias tentativas para llevar el centro de gravedad al centro de la eslora de roda a codaste.

El aumento de la amplitud de las vagras intermedias de popa, aportado en primer lugar, se mostró insuficiente para cubrir la diferencia, la ganancia se tradujo en algunas decenas de pies cúbicos solamente. La solución capaz de aportar una ganancia suficiente era llenar sensiblemente la forma de las aletas inclinando más las ramas que forman la V del escudo de popa.

Esta solución ha permitido compensar el déficit volumétrico, dado que la amplitud de las vagras influye mucho menos sobre los volúmenes que las formas dadas a los diferentes gálibos, confirmando lo que el estudio de las carenas de los buques de Masson ya había demostrado.

¹⁴ El paralelepípedo circunscrito se mide de alefriz a alefriz en la flotación. Su altura se toma desde el alefriz de la quilla, que en este caso ocupa una posición claramente más baja (2 pulgadas 8 líneas) que lo habitual en relación a la cara superior, teniendo en cuenta la diferencia de calado a popa y a proa.

La manga de 14 pies fuera de miembros es la que da la memoria de construcción.

Sin embargo, este llenado de formas de las aletas presenta el inconveniente de aumentar su escantillado así como la de las cuadernas próximas a éstas; si este escantillado superase los 45º habría impuesto unos escantillones de las piezas de madera superiores al doble de la pieza ya labrada de forma que adoptase la curvatura de la carena.

Las cuadernas de reviro,¹⁵ es decir colocadas en un plano vertical oblicuo en relación a la quilla, no estaban aún inventadas por lo que este escantillado importante presentaba una imposibilidad técnica que hacía inapropiada esta solución.

Visto que el aumento de los volúmenes a popa resultaba prácticamente imposible, solamente se podía obtener un mejor equilibrio reduciendo los volúmenes de proa.

El aumento o reducción de la amplitud de las vagras intermedias no es suficiente para modificar notablemente los volúmenes tanto de popa como de proa. Es modificando sensiblemente la curvatura de la vagra del fuerte en la proa como se puede obtener el resultado apetecido.

Esta modificación de la vagra del fuerte habría permitido conservar la amplitud de las vagras intermedias inspiradas en el *Laurier* pero la reducción de volúmenes a proa había conducido a disminuir el volumen global en una buena centena de pies cúbicos, llevando el peso del volumen de agua desplazado a menos de 95 toneladas.

Históricamente, un volumen de menos de 2.800 pies cúbicos no tiene nada de imposible. Los documentos de la época citan también un porte de 45 toneladas dando un desplazamiento de 2.520 pies cúbicos.

Sin embargo, esta segunda solución tenía igualmente consecuencias prácticas inaceptables.

Este volumen de 2.520 pies cúbicos comparado al del paralelepípedo circunscrito da una relación del 54% que haría de La Belle un buque de una finura próxima a la de los navíos pequeños, cosa inimaginable dado su gálibo maestro.

Finalmente el recogimiento de las obras muertas a proa chocaría con dificultades para la instalación de los aparejos y pertrechos, en especial del molinete. Por último, sólo la “baloire”¹⁶ será ligeramente modificada, así como la abertura de los redeles a fin de compensar la insuficiencia de los volúmenes de popa, pero dejando suficiente espacio para los aparejos sin intervenir sobre la amplitud de las vagras intermedias.

La solución adoptada al principio del estudio concilia pues todas las facetas de los problemas hallados. El único punto que parece puede ser discutible es esta posición un poco avanzada del centro de carena en relación a la mitad de la eslora de roda a codaste.

Sin embargo, otros ejemplos tienen en cuenta una posición más adelantada todavía apoyando el trazado de la solución seleccionada.¹⁷

¹⁵ Las cuadernas de reviro no han contribuido solamente a reducir el escantillón de las piezas de la estructura sino también a dar a las carenas unas curvaturas más pronunciadas en los extremos.

¹⁶ El término francés “baloire” designa aquí a la parte muy redondeada de la vagra del fuerte entre el redel de proa y la roda.

¹⁷ El lector lo comprobará en los cuadros de cifras.

En conclusión, se puede afirmar con todo conocimiento de causa que el mantenimiento de un volumen de carena de 2.800 pies cúbicos fija las formas de ésta tal como están restituidas.

Características volumétricas de *La Belle*

Volumen total de la carena cúbicos	2.788 pies cúbicos
Volumen de la carena sin incluir el forro	2.654 pies cúbicos
Volumen a proa del gálibo maestro	1.079 pies cúbicos
Volumen a popa del gálibo maestro	1.575 pies cúbicos
Diferencia entre proa y popa	496 pies cúbicos
Distancia del centro de carena a la perpendicular del codaste	26,294 pies
Distancia en porcentaje	51,56 %
Abertura de la cuaderna XII en el fuerte	37,60 %
Radio de curvatura de las aletas en comparación al yugo principal	30 %
Abertura del redel de proa en comparación a la manga de la maestra	95,35 %
Longitud de la varenga del redel de proa en comparación a la varenga maestra	66%
Astilla muerta en el redel de proa	3,1 x astilla c.m.
Superficie del redel de proa en comparación al gálibo maestro	93,35 %
Abertura del redel de popa en comparación a la manga de la maestra	98,84 %
Longitud de la varenga del redel de popa	83%
Astilla muerta en el redel de popa	2,8 x astilla c.m.
Superficie del redel de popa en comparación al gálibo maestro en %	98,50 %
Volumen del paralelepípedo rectangular circunscrito al volumen sumergido	4.677 pies ³
Eslora entre alefrices en la flotación	50 pies 81p.
Altura media tomada en la flotación desde el alefriz de la quilla	6 pies 8 p. 21
Manga en el centro en la flotación	14 pies
Proporción entre el paralelepípedo circunscrito y el volumen de carena	56,75 %

Evolución de la restitución en el transcurso de los estudios

Las formas resultantes del estudio nº 1 determinaban un volumen global que parecía insuficiente y netamente desequilibrado a proa.

El segundo estudio ha tenido por objeto aumentar ligeramente el volumen global restableciendo el equilibrio entre proa y popa.

Para obtener este resultado sin modificar la amplitud intrínseca de la vagra del fondo que debe permanecer obligatoriamente inmutable, y sin modificar la abertura de la cuaderna XII en el fuerte, los trazados han sido realizados aumentando la abertura del redel de proa en el fuerte, siendo mayor el aumento de la abertura del redel de popa que la del redel de proa con el fin de restablecer el equilibrio.

Abriendo más el redel de proa en el fuerte sin modificar la abertura de la cuaderna XII, la trayectoria de la vagra del fuerte gana en amplitud sobre las tres primeras cuadernas próximas a la maestra para atirantarse a continuación de forma más importante.

Esta técnica permite desplazar los volúmenes hacia el centro arrastrando al tiempo el centro de carena.

El aumento del volumen a popa, aumentando la amplitud de las vagras excepto la del fondo, está por el contrario mejor repartido. Gracias a esta disposición y a una diferencia de volumen más importante entre la proa y la popa, la posición del centro de carena se aproxima ligeramente a la mitad de la eslora entre roda y codaste.

Estas modificaciones se traducen en un aumento de los volúmenes de popa en 37 pies cúbicos contra una reducción de volúmenes a proa de 8 pies cúbicos, es decir una ganancia global de 29 pies cúbicos, siendo llevado el centro de carena al 52,42 % de la eslora entre roda y codaste.

El desequilibrio entre los volúmenes de proa y popa sigue siendo demasiado importante, teniendo en cuenta las débiles correcciones obrando solamente sobre las vagras, un tercer estudio ha sido trazado modificando la curva de la aleta.

La parte circular de ésta que se une a la gambota había sido trazada con un radio igual a un cuarto de la longitud del yugo principal.

Tomando un radio igual al 36,3 % de esta misma longitud, las ramas en V del escudo se doblan. La superficie sumergida de la aleta aumenta de 5 a 8 pies cuadrados. Pero este aumento no afecta solamente al escudo; repercute sobre el conjunto de las 17 secciones de popa no adelgazándose más que sobre el último tercio aproximadamente de la distancia de la aleta a la cuaderna maestra a causa de la curvatura de las vagras.

El redondeo de la aleta, acompañado de una ligera rigidez de las vagras de popa son las únicas modificaciones aportadas al estudio precedente. Han tenido por consecuencia incrementar los volúmenes de popa en 35 pies cúbicos aproximando de esta forma el centro de carena a la semilongitud entre la roda y el codaste.

Esto permanece a pesar alejar de la perpendicular del codaste a razón de 52,02 % de la longitud de la roda al codaste, la ganancia de volúmenes de popa podía, siendo restada de los volúmenes de proa, aproximarlos aún más al medio.

Conservando prácticamente el trazado de los volúmenes de popa, un cuarto estudio ha tenido por objeto reducir los volúmenes de proa.

Esta reducción ha sido obtenida cerrando la abertura del redel al nivel del fuerte y actuando sobre la amplitud de las vagras, excepto la del fondo.

La diferencia de volumen a proa y a popa aumenta así 20 pies cúbicos, llevando el centro de carena a 51,75 % de la longitud de la roda al codaste.

Siendo el volumen global de 23 pies cúbicos superior al volumen teórico, parecería posible reducir todavía los volúmenes de la proa en comparación a los de popa, con el objeto de posicionar el centro de carena a lo sumo al 51 % de la longitud de la roda al codaste.

No pudiendo intervenir más sobre la amplitud de las vagras intermedias, estiradas al máximo, la única solución posible era atirantar todavía más la “baloire”* reduciendo la abertura de la cuaderna XII, última cuaderna de proa antes de la roda, ensanchando al tiempo la del redel de proa. Procediendo de esta manera, no solamente se reducen los volúmenes de proa sino que se encontrarían todavía más cerca del centro.

Este cuarto estudio se salda con un volumen global próximo a los 2.800 pies cúbicos, una diferencia de capacidad de 525 pies cúbicos a favor de la popa posicionando el centro de carena a 51,63 % de la longitud roda/codaste.

Estos resultados pueden considerarse satisfactorios vistas las dificultades encontradas para aproximar más el centro de carena a la mitad de la longitud roda/codaste.

Esto era sin tener en cuenta 2 escollos importantes que hacen este estudio caduco. Habiendo reducido la abertura de la cuaderna XII de 41,62 % a 32,80 % de la manga máxima, la tirantez de la “baloire” sería tal que la instalación de los pertrechos sobre el castillo de proa sería problemática. La del molinete sería comprometida.

Por otra parte, el redondeo muy acusado de la parte circular del escudo cuyo radio pasaba de 25 % a 36,36 % de la longitud del yugo principal para aumentar su superficie, tenía como consecuencia dar a la carena curvaturas tales que el escantillado de las cuaderas próximas al cuadro de popa sobrepasaría los 45 %. Estos escantillados que producirían un desperdicio de madera superior en volumen a la pieza tallada no podían ser mantenidos.

CARACTERISTICAS VOLUMETRICAS DE LA BELLE

Comparación de los estudios previos al trazado definitivo

	Estudio 1	Estudio 2	Estudio 3	Estudio 4	Estudio 5	Trazado final
Volumen total de la carena	2.780 pies cúbicos	2.808 pies cúbicos	2.843 pies cúbicos	2.823 pies cúbicos	2.813 pies cúbicos	2.788 pies cúbicos
Volumen de la carena sin contar el forro	2.645 pies cúbicos	2.674 pies cúbicos	2.709pies cúbicos	2.689 pies cúbicos	2.679 pies cúbicos	2.654 pies cúbicos
Volumen a proa de la cuaderna maestra	1.115 pies cúbicos	1.107 pies cúbicos	1.107 pies cúbicos	1.087 pies cúbicos	1.077 pies cúbicos	1.079 pies cúbicos
Volumen a popa de la cuaderna maestra	1.530 pies cúbicos	1.576 pies cúbicos	1.602 pies cúbicos	1.602 pies cúbicos	1.602 pies cúbicos	1.575 pies cúbicos
Diferencia entre proa y popa	415 pies cúbicos	460 pies cúbicos	495 pies cúbicos	515 pies cúbicos	525 pies cúbicos	496 pies cúbicos

Distancia del centro de carena a la perpendicular codaste del	27,018 pies	26,732 pies	26,534 pies	26,391 pies	26,331 pies	26,294 pies
Distancia en porcentaje	52,94%	52,42%	52,02%	51,75%	51,63%	51,56%
Abertura en el fuerte de la cuaderna XII	41,62%	ídem	ídem	ídem	32,80%	37,60%
Radio de curvatura de la aleta en relación a la longitud del yugo principal	25%	ídem	36,36%	36,36%	36,36%	30%
Abertura del redel de proa en relación a la manga de la cuaderna maestra.	94,48%	98,70%	98,70%	96,59%	96,85%	95,35%
Longitud de la varenga del redel de proa en relación a la varenga maestra.	66%	ídem	ídem	ídem	ídem	ídem
Astilla muerta en el redel de proa en relacion a la de la varenga maestra.	3,1 x astilla en la maestra	ídem	ídem	ídem	ídem	ídem
Superficie del redel de proa en relación al gálibo maestro en %.	92,21%	93,63%	93,63	93,93%	94,04	93,35
Abertura del redel de popa en relación a la manga de la cuaderna maestra en %.	94,21%	98,95%	98,70%	96,59%	96,59%	98,84%
Longitud de la varenga del redel de popa.	83%	ídem	ídem	ídem	ídem	ídem
Astilla muerta en el redel de popa en relacion a la de la varenga maestra.	2,8 x astilla en la maestra	ídem	ídem	ídem	ídem	ídem
Superficie del redel de popa en relación al gálibo maestro en %	97,21%	97,28%	98,39%	98,39%	98,39%	98,50%
Volumen del paralelepípedo rectángulo circunscrito al volumen sumergido.	4.677 pies cúbicos	ídem	ídem	ídem	ídem	ídem
Eslora entre alefrices en la flotación	50 pies 81	ídem	ídem	ídem	ídem	ídem
Altura media de la flotación respecto al alefriz de la quilla.	6 pies 8 pulgadas 21	ídem	ídem	ídem	ídem	ídem
Manga en centro en la flotación.	14 pies	ídem	ídem	ídem	ídem	ídem
Relación entre el paralelepípedo circunscrito y el volumen de carena.	56,57%	57,17%	57,92%	57,49%	57,28%	56,75%

Nota: El trazado definitivo de las formas de carena ha salido de 5 trazados previos que han tenido por objeto aproximar el centro de carena al centro de la eslora entre roda y codaste, conservando un volumen cercano a los 2.800 pies cúbicos. Las modificaciones aportadas a los trazados son esencialmente el resultado de variaciones de la abertura de los redeles a proa y a popa así como de la redondez de la aleta, variaciones capaces de influir muy sensiblemente en los volúmenes de la carena sin que sea necesario aumentar o reducir la amplitud de las vagras. Estas modificaciones no afectan a los fondos del buque que conserva fielmente las formas obtenidas del pecio. Esta tabla da las variaciones de abertura de los redeles y de la curva de las aletas así como los cambios volumétricos que constituyen el resultado.

Estos problemas han encontrado su solución dando, en primer lugar, a la cuaderna XII una abertura reducida al máximo, pero procurando el espacio indispensable para la instalación de los aparejos y pertrechos especialmente el molinete; reduciendo a continuación el radio de curvatura de la aleta de 36,6 % a 30 % de forma que se mantenga el escantillón de las cuadernas a 45º o más en los casos extremos. Estas modificaciones entrañan un aumento de los volúmenes de la proa, disminuyendo los de popa; en consecuencia, agravan el desequilibrio en favor de la proa, alejando el centro de carena de la perpendicular del codaste.

Para compensar estos efectos, la abertura en el fuerte del redel de proa ha sido llevada de 96,85 % a 95,35 % de la manga de la cuaderna maestra. Su sección sumergida ha sido disminuida de forma que se adelgacen las formas de proa sin modificar la amplitud de las vagras.

A popa se ha operado de forma inversa: la abertura en el fuerte del redel se ha pasado de 96,59 % a 98,84 % y su sección sumergida ha podido conservarse.

Método de la convexidad de los arcos

Este método marca un progreso en relación al precedente permitiendo la definición de las cuadernas a lo largo de todo el barco, *método basado en la utilización de las vagras* a condición de que sean de curvatura simple (contenidas en un plano). En primer lugar hay que trazar el gálibo maestro, a continuación determinar el número de cuadernas de armar entre la maestra y la aleta, cuadernas que deben estar espaciadas de forma regular, lo mismo entre la maestra y la roda, excepto la primera cuaderna de proa, llamada horcón, que puede colocarse a una distancia menor.

Para la parte de popa, una vez dibujadas la maestra y la aleta, se trazan la vagra del fondo, la vagra del fuerte y, a igual distancia entre ellas, las dos vagras intermedias (ver esquema). A esto se añaden dos vagras de obra muerta.

El método consiste en dividir armoniosamente cada vagra y, mediante una serie de puntos, realizar el trazado de las cuadernas de armar.

Para "resolver" las cuadernas sobre la vagra del fondo hay que tomar 3 veces la distancia l_p de esta vagra como radio de un arco de círculo; a los dos tercios de este radio a partir del centro se eleva una perpendicular que corta el arco de círculo en p' ; esta vertical se divide en tantas partes iguales como cuadernas previstas. Las horizontales que cortan la porción de círculo nos dan los puntos de división a transportar sobre la vagra del fondo.

A las otras vagras se les aplica el mismo procedimiento pero variando el radio. Así para la vagra intermedia baja, el radio es igual a 2 veces $2/3$ la longitud de la vagra.

Para la vagra intermedia alta 2 veces 1/3, para la vagra del fuerte 2 veces y para las vagras de la obra muerta 1 vez 3/4 y 2 veces respectivamente.

Para la parte de proa el procedimiento es menos evidente.

Para la vagra del fondo el radio es 5 veces su longitud. La vertical elevada a los 4/5 a partir del centro se divide en tantas partes iguales como cuadernas. Si el horcón está situado a menos distancia habrá que tenerlo en cuenta para la división. Para simplificar suponemos que el horcón está situado a la misma distancia que las demás cuadernas.

Para la *vagra del fuerte de proa*,¹⁸ se describe un arco de círculo que tenga como radio 2 veces la longitud de la vagra y se divide la vertical elevada en la mitad del radio según el número de cuadernas colocadas a popa del horcón. En los puntos de división se trazan horizontales obteniendo un rectángulo, cuyo lado menor igual a un semirradio sirve para trazar un cuadrado dentro del cual se despliega un cuarto de círculo. Se transportan las divisiones obtenidas en el rectángulo siguiendo las paralelas a la base del cuadrado; las cuales vuelven a cortar el cuarto de círculo y, por los puntos de intersección, se disponen otras tantas verticales, dando la división de la vagra del fuerte a continuación del horcón o primera cuaderna de proa.

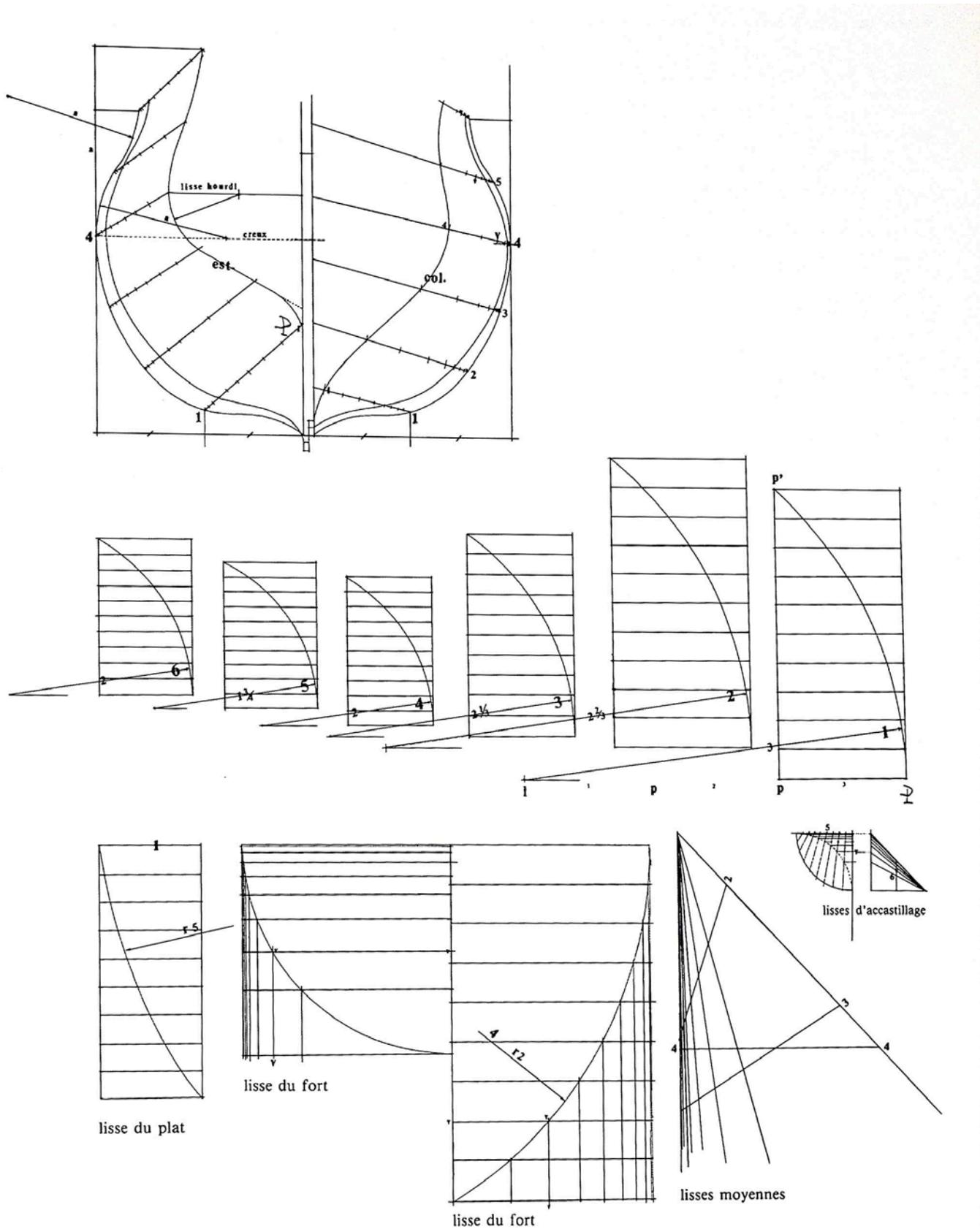
Para las *vagras intermedias* hay que llevar en horizontal la vagra del fuerte con sus divisiones, elevar una perpendicular igual al lado del cuadrado utilizado precedentemente, construir un ángulo trazando por el extremo de la perpendicular una recta que pase por el extremo de la horizontal (vagra del fuerte) y prolongarla así como la vertical. Desde el vértice de este ángulo se trazan secantes que pasen por las divisiones de la horizontal, disponiendo oblicuamente las dos vagras intermedias de forma que sus extremos coincidan con los lados que definen el ángulo, las intersecciones con las secantes dan las divisiones propias de estas dos vagras.

Para las *vagras de la obra muerta* hay que suponer que se ha trazado el barraganete del horcón partiendo de la vagra del fuerte. Se traza un cuarto de círculo que tenga por radio la vagra intermedia de la obra muerta; de este lado del horcón, el cuarto de círculo se divide en tantas partes iguales como cuadernas hay en la parte de proa; uno de los lados del ángulo formado por el cuarto de círculo se divide igualmente y los puntos de división se unen por líneas oblicuas que, a su vez, son cortadas por otro cuarto de círculo cuyas intersecciones dan las divisiones de la vagra intermedia de la obra muerta.

Finalmente la vagra de obra muerta *de regala* se resuelve construyendo un triángulo rectángulo isósceles; uno de los catetos es igual a la vagra intermedia de la obra muerta y en el que se marcan sus divisiones; del vértice del otro cateto se trazan secantes correspondientes a estas divisiones; la vagra de regala, colocada paralelamente al primer cateto, es dividida por las secantes y así se obtiene su división.

Hay que señalar que este método presenta el inconveniente de dar demasiada capacidad a la parte de proa del barco.

¹⁸ Señalo que la vagra del fuerte sobre la parte de proa puede finalizar en la roda en el nivel de la línea correspondiente a los batiportes de las portas de proa de la batería baja, pero esto es a voluntad del constructor.



Método de los triángulos equiláteros

La cuaderna maestra y la aleta se trazan al gusto del constructor. Las vagras se colocan como se ha indicado precedentemente, la vagra del fuerte se supone que corta al horcón al nivel del yugo principal. Este método no permite definir el contorno del horcón por lo que es importante trazarlo previamente a iniciativa del constructor. Por este método solamente puede resolverse la parte de las vagras de proa situada entre la cuaderna maestra y el horcón.

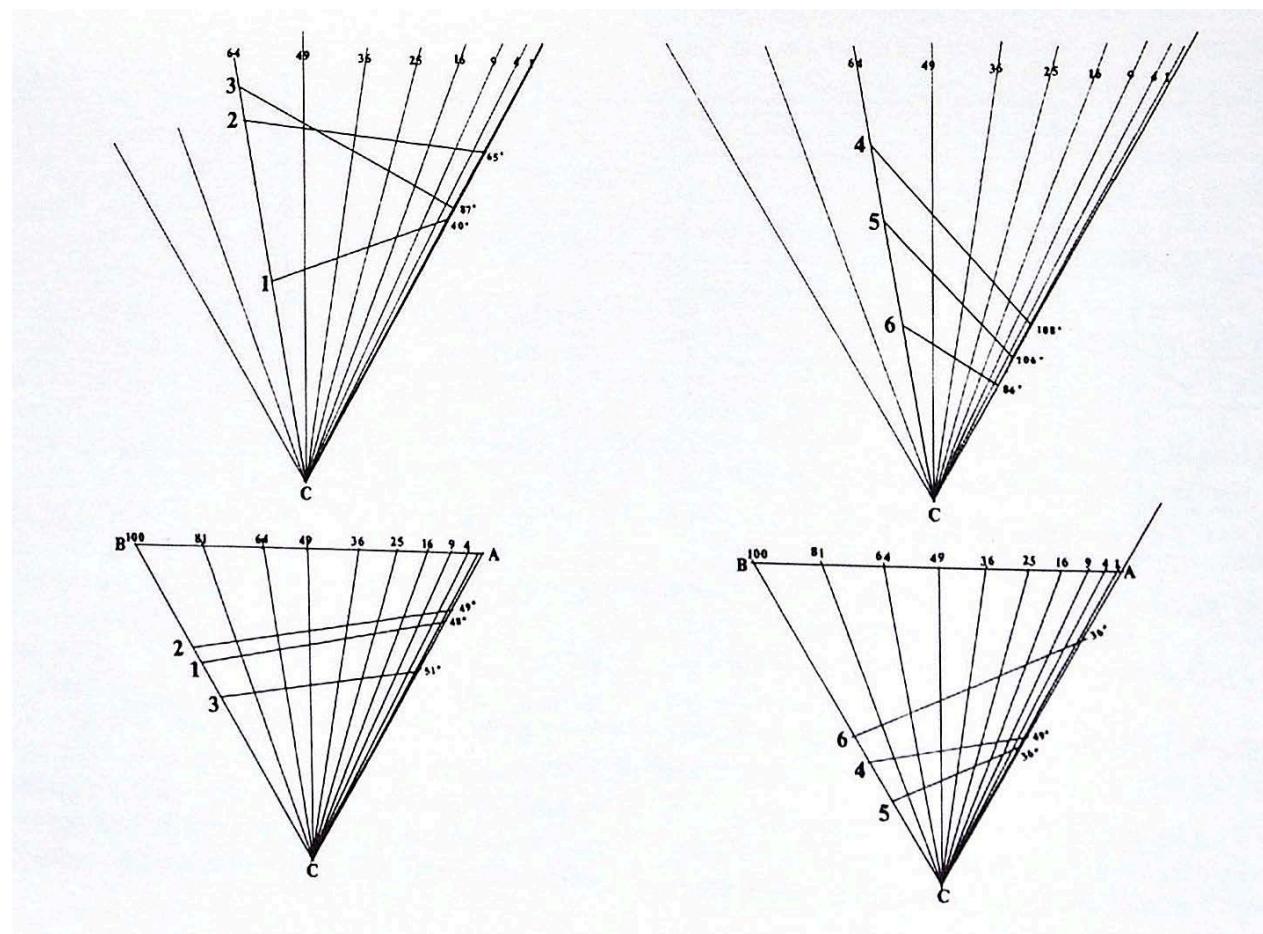
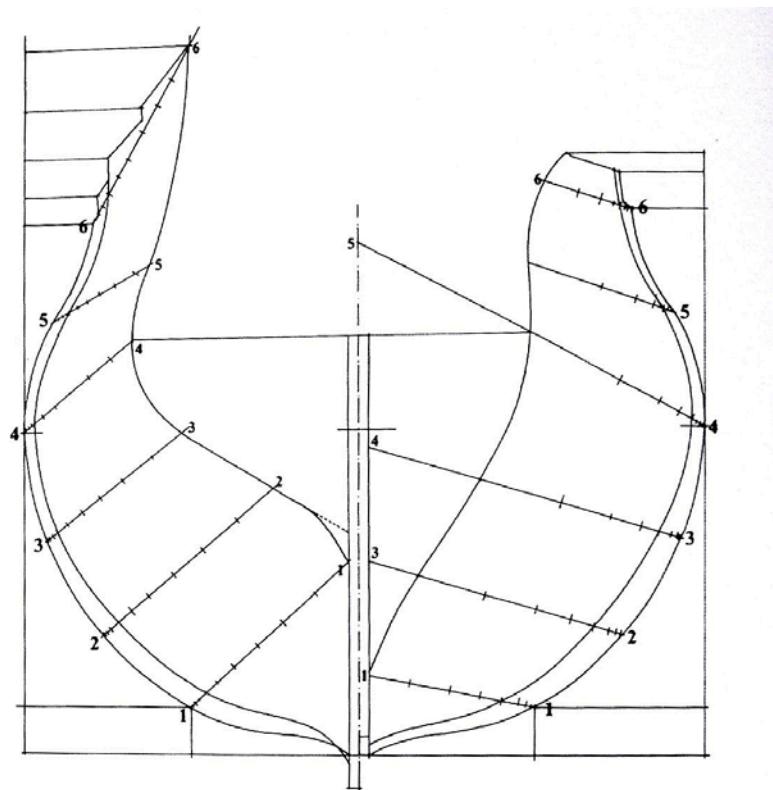
Para resolver las *cuadernas de popa*, estando ya fijado su número, se traza un triángulo equilátero uno de cuyos lados se divide siguiendo la progresión de los cuadrados en diez partes (número de cuadernas a popa de la maestra).¹⁹ Desde el vértice opuesto se trazan secantes a cada punto de división.

Colocando oblicuamente las vagras de forma que sus extremos correspondan a los lados del triángulo (ver dibujo) son cortadas por las secantes, dando así las líneas de división por donde deben pasar los contornos de las cuadernas; intersecciones que bastará llevar sobre el vertical. Pero la arbitrariedad del procedimiento reside en la elección del ángulo de inclinación de las vagras. Así, en el ejemplo dado, la vagra 1 del fondo forma un ángulo de 48° con el lado del triángulo, la 2 de 49°, la 3 de 51°. Se utiliza un segundo triángulo idéntico para evitar la confusión de las líneas. La vagra del fuerte 4 forma un ángulo de 49°, la 5 de 39°, la 6 de 36°. Las secantes cortan las rectas correspondientes a las vagras, cada punto de intersección corresponde al trazado de una cuaderna. Esto se lleva sobre las vagras del vertical y la serie de puntos de intersección permite trazar el contorno de las nuevas cuadernas de popa.

Para la resolución de las *cuadernas de proa* en relación con la maestra, el procedimiento es idéntico, el lado del triángulo equilátero se divide en ocho partes solamente; se trazan dos triángulos como antes y las vagras presentan la siguiente inclinación: 40° para la 1, 65° para la 2, 87° para la 3, 108° para la 4, 106° para la 5, 86° para la 6.

Es evidente que se puede aumentar o disminuir a voluntad las obras vivas del navío actuando sobre la inclinación de las vagras. En resumen, en el mejor de los casos es una “orientación” que se propone al diseñador.

¹⁹ N. del T.: Se refiere a la progresión formada por el cuadrado de los números naturales.



Cálculo del tonelaje de los buques

La carga máxima o peso muerto de un buque se calcula mediante diferentes fórmulas propias de uno u otro constructor.

Su número va creciendo, se van sofisticando con el paso del tiempo hasta que el trazado de los planos permite el cálculo de la capacidad de los buques previamente a la construcción y de forma relativamente precisa, tal como lo hará Blaise Ollivier desde 1728 para la construcción de su *Fleuron*.

Entre las fórmulas utilizadas en la época de *La Belle* más o menos, se recordarán las que contiene el “Traité d’Architecture Navale” de Dassié (1677), el “Traité de Construction Navale” conservado en la biblioteca del Musée de la Marine bajo la signatura J 355, así como el “Traité de Construction des Vaisseaux du Roi” editado en 1694 por François Lafon en Rochefort.

- Dassié propone multiplicar la semisuma de la eslora y la longitud de la quilla por la semisuma de la manga de la maestra y de la longitud del yugo principal; seguidamente multiplicar el resultado obtenido por el puntal aumentado con la altura entre la 1^a y 2^a cubierta y, a continuación, dividir todo por 80.

La colección de documentos contenidos en la rúbrica J 355 propone tres:

- La primera fórmula anónima es ligeramente diferente; propone multiplicar la longitud de la quilla por la del bao de la cuaderna maestra; multiplicar el resultado por el puntal al que se añade la altura del entrepuente y después dividir todo por 100. Para los navíos inferiores al tercer rango, del orden de 300 a 400 toneladas, la fórmula debe ser adaptada añadiendo a la altura del puntal solamente la mitad de la altura del entrepuente.

- La segunda fórmula, según maese Coulomb, multiplica la longitud del bao maestro por la longitud de la quilla y el resultado por el puntal. A continuación se divide el resultado por 60.

- La tercera es debida a maese Blaise que propone multiplicar la distancia horizontal entre alefrices en los puntos más altos de roda y codaste por la manga en el bao maestro y el resultado por el puntal, dividiendo todo a continuación por 85.

- Finalmente, el “Traité de Construction des Vaisseaux du Roi” editado en 1694 da la fórmula de arqueo de la ordenanza de 1681.

Siguiendo esta fórmula, hay que multiplicar la distancia entre perpendiculares de roda a codaste por la manga en el bao maestro tomada fuera de forro, multiplicando a continuación este producto por el puntal medido entre la cara superior de la quilla a la línea recta del bao del primer puente. El resultado obtenido se divide por 100 y se obtiene el número de toneladas de peso. Esta fórmula es la preferida para el cálculo del arqueo ya que da, para la mayor parte de los diferentes tipos de buques, resultados que se pueden considerar suficientemente ajustados.

Según Jean Boudriot, que hace preciosos comentarios en su obra consagrada al navío mercante, esta fórmula no será cuestionada hasta la revolución.

Se han usado otras fórmulas más tardías como la que da La Magdelaine en sus "Tablettes de Marine" o la que se encuentra en la colección de memorias conservadas en la Bibliothèque Nationale bajo la rúbrica 11.314.

No es posible dar una lista exhaustiva ya que no es el objeto de este estudio. Por otro lado, estas fórmulas tardías no corresponden a la época de construcción de *La Belle*.

Estas 5 fórmulas producen resultados diferentes. No es imposible que los maestros carpinteros las hayan utilizado con una cierta discrecionalidad en función del tipo de buque en cuestión, siendo unas más apropiadas para los buques que presentan grandes capacidades y otras para los veleros finos.

La fórmula que parece dar resultados más precisos es la de Dassié. En el caso de *La Belle*, el tonelaje obtenido se aproxima al que da la fórmula de la ordenanza de 1681. Sin embargo, este resultado parece ligeramente superior al tonelaje real que puede cargar un buque del tipo de *La Belle*.

Por el contrario, la fórmula anónima contenida en el J 355 se muestra menos generosa; no obstante, la altura entre puentes tomada en consideración en esta fórmula como en la de Dassié, inexistente en el caso de *La Belle*, aumenta muy sensiblemente el tonelaje de los buques que poseen dos cubiertas.

A título comparativo, he aquí los resultados obtenidos con estas fórmulas en función de las dimensiones de *La Belle*.

Eslora de roda a codaste	51 pies
Eslora de roda a codaste entre alefrices	49 pies 5 p 21
Longitud de la quilla	45 pies
Manga en el bao maestro	14 pies
Longitud del yugo principal	9 pies 4 p
Puntal en línea recta	7 pies 6 p
Altura entre puentes	0

Según **Dassié**:

$$\frac{(51+45)}{2} \times \frac{(14 + 9 P 4 p)}{2} \times 7 P 6 p + 0 = \frac{4.200}{80} = \mathbf{52,50 \text{ Toneladas}}$$

Según la fórmula anónima contenida en el **documento J 355**:

$$\frac{45 \times 14 \times (7 P 6 p + 0)}{100} = \mathbf{47,25 \text{ Toneladas}}$$

Según maese **Coulomb**:

$$\frac{45 \times 14 \times 7 P 6 p}{60} = \mathbf{78,75 \text{ Toneladas}}$$

Según maese **Blaise** en 1689:

$$\frac{49 P 5 p 21 \times 14 P \times 7 1/2 P}{85} = \mathbf{61 \text{ Toneladas}}$$

Según el **Traité** publicado en 1694:

$$\begin{array}{r} 51 \times 14 \times 7 \frac{1}{2} P \\ \hline 100 \end{array} = 53,65 \text{ Toneladas}$$

La dispersión de los resultados muestra cómo la determinación previa de las dimensiones del buque en función de la carga máxima necesaria, es difícil y aleatoria.

CARACTERÍSTICAS VOLUMETRICAS DE DIFERENTES BUQUES COMPARADOS CON LA BELLE

	<i>La Belle</i> 1684	<i>Le Profond</i> 1684	<i>Chatte</i> 1752	<i>Le Laurier</i> 1690	<i>Le Gaillard</i> 1692
Desplazamiento fuera de miembros	2.654 pies cúbicos	24.701 pies cúbicos	7.204 pies cúbicos	37.154 pies cúbicos	31.419 pies cúbicos
Desplazamiento a proa del gálibo maestro	40,66%	39,40%	47,85%	40,79%	41,39%
Desplazamiento a popa del gálibo maestro	59,34%	60,60%	52,15%	59,21%	58,61%
Diferencia	18,68%	21,20%	9,17%	18,42%	17,22%
Relación entre la superficie sumergida del gálibo maestro y el rectángulo circunscrito	87,17%	87,42%	86,33%	77,21%	78,63%
Relación entre el volumen de la carena y el paralelepípedo circunscrito	56,75%	64,56%	64,24%	53,91%	49,68%
Posición del centro de carena en relación a la perpendicular del codaste	51,56%	50,37%	50,52%	49,49%	50,76

ESTADILLO DE LA POSICION DE LA VARENGA MAESTRA SOBRE LA QUILLA

Años de construcción	Buques	Constructor	Longitud de quilla	Posición de la varenga maestra en relación al extremo de popa de la quilla.	Porcentaje
1674	COURAGEUX	F. Pomet	110 pies	65,5 pies	59,55%
1679	EXCELLENT	H. Mallet	113 pies	67 pies	59,29%
1680	GRAND	H. Mallet	127 pies	75 pies	58,82%
1693	GAILLARD	F. Arnaud	113 pies	69 pies	61,06%
1690	LAURIER	P. Masson	116,5 pies	71,5 pies	61,37%
1691	FULMINANT	P. Masson	135 pies	84,3 pies	62,46%

A pesar de su pequeño número, la constancia de estas cifras parece significativa. El porcentaje dado es el de la longitud de la quilla contada desde el talón al pie del lanzamiento del codaste.