

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Des sciences et de la Technologie MB d'Oran

Faculté de Génie Mécanique
Département de Génie Maritime



Polycopié de

***CONSTRUCTION DES
NAVIRES***

Fait par

Dr. ERROUANE Lahouaria

Septembre 2016



Introduction Générale

Le domaine de la construction navale recouvre l'ensemble de la production de vaisseaux commerciaux, de bâtiments de guerre, de navires de pêche, de bateaux de plaisance, etc. La fonction de la construction navale, elle couvre un domaine qui va de l'aéronef au sous-marin, du plus petit engin flottant au plus grand navire où une communauté, de quelques personnes jusqu'à plusieurs milliers comme les grands paquebots peut être amené à vivre en totale indépendance, coupée physiquement pour un temps plus ou moins long du reste du monde. L'élaboration d'un navire est un processus de conception qui ressemble beaucoup à celui auquel on a recours lorsque l'on conçoit d'autres produits en ingénierie.

Comme beaucoup de projets de conception, la création d'un navire démarre sur des hypothèses et des dimensionnements approximatifs qui au fur et à mesure que le projet avance peuvent être précisés et affinés jusqu'à obtenir un produit acceptable par le marché ou un client, et conforme à des normes encadrant la construction.

Le personnage central de cette réalisation est l'architecte naval. Il s'occupe du design, s'assure du bon déroulement et est le principal acteur du dimensionnement du bateau. C'est pourquoi ses compétences doivent être le plus large possible. Plus ses connaissances et savoir-faire englobent de domaines et plus la communication avec les différents acteurs sera fluidifiée, cela peut même permettre d'en réduire le nombre.

On parlera donc ici sur la construction des navires, dans un manuel qui s'adresse aux étudiants de troisième année licence ainsi qu'aux étudiants en master en génie maritime et à tous ceux qui veulent acquérir les connaissances de base dans la construction des navires en acier. Il est rédigé de manière que l'attention du lecteur se concentre sur les détails de construction, assemblage, dimensions et la jonction de différents éléments de la charpente dans les différentes parties de la structure du navire.

Le polycopié est structuré en neuf chapitres.

Dans le premier chapitre, nous présenterons tout d'abord des généralités sur le domaine de la construction navale, leurs activités aux niveaux nationaux et internationaux, quelques notions de base de la construction des navires ainsi que le principe de flottabilité et de navigation.

Le second chapitre présente la construction de la charpente de fond sans et avec double fond, dans les systèmes transversaux et longitudinaux. Dans ce chapitre on a présenté aussi la fondation du moteur et ses accessoires ainsi que le renforcement de la charpente de fond sous les fondations.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation de la construction des structures des ponts et de la plateforme. Dans ce chapitre, on a montré la charpente de pont dans les deux systèmes de raidissages, les différentes jonctions des éléments de pont aux extrémités du navire. La région entre écoutilles dans le système de raidissage transversal et longitudinal a été aussi présentée dans ce chapitre.

Le quatrième chapitre présente la construction de la charpente des murailles des navires cargo, des pétroliers et des vraquiers dans les deux systèmes de raidissage, les jonctions des liaisons de la charpente des murailles aux appuis et aussi le choix de l'écartement entre membrures.

Les quatre derniers chapitres constituent une présentation des charpentes des épontilles, des structures des cloisons, le pavois, la charpente de coqueron avant et arrière et le dernier sur la structure de la superstructure et roufle.

Ces chapitres comportent, les systèmes de raidissage de la charpente, les différentes liaisons des éléments de constructions ainsi que le rôle et la disposition de chaque structure à bord du navire.



Table de matières

Introduction générale.....	I
Table de matière.....	III
<i>Chapitre I : Introduction Générale sur la Construction Navale</i>	
I. Introduction.....	1
I.1 Activités de la construction navale.....	1
I.2 Architecture navale.....	3
I.3 Présentation du navire.....	5
I.4 Les matériaux de construction.....	10
I.5 Les systèmes de constructions de la charpente du navire	13
<i>Chapitre II : Construction de la Charpente de Fond</i>	
II. Charpente de fond et choix de système de construction.....	17
II.1 Système de construction transversal du fond simple (sans plafond de double fond)....	18
II.2 Construction transversale du double fond	20
II.3 Système de construction longitudinal du fond avec plafond de double fond.....	30
II.4 Système de construction longitudinal du fond avec plafond du double fond	30
II.5 Fondation des moteurs marins, des chaudières et des auxiliaires.....	35
<i>Chapitre III : Construction de la Charpente de Pont et la Plateforme</i>	
III. Construction des structures des ponts et de la plateforme.....	38
III.1 Rôle des ponts et de la plateforme.....	38
III. 2 Constructions des ponts	38
III. 3 Projection des structures de pont	39
II.4 Construction des structures de pont	39
III.5 Construction longitudinale des structures de pont.....	43
II.6 Construction des structures de pont des pétroliers.....	48
<i>Chapitre IV : Construction de la Structure des Murailles</i>	
IV. Introduction	51
IV.2 Système de construction des murailles et conditions de calcul.....	52
IV.3 Charges théoriques.....	54

IV.4 Choix de l'écartement entre membrures.....	55
IV.5. Construction transversale au maitre couple d'un cargo.....	56
IV. 6 Jonction des liaisons de la charpente des murailles aux appuis	60
Chapitre V : Construction des Epontilles et des Cloisons d'Epontillage	66
V.1 Rôle et construction des épontilles.....	66
V.2 Cloison d'épontillage (semi-cloison).....	69
V.3 Barrots consoles.....	70
Chapitre VI: Construction de la Structure des Cloisons	71
VI.1. Généralités, rôle et dispositions des cloisons.....	71
VI.2 Construction des cloisons transversales des cargos.....	73
VI.3 Cloisons transversales des pétroliers.....	75
VI. 4 Cloison longitudinales	76
Chapitre VII : Construction des Pavois et des Hiloires	83
VII. Construction des pavois et des hiloires.....	83
VII.1 Construction du pavois.....	83
VII.2 Construction des hiloires d'écoutes.....	86
Chapitre VIII: Construction du Coqueron, de l'Etrave, de l'Etambot et d'Arbres d'Hélices	89
VIII. Construction du coqueron avant.....	89
VIII.1. Charge et construction du coqueron.....	89
VIII.2. Charpente du coqueron	89
VIII.3. Construction de l'étrave	90
VIII.4 Construction de l'étrave avec bulbe.....	91
VIII.5 Construction du coqueron arrière et de l'étambot.....	93
VIII. 6 Construction de la chaise.....	95
Chapitre IX: Construction de la Superstructure et Roufles	
IX. Introduction.....	97



Table de matières

Introduction générale.....	I
Table de matière.....	III
<i>Chapitre I : Introduction Générale sur la Construction Navale</i>	
I. Introduction.....	1
I.1 Activités de la construction navale.....	1
I.2 Architecture navale.....	3
I.3 Présentation du navire.....	5
I.4 Les matériaux de construction.....	10
I.5 Les systèmes de constructions de la charpente du navire	13
<i>Chapitre II : Construction de la Charpente de Fond</i>	
II. Charpente de fond et choix de système de construction.....	17
II.1 Système de construction transversal du fond simple (sans plafond de double fond)....	18
II.2 Construction transversale du double fond	20
II.3 Système de construction longitudinal du fond avec plafond de double fond.....	30
II.4 Système de construction longitudinal du fond avec plafond du double fond	30
II.5 Fondation des moteurs marins, des chaudières et des auxiliaires.....	35
<i>Chapitre III : Construction de la Charpente de Pont et la Plateforme</i>	
III. Construction des structures des ponts et de la plateforme.....	38
III.1 Rôle des ponts et de la plateforme.....	38
III. 2 Constructions des ponts	38
III. 3 Projection des structures de pont	39
II.4 Construction des structures de pont	39
III.5 Construction longitudinale des structures de pont.....	43
II.6 Construction des structures de pont des pétroliers.....	48
<i>Chapitre IV : Construction de la Structure des Murailles</i>	
IV. Introduction	51
IV.2 Système de construction des murailles et conditions de calcul.....	52
IV.3 Charges théoriques.....	54

IV.4 Choix de l'écartement entre membrures.....	55
IV.5. Construction transversale au maitre couple d'un cargo.....	56
IV. 6 Jonction des liaisons de la charpente des murailles aux appuis	60
Chapitre V : Construction des Epontilles et des Cloisons d'Epontillage	66
V.1 Rôle et construction des épontilles.....	66
V.2 Cloison d'épontillage (semi-cloison).....	69
V.3 Barrots consoles.....	70
Chapitre VI: Construction de la Structure des Cloisons	71
VI.1. Généralités, rôle et dispositions des cloisons.....	71
VI.2 Construction des cloisons transversales des cargos.....	73
VI.3 Cloisons transversales des pétroliers.....	75
VI. 4 Cloison longitudinales	76
Chapitre VII : Construction des Pavois et des Hiloires	83
VII. Construction des pavois et des hiloires.....	83
VII.1 Construction du pavois.....	83
VII.2 Construction des hiloires d'écoutes.....	86
Chapitre VIII: Construction du Coqueron, de l'Etrave, de l'Etambot et d'Arbres d'Hélices	89
VIII. Construction du coqueron avant.....	89
VIII.1. Charge et construction du coqueron.....	89
VIII.2. Charpente du coqueron	89
VIII.3. Construction de l'étrave	90
VIII.4 Construction de l'étrave avec bulbe.....	91
VIII.5 Construction du coqueron arrière et de l'étambot.....	93
VIII. 6 Construction de la chaise.....	95
Chapitre IX: Construction de la Superstructure et Roufles	
IX. Introduction.....	97



I. Introduction

L'industrie de la construction navale englobe la réparation navale, la déconstruction, industrie naissante et va englober un secteur énergies marines. La construction navale se positionne sur des navires à forte valeur ajoutée, de très grandes spécificités : paquebots, navires à grande vitesse, sous-marins, navires furtifs, navires de pêche : du grand thonier océanique au plus petit côtier, navires de recherche, de servitude, de l'offshore des pétrolier... De ce fait les professionnels employés couvrent un spectre de compétences quasi infini, de grande capacité d'adaptation à l'innovation, et à des niveaux de responsabilité très divers. Les techniques les plus en pointe sont en permanence mise en œuvre. Ces professionnels se retrouvent tant dans les chantiers eux-mêmes (ensemblers) que chez les fournisseurs et les sous-traitants. Ces derniers représentent souvent plus de la moitié de la valeur du navire. Par la suite les tâches de l'architecte naval sont de deux ordres : le dessin proprement dit du navire (Carène, pont, voilure, etc.) et tous les calculs y afférents. Ce travail suppose donc de bonnes connaissances en mathématiques, physique, résistance des matériaux, dessin industriel, informatique.

La construction navale comporte les éléments suivants :

- ✦ **Charpentier-Fer** : Il est chargé d'assembler d'après les plans les différents éléments de la coque métallique après usinage ; il réalise les opérations de découpage, de réglage et d'agrafage nécessaires au montage de ces éléments.
- ✦ **Chaudronnier-Tôlier** : son travail consiste à mettre en forme des tôles, des profilés métalliques d'après les plans qui lui ont été confiés
- ✦ **Chef de projet** : cet ingénieur dirige une équipe pour la réalisation d'une partie d'un grand ensemble au niveau de la conception, de l'étude ou de la réalisation.
- ✦ **Dessinateur en construction navale** : le dessinateur travaille en étroite collaboration avec l'ingénieur chef de projet pour établir les dessins détaillés de toutes les pièces et en établir la nomenclature : cette tâche est un préalable à la mise en fabrication du produit. Le dessinateur doit veiller à ce que ses plans satisfassent les règles de fabrication des sociétés de classification, telles que le Bureau Veritas.
- ✦ **Ingénieur en construction navale** : cette appellation ne correspond pas à un titre officiel, mais plutôt à des spécialités, choisies en option, par des ingénieurs sortant de différentes grandes écoles. Les rôles confiés à ces ingénieurs sont d'ailleurs très nombreux et s'orientent autour de deux fonctions principales : d'une part, la conception des navires considérés comme des systèmes complets, ainsi que de leurs



différents équipements (machines, aides à la navigation, etc.), d'autre part la réalisation des plans, le suivi de la fabrication, la responsabilité de la mise au point, la surveillance de la conformité entre la conception et l'exécution. Dans le premier cas l'ingénieur travaillé au sein d'un bureau d'études avec toute une équipe, dans le second cas il joue le rôle de chef de projet en usine ou sur un chantier de construction navale.

- ❖ **Technicien de calcul en construction navale** : Appelé aussi technicien de bureau d'études ou projeteur, il est chargé de réaliser les calculs en fonction desquels sont définies les caractéristiques des pièces utilisées en construction mécanique. Il travaille sous la direction d'un ingénieur d'études ou d'un chef de projet. Il est souvent spécialisé dans tel ou tel domaine : coque, structures du navire, hélice, équipements, etc.
- ❖ **Technicien d'agencement intérieur** : il exécute les travaux d'aménagement et de finition qui rendent le bateau habitable.
- ❖ **Traceur de coque** : Il reporte les formes sur les tôles à découper.
- ❖ **Peintre en construction navale** : les travaux de peinture revêtent une grande importance dans l'industrie navale pour d'autres raisons que la seule esthétique : c'est de la qualité de la peinture que dépend la protection du navire contre les corrosions et en particulier la rouille. De même, de la propreté des carènes dépendent les performances, et donc la consommation en combustibles du navire. Or il existe des traitements de surface assez complexes bien adaptés à ces problèmes. Il s'agit donc d'un métier de bonne technicité, qui demande en outre le respect de règles de sécurité en raison de la toxicité de certains produits employés
- ❖ **Plombier** : il est chargé de toutes les connexions des fluides en relation avec hydraulicien, motoriste, soudeur et tuyauteur.
- ❖ **Soudeur** : il assemble les tôles et profilés intégrés aux structures, ainsi que toutes les tuyauteries du bord.
- ❖ **Manutentionnaire** : les éléments à assembler du plus léger au plus lourd (plusieurs dizaines de tonnes) nécessitent des conducteurs d'engins roulants, portiques, grues.
- ❖ **Mécanicien** : la motorisation principale ou auxiliaire demande la présence de monteurs et de régleur.
- ❖ **Monteur** : nombre d'éléments livrés par des sous-traitants et des équipementiers extérieurs au chantier nécessitent des monteurs spécialisés, mécaniciens, motoristes...



- ❖ **Oxycoupeurs** : ils pilotent des machines à commandes numériques pour la découpe des tôles et profilés métalliques.
- ❖ **Études** : bureau confié à un ingénieur chef de projet.
- ❖ **Frigoriste** : il se charge des équipements froids et climatisation
- ❖ **Autres personnels de la construction navale** : en complément des métiers cités ci-dessus, on trouve dans la construction navale des métiers qui sont l'application aux navires de métiers que l'on rencontre en général dans la métallurgie et l'industrie mécanique : tourneurs, fraiseurs, etc.
- ❖ **Hydraulicien** : il se charge des circuits des nombreux fluides utilisés à bord en relation avec les motoristes...

I.1 Activités de la construction navale

La construction navale est devenue progressivement une véritable industrie. L'activité de construction de la construction navale est, en majeure partie, orientée vers la satisfaction des besoins de la flotte de commerce et de la pêche. Elle s'exerce également pour le compte des marines militaires nationales ou étrangères. Elle est complétée par l'activité de réparation navale, parfois menée par les mêmes chantiers.

En dépit de fluctuations conjoncturelles souvent importantes, ce marché se caractérise sur le long terme par une tendance expansionniste due en particulier à l'augmentation continue de la population, à l'élévation de son niveau de vie ou encore au développement du phénomène de mondialisation.

Parallèlement, les produits de cette industrie se diversifient, par exemple dans l'offshore pour l'exploitation des hydrocarbures ou des énergies marines renouvelables (éoliennes offshore), et ils intègrent de plus en plus de nouvelles technologies. Le travail des chantiers s'en trouve évidemment modifié, les méthodes de conception et les procédés de fabrication des navires faisant de leur côté appelle aux technologies les plus élaborées.

Le métier de la construction navale consiste donc essentiellement à concevoir le navire, puis à intégrer des éléments techniques très divers en vue de réaliser le système complexe que constitue tout navire moderne.

I.2 Architecture navale

L'architecture navale est l'art de concevoir des navires répondant à des programmes imposés. Les armateurs de navires marchands et les états-majors des marines de guerre fixent les programmes ; les architectes navals établissent les plans des navires susceptibles de



permettre l'exécution de ces programmes dans les meilleures conditions possibles de coût et d'efficacité.

Les navires modernes sont des ouvrages complexes, qui mettent en jeu la plupart des techniques. Les architectes navals en sont les maîtres d'œuvre, animateurs d'équipes de plus en plus diversifiées. Leur responsabilité d'ensemble exige qu'ils conservent directement la charge des éléments fondamentaux que sont les formes, les structures de résistance et les dispositions intérieures ou emménagements. Le domaine propre de l'architecture navale est traditionnellement limité à ces éléments.

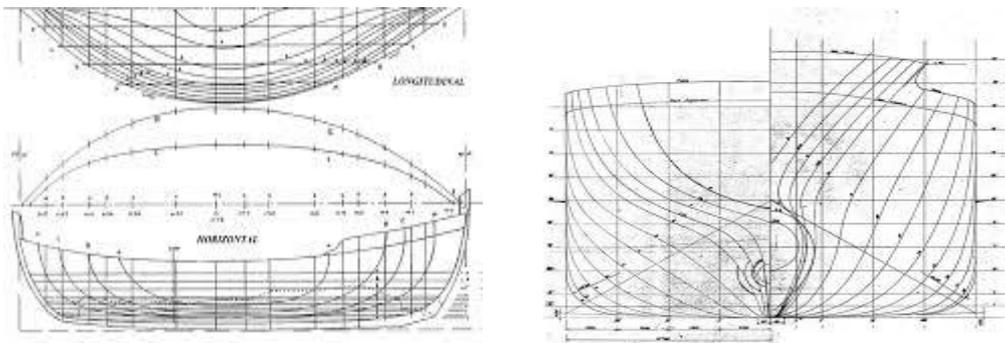


Figure I.1. Plan de forme.

Les caractéristiques de flottabilité, de stabilité, de propulsion, de tenue à la mer et de manœuvrabilité d'un navire dépendent des formes extérieures de la partie immergée, appelée **Carène**.

L'étude systématique de ses caractéristiques en fonction des formes de carènes constitue la théorie du navire, science appliquée fondamentale pour l'architecte naval, dont l'origine ne remonte pas au-delà du XVIII^e siècle et qui est encore loin d'avoir reçu tous les développements possibles. Elle comprend deux parties : la statique, qui considère le navire immobile, donc en eau calme ; et la dynamique, qui considère le navire en mouvement.

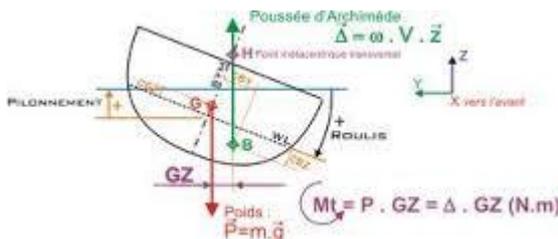


Figure I.2. Stabilité de navire.

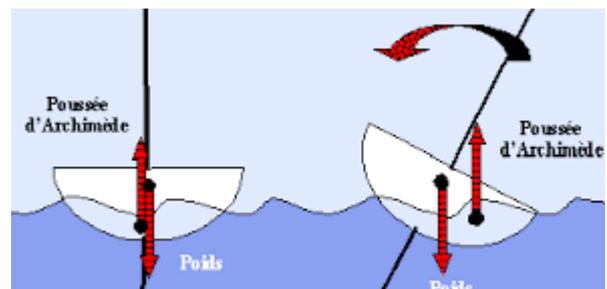


Figure I.3. Condition de flottabilité.

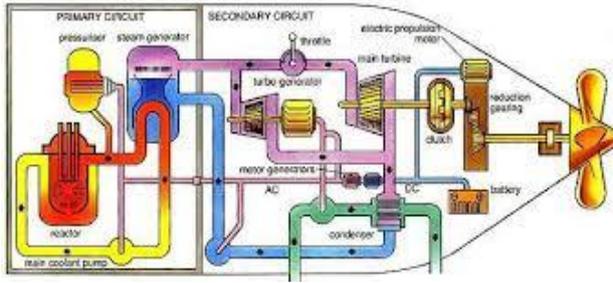


Figure I.4. Système de propulsion.

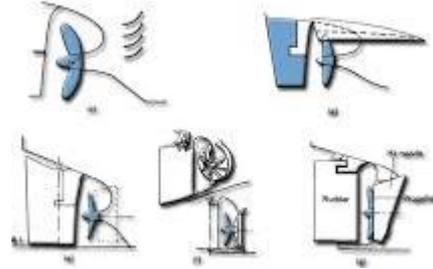


Figure I.5. Manœuvrabilité de navires.

I.3 Présentation du navire

Un navire est avant tout un flotteur. Utilisé depuis des temps immémoriaux pour le transport des hommes et des marchandises, ou encore comme Engin de combat, le navire a connu des évolutions lentes jusqu'à l'apparition de la machine à vapeur et de la construction mécanique, et ce n'est guère qu'au milieu du XIX^e siècle que la construction navale. A partir de cette caractéristique principale, celui-ci est soumis à des règles spéciales de flottabilité. Afin d'assurer son étanchéité, un navire se construit longitudinalement en compartiments individuels dont la disposition et l'échantillonnage des éléments qui composent sa structure interne ainsi que l'épaisseur des tôles qui constituent ses bordes sont calculé selon les règlements.

I.3.1 Principe de flottabilité

Le principe fondamental qui permet à un navire de flatter sur l'eau découverte par Archimède s'énonce de la façon suivante:

- Tout corps plonge dans un liquide reçoit une poussée équivalente verticale ascendante égale au poids du volume du liquide déplacé.
- Le centre de poussée sera à la même perpendiculaire au centre de gravité. Toutefois, l'égalité des forces en présence (poids et poussée) en un point donné de la coque n'est pas, pour autant, constante. Cela est dû à la forme de la carène et à une répartition inégale des poids, telle qu'une mauvaise répartition du chargement, par un plan d'eau agité ou encore à l'occasion d'un passage au chantier ou lors d'un échouage (voir la figure I.3).

Tous les navires autant que construction doivent possèdent des qualités communes bien déterminées assurant leur sécurité pendant leur navigation et la conservation des marchandises qu'ils possèdent, ces qualités :



1) **Qualités de navigation (aptitudes à la mer) :**

- ✿ la flottabilité ;
- ✿ la stabilité (six degrés de liberté) ;
- ✿ l'insubmersibilité ;
- ✿ la manœuvrabilité (aptitude du navire à garder une direction voulue)

2) **Qualité d'exploitation :**

- ✿ la capacité de charge en tonnes, ou volumique ;
- ✿ la vitesse (d'essai ou exploitation) ;
- ✿ l'autonomie du navire ;
- ✿ le rayon d'action (zone de navigation)

En plus de ces qualités la coque du navire doit avoir une bonne résistance et une assurance suffisante pour un poids minimum et elle doit être facilement accessible. La garantie de toutes ces qualités un problème très complexe qui nécessite des connaissances très approfondies et variées caractéristique de la coque du navire, forme structure de la coque, type et liaison principales.

I.3.2 Caractéristiques de la coque du navire

La coque d'un navire est l'ensemble des structures, généralement métalliques, qui répondent aux quatre fonctions suivantes : matérialiser la carène ; résister aux efforts en service (les éléments correspondants constituent la charpente) ; assurer la sécurité contre un envahissement par l'eau et contre la propagation d'un incendie (les éléments correspondants constituent le compartimentage de sécurité) ; loger les appareils, équipements et installations nécessaires pour satisfaire au programme de navigation en sécurité.

Les caractéristiques générales d'un navire sont mesurées de façon précise et font partie des spécifications techniques de la construction d'un navire. Elles déterminent les dimensions principales d'un navire et sont utilisées pour les différents calculs relatifs à l'épaisseur de l'ensemble des tôles ainsi que pour la plupart des échantillonnages des éléments structuraux primaires et secondaires, figures suivantes :

- ✿ **Ligne de flottaison ou bien la longueur de flottaison :** la ligne de flottaison désigne la ligne qui sépare la partie immergée de la coque d'un navire de celle qui est émergée. C'est une des caractéristiques essentielles utilisées en architecture navale. Elle désigne la longueur de la carène, c'est-à-dire la longueur de la coque au niveau de sa ligne de flottaison. La flottaison normale ou nominale est le plus souvent mesurée au



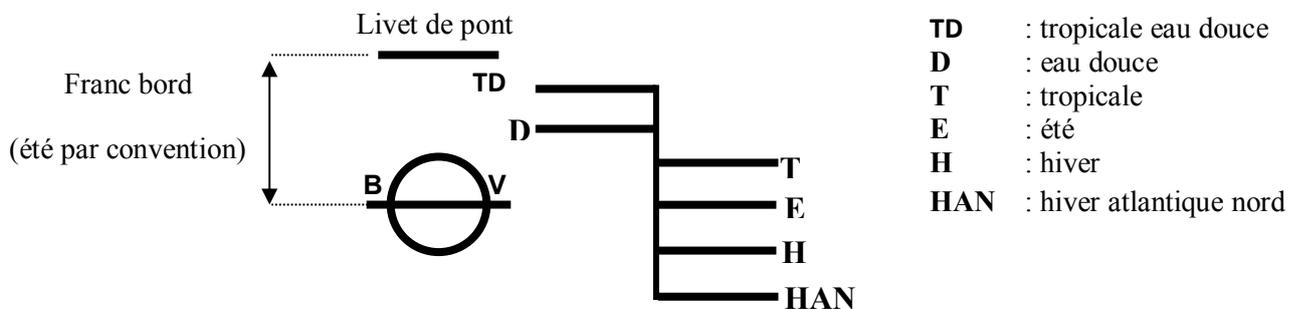
« déplacement en charge » effectif du navire. L'intersection de la coque avec la surface peut être difficile à établir pour les navires aux formes arrière compliquées. La connaissance de ces règles est nécessaire pour concevoir et utiliser des navires car il faut maîtriser leur ligne de flottaison à vide, ainsi que la charge maximale qu'ils pourront supporter avant que cette ligne de flottaison soit trop proche du haut de la coque.

- ❖ **Longueur hors tout LHT ou LOA :** La longueur hors-tout ou longueur d'encombrement, en général notée LHT ou LOA pour Length over all, est une mesure d'un bateau utilisée en architecture navale. Elle correspond à la distance entre les points extrêmes avant et arrière de la structure permanente du bateau. Il s'agit de la longueur mesurée à partir de l'extrême avant jusqu'à l'extrême arrière d'un navire.
- ❖ **Longueur :** pour un navire à vocation commerciale, la longueur d'un navire est la distance, à la ligne de flottaison en charge d'été, de la face avant de l'étrave jusqu'à l'axe de la mèche du gouvernail. Pour les sociétés de classification, cette longueur sert de longueur de calcul si elle se situe, à la ligne de flottaison entre 96 % et 97 % de la longueur hors tout.
- ❖ **Longueur entre perpendiculaires (L.B.P. au Lpp):** la longueur entre perpendiculaires est égale à 96% de la longueur totale de la flottaison, située à une distance au-dessus de la quille égale à 85% du creux sur quille, ou à la distance entre la face avant de l'étrave et l'axe de la mèche du gouvernail à cette flottaison si cette valeur est supérieure (LBP Length between perpendiculars). Sur un navire de commerce, la différence entre LOA et LBP peut être importante. On utilise également la longueur à la flottaison qui dépend du chargement et qui est variable. On distingue particulièrement la longueur à la flottaison en charge.
- ❖ **Les perpendiculaires (PPav), (PPar) et (PPm) :** les perpendiculaires avant et arrière sont prises aux extrémités avant et arrière de la longueur entre perpendiculaires. La perpendiculaire avant (PPav) doit passer par l'intersection de l'étrave avec la flottaison sur laquelle est mesurée la longueur. La perpendiculaire arrière (PPar) ne passe donc pas toujours par l'axe de la mèche du gouvernail. Le perpendiculaire milieu (PPm) est situé au milieu de la longueur entre perpendiculaires, donc à égale distance de la PPAV et de la PPAR.
- ❖ **Largeur (B) :** La largeur hors tout du navire (B Breadth) est la largeur maximale mesurée au milieu du navire (au maître-couple ou maître-bau qui est le barrot situé



dans la plus grande largeur du navire). On parle également de largeur hors membres lorsque l'épaisseur des bordés n'est pas comprise.

- ❖ **Creux (D) :** le creux sur quille est la distance verticale mesurée du dessus de la quille à la face supérieure du barrot au livet en abord du pont de franc-bord. Le livet d'un pont était la ligne marquant l'intersection de ce pont avec la muraille d'un navire. Le creux de franc-bord est le creux sur quille mesurée au milieu du navire augmenté de l'épaisseur de la tôle gouttière du pont de franc-bord.
- ❖ **Tirant d'eau (d) ou (T):** en architecture navale seulement, le tirant d'eau est mesuré verticalement à partir du dessus de la quille, au milieu du navire jusqu'à la ligne de flottaison en charge d'été. Le tirant d'eau est la hauteur de la partie immergée du bateau qui varie en fonction de la charge transportée.
- ❖ **Tirant d'eau en charge :** lorsque le navire est chargé.
- ❖ **Tirant d'eau léger :** lorsque le navire est vide.
- ❖ **Franc-bord :** le franc-bord est mesuré verticalement entre la ligne de flottaison en charge d'été jusqu'à la partie supérieure en abord du pont continu et étanche le plus élevé, au milieu du navire. Le franc-bord du navire est la distance qui sépare le livet de pont et l'un des traits horizontaux qui constituent les marques de franc bord. Ainsi il y a le franc bord d'été, d'hiver et tropical, les lignes de charge. Le franc bord joue un rôle capital en ce qui concerne la flottabilité et la stabilité du navire. Le franc bord marque le centre du navire. Cette marque est posée par les sociétés de classification qui se chargent de calculer le franc bord conformément aux règles internationales. Les océans sont divisés en zones de navigation (LL 66): été, hiver, tropicale. En fonction des dates de navigation dans ces zones le capitaine veillera à respecter la ligne de charge correspondante. Les périodes de navigation fixées tiennent compte de la force des vents dans la zone concernée



- ❖ **Le pont de franc-bord :** est "normalement le pont complet le plus élevé exposé aux intempéries et à la mer et qui possède des dispositifs permanents de fermeture de



toutes les ouvertures situées dans les parties découvertes et au-dessous duquel toutes les ouvertures pratiquées dans le bordé sont munies de dispositifs permanents de fermeture étanche”.

- ❖ **Maitre-couple** : le maitre-couple, ou le milieu d'un navire, correspond à sa demi-longueur entre perpendiculaires. Il est à noter que du côté pratique, le maitre-couple correspond au couple de construction situé le plus près de la moitié de la longueur d'un navire entre perpendiculaires.
- ❖ **Région milieu** : la région milieu ou $.4L$ d'un navire correspond à la région située à 20 % en avant et en arrière du maitre-couple. De **0.2L à l'avant** : lorsqu'il est spécifié une région particulière d'un navire, telle que $0.2L$ ou $0.05L$ à l'avant ou à l'arrière, cette distance est mesurée en pourcentage de la longueur du navire, à partir des perpendiculaires avant et arrière respectivement.
- ❖ **Extrémités avant et arrière** : à moins d'indication contraire, les extrémités avant et arrière sont définies comme étant situées à l'extérieur de la région milieu d'un navire.
- ❖ **Ecartements des couples de construction** : écartements selon lesquels des éléments structuraux peuvent être agencés. Pour un navire dit « de construction transversale », un élément de structure sera disposé à chacun des couples de construction, suivant un écartement longitudinal de couples prédéterminé.

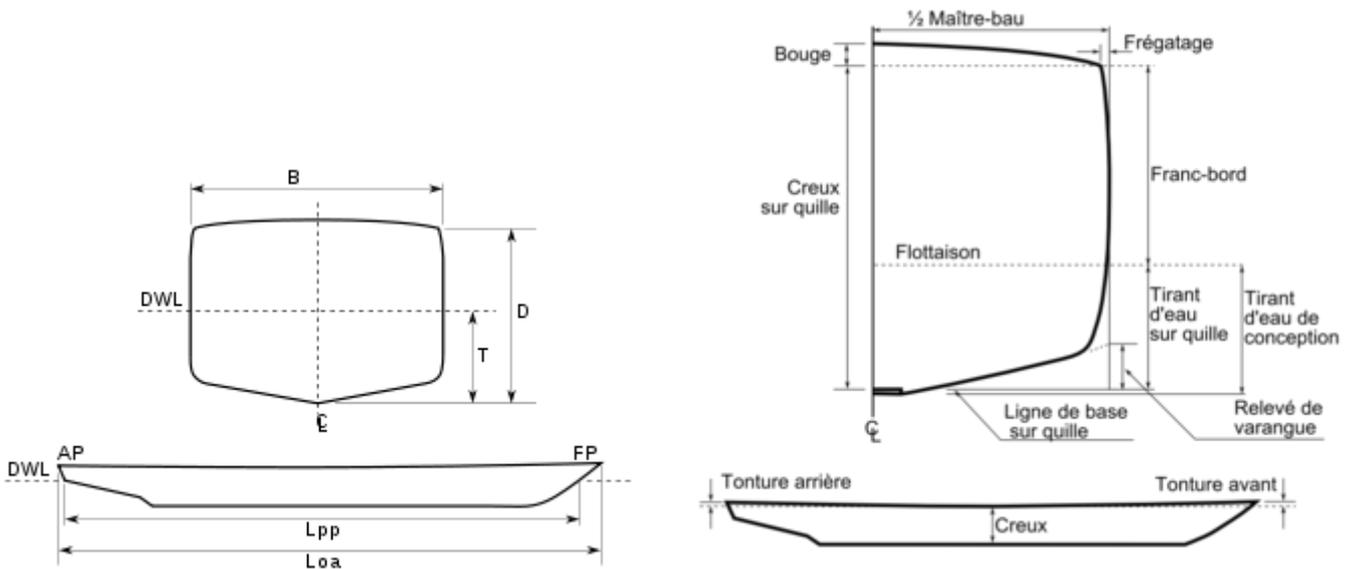


Figure I.6. Caractéristique générale de la coque du navire.

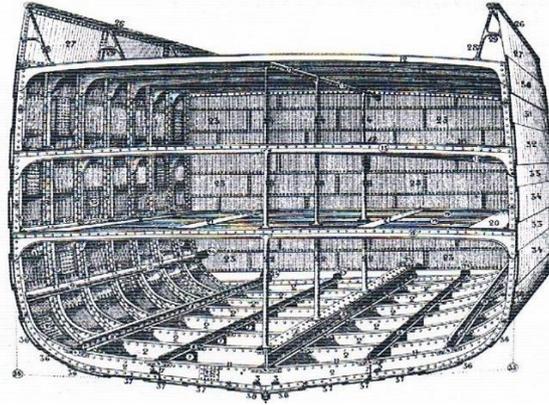


Figure I.7. Vue sur le la section maitresse (maitre-couple) d'un navire commercial.

I.4. Les matériaux de construction

La construction d'un navire est un processus complexe d'une haute technicité. Elle demande la collaboration étroite de nombreux personnels qualifiés et d'une main-d'œuvre contractuelle qui travaille en général sous la direction d'un entrepreneur principal. On construit des bateaux à des fins commerciales ou militaires. C'est une activité à caractère international, où quelques grands chantiers navals se battent pour conquérir leur part d'un marché relativement restreint. La coque est l'enveloppe extérieure du navire, elle est constituée du bordé, est étanche pour la partie immergée (œuvres vives) et a, généralement, des formes étudiées pour que le bateau puisse se déplacer assez facilement dans l'eau. Jusqu'à une époque relativement récente, les coques étaient exclusivement réalisées en bois. Grâce à l'évolution des sciences et des techniques, les coques sont maintenant construites en matériaux très variés, chacun étant plus ou moins adapté à tel ou tel type de construction.

✿ Construction des navires en bois :

Il s'agit du matériau de construction historique, mais aussi du moins résistant lorsqu'il est utilisé en construction classique (bois massif). Par contre, en lamellé-collé, sa résistance est équivalente voire supérieure au composite pour un poids proche. Différents types de constructions existent tels que :

- ✿ **Le bois classique** : utilisé pendant des siècles, Il donne des bateaux très solides mais aussi très lourds. Sa mise en œuvre nécessite un véritable savoir-faire.
- ✿ **Le contreplaqué-époxy** : le contreplaqué a, grâce à l'époxy (100% étanche), retrouvé un réel intérêt dans la construction de bateaux moderne. Sa mise en œuvre est très simple, grâce à l'utilisation de machines de découpe modernes. Au risque de devoir convaincre les sceptiques, à masse égale, une construction en contreplaqué-époxy



renforcé de tissus de verre multiaxiaux, serait équivalente voire supérieure à une construction en alu ou en acier, n'en déplaise aux défenseurs de cette dernière. On obtient des bateaux légers, très solides y compris à l'impact, grâce à l'adjonction de renforts stratifiés (verre, carbone, ou kevlar). Leur résistance à la fatigue est excellente, leur entretien réduit au minimum et il est facile de les rénover au bout de quelques années. Par ailleurs ils ne subissent pas les détériorations dues à l'osmose, l'électrolyse ou l'oxydation, types de réactions induites par l'eau.



Figure I.8. Charpente en bois classique.



Figure I.9. Bateau en contreplaqué-époxy.

❖ **Construction en acier :**

Du fait de son poids, l'utilisation de ce matériau est réservée à la construction des unités de plus de 15m. L'acier est actuellement le matériau le plus répandu (en considérant le tonnage de la flotte mondiale). C'est aussi le plus durable et solide, avec notamment une énorme résistance aux chocs. Sur certains voiliers de plaisance, on utilise également l'acier inoxydable, peu utilisé car cher. Le coût est raisonnable, quoiqu'il s'agisse d'un argument de moins en moins vrai. Sa mise en œuvre demande un véritable savoir-faire, les réparations peuvent se faire partout, même en dehors d'un chantier.



Figure I.10. Charpente en acier.



Figure I.11. Navire en acier.



✦ Construction en Aluminium

L'aluminium plus moderne, il reprend la plupart des qualités de l'acier, en éliminant les défauts. Les avantages qui le font préférer à l'acier sont la légèreté, la résistance à la corrosion (traitements par réaction du zinc silicate en phase aqueuse), le non magnétisme, donc l'absence d'interférence avec le matériel de bord (compas). Par ailleurs, on constate une grande résistance mécanique, surtout pour les constructions en fortes épaisseurs types « Strongall », qui perd par contre en légèreté donc en performances. C'est aujourd'hui le résolu au détriment de l'esthétique, en laissant la coque brute.



Figure I.12. Charpente en aluminium.



Figure I.13. Navire en aluminium.

✦ Construction en matériaux composite

Ils comprennent le ferrociment, le polyester stratifié, les plastiques, les sandwichs. Les matériaux composites modernes permettent la construction en série de bateaux, et donc l'abaissement des coûts de production. Ce type de construction actuelle est réalisé à partir d'un moule sur lequel on superpose des couches de fibre de verre et de résine. Pour les bateaux de course, on remplace la fibre de verre par de la fibre de carbone, plus résistante.



Figure I.14. Navire de plaisance



Figure I.15. Navire de course en composite



On comprend bien que le choix du matériau de construction est important, et doit répondre à différents critères tels que le coût d'acquisition, le coût d'entretien, la facilité d'entretien, la sécurité, le confort, l'esthétique, la revente... Mais surtout ce choix doit correspondre au programme de navigation envisagé. Ajoutons toutefois qu'à moins de raisons particulières comme le goût pour la tradition ou le plaisir d'entretenir un gréement de collection, il est raisonnable de s'orienter vers un matériau moderne, les composites polyester ayant remplacé l'acier, qui lui-même a remplacé le bois. Une mention particulière à l'aluminium qui constitue la solution idéale pour les grandes croisières hauturières.

I.5 Les systèmes de constructions de la charpente du navire

✦ Système de construction transversal

Un navire conçu à partir d'un système de construction transversale est caractérisé par le fait que toute la structure secondaire est disposée transversalement, c'est-à-dire que la maille du navire est dirigée dans le sens transversal du navire et que les éléments transversaux tels que les varangues dans la charpente du fond et les barrots dans la charpente du pont sont les plus fréquents. La construction transversale est surtout utilisée sur les navires d'une longueur inférieure à 120 mètres. Ce type de construction offre une transmission homogène des efforts verticaux. La résistance longitudinale est assurée par la quille, la carlingue centrale, les carlingues latérales, les hiloires, tout le bordé de fond, de pont et des côtés, ainsi que par le plafond de double fond. Cette construction transversale assure une bonne indéformabilité de la section transversale aux efforts d'ensemble, aux charges verticales, au roulis et à la mise en cale sèche.

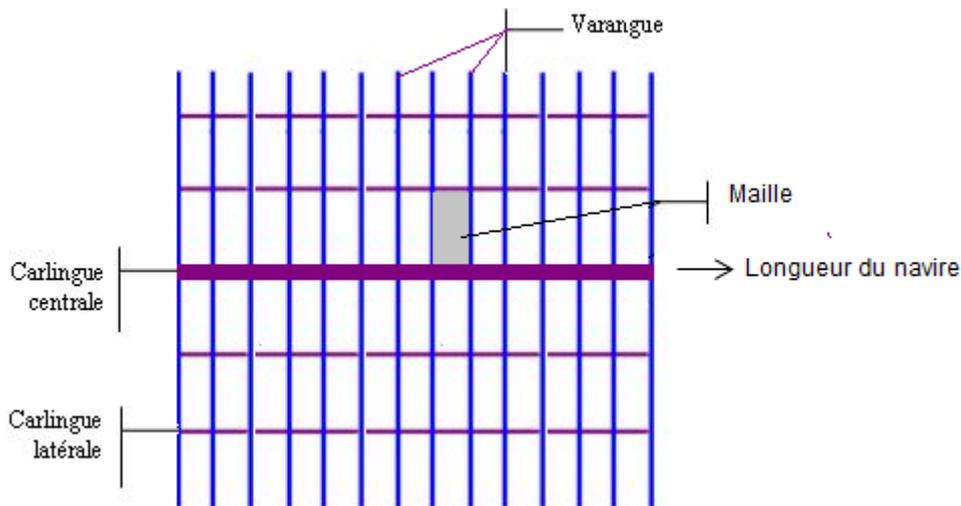


Figure I.16. Système de construction transversal de la structure de fond.



⚓ **Système de construction longitudinal**

Un système de construction du type longitudinal se caractérise par le fait que tous les éléments structuraux secondaires sont disposés longitudinalement, du moins dans la région milieu d'un navire c'est-à-dire que la maille du navire est orientée dans le sens longitudinal du navire et que les éléments longitudinaux tels que les lisses sont les plus nombreux.

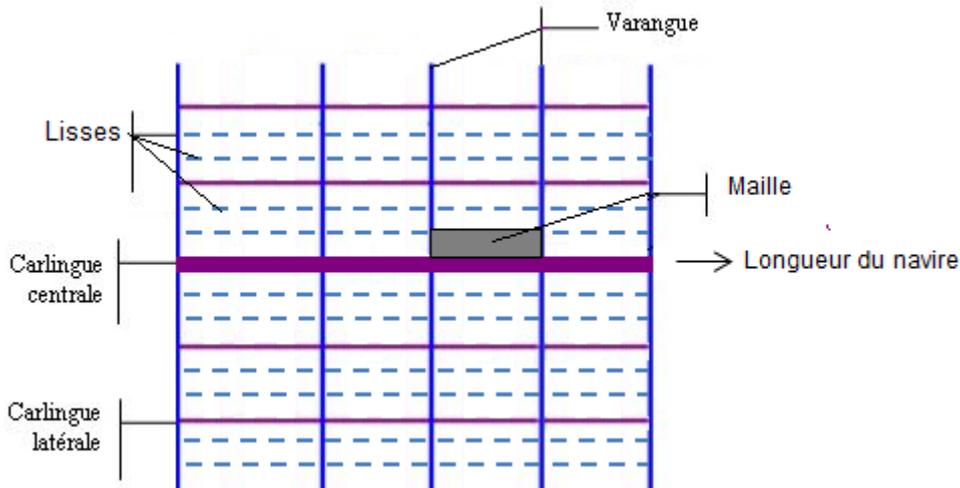


Figure I.17. Système de construction longitudinal de la structure de fond.

I.5.3 Système de construction mixte

Les éléments secondaires, tous disposés transversalement, ne contribuent pas à la résistance longitudinale d'un navire, la construction mixte combine la construction longitudinale et transversale. Ce système est peu employé et la moins rationnelle du point de vue indice de poids ou du point de vue assurance de la résistance des mailles, dans ce système la maille limitée par les raidisseurs longitudinaux et transversaux a une forme proche au carré, ce raidissage est employé sur certaines structures par exemple sur les structures de fond des grands minéraliers.

Les figures I.18-I.21, représentent, la section maitresse d'un navire cargo construit en système de raidissage transversal, longitudinal et mixte respectivement.

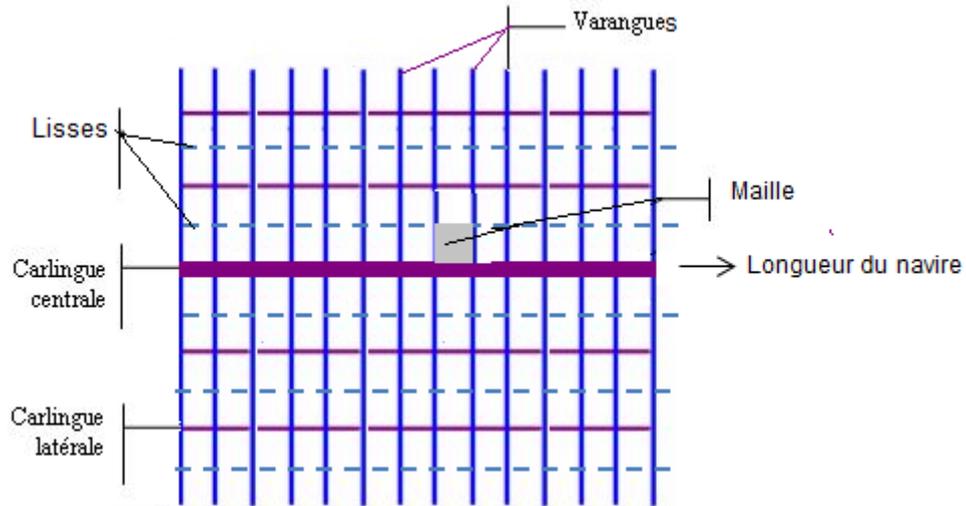


Figure I.18. Système de construction mixte de la structure de fond.

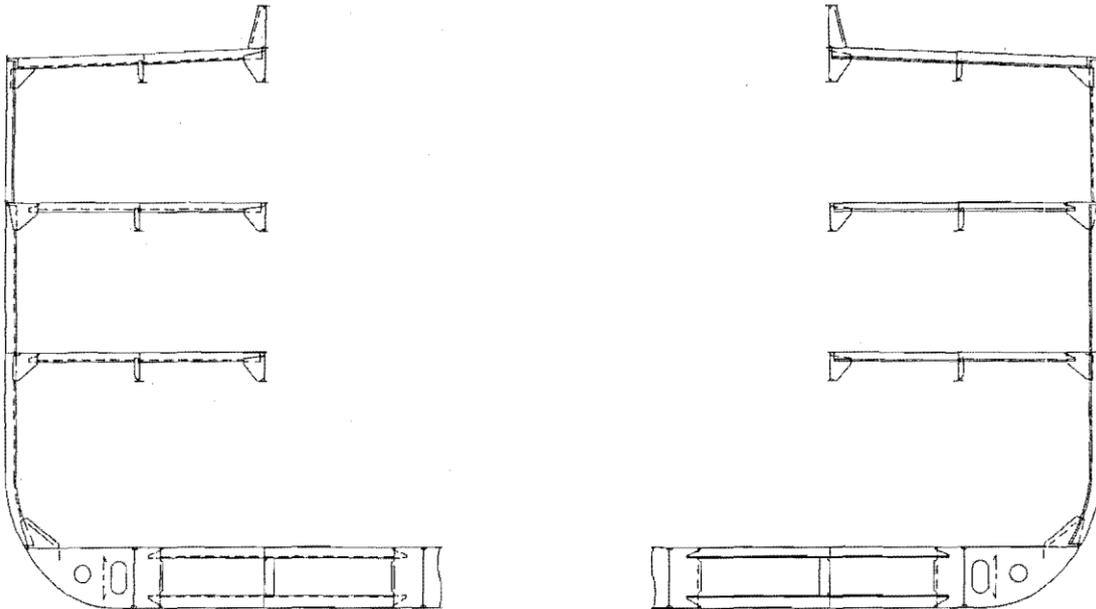


Figure I.19. Système de construction typiquement transversal.

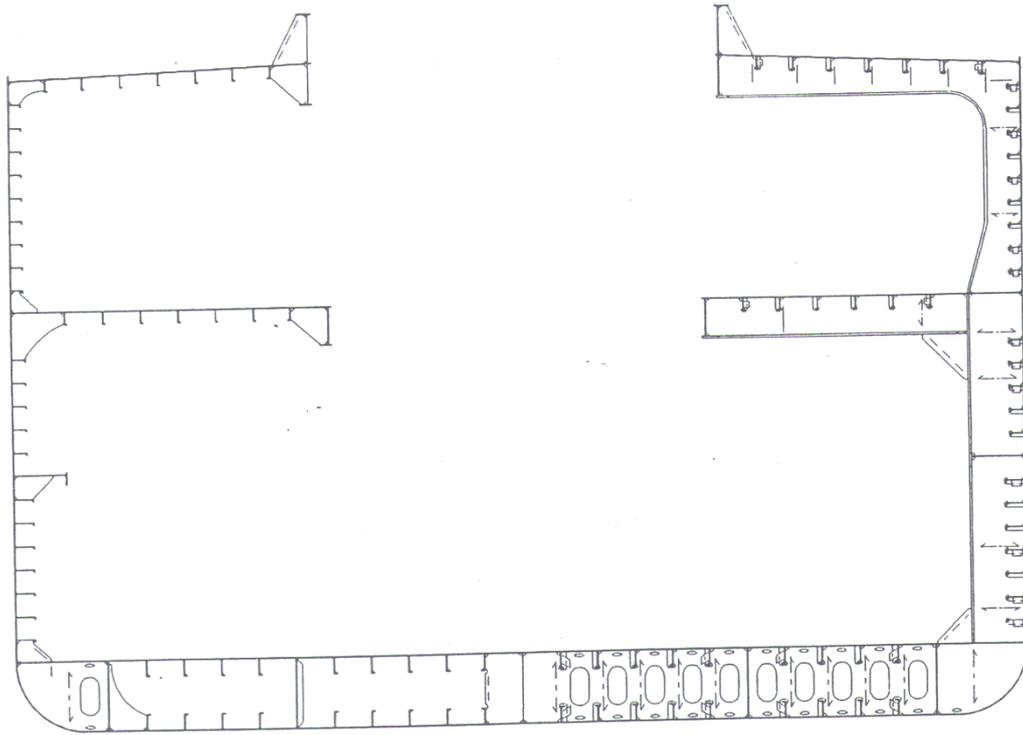


Figure I.20. Système de construction typiquement longitudinal.

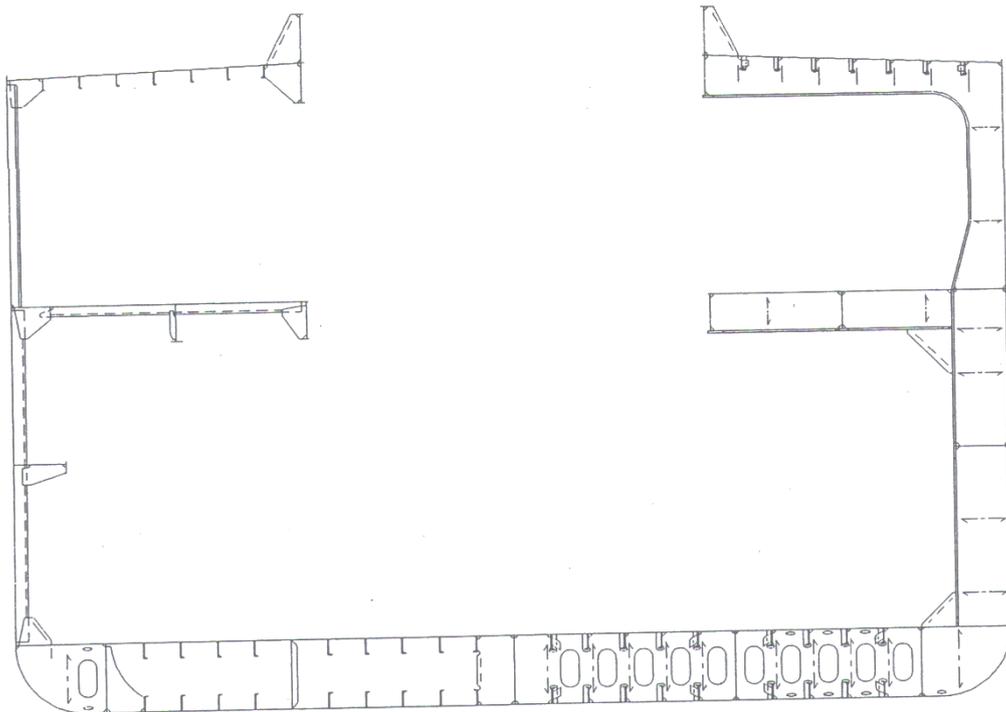


Figure I.21. Système de construction mixte.



II. Charpente de fond et choix du système de construction

La charpente de fonds est destinée à assurer la résistance et la stabilité extérieure du fond, et du bordé du plafond de double fond, à la perception des charges (poids de la cargaison, pression hydrostatique,...ets).

Elle est constituée d'un ensemble de poutres longitudinales et transversales soudées entre elles, et au bordé extérieur de fond, et de bordé de plafond de double fond s'il existe.

Le système de construction des structures de fond est choisi en fonction de dimensions et de la destination fonctionnelle du navire.

- ✦ Sur les petits navires, la construction est en général transversale, ($L < 90$ m) et souvent sans plafond de double fond. Si sur le navire il ya nécessité de double fond dans les autres régions on peut construire des plafonds non étanches.
- ✦ Sur les grands navires, la charpente de fond éprouve des charges considérables (dues à la flexion longitudinale générale), elle est faite en système de construction longitudinale ou transversale.
- ✦ Sur les navires transportant des cargaisons lourdes, la charpente est exécutée en système mixte dans le but d'assurer une résistance suffisante (résistance locale en plus de la résistance longitudinale générale).
- ✦ Sur les navires à cargaison sèche (cargos), la charpente de fond est recouverte de bordé étanche ou non étanche.
- ✦ Sur les petits navires de $L \leq 40$ m, il est possible de faire un plafond non étanche.
- ✦ Sur les navires de $50 < L < 65$ m, le plafond est posé seulement dans la région des machines et à l'avant jusqu'à la cloison d'abordage.
- ✦ Sur les navires de $L > 80$ m, le plafond est posé de la cloison d'abordage jusqu'à la cloison de presse étoupe.
- ✦ Sur les navires passagers le plafond est obligatoire.

Le plafond est situé en général de la cloison de presse étoupe à celle d'abordage. Dans le coquillon AV et AR il n'y a pas de plafond, toutes ces exigences, influent sur le choix du système de construction de la charpente de fond.



II.1 Système de construction transversale du fond simple (sans plafond de double fond)

Dans une construction transversale, les éléments secondaires sont posés transversalement et les éléments primaires longitudinalement. Les éléments secondaires sont les varangues posées sur chaque écartement. Les éléments primaires sont la carlingue centrale obligatoire qui représente la poutre principale longitudinale de la charpente de fond, et les carlingues latérales qui sont positionnées en fonction de la largeur du navire.

a) Construction de la carlingue centrale

- ⚓ La carlingue centrale est une poutre constituée de tôle de hauteur d'âme égale à pas moins $\frac{1}{18} B$, qui est soudée par son arrête inférieure à la quille horizontale (tôle associée), et par son arrête supérieure libre à un plat soudé.
- ⚓ La carlingue centrale est posée de l'étrave à l'étambot.
- ⚓ Dans la partie centrale de la poutre navire, la carlingue centrale est continue, son épaisseur est calculée en fonction de la longueur du navire, et est plus épaisse aux extrémités du navire de 1 mm.
- ⚓ La plate-forme la semelle supérieure, doit avoir une section deux (2) fois plus grande que celle de la semelle des varangues.
- ⚓ La carlingue centrale sert d'appuis complémentaires aux varangues.

b) Construction des varangues

- ⚓ Les varangues sont posées sur chaque écartement, elles sont soudées au bordé extérieur de fond et à la carlingue centrale, elles sont posées d'une muraille à une autre et sont interrompues par la carlingue centrale. Sur l'arrête supérieure libre elles sont renforcées par un plat soudé.
- ⚓ Dans l'axe du navire, la varangue doit avoir la même hauteur que la carlingue centrale.
- ⚓ L'âme de la varangue est renforcée par des raidisseurs verticaux afin d'augmenter sa stabilité, pour l'allègement on découpe dans l'âme de la varangue des ouvertures appelées « **trous d'homme** », des forme ovale où circulaire, de hauteur pas plus que $0.5 H_v$ (hauteur de varangue).
- ⚓ Epaisseur de la varangue ne doit pas être moins de $0.01h+3.5$ [mm] ($h=h_v$ au P.s), mais pas plus que l'épaisseur du bordé extérieur de fond.
- ⚓ Sur l'arrête inférieure de la varangue on découpe des petits trous appelés « **dalots** », de rayon
 $R = 50 \sim 100$ mm pour l'écoulement des eaux.

$$h_1 \leq 0.5 h$$

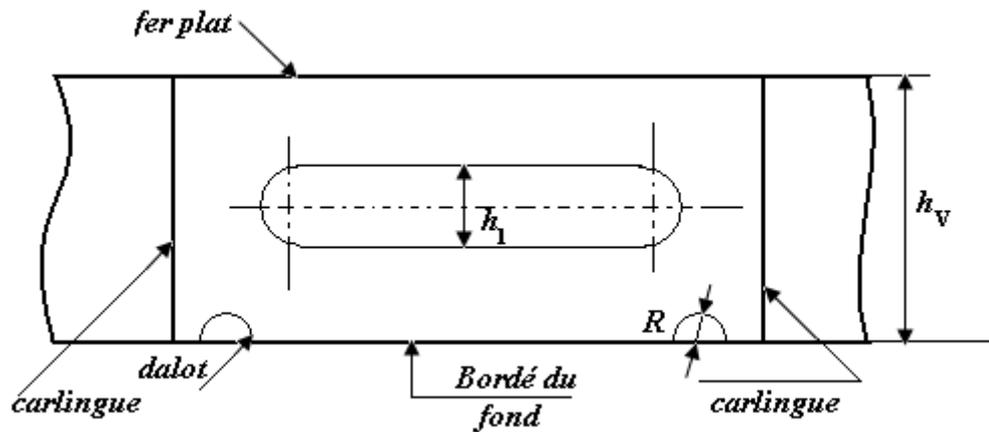


Figure II.1. Construction de la varangue évidée.

c) Carlingue latérale

Pour rendre les varangues plus stable, parallèlement à la carlingue centrale, on pose des carlingues latérales qui sont interrompues au niveau de chaque la varangue, sur chaque bordé :

- ⚓ 01 Carlingue latérale lorsque $B \leq 9$ m ;
- ⚓ 02 deux carlingues latérales lorsque $9 < B \leq 16.5$ m ;
- ⚓ lorsque $B > 16.5$ m, le nombre et l'échantillonnage des carlingues latérales seront fixés en accord avec le siège de B.V.
- ⚓ Le nombre des carlingues latérales est en fonction de la largeur du navire, elles sont formées de tôles de hauteurs égales à la hauteur des varangues.
- ⚓ L'arrête inférieure de la carlingue latérale est soudée au bordé extérieur de fond, et leur arrête supérieur est renforcée par un plat continu soudé. Au niveau de leur âme on découpe des trous d'allègement. L'épaisseur de carlingue latérale dans la partie centrale du navire est en fonction de la longueur de navire, aux extrémités l'épaisseur peut être diminuée de 1 mm par rapport à celle de la partie centrale.
- ⚓ Dans la région machines, l'épaisseur de varangue et des carlingues latérales peut être prise égale à l'épaisseur de la carlingue centrale, la hauteur de la charpente de fond dans cette région peut être déterminée en fonction de la construction de fondation des moteurs principaux.
- ⚓ La distance entre la carlingue centrale et la carlingue latérale ou entre la carlingue latérale et les murailles dans la partie centrale du navire ne doivent pas être plus grande que 2.25 m.



- ⚓ Dans la partie avant, sur une largeur de $0.25 L$ à partir de l'étrave on pose des carlingues latérales supplémentaires à des distances pas plus de $(1 \sim 1.1)$ m, dans le but d'augmenter la résistance de la charpente de fond dans cette région.
- ⚓ Dans la salle des machines on prévoit aussi des carlingues supplémentaires posées entre la cloison arrière et avant de la salle des machines au niveau de fondation des moteurs principaux.

- 1- Membrure
- 2- Bordé de fond
- 3- Tôle de quille
- 4- Carlingue centrale
- 5- Anguille
- 6- Varangue étanche
- 7- Carlingue latérale
- 8- Semelle supérieur de la carlingue latérale (fer plat)
- 9- Epontille.

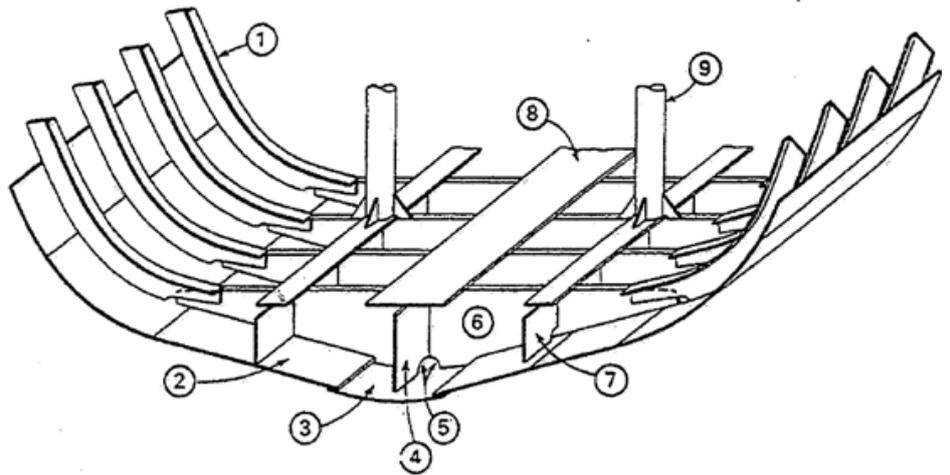


Figure II.2. Construction de la charpente de fond simple (sans plafond du double fond).

II.2 Construction transversale du double fond

- Le plafond du double fond est posé généralement de la cloison de presse étoupe à la cloison d'abordage. Sa construction permet d'améliorer la résistance de la structure de fond, d'augmenter la sécurité de navigation, c. à. d d'assurer l'étanchéité des compartiments en cas de brèche dans le bordé extérieur du fond ;
- Le plafond forme avec le fonds un volume appelé « **double fond** » qui est compartimenté à la longueur par des varangues étanches en soutes servant au stockage de réserve (combustibles, huiles, eaux) ou au ballastage.

Les éléments principaux de la charpente de double fond sont :

- ⚓ La carlingue centrale ;
- ⚓ Les varangues ;
- ⚓ Les carlingues latérales ;
- ⚓ La tôle de côté.



a) Construction de la carlingue centrale

La carlingue centrale est une poutre d'assemblage, composée d'une tôle verticale de hauteur égale à la hauteur du double fond ($H_{DF} = 0.1 \sqrt{L}$), L : la longueur du navire, soudée par son arrête supérieure au bordé de plafond de double fond, et par son arrête inférieure à la quille horizontale.

La carlingue centrale est posée de l'étrave à l'étambot, elle doit être étanche et continue sur au moins $0.6 L$ ou bien $\frac{3}{4} L$ dans la partie centrale du navire. Il est interdit de découper des trous dans la carlingue centrale, dans le cas où les soutes latérales du double fond doivent communiquer entre elles, on découpe des trous de rayon pas plus de 50 mm dans la carlingue centrale au niveau du fond et le double fond.

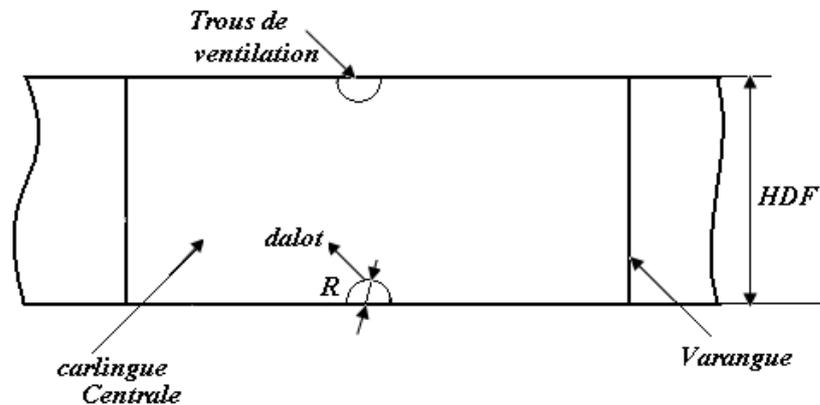
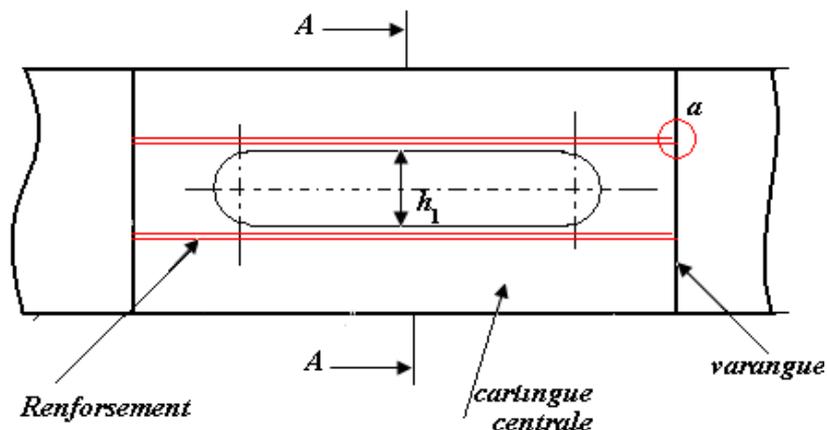


Figure II.3. Construction de la carlingue centrale.

Aux extrémités on peut découper des trous ovales ou circulaires dans la carlingue centrale, de dimension pas moins de (350 x 450) mm. Afin de permettre l'accès du double fond, les trous d'hommes sont renforcés par des raidisseurs ou par un plat soudé sur le contour de l'ouverture.



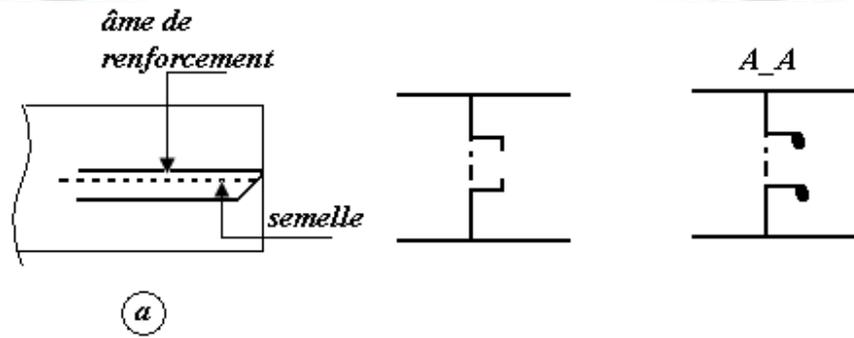


Figure II.4. Renforcement de la carlingue centrale aux extrémités de navire.

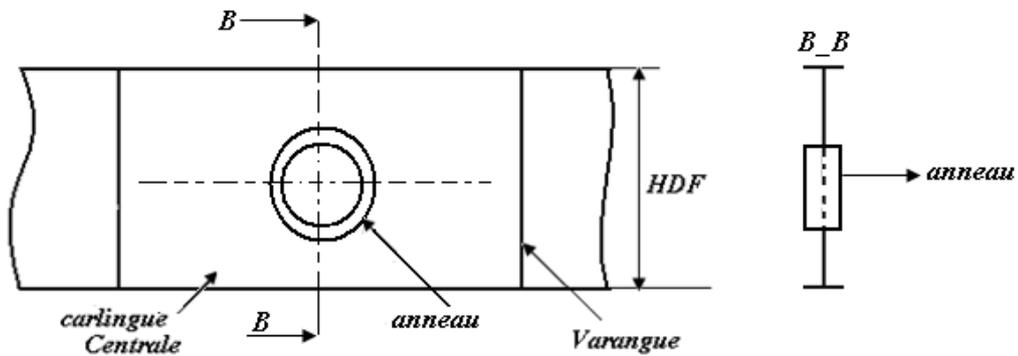


Figure II.5. Renforcement le contour de l'ouverture par un plat.

b) Construction des varangues

Les varangues sont posées sur chaque écartement, elles vont de la muraille à une autre, elles sont interrompues par la carlingue centrale, elles sont soudées à la carlingue centrale et la tôle de côté, cette jonction donne un système rigide à la charpente de fond. Les varangues sont trois types :

- 1- Varangues étanches ;
- 2- Varangues évidé ;
- 3- Cadre varangue.

b.1 varangue étanches

Elles sont formées de tôles pleines, qui servent au compartimentage du double fond, elles sont posées à la limite des compartiments du double fond, et sous les cloisons transversales étanches. L'âme de la varangue doit être renforcée par des raidisseurs pour augmenter la stabilité des varangues au flambement. L'épaisseur de l'âme des raidisseurs doit être ≥ 0.9 de l'épaisseur de la varangue ($0.9 \cdot e$ varangue).



L'épaisseur de la varangue étanche doit être supérieure à celle de la varangue non étanche (évidée) de 2 mm. Les varangues évidées ou les cadre varangues peuvent être disposées en entre les varangues étanches.

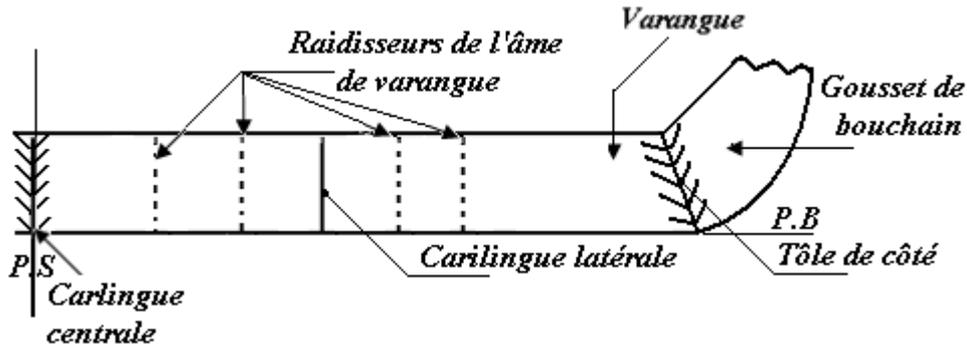


Figure II.6. Construction de la varangue étanche.

b.2 Varangue évidées

Les varangues évidées de tôle de hauteur égale à la hauteur de double fond, et de largeur égale $\frac{B}{2}$ (B : largeur du navire), dans leur âme on découpe des trous d'allègements et de circulation dans le double fond (trous d'homme) de forme circulaire ou ovale, et possèdent une hauteur $H_T \leq \frac{2}{3}$ de la hauteur de varangue. et de dimensions miniums (350 x 450) mm. L'épaisseur de la varangue est calculée en fonction de dimensions du navire.

Dans la salle des machines l'épaisseur est augmentée de 1 mm. Lorsque $L_{PP} > 100m$ ou la hauteur de la varangue supérieure à 0.95 m, on doit prévoir sur les varangues des raidisseurs verticaux espacés de 1.5 m ou plus. Ces raidisseurs peuvent être constitués par des plats ayant une largeur au moins égale $\frac{1}{10}$ de la hauteur de la varangue, et d'épaisseur égale au moins $0.9\sqrt{L}$ (mm) ou par des profilés de résistance équivalente.

Les trous d'homme peuvent être renforcés par des raidisseurs ou par un plat soudé sur le contour.



Figure II.7. Varangue évidée intercalé avec une varangue étanche renforcé par des raidisseurs.

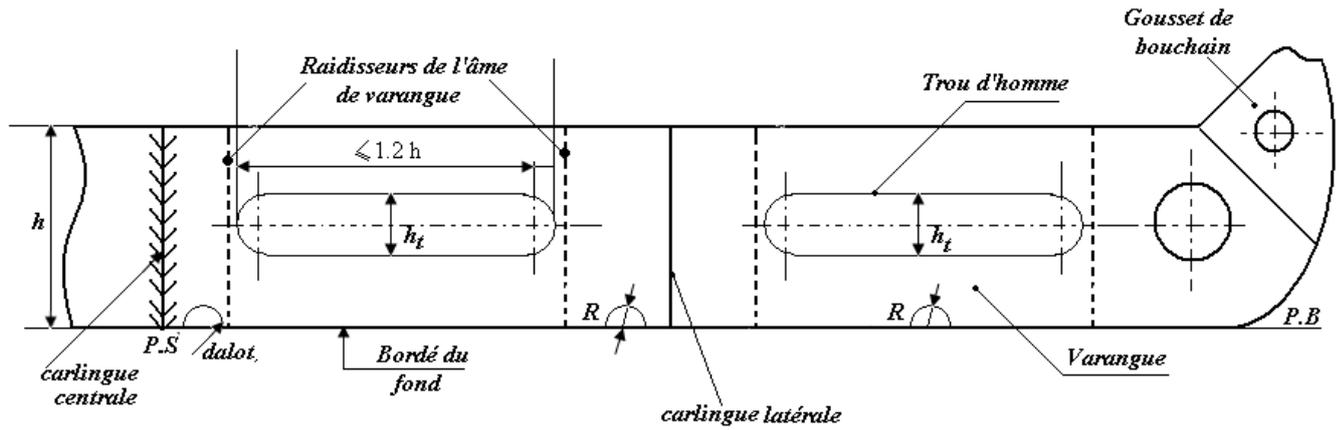


Figure II.8. Construction de la varangue évidée avec des trous d'homme horizontal.

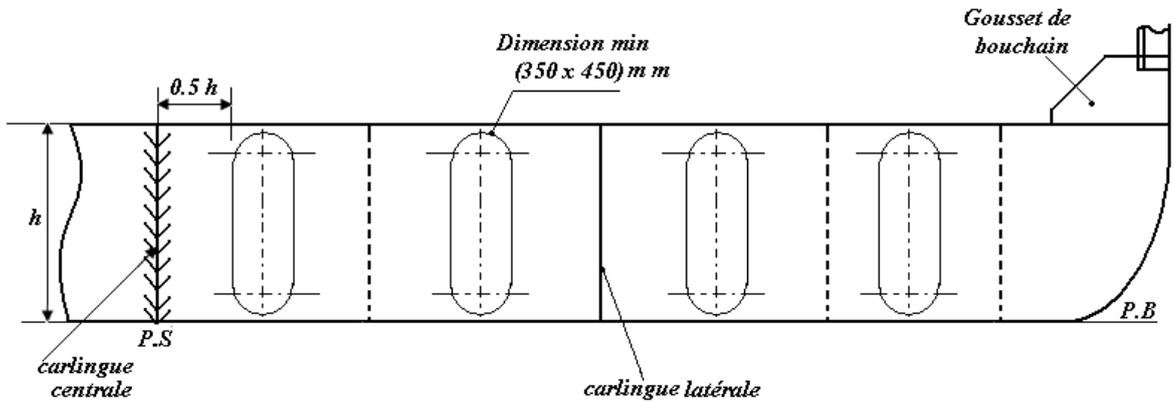


Figure II.9. Trous d'homme de forme ovale verticale.

b.3 Cadre varangue

Les cadres varangues se présentent comme deux profilés (plat à boudin ou cornière), fixés entre eux par des raidisseurs (trois raidisseurs au minimum).

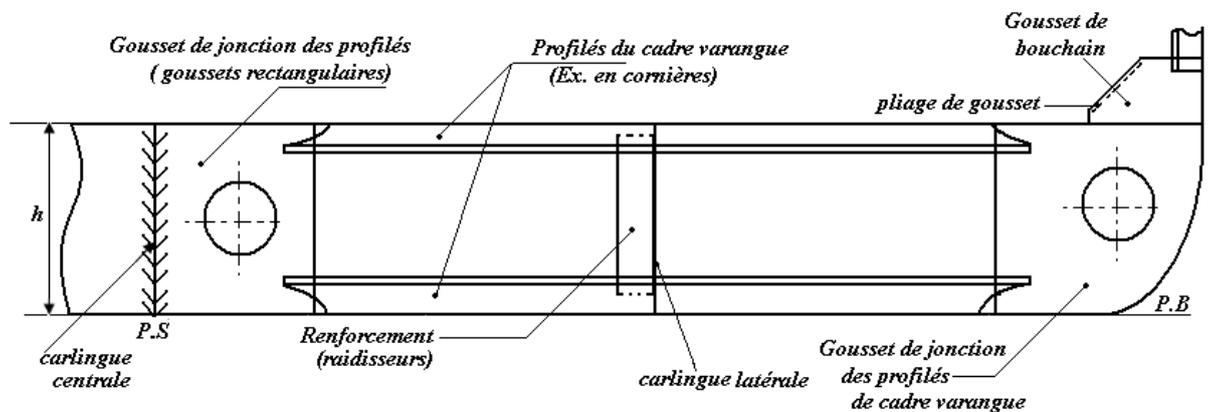


Figure II.10. Cadre varangue.



c. Construction de la carlingue latérale

Les carlingues latérales sont continuées entre les varangues et sont posées sur les varangues, de largeur ≥ 10 m de telle façon que la distance entre elles et la carlingue centrale et entre elles et les murailles ne soit pas plus grande que :

- ⚓ 3 m pour le système de construction transversale avec des varangues étanches alternées de cadre varangue ;
- ⚓ 3.5 m pour le système de construction transversale avec des varangues étanches alternées de varangue évidée.
- ⚓ à une $0.25 L$ de l'étrave, la distance ne doit pas être supérieure à 2.2 m c.à.d. qu'on doit prévoir sur cette région des carlingues supplémentaires (semi-carlingue) entre les carlingues latérales, soudées seulement avec le bordé extérieur de fond et les varangues, et leur hauteur est égale à environ la moitié de la hauteur de carlingue latérale, leur arrête supérieur libre doit être renforcées par des plats.

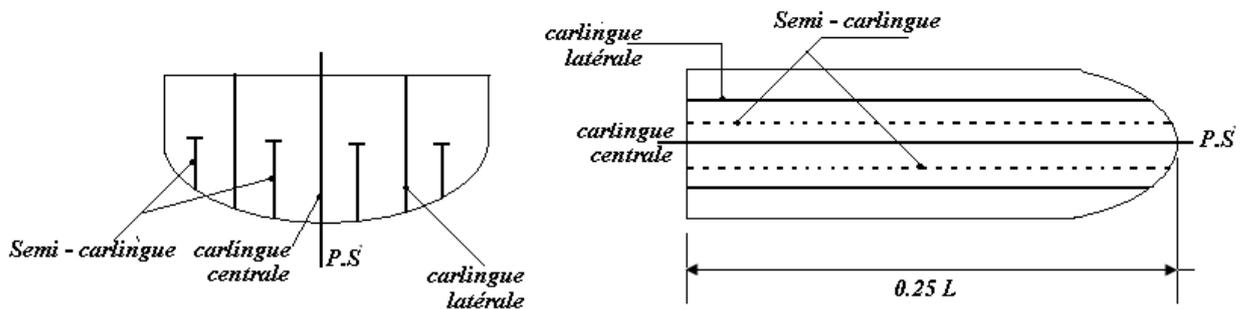


Figure II.11. Construction de la carlingue latérale avec semi-carlingue à $0.25 L$ de l'étrave.

Les carlingues supplémentaires sont prévues à cause des charges dynamiques complémentaires dues aux chocs sur la partie avant de navire.

Dans les **carlingues** latérales, on découpe des trous de dimension minimum (350 x 450) mm pour l'allègement et permettre l'accès dans la différente partie du double fond.

Toutefois, il n'est pas recommandé de découper des trous dans les carlingues latérales au niveau des cloisons transversales et au niveau de pose des épontilles sur 1 à 2 écartements, s'il est nécessaire de découper des trous dans ses régions alors on doit prévoir des renforcements spéciaux qui seront faits à l'aide des goussets posés au diagonal de part et d'autre de la carlingue latérale ou sous forme de plat soudé sur tout le contour de l'ouverture.

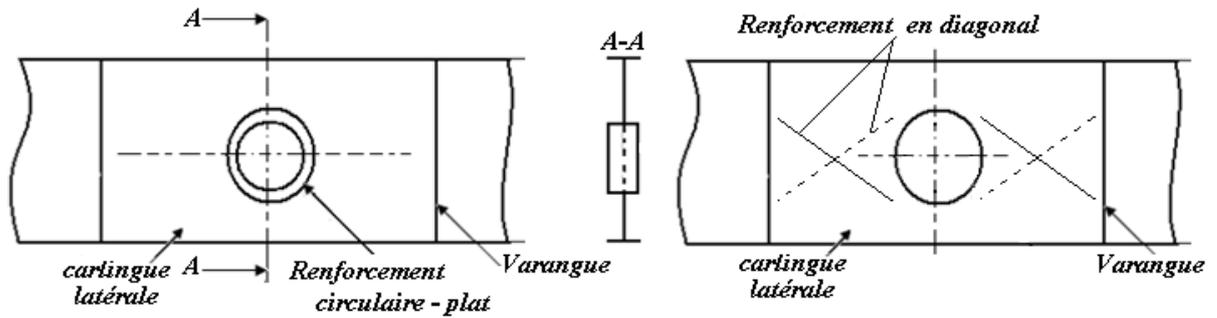


Figure II.12. Renforcements des trous par des goussets et des fers plats.

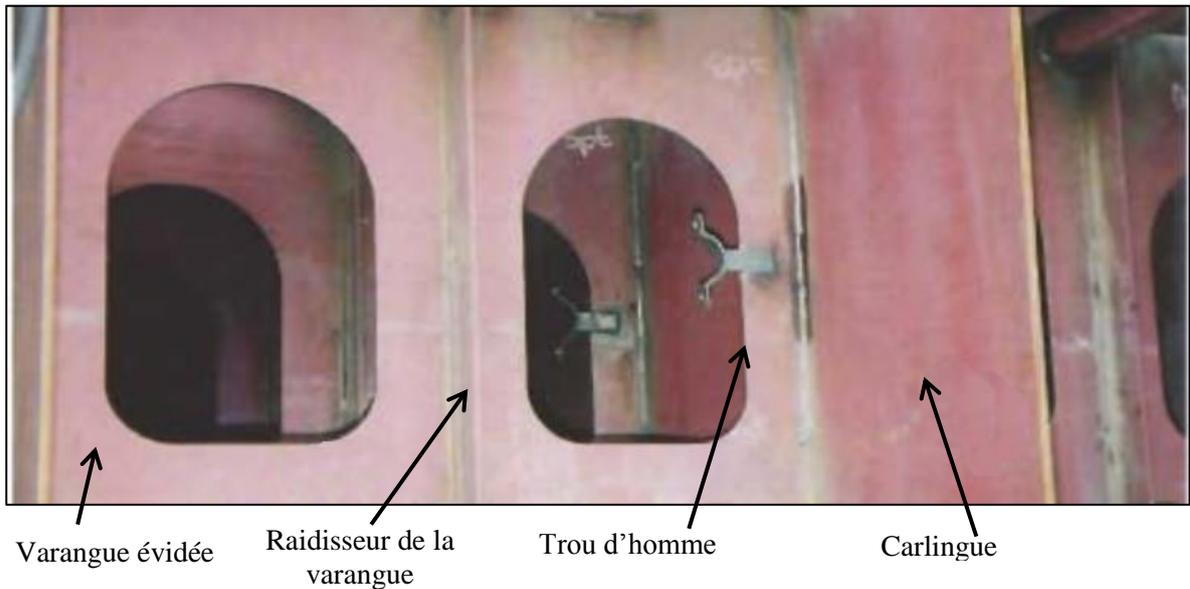


Figure II.13. Construction de fond dans un système de construction transversal.

d. Construction de la tôle de côté

La tôle de côté limitée le double fond au niveau de muraille, elle forme avec les bordés extérieurs de muraille au niveau du bouchain, une gouttière (puisard) ou s'écoule les eaux prévenantes du plafond et des murailles, sa largeur est déterminée en fonction de la longueur de navire. $b \geq 0.0035 L + 0.39$ [m]. Si la tôle de côté est horizontale, sa largeur est prise plus grande que la dimension la plus grande de gousset de bouchain dont moins 50 mm. L'épaisseur de la tôle de côté horizontal doit être de 1mm plus grand que l'épaisseur de bordé de plafond dans la région milieu du navire. Pour la tôle de côté incliné, cette épaisseur doit être plus grande de 2.5 mm sur la tôle de côté soudée d'une part varangues étanches et d'autre part avec des goussets de bouchain.



- 1- Plafond du double fond
- 2- Bord tombé du gousset
- 3- Membrane
- 4- Ecartement entre membrane
- 5- Maille
- 6- Gousset de pied
- 7- Trous d'allègement
- 8- Anguille, dalot
- 9- Tôle de côté

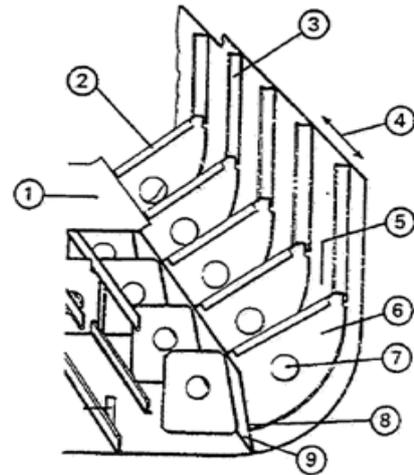


Figure II.14. Raccordement le fond avec la muraille.

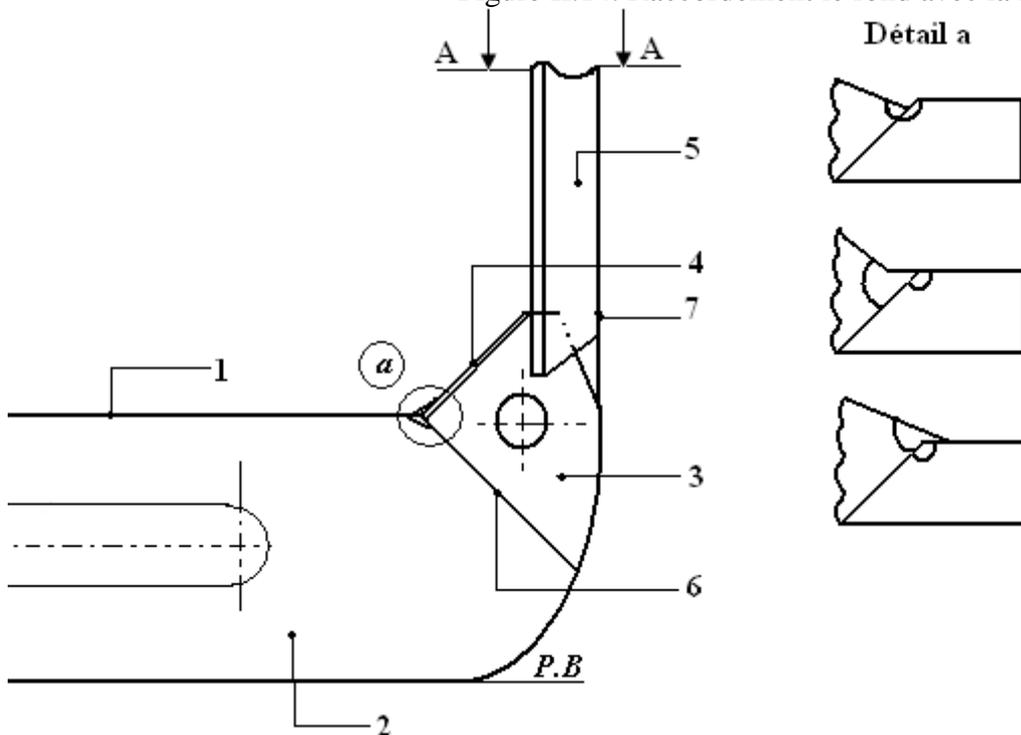


Figure II. 15.a) Construction de la tôle de côté

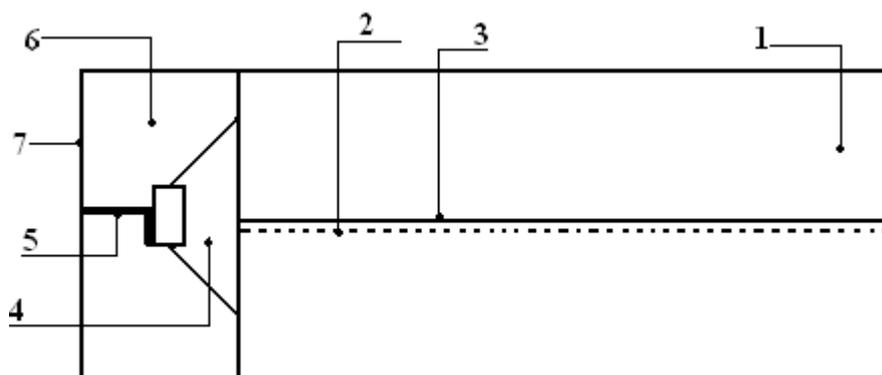


Figure II.15.b) Détail de la Coupe A_A.



Pour la figure II.15. a) et b):

- 1- le plafond de double fond
- 2- Varangue
- 3- Gousset de bouchain
- 4- Semelle du gousset de bouchain
- 5- Membrane
- 6- Tôle de côté inclinée
- 7- Bordé de muraille.

Pour la figure II.16 :

- 1- Plafond de double fond
- 2- Varangue.
- 3- Renforcement de la varangue (raidisseurs)
- 4- Gousset de bouchain
- 5- Tôle de côté horizontale
- 6- Membrane
- 7- Pliage du gousset de bouchain.

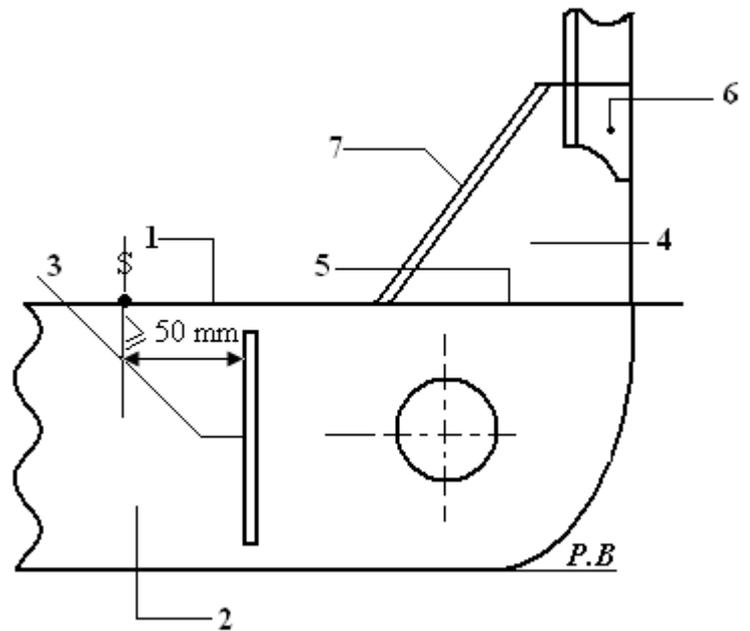


Figure II.16. Renforcement au niveau de la tôle de côté horizontale.

- 1) Bordé de fond
- 2) Carlingue latérale
- 3) Varangue évidée
- 4) Plafond du double fond

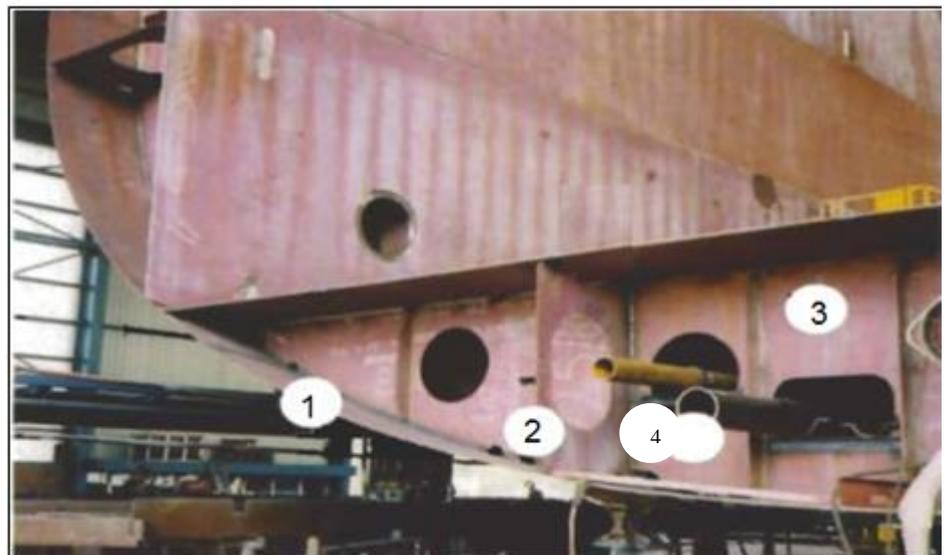


Figure II.17. Construction de fond avec plafond de double fond.



e. Terminaison des bordés de plafond aux extrémités

Le bordé de plafond de double fond ne doit pas être interrompu aux extrémités, mais ils doivent prendre la forme d'un feston afin d'éviter un changement brusque dans la section transversale, et une concentration de contraintes à son extrémité.

- 1- Le bordé le plafond
- 2- Tôle de transition (feston)
- 3- Carlingue de fond
- 4- Varangue
- 5- Cloison transversale
- 6- Semelle supérieur de la carlingue
- 7- Semelle supérieur de la varangue.

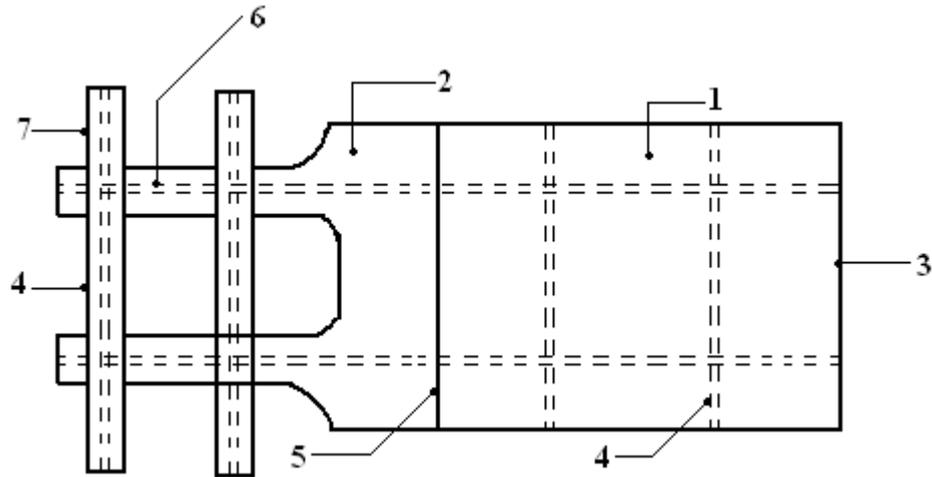


Figure II.18. Terminaison des bordés de plafond aux extrémités.

- 1- Plafond du double fond
- 2- Varangue évidée
- 3- Tôle de côté
- 4- /
- 5- Carlingue latérale
- 6- Carlingue centrale
- 7- Tôle de quille
- 8- /
- 9- Cornière supérieur de cadre varangue
- 10- Cornière inférieur de cadre varangue
- 11- Cadre varangue

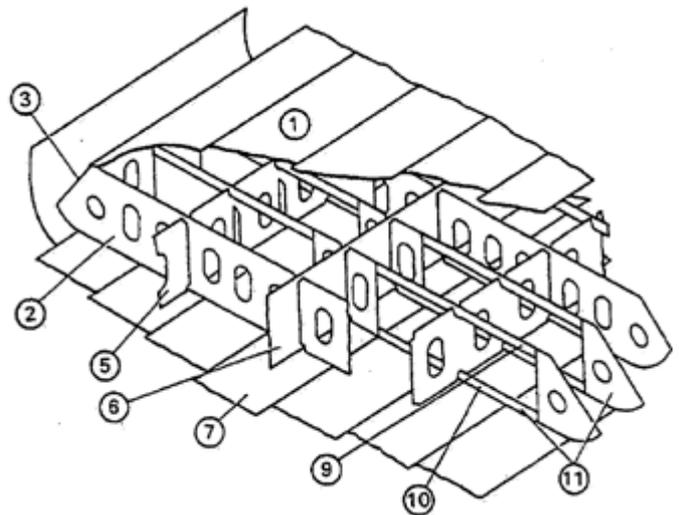


Figure II.19. Construction transversale du double fond.



II.3 Système de construction longitudinale du fond avec plafond de double fond

Avec l'augmentation des dimensions du navire et l'utilisation des aciers de haute résistance, le système de construction longitudinale à trouver son utilisation. Il permet de diminuer le poids des structures tout en ayant la résistance nécessaire.

Les éléments principaux de construction des structures de fond sont :

- ⚓ La carlingue centrale ;
- ⚓ Les carlingues latérales ;
- ⚓ Les lisses ;
- ⚓ Les lisses de plafond de double fond ;
- ⚓ La tôle de côté (inclinée ou horizontale);
- ⚓ Les varangues.

II.4 Système de construction longitudinale du fond avec plafond du double fond

Le système de construction longitudinale permet de diminuer le poids des structures tout en ayant la résistance nécessaire.

Les éléments principaux de construction des structures de fond sont :

- La carlingue centrale ;
- Les varangues ;
- Les carlingues latérales ;
- Les lisses de fond ;
- Les lisses de plafond de double fond ;
- La tôle de côté.

- 1- Bordé extérieur ;
- 2- Tôle de quille de roulis ;
- 3- Anode en aluminium pour les caisses de ballaste



Figure II.20. Vue de dessous du double fond.



a) Construction des lisses

Les lisses sont des profilés de petites dimensions par rapport à la carlingue et aux varangues, et peuvent être ont profilé laminé ou composé de tôles soudées (poutres d'assemblages) suivant les dimensions du navire

Et passent à travers les varangues et les cloisons transversales par des évidements auxquelles sont soudées.

Les appuis des lisses de fond et plafond de double fond sont les varangues et les cloisons transversales.

- 1- Support en fer plat ;
- 2- Bordé de fond ;
- 3- Lisse de fond ;
- 4- Lisse de plafond du double fond ;
- 5- Carlingue centrale ;
- 6- Carlingue latérale.

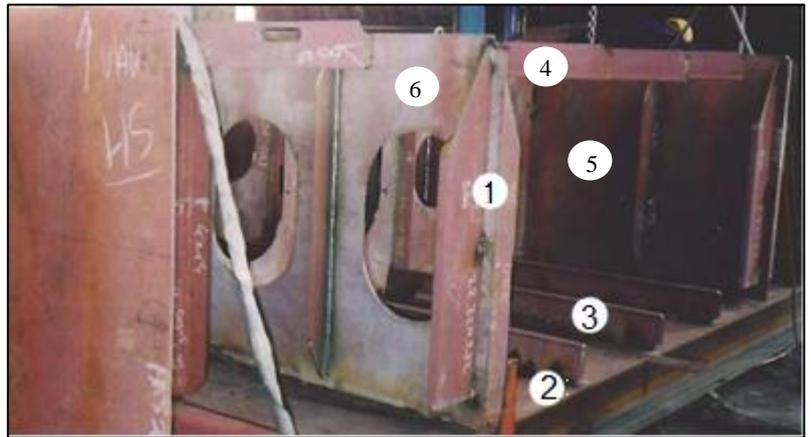


Figure II.21. Double fond avec ses composants.

L'écartement entre ces lisses est égal à l'écartement entre varangues. L'étanchéité des varangues et les cloisons transversales aux niveaux des évidements de passage des lisses sont assurées par l'emplacement de « pastilles étanches», (ce sont des morceaux de tôle soudés sur l'évidement) où on soudant directement les profilés l'âme de la varangue.

- 1- Plafond du double fond
- 2- Varangue évidée
- 3- /
- 4- Lisse de fond
- 5- Carlingue latérale
- 6- Carlingue centrale
- 7- Tôle de quille
- 8- Lisses du plafond du double fond
- 9- /
- 10- /
- 11- Cadre varangue
- 12- Virure centrale du plafond d ballaste.

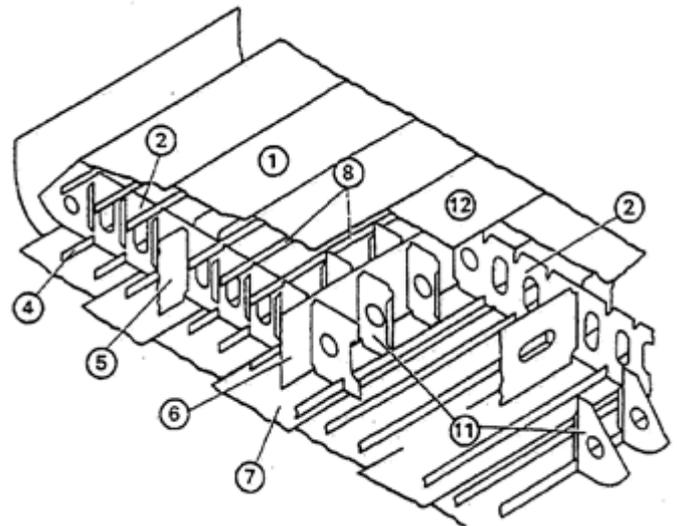
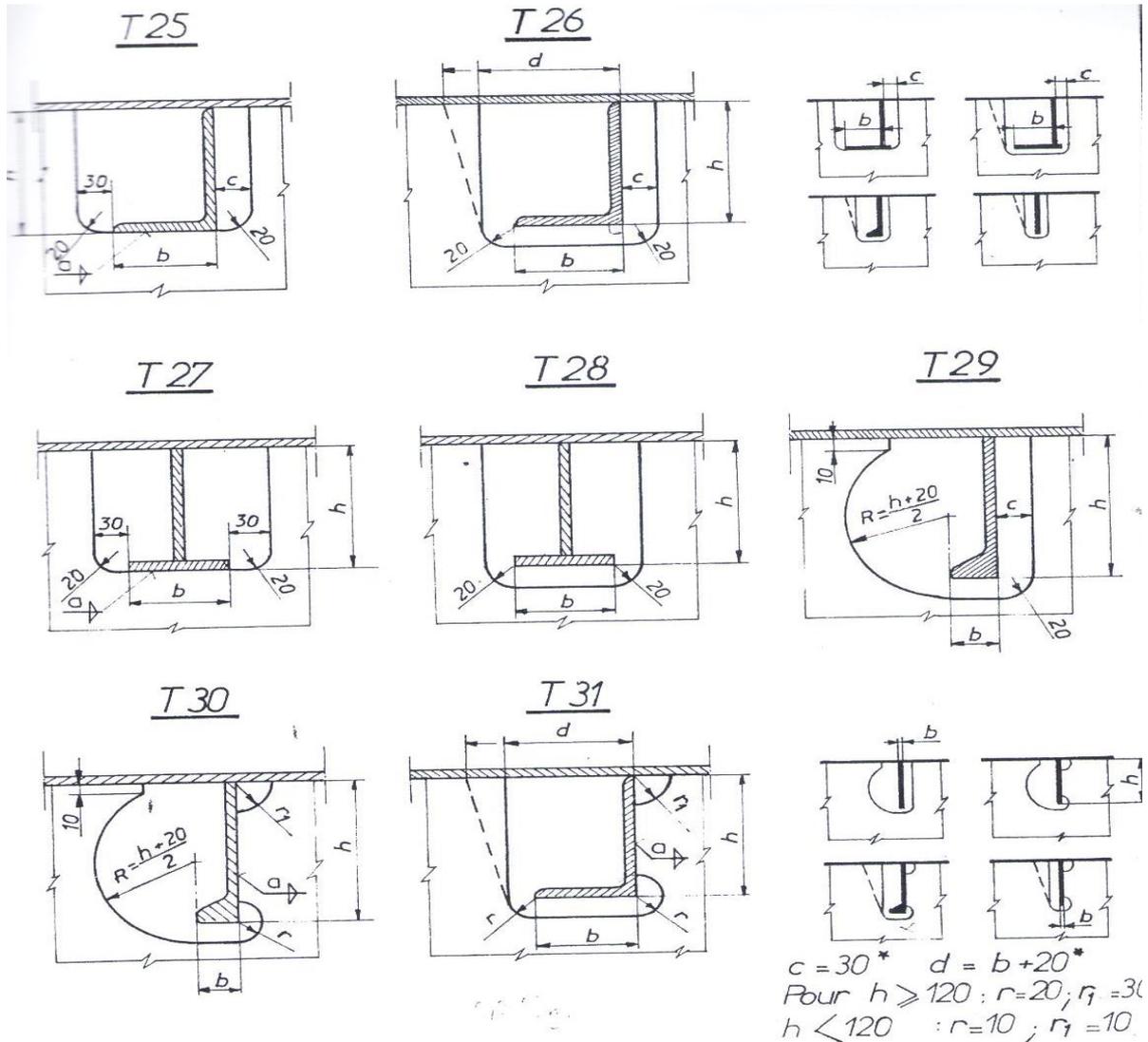


Figure III.22. Construction longitudinale du double fond.



DESIGNATIONS SUR LE DESSIN

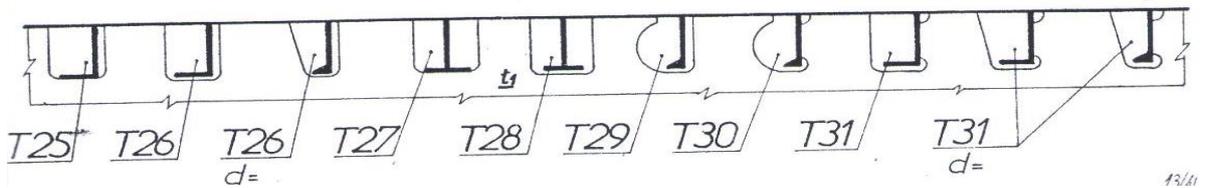


Figure II.23. Evidements pour profils avec pastilles étanches.

b) Construction des varangues

Les varangues sont posées sur 3 à 5 écartements, l'âme de la varangue continue dans la construction longitudinale est plus épaisse que celle des varangues dans la construction transversale.



a) Profilé en plat boudin.



b) Profilé en T.

Figure II.24. Varangue évidée avec trous de passages des lisses.

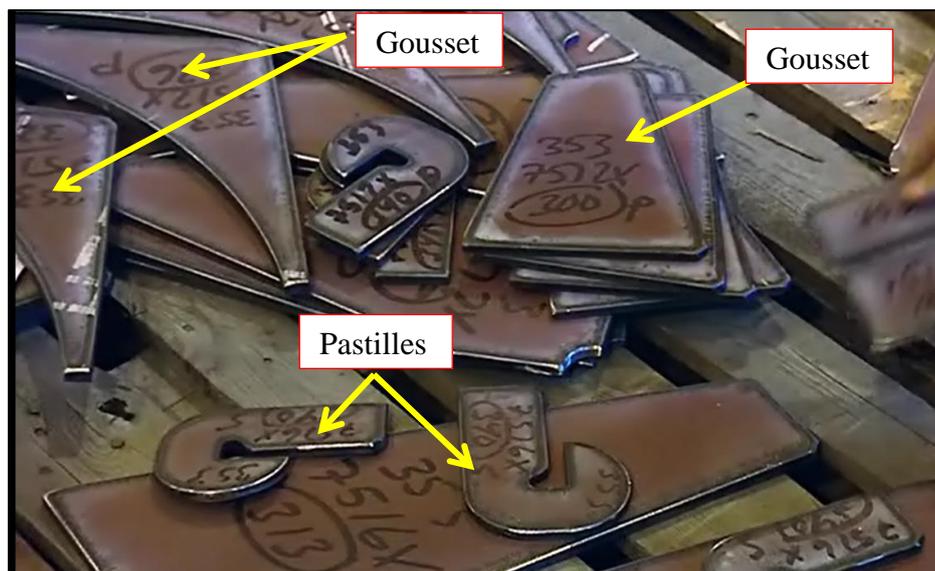


Figure II.25. Pastilles de l'étanchéité et les goussets d'assemblages.

- a) Varangue évidée
- b) Lisse de fond
- c) Raidisseur (fer plat)
- d) Evidement de passage de lisse

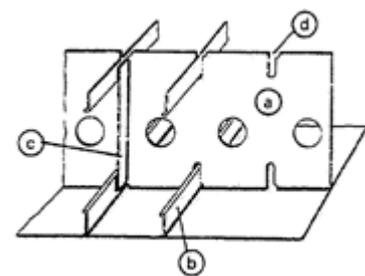


Figure II.26. Détaille de la liaison des éléments longitudinaux avec les éléments transversaux.

a) Construction de la carlingue centrale

Elle est formées d'une tôle de hauteur égale à la hauteur du plafond du double fond au P.S entre les varangues la carlingue centrale doit être renforcée sur chaque écartement



par des goussets (ou par des goussets de forme voile) et qui vont jusqu'aux lisses de fond et plafond de double fond les plus proches.

b) Construction des carlingues latérales

On pose des carlingues latérales pour augmenter la stabilité des varangues parallèlement à la carlingue centrale, la distance entre la carlingue latérale et carlingue centrale et entre la carlingue latérale et la muraille ne doit pas dépasser 4.5 m dans la partie centrale du navire.



Figure II.27. Assemblage les éléments constituant la charpente de fond.



Figure II.28. Charpente de fond dans un système de raidissage longitudinal.



II. 5 Fondation des moteurs marins, des chaudières et des auxiliaires

La plupart des mécanismes sont caractérisé par le nom équilibre des forces intérieur sur les pattes de fixation de mécanisme à la coque. Outre le poids propre du mécanisme agissent des forces complémentaires alternées dues au travail des mécanismes et en fonction de la fréquence d'alternance des forces, le mécanisme vibre.

On trouve aussi des forces d'inertie sur les pattes de fixations dues aux oscillations du navire, ces efforts tendent à renverser mécanisme.

Donc pour assurer un travail normal du mécanisme, il faut le fixer solidement à la charpente de la coque.

Le nœud d'intermédiaire qui fixe le mécanisme à la coque s'appelle « fondation ». En fonction de leur destination fonctionnelle, les éléments de fondation peuvent être divisés en trois groupes :

- 1- les éléments sur lesquels le mécanisme est fixé par les boulons ce sont des semelles horizontales et transversales (socles de fondation) ;
- 2- éléments qui transmettent les efforts du mécanisme à la charpente de la coque, ce sont les poutres longitudinales et transversales de la fondation ;
- 3- les différentes liaisons de la fondation, ex : goussets, raidisseurs... etc.

II. 5.1 Fondation du moteur principal

La construction et les dimensions des fondations des moteurs principaux dépendent de type de moteur, de leur puissance et du nombre de tours.

Sur les navires de transports le fond dans le compartiment des machines est en générale avec plafond du double fond, et les varangues sont posées sur chaque écartement.

Sur les navires à une hélice, la fondation du moteur principal est posée au P.S (à l'axe de navire), et sur les navires à deux hélices on prévoit deux fondations posées de part et d'autre du P.S.

En fonction de la forme du moteur principal et de l'alignement du moteur principal, arbre porte hélice, la fondation du moteur principal peut être au-dessus du plafond, au même niveau que le plafond ou bien sous le plafond du double fond.

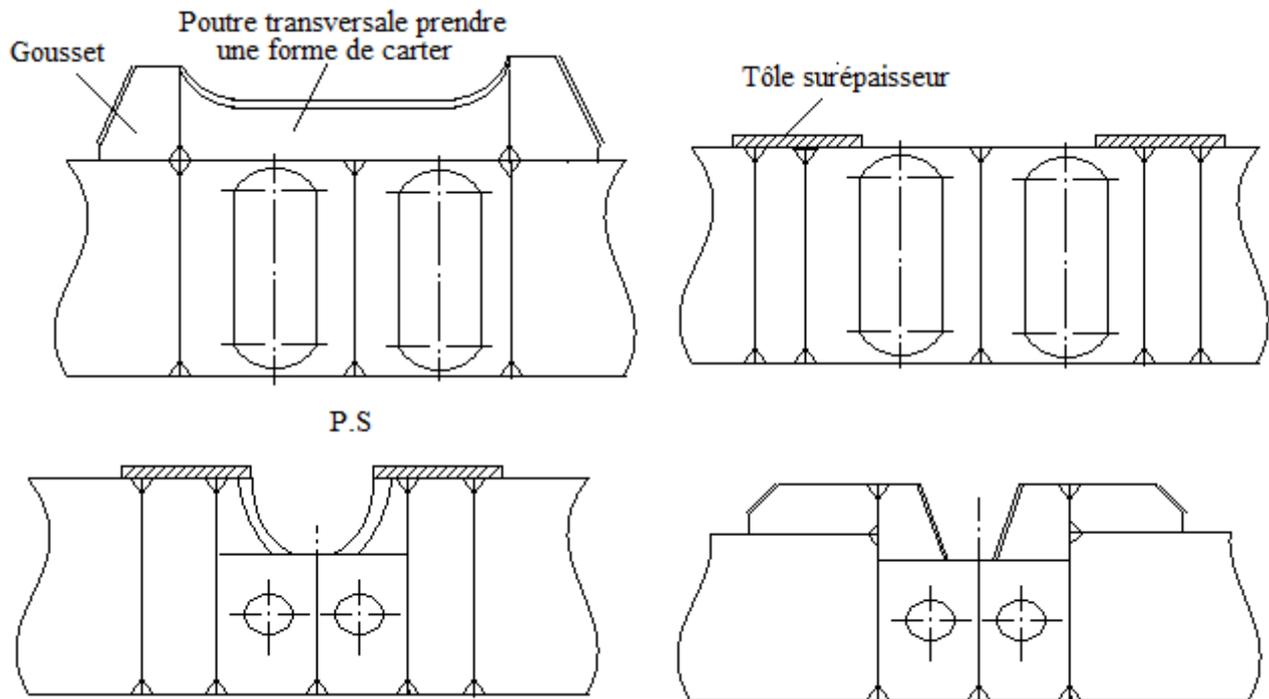


Figure II. 29. Fondation du moteur principal.

Les liaisons principales de la fondation sont deux poutres continues longitudinales de section en T, liées entre elles par des tôles et renforcées au côtés des murailles par des goussets, sur chaque écartement, ces goussets renforcent à la fois l'âme et la semelle horizontale de cette poutre sur laquelle est fixée la patte du moteur.

Les extrémités des pattes sont interrompues graduellement et vont jusqu'à une varangue. Le moteur est fixé à la semelle qui doit être plus épaisse que l'âme de la fondation. Dans la région de fixation des bouchains, la semelle doit être renforcée par des goussets complémentaires.

Les tôles reliant les poutres longitudinales ont la forme de la partie basse du moteur (Carter), et leur arrêment libre doit être renforcées par un plat. Les goussets doivent avoir un pliage ou bien renforcer par des plats.

La hauteur des poutres longitudinales de la fondation est déterminée en fonction de la distance entre le plafond et les pattes de fixation du moteur principal. La distance entre les poutres longitudinales doit correspondre avec la largeur du carter du moteur, et la largeur de la semelle doit correspondre à la largeur de bride du bâti du moteur et à la position des trous de fixation. La semelle doit dépasser la bride du bâti du moteur de pas moins de 20 mm.



L'âme des poutres de la fondation doit être de 60% plus épaisse que la carlingue latérale de fond dans la région des machines et la semelle de 40% plus épaisse que l'âme de la poutre de fondation.

II. 5.2 Renforcement de la charpente de fond sous les fondations

Sous les fondations du moteur principal, la charpente de fond doit être renforcée par des carlingues supplémentaires posées sous les poutres longitudinales de la fondation. Ces carlingues sont posées de la cloison avant jusqu'à la cloison arrière de la salle des machines. Entre les varangues et dans leurs âmes on découpe des trous. Les varangues sont posées sur chaque écartement dans l'intervalle de la fondation.

II. 5.3 Fondations des mécanismes auxiliaires

Les mécanismes auxiliaires peuvent être divisés en trois groupes :

1°- Mécanismes possédant des éléments accomplissant des mouvements alternatifs, ex : les diesels générateurs, compresseurs, pompes à piston...

2°- Mécanismes avec des éléments rotatifs. Ex : pompe centrifuges, ventilateurs, séparateurs...

3°- Appareils ne possédant pas d'éléments mobiles. Ex : chauffage, refroidisseurs...

Les fondations sont déterminées en fonction du type de mécanisme, leur forme constructive dépend de la forme du mécanisme et de son lieu d'emplacement.

Les mécanismes du premier groupe sont en général placés sur les plafonds des doubles fonds et sur les plates-formes.

Les mécanismes du deuxième groupe sont placés sur les plafonds de double fond, sur la charpente des murailles et des cloisons et peuvent être même suspendus aux barrots des ponts et des plates-formes.

Les mécanismes du troisième groupe sont en général fixés sur la charpente de la muraille et des cloisons.

Les fondations des mécanismes auxiliaires placés sur le plafond des doubles fonds doivent tomber sur les liaisons principales de la charpente de fond.

Les fondations des petits mécanismes doivent être posées de telle façon que l'une de leurs liaisons verticales tombe sur une carlingue ou une varangue pour la perception des efforts.



III. Construction des structures des ponts et de la plateforme

III.1 Rôle des ponts et de la plateforme

Une plateforme est une construction plane est moins étendue qu'un pont et se situe à l'intérieur de la coque, elle est destinée en général au ménagement des compartiments et l'emplacement des certains mécanismes auxiliaires dans la salle des machines du point de vue de résistance longitudinale générale.

Les ponts sont en général construire sur toute la longueur et la largeur du navire et serve :

- ❖ à assurer la résistance longitudinale générale de la coque ;
- ❖ serve dans certains cas à assurer l'étanchéité des volumes intérieurs de la coque pendant l'exploitation et en cas d'avarie.
- ❖ serve d'aire (surface) de chargement et pour l'aménagement des locaux d'équipages, des passages ou de service ;
- ❖ il sert de contour d'appui à la muraille, aux cloisons transversales et longitudinales.

III. 2 Constructions des ponts

Dans l'intervalle de chaque compartiment, les ponts se présent comme des structures composées d'un bordé renforcé d'une charpente.

Sur la plupart des navires, le pont de résistance possède d'élévation aux extrémités que l'on appelle « **tenture** » qui permet la diminution d'inondation pendant la navigation contre la houle, et permet un écoulement facile de l'eau et sa section transversale possède une courbure, le pont est situé plus haut dans l'axe au niveau des murailles, cette courbure s'appelle « **bouge** », il facilite l'écoulement des eaux vers les bordés

Le bouge augmente l'aptitude à la résistance de la semelle supérieure de la poutre navire pendant la « compression » pour faciliter la technique de construction du pont supérieur on le construit sans tenture.

Dans une structure transversale de pont, la charpente est composée de barrot simple posé sur chaque écartement, ses barrots sont soutenus par une ou plusieurs carlingues de pont « hiloire »

Dans la construction longitudinale, la charpente est composée de barrot renforcé posé sur chaque 3-5 écartements soutenus par où plusieurs hiloires.

Les carlingues de ponts ont une hauteur plus grande que celle des barrots et sont en général des poutres d'assemblage (poutre forme des tôles).



Les carlingues de pont ont une hauteur plus grande que celle des barrots et sont en général des poutres d'assemblage, les carlingues de pont obtenues par les cloisons transversales et les épontilles, les lisses sont à leur tour soutenue par les barrots (renforcés), et passent par leur âme à travers des évidements non étanches et passent à travers les cloisons par des évidements étanches.

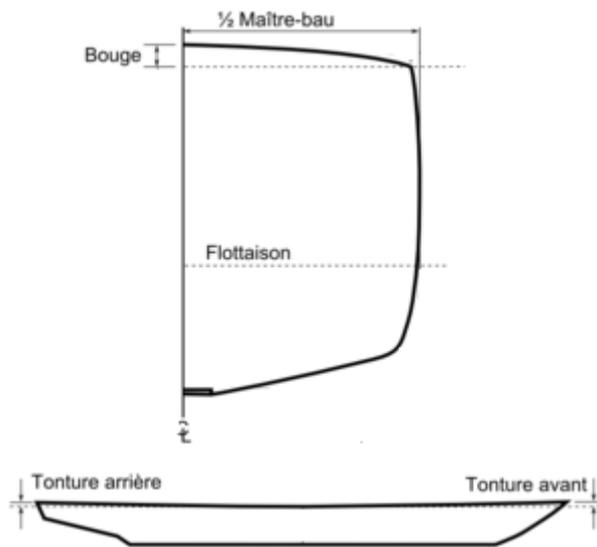


Figure III.1. Bouge et la tenture dans le pont du navire.

III. 3 Projection des structures de pont

Les structures de pont s'appuient sur les structures verticales de la coque et doivent répondre aux exigences suivantes :

- 1- les structures des ponts doivent résister aux efforts de la compression et de la traction pendant la flexion longitudinale générale ;
- 2- le bordé de pont doit conserver son étanchéité le long de la période d'exploitation ;
- 3- la charpente de pont doit assurer la rigidité et la résistance des tôles de bordé.
- 4- la charpente doit le moins possible encombrer le volume.

II.4 Construction des structures de pont

La particularité des navires cargo avec mode de chargement vertical c'est l'existence des ouvertures (écoutille) sur les ponts.



Les écoutilles de grandes dimensions favorisent l'augmentation de la vitesse des opérations de chargement et rendre le navire plus rentable dans l'exploitation, est permis le transport des cargaisons de grand gabarries.

Leur inconvénient est la difficulté d'assurer leur étanchéité, et l'augmentation du poids et dimensions des panneaux de fermetures.

La pratique navale a démontré une tendance à agrandir les écoutilles ont disposant deux ou trois écoutilles en largeur, ceci permet de l'exécution des opérations de chargement et de déchargement avec les grues de port ou celle du navire c.à.d. sans l'utilisation d'auto-chargeur à l'intérieur de la cale.

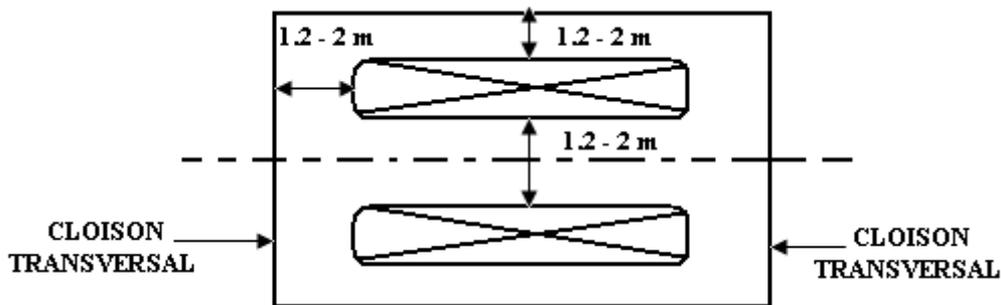


Figure III.2. Ecoutilles de pont.



Figure III.3. Ecoutilles du navire commercial.

III. 4.1 Charpente de pont en système de construction transversale

Les liaisons principales sont représentées par les barrots qui vont d'une muraille à une autre et par les barrotins qui vont d'une muraille à un support longitudinal (hiloire ou cloison).

Les barrots et barrotins sont posés sur chaque écartement et sont liés à la membrure (au niveau des murailles par des goussets).



Les dimensions de barrot et les barrotins sont en fonction de leur portés (longueur) de l'intensité de la charge transversale agissant sur la structure de la grandeur des efforts de compression transmet par les membrures et de leur jonction aux extrémités.

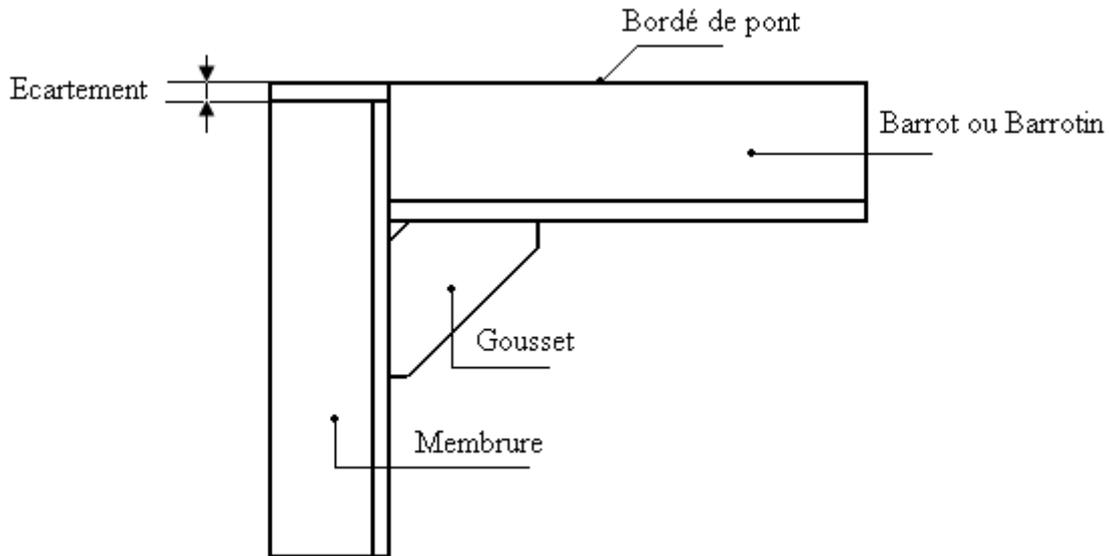


Figure III.4. Jonction barrot du pont avec membrure de la muraille.

Pour diminuer les dimensions des barrots et pour assurer la stabilité des structures de pont on pose des carlingues de pont (hiloire) des épontilles, et des cloisons d'épontillage.

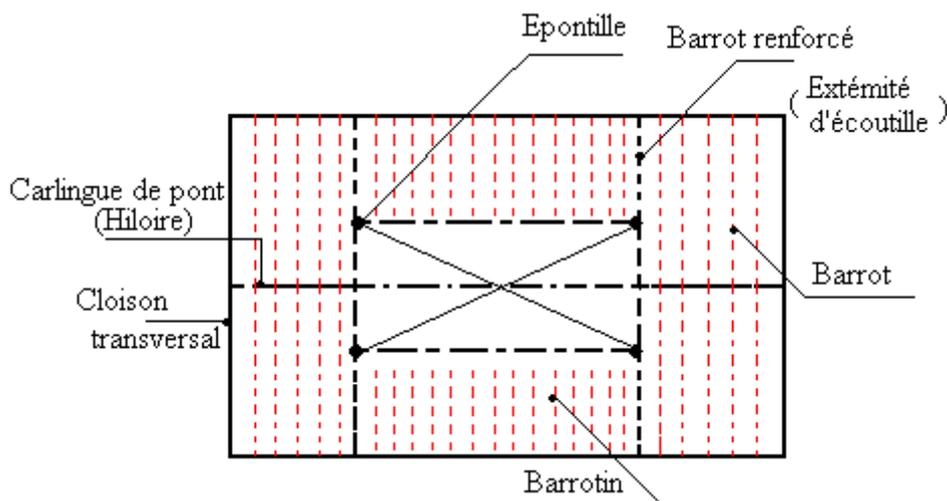


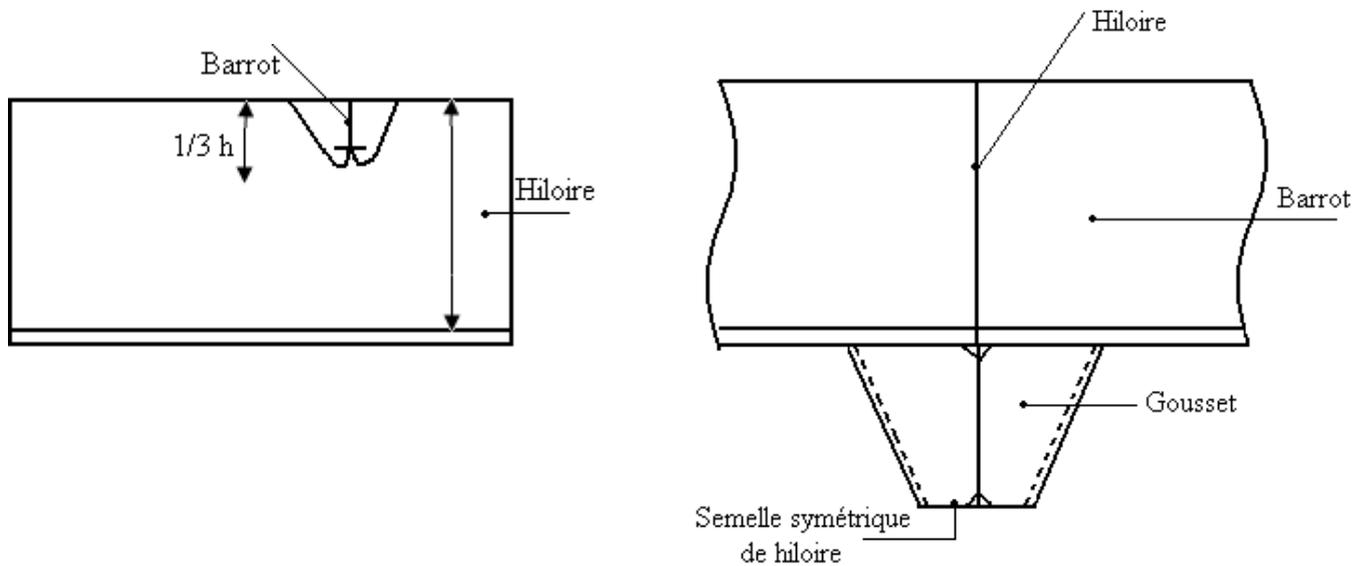
Figure III.4. Position des épontilles au niveau d'écouille de pont.

On prévoit 2-3 carlingues de pont, on pose une hiloire dans l'axe (c.à.d. P.S).

Les hiloires sont des poutres d'assemblage et doivent être solidement attaché à leurs extrémités aux cloisons (montant renforce les cloisons) par des goussets à bord tombé (pliage) de hauteur double d'hiloire.

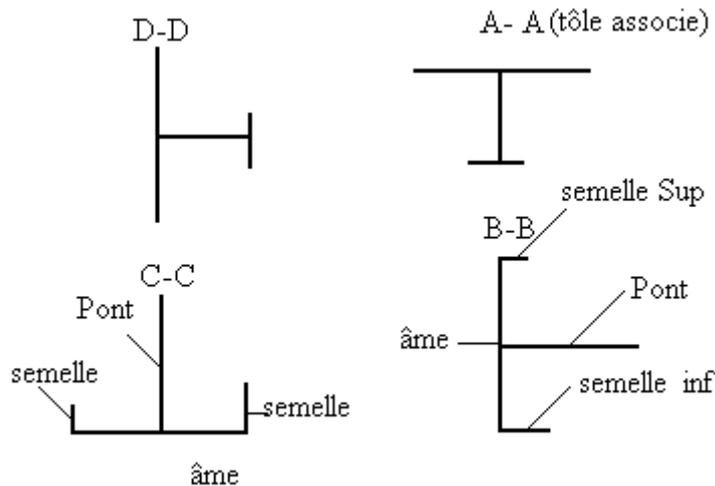


Les hiloires servent d'appui aux barrots, ces derniers passent à travers l'âme d'hiloire par des évidements, et sont soudés à elle et peuvent être interrompus aux niveau d'hiloire.



Les hiloires ont leurs appuis au niveau des cloisons et des épontilles ce qui diminue leurs portées.

Les hiloires doivent être solidement attachées au barrot renforcé (Extrémité d'écouille) et des goussets horizontaux reliant les semelles des hiloires.



Dans la région de jonction d'hiloire d'écouilles avec les barrots renforcés, on donne une sur épaisseur à la tôle.



- 1- Barrot de pont
- 2- Evidement
- 3- Hiloire sous barrot
- 4- La semelle de hiloire
- 5- Gousset de contreventement
- 6- Gousset
- 7- Semelle de gousset
- 8- Montant de cloison
- 9- Cloison transversale.

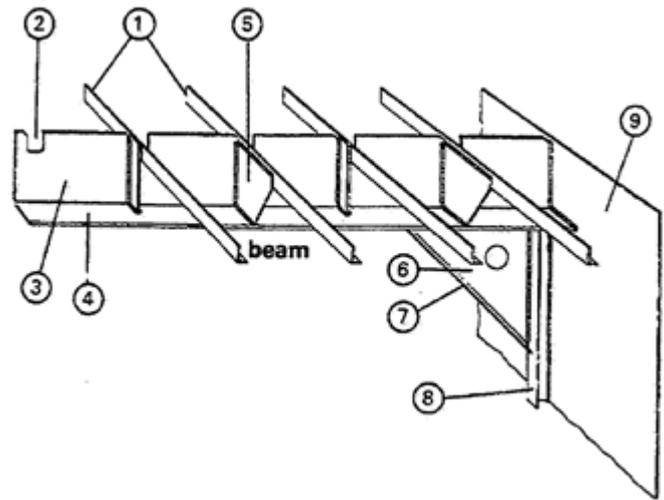


Figure III.5. Construction d'une hiloire sous barrot.

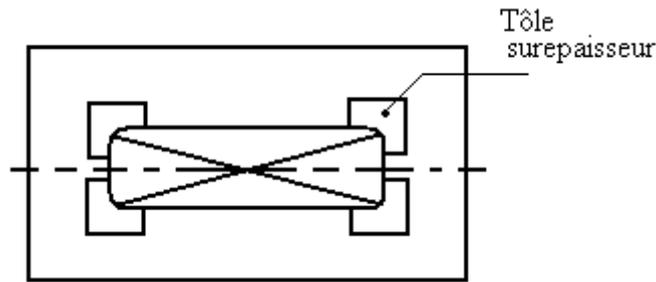
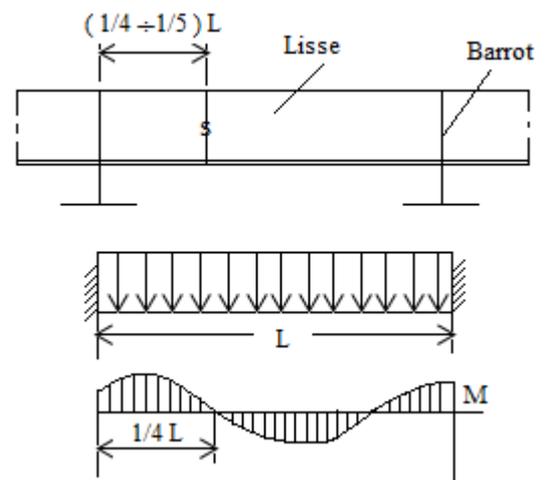


Figure III.6. Renforcement par des fers plats.

Les barrots renforcés doivent être solidement attachés aux barrots aux barrots renforcés par des grands goussets.

III.5 Construction longitudinale des structures de pont

Dans ce système les éléments de construction sont les lisses, les barrots, les barrots renforcés et les hiloires (carlingue de pont). Les lisses sont posées sur chaque écartement parallèlement à l'axe de symétrie et doivent être continues le long du navire. Elles sont composées de morceaux de profilés de longueurs allant jusqu'à 12 m, soudées bout à bout, leurs appuis sont les éléments transversaux (barrots, les cloisons transversales). La jonction entre les différents morceaux des lisses doit disposer là où le moment fléchissant est minimal c'est-à-dire à une distance égale aux $1/4 \div 1/5$ de la portée de la lisse à partir du barrot renforcé lui servant d'appui.





Les lisses passent à travers les barrots par des évidements au quels sont soudées. Au niveau des cloisons transversales étanches les lisses passent par des évidements étanches et sont fixées aux montants des cloisons par des goussets. Si pour des raisons technologiques on doit interrompre la lisse. (Ex. au niveau de la cloison transversale), alors elle doit avoir son extrémité rigidement fixée (à la cloison) par des goussets pour assurer la résistance longitudinale de la lisse et par là même diminuer les concentrations de contraintes.

Les barrots supportant les lisses de pont doivent être installés de façon à correspondre, autant que possible à des varangues. Pour augmenter la stabilité des barrots et des structures de pont, et pour diminuer la portée des barrots, on prévoit des hiloires (carlingue de pont) qui sont en nombre de 1 à 3 disposé comme pour la construction transversale. Les barrots renforcés sont des poutres (profilés composés symétriques) de hauteur égale pas moins de 2 fois la hauteur de la lisse. L'âme du barrot va jusqu'à la membrure de la muraille où elle sera soudée, la semelle sera découpée en sifflet.

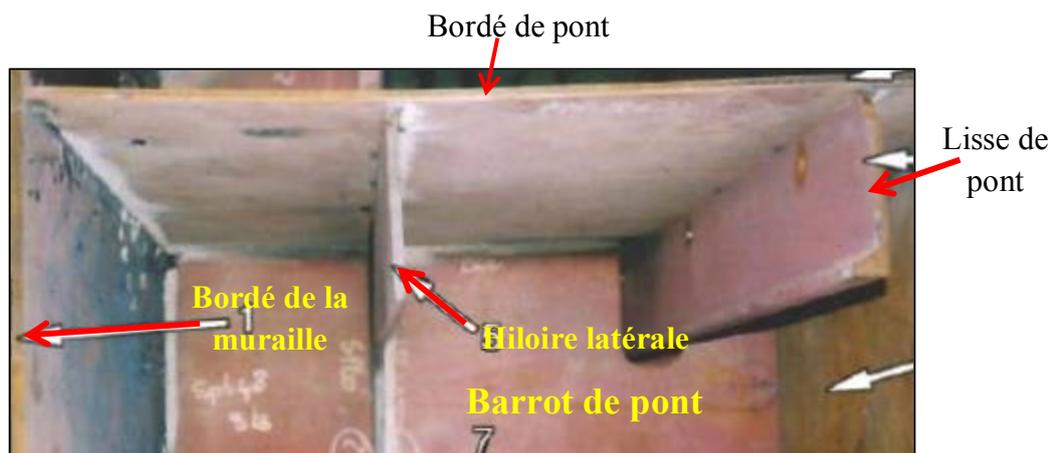


Figure III.7. Eléments constituant la charpente de pont.

- 1- Bordé de la muraille ;
- 2- Bordé de pont ;
- 3- Lisse de pont.

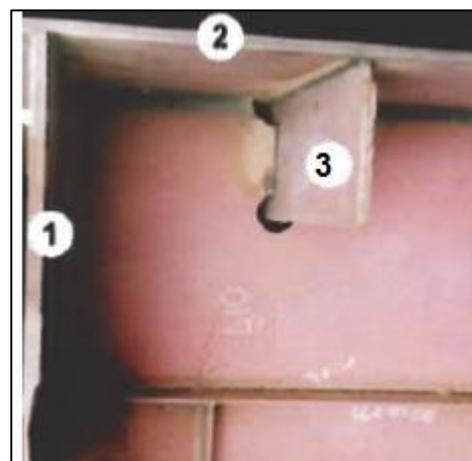


Figure III.8. Barrot avec lisse de pont.



Si le barrot est soudé à la membrure, les dimensions des goussets s'ils existent peuvent être diminuées, si le barrot n'est pas soudé à la membrure, la jonction se fait à l'aide de goussets de très grandes dimensions afin d'assurer une grande rigidité du nœud. La hauteur du gousset doit être égale au moins à la hauteur du barrot. Les hiloires sont continuées au niveau des barrots renforcés, dans le plan de chaque barrot on prévoit des goussets qui servent à fixer le barrot et hiloire.

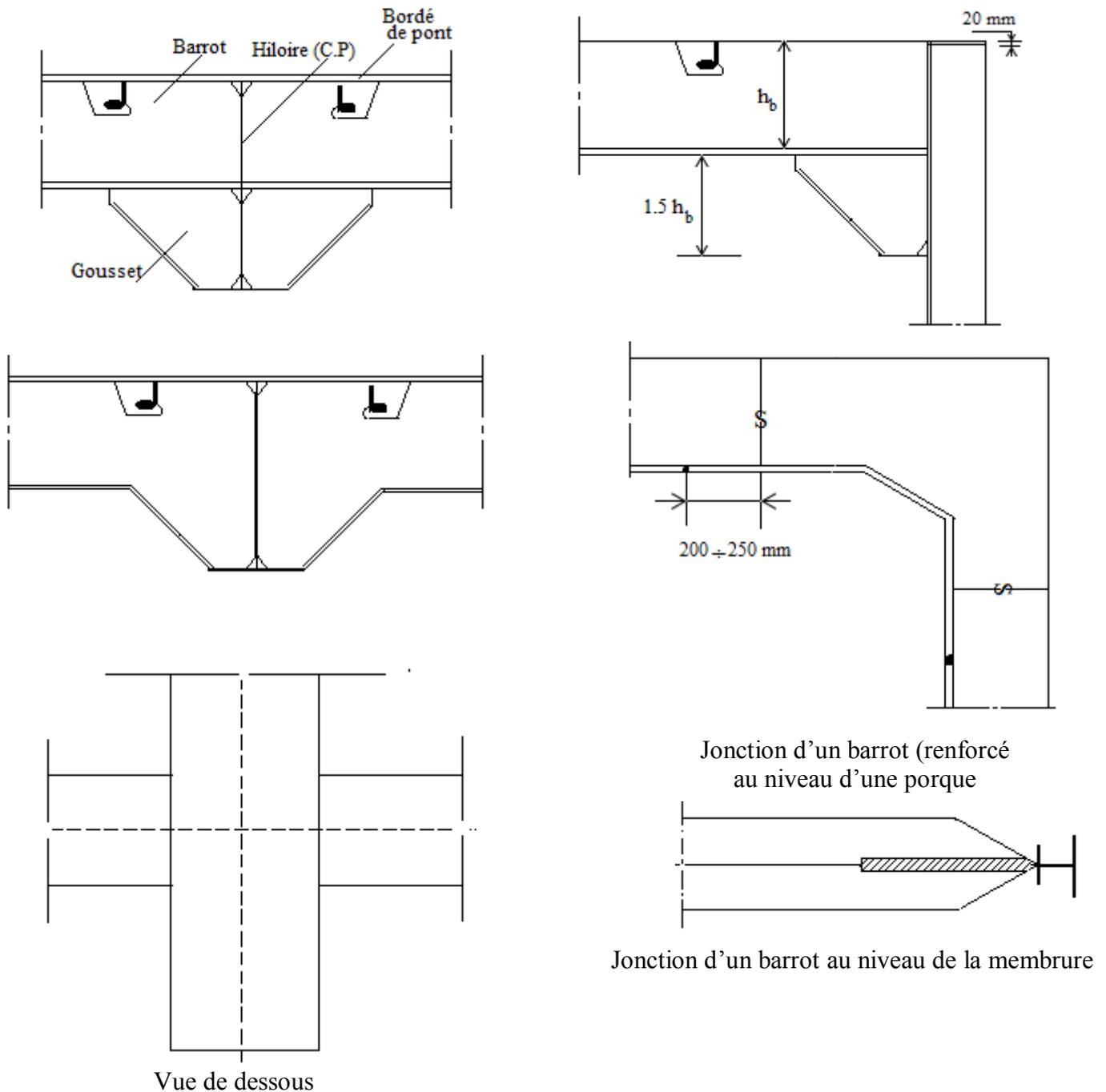


Figure III.9. Jonction des éléments de pont.



Figure III.10. Jonction Barrot-Membrure à l'aide de gousset.

Les barrots vont d'une muraille à l'autre et s'appuient sur les murailles et les carlingues de pont, les barrotins vont de la muraille à la carlingue.

Vu la hauteur de l'âme du barrot (renforcé), celui-ci ne passe pas à travers l'âme de la carlingue mais il est interrompu au niveau de celle-ci et est soudé par son âme à l'âme de la carlingue, et pour augmenter à la fois la résistance de cet assemblage et la stabilité de l'âme de la carlingue, celle-ci est renforcée dans le plan des barrots par des goussets qui peuvent être découpés dans l'âme du barrot.

Au niveau des cloisons transversales les carlingues de ponts (hiloires) reposent sur des montants renforcés et seront soudées aux cloisons de part et d'autre à l'aide de goussets. La carlingue de pont continue au niveau de la cloison.

Remarque

Sur un même pont on peut utiliser différents systèmes de construction (système combiné) pour différentes régions.

Exemple : sur les cargos le pont de résistance peut avoir un raidissage longitudinal dans sa partie centrale, et dans les régions situées entre écoutilles et les murailles, et un raidissage transversal aux extrémités du navire et entre les écoutilles.

III. 5.1 Construction aux extrémités

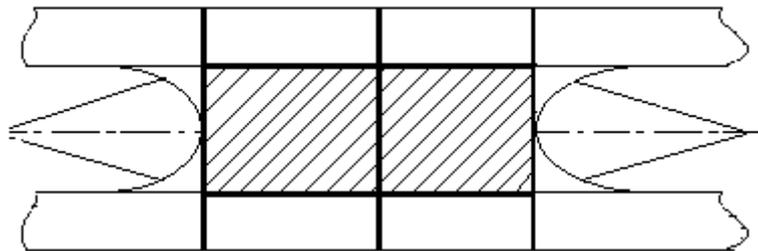
Les extrémités d'un navire peuvent être projetées en construction transversale, dans ce cas le passage de la construction longitudinale à la construction transversale doit se faire graduellement, les éléments longitudinaux (lisses) doivent être prolongés dans la construction transversale sur au moins 3 écartements et arrêtés sur une liaison transversale à laquelle ils



seront fixés rigidement. Une telle construction permet d'éviter un changement brusque de du module de résistance de la poutre navire dans la section droite.

III.5.2 Construction de la région entre écoutilles

La partie des structures de pont situé entre les écoutilles s'appuie sur les cloisons transversales, sur les carlingues de pont, par des barrots renforcés,...etc. Cette partie de pont ne participe pas en général dans la flexion longitudinale générale du navire, elle éprouve des charges locales statiques et dynamiques dues aux chocs engendrés pendant les ouvertures des panneaux d'écoutilles, aux poids des panneaux d'écoutilles, des mécanismes et des constructions qui se trouvent sur elle (Ex. treuils, mâts, roufle,...etc.)



Le système de construction de cette région est déterminé en fonction des efforts locaux agissant sur elle et de la forme de son contour d'appui.

Les éléments secondaires (les plus fréquents) sont disposés parallèlement au côté le plus court du contour d'appui.

Si le contour d'appui est allongé dans le sens transversal du navire, la construction sera longitudinale, dans ce cas les éléments longitudinaux auront au niveau de la cloison transversale un appui rigide et au niveau des éléments transversaux renforcés un appui libre.

Si le contour d'appui est allongé dans le sens longitudinal, la construction sera transversale, les barrots seront posés sur chaque écartement entre les carlingues.

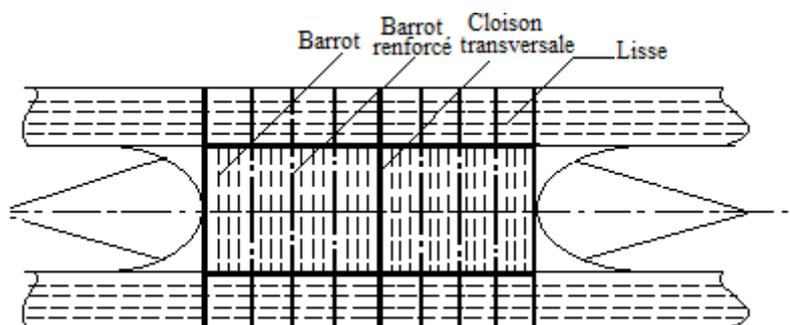


Figure III.11. Construction transversale de la région entre écoutille.

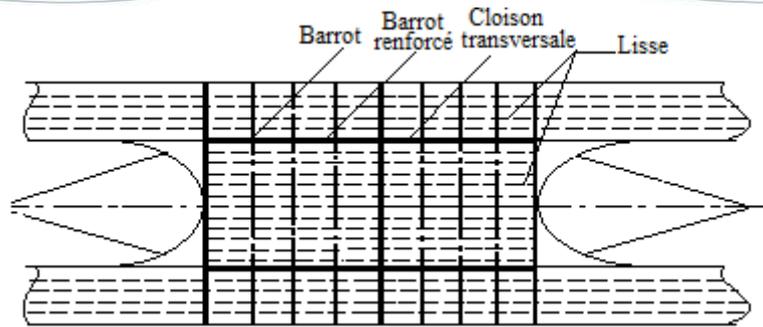


Figure III.12. Construction longitudinale de la région entre écoutille.



Figure III.13. Construction d'écoutes de pont.

Dans le calcul de la flexion longitudinale générale (F.L.G) du navire, les renforcements longitudinaux sont exclus, donc ils sont dimensionnés sur la base de la charge transversale qui agit sur eux. Pour une même grandeur de la charge transversale et les mêmes portés, le module de résistance de ces renforcements est pris égal à 0.7 du module de résistance des lisses de pont situés entre les murailles et les écoutilles.

Aux extrémités du navire la grandeur du moment fléchissant est insignifiante, donc ces régions éprouvent des charges locales dynamiques ou statiques dues aux chocs et aux poids des eaux envahissant le pont, et des mécanismes installés dans ces régions.

Le système de construction de ces régions peut être choisi en fonction de ces efforts.

Si le pont a une construction transversale à ses extrémités, le passage de la construction longitudinale à la construction transversale se fait graduellement afin d'éviter un changement brusque de la section.

III.6 Construction des structures de pont des pétroliers

Les structures de ponts des navires à cargaison liquide sont en général construits en système de construction longitudinale, l'écartement entre les éléments longitudinaux est égal à



l'écartement entre membrure et ils doivent se situer dans le même plan que chaque élément longitudinal de fond et les montants des cloisons transversales.

Les barrots renforcés (transversales de pont) sont constitués de tôles et sont posés dans le même plan vertical que les varangues (transversal de fond), les porques (transversal des murailles) et les montants renforcés (transversal des cloisons) des cloisons longitudinales.

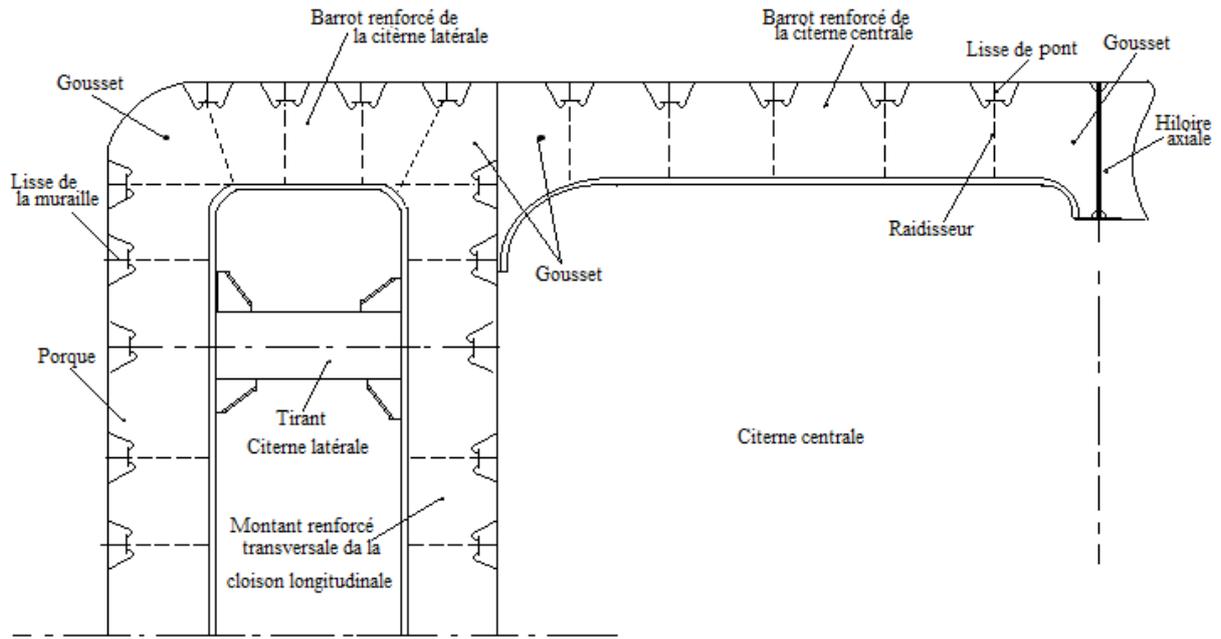
A titre indicatif, l'écartement de base des transversales est donné par la formule ci-après : $E = 0.775 L^{\frac{1}{3}}$ [m]

Les lisses de pont passent à travers les barrots renforcés (transversal du pont) par des évidements auxquels sont soudées. Les lisses sont interrompues, alors elles seront fixées à elles à l'aide de goussets de hauteur et largeur égale au moins 2 fois la hauteur de la lisse.

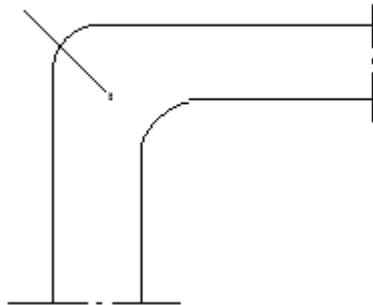
Sur les grands navires pétroliers de longueur supérieure à 200 m, les lisses doivent être obligatoirement continues au niveau de la cloison. L'âme des barrots renforcés (transversales de pont) doit être renforcée par des raidisseurs verticaux disposés dans le plan de chaque lisse.

Sur les pétroliers à 2 cloisons longitudinales, on pose au niveau du plan de symétrie (P.S) une hiloire axiale – carlingue de grande hauteur (égale au moins 2 fois la hauteur du barrot renforcé) renforcée par des raidisseurs verticaux disposés sur une distance l'un de l'autre d'au plus 1.5 m. Dans le tank central, hiloire axiale doit être renforcée au niveau des barrots renforcés par des goussets. Cette hiloire (tôle de séparation) sert d'appuis aux barrots renforcés et en même temps, elle favorise la diminution des chocs sur les cloisons longitudinales de la cargaison liquide pendant le roulis (c'est-à-dire qu'elle sert à diminuer la surface libre du liquide dans le tank central). En conséquence de l'usure élevée due à la corrosion de cet élément (hiloire) son épaisseur est alors augmentée, sa stabilité est assurée par les goussets et les raidisseurs verticaux qui le renforcent, la tôle de séparation (hiloire) subit de grands efforts de compression et pendant la projection une grande importance est accordée à la question de sa stabilité.

Les barrots renforcés (transversales de pont) dans les tanks latéraux sont fixés aux porques par des goussets (circulaires ou triangulaires) qui se transforment directement en porque et en montant renforcé de telle façon que le passage se fait régulièrement. Dans les tanks centraux les barrots renforcés sont fixés à la cloison longitudinale et à hiloire axiale par des goussets qui peuvent être découpés directement dans leurs âmes, la hauteur de ces goussets est égale au moins à la hauteur du barrot renforcé.



Gousset circulaire



Gousset triangulaire

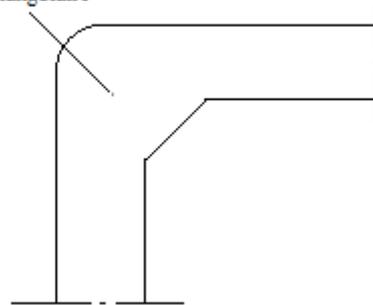


Figure III.14. Construction des structures de pont des pétroliers.



IV. Introduction

Pendant la navigation en mer calme ou en mer agitée, les structures des murailles peuvent être soumises à l'action simultanée :

- des efforts agissants dans leur plan résultant de la flexion longitudinale générale de la coque.
- Et à l'action de la charge transversale due à la pression de l'eau de mer.

Les grandeurs des efforts normaux σ_a de la flexion longitudinale générale varient en hauteur des murailles linéairement en changeant de signe au niveau de la ligne neutre de la poutre navire. Le maximum est atteint au niveau des arrêtes supérieures et inférieures des murailles. Les contraintes tangentielles atteignent leur maximum au niveau de l'axe neutre. En général dans (au niveau de 0.25L des extrémités) la région 0.25 des extrémités. Toutefois les contraintes normales sont maximales au milieu du navire.

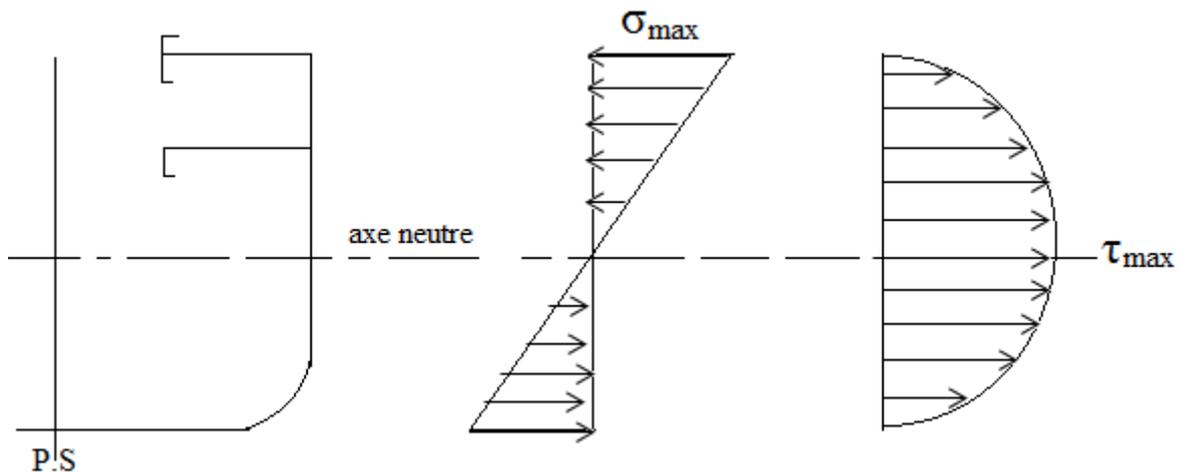


Figure IV.1. Principaux charges agissantes sur la poutre navire.

La grandeur de la charge transversale varie en hauteur de la muraille selon de loi hydrostatique.

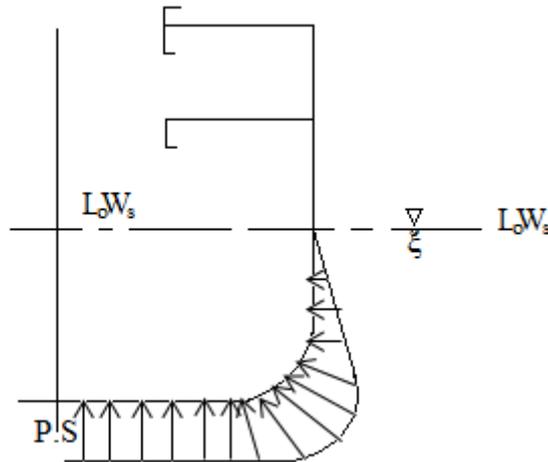


Figure IV.2. Charge transversale agissant sur le bordé de la muraille.

Outre ces efforts les murailles sont soumises à des charges dynamiques dues aux chocs des vagues (houles) sur la muraille, aux chocs pendant l'amarrage, à la pression des glaces, et autres ... les efforts transversaux sont transmis au contour d'appui (structure de fond, de pont et de cloisons transversales).

IV.2 Système de construction des murailles et conditions de calcul

Pour la perception de la charge transversale agissant sur les murailles et des efforts de compression agissant dans le plan des murailles, les tôles du bordé doivent être renforcées par des poutres de la charpente et en fonction de l'orientation des mailles on détermine le système de construction.

Sur les navires de transports, la construction des structures des murailles est accomplie en système de construction longitudinale ou en système de construction transversale.

Sur la plupart des cargos non spécialisés, les structures des murailles possèdent le système de construction transversale qui est le plus rationnel pour ce type de navires. En réalité les contours d'appui transversal des structures des murailles des cargos sont les cloisons transversales, et le contour d'appuis longitudinaux est constitué des ponts et de fond. La distance entre le pont et le fond même sur les grands navires à un seul pont est en général plus petite que la distance entre deux cloisons transversales successives, et de point de vue résistance locale la pose de la charpente principale parallèlement au côté le plus court du contour d'appui de la structure est plus rationnelle.



- Si la longueur de la structure de muraille est deux fois plus grande que sa hauteur (c'est le cas des cargos à plusieurs ponts et des navires à passagers) alors sur la muraille on pose uniquement des membrures.
- Si la longueur de la structure de la muraille est à peu près égale à sa hauteur ($L=H$), il est plus rationnel de poser des membrures simples intercalées de porques (posées chaque 3 à 5 écartements) et une liaison longitudinale (serre de la muraille).

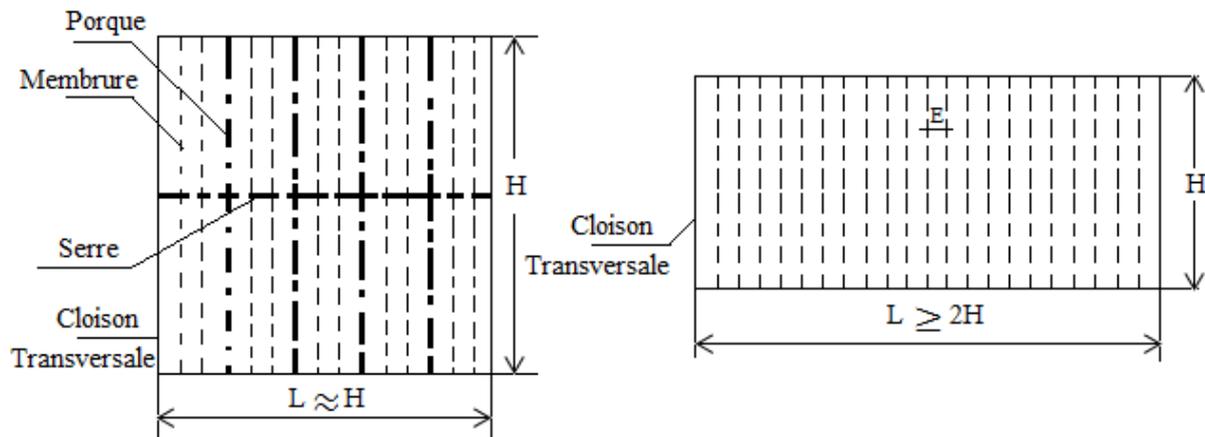


Figure IV.3. Charpente de la muraille selon les conditions de calcul.

Cependant sur les cargos la pose de porques et de serres rend plus difficile l'utilisation du volume intérieur de la cale, et c'est pour cela qu'un tel système n'est utilisé que s'il y a nécessité. Par exemple dans le but d'avoir un renforcement contre les glaces, ou dans le cas des navires transportant des cargaisons lourdes sur le pont, ou dans le cas d'inexistence d'épontilles dans les cales... etc.

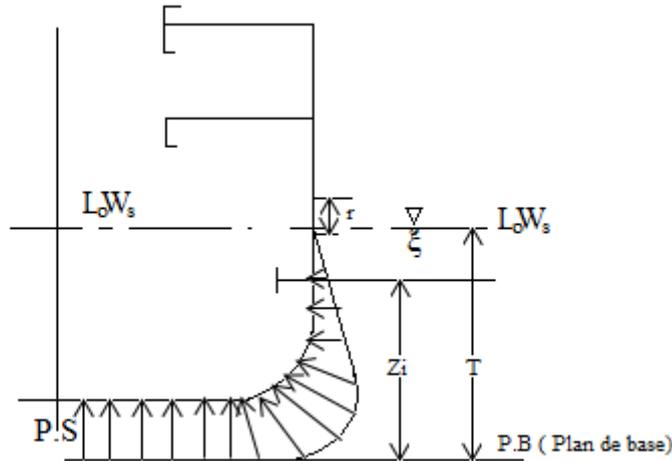
Le système de construction longitudinale est appliqué sur les grands vraquiers, les pétroliers et les navires de guerre. Le rapport des dimensions de structures des murailles de ces navires est tel que du point de vue assurance de la résistance locale il n'y aura pratiquement aucune différence dans le sens de la pose des liaisons principales longitudinalement ou transversalement. Le système de construction longitudinale nécessite la pose de hautes poutres (porques) qui sont encombrantes pour le cas des cargos et ce qui n'est pas le cas pour les navires cités plus haut.

La disposition longitudinale des lisses des murailles assure la stabilité nécessaire des tôles du bordé les plus éloignées de l'axe neutre, et le poids de la structure diminue.



IV.3 Charges théoriques

La charge théorique des liaisons verticales (membrures) est répartie en triangle. La charge maximale au plan de base est égale à la pression de la colonne d'eau de hauteur égale à la hauteur de la muraille ($h_{thé} = H_{section}$).



Zi: distance entre le plan de base jusqu'à un ieme élément longitudinal

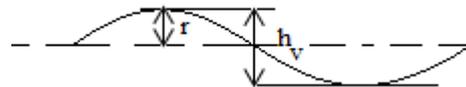
Figure IV.4. Charge théorique des liaisons verticales de la muraille.

Pour les liaisons longitudinales (lisses et Serres de murailles) la charge théorique est égale à :

- une charge uniformément répartie correspondant à la pression d'eau de hauteur égale à la hauteur de la colonne d'eau augmentée du profil ondulatoire de la vague moins la distance Zi de la liaison sur le plan de base.

$$h_{Th} = T + r - Z_i$$

$$r = \frac{h_v}{2} \dots \dots h_v : \text{hauteur de la vague.}$$



- une charge répartie correspondant à la pression d'eau de hauteur jusqu'au niveau coïncidant jusque sur le plan de base.

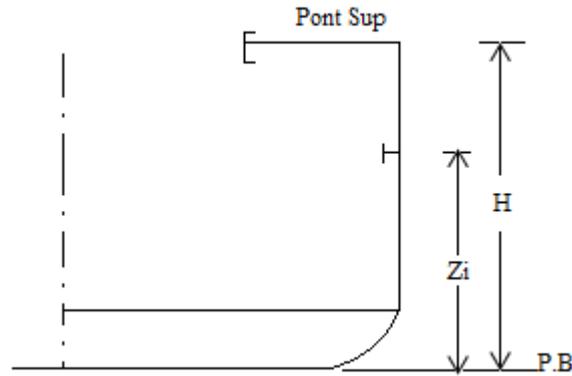


Figure IV.5. Charge théorique des liaisons longitudinales de la muraille

IV.4 Choix de l'écartement entre membrures

L'écartement entre membrures est calculé en fonction de la longueur du navire et il varie de l'écartement minimum qui est fixé à 600 ou 610 mm (530 pour les normes Japonaises) et 1000 mm.

Une variation de l'écartement E entraîne une variation de la rigidité, de la résistance, du poids et des caractéristiques technologiques et économiques des différentes constructions, la normalisation des écartements facilite la création d'un système standard des différents éléments de construction (tôles, plats à boudins, cornières,...etc.), et la technique de réparation de ces éléments.

IV.4.1 Système de construction transversale de la charpente de la muraille des navires Cargo

Sur les cargos en général, les structures des murailles sont projetées en système de construction transversale. Ce système est apporté pour les cargos vu que la distance entre les ponts et le fond est en général beaucoup plus petite que la distance entre deux (2) cloisons transversales successives. Dans un tel système de construction, la membrure forme avec le barrot et la varangue un portique ou un cadre.

- ✦ Quand le rapport entre la distance entre les ponts ou le pont et le fond et la distance entre les cloisons transversales est plus grand que 2, du point de vue indice de poids il est rationnel que le système transversal soit uniquement composé de membrures simples.



- pour des rapports plus petits, la pose de porques et de serres est rationnelle, dans la salle des machines et dans le but de lutter contre les vibrations, on pose des porques et les serres de murailles.

IV.5. Construction transversale au maitre couple d'un cargo

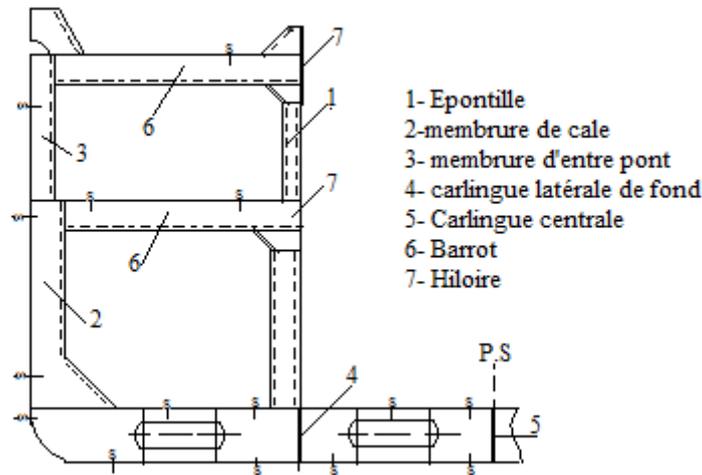


Figure IV.6. Section maitresse d'un cargo dans le système de raidissage transversal.

IV.5.1 Système de construction transversale des vraquiers et des pétroliers

Le système de construction transversale avec des membrures simples intercalées de porque est souvent utilisé sur les pétroliers et les vraquiers. Sur les navires transportant des cargaisons en vrac légères, au niveau de la partie supérieure des murailles, on construit des citernes de ballast dans le but d'éviter la pose d'épontilles sous les ponts, à grandes ouvertures et pour que les efforts se transmettent du pont traverse la citerne à la muraille, la porque dans la citerne de ballast prend la forme d'une cloison pleine.

La particularité constructive des vraquiers est l'existence de caissons sous le pont et au niveau du bouchain. Les caissons servent en général à stabiliser la cargaison dans la cale pendant la navigation sur mer agitée (roulis) et peuvent servir de citerne de ballastage.



- 1- Gousset
- 2- Barrot de pont
- 3- Membrure entre pont
- 4- Membrure de cale
- 5- Porque membrure renforcée)
- 6- Plat bandeau
- 7- Virure du bordé de la muraille
- 8- Gousset de pied

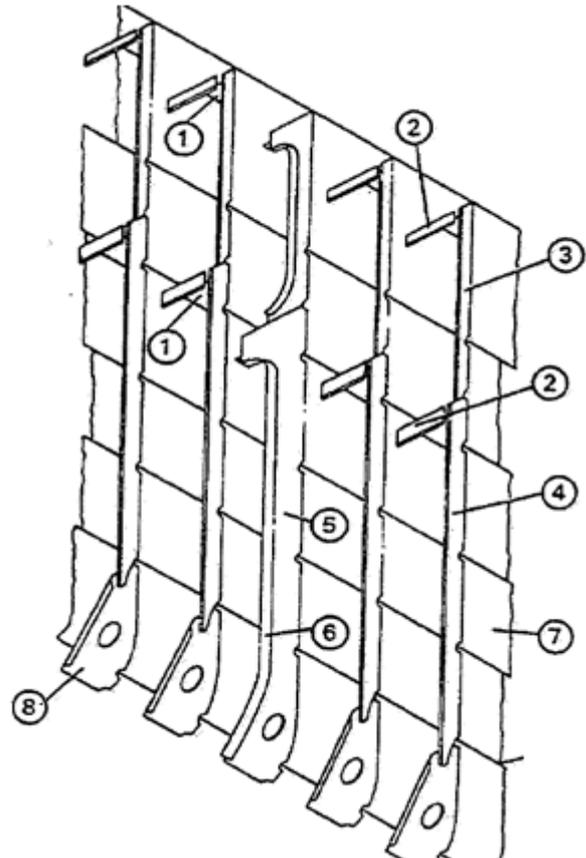


Figure IV.7. Construction transversale du bordé de la muraille.

Sur les pétroliers le système de construction transversale avec porques et serre est souvent utilisé. La longueur maximale des navires sur lesquels ce système est utilisé ne dépasse pas 200 m, si la longueur dépasse les 200 m il est plus rationnel d'utiliser le système de construction longitudinale des murailles.

L'avantage du système de construction transversale des murailles est l'absence des concentrations de contraintes au niveau des cloisons transversales aux extrémités des lisses de murailles des systèmes longitudinaux quand celles-ci sont interrompues au niveau des cloisons.

IV.5.2 Système de construction longitudinale des murailles des vraquiers et Pétroliers

Sur les grands vraquiers et les superpétroliers, on utilise le système de construction longitudinal. Ces navires ont un seul pont et la hauteur (le creux) est en général plus grande que la distance entre 2 cloisons transversales successives. Donc du point de vue résistance locale le système de construction longitudinale (les liaisons principales- fréquentes- parallèles au côté le plus court) est meilleure.



Pour éviter les concentrations de contraintes au niveau des cloisons transversales, il est nécessaire d'assurer la continuité des lisses et conformément aux exigences du règlement, le module de résistance des lisses ne diminue au fur et à mesure que du pont

Toutefois les trois (3) lisses les plus hautes sont prises (on les prend) de même section. Dans la région du bouchain, le passage des dimensions (des sections) des lisses de murailles à celles du fond doit se faire progressivement.

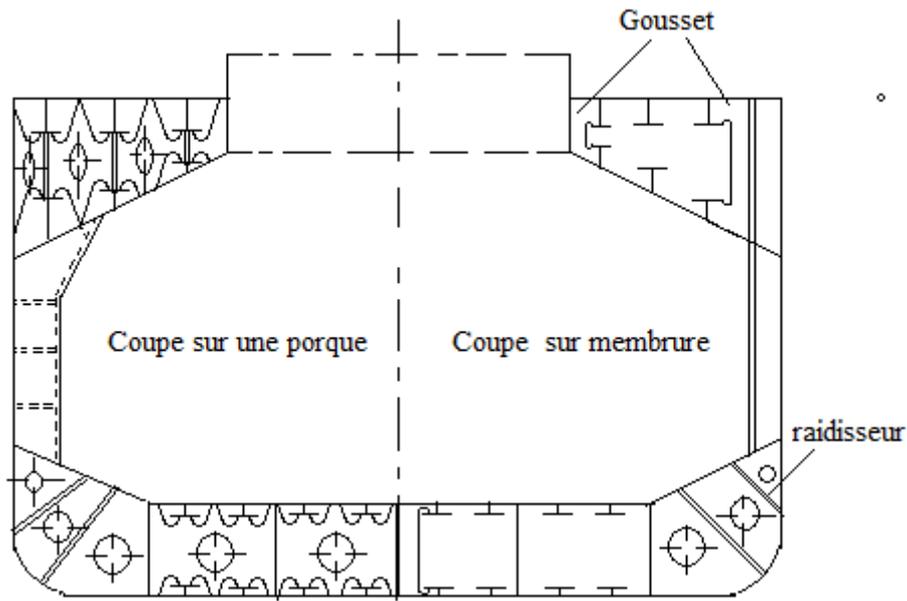


Figure IV.8. Construction longitudinale du bordé de la muraille des vraquiers.

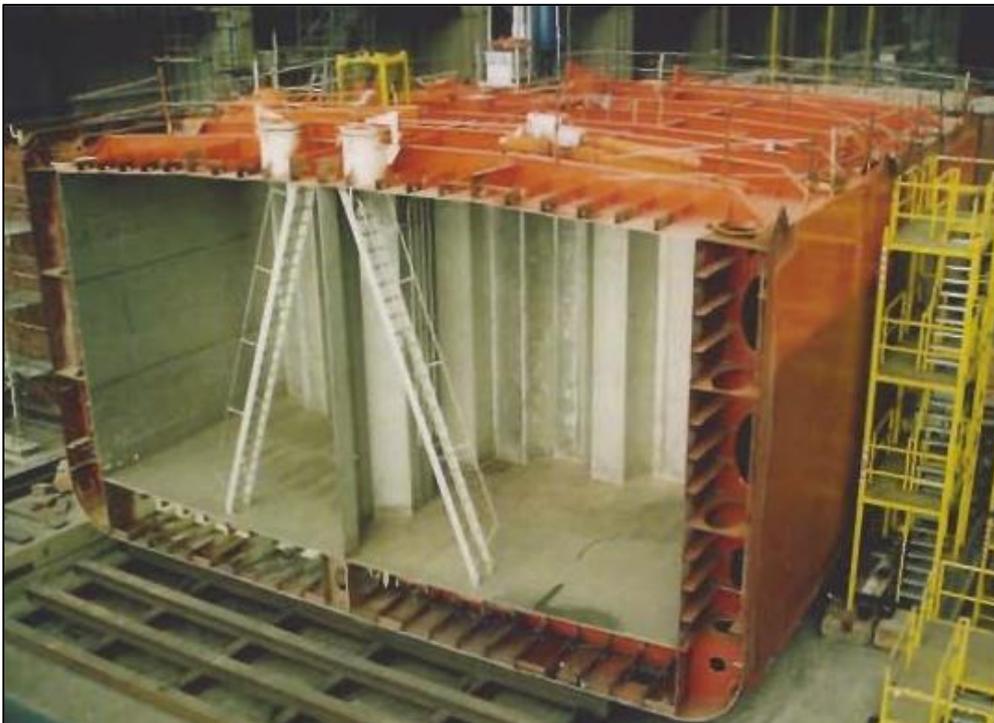


Figure IV.9. Construction longitudinale du bordé de la muraille des pétroliers.



- 1- Lisse de muraille
- 2- Serre de muraille
- 3- Annaux porque
- 4- Tôle mouchoir
- 5- Hiloire latérale
- 6- Lisse de pont
- 7- Membrure

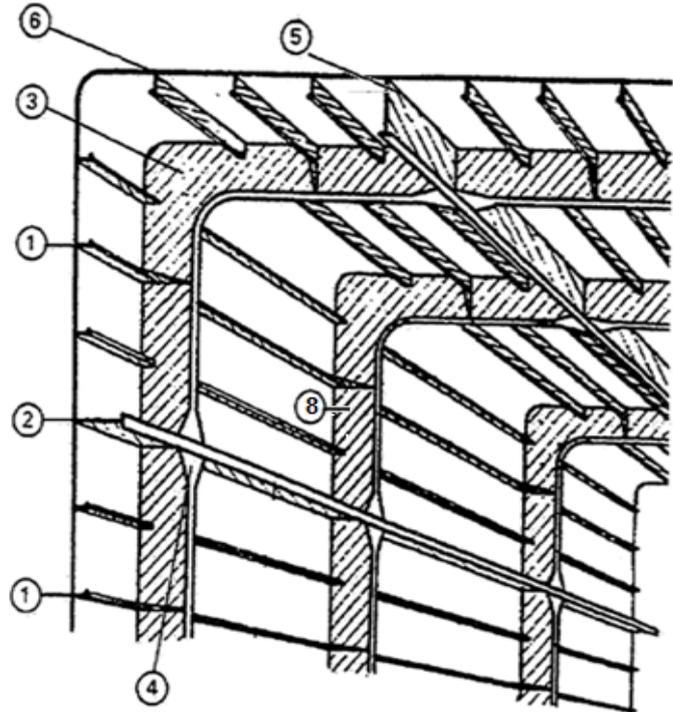


Figure IV.10. Construction longitudinale du bordé de la muraille.

Les lisses de murailles doivent se situer dans le même horizontal que les liaisons des cloisons transversales et longitudinales. Les lisses sont fixées au niveau des cloisons transversales à l'aide de goussets. Si la lisse est interrompue au niveau de la cloison transversale, la hauteur du gousset est plus grande ou égale à 2 fois la hauteur de la lisse (voir la figure).

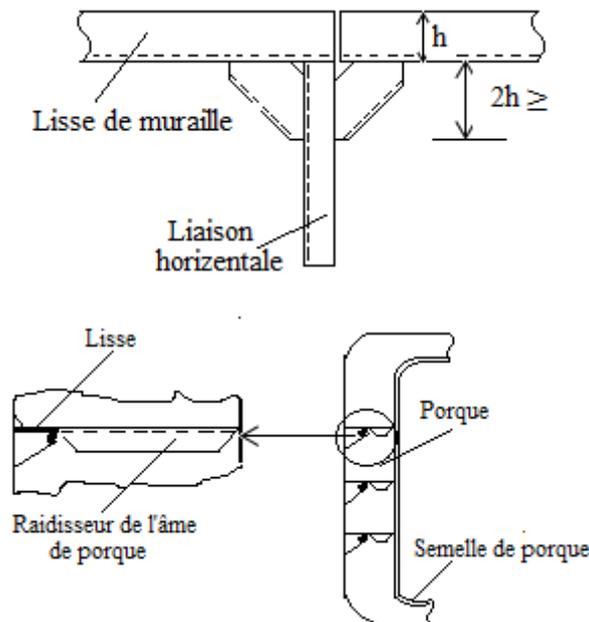


Figure IV.11 Jonction Lisse de muraille avec liaison horizontale.



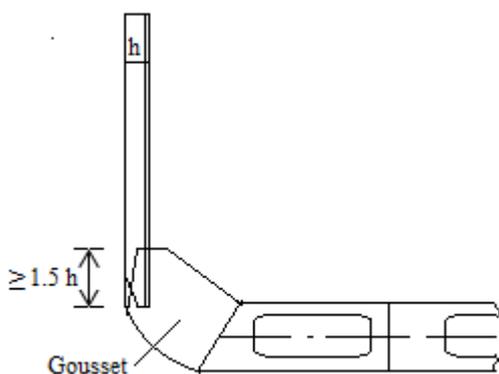
Dans le plan vertical, les structures des murailles sont renforcés par des transversales de murailles (porques) posées dans le même plan que les varangues (transversale de fond) et les barrots (transversale de pont) et les montant de cloisons (transversale de cloison des cloisons longitudinales) longitudinales, de telle sorte que l'ensemble forme un anneau.

Pour la stabilité de l'âme des porques et dans le but de renforcer l'appui des lisses au niveau de l'âme de porque cette dernière (l'âme de la porque) doit être renforcée par un raidisseur horizontal soudé à la semelle de la lisse.

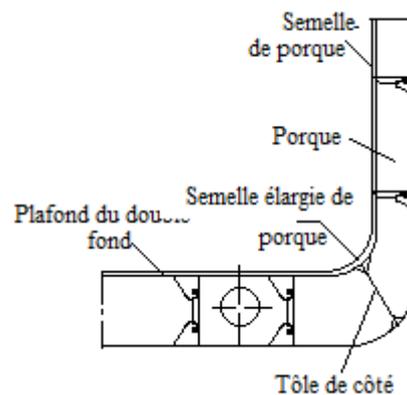
IV. 6 Jonction des liaisons de la charpente des murailles aux appuis

La jonction des liaisons des liaisons des murailles au niveau des appuis se fait à l'aide ou sans goussets. L'emplacement des liaisons longitudinales et transversales de la charpente dans un même plan et leurs jonctions en nœud de telle sorte qu'elles forment entre elles un portique fermé assure un bon appui aux extrémités de ces liaisons.

IV.6.1 Construction des appuis des membrures au niveau du fond



« Jonction à l'aide d'un gousset de bouchain »



« Jonction d'une porque au niveau du bouchain dans un système de construction longitudinale des murailles »

Figure IV. 12. Construction des appuis des membrures au niveau du fond.

La semelle de la porque s'évase au niveau du bouchain pour former le gousset du bouchain, le gousset de bouchain doit avoir un pliage sur son arête libre ou un plat soudé, il doit avoir un pliage sur son arête libre ou un plat soudé, il doit recouvrir la membrure sur pas moins 1.5 la hauteur du profilé de la membrure.



- Si la membrure est un profilé en T, le gousset sera soudé à elle de telle sorte qu'il doit former la continuité de l'âme du profil, la semelle de la membrure sera soudée en about avec la semelle du gousset de bouchain.
- Si le plafond est horizontal conformément aux règlements les dimensions des goussets de bouchains ne doivent pas être moins de $1/10$ de la distance entre le plafond du double fond et le pont la plus proche mesure sur la muraille.

On peut rencontrer des constructions sans goussets de bouchain dans ce cas la membrure doit avoir un module de résistance un peu plus grand et passe sous le plafond.

Dans le cas d'une construction transversale des murailles et longitudinale du fond, la jonction des membrures qui ne sont pas dans le plan des varangues se fait à l'aide de goussets soudé sur la tôle de côté et prolonger jusqu'à la lisse la plus proche.

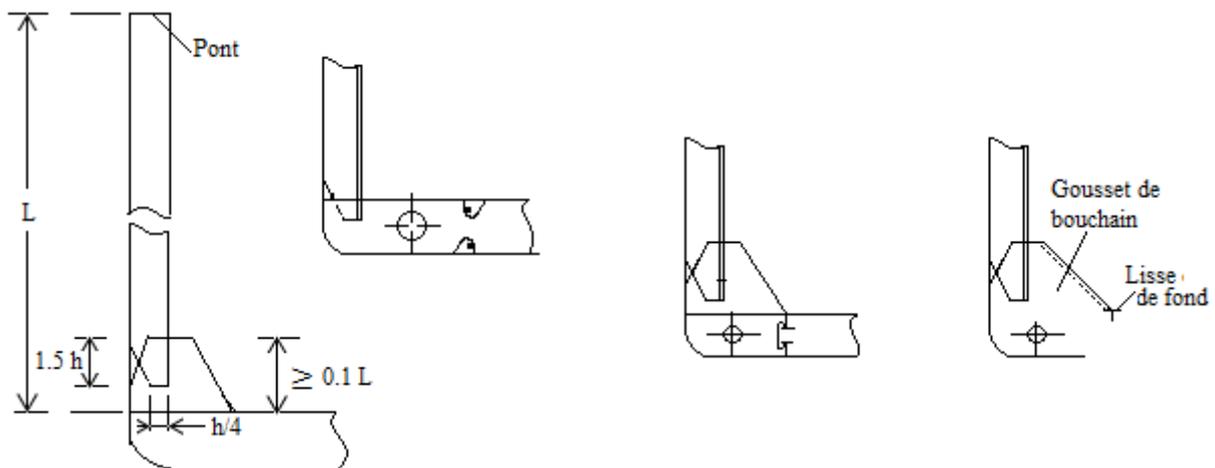


Figure IV. 13. Jonction des membrures au niveau des lisses de fond.

IV.6.2. Construction des appuis des membrures au niveau des ponts et des plates formes

Les membrures sont fixées aux barrots ou aux tôles du bordé de pont si dans leur plan il n'y a pas de barrot, à l'aide de goussets de barrots qui est soudés bout à bout ou avec recouvrement. Dans le cas où la membrure ne tombe pas dans le plan d'un barrot, le gousset doit être prolongé jusqu'à la lisse la plus proche.

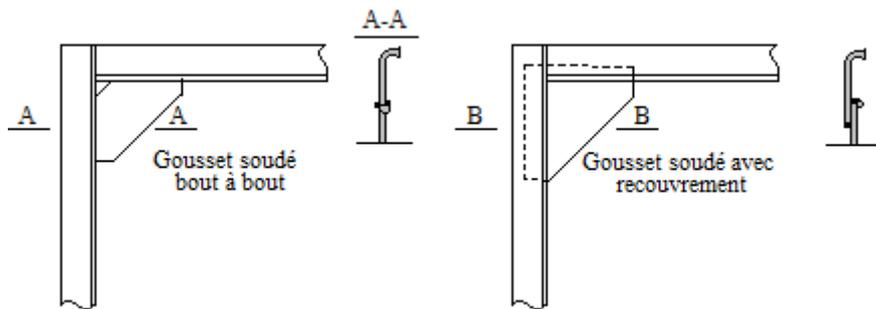
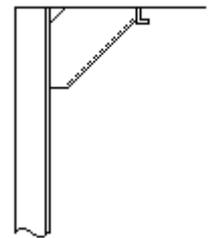


Figure IV. 14. Construction des appuis des membrures au niveau des ponts et des plates formes

Les goussets posés bout à bout nécessitant une grande précision pendant leur découpage et un bon ajustage pendant le montage.

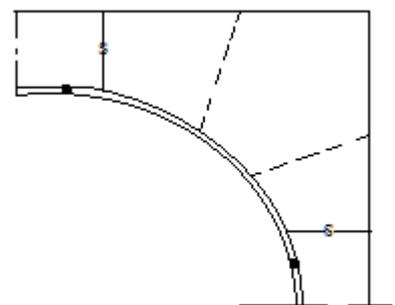
Les goussets posés avec recouvrement ne nécessitent pas de grandes précisions pendant leur découpage et leur ajustage, mais leurs dimensions sont plus grandes que celles des goussets soudés bout à bout, et ils travaillent au cisaillement.



Les dimensions des goussets sont calculées en fonction des dimensions des éléments qu'ils lient (en général leur hauteur ne doit pas être inférieure à 1.5 la hauteur du barrot).

L'arrête libre du gousset possède un pliage qui l'a renforcé contre le flambement.

Les goussets reliant une liaison renforcée (porque ou barrot renforcé) peuvent être découpés directement dans l'âme des éléments qu'ils lient.





IV.6.3 Jonction des extrémités des membrures des différents profilés au niveau d'un pont intermédiaire

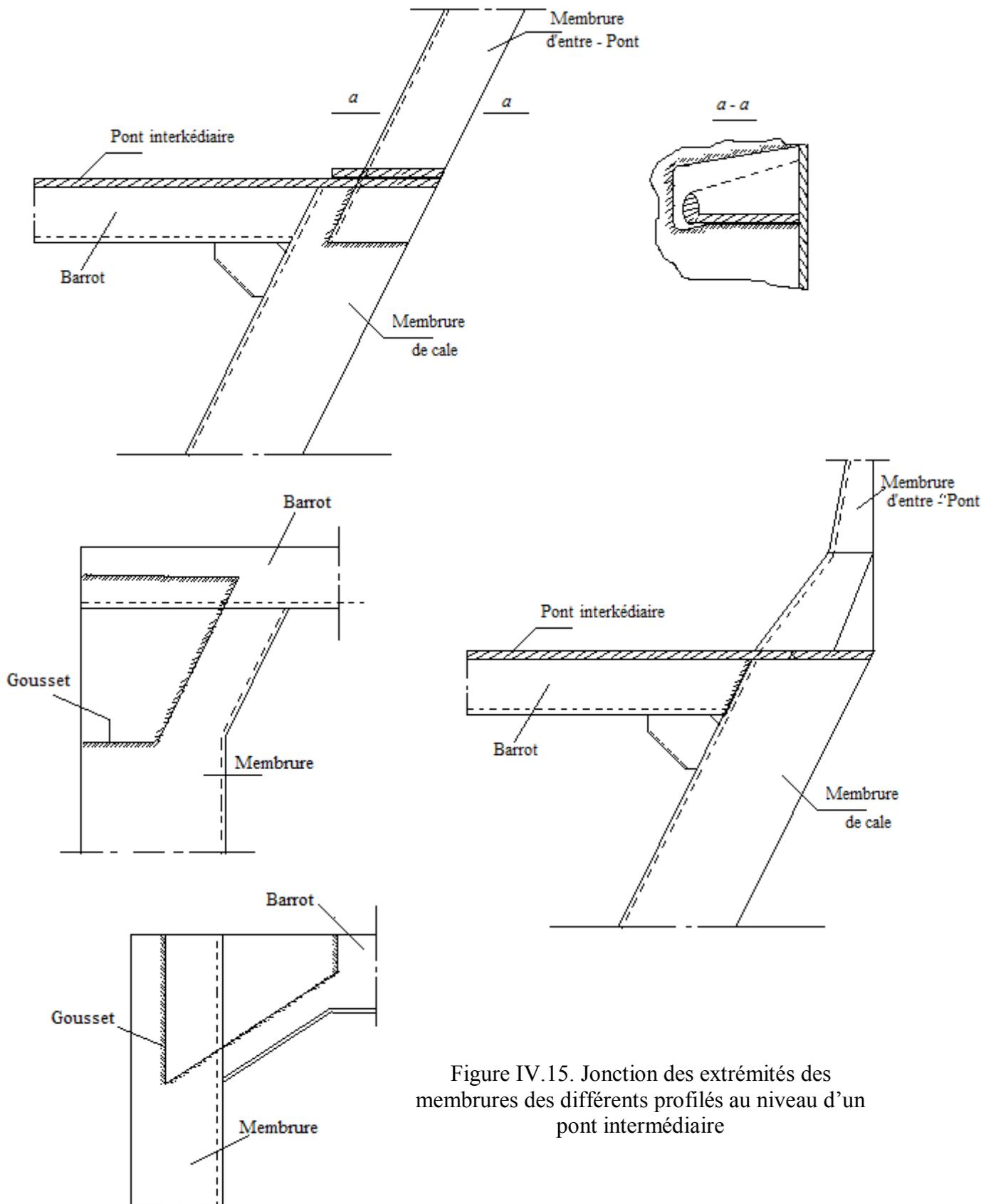


Figure IV.15. Jonction des extrémités des membrures des différents profilés au niveau d'un pont intermédiaire

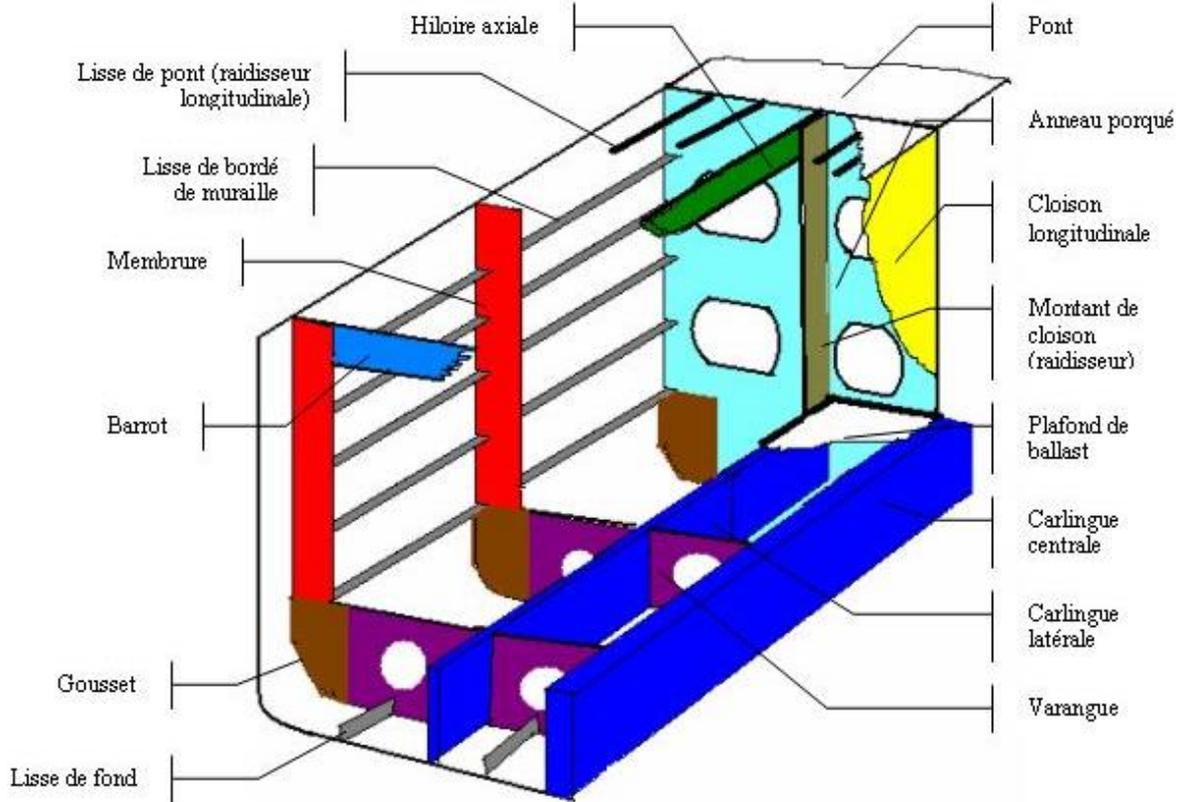


Figure IV.16. Vue en 3D de la structure d'un navire avec diffèrent liaisons de pont de muraille et de fond.

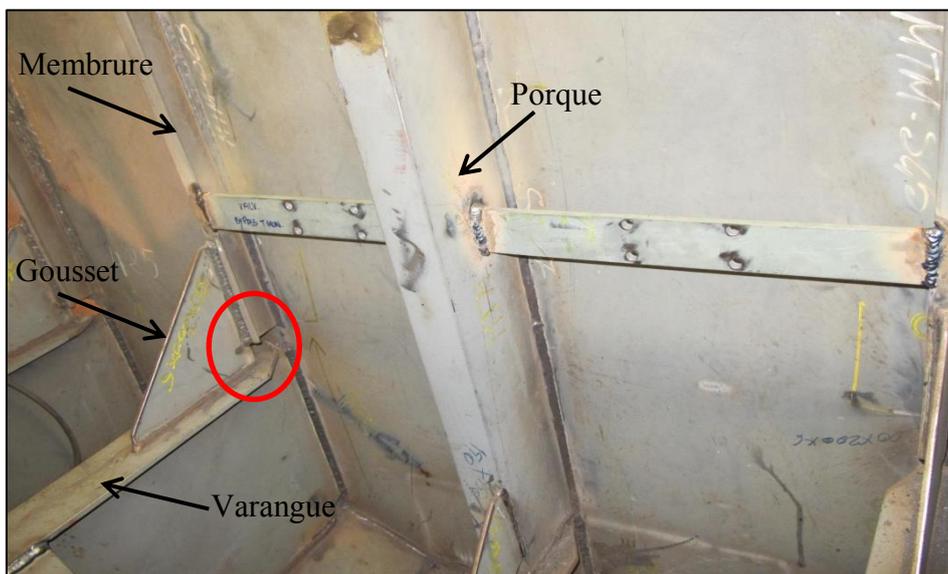


Figure IV.17. Jonction les constituants de muraille avec les constituants de fond.



Figure IV.18. Détail des jonctions des membrures avec les varangues à l'extrémité du bordé de la muraille.



Figure IV.19. Coupage de la semelle supérieur de la varangue en chanfrein.



V.1 Rôle et construction des épontilles

Les épontilles sont des collones verticales, elles servent à augmenter la résistance verticale et la stabilité des structures de pont, elles servent d'appuis complémentaires aux carlingues de pont et en même temps augmentent le rôle de ces carlingues en tant que liaisons primaires supportant les barrots. En cas d'absence d'épontilles, les carlingues de grandes portées ne peuvent pas supporter les barrots dans leur parties centrale. Les épontilles doivent être placées autant que possible dans le plan vertical d'une ligne de carlingue, leurs assises doivent être largement calculées et établie de façon à assurer une bonne distribution de la charge sur plusieurs varangues et sur les carlingues, ces varangues ne doivent pas comporter des trous-d'homme (sur au moins 1 à 2 écartements) de chaque côté de l'épontille. Des épontilles peuvent être prévues sous les treuils, les grues, les guindeaux, l'appareil à gouverner, dans les compartiments machines, aux extrémités et angles des roufles.

Les épontilles doivent être posées au niveau du pont et du fond sur liaisons rigides (au niveau de l'intersection des carlingues de pont et des barrots renforcés et à l'intersection d'une carlingue de fond avec une varangue), elles peuvent être posées sur des constructions rigides telles que les cloisons longitudinales, transversales, les semis cloisons...



Figure V. 1. L'emplacement des épontilles dans la charpente de fond du navire.

Dans le cas où une épontille se s'appuie pas sur une construction rigide mais directement sur la structure de fond, alors elle assure l'égalité de déplacements verticaux des poutres de la charpente de pont et de fond et par conséquent le travail commun des deux structures sous l'action des charges transversales agissantes sur elle. La résistance des ponts avec ouvertures (Ex. cargo) est difficile à assurer , sans l'amplacement d'épontilles, par exemple en cas d'absence d'épontilles, il est nécessaire de poser de hautes carlingues



s'appuyant sur des montants renforcés des cloisons transversales et des barrots renforcés s'appuyant sur des porques, une telle construction est encombrante, toutefois l'absence d'épontilles facilite les opérations de chargement et déchargement des cargaisons à grands gabarits.

Les épontilles situées dans les cales ont des sections plus grandes et ce parce qu'elles reçoivent outre la charge des structures des ports, le poids des cargaisons situées dans les entreponts.

Les épontilles sous les carlingues supportent les surfaces suivantes de pont :

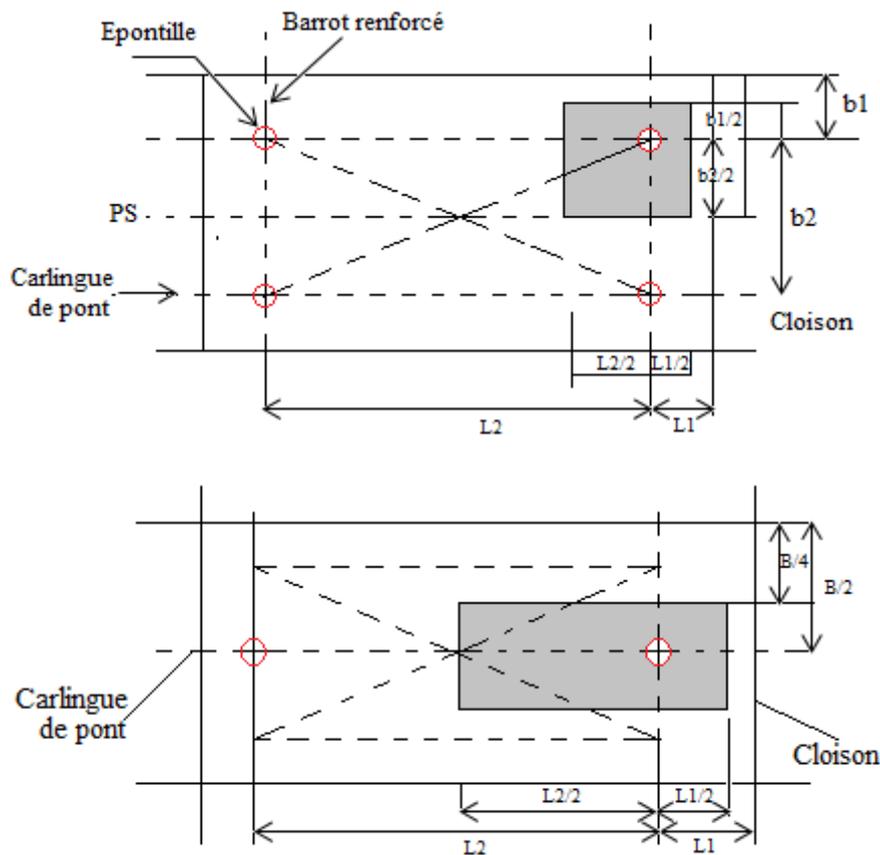


Figure V. 2. Position des épontilles au niveau du pont du navire.

Les épontilles se calculent en général comme des poutres à appuis libres et travaillent à la compression.

Les jonctions de l'épontille à ses extrémités doivent se faire sans ou avec gousset de dimensions minimales, une telle jonction permet d'avoir un nœud (jonction) non rigide.



La jonction rigide des extrémités des épontilles à l'aide de gousset de dimensions normales fait que l'épontille reçoit une certaine part du moment fléchissant, la flexion de l'épontille est provoquée par la différence des portées entre les barrots et les carlingues de pont et d'autres de l'épontille en largeur et en longueur du navire, cette asymétrie provoque une rotation des sections de la carlingue et du barrot ce qui engendre la flexion de l'épontille qui est rigidement liée avec les semelles croisées de la carlingue et du barrot, donc une grande attention doit être faite pour l'assurance de la stabilité des épontilles.

La grandeur critique de la charge de l'épontille est proportionnelle au moment d'inertie minimale de sa section et c'est pourquoi que la meilleure forme de la section de l'épontille est celle pour laquelle le moment d'inertie nécessaire est atteint pour une section minimale.

Le profilé le plus avantageux de l'épontille est le tube.

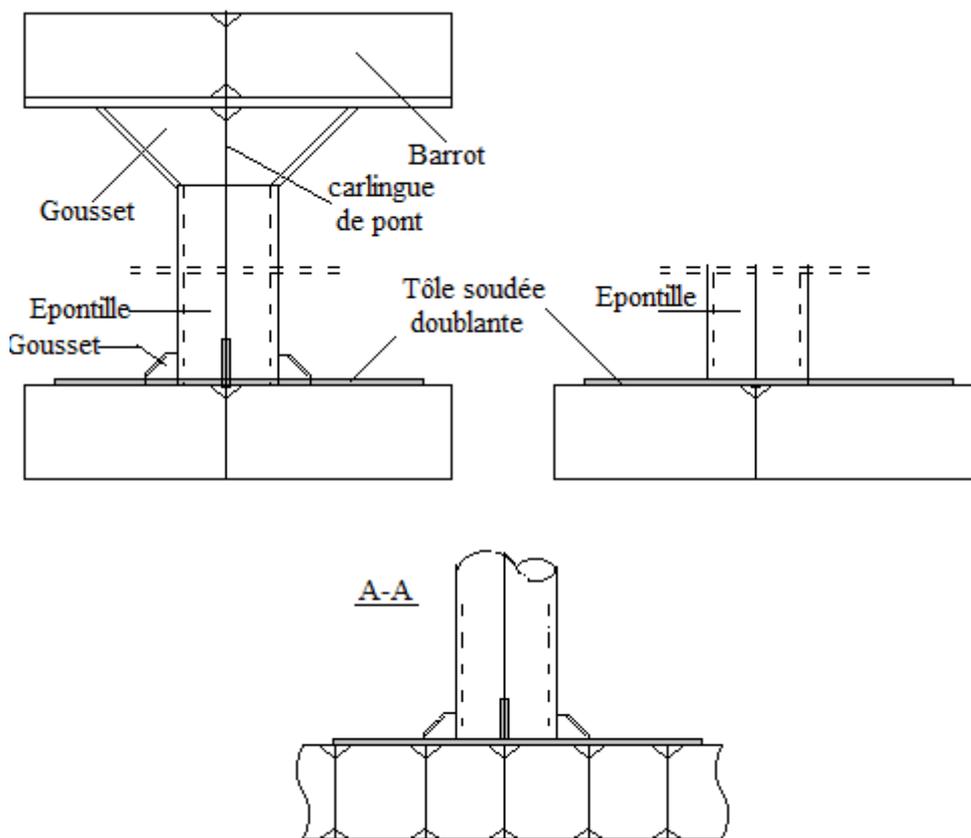


Figure V.3. Jonction des extrémités des épontilles à l'aide de goussets.

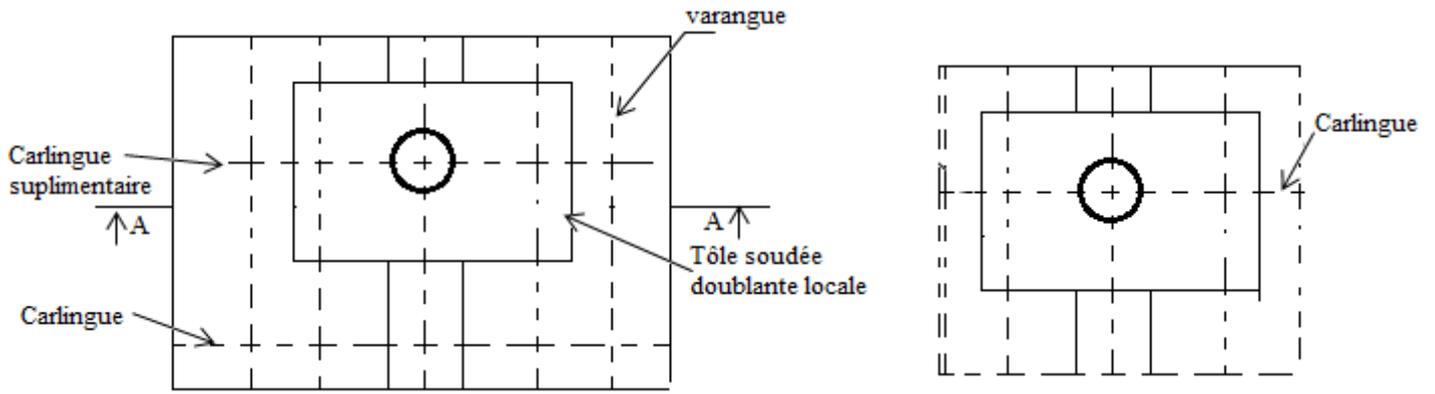


Figure V.4. Construction des épontilles aux extrémités.

Dans le cas où l'épontille ne tombe pas sur l'intersection des varangues avec les carlingues de fond, on doit prévoir des carlingues supplémentaires allant sur quelques écartements, les évidements des carlingues et des varangues ne sont pas permis sous les épontilles.

V.2 Cloison d'épontillage (semi-cloison)

Dans le cas de grandes dimensions des ouvertures des ponts sur les navires larges, il est rationnel de poser les cloisons d'épontillages à la place des épontilles et qui vont de l'hiloire transversale de l'écouille jusqu'à la cloison transversale. Les cloisons d'épontillages créent des appuis rigides à l'axe du navire (P.S) pour les barrots et les barrots d'écouilles.

La cloison d'épontillage doit avoir une épaisseur au moins égale à 7 mm ; et doit être raidie convenablement par des montants échantillonnés tels qu'ils présentent associés à une portion de cloison, la même résistance à la compression et au flambement qu'une épontille.

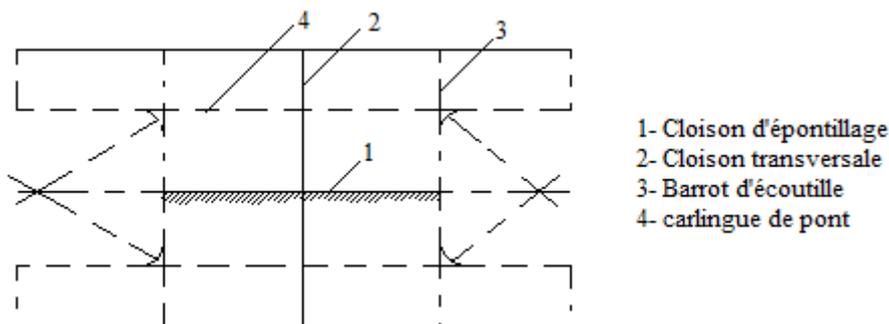


Figure V.5. Cloison d'épontillage.



V.3 Barrots consoles

Barrot console est un barrot qui situé en abord de l'écouille, est échantillonnée de manière à constituer pour l'hiloire d'écouille, un appui plus ou moins déformable permettant de réduire l'échantillonnage de cette dernière.

Il est recommandé de prévoir des goussets des plats de raidissage au niveau de la liaison du barrot avec la membrure.

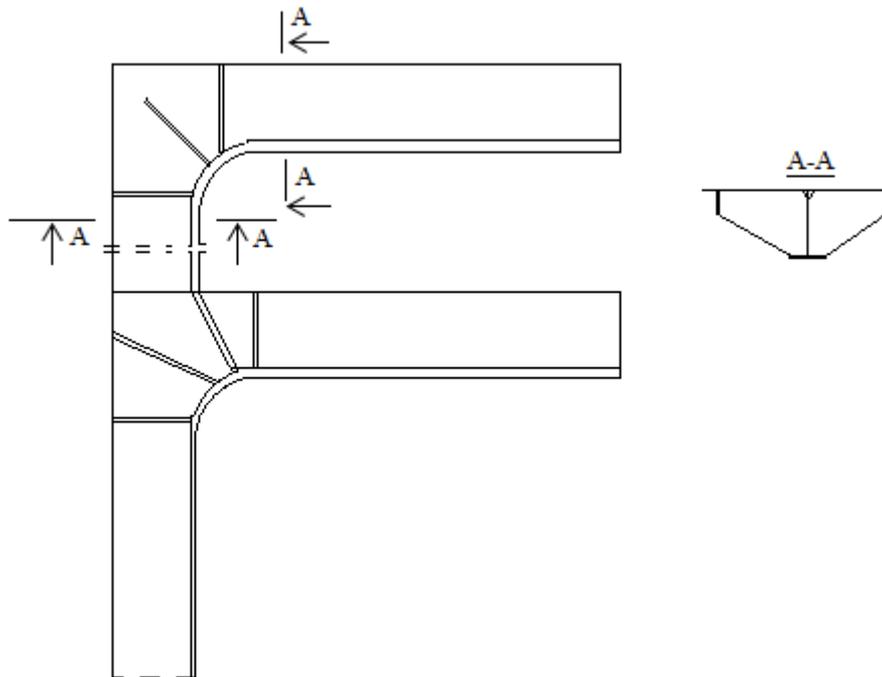


Figure V.6. Barrots consoles.

- 1- Varangue
- 2- Gousset avec semelle
- 3- Lisses de muraille
- 4- Raidisseur longitudinal
- 5- Membrure
- 6- Epontille
- 7- Montant de la cloison transversale
- 8- Raidisseur horizontal de la cloison transversale

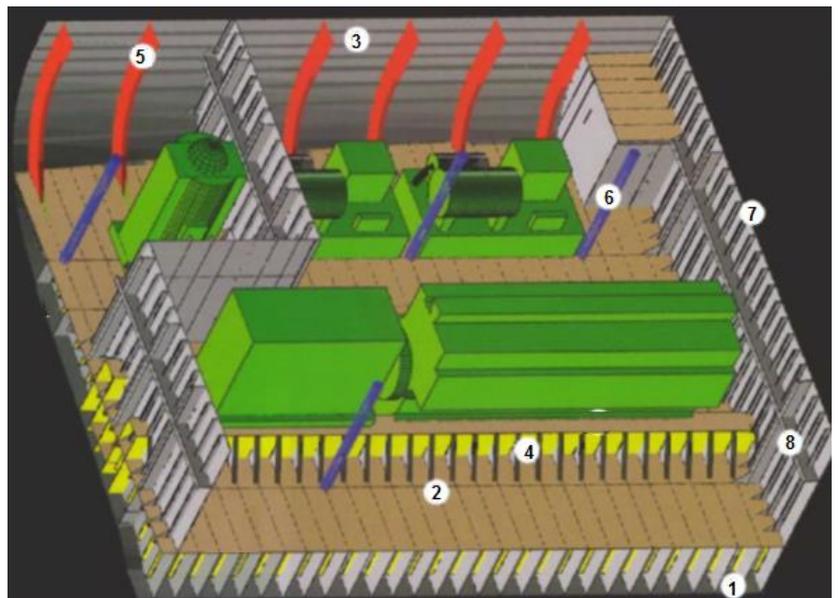


Figure V.7. Disposition des épontilles sur le plafond du double fond.



VI.1. Généralités, rôle et dispositions des cloisons

Les cloisons se divisent en cloisons transversales et longitudinales, les cloisons longitudinales sont surtout posées sur les navires à cargaison liquide (pétroliers) pour les compartimer en largeur afin de diminuer les surfaces libres dans les tanks, elles servent d'appuis aux structures qui entourent.

Les cloisons transversales servent d'appuis aux structures qui les entourent (structure de fond, de pont et de muraille) et par conséquent elles doivent avoir une bonne résistance et bonne stabilité, les cloisons transversales servent à compartimer le navire en longueur, suivant leurs destinations, les cloisons transversales peuvent être divisées comme suit :

- ↻ Cloisons de compartimentage : (cloison de séparation), elles sont calculées sous l'action de courte durée de la pression hydrostatique pendant l'inondation du compartiment. Par exemple les cloisons de compartimentage des cales des cargos.
- ↻ Cloisons qui peuvent être sous la pression hydrostatique : ce sont les cloisons extrémités limitant les piques, en cas d'avarie (ex-brèche dans le bordé) elles doivent supporter non seulement la pression d'eau mais aussi les chocs des vagues pendant la traversée du navire endommagé jusqu'au port le plus proche.
- ↻ Cloisons qui sont sous l'action constante des produits de combustion : ce sont les cloisons des soutes de combustibles et des cales à liquides. Ex. Cloisons des pétroliers.

Du point de vue destination, la résistance des différentes cloisons peut être différente. Les cloisons de cale supportent de plus grandes tensions que les cloisons extrémité ou les cloisons de soutes.

Le nombre de cloisons est déterminé en fonction de la destination et la longueur du navire. Sur tous les navires on pose les cloisons extrémités (cloisons d'abordage et de presse étoupe) qui séparent les piques, et une cloison à chaque extrémité du compartiment des machines « 4 cloisons obligatoires »

Remarque :

Concernant les dispositions des cloisons étanches, les cloisons seront disposées autant que possible de manière à constituer des compartiments étanches de dimensions égales ou décroissant légèrement vers les extrémités, toutes les cloisons doivent être étanches et doivent s'élever jusqu'au le pont de compartimentage (c'est-à-dire le pont de franc-bord). Pour tous



les navires à l'exception des navires destinés à recevoir une marque de compartimentage, la cloison d'abordage doit s'élever dans tous les cas jusqu'au pont de franc-bord.

Dans les navires munis d'un long gaillard, le siège BV se réserve de droit d'exiger un prolongement étanche aux intempéries jusqu'au pont du gaillard. Lorsque la cloison presse-étoupe n'est pas en même temps cloison arrière du compartiment des machines, elle peut s'arrêter à une plateforme ou un pont de construction étanche, situé au-dessus de la flottaison en charge. Dans le cas contraire, elle doit s'élever jusqu'au pont de compartimentage.

Aucune porte ou trous d'homme n'est admis dans la cloison d'abordage, au-dessous du pont de compartimentage. En dehors de ce cas, les ports dans les cloisons étanches doivent assurer l'intégrité de l'étanchéité des cloisons dans lesquelles sont installées.

Sur les navires à 2 ou plusieurs ponts dans le cas où le second pont à partir du haut se situe plus haut que la ligne de flottaison en pleine charge, les cloisons étanches peuvent être arrêtées au niveau de ce pont, l'espace entre le pont supérieur et le deuxième pont dans ce cas sont divisés par des cloisons qui peuvent ne pas coïncider avec les cloisons principales.

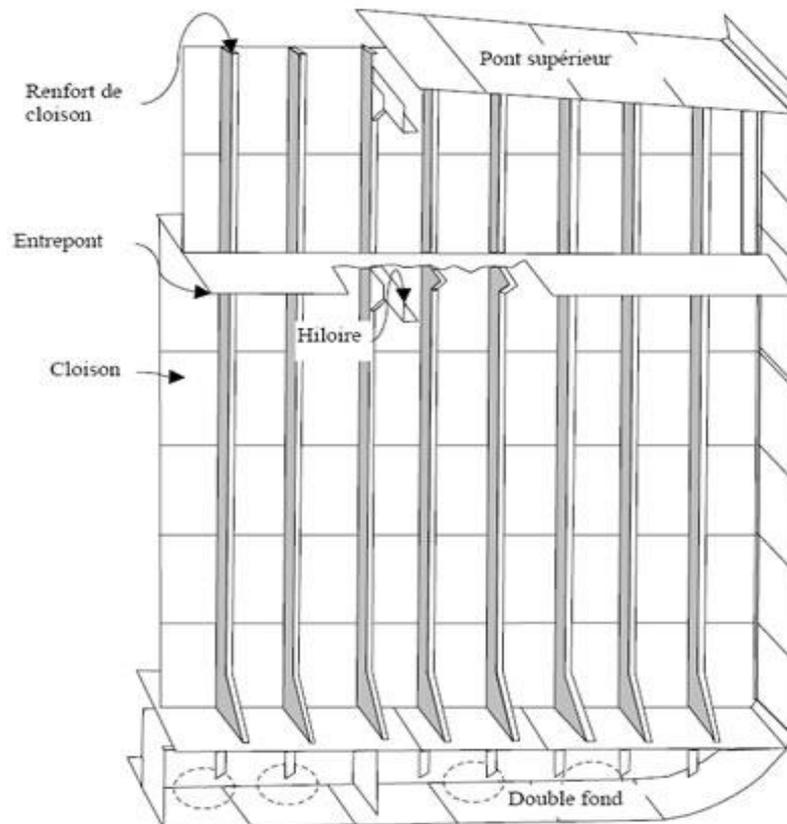


Figure VI.2. Charpente de la cloison transversale plane.



VI.2 Construction des cloisons transversales des cargos

Les cloisons planes sont construites en tôles soudées et renforcées par des raidisseurs (montants), ces montants sont fixés au plafond du double fond et aux ponts à l'aide de goussets, dans le cas où les goussets encombrant, le règlement autorise de souder les montants au bordé du plafond et du pont par leurs âmes dans ce cas le module de résistance des montants doit être augmenté.

Les cloisons peuvent être renforcées par des raidisseurs horizontaux dans le cas d'une construction longitudinale des murailles, les raidisseurs horizontaux de la cloison sont posés dans le plan de chaque lisse de muraille et fixés à elle par des goussets.

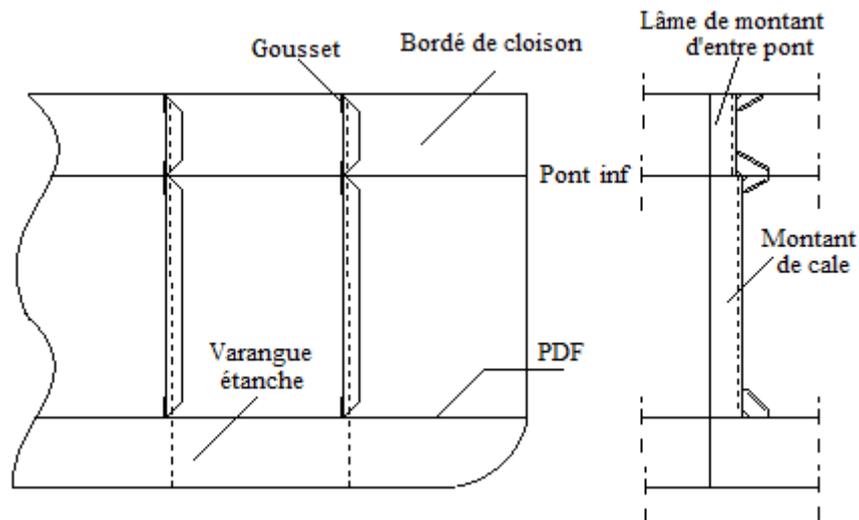


Figure VI.3. Jonction des montants par des goussets.

Le module de résistance des raidisseurs horizontaux varie en hauteur suivant la pression hydrostatique. Dans les deux cas de constructions on peut prévoir des liaisons primaires (serre, ou montant de cloison). Dans le cas d'une cloison raidie horizontalement, on prévoit des montants renforcés qui doivent placer de préférence dans le plan des carlingues de fond de pont qui leur serviront d'appuis aux extrémités.

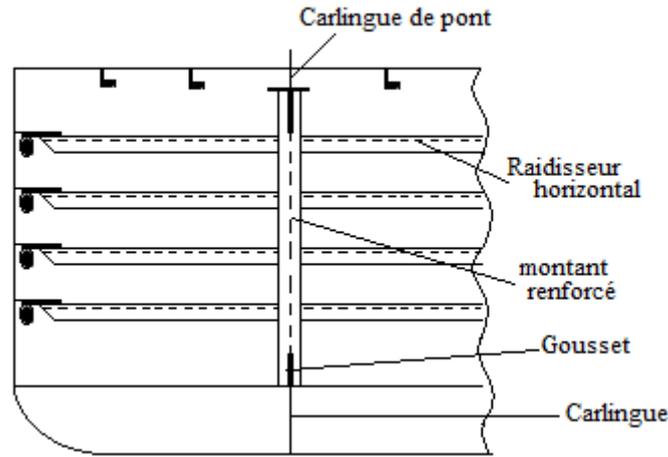
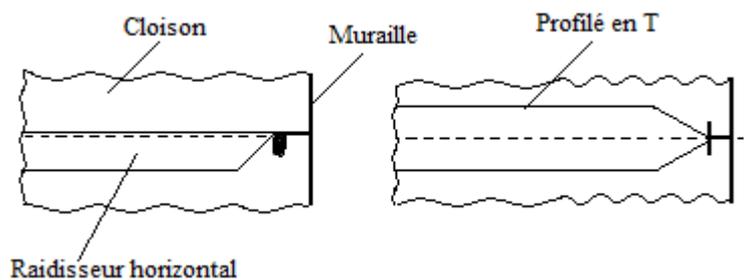
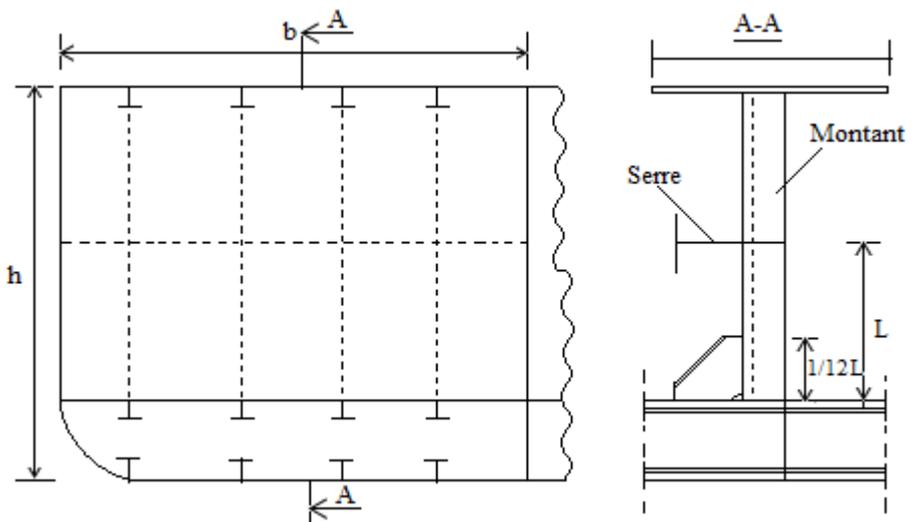


Figure VI.4. Raidissage horizontal de la structure de la cloison.

Le bordé des cloisons est formé de virures placées horizontalement, la première virure peut être posée dans le double fond et dépasse le plafond d'au moins 300 m, cette exigence est stipulée à cause du degré de corrosion élevé dans cette région, (ou bien la première virure vient se poser

directement sur le double fond ou sur la varangue étanche). L'épaisseur des tôles de cloison varie en hauteur d'une virure à une autre. Les systèmes de jonction des montants ou des raidisseurs horizontaux des cloisons sont choisis en fonction du schéma général de la charpente de la coque, en fonction de cela est fixé aussi l'écartement entre les renforcements de la cloison. Sur les cargos avec système de construction transversale où le rapport $b/h \geq 2$, les cloisons sont renforcés (raidies) par des montants. Si perpendiculairement à la cloison transversale, une cloison longitudinale est disposée et que $b/h \approx 0.5$, il est recommandé de poser des appuis intermédiaires sous les montants en forme de cette serre large s'appuyant sur la muraille et la cloison longitudinale.





Sur les cargos le système de construction avec montant et serre de muraille est encombrant.

Le système de construction longitudinale des cloisons est dans le cas d'une construction longitudinale des murailles. Dans ce cas les raidisseurs horizontaux sont renforcés par des appuis intermédiaires qui sont cloisons longitudinales, où des montants renforcés un tel système de construction sont en général employés sur les pétroliers. Si le montant est fixé à son extrémité basse par un gousset, la hauteur du gousset ne doit pas être inférieure à 1/12 de la portée des raidisseurs (montant). Cette exigence est stipulée dans la nécessité d'assurer une résistance suffisante à l'appui rigide

L'arrête libre du gousset doit être renforcé par un plat ou un pliage. Si les goussets sont renforcés de cette façon, leurs dimensions peuvent être diminuées de 15%, l'épaisseur du gousset est prise égale à l'épaisseur de l'âme du montant (c'est-à-dire $e_g = e_m$).

- ⚓ Si le gousset est soudé directement sur le bordé sont arrête horizontale doit se prolonger jusqu'à la liaison transversale la plus proche. Les raidisseurs horizontaux sont posés d'une muraille à une autre, leur module de résistance est déterminé pour chaque raidisseur séparément en fonction de la distance jusqu'au pont des cloisons (hauteur de charge), de leurs portées et de l'écartement entre eux.
- ⚓ Si les murailles sont en construction longitudinale, les raidisseurs horizontaux sont posés dans le plan de chaque élément longitudinal de murailles (lisses) et fixées à eux par des goussets. Dans le cas d'une construction transversale des murailles l'extrémité des raidisseurs horizontaux doit être exécutée en sifflet et l'âme sera soudée à la muraille.

Les montants renforcés des raidisseurs horizontaux placés de préférence dans le plan des carlingues de pont et de fond seront fixés à l'aide de goussets de hauteurs égales à la hauteur de l'âme du montant renforcé.

VI.3 Cloisons transversales des pétroliers

Les cloisons transversales dans les tanks de chargement des pétroliers sont projetées en système général de la construction de la charpente de la coque c'est-à-dire soit avec des montants ou des montants appuyés sur les serres horizontales ou encore avec des raidisseurs horizontaux renforcés par des montants renforcés. Les montants doivent se situer dans des lisses de pont et de fond et fixés à elle par des goussets. Les raidisseurs horizontaux doivent se



situer dans le plan des lisses des murailles et des cloisons longitudinales et fixées à elles par des goussets. Les montants renforcés doivent se situer dans le plan des carlingues de pont et de fond. Cet ajustage des liaisons de la charpente et leurs jonctions à l'aide de goussets donnent un portique suffisamment rigide renforçant les tôles des cloisons.

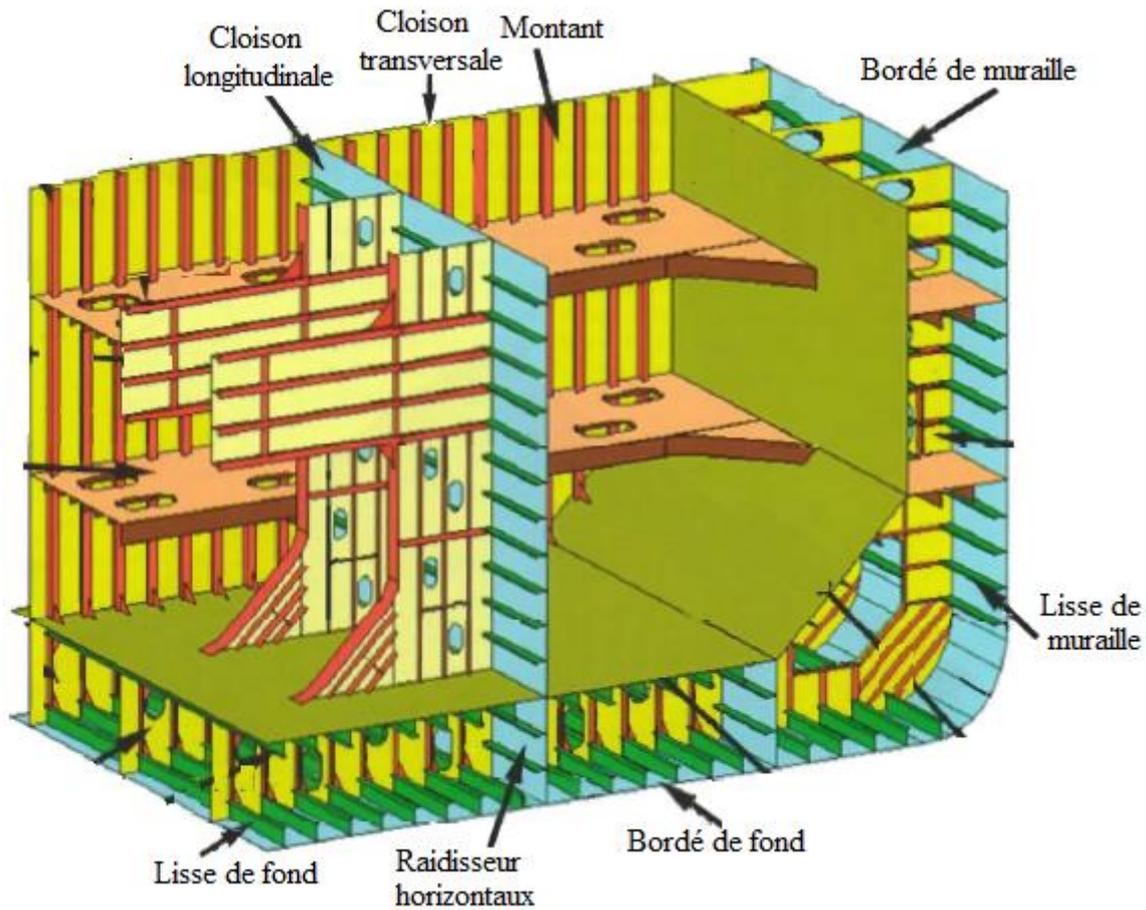


Figure VI.5. Construction de la cloison transversale et longitudinale dans la structure du navire.

VI. 4 Cloisons longitudinales

Les cloisons longitudinales sur les pétroliers sont posées dans le but de diminuer les surfaces libres du liquide et leur influence sur la stabilité du navire, ainsi que pour diminuer les chocs du liquide sur les murailles pendant le roulis et le tangage.

Le choix du système de construction des cloisons longitudinales se fait en schéma général de la charpente de la coque.



La cloison est composée d'un bordé renforcé par des montants et Serres ou par des raidisseurs horizontaux et des montants renforcés. Les montants et les montants renforcés sont posés dans le plan de membrures ou des porques, les raidisseurs horizontaux sont posés dans le plan des lisses des murailles.

L'épaisseur des tôles et le module de résistance des éléments de la charpente sont déterminés de la même façon que pour les cloisons transversales.

VI.4.1 Cloisons Gauffrées (ondulées)

Ce type de cloisons est surtout utilisé sur les pétroliers et sur les vraquiers et les minéraliers. L'avantage de ces cloisons est la facilité des opérations de lavage des tanks et la diminution du poids. La forme de la gaufre dépend en général des équipements technologiques du chantier. Les formes les plus répandues sont en général, la forme ondulée et la forme carrée.

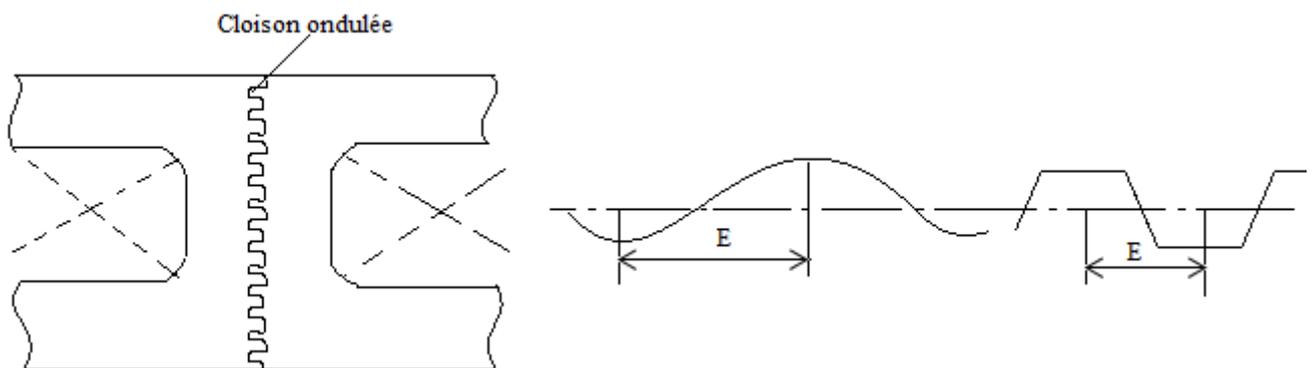


Figure VI.6. Cloisons gauffrées.

La direction des gaufres dans les cloisons longitudinales et transversales est choisie telle que du point de vue rigidité la cloison sera utilisée d'une manière rationnelle. La rigidité des cloisons gauffrées avec gaufres horizontales et verticales et différentes, cette différence de rigidité est plus importante que chez les cloisons planes, en fonction de ces particularités les cloisons gauffrées sont posées comme suit :

- ☞ Avec gaufres verticales pour les cloisons transversales, dans ce cas la cloison supportera mieux les charges des structures de pont et de fond.
- ☞ avec les gaufres horizontales sur les cloisons longitudinales, ce qui donne une meilleure participation de la cloison dans la flexion longitudinale de la coque. Les cloisons gauffrées sont renforcées dans le plan des porques par des montants renforcés.

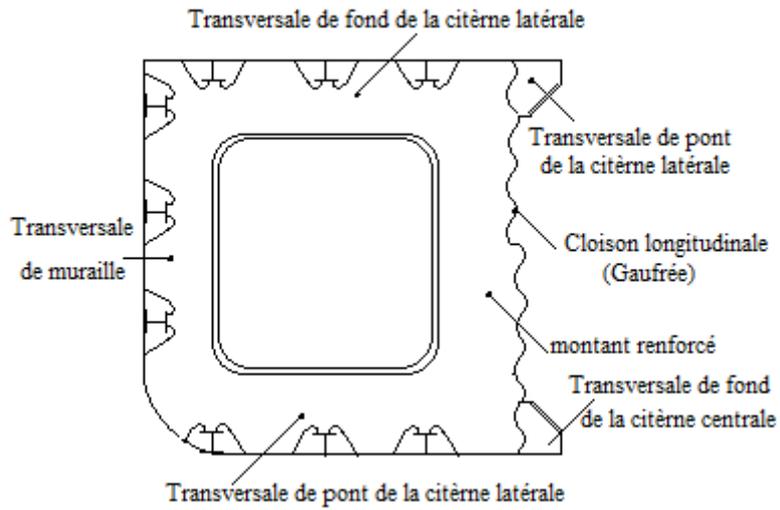


Figure VI.7. Section transversale d'un pétrolier.

Cloison transversale
gaufree

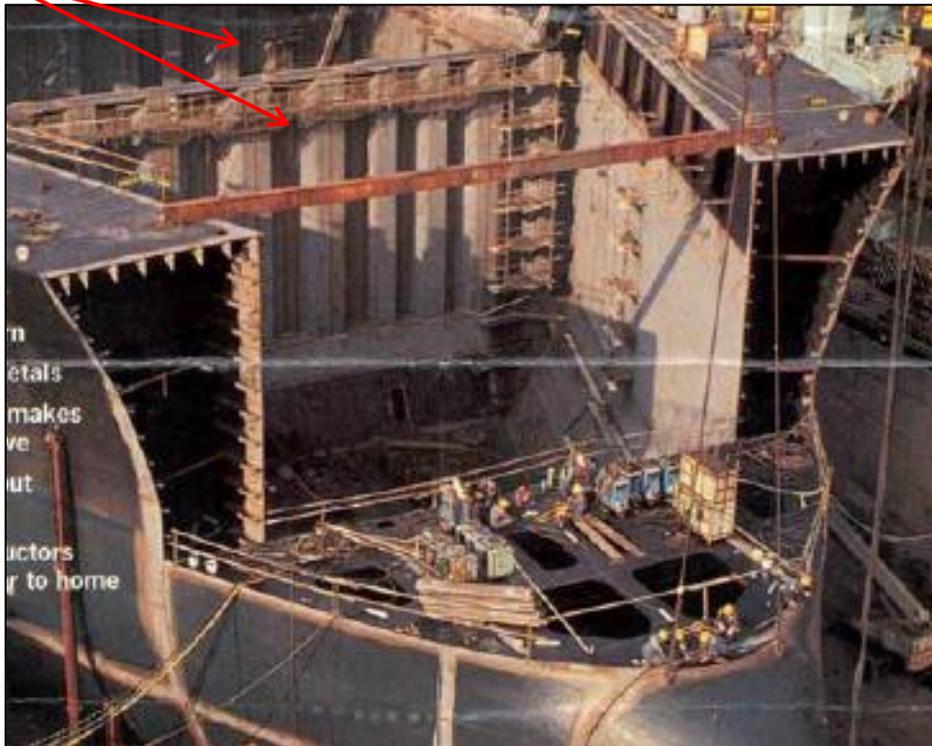


Figure VI.8. Cloison transversale d'un pétrolier avec gaufres verticales.

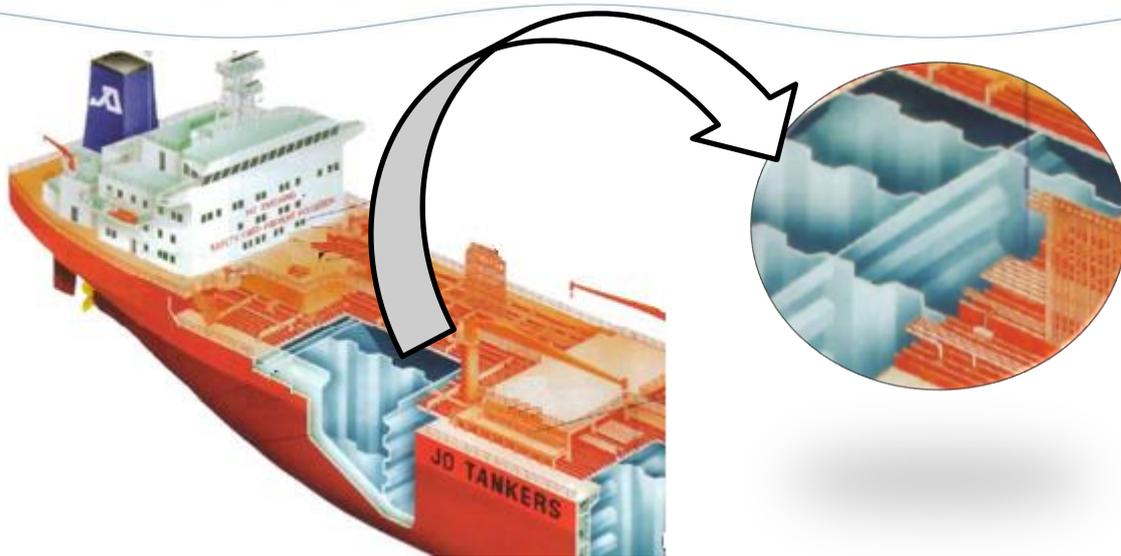


Figure VI.9. Navire avec des cloisons transversales et longitudinales gaufrées.

L'épaisseur des tôles des cloisons gaufrées est déterminée en fonction de la forme de la gaufre, de sa destination et de la distance entre les centres des gauffres. Dans tous les cas cette épaisseur ne doit pas être inférieure aux épaisseurs minimales exigées par le règlement. Le module de résistance de la gaufre ne doit pas être inférieur au module de résistance des montants ou des raidisseurs horizontaux. La distance entre les centres des gauffres doit être égale à la distance entre les montants ou entre les raidisseurs horizontaux.

VI.4.2 Nœuds de construction

VII.4.2.a) Nœuds de jonction des extrémités basses des montants des cloisons transversales :

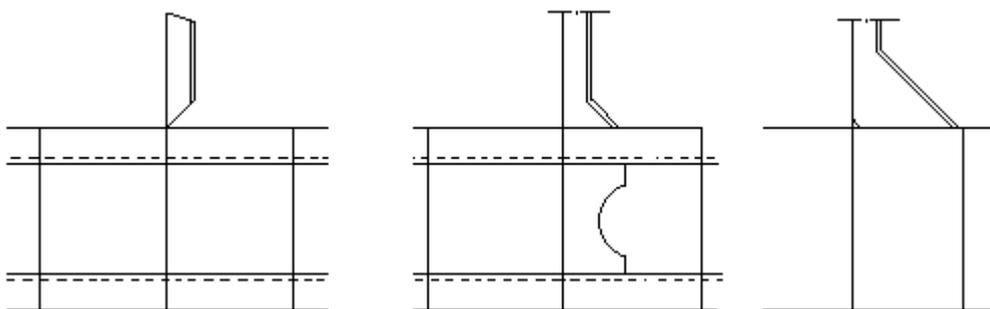


Figure VI.10. Nœuds de jonction des extrémités basses des montants des cloisons transversales.



b) Emplacement des goussets aux extrémités des cloisons :

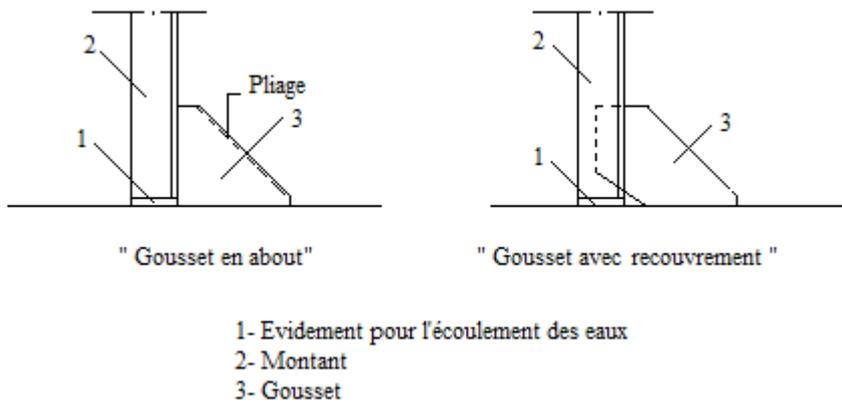
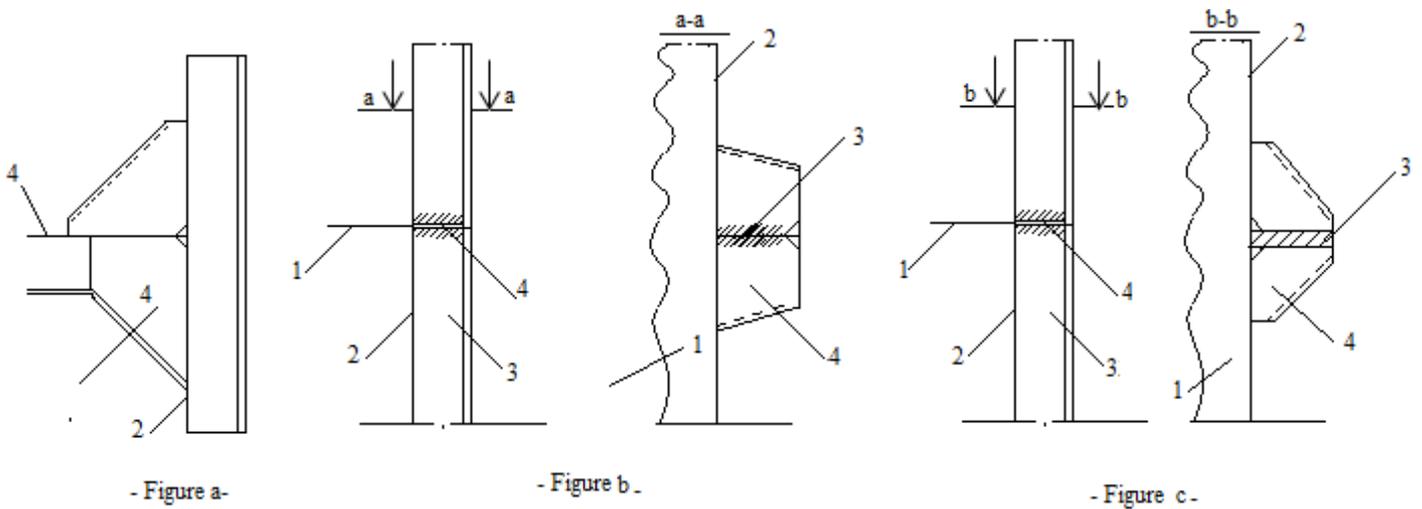


Figure VI.11. Emplacement des goussets aux extrémités des cloisons.

VI.4.3) Jonction des montants des cloisons situés du côté inverse d'une plate-forme servant de construction d'appui.



1- Plate-forme ; 2-Cloison transversale ; 3-Montant ; 4- Gousset.

Figure VI.12. Jonction des montants des cloisons situés du côté inverse d'une plate-forme servant de construction d'appui.



VI.4.4) Nœud de Jonction des montants des cloisons au niveau du pont

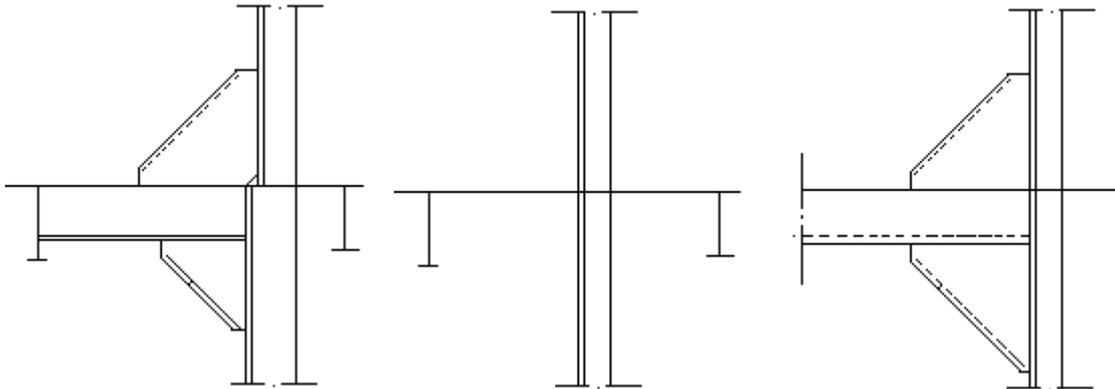


Figure VI.13. Nœud de jonction des montants des cloisons au niveau du pont.

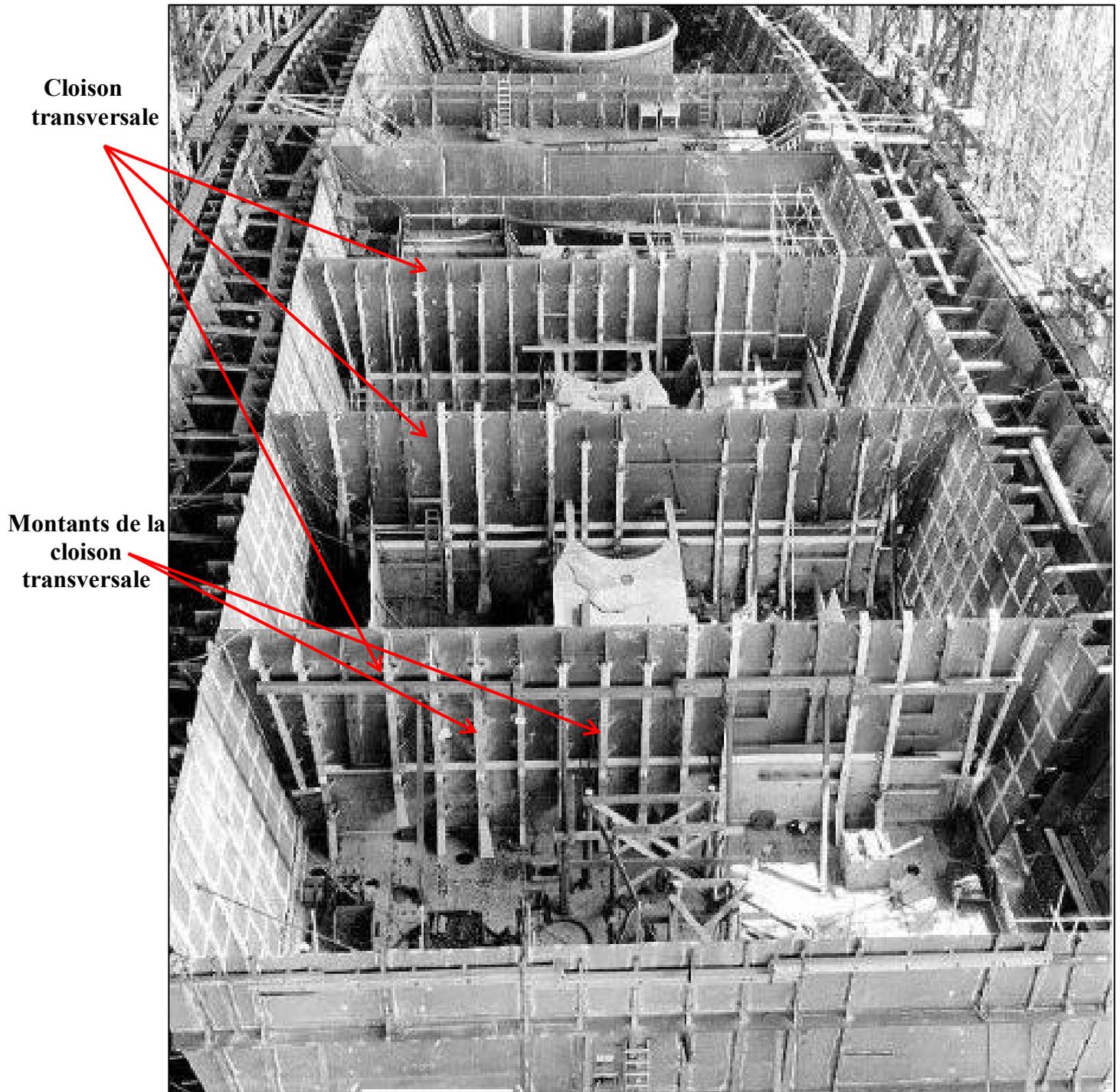


Figure VI.14. Construction de la cloison transversale plane.



VII. Construction des pavois et des hiloires

VII.1 Construction du pavois

Le pavois sert à la protection des ponts ouverts, il est composé de tôles verticales posées dans le plan des murailles au-dessus du pont supérieur, il sert à protéger les ponts de l'inondation par des grandes masses d'eaux en mer houleuse, assure la sécurité des personnes circulant à bord du pont et dans certains cas assurent la bonne fixation des cargaisons sur le pont.

L'eau qui inonde le pont par-dessus le pavois s'écoule sous le pavois par des ouvertures spéciales appelées SABORD, la position et les dimensions de ces ouvertures sont déterminés par le règlement le pavois et donc une tôle située dans le prolongement des murailles au-dessus du pont supérieur renforcé par des jambettes. Si le pavois est fixé au carreau et rigidement lié aux bordés des superstructures, alors il fléchira avec la coque et comme il est le plus éloigné de l'axe neutre il sera soumis à de grands efforts de traction et de compression qui peuvent engendrer des fissures, et pour remédier à cela, l'arrête inférieure du pavois avec les murailles des superstructures ne sera pas rigide mais coulissant.



Figure VII.1. Photos d'un pavois du navire.

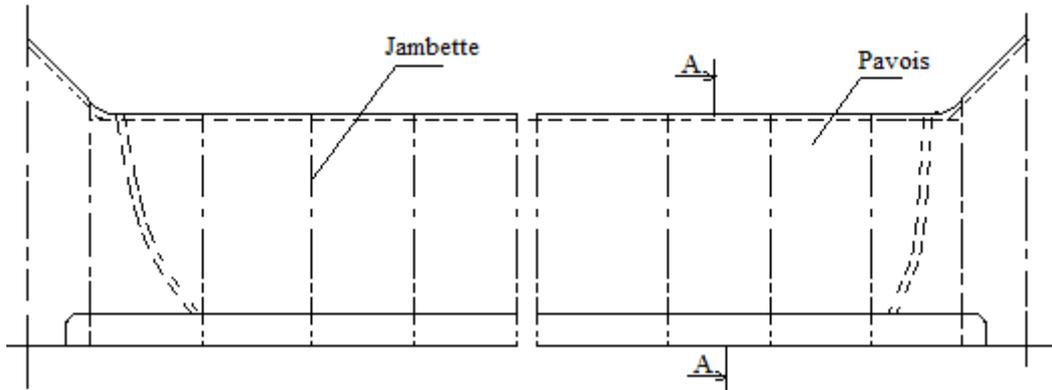


Figure VII.2. Structure du pavois.

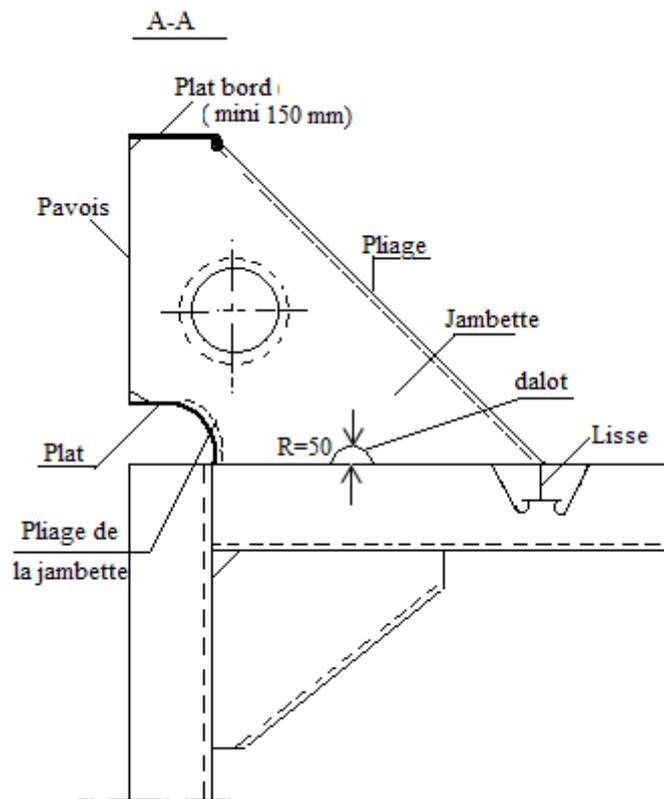


Figure VII.3. Détail de A-A de la structure du pavois.



Figure VII.4. Fixation du pavois par des jambettes.



Figure VII.5. Soudage du pavois et les jambettes de fixation (goussets).

La hauteur des pavois varie de 750 à 1000 mm en fonction de la longueur du navire sur les ponts ouverts à passagers la hauteur du pavois doit être ≥ 1100 mm l'épaisseur des tôles des pavois sont déterminés en fonction de la longueur du navire.

- ↻ Pour les navires de longueur ≤ 60 m, l'épaisseur $e = 0.065 + 1.75$ (mm);
- ↻ Pour les navires de longueur > 60 m, l'épaisseur $e = 0.025 L + 1.75$ (mm).

Toutefois ces épaisseurs ne doivent pas être supérieures à 8.5 mm.



Le plat bord sur les grands navires doit avoir une largeur d'au moins 150 mm.

Pour l'allègement de la jambette on peut découper des ouvertures, pour l'écoulement des eaux on peut découper des dalots au niveau des ponts. Les jambettes sont posées dans le prolongement des membrures à une distance ne dépassant pas les deux (2) écartements.

VII.2 Construction des hiloires d'écoutes

Hiloire est une tôle verticale soudée sur l'arrête de l'ouverture (écoutille) du pont sur tout le périmètre de l'ouverture, l'hiloire possède différentes formes et dimensions, et sert à limiter, protéger, renforcer l'ouverture et aussi pour la pose des panneaux étanches d'écoutes, sur les grands navires avec des grandes écoutes les hiloires longitudinales participent dans la flexion longitudinale du pont. Pour diminuer les concentrations de contraintes aux coins d'écoutes, la jonction de l'hiloire longitudinale avec hiloire transversale se fait avec un arrondi. La courbure joue le rôle d'une jonction élastique et diminue la concentration de contrainte.

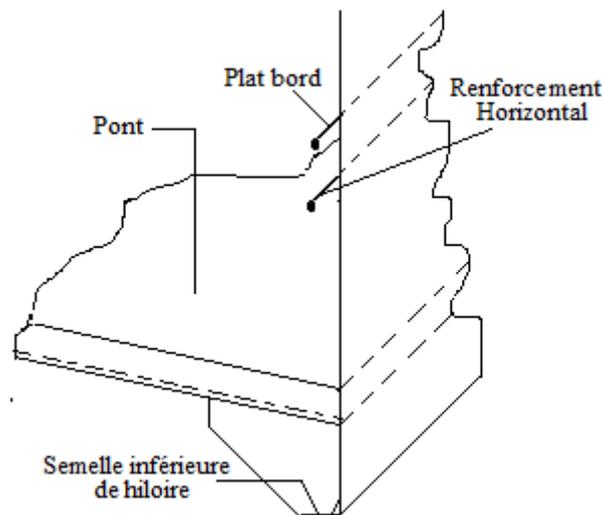


Figure VII.6. Hiloire d'écoutes.

D'après le croquis de **A** en **B** la courbe est une ligne de jet, de **B** en **C** la courbe est un arc de cercle de rayon R . La hauteur de l'hiloire d'écoutes au-dessous du pont supérieur (Surbau) ne doit pas être inférieure à 600 ou 610 mm, une telle hauteur est suffisante pour protéger la cale des inondations des eaux sur le pont. Les hiloires doivent supporter la charge due à la surface du panneau d'écoute. L'épaisseur des tôles verticales de l'hiloire ne doit pas être inférieure à 9 mm pour les navires de longueur jusqu'à 30 m et à 11 mm.

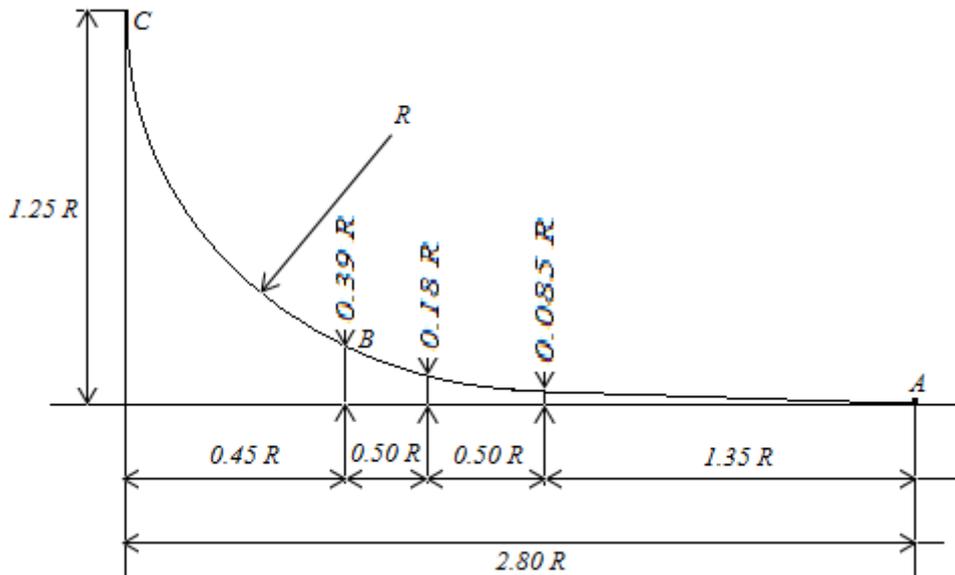


Figure VII.7. Surbaux d'écouilles.

Pour les navires de longueur ≥ 60 m. d'après le B.V l'épaisseur des surbaux d'écouilles ne sera pas inférieure à :

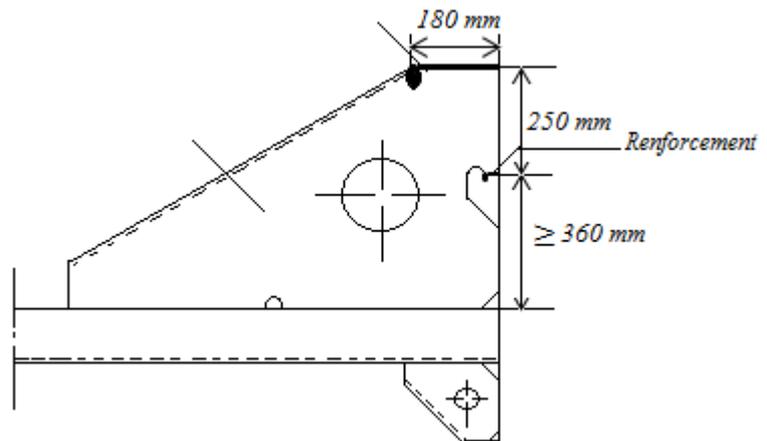
$$e = 0.082 l + 6 \rightarrow e \geq$$

8 mm mais e peut ≤ 11 mm

Hiloire de hauteur supérieure à 610 mm doit être renforcée par un renforcement horizontal sur une hauteur pas moins de 250 mm de l'arrête supérieure.

Le plat bord doit être de hauteur pas moins de 180 mm, le renforcement horizontal est à partir de 150 mm.

Sur les horizontal peut être inférieure à 3 m, le renforcement horizontal peut être diminué mais ne doit pas être $<$ à 120 mm de hauteur de l'âme de plat.



Pour les hiloires de longueur $>$ à 4 m et pour assurer leur stabilité verticale on doit les renforcer par des jambettes (ou bien des goussets), la distance entre les jambettes ne doit pas dépasser les 3 m, et sur les navires transportant des cargaisons sur le pont, l'écartement entre les jambettes ne doit pas dépasser 1.5 m.



Figure VII.8. Images sur les surbaux des navires.



VIII. Construction du coqueron avant

VIII.1. Charge et construction du coqueron

Pendant la navigation, l'extrémité avant du navire est soumise à de grandes charges hydrodynamiques et autres, ces charges deviendront considérables pendant la navigation en mer houleuse. Ces charges sont reçues sur la partie (œuvre) vive(s) et se propagent le long du navire et à la partie emmargée.

Ces efforts dynamiques provoquent une augmentation complémentaire du moment fléchissant et des vibrations de la coque.

Les chocs sur le fond de la partie avant peuvent être si intenses qu'ils peuvent provoquer des brèches dans le bordé et des déformations de la charpente de fond.

Donc la partie avant de la coque doit être renforcée dans le but de régir non seulement aux chocs mais aussi aux différents objets flottants et aux glaces. La charpente du coqueron avant est en général en système de construction transversale indépendamment du système de construction de la région milieu. La charpente d coqueron avant est renforcée par des carlingues complémentaires latérales au fond et des serres de murailles.

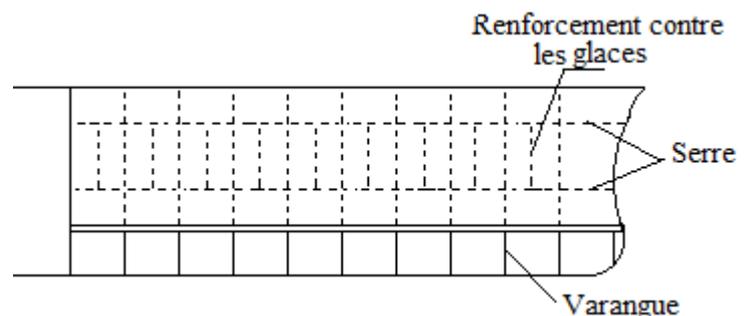
L'appui principal de la charpente du coqueron avant est la cloison d'abordage.

Le coqueron avant sert en général au ballastage. Le tank de ballastage est limité vers le haut par une plate-forme étanche et dans certains cas par le pont inférieur.

La partie supérieure du coqueron sert à l'aménagement du puits de chaîne et de certains locaux ou magazines.

VIII.2. Charpente du coqueron

L'écartement entre les éléments de charpente est de 600 mm (610 mm pour le B.V). La charpente de muraille des coqueron avant est composée de membrures posées sur chaque écartement, leur jonction avec les varangues et les barrots des ponts et plate-forme se fait par des goussets.

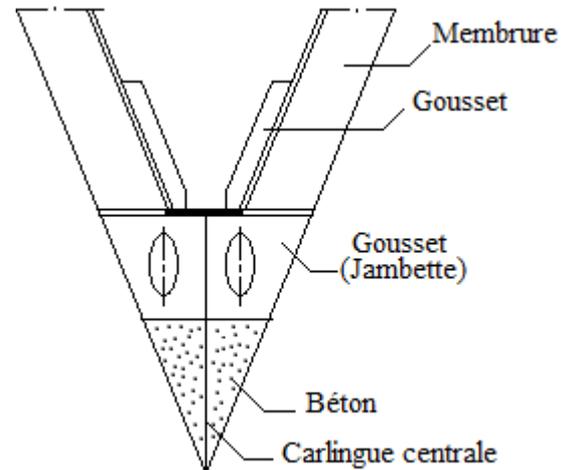




Pour le renforcement contre les glaces on prévoit aussi des serres, leur étendue dépend du type de glaces, on peut prévoir aussi en fonction du type de glace des semis-membrures posées entre les membrures principales et n'allant pas sur toute la hauteur des murailles.

Les varangues sont posées sur chaque écartement, elles ont une hauteur pas moins que celle des varangues de la partie centrale, et leurs arêtes supérieures doivent être renforcées par des plats d'épaisseurs égales aux épaisseurs des varangues.

Dans certaines régions du coqueron avant et à cause de l'étroitesse de la construction, on ne peut pas souder l'arête inférieure de la carlingue centrale qui reste libre, pour assurer un ensemble rigide et une bonne fixation, de la carlingue, on verse du béton dans ces régions étroites.



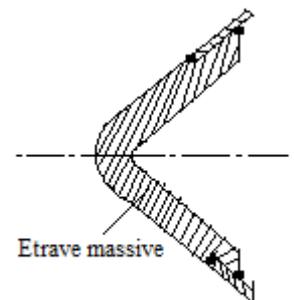
VIII.3. Construction de l'étrave

L'étrave est une partie qui peut être massive ou en tôles soudées, posée à l'extrémité avant du navire et sur laquelle se fait la jonction des tôles du bordé extérieur de la coque.

L'étrave en tôle est fabriqués des tôles en acier possédons de grande qualité mécanique de façon que la rigidité d'une telle étrave est comparable à celle de l'étrave massive mais de poids plus petit.

La forme de la section transversale de l'étrave est différente. La section en cm^2 , d'une étrave massive en acier forgé ou laminé ne sera pas inférieure à :

- Pour $20 \leq L \leq 90$ [m] $\rightarrow S = (0.4 + \frac{10T}{L})(0.009L^2 + 20)$
- Pour $90 < L < 200$ [m] $\rightarrow S = (0.4 + \frac{10T}{L})(1.800L - 69)$

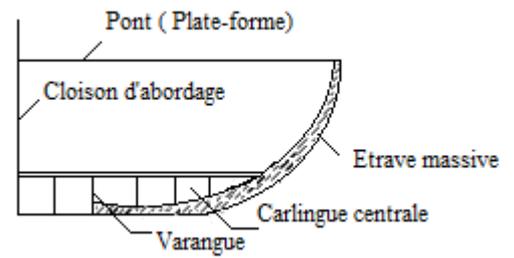


Avec la condition : $0.050 \leq \frac{T}{L} \leq 0.075$, et l'épaisseur ne sera pas inférieure à :

$e = 0.4L + 13$ L'épaisseur d'une étrave en tôle ne doit pas être inférieure à : $e = 1.37(0.95 + \sqrt{L})$ avec $L \leq 300$ m, et cette épaisseur doit être conservée jusqu'à la ligne de flottaison en charge. Au-dessus de la flottaison en charge, l'épaisseur des étraves en tôles peut être graduellement réduite jusqu'à l'épaisseur du bordé aux extrémités à la partie supérieure de l'étrave.



Pour la transmission des efforts à différentes constructions adjacentes, il est nécessaire de fixer solidement l'étrave à un pont, ou à une plate-forme, à la carlingue centrale, aux varangues, aux serres de murailles et à tous autres éléments de la charpente de cette partie. Et il est souvent recommandé de poser des cloisons et des plates-formes supplémentaires pour le renforcement.



L'étrave peut être construite en tôle renforcées d'un fer plat plein et d'une poutre (voir la figure VIII.1)

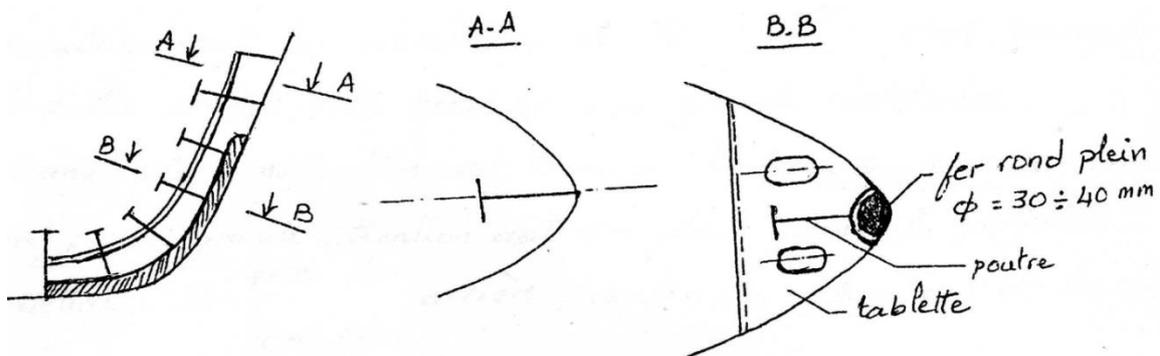


Figure VIII.1. L'étrave renforcée par fer plat et une poutre.

VIII.4 Construction de l'étrave avec bulbe

La construction d'un bulbe à l'avant du navire permet de diminuer la résistance de l'eau à l'avancement du navire. Le bulbe est une construction volumineuse constituée d'un bordé renforcé par des poutres des cloisons longitudinales et des plates forces. En général on pose au P.S (plan de symétrie) une cloison longitudinale qui va jusqu'à la cloison d'abordage, cette cloison constitue la liaison principale de la charpente avant. Dans le plan horizontal le bulbe est renforcé par des plates-formes qui peuvent être étanches ou non étanches et des tablettes.

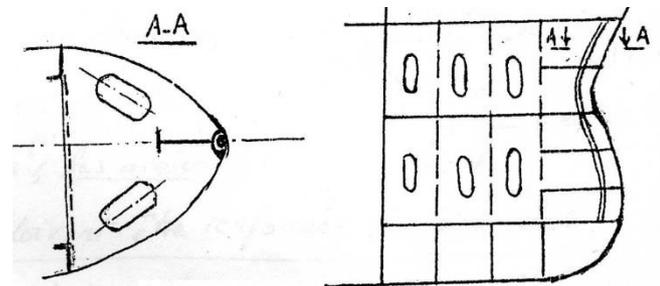




Figure VIII.2. Etrave avec bulbe.



Figure VIII.3. Construction de bulbe.

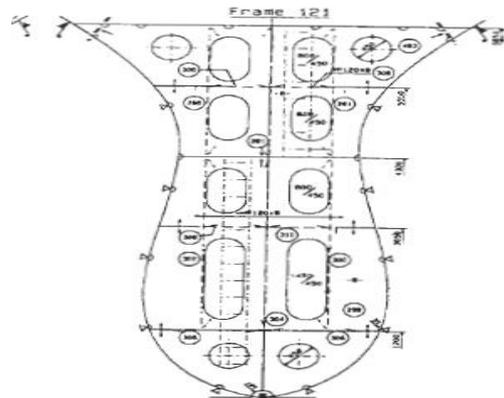
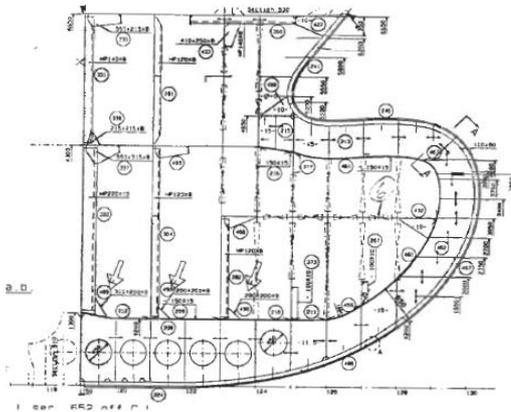
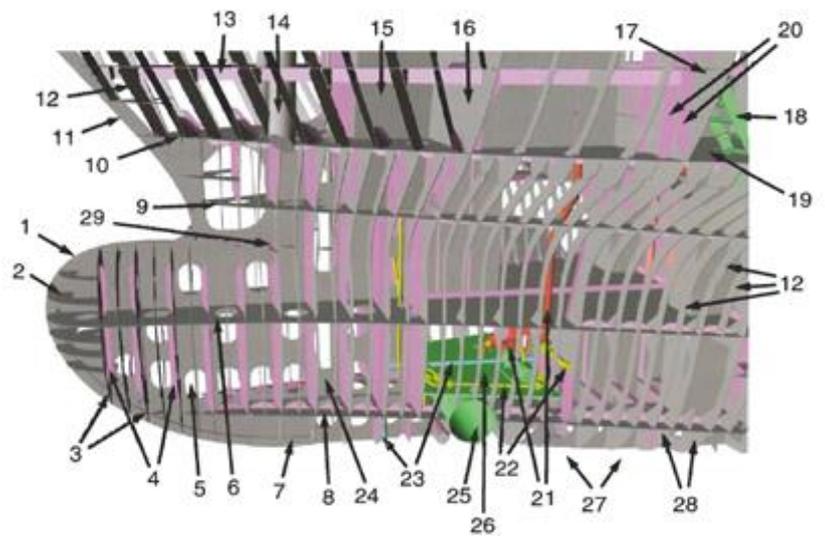


Figure VIII. 4. Renforcement de la structure de bulbe.



1. Bulbe
2. Gousset
3. Varangue
4. Raidisseurs des varangues
5. Ouvertures
6. Plate-forme
7. Poutre de renforcement dans le bulbe
8. Plaque de renforcement
9. Transition des raidisseurs de pont à lisse de renforcement
10. Gousset avec semelle
11. Poutrelle arc
12. Raidisseurs (Membrures)
13. Lisse avec semelle
14. Ecubier
15. Pui à la chaîne
16. Cloison étanche (cloison d'abordage)
17. Cloison gaillard d'avant
18. Escalier vers le pont de gaillard
19. Conditions météorologiques pont
20. Les cadres de cloison gaillarde d'avant
21. Pompe à incendie
22. Ligne de cale dans la chambre propulsion d'étrave
23. Ligne de ballast en pic-avant
24. Ballast de l'eau
26. Dalle de la potre dans la salle d'étrave
27. Ballast de l'eau
28. Varangues
29. Lavage cloison à la ligne centrale du navire



VIII.5 Construction du coqueron arrière et de l'étambot

Le coqueron arrière est soumis à une série de charges spécifiques dont les principales sont les vibrations et les chocs, c'est pourquoi que la partie arrière doit posséder une grande résistance. Son système de construction est transversal. (E=600mm, pour B.V : E=610 mm),

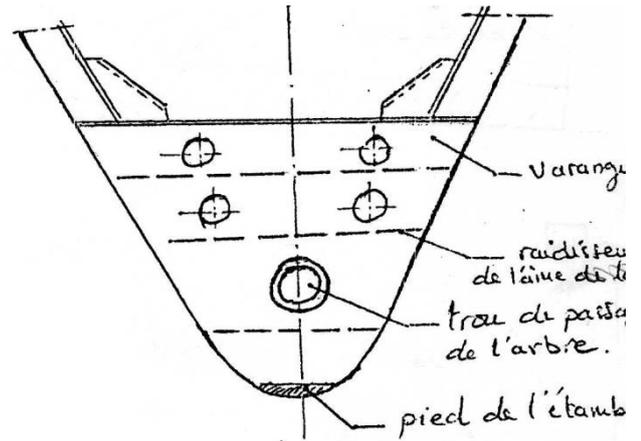


une grande attention doit être faite dans la projection des structures du coqueron arrière, contre les vibrations et les concentrations de contraintes.

Le coqueron arrière est limité par cloison presse-étoupe qui sert d'appui principal à la charpente du coqueron, son emplacement se fait constructivement.

La construction du fond est faite par de hautes varangues placées sur chaque écartement, renforcées à leurs âmes par des raidisseurs horizontaux, on découpe des trous d'allègement et des ouvertures pour le passage des arbres porte hélice. Les

arrêtes supérieures sont libres et doivent être renforcées des plates.



VIII.5.1 Construction de l'étambot

C'est une pièce moulée (petit navire), ou formée de tôles soudées, ou combinée, c.-à-d. peut être composée de pièces moulées et des tôles. A la poutre d'étambot sont soudées les tôles du bordé extérieur de la partie arrière de la coque.

L'étambot supporte le gouvernail et le protège du fond (marin) et c'est pour cela qu'il possède une petite surélévation (pente) vers l'arrière égale à 1/10 sur les navires à une hélice, l'étambot soutient l'extrémité de l'arbre hélice et la lunette qui passe à travers une ouverture spéciale faite dans l'étambot avant, l'autre extrémité de la lunette repose sur la cloison presse-étoupe.

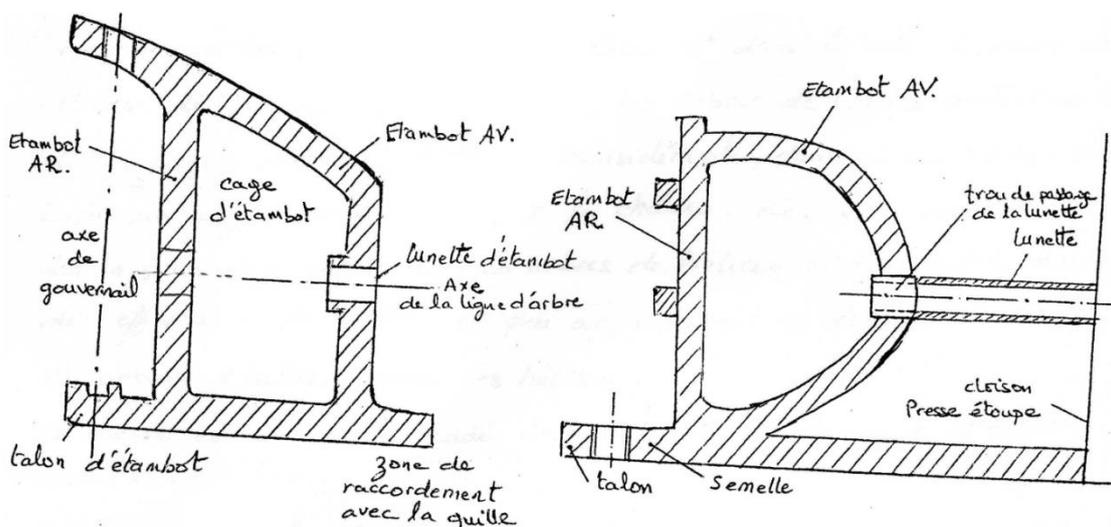


Figure VIII.5. Construction de l'étambot.



Sur les navires à deux hélices, l'étambot sert d'appui aux chaises, la forme de l'étambot est fonction de la forme du gouvernail, du nombre d'hélice, de leurs dimensions et aussi de la forme de l'extrémité arrière de la coque.

Les étambots en tôles soudées sont plus légers, les étambots massifs sont souvent préparés en plusieurs parties (pour faciliter leurs manutentions, ils seront soudés dans les aires d'assemblage).

Sur les navires à plusieurs hélices, l'étambot ne possède pas les dimensions de la section de l'étambot selon le registre Russe.

$$l = 1.3 L + 95 [mm] \quad L \leq 120 m$$

$$b = 1.6 L + 20 [mm]$$



$$l = 1.2 L + 105 [mm] \quad L > 120 m$$

$$b = 1.0 L + 90 [mm]$$

VIII. 6 Construction de la chaise

Sur les navires à une seule hélice, l'appui de l'arbre de l'hélice à sa sortie de la coque est la lunette de l'étambot avant (palier extrême dans l'étambot AV).

Par contre sur les navires à plusieurs hélices et dans le but de poser des hélices de plus grands diamètres, les arbres de l'hélice sortent au-delà de la coque sur une distance considérable, dans ce cas l'arbre doit avoir un appui représenté par la chaise. Les chaises sont donc des appuis des extrémités des arbres des hélices et assurent la transmission des efforts à la coque, et qui apparaissent en résultat de la rotation des arbres d'hélices avec les hélices.

La chaise est une pièce soudée à la charpente de la coque et ayant à son extrémité un palier.

Les chaises peuvent être soudées ou moulées ou bien une combinaison entre tôles soudées et une partie moulée.

Pendant l'exploitation, les chaises reçoivent les efforts suivants :

- a- Effort constant dû au poids d'hélice et de l'extrémité de l'arbre d'hélice ;
- b- Des efforts variables en grandeur due au non équilibre hydrodynamique de la pression sur la pôle de l'hélice ;
- c- Des efforts aléatoires qui peuvent avoir lieu en cas de rupture d'une pôle de l'hélice ou bien en cas de fléchissement de l'arbre de l'hélice.



Les chaises peuvent être à une seule patte ou bien à deux pattes.

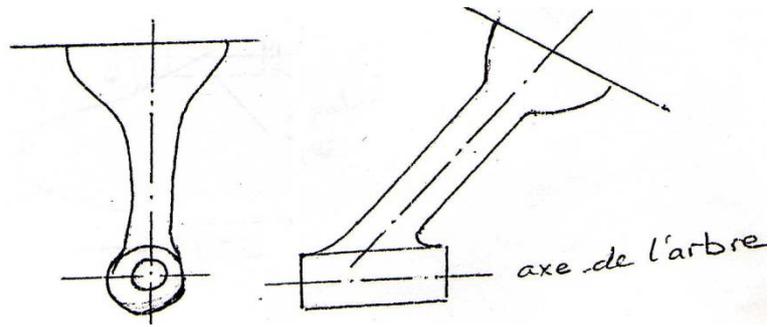


Figure VIII. 6. Construction de la chaise.

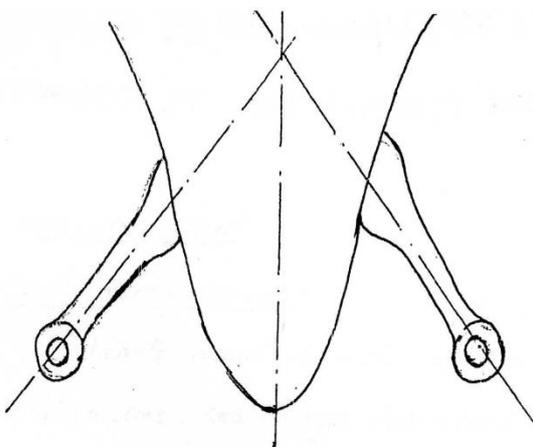


Figure VIII. 7. Chaise à une seule patte

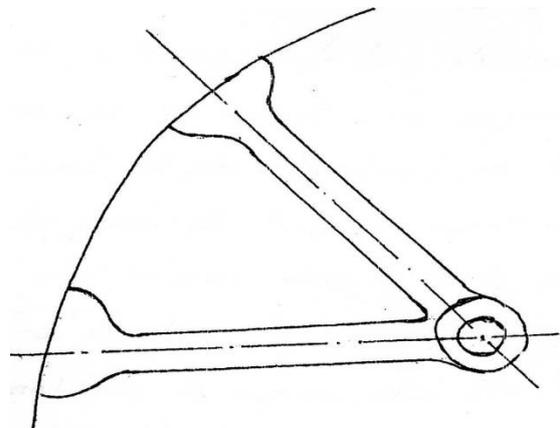


Figure VIII. 8. Chaise à deux pattes.

Pour assurer l'étanchéité de la coque, les arbres d'hélices sortent dans des constructions spéciales appelés « lunettes », la lunette est un support complémentaire à l'arbre de l'hélice.

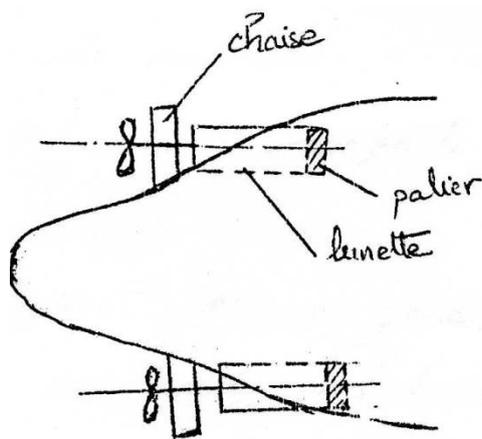


Figure VIII. 9. Position de la lunette.



IX. Introduction

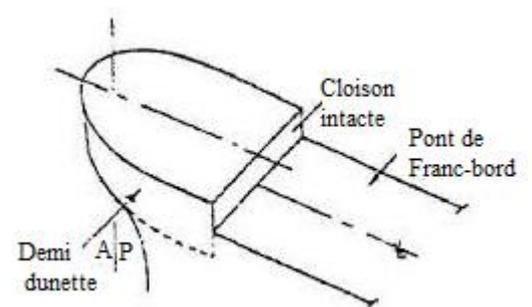
Toute construction située sur le pont de franc-bord et formant des compartiments fermés s'appelle « superstructure » et qui sert à l'allègement des locaux de service et d'habitation. Les superstructures peuvent avoir une largeur égale à la largeur du navire, c.à.d. que les parois longitudinales de la superstructure se trouvent dans le prolongement du bordé de muraille, où elles peuvent se situer un peu à l'intérieur c.à.d. que les parois longitudinales sont en retrait du bordé de muraille à une distance au plus égale à $0.04 B$

Une superstructure peut être :

- ↻ une dunette, lorsque sa façade arrière est à moins de $0.15 L$ en avant de la perpendiculaire arrière, et sa façade avant en arrière de la section milieu ;
- ↻ un gaillard, lorsque sa façade avant est à l'étrave, et sa façade arrière à moins de $0.85 L$ de la perpendiculaire avant ;
- ↻ un château, lorsque sans satisfaire aux définitions ci-avant, elle ne couvre pas toute la longueur L .
- ↻ un pont abri, lorsqu'elle couvre tout le pont de franc-bord
- ↻ un roufle est une construction pontée située sur le pont de franc-bord ou au-dessus, autre qu'une superstructure, c'est Petit logement généralement situé à l'arrière du pont supérieur d'un bateau et ne s'étendant pas sur toute la largeur comme la dunette. Un rouf est une superstructure d'un bateau ne s'étendant pas sur toute sa largeur. Par extension, ce terme désigne une superstructure de faible hauteur sur un voilier, et en particulier la zone surélevée autour de la descente.

On appelle passavant la zone de circulation située en abord d'un rouf.

- ↻ Dunette est une construction élevée sur le gaillard d'arrière de certains navires pour y loger des officiers, et principalement le commandant. Une dunette est dite courte quand sa façade avant est à moins de $0.25 L$ de la perpendiculaire arrière. Dans le cas contraire, elle est dite longue.
- ↻ Un gaillard est dit court quand sa façade arrière est à moins de $0.25 L$ de la perpendiculaire avant. Dans le cas contraire il est dit long.
- ↻ Un château est dit court ou long suivant que sa longueur est inférieure ou moins égale à $0.15 L$.

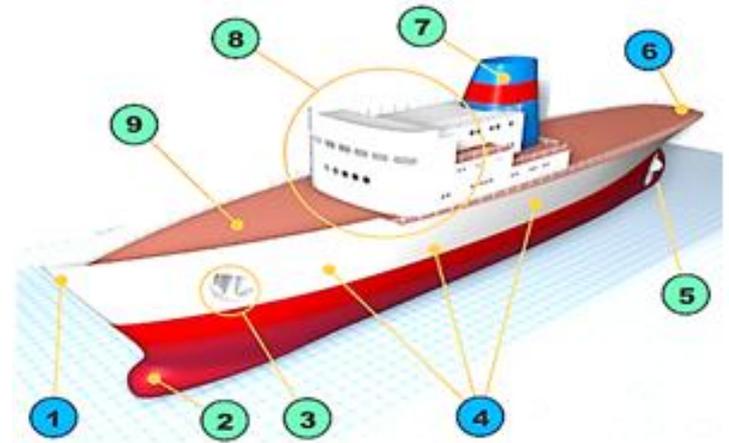




Les superstructures et les roufles sont considérés comme des liaisons discontinues et la principale de leur travail sont analogues à celui des hiloires des écoutilles.

En fonction de leur degré de participation dans la flexion longitudinale générale de la coque, les superstructures peuvent être projetées comme rigides ou légères c.à.d. longues ou courtes. Le degré de leur participation dans la flexion longitudinale générale dépend de leur étendue en longueur, de leur construction, de la construction de la coque de leur jonction.

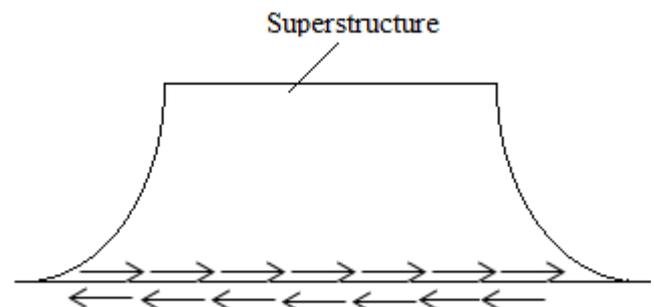
1. Bouge
2. Etrave avec bulbe
3. Ancre
4. Bâbord.
5. Hélice
6. Partie arrière
7. Cheminée
8. Superstructure
9. Pont



En plus de leur degré de participation à la F.L.G., les superstructures subissent l'action des charges complémentaires due aux chocs des vagues et à la pression de l'eau envahissante le pont, et aux poids des mécanismes situés sur leurs ponts (étages).

Les parois longitudinales de la superstructure ou du roufle, sont soumises à des charges de cisaillement et à des charges normales pendant le F.L.G. Ces charges apparaissent sur la ligne de jonction de la superstructure avec les murailles ou du roufle avec le bordé de pont. Aux extrémités de la superstructure, la concentration de contraintes peut atteindre des grandeurs provoquant des ruptures dans la construction, notamment pendant la navigation dans des conditions défavorables ou difficiles.

L'interruption ou bien le passage graduel des parois de la superstructure aux murailles de la coque, permet la diminution de cette concentration des contraintes aux extrémités.





Dans le cas d'une interruption brusque des parois de la superstructure, la grandeur des contraintes normales σ sur la ligne de jonction devient plus grande que dans le cas d'une interruption graduelle des parois.

La grandeur des contraintes normales détermine le degré de participation dans la F.L.G.

Les superstructures rigides (longues) participent à un degré considérable dans la F.L.G. et sont construites comme des liaisons supérieures discontinues de la poutre navire.

Les dimensions des liaisons de la construction (raidisseurs, bordé) aux extrémités de la superstructure sont déterminées en fonction des charges locales, non liées à la flexion générale de la coque.

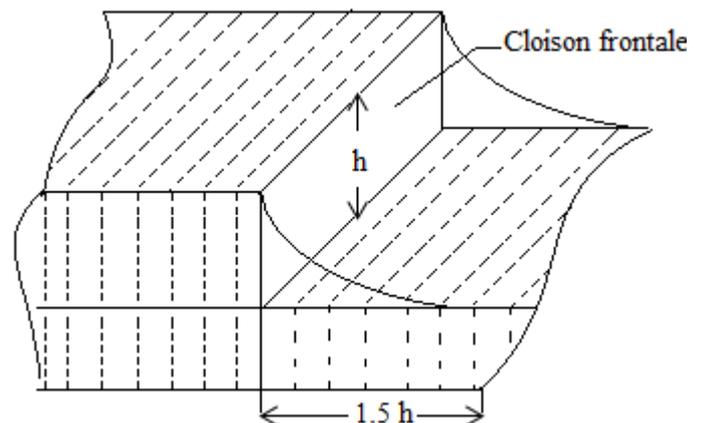
Les contraintes normales dans les sections de la superstructure augmentent des extrémités vers le milieu, aux extrémités elles sont nulles.

Les superstructures légères (courtes) reposent sur pas plus de deux cloisons transversales ou deux barrots renforcés sur épontilles.

Sur les navires passagers, la superstructure peut s'étendre sur toute la longueur du navire. Le pont d'une telle superstructure rentre dans la section de la poutre navire et sera considéré comme le pont principal, sa section doit assurer un module de résistance au moment de flexion théorique du navire.

L'épaisseur du bordé des superstructures est déterminée en fonction de la longueur du navire. La charpente des murailles des superstructures est fixée sur chaque membrure (écartement) à la tôle gouttière à l'aide de goussets. Le module de résistance des membrures des murailles de la superstructure est en fonction de la hauteur des entreponts et de la hauteur de la superstructure.

Au-dessus de la flottaison en charge, plus le franc-bord est grand moins est la probabilité de chocs des vagues sur les murailles des superstructures.





Pour assurer la résistance transversale de la superstructure, on pose des porques dans le plan des barrots renforcés ou des cloisons transversales sous la superstructure.

Le bordé des murailles de la superstructure doit se transformer graduellement en carreau sur une longueur de $1.5 h$ (h : hauteur de la superstructure) à partir de la cloison frontale (au minimum).

La superstructure est limitée par des cloisons transversales à ses extrémités. La cloison frontale est la plus exposée aux chocs des vagues qui envahissent le pont supérieur, elle doit avoir une résistance suffisante. L'épaisseur des tôles et les dimensions des montants de ces cloisons sont déterminés en fonction de la longueur du navire, de l'écartement entre les montants et de la hauteur de franc-bord. Les extrémités des montants sont soudées au pont. Si le système de construction est longitudinal, les montants doivent se situer dans le plan des éléments longitudinaux du pont et leurs extrémités seront fixées à l'aide de goussets et dans ce cas le module de résistance des montants peut être réduit de 20%. Le module de résistance des montants de la cloison arrière peut être réduit par rapport à celui de la cloison frontale.



Figure IX.1. Les différentes formes des superstructures.