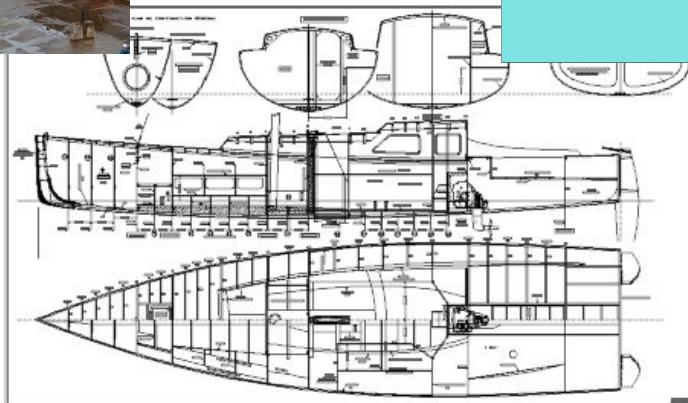
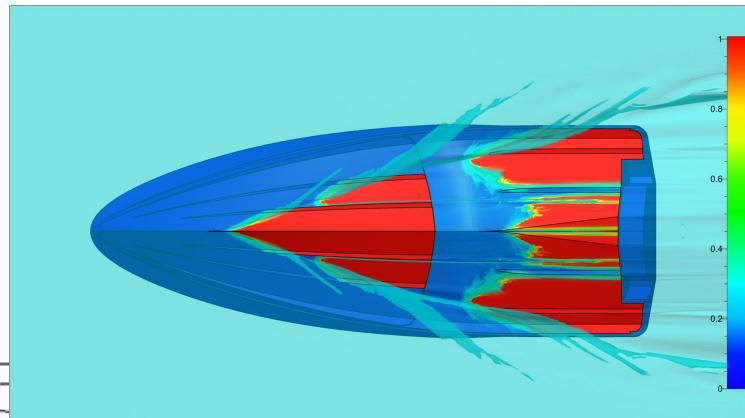


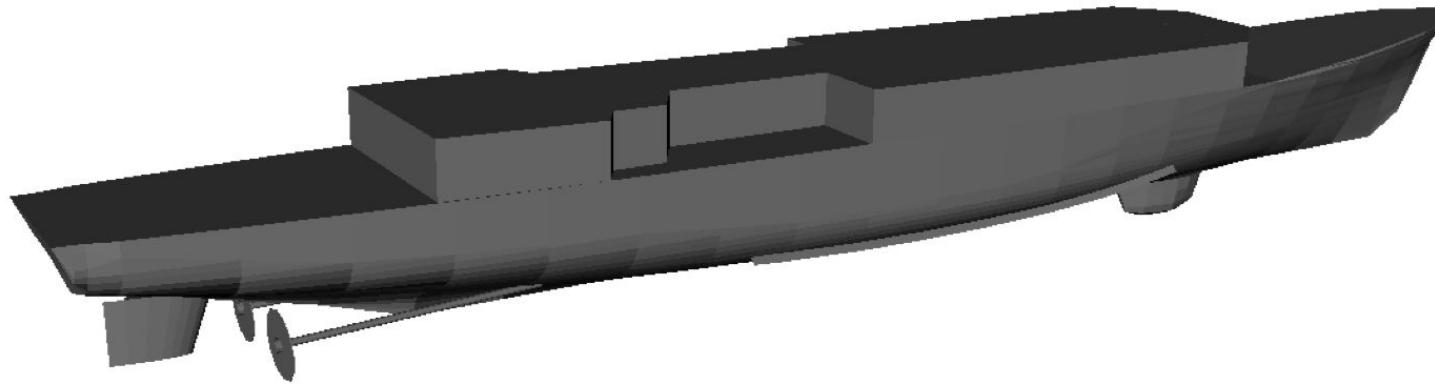
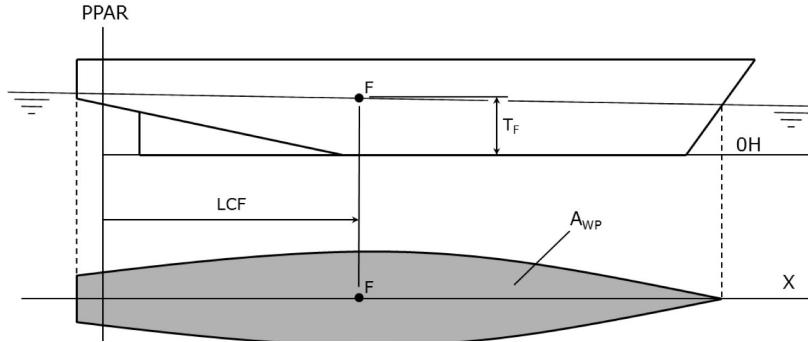
Description & construction

Présentation: Matériaux - Structure - Processus

Qu'est-ce que l'Architecture Navale ? synthèse entre esthétique, hydrodynamique et résistance structurelle.



Diapo 3 : Vocabulaire de base. Rappel des plans de référence (longitudinal, transversal, horizontal) et des dimensions principales



Partie I : Les Matériaux en naval

Diapo 4 : L'acier naval. Propriétés de l'acier doux, limite élastique et ductilité.

l'acier est un alliage fer + carbone

pour la construction navale, on utilise des aciers « doux »,
c'est à dire à faible taux de carbone (0,2%), donc des
performances mécaniques moyennes
mais correctes à un coût moindre

inconvénients : corrosion implique traitement de surface
obligatoire, pas d'isolation thermique, poids



la composition des aciers est dictée par des sociétés de classification (BV)
principaux grades utilisés :

A, B, D, E – suivant leur résistance à l'impact à différentes températures. (+20°C, 0°C,
-20°C, -40°C)

Acier pour construction navale				
nuance	épaisseur (mm)	largeur (mm)	longueur (mm)	Certificats selon DIN EN 10204
Grade A	3 – 60	1.500 – 3.500	Jusqu'à 16.000	3.2 DNV, 3.2 LR
Grade D	6 – 120	2.000 – 4.000	Jusqu'à 16.000	3.2 DNV, 3.2 LR
Grade E	6 – 120	2.000 – 4.000	Jusqu'à 16.000	3.2 DNV, 3.2 LR
D36/DH36	4 – 60	2.000 – 4.000	Jusqu'à 16.000	3.2 DNV, 3.2 BV
E36/EH36	6 – 400	2.000 – 3.500	Jusqu'à 16.000	3.2 DNV, 3.2 LR
F36/FH36	6 – 200	2.000 – 3.500	Jusqu'à 16.000	3.2 DNV, 3.2 LR
EH40	8 – 40	2.000 – 3.500	Jusqu'à 16.000	3.2 DNV, 3.2 LR

avantages : robuste, coût, matériau facilement
disponible, facile à souder

Diapo 5 : L'Aluminium. Avantages et contraintes

soudage à l'arc sous gaz inerte tungstene: TIG

soudage à l'arc sous gaz inerte argon: MIG

soudage laser / soudage par friction-malaxage



avantages : légèreté. 3 fois moins lourd que l'acier, bonne résistance en milieu salin, durabilité, bonne résistance à la corrosion

inconvénients : coût, fabrication et mise en œuvre, sensible à la fatigue mécanique, les rayures et entailles, amorcent des fissures, faible résistance à la chaleur → fragilise les soudures

Diapo 6 : Matériaux Composites (Polyester/Époxy). Utilisation en plaisance, notions de résine et de renforts (verre, carbone)

composites : fibres + matrice (liant); le plus courant verre + polyester: « stratifié de verre »,
avantages: légèreté, pas de maintenance, facile à mettre en œuvre et à produire en série (moules)

inconvénients: porosité de la résine dans le temps: la coque se gorge d'eau par osmose, faible résistance aux impacts, comportement au feu



les fibres constituent la partie résistance du matériau et qui lui apportent ses propriétés mécaniques

la fibre tissée (roving): les fibres sont tissées perpendiculairement et dans 2 directions, une bonne solidité.

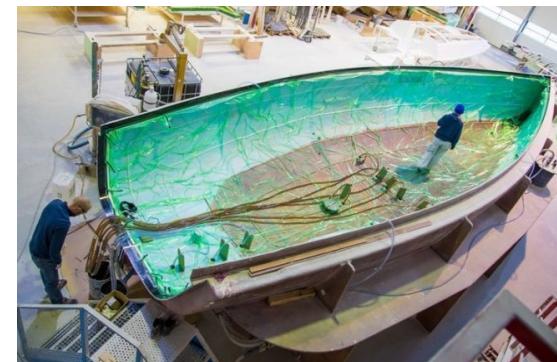
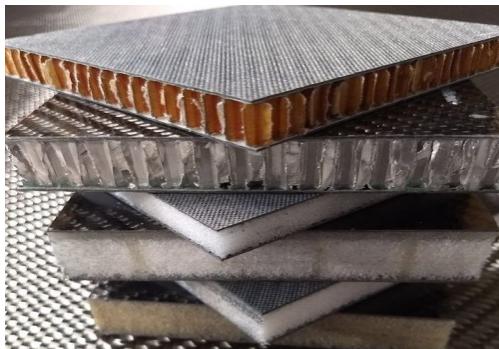
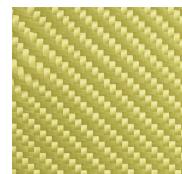
les fibres de verre: les plus utilisées

le mat de verre: fibre de verres tissés entre eux orientés aléatoirement

les fibres de carbone: excellente propriété mécanique, faible densité

les fibres aramides: (Kevlar) bonne résistance à la traction, aux chocs, faible densité, pas de dilatation thermique

chères, supportent mal les UV, usinage difficile



Diapo 7 : Le Bois Moderne Étude de la structure bois-époxy : légèreté et rigidité.

bois: matériau fibreux, l'orientation des cellules à un rôle important: pousse verticalement: influe sur ses propriétés.
matériau anisotrope: présente différentes caractéristiques suivant ses plans de référence. 3 plans: plan tangentiel, plan radial, plan transversal.
utilisation « classique: planches, madriers découpés dans l'aubier et le cœur.



avantages de la construction : matière première abondante, technique de construction bien connue, pas de corrosion, facile à réparer, vieillissement correct (30 ans si bien entretenu)

inconvénients : (Construction et vie courante) main d'œuvre spécialisée (tendance à disparaître), étanchéité qui n'atteint pas les autres constructions, résistance au choc



Diapo 8 : La Protection contre la Corrosion. Phénomène d'oxydation, anodes sacrificielles et peintures antifouling.

2 types de corrosion pour l'acier : à l'air et électrolytique

le principal problème de l'acier en construction navale est la corrosion

la corrosion d'un métal est son altération causée par une réaction chimique (ou électro-chimique) avec son environnement

les métaux utilisés sont des métaux fabriqués, ils sont présents à l'état naturel sous forme d'oxyde

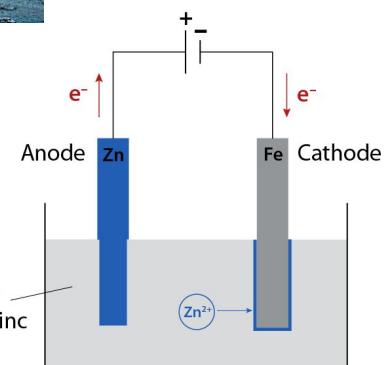
la corrosion entraîne un retour à cet état chimique stable

2 types peintures :

- conventionnelles
- bi-composants (base + durcisseur) (les plus utilisées)



corrosion de l'anode se détériore
cathode est protégée et reste intacte



Partie II : La Structure

Diapo 9 : Concept du navire soumise à des contraintes

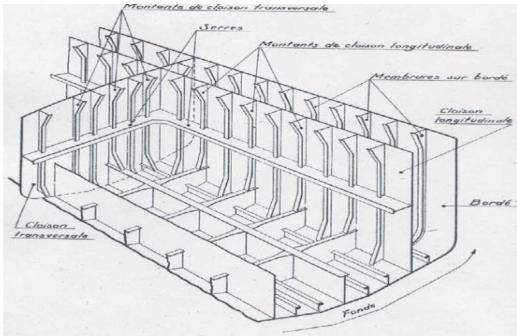
respecter critères :

- solidité et rigidité
- facilité d'exploitation
- réduction du poids, facilité de construction

construction longitudinale : accroissement des navires, problème de flexion longitudinale

les éléments principaux de la structure sont orientés longitudinalement
résistance des sections transversales est assurée par des barrots renforcés et des varangues

construction transversale : les éléments principaux de la structure sont orientés dans le sens de la largeur (résistance aux efforts d'ensemble, aux charges verticales, au roulis)
adaptée : navire moyenne taille et aux formes avant et arrière du navire



Diapo 10 : Les contraintes statiques et dynamiques

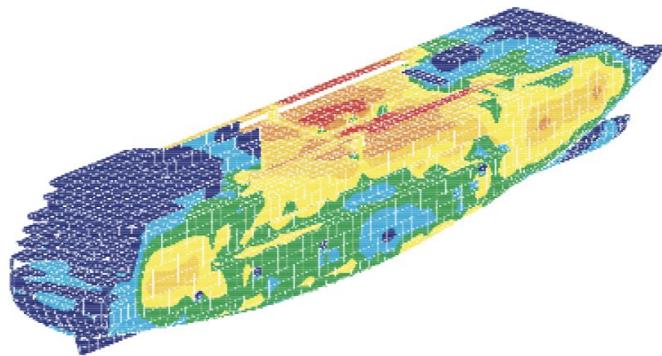
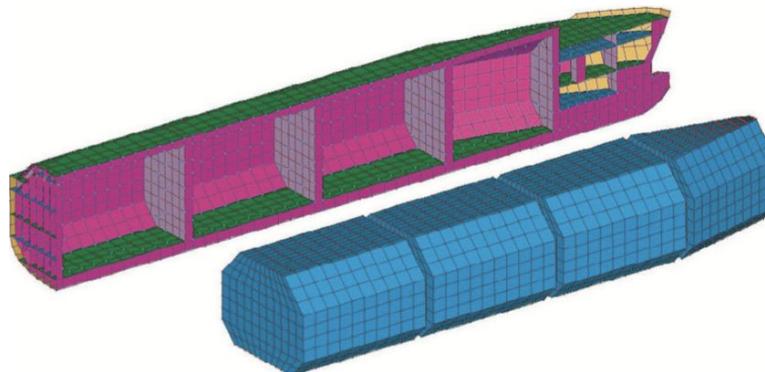


Fig. 2. Contraintes obtenues sur le modèle global.

adapter aux contraintes liées à l'exploitation du navire et à ses dimensions

chargements impulsifs dus aux impacts de fluides, qu'ils proviennent du ballottement dans les citerne ou du tossage (impacts carène sur la surface libre)



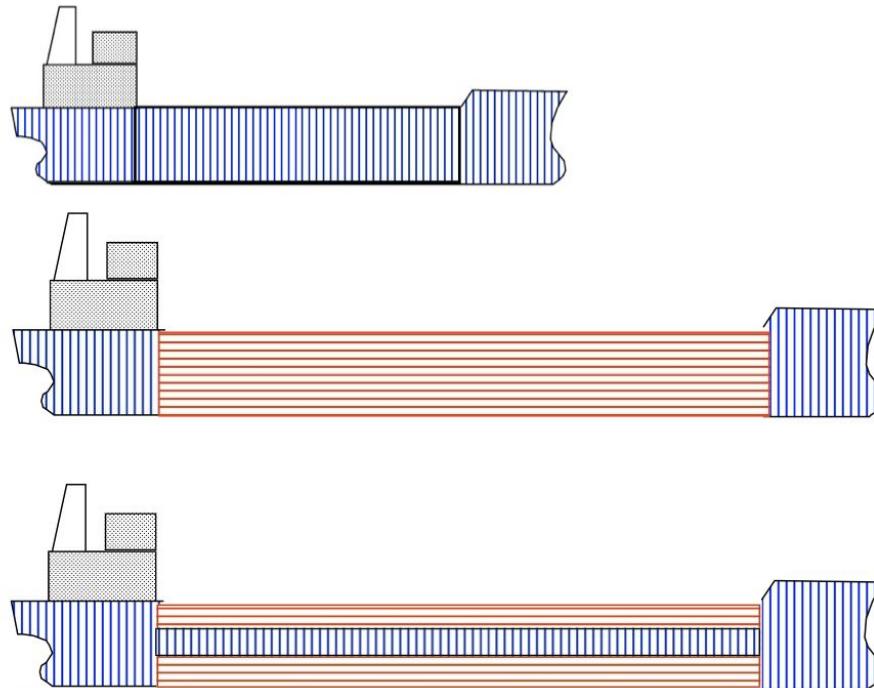
Diapo 11 : les systèmes de construction

construction mixte:

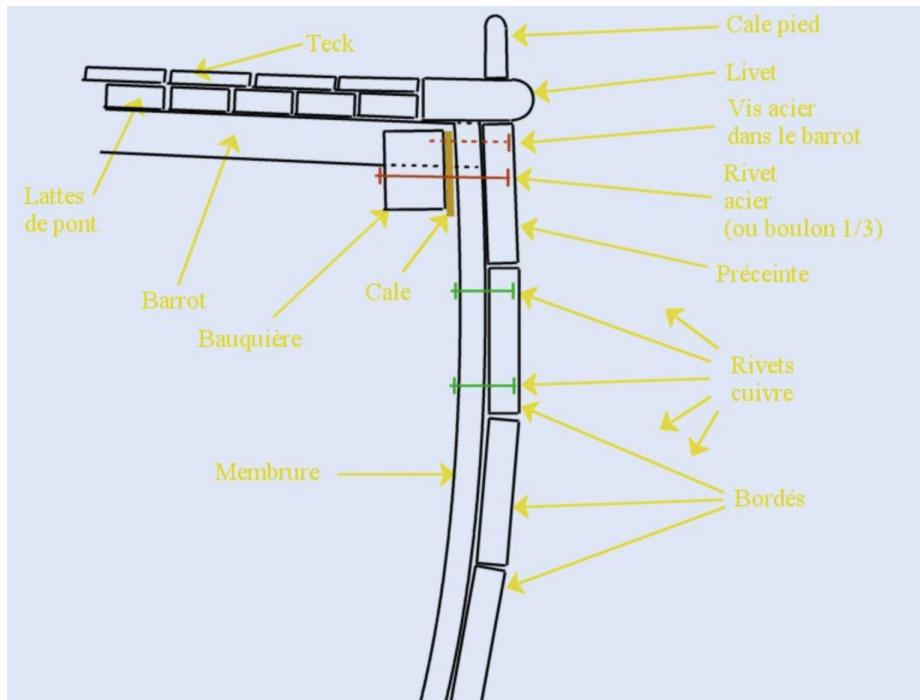
les poutres subissant le plus de fatigue sont celles du "pont de résistance" et du fond donc constructio longitudinale

les murailles, construction transversale
partie avant et arrière en transversale

- +meilleure repartition des efforts, rigidité
- concept complexe, coût, difficulté soudage



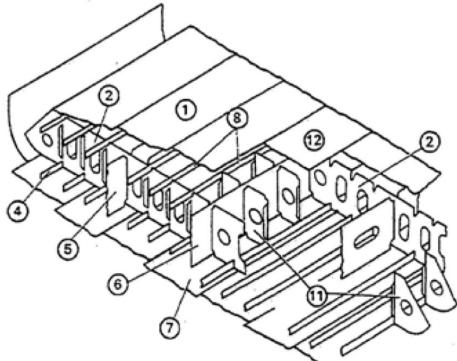
Diapo 12 : Le Bordé. Rôle d'étanchéité et de résistance du navire.



Diapo 13 : L'ossature longitudinale. Rôle des lisses et carlingues pour la tenue à la flexion.

L'ossature transversale. Rôle des couples et des varangues pour lutter contre l'écrasement

- 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.



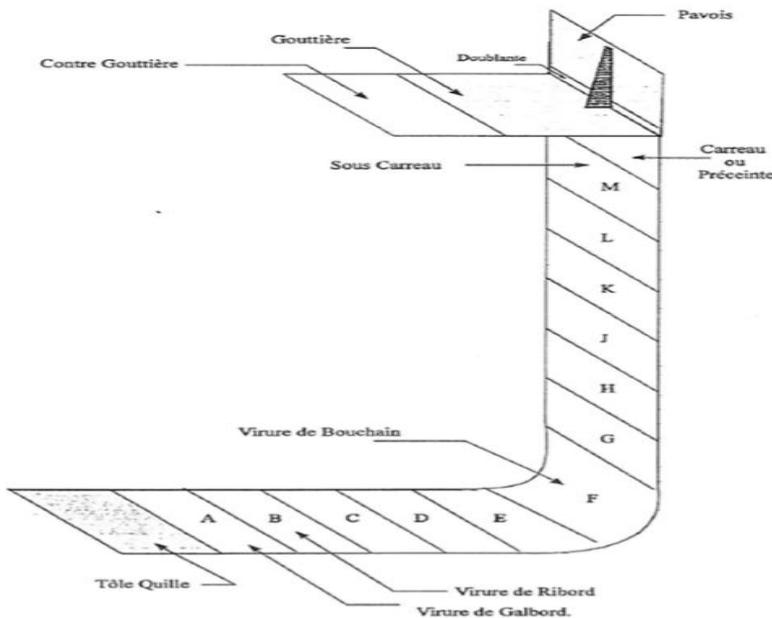
construction longitudinal : + meilleur résistance
globale, poids réduit, - complexité de réalisation

presse étoupe, organe étanchéité mécanique, empêche
fuit d'eau autour d'un arbre tournant
maintenir étanchéité



Diapo 14: Le Fond et le Double-Fond. Structure basse, carlingue centrale et stockage des fluides.

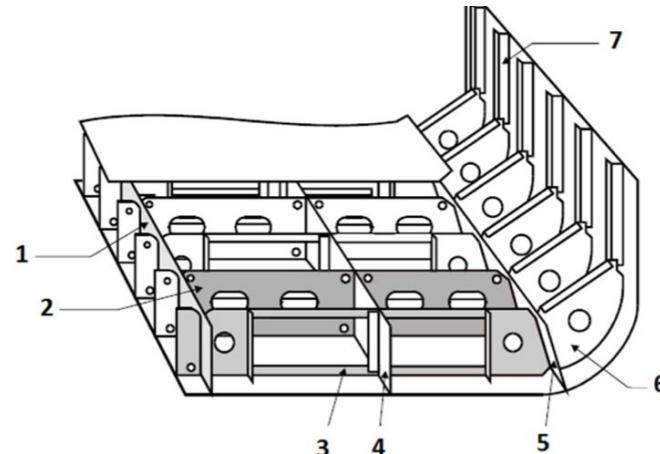
double fond : à chaque couple une varangue (renforts transversaux) et carlingues (renforts longitudinaux)



bordée de fond : ensemble de tôles appelée virure
virure proche de la quille "virure de Galbord"
virure reliant bordée de fond au bordé de muraille "virure de Bouchain"

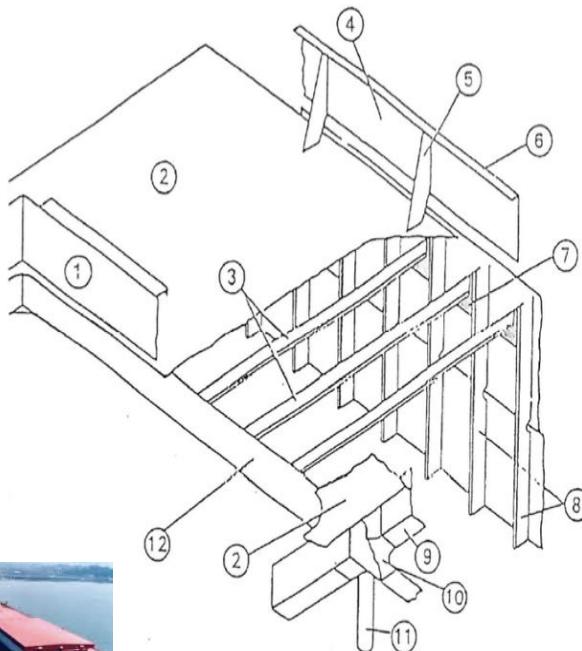
bordée de muraille

bordée de pont : virures longitudinales
dans l'angle, virure de gouttière



Diapo 15 : Les Ponts. Structures horizontales : barrots, hiloires et pontage.

- 1- Hiloire longitudinale de panneau.
- 2- Bordé de pont.
- 3- Barrotin.
- 4- Pavois.
- 5- Jambette de pavois.
- 6- Lisse de pavois.
- 7- Gousset de tête(de harrot).
- 8- Membrure.
- 9- Barrot d'extrémité de panneau.
- 10- Gousset horizontal.
- 11- Epontille.
- 12- Hiloire renversée.



descriptif du pont :

accès aux cales se fait par des écouteilles

le surbau est l'entourage de l'écouteille, si elle sert à la structure résistante alors c'est une hiloire d'écouteille

la structure longitudinale est réalisée par des lisses de pont et des hiloires

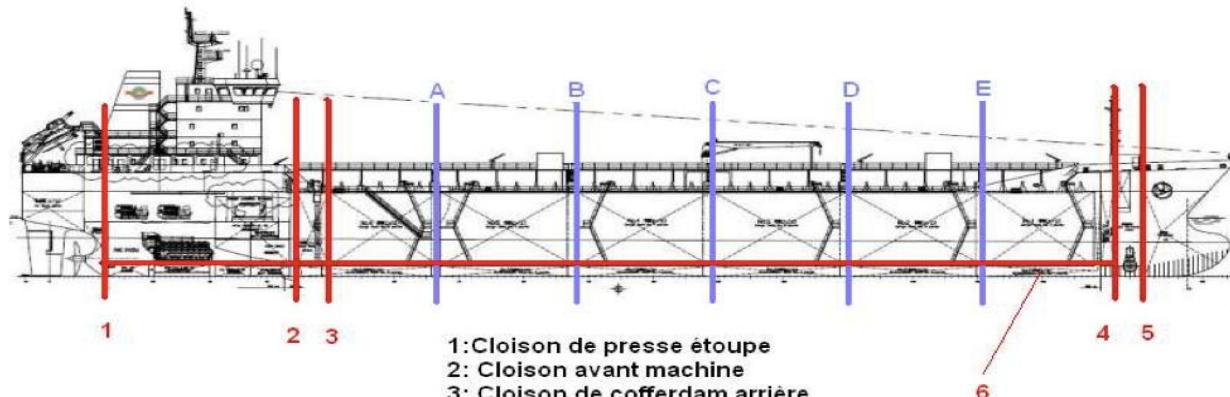
les barrots doivent être reliés aux membrures à l'aide de goussets soudés

les hiloires supportent les barrots

Diapo 16 : Les Cloisons. Cloisons étanches et cloisons de collision : sécurité et compartimentage.

les renforts verticaux des cloisons sont des montants, les renforts horizontaux sont les lisses

cloisons ondulées sont répandues car elles n'ont pas besoin de charpente, les plies servent aux effort verticaux et horizontaux

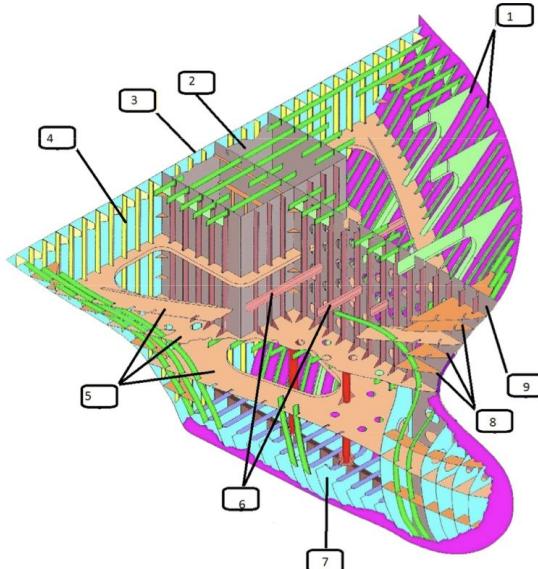


- 1: Cloison de presse étoupe
- 2: Cloison avant machine
- 3: Cloison de cofferdam arrière
- 4: Cloison de cofferdam avant
- 5: Cloison d'abordage
- 6: Doubles fonds
- A, B, C, D, E: Cloisons intermédiaires

Diapo 17 : Charpente de l'avant et arrière

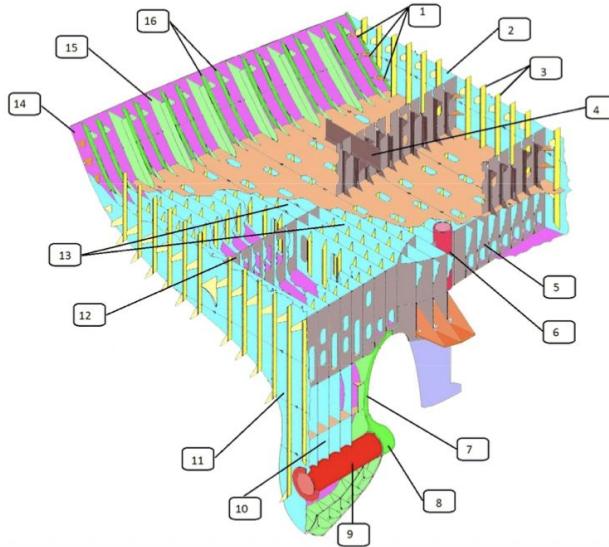
structure avant pose des problèmes spécifiques en raison des formes et des efforts(ballast, vibrations), l'étrave doit être résistante
 les membrures sont resserrées (haute varangue)
 les membrures sont maintenues par des serres

1 : Membrures de l'avant
2 : Puit aux chaînes
3 : Cloison d'abordage
4 : Montants
5 : Serre de l'avant
6 : Barres sèches
7 : Hautes varangues
8 : Tablettes
9 : Tôle de roulis ou <i>Tôle diaphragme</i>



1 : Goussets
2 : Tableau arrière
3 : Montants de tableau arrière
4 : Barrots de pont
5 : Tôle de roulis ou <i>diaphragme</i>
6 : Tube de jaumièvre
7 : Etambot
8 : Lunette d'étambot
9 : Tube d'étambot
10 : Hautes Varangues
11 : Cloison de presse-étoupe
12 : Cloison longitudinale latérale
13 : Varangues
14 : Bordé de murailles
15 : Porque
16 : Membrures transversales

structure arrière dépend de l'étambot
 des goussets renforcent la liaison avec le bordé de muraille



Partie III : Méthodes d'Assemblage

Diapo 18 : **soudage**. Différents types (ARC, MIG/MAG) et importance du contrôle des soudures (radios/ultrasons).

assemblages mécaniques

boulonnage (Démontable) :
uniquement pour les pièces mobiles
(safran, hélice). Interdit sur la coque.

rivetage (Permanent) : technique historique aujourd'hui abandonnée (trop lourd et complexe).



soudage:

méthode de référence pour assurer la continuité métallique par fusion.

soudage vs brasage : En soudage, le métal de base fond ; en brasage, non.

automatisation (procédé SAW) :
soudage à l'arc sous flux en poudre

permet une grande vitesse et une régularité parfaite sur les longues pièces (raidisseurs)

collage : l'alternative

utilisé pour les aménagements et la tôlerie légère (jamais pour la structure porteuse).

points forts : pas de perçage (évite d'affaiblir les tôles)

répartition uniforme des contraintes.
Supprime la corrosion galvanique entre métaux différents.

excellente isolation vibratoire.

points faibles : très mauvaise tenue au feu et nécessite une préparation de surface rigoureuse.

Diapo 19 : Le rivetage et l'assemblage mécanique. Cas historiques et utilisations spécifiques actuelles (alu/acier).

le rivetage : de la norme à l'abandon

historique : méthode standard jusqu'à la Seconde Guerre mondiale

déclin : remplacé par le soudage car le rivetage est :

trop lourd : le chevauchement des tôles et le poids des rivets augmentent la masse du navire.

fragile : les trous de rivet créent des amorces de rupture, ne rentrent pas dans les normes actuelles

coûteux : demande une main-d'œuvre nombreuse et qualifiée.



l'assemblage Alu / Acier

l'assemblage mécanique reste indispensable pour lier des métaux incompatibles au soudage direct.

problème : on ne peut pas souder l'aluminium sur l'acier (températures de fusion trop différentes et risque de corrosion galvanique massive).

solutions actuelles : boulonnage avec isolation : utilisation de joints et rondelles isolantes pour éviter tout contact électrique entre les deux métaux.

joints de transition bimétallique : une bande composée d'une couche d'acier et d'une couche d'alu liées par explosion, permettant de souder l'acier sur l'acier et l'alu sur l'alu de chaque côté.

Partie IV : Le processus de construction en chantier

Diapo 20 : De la Conception au Bureau d'Études. Plans de forme, calculs de structure (CAO/FAO).

définition technique

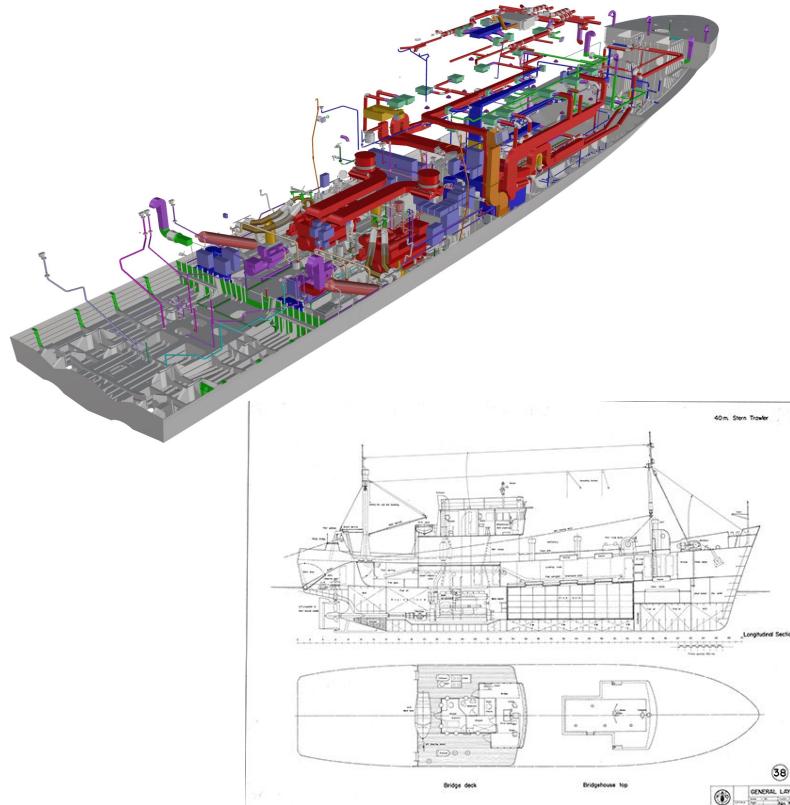
plans de forme : dessin précis de la géométrie de la coque pour valider l'hydrodynamique et l'esthétique.

calculs de structure : simulations pour garantir la solidité, la stabilité et l'optimisation du poids du navire.

outils numériques (CAO/FAO)

CAO (Conception Assistée par Ordinateur) : création d'une "maquette numérique" 3D intégrale (structure, tuyauterie, systèmes). (rhino)

FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur) : transformation des plans 3D en données pour les machines-outils (ex: pilotage des machines de découpe plasma pour les tôles).



Diapo 21 : La Préfabrication par Blocs.

Méthode moderne : construction de sections inversées en atelier pour faciliter le soudage.

le principe modulaire

le navire n'est plus construit d'un seul tenant, mais divisé en blocs (ou anneaux) pré-assemblés en atelier.

permet de travailler simultanément sur différentes sections du navire avant l'assemblage final sur cale.

construction inversée ("Upside Down")

technique : les sections de ponts ou de coques sont construites à l'envers.

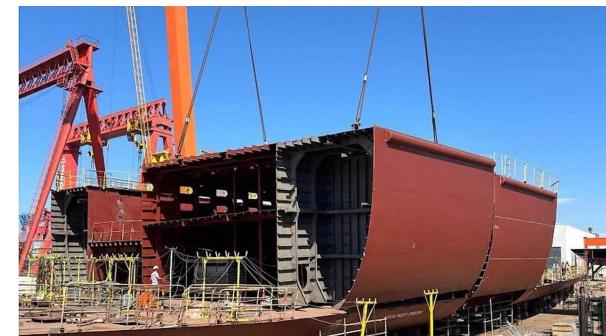
objectif : faciliter le soudage "à plat" (plus rapide et de meilleure qualité) plutôt qu'en "plafond" (difficile et fatigant).

les blocs sont ensuite retournés par de puissants portiques pour l'assemblage final.

jumboïsation

opération consistant à allonger un navire en y insérant une section préfabriquée (appelée "plug" ou tronçon).

objectif : augmenter la capacité de charge (fret) ou le nombre de cabines (paquebots) à moindre coût, réparer un moteur



Diapo 22 : L'Assemblage sur Forme (Le Pré-montage). Jonction des anneaux/blocs sur la cale de construction.



cohésion structurelle

soudage permanent : c'est la technique exclusive pour l'assemblage de la coque afin d'établir une continuité métallique entre les pièces.

fusion : le joint est formé par la fusion des bords des blocs, créant une continuité de matière parfaite.

zéro boulonnage : le vissage et le boulonnage ne sont jamais utilisés pour la coque ; ils sont réservés uniquement aux pièces mobiles comme le safran ou l'hélice.

défis du montage sur cale

alignement critique : les blocs doivent être positionnés avec une précision pour garantir l'hydrodynamisme.

conditions extérieures : contrairement à la préfabrication en atelier, le soudage sur cale expose les joints aux conditions climatiques, nécessitant des protections spécifiques.