Rapport d'enquête

Investigation report

Naufrage du thonier senneur *AVEL VOR*
le 27 octobre 2019, au large du Liberia

Foundering of the tuna seiner *AVEL VOR*
on 27 October 2019, off Liberia

Bureau d'enquêtes sur les évènements de mer

Rapport publié : octobre 2020

Avertissement

Le présent rapport a été établi conformément aux dispositions du Code des transports, notamment ses articles L.1621-1 à L.1622-2 et R.1621-1 à R.1621-38 relatifs aux enquêtes techniques et aux enquêtes de sécurité après un événement de mer, un accident ou un incident de transport terrestre et portant les mesures de transposition de la directive 2009/18/CE établissant les principes fondamentaux régissant les enquêtes sur les accidents dans le secteur des transports maritimes ainsi qu'à celles du « Code pour la conduite des enquêtes sur les accidents » de l'Organisation Maritime Internationale (OMI), et du décret n° 2010-1577 du 16 décembre 2010 portant publication de la résolution MSC 255(84) adoptée le 16 mai 2008.

Il exprime les conclusions auxquelles sont parvenus les enquêteurs du *BEA*mer sur les circonstances et les causes de l'événement analysé et propose des recommandations de sécurité.

Conformément aux dispositions susvisées, l'analyse de cet événement n'a pas été conduite de façon à établir ou attribuer des fautes à caractère pénal ou encore à évaluer des responsabilités individuelles ou collectives à caractère civil. **Son seul objectif est d'améliorer la sécurité maritime et la prévention de la pollution par les navires et d'en tirer des enseignements susceptibles de prévenir de futurs sinistres du même type**. En conséquence, l'utilisation de ce rapport à d'autres fins que la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

Pour information, la version officielle du rapport est la version française. La traduction en anglais lorsqu'elle est proposée se veut faciliter la lecture aux non-francophones.

1	Résumé	Page	4
2	Informations factuelles		
2.1	Contexte	Page	4
2.2	Navire	Page	5
2.3	Équipage	Page	6
2.4	Accident	Page	6
2.5	Intervention	Page	9
3	Exposé	Page	11
4	Analyse	Page	13
4.1	Possibilité d'une avarie du circuit eau de mer	Page	13
4.2	Possibilité de heurt d'un OFNI	Page	14
4.3	Possibilité d'une brèche dans la coque	Page	14
4.4	Conséquence d'une brèche	Page	17
5	Conclusions	Page	18
6	Mesures prises par l'armement	Page	19
7	Enseignements	Page	19
8	Recommandation	Page	20
	Annexes		
A.	Liste des abréviations	Page	41
B.	Décision d'enquête	Page	42
C.	Navire	Page	43
D.	Note de calcul	Page	46
E.	Carte	Page	82

1 Résumé

Le 27 octobre 2019 le thonier senneur *AVEL VOR* se trouve sur ses lieux de pêche depuis trois jours (à environ 200 milles au sud de Monrovia, Liberia) et aucun incident n'a été relevé jusque-là. À 22h00, alors que le navire fait route par mer agitée, une alarme de niveau haut dans la cale machine se déclenche. Le mécanicien de service fait une première investigation, mais ne constate aucune fuite apparente. Il alerte le second mécanicien, qui prend les premières mesures, avant d'alerter à son tour le chef mécanicien. À 22h25, malgré le fonctionnement de la pompe de cale machine et les investigations, l'alarme d'envahissement se déclenche ; à partir de ce moment la situation se dégrade rapidement. À 00h35 le 28 le capitaine, en accord avec le directeur technique de l'armement, décide de lancer la procédure d'abandon du navire.

Trois quarts d'heure plus tard l'équipage évacue l'*AVEL VOR* à bord du skiff (embarcation lourde saisie sur la rampe arrière du navire) vers le *STERENN*, le *GUEOTEC* et le *PENDRUC*, autres navires de l'armement, en approche.

Le 29 à 00h10 l'*AVEL VOR* disparait de l'écran radar du *PENDRUC* qui est resté sur zone.

L'hypothèse d'une brèche, causée par le heurt d'un objet suffisamment dense à arête vive, vraisemblablement un conteneur, est la cause la plus probable à l'origine de la voie d'eau ayant entraîné le naufrage.

Compte tenu des mesures prises par l'armement, le *BEA*mer n'émet pas de recommandation.

2 Informations factuelles

2.1 Contexte

CFTO :

La Compagnie Française du Thon Océanique arme quinze navires. Sept navires sont basés en océan Atlantique, dont l'*AVEL VOR*, et son sistership le *CAP BOJADOR*. Les huit autres navires sont basés en océan Indien. La compagnie arme également deux navires d'assistance (un en Atlantique, un en océan Indien).

Sûreté :

Il n'y a pas de militaires embarqués. La possibilité d'un naufrage non accidentel n'a pas été étudiée par le *BEA*mer.

2.2 Navire

L'*AVEL VOR* est un thonier senneur congélateur.

- N° OMI : 8908038
- Immatriculation : CC 752560
- Jauge : 1383
- Longueur hors-tout : 61 m
- Profondeur de carène : 5,80 m
- Puissance administrative : 4226 kW
- Propulsion : Wartsila – 6R32E - 2458 kW
- Énergie : 2 alternateurs attelés et 2 groupes électrogènes Poyaud de 441kW
- Année de construction : pose de quille en décembre 1990
- Mise en service : 12 avril 1991

Le navire répond aux normes AUT ; les titres et certificats sont à jour.

Particularités :

Il n'y a pas de groupe électrogène de secours.
Il n'y a pas de ballasts eau de mer.

Capacité de pompage (cf. plans en Annexe C) :

Électropompe d'assèchement cale : 50 m^3/h (rep. 14 sur plan).
Électropompe incendie : 50 m^3/h (rep. 13 sur plan).
Électropompe secours MP : 120 m^3/h (rep. 11 sur plan).
Motopompe diesel : 30 m^3/h pour secours incendie, 2 x 8 m^3/h via les éjecteurs bâbord et tribord.

Les éjecteurs sont situés dans le faux-pont, au niveau des cuves, et servent à étancher les débordements de celles-ci lorsque le poisson « gonfle » à la congélation et fait déborder la saumure. Leur utilisation en assèchement machine s'effectue en raccordant plusieurs tronçons de tuyaux annelés (donc résistant à la dépression créée par la mise sous vide), mais difficiles à manipuler. Il n'y a pas de passage de ces tuyautages à travers les cloisons ; leur cheminement passe donc par les portes étanches pour atteindre le compartiment machine.

La capacité de pompage pour assèchement, via les éjecteurs et sans la pompe de secours MP, est d'environ 116 m^3/h.

2.3 Équipage

L'équipage est composé de huit marins français, de quinze marins de différentes nationalités africaines et d'un observateur, également africain.

Le **capitaine** est âgé de 43 ans. Il est titulaire du brevet de capitaine de pêche (juil. 2003) et des qualifications STCW réglementaires. Il exerce la fonction de capitaine depuis avril 2016.

Le **chef mécanicien** est âgé de 35 ans. Il est titulaire du brevet de chef mécanicien 8000 kW (mai 2019) et des qualifications STCW réglementaires. Depuis juillet 2016 il alterne les fonctions de second et de chef mécanicien. Il navigue à bord de l'*AVEL VOR* depuis juin 2019.

Le **second mécanicien** est âgé de 37 ans. Il est titulaire du brevet de second mécanicien 3000 kW (oct. 2014) et des titres STCW réglementaires. Il navigue à bord de l'*AVEL VOR* depuis 2013.

L'officier mécanicien **frigoriste** est âgé de 36 ans. Il est titulaire du brevet de chef mécanicien 8000 kW (mai 2013). Il a une expérience de chef mécanicien à bord des navires Bourbon offshore. Il navigue à bord de l'*AVEL VOR* depuis août 2018.

Le **chef ramendeur** est âgé de 27 ans. Après des études d'ingénieur en Génie civil, il effectue une reconversion à la pêche. Il est titulaire d'un certificat de matelot pont (nov. 2017) et des certificats de base STCW. Il navigue à bord de l'*AVEL VOR* depuis août 2018. Il y exerce les fonctions de chef ramendeur et d'intendant.

Le navire est équipé de matériel de plongée, mais il n'y a pas de plongeur qualifié parmi le personnel embarqué pour cette marée.

2.4 Accident

Heure locale : TU

27 octobre 2019,

À **22h00**, alarme de niveau haut dans le puisard de la cale machine. Le frigoriste (mécanicien de service) constate le niveau haut et alerte le second mécanicien. Il effectue une ronde pour tenter de localiser l'origine de la montée d'eau et constate qu'il y a déjà de l'eau sur toute la surface de la cale machine ; cette eau est relativement sale.

Peu après le second mécanicien arrive en machine, fait le même constat, et démarre l'électropompe d'assèchement de la cale qui refoule à la mer via le séparateur à eaux mazouteuses. Le second prévient le chef mécanicien.

Les plaques du parquet machine sont soulevées les unes après les autres pour une investigation plus approfondie, alors que les tuyaux et collecteurs ne sont pas encore recouverts d'eau, mais aucune fuite n'est détectée. Le niveau d'eau est le même à l'avant et à l'arrière de la cale machine.

À **22h25** l'alarme d'envahissement de la cale machine se déclenche. Le capitaine est prévenu de la situation par le chef mécanicien et une recherche méthodique de la cause de la voie d'eau est mise en œuvre. Des points de repère sont pris sur la coque et sur une échelle, située sur l'avant du moteur principal, pour contrôler le niveau de l'eau qui continue de monter. L'électropompe de secours incendie/ assèchement est démarrée par le second mécanicien.

Puis, dans un premier temps, (voir schéma de principe ci-après) le groupe électrogène (GE) bâbord est démarré et couplé, le moteur principal est stoppé.

Les vannes sur la traverse eau de mer, en amont et en aval du filtre tribord, sont isolées.
La vanne sur la traverse eau de mer, en amont du filtre bâbord, est maintenue ouverte pour alimenter le GE bâbord, via un piquage de secours. La vanne sur la traverse, en aval du filtre bâbord, est isolée.

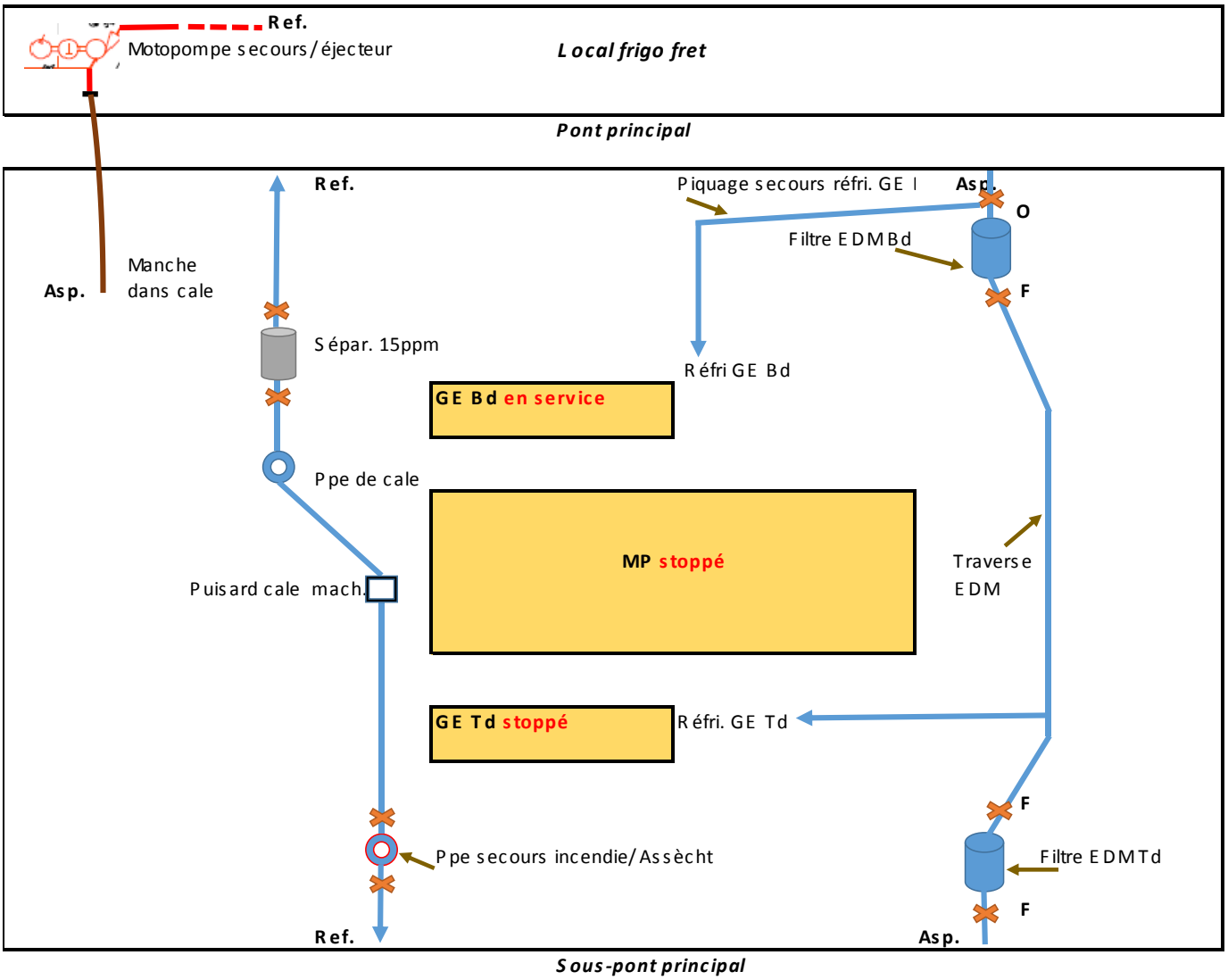
Des manches à incendie aspirant dans la cale machine sont raccordées à la motopompe de secours incendie, via les éjecteurs bâbord et tribord.

Dans un deuxième temps les GE bâbord et tribord sont permutés, les vannes sur la traverse eau de mer, en amont et en aval du filtre tribord, sont ouvertes (car il n'y a pas de piquage secours vers le GE à tribord) et les vannes sur la traverse eau de mer, en amont et en aval du filtre bâbord, sont isolées.

Le niveau d'eau continue de monter.

Bien qu'il n'y ait pas de présence d'eau dans le tunnel de congélation, la vanne d'alimentation des cuves réfrigérées, qui aspire via des vannes de coque bâbord ou tribord, est cependant isolée. Le local barre est également sec.

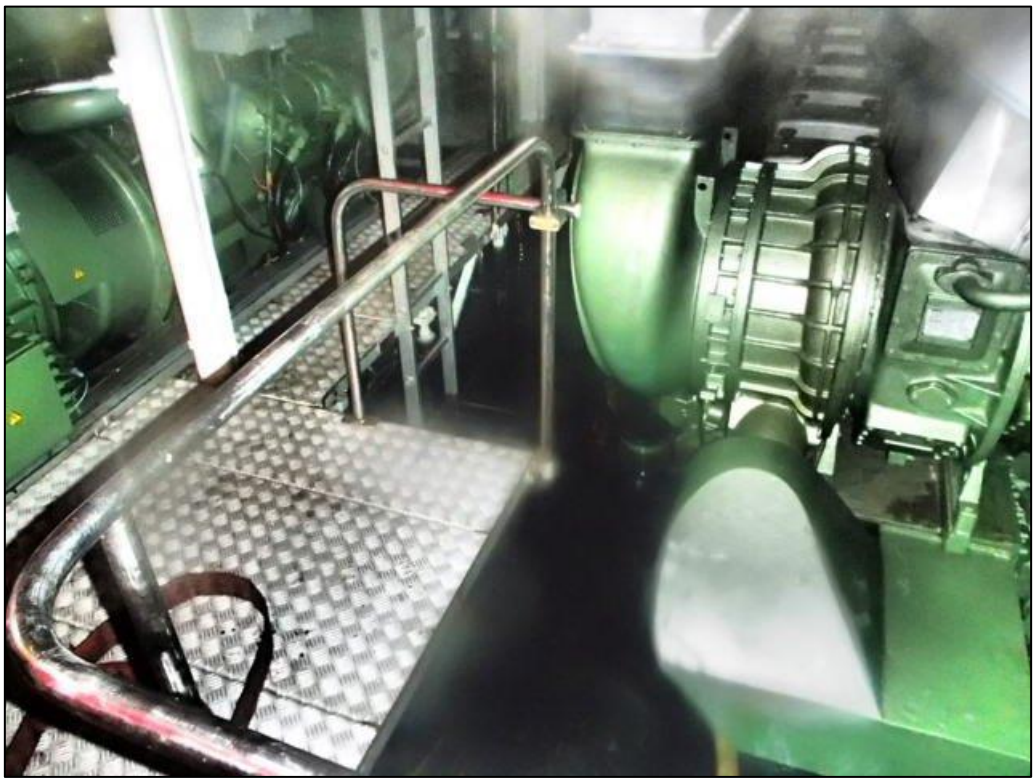
Un tourbillon d'eau propre commence à être visible sur l'avant bâbord du compartiment machine, à proximité du filtre eau de mer. L'eau atteint les portes de carter du moteur principal.



Dans un troisième temps un black-out est volontairement provoqué, seule la motopompe de secours continue à fonctionner. Toutes les vannes de coque de refoulement sont isolées (réfrigération du moteur principal, bouilleur, climatisation, GE, séparateur 15 ppm). Deux nouvelles rondes d'investigation sont effectuées par l'équipe machine. Sans résultat. Le niveau de l'eau continue à monter et le tourbillon d'eau propre sur bâbord avant est nettement visible.

Dans un quatrième temps le GE bâbord est de nouveau disposé pour réactiver le pompage, tant que le réseau de câblage des GE n'est pas noyé. Le niveau de l'eau continuant à monter (la pompe principale d'assèchement est noyée), un black-out est provoqué. Seule la motopompe des éjecteurs reste en service.

Lorsque l'eau atteint les cache-culbuteurs du moteur principal, la motopompe des éjecteurs est stoppée et isolée.



Le **29 octobre** à **00h10** l'*AVEL VOR* sombre à la position 03°13' nord - 10°33' ouest (cf. carte en Annexe E).

2.5 Intervention

Heure locale : TU

27 octobre,

À **22h55** le capitaine de l'*AVEL VOR* alerte l'armement et les thoniers *GUEOTEC* et *GEVRED*.

À **23h00** le skiff et le radeau tribord sont largués et amarrés à couple de l'*AVEL VOR*, à tribord.

À **23h28** le CROSS Étel transfère au CROSS Gris-Nez la coordination de l'événement. Le *GUEOTEC* et le *STERENN* font route pour porter assistance.

À **23h35** l'*AVEL VOR* contacte le CROSS Gris-Nez pour l'informer de la situation.

À **23h46** le CROSS interroge le commandant de l'arrondissement maritime Atlantique (CECLANT) sur la position des navires en mission Corymbe ; ceux-ci sont trop éloignés de l'*AVEL VOR* pour intervenir.

À **23h58** le CROSS informe le MRCC Monrovia de la situation.

28 octobre,

À **00h07** le CROSS Gris-Nez interroge le MRCC Madrid sur la possibilité d'intervention d'un navire hôpital à proximité ; mais celui-ci est également trop éloigné de la position pour porter assistance.

À **00h35**, déclenchement du signal d'abandon par le capitaine, en accord avec le directeur technique de l'armement.

À **00h37** rassemblement de tout l'équipage, muni des brassières de sauvetage, sur le pont principal.

Le CROSS transmet les informations au MRCC Monrovia.

À **00h38** l'équipage embarque sur le skiff. Réception de l'alerte satellitaire par le CROSS via la balise de détresse.

À **00h42** le CROSS transmet une demande de prévision de dérive à Météo France.

À **01h00** le capitaine, le chef et le second mécanicien retournent à bord pour vérifier la fermeture des portes étanches et des vannes à fermeture rapide de gasoil. L'eau atteint les culasses du moteur principal.

À **01h10** l'équipage est au complet à bord du skiff qui s'écarte du navire.

À **01h45** contact VHF par SMDSM avec le thonier *STERENN*, en approche à 9 milles.

À **02h45** accosté le *STERENN* et mise en sécurité de l'équipage.

À **03h06** le *PENDRUC* est sur zone.

À **03h08** le *STERENN* informe Gris-Nez que l'assistance médicale n'est pas nécessaire car il y a un médecin à bord.

À **04h21** le CROSS transmet les informations au MRCC Monrovia.

À **07h00** le capitaine de l'*AVEL VOR* tient le capitaine d'armement informé de la situation.

À **08h30** le capitaine de l'*AVEL VOR* rend compte de la situation au CROSS.

À **09h15** transfert de dix membres d'équipage à bord du *GUEOTEC* pour retour à Abidjan.

À **10h00** transfert des quatorze autres membres d'équipage à bord du *PENDRUC*, qui reste sur la zone de l'accident pour surveillance, à la demande du CROSS.

À 1**8h00** l'*AVEL VOR* est à 0,5 mille dans l'ouest du *PENDRUC*, toujours à flot.

3 Exposé

Heures TU

24 octobre,

À **17h40**, l'*AVEL VOR* appareille d'Abidjan pour une marée de 50 jours.
La marée se déroule sans incident jusqu'au 27 octobre.

27 octobre,

Météo : vent de sud-ouest 15 nœuds, mer agitée, visibilité 10 milles (source : *AVEL VOR*).

32 tonnes de thon ont été pêchées en deux coups de filets depuis la veille.
Les soutes sont estimées à 350 m^3 de gasoil.

Vers **20h00** le navire se dirige vers un DCP, cap au 291° à 10,5 nœuds. Le quart passerelle est assuré par un lieutenant et un matelot ; les portes de la passerelle sont fermées. Un navire espagnol qui fait route est visible au radar.

Entre **21h30** et **22h00** le chef ramendeur, qui somnole dans sa cabine (située à tribord, au pont équipage), est réveillé par un bruit inhabituel et une sensation de mouvement du bateau. Il se rendort peu après, sans s'inquiéter. Au même moment le navire traverse un grain.

À **22h00** l'alarme de niveau haut dans le puisard de la cale machine se déclenche, suivie à **22h25** de l'alarme d'envahissement.

Peu après le chef mécanicien alerte le capitaine sur la situation et lui demande de débrayer la propulsion. Le moteur principal est stoppé par les mécaniciens depuis la machine.

Le capitaine demande aux deux boscos (un français et un africain) de démailler le skiff et de l'amarrer sur tribord avec le radeau de sauvetage.

À **22h40** le capitaine se rend à la machine pour constater la situation, puis remonte en passerelle.

À **22h55** le capitaine contacte l'armement et les thoniers *GUEOTEC* et *GEVRED*.

Malgré les actions entreprises par l'équipe machine, renforcée par plusieurs membres d'équipage du pont, l'origine de la voie d'eau n'est pas identifiée et ne peut donc pas être contenue. Le niveau d'eau continue à monter régulièrement.

28 octobre,

Le capitaine fait part de ses craintes pour la stabilité du navire au chef mécanicien. À **00h35** ils prennent la décision, en concertation avec le directeur technique de l'armement, d'abandonner le navire. Peu après l'équipage monte à bord du skiff.

La balise RLS est embarquée sur le skiff puis est activée. Les balises SART sont également embarquées, mais sans être activées, suivant la consigne du CROSS.

À **02h45** l'équipage est en sécurité à bord du *STERENN.* La balise RLS est désactivée.

Dans la matinée, l'équipage est réparti à bord de deux navires de l'armement. À la demande du CROSS, le *PENDRUC* reste à proximité de l'*AVEL VOR* pour sécuriser la zone.

Un contrat pour investigation de la coque par des plongeurs est négocié par l'armement avec une entreprise basée à Dakar, soit à trois jours de mer.

29 octobre,

À **00h10** l'*AVEL VOR* disparait de l'écran radar du *PENDRUC.*

À **07h00** le CROSS est informé du naufrage et des opérations de récupération du matériel à la dérive, notamment des bouées de DCP.

À **11h20** début du remorquage du skiff de l'*AVEL VOR* vers Abidjan par le *PENDRUC*.

À **13h00** le CROSS est informé que le radeau de sauvetage bâbord a été récupéré et qu'il n'y a pas de traces d'hydrocarbure sur la zone du naufrage.

4 Analyse

La méthode retenue pour cette analyse est celle qui est préconisée par la Résolution A28 / Res 1075 de l'OMI « directives destinées à aider les enquêteurs à appliquer le code pour les enquêtes sur les accidents (Résolution MSC 255 (84)) ».

Le *BEA*mer a établi la séquence des événements ayant pu entrainer l'accident, à savoir :

1. **Possibilité d'une avarie du circuit eau de mer**
2. **Possibilité de heurt d'un OFNI**
3. **Possibilité d'une brèche dans la coque**
4. **Conséquence d'une brèche**

Dans cette séquence, les événements dits perturbateurs (événements déterminants ayant entrainé les accidents et jugés significatifs) ont été identifiés. Ceux-ci ont été analysés en considérant les éléments naturels, matériels, humains et procéduraux afin d'identifier les facteurs ayant contribué à leur apparition ou ayant contribué à aggraver leurs conséquences.

Parmi ces facteurs, ceux qui faisaient apparaître des problèmes de sécurité présentant des risques pour lesquels les défenses existantes étaient jugées inadéquates ou manquantes ont été mis en évidence (facteurs contributifs).

Les facteurs sans influence sur le cours des événements ont été écartés, et seuls ceux qui pourraient, avec un degré appréciable, avoir pesé sur le déroulement des faits ont été retenus.

4.1 Possibilité d'une avarie du circuit eau de mer

Cette hypothèse semblait la plus probable lorsque les premières investigations ont été effectuées, alors que les tuyautages en cale machine étaient visibles et encore « atteignables ». Mais l'équipe machine, en procédant à des recherches systématiques et organisées, notamment en soulevant toutes les plaques du parquet machine et en isolant alternativement les vannes eau de mer d'un bord, puis de l'autre bord, ne parvient pas à étaler la voie d'eau, et surtout à en déterminer l'origine.

Cette possibilité est donc écartée par l'équipe machine, moins d'une heure après le déclenchement de la première alarme, sans pour autant remettre en cause l'objectif de sauver le navire.

À noter que lors de l'arrêt technique de 2018, le circuit eau de mer a été visité et la traverse a été déposée. Des tôles de la cloison machine ont été remplacées.

4.2 Possibilité de heurt d'un objet flottant non identifié (OFNI)

A priori, au large des côtes africaines, le risque de heurt d'une bille de bois à la dérive est plus important que le risque de heurt d'un conteneur de grandes dimensions, également à la dérive. Les chutes de conteneurs à la mer sont généralement dues à la conjonction d'un saisissage défaillant en pontée et de conditions de mer provoquant un roulis relativement important, scénario très probable au large de l'Afrique de l'ouest.

À titre indicatif, recensement des heurts de conteneurs et d'objets non identifiés pour les navires sous pavillon des États membres de l'Union européenne :

Year	Unknown Object	Container (confirmed)	Total
2013	3		3
2014	3		3
2015	3		3
2016	2	1	3
2017	3	1	4
2018	2		2
2019	5		5
Total	**21**	**2**	**23**

Source : base de données de l'Agence Européenne de Sécurité Maritime (EMSA).

Bien qu'aucune chute de conteneur à la mer n'ait été signalée avant l'accident par les autorités maritimes locales (MRCC Monrovia), le heurt d'une bille de bois et ses conséquences sur la coque d'un navire faisant route n'ont pas été retenus par le BEAmer comme base de calcul.

Au large, hormis l'abordage avec un autre navire, le heurt d'un conteneur de grandes dimensions par un navire faisant route à bonne vitesse est intuitivement l'événement le plus « destructeur » pouvant survenir dans la plupart des zones de navigation. À la demande du BEAmer une étude approfondie a donc été effectuée, sous la forme d'une note de calcul de choc, par le cabinet d'architecture navale Herskovits & Tobie (H&T) afin d'évaluer la validité d'un tel scénario.

4.3 Possibilité d'une brèche dans la coque

4.3.1 Position de la brèche

Les investigations effectuées permettent d'affirmer que l'origine de la voie d'eau n'est pas située dans un des compartiments proches du compartiment machine.

Une brèche située dans les parties basses du bordé, difficile à identifier dans une zone où les tuyautages et équipements sont nombreux, peut également passer inaperçue derrière un vaigrage des parties les plus hautes et verticales du bordé (cf. note de calcul H&T, Annexe D).

De même, les fonds situés sous le berceau du moteur principal ne sont pas « protégés » par des capacités. Cette zone, très difficilement accessible (moins de 0,60 m de hauteur) est vulnérable et ne peut pas être investiguée.

L'étude H&T prend en compte la masse en charge théorique maximale d'un conteneur de 40' (soit 30,5 tonnes). Toutefois, le conteneur peut s'être rempli d'eau et à peine affleurer à la surface. Cela est même probable car à 20 ou 35 t, y compris de nuit, le conteneur aurait sans doute été visible au radar. Plein d'eau de mer, la masse du conteneur peut alors atteindre 83 t ; c'est cette valeur qui a été retenue. Lors d'un tel choc, la masse d'eau ajoutée doit donc être prise en compte.

Dans les hypothèses émises pour l'étude (cf. note de calcul H&T, Annexe D), on peut considérer les cas représentatifs suivants de point d'impact :

« - *Sur un bordé :*

Soit d'un panneau très raide en fond de coque dans les naissances de carlingage ou équivalent, voire dans les bordés des banquettes mais à part peut-être une maille sèche arrière, il semble que l'on soit dans des réservoirs étanches qui n'auraient pas généré d'envahissement mais éventuellement de l'eau de mer dans des capacités. Pour un tel panneau la raideur des structures et navire est négligeable, d'autant plus au regard des diverses autres inconnues mentionnée en amont.

Soit un bordé entre raidisseurs plat à boudin 140-160 beaucoup plus légers, auquel cas la raideur du bordé doit être prise en compte. »

« - *Sur une membrure, ou extrêmement près de celle-ci, et de toutes manières il importe de regarder si les membrures cassent avant le déchirage des bordés, même pour des chocs impactant "d'abord" le bordé. »*

« - *Au droit d'un nœud structurel primaire. Cas mal approchable dans l'envergure de cette étude mais dont on peut savoir que la raideur serait telle que la force colossale engendrerait forcément un "chiffonnage" tels des appuis que les bordés ne sauraient rester étanches pour un choc à 11 noeuds de plus d'un ou deux degrés le long des lignes d'eau. »*

Aussi les calculs de l'étude intègrent,

« - *les bordés isolés (sans raideur structure) dans des zones où la souplesse des structures est négligeable, raidissage primaire et caisses comme évoqué, »*

« - *les calculs sur la structure transversale (avec raideur navire) en cas de choc affectant d'abord celle-ci, d'autant qu'un couple plus rigide peut casser avant que la tôle ne se déchire, »*

« - puis la combinaison des trois raideurs dans les zones, majoritaires, où le couplage peut atténuer le choc (déformée supérieure). »

« Enfin, ces données mises au point, le conteneur est approché sous trois positions, les équations des coefficients permettant assez mal les positions en biais :

- *Dans ses lignes,*
- *Vertical,*
- *En travers. »*

4.3.2 Angle conteneur-navire et position du conteneur

L'angle, au moment de l'impact, entre le bordé du navire en mouvement et l'OFNI étant inconnu, le calcul balaye des angles compris entre 0,5 et 20°. Trois positions du conteneur sont étudiées : conteneur « dans ses lignes », vertical et en travers (cf. note de calcul H&T).

Les vitesses d'écoulement dans les régions de la poupe du navire sont, en outre, légèrement supérieures à celle enregistrée pour le navire (10,5 nœuds). La vitesse retenue pour l'abordage navire-OFNI est donc de 11 nœuds (cf. note de calcul H&T).

La force engendrée par un choc est plus importante dans les parties les plus verticales du bordé. (cf. note de calcul H&T).

4.3.3 Force du choc

La force du choc est inversement proportionnelle à la raideur (ou résistance élastique à la déformation) au point de rencontre du conteneur avec la coque. Pour un même élément de la coque, la raideur est différente si l'impact se produit en son milieu ou près d'une liaison (cf. note de calcul H&T).

L'échantillonnage des bordés résulte de calculs de pression, les bordés étant usuellement considérés « mi-encastrés – mi-appuyés ». Pour une étude de choc, l'analogie pour les calculs de raideur avec les calculs de pression est particulièrement complexe pour un semi-encastrement du bordé. Les résultats retenus sont donc issus de calculs « dissociés » puis « moyennés » (cf. note de calcul H&T).

La composante transversale du choc fait « pivoter » le navire autour du couple C48. Le compartiment machine étant situé entre les couples C15 et C32, le calcul intègre la poutre navire par une action moyenne au couple C24 (cf. note de calcul H&T).

4.3.4 Feuilles de calculs (cf. note de calcul H&T, Annexe D)

Pour chacune des trois positions possibles du conteneur (dans ses lignes, vertical et en travers), les comportements au choc sont présentés par éléments simples sur le groupe des colonnes de gauche du tableau des résultats (bordés, membrures) et par éléments couplés sur le groupe des colonnes de droite, pour toutes les valeurs de raideur.

Pour obtenir un échantillon représentatif et lisible, les données d'entrée sont limitées à 1/6ème de la totalité des cas possibles. Ce résultat est obtenu en associant les angles de choc entre le conteneur et la coque (de 0,5° à 20°) et les angles de bordé (de 40° à la verticale) par types de valeurs (les plus faibles, les moyennes, les fortes).

Les résultats sont colorés en fonction du comportement au choc des éléments du bordé :
vert : sans dommage grave, orange clair : plastification partielle, mais sans brèche probable,
rouge/orange foncé : déchirure ou brèche.

4.3.5 Évaluation du risque de brèche

Lorsque l'angle d'incidence entre le conteneur et la coque est quasi-nul (inférieur à 1°), dans une zone où la muraille est oblique, il n'y a pas de déchirure du bordé (cf. note de calcul H&T).

Lorsque l'angle d'incidence entre le conteneur et la coque est supérieure ou égale à 10°, le bordé est déchiré, quelle que soit la position du conteneur. Dans ces conditions, le risque de brèche est supérieur à 75% pour le heurt d'un conteneur de grandes dimensions rempli d'eau, soit 40 pieds (#12 mètres), et de 50% dans le cas d'un conteneur de 20 pieds (#6 mètres), également rempli d'eau (cf. note de calcul H&T).

Les architectes émettent l'hypothèse d'un résultat similaire pour un conteneur partiellement rempli (cf. note de calcul H&T).

Bien que le risque de collision avec un OFNI de grandes dimensions ne puisse être évalué par le calcul, ce scénario constitue l'unique cause possible de brèche à l'origine d'une importante voie d'eau. Il est de plus cohérent avec le bruit inhabituel et la sensation de mouvement du navire dont ont témoigné plusieurs membres d'équipage.

4.4 Conséquence d'une brèche

Le débit théorique d'une voie d'eau provoquée par une brèche de 10 cm de côtés, située à 2 mètres sous la flottaison (h : hauteur d'immersion) serait d'environ :

Débit = Surface brèche x √(2gh) x 3600 = 0,01 x √(2x9,81x2) x 3600 # 230 m^3/heure

Cette valeur théorique de débit confirme la possibilité qu'une brèche de relativement petite taille, donc peu visible, peut provoquer une voie d'eau excédant les capacités d'assèchement (Électropompe assèchement + Électropompe incendie + Motopompe et éjecteurs, soit environ 116 m^3/h) de plus de 100 m^3/h.

Compte tenu des éléments ci-dessus, le heurt d'un conteneur avec le bordé du compartiment machine de l'*AVEL VOR* est le **facteur contributif** le plus probable à l'origine de la voie d'eau qui a entraîné son naufrage.

Le compartiment machine est pénétré par quatre portes étanches aux intempéries (cf. schéma et tableau, annexe C), situées au pont principal (les cloisons étanches situées sous le pont de franc-bord n'étant pas pénétrées par des portes).

Les portes étanches aux intempéries ne sont pas étanches à l'envahissement, il est donc fortement probable que l'eau ait migré dans un ou plusieurs compartiments attenants (le compartiment frigo fret étant le plus grand) dans les heures qui ont suivi l'envahissement de la machine. La réserve de flottabilité a ainsi été considérablement diminuée, jusqu'à entraîner le naufrage du navire.

La « limite d'étanchéité » entre le compartiment machine et les compartiments attenants est le **facteur contributif** le plus probable du naufrage de l'*AVEL VOR*.

5 Conclusions

- Alors que le navire fait route à 10,5 nœuds, un bruit inhabituel et un mouvement du navire sont perçus par plusieurs membres d'équipage.
- Peu de temps après, une alarme de niveau haut se déclenche dans le compartiment machine. Elle est suivie, 25 minutes plus tard, par une alarme d'envahissement.
- Entre temps, l'équipe machine a mis en route l'assèchement et entrepris de localiser l'origine de la voie d'eau par tous les moyens pouvant être mis en œuvre. Sans succès.
- 2h35 après la première alarme, le capitaine craignant pour la stabilité du navire décide d'initialiser la procédure d'abandon.
- L'hypothèse d'une brèche provoquée par le heurt d'un conteneur, entièrement ou partiellement rempli d'eau de mer, est validée par une étude effectuée par un cabinet d'architecture navale (cf. note de calcul Annexe D).

- Le naufrage du navire est vraisemblablement dû à la migration de l'eau de mer vers les compartiments attenants au compartiment machine.

6 Mesures prises par l'armement

1. **à bord du sistership *CAP BOJADOR*, en exploitation au large de la côte ouest africaine** :

   - visite à sec pour contrôle de la cale machine, du puisard machine et des vannes de coque,
   - contrôle des portes étanches,
   - contrôle de bon fonctionnement de la pompe de cale et de la pompe incendie,
   - contrôle des alarmes machine.

   Aucune déficience pouvant être à l'origine d'une importante entrée d'eau n'a été identifiée.

2. **pour la flotte CFTO** :

   Consigne auprès des techniciens chargés du suivi des navires de procéder à des contrôles approfondis de la structure de la cale machine, des prises d'eau, des vannes de coque et du puisard machine lors des arrêts techniques, et d'aller ainsi au-delà des exigences de la société de classification et du Pavillon (par exemple en augmentant le nombre de points de mesures d'épaisseur ciblés : tôle machine, traverse eau de mer et puisards machine).

3. **pour les équipages la flotte CFTO** :

   Les équipages ont été informés que le bon déroulement de l'abandon de l'*AVEL VOR* est à mettre au crédit des exercices qu'ils sont dans l'obligation d'effectuer avec régularité.

7 Enseignements

1. 2020-E-18 : les résultats des calculs de choc attestent que le heurt d'un conteneur avec la carène peut créer une brèche mettant en péril la « survivabilité » d'un navire, même faisant route à vitesse modérée.

2. 2020-E-19 : une étude d'envahissement du compartiment machine permettrait de valider l'hypothèse de la migration de l'eau de mer vers les locaux attenants (stabilité du navire après avarie).

3. 2020-E-20 : bien que les calculs de stabilité après avarie ne soient requis que pour les navires de pêche de plus de 100 mètres (Convention internationale de Torremolinos

adoptée en 1993), une analyse probabiliste pour le calcul du « Niveau de sécurité global » du navire, aurait pris en compte la « Probabilité d'impact à cet endroit » (le compartiment machine).

8 Recommandation

Compte tenu des mesures prises, le ***BEA*mer** n'émet pas de recommandation destinée à l'armement.

Investigation report

Foundering of the tuna seiner *AVEL VOR*
on 27 October 2019, off Liberia

Note

This report has been drawn up according to the provisions of Transportation Code, especially clauses L.1621-1 to L.1622-2 and R.1621-1 to R.1621-38 relating to technical and safety investigations after marine casualties and terrestrial accidents or incidents and concerning the implementation of directive 2009/18/CE on the investigation of accidents in the maritime transport sector and in compliance with the «Code for the Investigation of Marine Casualties and Accidents» laid out in Resolution MSC 255 (84) adopted by the International Maritime Organization (IMO) on 16 May 2008 and published by decree n° 2010-1577 on 16 December 2010.

It sets out the conclusions reached by the investigators of the *BEA*mer on the circumstances and causes of the accident under investigation and proposes safety recommendations.

In compliance with the above-mentioned provisions, the analysis of this incident has not been carried out to determine or apportion criminal responsibility nor to assess individual or collective liability. **Its sole purpose is to improve maritime safety and the prevention of maritime pollution by vessels and to draw safety lessons that could prevent future incidents of the same type**. The use of this report for other purposes could, therefore, lead to erroneous interpretations.

For your information, the official version of the report is written in the French language. The translation in the English language is to facilitate the reading of this report to those who are not French speakers.

1 Summary Page 24

2 Factual information

2.1 Background Page 24

2.2 Vessel Page 25

2.3 Crew Page 26

2.4 Marine casualty information Page 26

2.5 Emergency response Page 29

3 Narrative Page 31

4 Analysis Page 33

4.1 Possibility of damage to the seawater circuit Page 33

4.2 Possibility of hitting a UFO Page 34

4.3 Possibility of a breach in the hull Page 34

4.4 Consequence of a breach Page 37

5 Conclusions Page 38

6 Measures taken by the owner Page 39

7 Safety lessons Page 39

8 Safety recommendation Page 40

9 Appendixes

A. Abbreviation list Page 41

B. Investigation decision Page 42

C. Vessel Page 43

D. Calculation note Page 64

E. Chart Page 82

1 Summary

On 27 October 2019, the tuna seiner *AVEL VOR* has been on her fishing grounds for three days (about 200 miles south of Monrovia, Liberia) and no incidents have been reported so far. At 10.00 pm, while the vessel was underway in rough seas, a high-level alarm in the engine room bilge triggered. The engineer on duty carried out an initial investigation but found no apparent leak. He alerted the second engineer, who took initial action, before alerting the chief engineer. At 10.25 pm, despite the operation of the bilge pump and the investigations, the flooding alarm triggered; from then on, the situation deteriorated rapidly. At 00.35 am on the 28th the master, in agreement with the technical director of the shipping company, decided to launch the abandon ship procedure.

Three-quarters of an hour later, the crew evacuated *AVEL VOR* on board the skiff (a heavy boat seized on the ship's stern ramp) towards *STERENN*, *GUEOTEC* and *PENDRUC*, other vessels of the fishing company, on approach.

On the 29th at 00.10 am *AVEL VOR* disappears from the radar display of *PENDRUC* which remained on the area.

The hypothesis of a breach, caused by the impact of a sufficiently dense, sharp-edged object, probably a container, is the most likely cause of the water leak leading to the foundering.

Given the measures taken by the owner, *BEA*mer does not issue any recommendation.

2 Factual information

2.1 Background

CFTO:

The *Compagnie Française du Thon Océanique* (CFTO) operates fifteen vessels. Seven vessels are based in the Atlantic Ocean, including *AVEL VOR*, and her sistership *CAP BOJADOR*. The other eight vessels are based in the Indian Ocean. The company also operates two support vessels (one in the Atlantic and one in the Indian Ocean).

Security:

There are no military personnel on board. The possibility of a non-accidental shipwreck has not been studied by *BEA*mer.

2.2 Vessel

AVEL VOR is a freezer tuna seiner.

- IMO number : 8908038
- Registration : CC 752560
- Tonnage : 1383
- Length overall : 61 m
- Extreme depth : 5.80 m
- Administrative power : 4226 kW
- Propulsion : Wartsila – 6R32E - 2458 kW
- Power : 2 coupled alternators and 2 Poyaud generators of 441kW
- Year of construction : keel laying in December 1990
- Commissioning : 12 April 1991

The vessel complies with UMS standards; titles and certificates are up to date.

Special features:

There is no emergency generator.
There are no seawater ballasts.

Pumping capacity (see plans in Appendix C):

Bilge electric pump: 50 m^3/h (rep. 14 on the plan).
Electric fire pump: 50 m^3/h (rep. 13 on the plan).
ME emergency electric cooling pump: 120 m^3/h (rep. 11 on the plan).
Diesel motor pump: 30 m^3/h as an emergency fire pump, 2 x 8 m^3/h via the port and starboard ejectors.

The ejectors are located in the second deck, at the level of the tanks, and are used to drain the overflows from the tanks when the fish "swells" when frozen and causes the brine to overflow. They are used in engine room drainage by connecting several sections of corrugated pipe (thus resistant to suction vacuum) but are difficult to handle. There is no passage for these pipes through the bulkheads, so they pass through the watertight doors to reach the engine room.

The pumping capacity for draining, via ejectors and without the ME emergency pump, is approx. 116 m^3/h.

2.3 Crew

The crew is made up of eight French sailors, fifteen sailors of different African nationalities and one observer, also African.

The **master** was 43 years old. He holds a Master Fishing certificate (July 2003) and the regulatory STCW qualifications. He has held the position of Master since April 2016.

The **chief engineer** was 35 years old. He holds a certificate of qualification as a chief engineer 8000 kW (May 2019) and the regulatory STCW qualifications. Since July 2016 he has alternated between the positions of second and chief engineer. He has been sailing aboard *AVEL VOR* since June 2019.

The **second engineer** was 37 years old. He holds the certificate of second engineer 3000 kW (Oct. 2014) and the regulatory STCW titles. He has been sailing aboard *AVEL VOR* since 2013.

The **refrigeration engineer** was 36 years old. He holds a certificate of competency as chief engineer 8000 kW (May 2013). He has experience as chief engineer on board Bourbon offshore vessels. He has been sailing aboard *AVEL VOR* since August 2018.

The **chief net mender** was 27 years old. After studying civil engineering, he converted to fishing. He holds a deckhand certificate (Nov. 2017) and STCW basic certificates. He has been sailing aboard *AVEL VOR* since August 2018. He is the chief net mender and chief steward.

The ship was equipped with diving equipment, but there were no qualified divers on board for this fishing period.

2.4 Marine casualty information

Local time: UTC

27 October 2019,

At **10.00 pm**, high-level alarm in the engine room bilge well. The refrigeration engineer (engineer on duty) noticed the high level and alerted the second engineer. He undertook a patrol to try to locate the origin of the rising water and found that there was already water all over the surface of the engine room bilge; this water was relatively dirty.

Shortly afterwards, the second engineer arrived at the engine room, made the same observation, and started the bilge draining electric pump, which discharges outboard via the oily-water separator. The second engineer informed the chief engineer.

The engine floor plates were lifted one after the other for further investigation, while the pipes and manifolds were not yet covered with water, but no leak was detected. The water level was the same forward and aft the engine room bilge.

At **10.25 pm** the bilge flooding alarm triggered. The master was informed of the situation by the chief engineer and a methodical search for the cause of the leak was carried out. Reference points were taken on the hull and on a ladder, located forward the main engine, to monitor the level of the water as it continued to rise. The emergency fire/drainage electric pump was started by the second engineer.

Then, as a first step (see schematic diagram below) the port generating-set (GS) was started and coupled, the main engine was stopped.

The valves on the seawater cross-over pipe, upstream and downstream of the starboard filter, were closed.
The valve on the seawater cross-over pipe, upstream of the port filter, was kept open to supply the port GS via an emergency tapping. The valve on the cross-over pipe, downstream of the port filter, was closed.

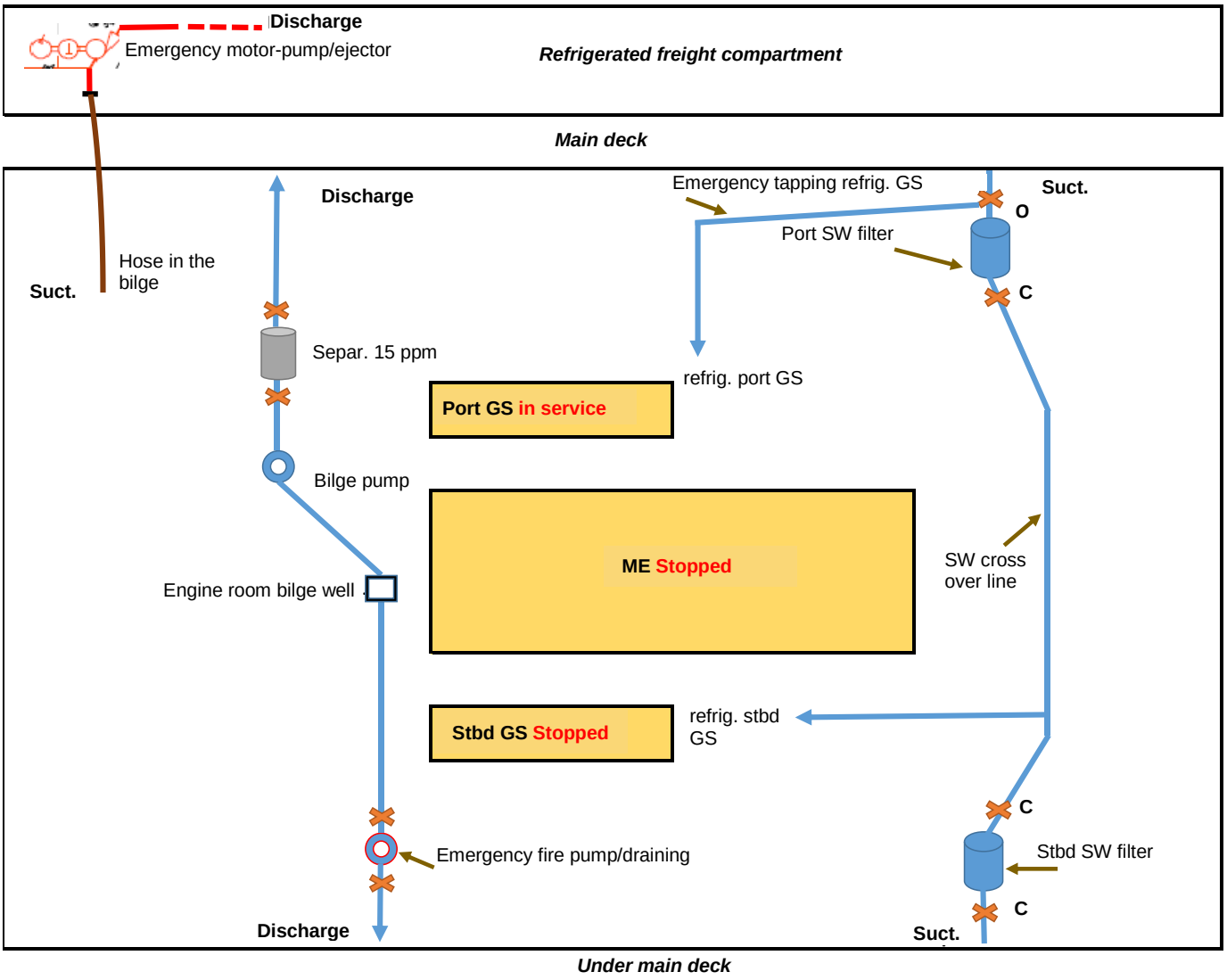
Fire hoses drawing from the engine room bilge were connected to the emergency fire-fighting motor-pump via port and starboard ejectors.

In a second step, the port and starboard GSs were swapped, the valves on the seawater cross-over pipe, upstream and downstream of the starboard filter, were opened (as there was no emergency tapping to the starboard GS) and the valves on the seawater cross-over pipe, upstream and downstream of the port filter, were closed.

The water level kept rising.

Although there was no water in the freezing tunnel, the supply valve for the refrigerated tanks, which draws in water via the port or starboard sea suction valves, was even so closed. The steerage room was also dry

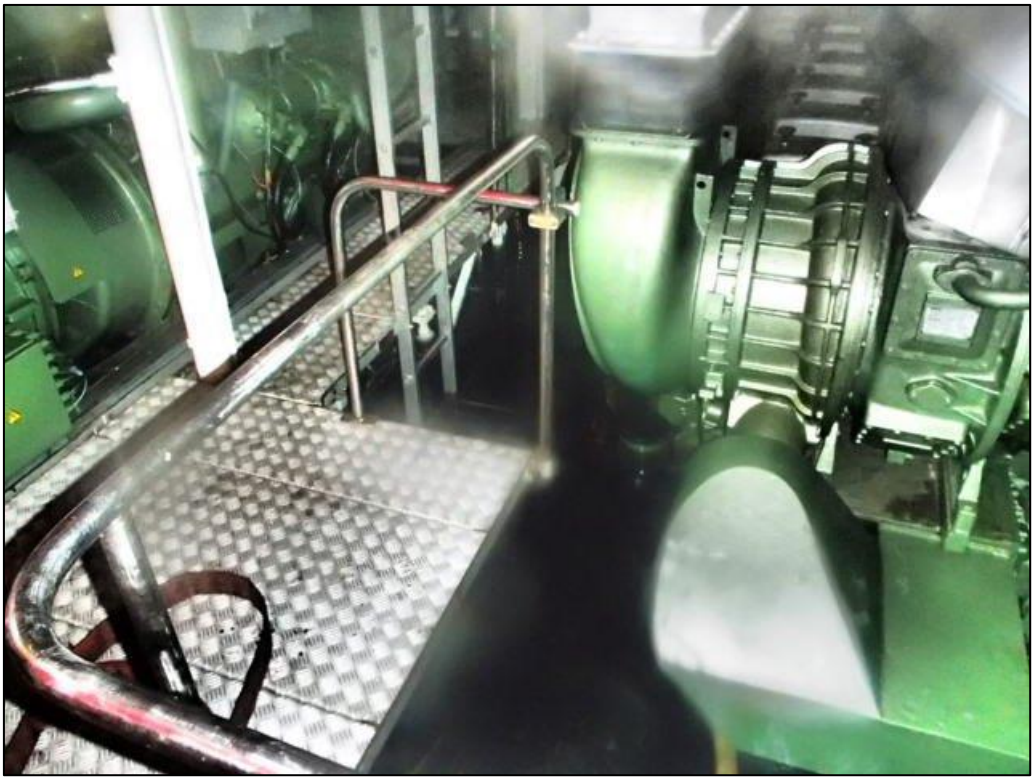
A swirl of clean water began to be visible on port, forward the engine room, near the seawater filter. The water reached the main engine crankcase doors.



In a third step a blackout was deliberately caused, only the emergency motor pump continued to operate. All overboard discharge valves were isolated (main engine cooling, boiler, air conditioning, GS, 15 ppm separator). Two new investigation patrols were carried out by the engine team. No results. The water level continued to rise and the swirl of clean water on forward port was clearly visible.

In a fourth step, the port GS was again operated to reactivate the pumping, as long as the GS's wiring network was not flooded. As the water level continued to rise (the main bilge pump was flooded), a blackout was caused. Only the ejector motor pump remained in operation.

When the water reached the cylinder head covers of the main engine, the ejector motor pump was stopped and isolated.



On **29 October** at **0.10 am** *AVEL VOR* foundered at position 03°13' north - 10°33' west (cf. chart in Appendix E).

2.5 Emergency response

Local time: UTC

27 October,

At **10.55 pm** the master of *AVEL VOR* alerted the fishing company and the tuna vessels *GUEOTEC* and *GEVRED*.

At **11.00 pm** the skiff and the starboard liferaft were launched and moored alongside *AVEL VOR* on the starboard side.

At **11.28 pm** *Étel* MRCC transferred the coordination of the event to *Gris-Nez* MRCC. *GUEOTEC* and *STERENN* were on their way to provide assistance.

At **11.35 pm** *AVEL VOR* contacted *Gris-Nez* MRCC to inform it of the situation.

At **11.46 pm** the MRCC questioned the commander of the *arrondissement maritime Atlantique* (Atlantic maritime district) (CECLANT) about the position of the vessels on the *Corymbe* mission; they were too far from *AVEL VOR* to intervene.

At **11.58 pm** the MRCC informed Monrovia MRCC of the situation.

28 October,

At **0.07 am** Gris-Nez MRCC questioned Madrid MRCC about the possibility for a nearby hospital vessel to intervene, but she was also too far from the position to provide assistance.

At **0.35 am**, triggering of the abandon ship signal by the master, in agreement with the technical director of the fishing company.

At **0.37 am** the entire crew, equipped with life jackets, mustered on the main deck.

The MRCC transmitted the information to Monrovia MRCC.

At **0.38 am** the crew embarked on the skiff. Reception of the satellite alert by the MRCC via the distress beacon.

À **0.42** the MRCC transmitted a drift forecast request to *Météo France*.

At **1.00 am** the master, chief and second engineer returned to the vessel to check the closing of the watertight doors and the quick-closing diesel fuel valves. Water reached the cylinder heads of the main engine.

At **1.10 am** the entire crew was on board the skiff which was moving away from the vessel.

At **1.45 am** VHF contact by GMDSS with the tuna vessel *STERENN*, on approach at 9 miles.

At **2.45 am** skiff alongside *STERENN* and crew put to safety.

At **3.06 am** *PENDRUC* was on area.

At **3.08 am** *STERENN* informed Gris-Nez MRCC that medical assistance was not necessary as there was a doctor on board.

At **4.21 am** the MRCC transmitted the information to Monrovia MRCC.

At **7.00 am** the master of *AVEL VOR* was keeping the marine superintendent informed of the situation.

At **8.30 am** the master of *AVEL VOR* reported on the situation to the MRCC.

At **9.15 am** transfer of ten crew members on board *GUEOTEC* for return to Abidjan.

At **10.00 am** transfer of the fourteen other crew members on board *PENDRUC*, who was remaining in the accident area for surveillance, at the request of MRCC.

At **6.00 pm** *AVEL VOR* was still afloat at 0.5 miles west of *PENDRUC*.

3 Narrative

Hours UTC

24 October,

At **5.40 pm**, *AVEL VOR* left Abidjan for a 50-day fishing period. The navigation ran without incident until 27 October.

27 October,

Weather: south-westerly wind 15 knots, moderate seas, visibility 10 miles (source: *AVEL VOR*).

32 metric tons of tuna had been caught in two hauls since the previous day.
The bunker tanks were estimated at 350 m^3 of diesel fuel.

Around **8.00 pm** the vessel was heading towards a FAD, heading 291° at 10.5 knots. The bridge watch was kept by a mate and a deckhand; the bridge doors were closed. A Spanish vessel underway was visible on radar.

Between **9.30 pm** and **10.00 pm** the chief net mender, who was dozing in his cabin (located on the starboard side, on the crew deck), was awakened by an unusual noise and a feeling of movement of the vessel. He went back to sleep again shortly afterwards, without worrying. At the same time, the vessel was going through a squall.

At **10.00 pm** the high-level alarm in the engine room bilge well triggered, followed at **10.25 pm** by the flooding alarm.

Shortly afterwards, the chief engineer alerted the master to the situation and asked him to disengage the propulsion. The main engine was stopped by the engineers from the engine room.

The captain asks the two boatswains (one French and one African) to undo the skiff's fastening and moor it on the starboard side with the liferaft.

At **10.40 pm** the master went to the engine room to assess the situation and then went back up to the bridge.

At **10.55 pm** the master contacted the fishing company and the tuna vessels *GUEOTEC* and *GEVRED*.

Despite the actions taken by the engine team, reinforced by several crew members from the deck department, the origin of the water leak had not been identified and therefore could not be contained. The water level continued to rise steadily.

28 October,

The master expressed his concerns about the vessel's stability to the chief engineer. At **0.35 am** they took the decision, in consultation with the technical director of the fishing company, to abandon ship. Shortly afterwards the crew embarked on the skiff.

The EPIRB was embarked on the skiff and then activated. The SART beacons were also embarked, but without being activated, according to the MRCC instructions.

At **2.45 am** the crew was safe on board *STERENN*. The EPIRB was deactivated.

In the morning, the crew was spread out on board two vessels of the company. At the request of the MRCC, *PENDRUC* stayed close to *AVEL VOR* to secure the area.

A contract for investigation of the hull by divers was negotiated by the fishing company with a company based in Dakar, at three days by sea.

29 October,

At **0.10 am** *AVEL VOR* disappeared from the radar display of *PENDRUC.*

At **7.00 am** the MRCC was informed of the foundering and of operations to recover drifting equipment, in particular FAD buoys.

At **11.20 am** start of the towing of the *AVEL VOR* skiff towards Abidjan by *PENDRUC*.

At **1.00 pm** the MRCC was informed that the port liferaft had been recovered and that there were no traces of oil in the area of the foundering.

4 Analysis

The method selected for this analysis is the method recommended by IMO A28 / Res 1075 «guidelines to assist investigators in the implementation of the casualty investigation code (Resolution MSC 255(84)) ».

*BEA*mer has at first drawn the sequence of events which caused the casualty namely:

1. **Possibility of damage to the seawater circuit**
2. **Possibility of hitting a UFO**
3. **Possibility of a breach in the hull**
4. **Consequence of a breach**

In this sequence, the so-called disrupting events (causal events resulting in the casualty and assessed as significant) have been identified. These events have been analysed with regard to environmental, technical, human, and organizational factors to identify factors having contributed to their occurrence or having contributed to worsening their consequences.

Among these factors, those raising safety issues presenting risks for which existing defences were assessed inadequate or missing have been pointed out (contributing factors).

Factors without influence on the course of events have been disregarded, and only those which could, to an appreciable extent, have had an impact on the course of events have been retained.

4.1 Possibility of damage to the seawater circuit

This hypothesis seemed most likely when the first investigations were carried out when the pipework in the engine room bilge was visible and still "reachable". However, by carrying out systematic and organised research, in particular by lifting all the plates on the engine floor and alternately isolating the seawater valves on one side and then on the other, the engine team was unable to keep the water under and, above all, to determine its origin.

This possibility was therefore ruled out by the engine crew, less than an hour after the first alarm triggered, without calling into question the objective of saving the vessel.

It should be noted that during the technical stop in 2018, the seawater circuit was visited and the cross-over pipe was removed. The plates of the engine room bulkhead were replaced.

4.2 Possibility of hitting an unidentified floating object (UFO)

A priori, off the African coast, the risk of hitting a drifting log is greater than the risk of hitting a large container, also adrift. However, containers falling overboard are generally due to a combination of a faulty lashing on deck and sea conditions causing a relatively large roll, which is a very likely scenario off West Africa.

As an indication, identification of collisions with containers and unidentified objects for vessels flying the flags of the Member States of the European Union:

Year	Unknown Object	Container (confirmed)	Total
2013	3		3
2014	3		3
2015	3		3
2016	2	1	3
2017	3	1	4
2018	2		2
2019	5		5
Total	**21**	**2**	**23**

Source: European Maritime Safety Agency (EMSA) database.

Although the local maritime authorities (Monrovia MRCC) did not report any container falling into the sea before the accident, the impact of a log and its consequences on the hull of a vessel underway were not taken into account by the BEAmer as a basis for calculation.

Offshore, apart from a collision with another vessel, the collision of a large container by a vessel underway at sea speed is intuitively the most "destructive" event that can occur in most shipping areas. At the request of the BEAmer, an in-depth study was therefore carried out, in the form of a shock calculation note, by the naval architecture firm Herskovits & Tobie (H&T) in order to assess the validity of such a scenario.

4.3 Possibility of a breach in the hull

4.3.1 Position of the breach

The investigations carried out make it possible to affirm that the origin of the water leak was not located in one of the compartments close to the engine room.

A breach in the lower sections of the shell plating, which is difficult to identify in an area with a lot of piping and equipment, may also go unnoticed behind a ceiling in the highest, vertical sections of the shell plating (see H&T calculation note, Appendix D).

Likewise, the bilge under the main engine cradle is not "protected" by capacities. This area, which is very difficult to access (less than 0.60 m high) is vulnerable and cannot be investigated.

The H&T study takes into account the theoretical maximum loaded mass of a 40' container (i.e. 30.5 metric tons (t)). However, the container may have filled with water and barely come to the surface. This is even likely because at 20 or 35 t, including at night, the container would probably have been visible on radar. When full of seawater, the mass of the container may have reached 83 t, which is the value that was used. In the event of such an impact, the mass of water added must therefore be taken into account.

In the assumptions made for the study (see H&T calculation note, Appendix D), the following representative cases of point of impact can be considered:

« - *On a shell plating:*

Either a very stiff panel at the bottom of the hull in the springs of engine-bed or equivalent or even in the shell plating of the benches but apart perhaps from a cofferdam aft, it seems that we are in watertight tanks which would not have generated flooding but possibly seawater in capacities. For such a panel, the stiffness of the structures is negligible, all the more so with regard to the various other unknowns aforementioned.

Or a much lighter 140-160 offset bulb plate stiffener, in which case the stiffness of the plating must be taken into account. »

« - *On a frame, or extremely close to it, and in any case, it is important to see if the frames break before the plating is torn, even for shocks impacting the plating "first".»*

« - *At a primary structural node. A case that is difficult to approach in the scope of this study but for which it is possible to know that the stiffness would be such that a huge force would inevitably generate a "crumpling" such that the plating would not remain watertight for a shock at 11 knots with more than one or two degrees of incidence along the waterlines. »*

So, the study's calculations include

« - *isolated plating (without structural stiffness) in areas where structural flexibility is negligible, primary stiffening and capacities as mentioned, »*

« - *calculations on the transverse structure (with vessel's stiffness) in the event of an impact affecting it first, especially as a stiffer side frame can break before the plate tears, »*

« - *then the combination of the three stiffnesses in the areas where the coupling can attenuate the shock (upper deformation), as it is the case for most of these. »*

« Finally, once these data have been finalized, the container is approached by three positions, as the coefficient equations model rather poorly askew positions:

- *In its lines,*
- *Vertical,*
- *Athwart. »*

4.3.2 Angle container-vessel and position of the container

As the angle, at the time of impact, between the shell plating of the vessel underway and the UFO is unknown, the calculation scans angles between 0.5 and 20°. Three positions of the container are studied: container "in its lines", vertical and athwart (see H&T calculation note).

The flow velocities in the stern areas of the vessel are, moreover, slightly higher than that recorded for the vessel (10.5 knots). The speed used for the vessel-to-UFO collision is therefore 11 knots (see H&T calculation note).

The force generated by an impact is the greatest in the most vertical parts of the plating. (see H&T calculation note).

4.3.3 Force of the impact

The force of the impact is inversely proportional to the stiffness (or elastic resistance to deformation) at the point where the container meets the hull. For the same element of the hull, the stiffness is different if the impact occurs in the middle of the plate or close to a bond (see H&T calculation note).

Scantling of the plating is based on pressure calculations, as the plating is usually considered to be "half-embedded – half-supported". The analogy between the stiffness and pressure calculations is particularly complex for a semi-embedded shell plating for an impact study. The results are therefore based on "dissociated" and then "averaged" calculations (see H&T calculation note).

The transverse component of the impact causes the vessel to "slew" around the C48 frame. As the engine compartment is located between frames C15 and C32, the calculation integrates the ship girder by an average action at frame C24 (see H&T calculation note).

4.3.4 Calculation sheets (cf. H&T calculation note, Appendix D)

For each of the three possible positions of the container (in its lines, vertical and athwart), the

impact behaviour is presented by single elements on the left-hand column group of the results table (plating, frames) and by coupled elements on the right-hand column group, for all stiffness values.

In order to obtain a representative and readable sample, the input data is limited to 1/6th of all possible cases. This result is obtained by combining the impact angles between the container and the hull (from 0.5° to 20°) and the shell angles (from 40° to vertical) by type of value (lowest, average, and highest).

The results are coloured according to the impact behaviour of the plating elements: green: without serious damage, light orange: partial plastic deformation, but no probable breach, red/dark orange: tear or breach.

4.3.5 Breach risk assessment

When the angle of incidence between the container and the hull is almost zero (less than 1°), in an area where the side plating is slanted, there is no tearing of the shell plating (see H&T calculation note).

When the angle of incidence between the container and the hull is greater than or equal to 10°, the plating is torn, regardless of the position of the container. Under these conditions, the risk of a breach is greater than 75% for the impact of a large container filled with water, i.e. 40 feet (#12 metres), and 50% in the case of a 20-foot (#6 metres) container, also filled with water (see H&T calculation note).

The architects assume a similar result for a partially filled container (see H&T's calculation note).

Although the risk of collision with a large UFO cannot be assessed by calculation, this scenario is the only possible cause of a breach at the origin of a major water leak. It is furthermore consistent with the unusual noise and sensation of movement of the vessel as witnessed by several crew members.

4.4 Consequence of a breach

The theoretical flow rate of a water leak caused by a 10 cm square breach, located 2 metres below the waterline (h: immersion depth) would be approximately:

Flow = Breach area x $\sqrt{(2gh)}$ x 3600 = 0.01 x $\sqrt{(2x9.81x2)}$ x 3600 # 230 m^3/hour

This theoretical flow rate value confirms the possibility that a relatively small breach, and therefore not very visible, can cause a water leak exceeding the pumping out capacity (draining electro-pump + fire electro-pump + motor-pump and ejectors, i.e. approximately 116 m^3/h) by more than 100 m^3/h.

Given the above, the collision of a container with the shell plating of the engine room of *AVEL VOR* is the most likely **contributing factor** to the cause of the water leak that led to her foundering.

The engine room is penetrated by four weathertight doors (see diagram and table, Appendix C) located on the main deck (the watertight bulkheads below the freeboard deck are not penetrated by doors).

The weathertight doors are not watertight against flooding, so it is highly likely that water migrated into one or more adjoining compartments (the chilled cargo room being the largest) within hours of the flooding of the engine room. The reserve buoyancy was thus considerably reduced, to the point of sinking the vessel.

The "watertight limit" between the engine room and the adjoining compartments is the most likely **contributing factor** to the foundering of *AVEL VOR*.

5 Conclusions

- While the vessel was underway at 10.5 knots, unusual noise and movement of the ship were perceived by several crew members.
- Shortly afterwards, a high-level alarm triggered in the engine room. This was followed 25 minutes later by a flooding alarm.
- In the meantime, the engine team started the draining process and undertook to locate the origin of the water leak by all possible means. Without success.
- 2h35 after the first alarm, the master, fearing for the vessel's stability, decided to initiate the abandon ship procedure.
- The hypothesis of a breach caused by the collision with a container, entirely or partially filled with seawater, is validated by a study carried out by a naval architecture firm (see calculation note Appendix D).
- The foundering of the vessel was most likely due to the migration of seawater into the compartments adjoining the engine room.

6 Measures taken by the owner

1. **on board the sistership *CAP BOJADOR*, operating off the West African coast:**

   - drydock inspection to check the engine room bilge, engine room well and sea suction valves,
   - control of watertight doors,
   - control of the correct operation of the bilge pump and the fire pump,
   - control of engine room alarms.

   No deficiencies have been identified that could be the cause of a major inflow of water.

2. **for CFTO fleet**:

   Instruction has been given to the technicians in charge of ship monitoring to carry out in-depth inspections of the structure of the engine room bilge, water intakes, sea suction valves and engine room well during technical stops, thus going beyond the requirements of the classification society and the Flag (e.g. by increasing the number of targeted thickness measurement points: engine room plate, seawater cross-over pipes and engine room well).

3. **for CFTO fleet crews**:

   The crews have been informed that the smooth running of the abandonment of *AVEL VOR* is to the credit of the exercises that they are obliged to carry out with regularity.

7 Safety lessons

1. 2020-E-18 : the results of shock calculations show that hitting a container with the hull can create a breach that jeopardises the "survivability" of a vessel, even at moderate speeds.

2. 2020-E-19 : a study of the engine room water leak would make it possible to validate the hypothesis of the migration of seawater towards the adjoining spaces (stability of the vessel after damage).

3. 2020-E-20 : although damage stability calculations are only required for fishing vessels over 100 metres in length (Torremolinos International Convention adopted in 1993), a probabilistic analysis for the calculation of the vessel's "Overall Safety Level" would have taken into account the "Probability of impact at this location" (the engine room).

8 Safety recommendation

Given the measures taken, the ***BEA*mer** does not issue any recommendation to the owner.

Liste des abréviations / Abbreviation list

***BEA*mer**	:	Bureau d'enquêtes sur les évènements de mer - French marine casualty investigation bureau
CECLANT	:	Commandant l'arrondissement maritime Atlantique - Commander Maritime District Atlantic
CFD	:	Computational Fluid Dynamics
CFTO	:	Compagnie Française du Thon Océanique - French Ocean Tuna Fishing company
Corymbe	:	Dispositif naval visant à assurer la présence permanente d'un bâtiment, au moins, dans le Golfe de Guinée et au large des côtes d'Afrique de l'Ouest. French Navy operation to ensure the permanent presence of at least one vessel in the Gulf of Guinea and off the coast of West Africa
CROSS	:	Centre Régional Opérationnel de Surveillance et de Sauvetage - MRCC
DCP / FCD	:	Dispositif de Concentration du Poisson - Fish Concentration Device
EMSA	:	Agence Européenne de Sécurité Maritime - European Maritime Safety Agency
GE/GS	:	Groupe électrogène / Generating Set
MP / ME	:	Moteur Principal - Main Engine
MRCC	:	Maritime Rescue Coordination Centre
OFNI / UFO	:	Objet Flottant Non Identifié - Unidentified Floating Object
OMI / IMO	:	Organisation Maritime Internationale - International Maritime Organisation
RLS / EPIRB	:	Radiobalise de Localisation des Sinistres - Emergency Position Indicating Radio Beacon
SART	:	Search And Rescue Radar Transpondeur
SMDSM / GMDSS	:	Système Mondial de Détresse et de Sécurité en Mer - Global Maritime Distress and Safety System
STCW	:	Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers
UMS	:	Unmanned Machinery Space

Décision d'enquête / Investigation decision

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Bureau d'enquêtes sur
les événements de mer

Paris, le **05 NOV. 2019**

N/réf. : *BEA*mer **018**

BEA mer

Décision

Le Directeur du Bureau d'enquêtes sur les événements de mer (*BEA*mer) ;

Vu le Code international pour la conduite des enquêtes sur les accidents et incidents de mer adopté par l'Organisation Maritime Internationale ;

Vu la directive 2009/18/CE relative aux investigations sur les événements de mer et notamment ses dispositions relatives à la coopération entre États membres ;

Vu le Code des transports, notamment ses articles L1621-1 à L1622-2 et R1621-1 à R1621-38 relatifs aux enquêtes techniques et aux enquêtes de sécurité après un événement de mer ;

DÉCIDE

Article 1 : En application des articles L1621-1 à L1622-2 et R1621-1 à R1621-38 du Code des transports, une enquête technique est ouverte concernant le naufrage du thonier senneur *AVEL VOR*, survenu le 27 octobre 2019 au large du Libéria.

Article 2 : Elle aura pour but de rechercher les causes et de tirer les enseignements que cet événement comporte pour la sécurité maritime, et sera menée dans le respect des textes applicables, notamment les articles du Code des transports susvisé et la résolution MSC 255 (84) de l'Organisation Maritime Internationale.

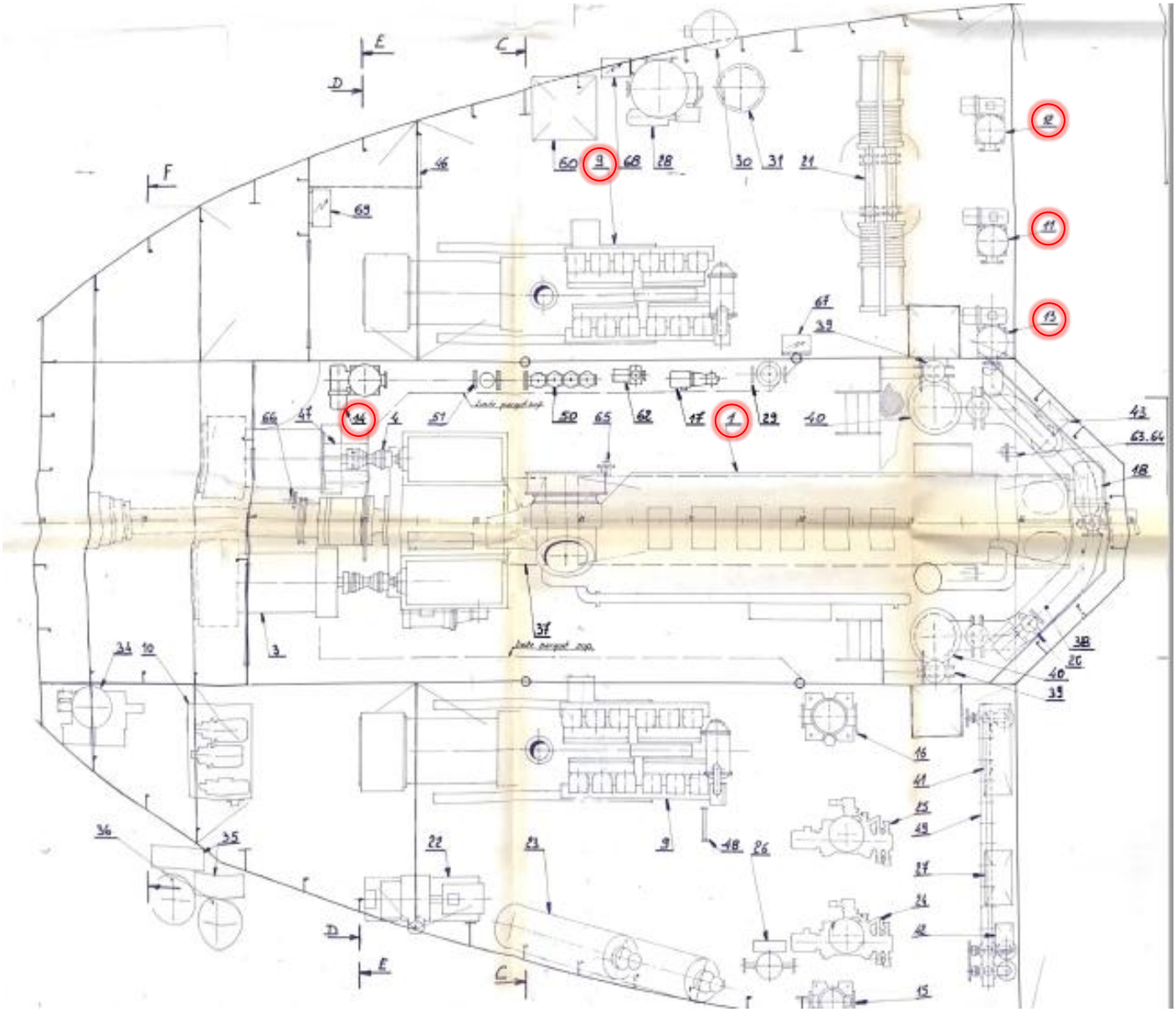
Ministère de la Transition
écologique et solidaire
***BEA*mer**
Arche Sud
92055 LA DEFENSE CEDEX
téléphone : 33 (0) 1 40 81 38 24
bea-mer@developpement-durable.gouv.fr
www.bea-mer.developpement-durable.gouv.fr

L'Administrateur Général des Affaires Maritimes
François Xavier RUBIN DE CERVENS
Directeur du *BEA*mer

Intertek

Navire / Vessel

Rep.	1	:	moteur principal	main engine
Rep.	9	:	diesel-alternateur	diesel AC generator
Rep.	11	:	électropompe eau de mer	seawater electric pump
Rep.	12	:	électropompe service général	general service electric pump
Rep.	13	:	électropompe incendie	fire electric pump
Rep.	14	:	électropompe assèchement	draining electric pump

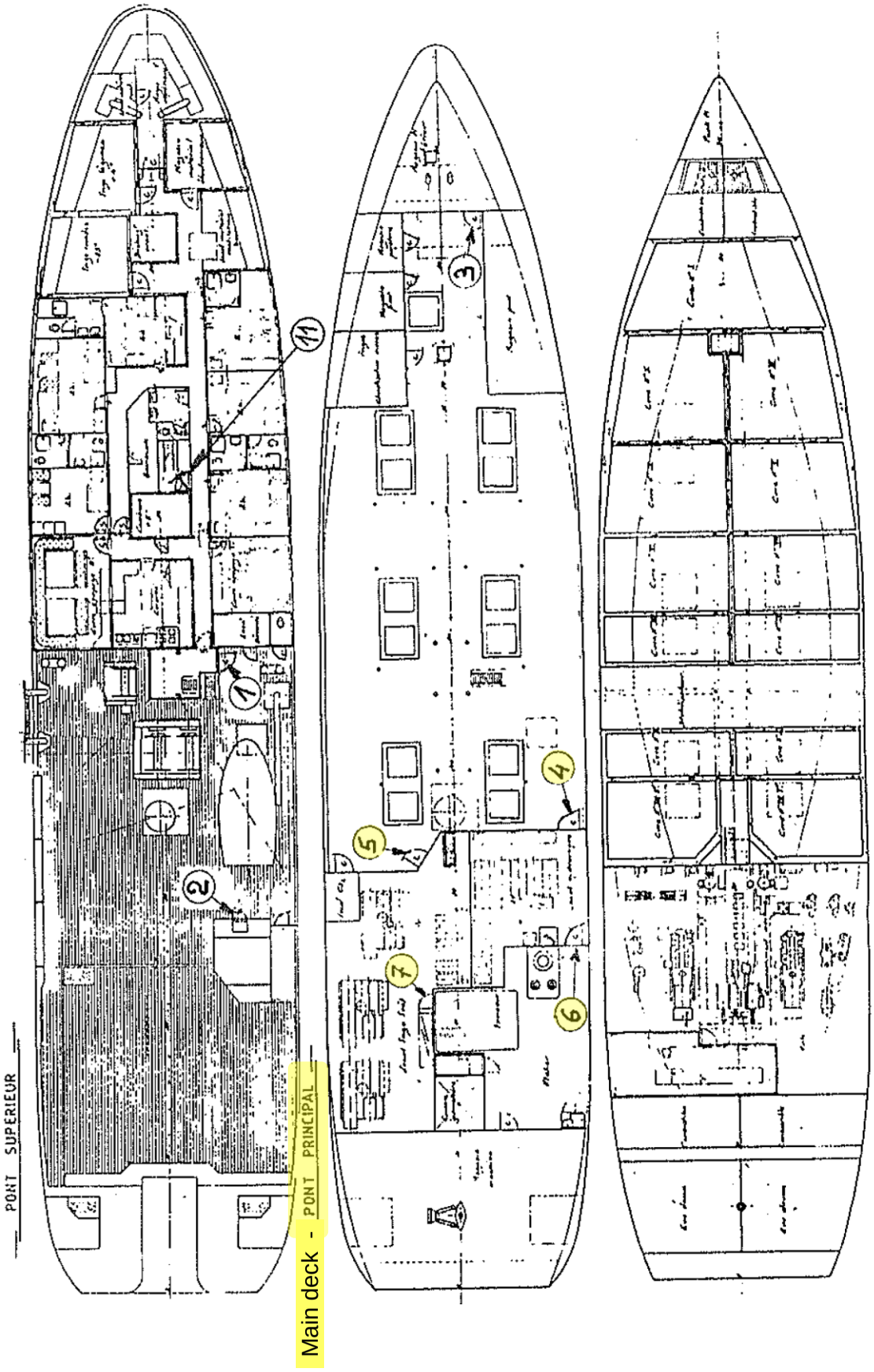


Extraits du rapport de franc-bord
Excerpts from the freeboard report

PORTES DES SUPERSTRUCTURES, ENCAISSEMENTS EXPOSÉS DES MACHINES ET ROUFLES PROTÉGEANT LES OUVERTURES SITUÉES SUR LES PONTS DE FRANC-BORD ET DE SUPERSTRUCTURES (Suite)

DOORWAYS IN SUPERSTRUCTURES, EXPOSED MACHINERY CASINGS AND DECKHOUSES PROTECTING OPENINGS IN FREEBOARD AND SUPERSTRUCTURE DECKS (Continued)

Emplacement *(Location)* voir PLAN 1	N° de référence sur le schéma ou le plan *(Ref. No on sketch or plan)*	Nombre et dimensions des ouvertures *(Number and size of openings)*	Hauteur des seuils *(Height of sills)*	Dispositifs de Fermeture *(closing appliances)* — Type et matériau *(Type and material)*	Dispositifs de Fermeture — Nombre de tourniquets de serrage *(number of clips)*
Sur les encaissements exposés des machines situés sur les ponts de superstructures *(In exposed machinery casings on superstructure decks)*	8	1 Porte 1480 x 680	600	étanche en AG	2
Sur les encaissements des machines situés à l'intérieur des superstructures ou roufles sur le pont de franc-bord. *(In machinery casings within superstructures or deckhouses on freeboard deck).*	4 5 6 7	1 Porte 1680 x 1020 1 Porte 1680 x 830 1 Porte 1680 x 1020 1 Porte 1680 x 830	230 230 230 230	étanche en AG étanche en AG étanche en AC étanche en AC	2 2 2 2
Sur les roufles situés dans un emplacement de la catégorie 1 entourant des ouvertures donnant accès sous le pont de Franc-bord. *(In deckhouses in position 1 enclosing openings leading below freeboard deck).*	3	1 Porte 1680 x830	230	étanche en AG	2
Sur les roufles situés dans un emplacement de la catégorie 2 entourant des ouvertures donnant accès sous le pont de franc-bord ou à l'intérieur de superstructures fermées. *(In deckhouses in position 2 enclosing openings leading within enclosed superstructures or below freeboard deck).*	1 B 9 10	1 Porte 1480 x830 1 Porte 1680 x 1020 1 Porte 1730 x 1020 1 Porte 1730 x 680	380 380 100 100	étanche en AG étanche en AG étanche en AG étanche en AG	2 2 0 0
Sur les encaissements exposés de la chambre des pompes. *(In exposed pump room casings).*					
Accès au pont gaillard Access to forecastle	11	1 Porte 1730 x 680	100	étanche en AG	2



Main deck

Note de calcul H&T

H&T - HERSKOVITS & TOBIE, ARCHITECTURE NAVALE ET INGENIERIE MARITIME
11, rue du Calvaire, 44000 Nantes ; Téléphone 02 40 48 16 66, fax. 02 40 48 04 81 – 11, passage Boudin, 75020 Paris ; Téléphone 01 42 72 32 33
Expert membre de la Chambre des Experts Fluviaux- Enseignants à l'Ecole d'Architecture de Nantes, à l'Ecole Centrale Nantes et aux Universités de Nantes et de Lorient

NOTE DE CALCUL DE CHOC SUITE A LA PERTE DU NAVIRE AVEL VOR

COMMANDITAIRE

BEA MER
Arche Sud - 92055 La Défense cedex
Tél. 01 40 81 38 24

Un thonier français coule au large du Liberia

Publié le 29/10/2019 13:32 | Mis à jour le 30/10/2019 14:39

Le thonier-congélateur **Avel Vor** (61 mètres) de l'armement CFTO (groupe Parlevliet et Van der Plas) a sombré dans la nuit du lundi 28 au mardi 29 octobre, au large du Liberia, sans faire de victime parmi les 22 membres de l'équipage.

Le navire, construit en 1991, faisait route vers sa zone de pêche le dimanche 27 octobre au soir quand l'équipage a entendu le bruit d'un choc sur la coque **« avec un objet flottant non identifié à environ 170 milles des côtes »**, indique la Compagnie française du thon océanique (CFTO) dans un communiqué le mardi 29 octobre. **« La salle des machines a été envahie très rapidement et les pompes n'ont pas pu étaler**, poursuit le communiqué de l'armement basé à Concarneau. **Malgré l'intervention de l'équipe machine, le patron a pris la décision d'abandonner le navire en toute sécurité en milieu de nuit. »**

Tout l'équipage a été récupéré sain et sauf par plusieurs navires de la compagnie, le **Sterenn**, puis le **Gueotec** et le **Pendruc**.

L'**Avel Vor** s'est enfoncé progressivement en mer jusqu'à ce qu'il disparaisse, le mardi 29 octobre au matin, du radar du **Pendruc**. Ce dernier reste sur zone pour récupérer les objets flottants susceptibles de perturber la navigation. Il n'y a pas de trace de pollution, selon la CFTO.

Doc. Commanditaire

OBJET

Suite à la perte du thonier-senneur Avel Vor fin 2019, le BEA MER, Commanditaire, souhaite appuyer son enquête sur un calcul structurel de choc.

Le navire était donné pour filer 10,5 nœuds, vitesse déclarée du navire au moment du choc. Les calculs visent à approcher les possibilités qu'un coin de container de 40' déchire le bordé et éventuellement une ou deux varangues-membrures type de la zone AR.

MODALITES D'INVESTIGATION

La raideur du bordé et de la structure attenante moyenne sont modélisés sous Excel permettant de passer en revue un grand nombre de cas de choc et d'intégrer aisément le couplage raideur-choc-force de façon paramétrique. Les calculs de bordé Excel ont été vérifiés sous RdM 7 en éléments finis. La raideur est considérée infinie pour l'objet percutant ce qui aggrave forcément un peu les hypothèses mais est sans doute assez négligeable vis-à-vis du réel pour un coin de container comme le montre la prise en compte de la raideur navire qui impacte peu les résultats. D'autant qu'au vu des résultats de force engendrée par le choc, la pression hydrostatique sur le bordé assez épais a été négligée pour une proportion à peu près voisine mais opposé.

Les mouvements navire et containers sont approchés avec les coefficients usuels de masse ajoutée et de réduction pour amortissement de ce type de calcul de façon à établir la probabilité de risque masse-angle pour le bordé en flexion à la limite de rupture et/ou en membrane après la déformée élastique, et le raidisseur type en flexion à la limite de rupture.

Le container a pu être poussé par la masse d'eau elle-même poussée par l'étrave et possiblement mis en rotation, la rotation vue de dessus est sens trigonométrique sur Bd et horaire sur Td. Le container est sans doute aspiré à la poupe par les formes AR, accentuant éventuellement la rotation, mais alors au moment où le container touche la coque, si rotation il y a, celle-ci réduit la vitesse d'impact. La mise en rotation peut aussi aggraver la vitesse si l'aspiration génère une rotation inverse... et encore modifier beaucoup plus angle de choc dont l'importance est tout aussi cruciale.

La vitesse de rotation du container est donc négligée au regard de celle du navire.

La forme de l'objet percutant que nous pensions au départ aussi importante et qui ne peut guère être appréhendée, telles des formes plus contondantes ou déchirantes qu'un coin de container de 40 ou 50' pouvant de même être imaginées, s'avère en définitive moins importante tant les résultats montrent bien la possibilité assez forte que le choc imaginé perce ou déchire le bordé et casse aisément des membrures.

Il faut donc rester conscient des limites de ce calcul qui ne permet que d'approcher ici des ordres de grandeur, car avec la succion des formes AR les mouvements relatifs restent très incertains.

Les éléments disponibles fournis au départ par le BEA Mer laissaient penser que les bordés machine zone flottaison fussent en 8 mm, et l'écartement des couples de 600 mm, mais la qualité des scanners et l'absence de données rigoureuses sur le perpignage rendaient ces données incertaines et il aurait été dommage de réaliser cette étude structure déjà délicate et un peu lourde sur des bases risquant pour si peu d'être erronées.

Le bureau d'études du Chantier Piriou a donc fort aimablement consenti à nous transmettre des documents plus fiables et suffisants, structure générale et structure machine.

Le bordé s'avère en 9 mm et les membrures en plats à boudin 160 et 140x8.

Le Chantier Piriou a demandé à ce que ces plans restassent confidentiels, aussi ils ont été retirés de la V2 du rapport.

ANALYSE STRUCTURELLE DU CHOC

Energie lié au choc

La masse en charge théorique maximale d'un container de 40' est de 30.5 tonnes. Toutefois le container peut s'être rempli d'eau et à peine affleurer à la surface. Cela est même probable car à 20 ou 35 t, même de nuit, le container aurait sans doute été visible au radar. Plein d'eau, la masse du container peut alors atteindre 83 t en eau de mer.

Cette valeur a été retenue.

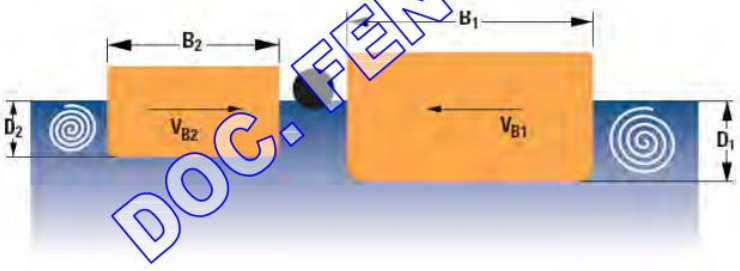
Lors d'un tel choc, la masse d'eau ajoutée doit être pris en compte. La méthode de Stelson permet de calculer la masse d'eau ajoutée :

METHODE STELSON ▶

$$C_M = 1 + \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L_{BP} \cdot \rho_{SW}}{4 \cdot M_D}$$

avec,

D = Tirant d'eau (m)
L_{BP} = Longueur entre perpendiculaires (m)
ρ_{SW} = Densité de l'eau de mer = 1.025
M_D = Déplacement du navire (t)
A noter que C_M doit être calculé pour les deux navires.



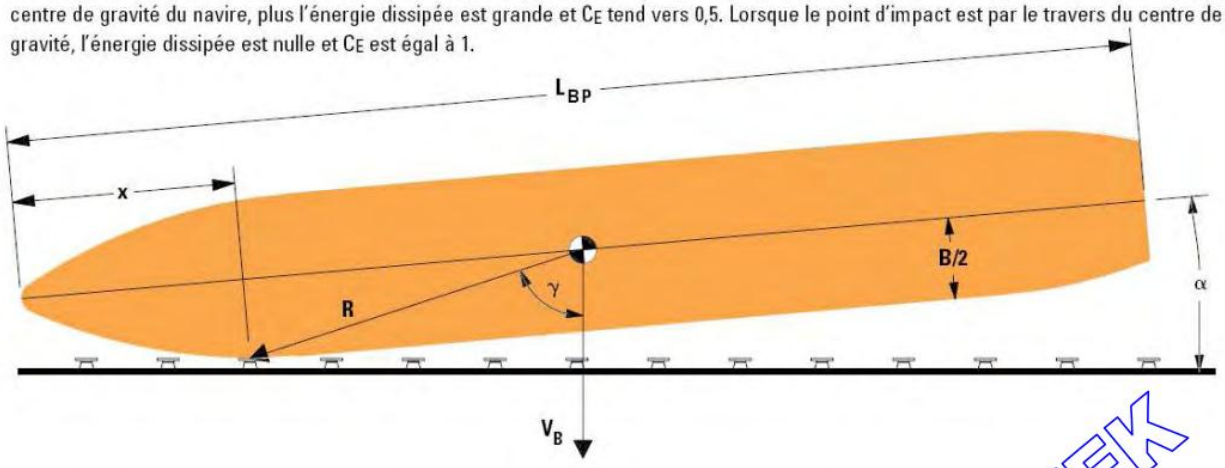
DOC-FENTEK

Elle est ensuite couplée pour les deux corps flottants, soit $M_{couplage} = M_1C_{m1}M_2C_{m2}/(M_1C_{m2}+M_2C_{m1})$

D'autre part le mouvement du container est pris en compte lors du choc avec le coefficient d'excentricité :

COEFFICIENT D'EXCENTRICITE (C_E)

Le coefficient d'excentricité prend en compte l'énergie dissipée par la rotation du navire autour de son point d'impact. Plus on s'éloigne du centre de gravité du navire, plus l'énergie dissipée est grande et C_E tend vers 0,5. Lorsque le point d'impact est par le travers du centre de gravité, l'énergie dissipée est nulle et C_E est égal à 1.



Pour déterminer le coefficient d'excentricité, il faut d'abord calculer K, le rayon de giration longitudinal ; R, la distance du centre de gravité au point d'impact ; et γ, l'angle entre R et V_B, composante orthogonale au quai du vecteur vitesse V, en utilisant la formule suivante :

$$C_E = \frac{K^2 + (R^2 \cdot \cos^2(\gamma))}{K^2 + R^2}$$

$$K = [(0.19 \cdot C_B) + 0.11] \cdot L_{BP}$$

$$R = \sqrt{\left[\frac{L_{BP}}{2} - x\right]^2 + \left[\frac{B}{2}\right]^2}$$

$$\gamma = 90° - \alpha - \sin^{-1}\left[\frac{B}{2 \cdot R}\right]$$

avec,

C_B = Coefficient de bloc
L_{BP} = Longueur entre perpendiculaires (m)
x = Distance de l'étrave au point d'impact
B = Largeur du navire (m)
α = Angle d'accostage (°)

DOC-FENTEK

En général les vitesses d'écoulement dans les régions de la poupe sont légèrement supérieures à celles du navire, pour un coefficient de sillage des formes de 1.1, il vient une vitesse d'environ 11 nœuds.

Cette valeur a été retenue.

L'angle du choc α est naturellement inconnu mais a priori faible. Des angles d'impact jusqu'à 30° distribués en suite arithmétique ont d'abord été considérés puis réduits à 20° avec une progression (presque pour éviter des millièmes) géométrique au regard des résultats.

La valeur α est à considérer dans le plan horizontal du choc entre bordé et objet flottant.

A partir de là est calculée l'énergie du choc perpendiculaire aux lignes d'eau (trajectoire du corps flottant dans plan horizontal), et également tangentielle et totale, mais cela n'a pas d'impact sur le calcul jusqu'au déchirage et éventuel entraînement de l'objet sur quelques mètres, ce qui n'a pas dû être le cas puisque la voie d'eau n'était pas loin d'être étalée.

A ce stade, le fichier de calcul est le suivant jusqu'au 3 dernières lignes :

Container "dans ses lignes"	pieds	Container	Avel vor		E_{young} acier	210000	MPa
L	**40**	12,19	55,7		Approx. $E_{plast.}$ acier	21000	MPa
B	**8**	2,44	12,4		$\sigma_{0,02}$ E235	235	MPa
T	**9**	2,74	4,66		σ_R E235	340	MPa
Disp plein d'O		81,55	1591,2	m3			
Masse		83,59	1631	t			
Cb		1	0,49				
$Cm_{eau\ ajoutée}$ (méthode Stelson)		1,88	1,60				
Mcouplage		127,94	127,94	t			
K		3,66		m			
R		6,22		m			
V choc	11	5,66		Kn ; m/s			
Angle choc α	0,5	1	2,5	5	10	20	°
γ	78,2	77,7	76,2	73,7	68,7	58,7	°
Cexcentricité	0,29	0,29	0,30	0,32	0,36	0,46	
E_{choc} perp. H^{al}	0,04	0,18	1,17	4,91	21,94	109,69	kJ
E_{choc} tang. H^{al}	590,45	595,74	612,29	641,85	705,78	828,01	kJ
E_{choc} total	590,49	595,92	613,45	646,76	727,72	937,70	kJ
Angle bordé β	40	50	60	70	80	90	°
E_{choc} perp réel	0,02	0,11	0,88	4,34	21,28	109,69	kJ
F pour dpct. 1 cm	0,19	1,09	8,92	44,22	216,94	1118,14	t

Les trois dernières lignes correspondent au passage du repère horizontal du choc dans le plan des lignes d'eau au repère du bordé, c'est à dire à la composante de la force perpendiculaire au bordé qui engendre la flexion. L'angle β correspond au relevé de varangues ou de membrures, usuellement considéré suivant yy', donc 90° correspond aux parties verticales des bordés en haut de la machine ou en bas de la quille. β relevé sur les coupes machine évolue d'environ 40 à 90° dans le haut de la machine vers l'entrepont et la flottaison.

Nous avions d'abord imaginé un choc assez bas, sans quoi l'équipage aurait probablement vu la voie d'eau, mais en fait les résultats en terme de flèche-déformée peuvent aussi laisser penser que la brèche et la voie d'eau, même assez haut, aurait pu passer inaperçue derrière un vaigrage ou diverses installations.

Bien entendu, plus le bordé est vertical, plus la force engendrée par le choc est forte. Une analyse par pas de 10° de 30-40 à 90° a donc été retenue. Comme on va le voir ensuite, l'endroit où touche

l'OFNI va encore démultiplier énormément les cas d'études. Or nous avons déjà 6 angles α et 6 angles β. Balayer les 6 β pour chaque angle α aurait donc conduit à avoir 36 énergies différentes par position du container puis 58 cas de contraintes par énergie, développé infra. On arriverait ainsi à 2088 cas de contrainte ou de F_{choc} critique fois 2 ou 3 positions du container, avec des cas se recoupant largement pour des α et β intermédiaires.

Pour rendre les résultats plus lisibles et limiter à 348 les calculs de contrainte par position de container ou de F_{choc} critique, il a été retenu de "magnifier" les données et résultats en associant les α et β les plus faibles, moyens et les plus forts entre eux (i.e. de α 0.5° et β 40°, ..., α 5 et β 70, ..., à 20-90°), tous les cas intermédiaires étant bien sûr dans les "trous" entre ces paires. On a donc bien un sixième des valeurs et un échantillon représentatif.

Force, déformée et contrainte liée au choc

La force engendrée par le choc est proportionnelle à la racine carrée de l'énergie divisée par la somme des raideurs ou rigidité au point de rencontre, ce qui explique la démultiplication des cas.

Trois raideurs sont à prendre en compte

- Bordés
- Structures
- Poutre navire

Evidemment la raideur n'est pas la même sur un panneau de bordé impacté en plein milieu ou près d'une rive. De même d'une part une membrure concernée près d'une liaison ou près de sa mi-portée et d'autre part la réaction d'une à deux membrures suivant position choc bordé (membrure seule si choc à ras la membrure jusqu'à 2 membrures si choc pile mi-maille). Enfin le navire va réagir en embardée-lacet, voire pilonnement tangage gîte si β est faible, et les composantes de raideur coque en rotation vs PPM varient suivant position longitudinale du choc.

Mais heureusement pour le foisonnement des résultats, les raideurs du bordé sont, suivant zone de choc donc, de raideur d'ordre de grandeur 10^{-4} - 10^{-5}, les raidisseurs courants 10^{-5} - 10^{-6} et le navire 10^{-7} mm/N, ceci permet de réduire et simplifier quelques hypothèses malgré l'addition d'une nouvelle problématique : Comme on le voit sur le plan STR machine page 3, les caisses en banquette à mi-hauteur machine sont incomparablement plus rigides que les membrures au-dessus des capacités, et que les petites varangues échantillonnées dito membrures des couples AR machine.

La poutre navire a donc été prise en compte pour une valeur moyenne d'un choc à mi-machine vs PPM suivant raideur console. L'approximation est assez rugueuse mais son impact en gros 1000 fois moins important que la souplesse des bordés sur la force engendrée ne justifie pas plus de finesse.

On peut alors considérer les cas représentatifs suivants de point d'impact :

- Sur un bordé
    - Soit d'un panneau très raide en fond de coque dans les naissances de carlingage ou équivalent, voire dans les bordés des banquettes mais à part peut-être une maille sèche AR, il semble que l'on soit dans des réservoirs étanches qui n'auraient pas généré d'envahissement mais éventuellement de l'eau de mer dans des capacités.
      Pour un tel panneau la raideur des structures et navire est négligeable, d'autant plus au regard des diverses autres inconnues mentionnée en amont.
    - Soit un bordé entre raidisseurs plat à boudin 140-160 beaucoup plus légers, auquel cas la raideur bordé+Pb/Hp doit être prise en compte.
- Sur une membrure même, ou extrêmement près de celle-ci, et de toutes manières il importe de regarder si les membrures cassent avant le déchirage des bordés même pour des chocs impactant "d'abord" le bordé.

– Au droit d'un nœud structurel primaire. Cas mal approchable dans l'envergure de cette étude mais dont on peut savoir que la raideur serait telle que la force colossale engendrerait forcément un "chiffonnage" tels des appuis que les bordés ne sauraient rester étanches pour un choc à 11 Kn de plus d'un ou deux degrés le long des WL.

Aussi les calculs ci-après intègrent,

– les bordés isolés (sans raideur structure) dans des zones où la souplesse des structures est négligeable, raidissage primaire et caisses comme évoqué,
– les calculs sur la structure transversale (avec raideur navire) en cas de choc affectant d'abord celle-ci d'autant qu'un couple plus rigide peut casser avant que la tôle ne déchire,
– puis la combinaison des trois raideurs dans les zones, majoritaires, où le couplage peut atténuer le choc (déformée supérieure).

Enfin, ces données mises au point, le container est approché sous trois positions, les équations des coefficients permettant assez mal les positions en biais :

– "Dans ses lignes"
– "Vertical"
– "En travers"

Comme on va le voir, les résultats restent assez voisins mais s'aggravent sensiblement toutefois dans le même ordre.

En revanche permuter largeur et hauteur, les 8 et 9 pieds des yy' et zz' dans les lignes normales, ne change à peu près rien. Les résultats sont présentés toutefois pour la très légèrement pire des configurations de permutation l-h du container pour chaque position globale.

Reste à rappeler quelques composantes du calcul de résistance des matériaux (RdM).

Bordés

Un bordé métallique de navire est usuellement calculé en pression "mi-encastré - mi-appuyé". En rappelant que M_{max} hydrostatique appui $=pL^2/8$ et M_{max} hydrostatique encastrement $=pL^2/12$, on utilise usuellement M_{max} échantillonnage $= pL^2/10$. Voir à ce sujet pour plus de précisions "Architecture navale" de Dominique Paulet et Dominique Presles, Editions de l'Ecole d'architecture de Paris la Villette.

Par analogie, le bordé est calculé de même vis-à-vis du choc, mais les calculs de raideur sont plus compliqués pour un semi-encastrement, donc il a été retenu de moyenner les résultats appui-rotule et les résultats appui-encastrement en dissociant les calculs d'abord puis moyennant les résultats de contrainte et flèche.

Il faut toutefois souligner que pour un encastrement, la contrainte maximale est presque toujours à un des deux encastrements et que lorsque les limites sont légèrement dépassées, ne serait-ce qu'au-delà de $n.10^{7-8}$ cycles de fatigue pour l'acier (le festonnement des navires), et dans notre cas quand la contrainte du choc dépasse 235 MPa, l'appui sur les raidisseurs ou du moins le plus sollicité (côté du choc) se plastifie et devient une rotule. Le second encastrement suit en principe et le panneau se comporte alors en appuis simples (d'où les sifflets dans la construction navale).

Pour un calcul hydrostatique, on considère une bande associée de bordé entre raidisseurs. Dans notre cas, il convient encore de répartir le choc en hauteur. Une bande de même hauteur que la portée a été retenue en relation à notre culture littéraire et expérimentale. Dans la réalité la hauteur diminue à mesure que l'on s'approche d'un raidisseur de ce côté et augmente de l'autre, mais cette approche a été confrontée à un calcul élément fini pour des chocs à différents % de la maille, voir graphiques infra, et s'est avérée un peu souple quant à la raideur, environ 10-20%, mais très suffisamment correcte (<

5%) en contrainte pour ne pas être corrigée pour les calculs de bordés isolés. En revanche les raideurs pour les calculs couplant tous les éléments donnant directement un résultat sur les bordés, les raideurs découlant du calcul EF sont intégrés aux calculs tous couplages. Donc pour les calculs bordés isolés :

Bordé 9 mm

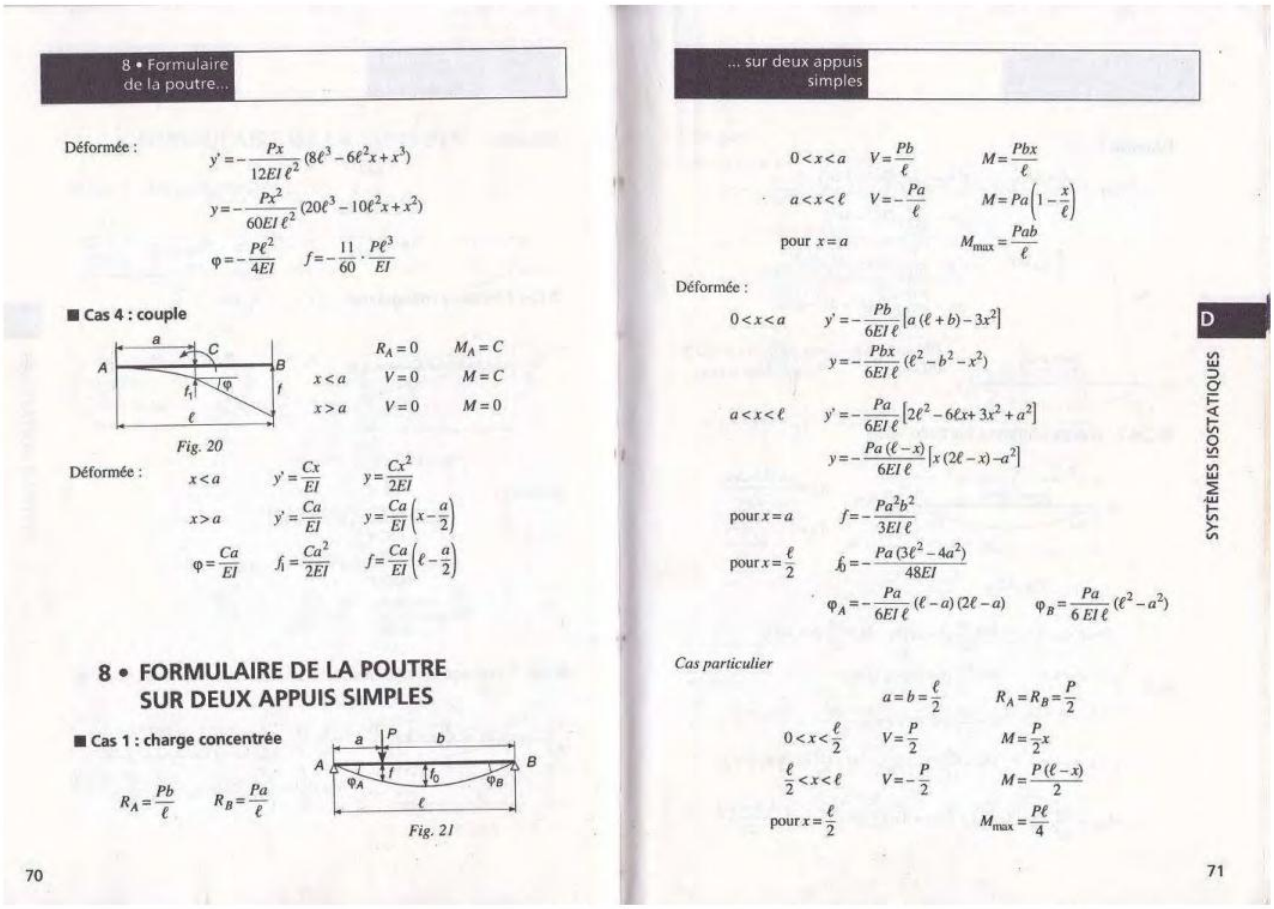
E 600 mm => h ou b (en RdM) = E = 600 mm

$I = h\ ép^3 / 12 = 600 \times 9^3 / 12$

Cette approche basée sur le calcul en flexion correspond toutefois aux résultats en limite élastique pour le reste du panneau - ou du raidisseur, soit pour un acier E24 dans lequel est construit le navire à un taux de contrainte de 235 MPa. Personne ne s'amuse, en principe, à dimensionner les structure ou les navires au-delà des limites élastiques.

Mais là encore, la littérature et l'expérience permettent d'approcher le comportement plastique du bordé qui au-delà de la limite élastique se diffusant progressivement dans l'élément se comporte progressivement en cordelette ou membrane (respectivement 2 et 3D), soit en triangle ou pyramide pour un choc ponctuel. La plus grosse inconnue pour un calcul de choc est qu'il faut passer par l'allongement maximal à rupture pour connaître la flèche correspondante et pouvoir déterminer la force et la contrainte maximale, donc passer par l'équivalent du module de Young moyen après zone élastique, module ductile ou plastique. Pour l'acier courant, d'après la littérature et les abondantes courbes disponibles sur le net, la pente à plastification est de l'ordre du 1/8 au 1/12ème de celle en phase élastique. Nous avons retenu un dixième.

Les raideurs ou déformées unitaires ainsi que les contraintes calculées à partir des moments sont extraites des manuels standard à l'usage de l'ingénieur :



8 • Formulaire de la poutre...

Déformée :

$$y' = -\frac{Px}{12EI\,\ell^2}(8\ell^3 - 6\ell^2 x + x^3)$$

$$y = -\frac{Px^2}{60EI\,\ell^2}(20\ell^3 - 10\ell^2 x + x^2)$$

$$\varphi = -\frac{P\ell^2}{4EI} \qquad f = -\frac{11}{60}\cdot\frac{P\ell^3}{EI}$$

■ Cas 4 : couple

Fig. 20

		$R_A = 0$	$M_A = C$
Déformée :	$x < a$	$V = 0$	$M = C$
	$x > a$	$V = 0$	$M = 0$

$x < a$	$y' = \frac{Cx}{EI}$	$y = \frac{Cx^2}{2EI}$	
$x > a$	$y' = \frac{Ca}{EI}$	$y = \frac{Ca}{EI}\left(x - \frac{a}{2}\right)$	
$\varphi = \frac{Ca}{EI}$	$f_1 = \frac{Ca^2}{2EI}$	$f = \frac{Ca}{EI}\left(\ell - \frac{a}{2}\right)$	

8 • FORMULAIRE DE LA POUTRE SUR DEUX APPUIS SIMPLES

■ Cas 1 : charge concentrée

$$R_A = \frac{Pb}{\ell} \qquad R_B = \frac{Pa}{\ell}$$

Fig. 21

70

... sur deux appuis simples

$0 < x < a$	$V = \frac{Pb}{\ell}$	$M = \frac{Pbx}{\ell}$
$a < x < \ell$	$V = -\frac{Pa}{\ell}$	$M = Pa\left(1 - \frac{x}{\ell}\right)$
pour $x = a$		$M_{max} = \frac{Pab}{\ell}$

Déformée :

$$0 < x < a \qquad y' = -\frac{Pb}{6EI\,\ell}\left[a(\ell + b) - 3x^2\right]$$

$$y = -\frac{Pbx}{6EI\,\ell}(\ell^2 - b^2 - x^2)$$

$$a < x < \ell \qquad y' = -\frac{Pa}{6EI\,\ell}\left[2\ell^2 - 6\ell x + 3x^2 + a^2\right]$$

$$y = -\frac{Pa(\ell - x)}{6EI\,\ell}\left[x(2\ell - x) - a^2\right]$$

$$\text{pour } x = a \qquad f = -\frac{Pa^2b^2}{3EI\,\ell}$$

$$\text{pour } x = \frac{\ell}{2} \qquad f_0 = -\frac{Pa(3\ell^2 - 4a^2)}{48EI}$$

$$\varphi_A = -\frac{Pa}{6EI\,\ell}(\ell - a)(2\ell - a) \qquad \varphi_B = \frac{Pa}{6EI\,\ell}(\ell^2 - a^2)$$

Cas particulier

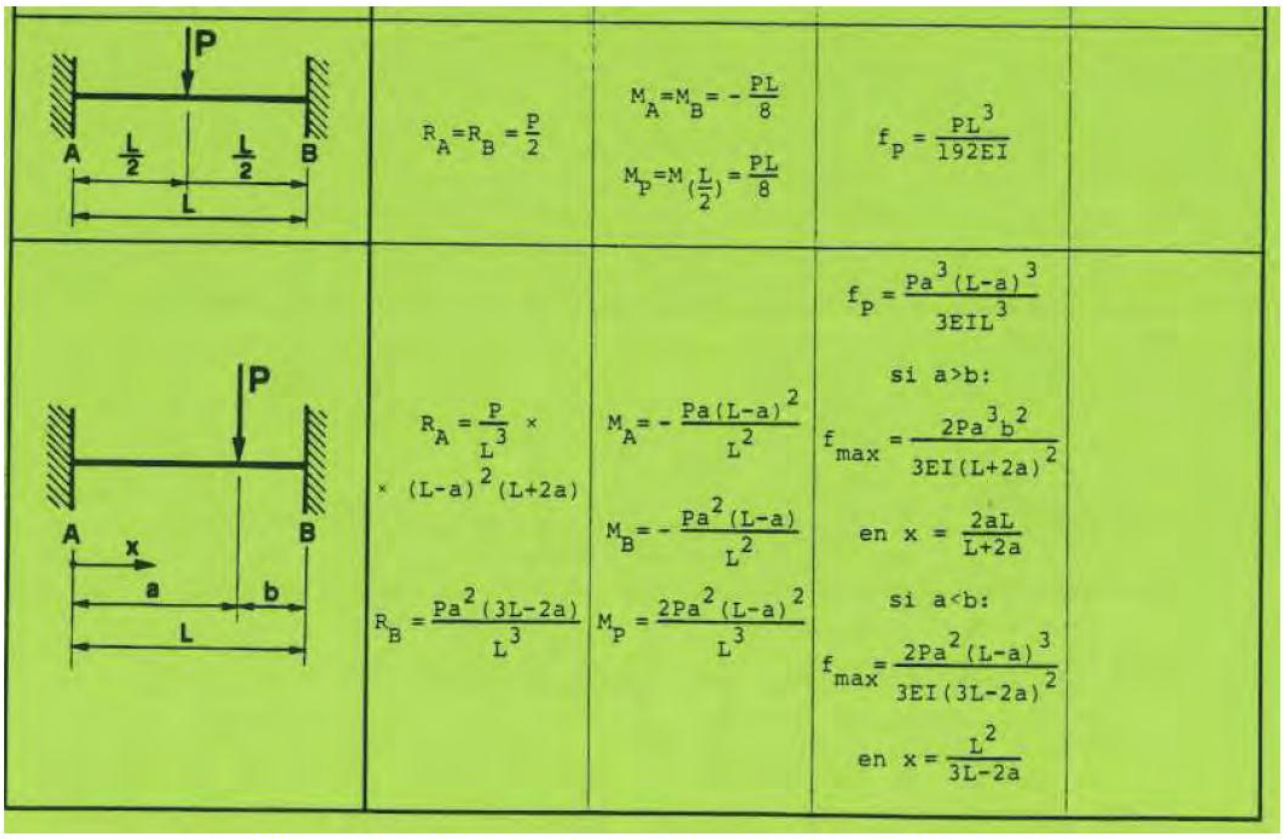
$$a = b = \frac{\ell}{2} \qquad R_A = R_B = \frac{P}{2}$$

$0 < x < \frac{\ell}{2}$	$V = \frac{P}{2}$	$M = \frac{P}{2}x$
$\frac{\ell}{2} < x < \ell$	$V = -\frac{P}{2}$	$M = \frac{P(\ell - x)}{2}$
pour $x = \frac{\ell}{2}$		$M_{max} = \frac{P\ell}{4}$

D SYSTÈMES ISOSTATIQUES

71

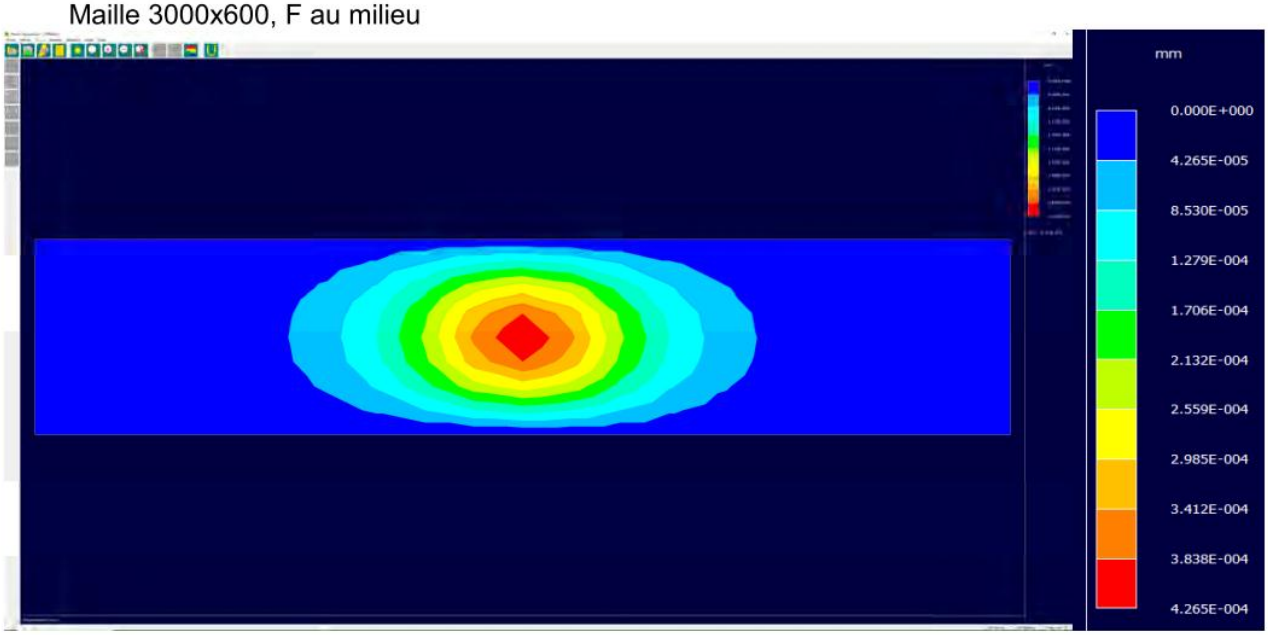
Appui simple – Dunod, Mécanique des structures Résistance des matériaux



Encastrement - http://www.corminboeuf.net/resources/Formulaire-de-statique-barres---vert.pdf

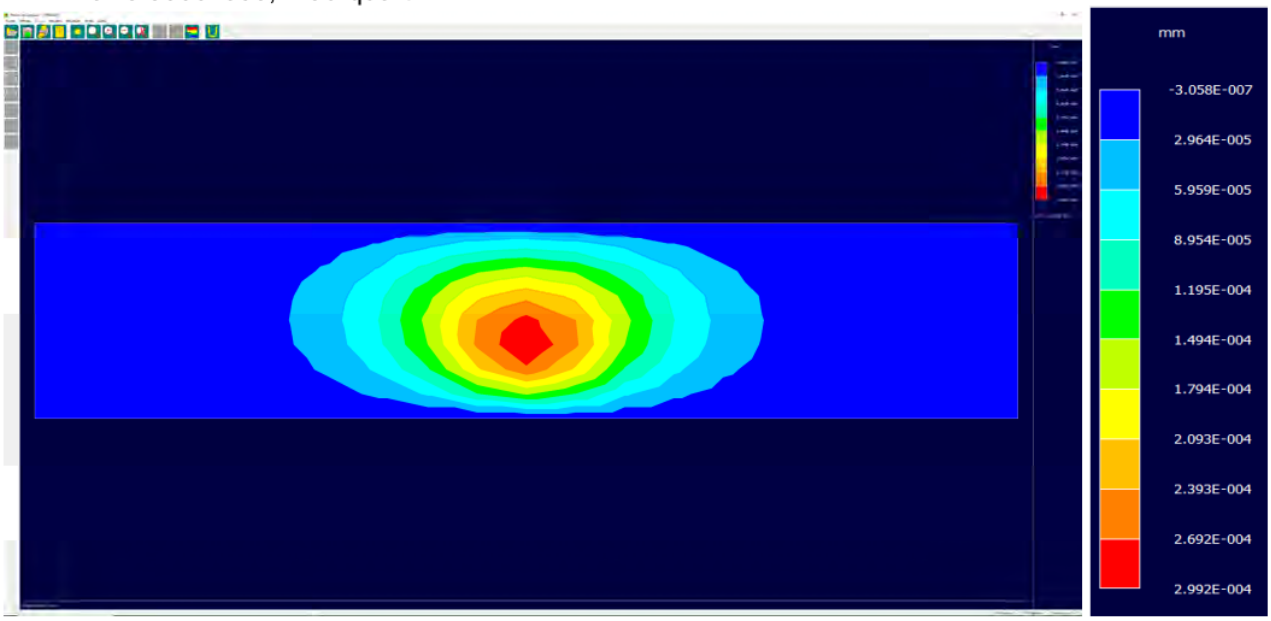
La base éléments finis permet de déterminer un peu plus finement les effets de bord que le calcul traditionnel. Ci-après les neuf bases de calcul pour les combinaisons mi-maille/quart de maille/huitième de maille et mi-portée/quart de portée/huitième de portée, pour un panneau moyen de 3 m, par 600 mm bien sûr :

Maille 3000x600, F au milieu



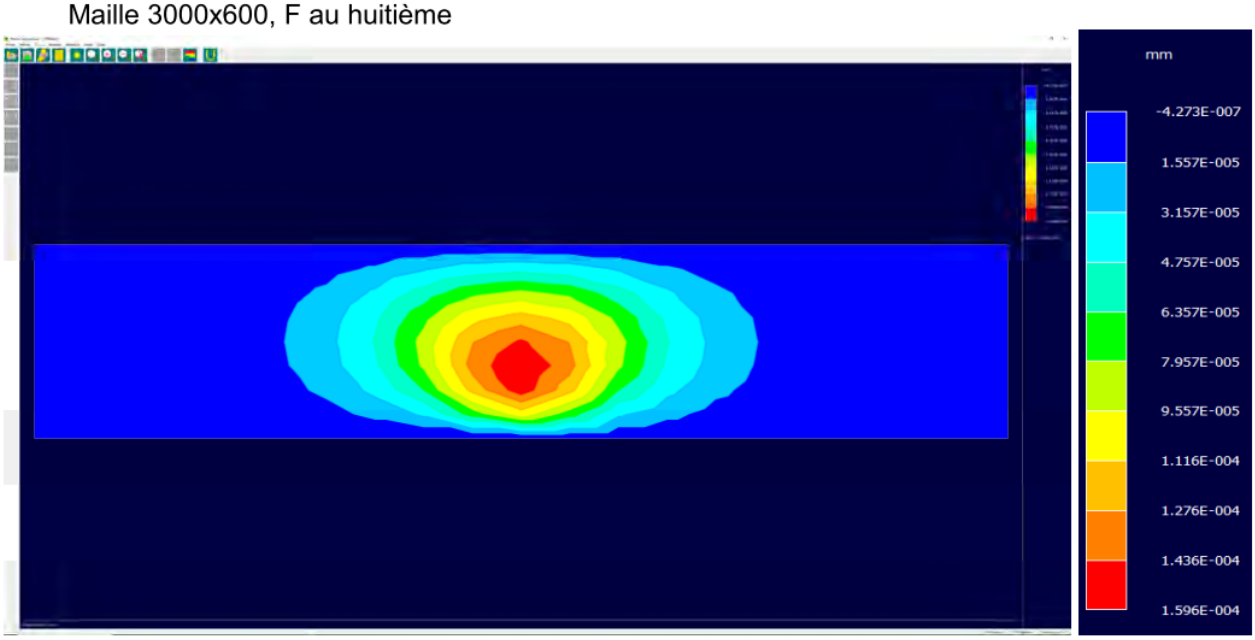
Flèche 4.26.10-4 mm/N - Sigma éq. Tresca1.54.10-2 MPa/N

Maille 3000x600, F au quart



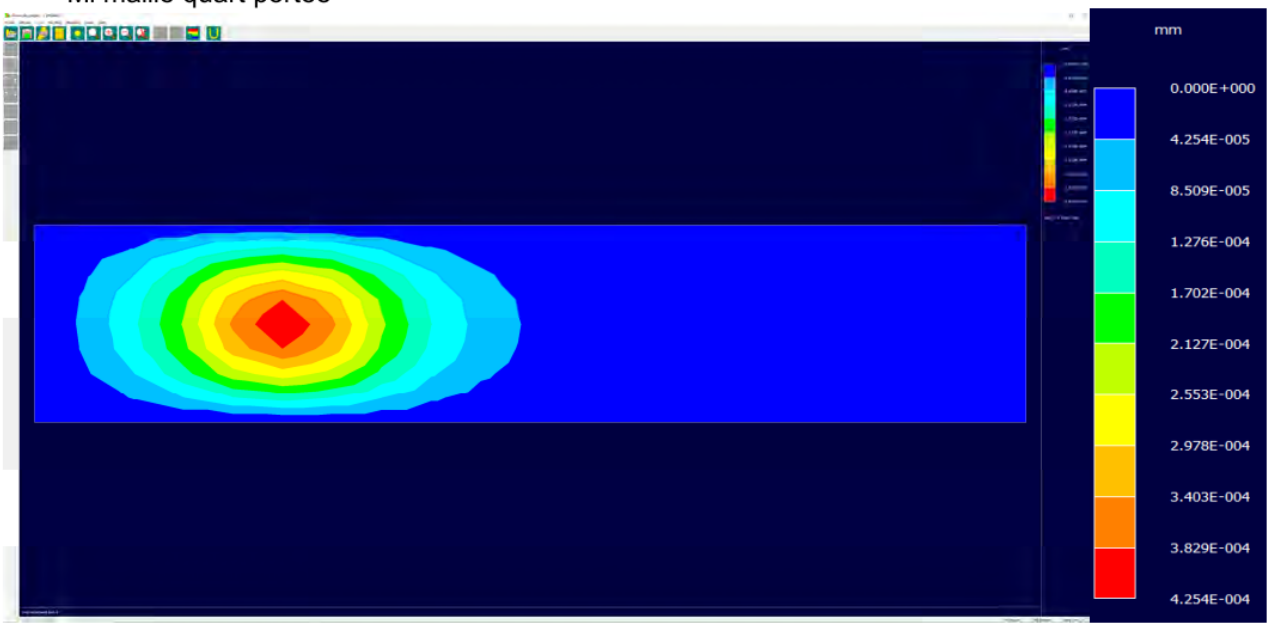
Flèche au point d'impact 2,6.10-4 mm/N - Sigma éq. Tresca 1.28.10-2 MPa/N

Maille 3000x600, F au huitième



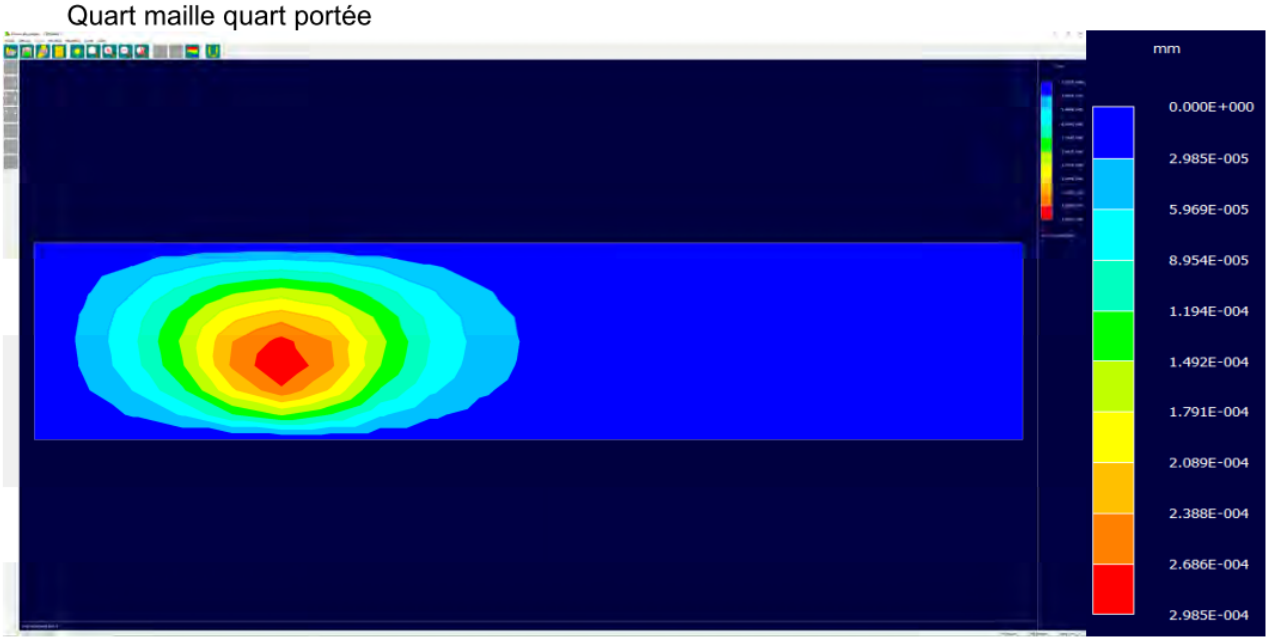
Flèche au point d'impact 1.10-4 mm/N - Sigma éq. Tresca 8,25.10-3 MPa/N

Mi maille quart portée



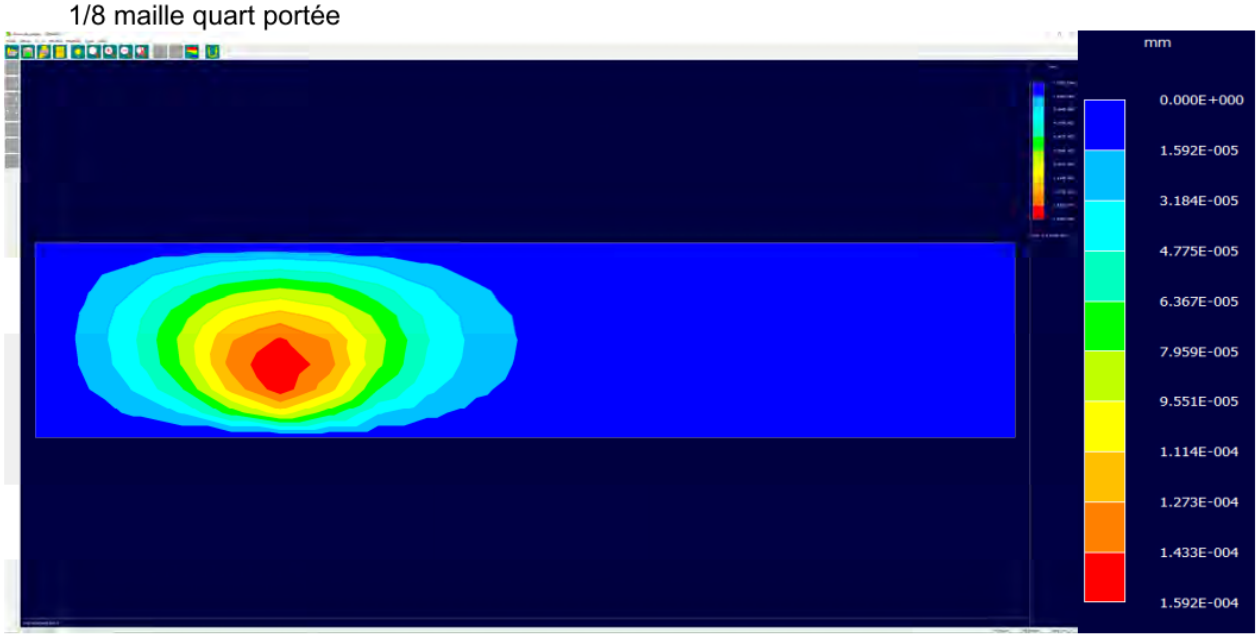
Flèche au point d'impact 4.25.10-4 mm/N - Sigma éq. Tresca 1,54.10-2 MPa/N

Quart maille quart portée



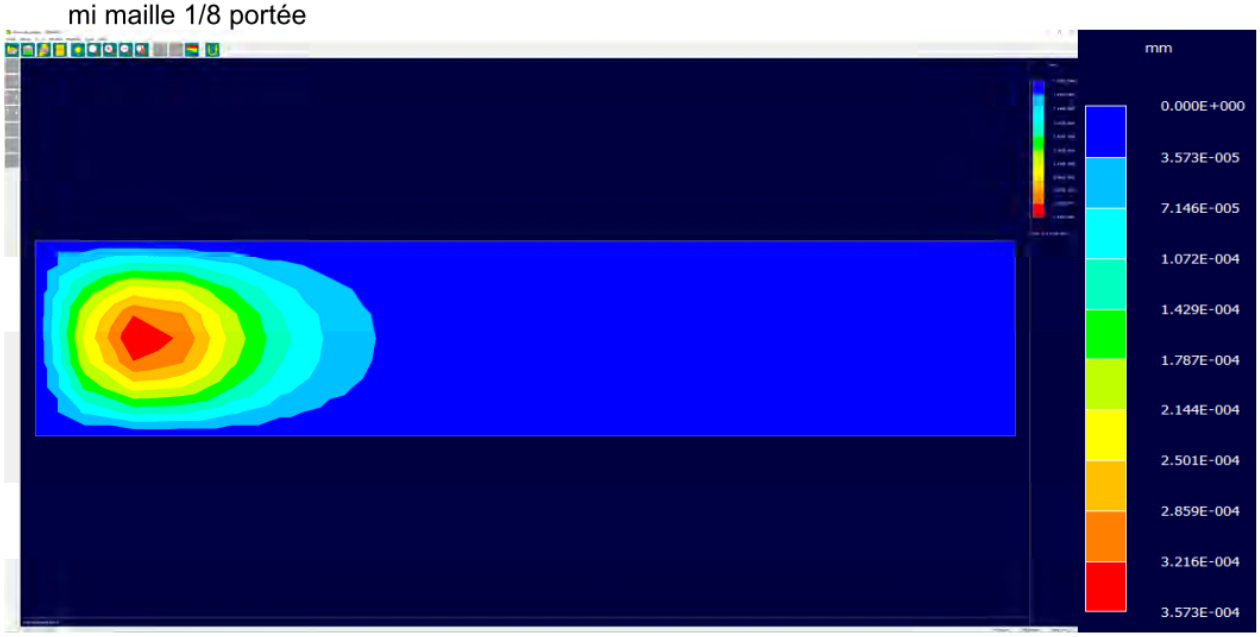
Flèche au point d'impact 2.55.10-4 mm/N - Sigma éq. Tresca 1,28.10-2 MPa/N

1/8 maille quart portée



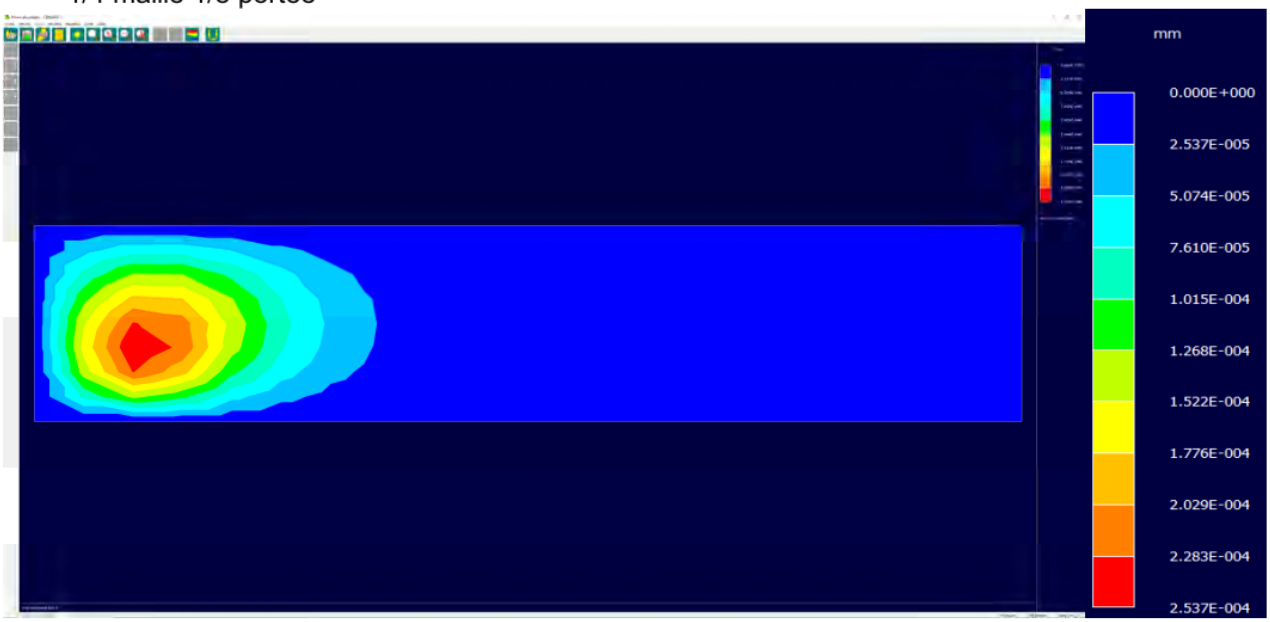
Flèche au point d'impact 9.55.10-5 mm/N - Sigma éq. Tresca 8,25.10-3 MPa/N

mi maille 1/8 portée



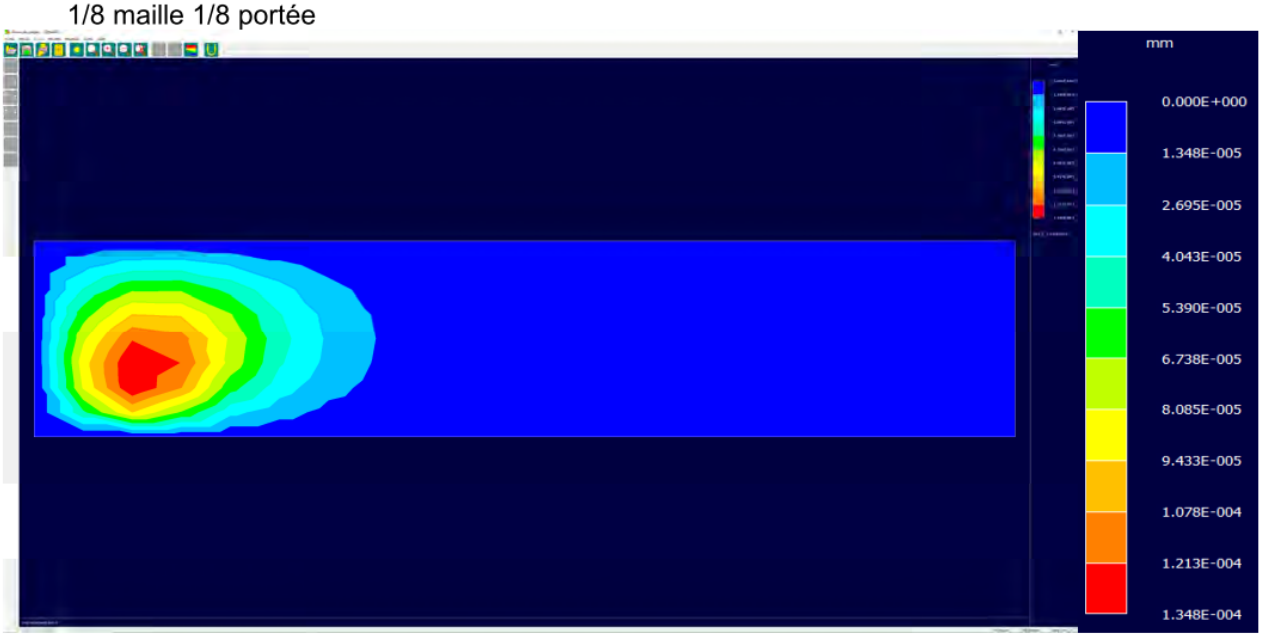
Flèche au point d'impact 3.57.10-4 mm/N - Sigma éq. Tresca 1,38.10-2 MPa/N

1/4 maille 1/8 portée



Flèche au point d'impact 2.28.10-4 mm/N - Sigma éq. Tresca 1,24.10-2 MPa/N

1/8 maille 1/8 portée



Flèche au point d'impact 9.43.10-5 mm/N - Sigma éq. Tresca 8,69.10-3 MPa/N

Raidisseurs

Les raidisseurs sont tous encastrés avec des goussets et calculés comme tel.

Pour les calculs sans couplage des raideurs, membrure isolée, le calcul est toujours sur un seul raidisseur.

Pour les calculs globaux zones standard, il est toujours tenu compte de la variation de raideur et de résistance suivant choc de demi à huitième de maille.

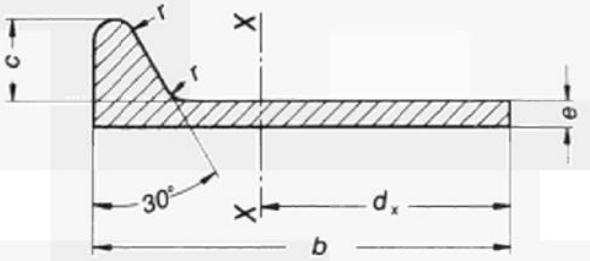
Pour une construction Piriou à Concarneau, les plats à boudin sont considérés de type français :

Ancienne édition :

COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE DU CHARBON ET DE L'ACIER
COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES
COMMISSION DE COORDINATION DE LA NOMENCLATURE DES PRODUITS SIDÉRURGIQUES

Plats à boudin laminés à chaud

EURONORM 67 – 69



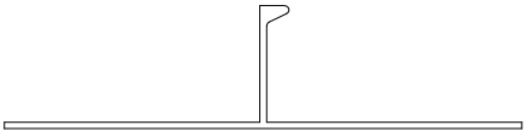
Désignation abrégée	Poids *)	Section	Dimensions				Distance du centre de gravité	Caractéristiques rapportées à l'axe neutre x – x		Moment de résistance **)
			b	e	c	r	d_x	I_x	$\frac{I_x}{d_x}$	R_x
	kg/m	cm²	mm				cm	cm⁴	cm³	cm³
80 × 5	4, 9	5,71	80	5	16	4	5,02	35,5	7,06	22,9
× 7	5, 4	7,31		7			4 80	5,3	9,44	28,0
100 × 6	6,-1	8,17	100	6	18	4,5	6 15	80,2	13,0	39,4
× 7	7, 0	9,17		7			6,02	89 8	14,9	43,2
120 × 6	7,83	9 98	120	6	20,5	5	7,46	142	19 1	57,8
× 8	9,72	12,4		8			7,18	175	24,4	68,5
× 7	10,4	13,3	140	7	23	5,5	8,61	258	30,0	87,6
140 × 8	11 5	14,7		8			8,45	284	33 6	94,7
×	12,2	15,5					9,82	307	38,8	110
160 × 8	13,5	17,1	160	8	26	6	9 79	437	44,6	126
× 9	14,7	18,7		9			9 64	475	49,5	137
180 × 8	15,6	19,9	180	8	29	7	11,2	643	57,4	170
× 10	18,5	23,5		10			10,9	755	69,5	193
× 9	19,5	24,9	200	9	32	8	12,4	989	79,6	233
200 × 11	2,7	28,9		11			12,1	.140	94,5	261
× 12	24,2	30,9		12			12,0	.220	102	275
× 9	22 2	28 3	20	9	35,5	9	13,9	1.360	97,8	297
220 × 11	25,7	32 7		11			13,5	1 570	116	330
× 12	27,4	34,9		12			13,4	1 670	125	347
240 × 10	26 8	34,	240	10	38,5	10	15,1	1 950	129	387
× 12	30,6	38,9		12			14,7	2 220	151	426
260 × 10	29,8	37,9	260	10	41,5	11	16,6	2 540	153	469
× 12	33,8	43 1		2			16,2	2 890	179	516
280 × 11	35,0	44,6	280	11	44,5	12	17,8	3 470	195	589
× 12	37 2	47,4		12			17,6	.690	210	616
× 11	38,6	49,1	300	1	48	13	19,3	4.360	226	702
300 × 12	40,9	52,1		12			19,1	4.640	244	732
× 13	43,3	55,1		13			18,8	4 910	261	763
320 × 12	44,5	56,8	320	12	51	14	20,5	5 740	280	856
× 13	47,1	60,0		13			20,3	6.070	299	890
340 × 12	48,5	61,8	340	12	54,5	15	22,0	7.030	319	999
× 13	51,2	65,2		13			21,8	7 440	341	1.040
370 × 13	57 2	72,9	370	13	59	16,5	24,0	9.810	409	1.270
× 15	63,1	80,3		15			23,5	10.860	462	1.360
400 × 14	67,0	85,3	400	14	64	18	26,0	13.400	515	1.600
× 16	73,2	93,3		16			25,5	14.730	578	1.710
430 × 15	77,2	98,3	430	15	68,5	19,5	27,9	17.830	638	1.970
× 17	83,9	107		17			27,4	19.490	710	2 090

*) Calculé avec 7,85 kg/dm³.

**) Moment de résistance des plats à boudin avec tôle associée de largeur 610 mm et de même épaisseur e.

Rectificatif :

Leurs propriétés mécaniques avec bordé associé de 600 mm sont les suivantes :

140x8	160x8
	
---------- REGIONS ---------- Aire: 6865.75 Périmètre: 1530.74 Zone de contour: X: -300.68 -- 299.32 Y: -23.51 -- 125.49 Centre de gravité: X: 0.00 Y: 0.00 Moments d'inertie: X: 12 021 012.74 Y: 162 079 382.83 Produits d'inertie: XY: 551174.15 Rayon de giration: X: 41.84 Y: 153.65 Moments principaux et directions X-Y autour du centre de gravité: I: 12018988.27 le long de [1.00 0.00] J: 162081407.30 le long de [0.00 1.00]	---------- REGIONS ---------- Aire 7113.49 Périmètre: 1575.15 Zone de contour: X: -300.90 -- 299.10 Y: -29.17 -- 139.83 Centre de gravité: X: 0.00 Y: 0.00 Moments d'inertie: X: 18 042 043.90 Y: 162 116 724.71 Produits d'inertie: XY: 840090.65 Rayon de giration: X: 50.36 Y: 150.96 Moments principaux et directions X-Y autour du centre de gravité: I: 18 037 145.43 le long de [1.00 0.01] J: 162 121 623.02 le long de [-0.01 1.00]

Poutre navire

La composante transversale du choc fait pivoter le navire autour du C48, PPM 14.4 m plus en AV.

Machine du C15 au C32 => On retient pour intégrer la poutre navire au choc une action moyenne au C24.

D'où inertie et module moyens du navire en machine vers C36 I_{xz} et W_{xz} :

ABSOLU								M	
	COEF / L	L	LARGEUR					Sigma	0
BORDÉ ASSOCIÉ	0,20	35000,00	7000,00						
	LARGEUR	HAUTEUR	SURFACE	d / base	produit dS	bh3/12	sd2	I; I/v ou v'	
AILE BASSE OU BORDÉ	7000	9,0	63000	4,50	2,84E+05	4,25E+05	2,43E+12		
1	25,4	12400,0	314960	6209,00	1,96E+09	4,04E+12	0,00E+00		
2	7000	9,0	63000	12413,50	7,82E+08	4,25E+05	2,43E+12		
3	0	0,0	0	12418,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		
4	0	0,0	0	12418,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		
5	0	0,0	0	12418,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		
6	0	0,0	0	12418,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		
7	0	0,0	0	12418,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		
		12418,0	440960	**6209,00**	2,74E+09	4,04E+12	4,85E+12	**8,89E+12**	
v'				**6209,00**					**1,43E+09**

Appréhension de la raideur moyenne du choc vis à vis de la poutre navire dans le plan horizontal :

$K_{navire} = L^3/3EI = 14\,400^3 / 3 / 210\,000 / 8.9^{E12} = 5.33^{E-7}$

FEUILLES DE CALCULS (FICHIER .XLS EN ANNEXE)

Container "dans ses lignes"

Container "dans ses lignes"	pieds	Container	Avel vor		E_{young} acier	210000	MPa
L	40	12,19	55,7	Approx. $E_{plast.}$ acier		21000	MPa
B	8	2,44	12,4	$\sigma_{0,02}$ E235		235	MPa
T	9	2,74	4,66	σ_R E235		340	MPa
Disp plein d'O		81,55	1591,2	m3			
Masse		83,59	1631	t			
Cb		1	0,49				
$Cm_{lav.\ double}$ (méthode Stelson)		1,88	1,60				
Mcouplage		127,94	127,94	t			
K		3,66	m				
R		6,22	m				
V choc	11	5,66	Kn ; m/s				
Angle choc α	0,5	1	2,5	5	10	20	°
γ	78,2	77,7	76,2	73,7	68,7	58,7	°
Cexcentricité	0,29	0,29	0,30	0,32	0,36	0,46	
$E_{choc\ perp.}$ H^{el}	0,04	0,18	1,17	4,91	21,94	109,69	kJ
$E_{choc\ tang.}$ H^{el}	590,45	595,74	612,29	641,85	705,78	828,01	kJ
$E_{choc\ total}$	590,49	595,92	613,45	646,76	727,72	937,70	kJ
Angle bordé β	40	50	60	70	80	90	°
$E_{choc\ perp}$ réel	0,02	0,11	0,88	4,34	21,28	109,69	kJ
F pour dpct. 1 cm	0,19	1,09	8,93	44,22	216,94	1118,14	t
Rotules - Raideur bordé seul - Choc sur bordé zone très raide, CE et plafond de réservoir, CE lgt ou carlingue							
Ep. bordés	9	9	9	9	9	9	mm
E bordés	600	600	600	600	600	600	mm
Inertie panneau bordé 600x600	36450	36450	36450	36450	36450	36450	mm4
Raideur choc mi portée bordé	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	mm/N
Raideur choc 1/4 portée bordé	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	mm/N
Raideur choc 1/8 portée bordé	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	mm/N
F_{choc} mi maille	0,6	1,4	3,9	8,8	19,4	44,0	t
F_{choc} 1/4 maille	0,8	1,8	5,2	11,7	25,9	58,7	t
F_{choc} 1/8 maille	1,3	3,1	9,0	20,0	44,3	100,6	t
σ_{choc} mi maille	104	249	715	1591	3523	7999	MPa
σ_{choc} 1/4 maille	104	249	715	1591	3523	7999	MPa
σ_{choc} 1/8 maille	104	249	715	1591	3523	7999	MPa
f_{choc} mi maille	3,3	7,9	22,7	50,5	111,9	253,9	mm
f_{choc} 1/4 maille (au point d'impac	2,5	5,9	17,0	37,9	83,9	190,5	mm
f_{choc} 1/8 maille (au point d'impac	1,4	3,5	9,9	22,1	48,9	111,1	mm
Encastrements - Bordé seul - Choc sur bordé zone très raide, CE et plafond de réservoir, CE lgt ou carlingue							
Ep. bordés	9	9	9	9	9	9	mm
E bordés	600	600	600	600	600	600	mm
Inertie panneau bordé 600x600	36450	36450	36450	36450	36450	36450	mm4
Raideur choc mi portée bordé	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	mm/N
Raideur choc 1/4 portée bordé	6,20E-05	6,20E-05	6,20E-05	6,20E-05	6,20E-05	6,20E-05	mm/N
Raideur choc 1/8 portée bordé	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	mm/N
F_{choc} mi maille	1,1	2,7	7,9	17,5	38,8	88,1	t
F_{choc} 1/4 maille	1,8	4,2	12,1	27,0	59,7	135,6	t
F_{choc} 1/8 maille	4,0	9,5	27,2	60,5	134,0	304,3	t
$\sigma_{choc\ RUGUEUR}$ mi maille	104	249	715	1591	3523	7999	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 maille	90	216	619	1378	3051	6927	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/4 maille	180	432	1238	2755	6103	13855	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 maille	69	165	473	1052	2331	5291	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/8 maille	275	659	1891	4209	9322	21164	MPa
f_{choc} mi maille	1,7	4,0	11,3	25,3	55,9	127,0	mm
f_{choc} 1/4 maille (au point d'impac	1,1	2,6	7,4	16,4	36,3	82,5	mm
f_{choc} 1/8 maille (au point d'impac	0,5	1,1	3,3	7,3	16,2	36,7	mm
MOYENNE BORDES SEMI APPUYES SEMI ENCASTRES							
$\sigma_{choc\ P}$ mi maille	104	249	715	1591	3523	7999	MPa
$\sigma_{choc\ RUGUEUR}$ mi maille	52	125	357	795	1762	4000	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 maille	97	233	667	1484	3287	7463	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/4 maille	90	216	619	1378	3051	6927	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 maille	86	207	594	1321	2927	6645	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/8 maille	138	330	945	2104	4661	10582	MPa
f_{choc} mi maille	2,5	5,9	17,0	37,9	83,9	190,5	mm
f_{choc} 1/4 maille (au point d'impac	1,8	4,3	12,2	27,1	60,1	136,5	mm
f_{choc} 1/8 maille (au point d'impac	1,0	2,3	6,6	14,7	32,6	73,9	mm
PLASTIFICATION APRES DOMAINE ELASTIQUE							
$\Delta_{elastique}$L/L = $\sigma_{0,02}/E_{Young}$	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	
$\Delta_{plastique}$L/L = $\sigma_R/E_{plastique}$	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	
$\delta_{rupture\ plastique}$	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	°
$f_{rupture\ plastique}$ choc mi-maille	33,2	33,2	33,2	33,2	33,2	33,2	mm
$f_{rupture\ plastique}$ choc quart maille	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	mm
$\delta_{RB\ rupt.\ RA\ choc\ quart\ de\ maille}$	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	°
$f_{rupture\ plastique}$ choc 1/8 maille	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	mm
$\delta_{RB\ rupt.\ RA\ choc\ huitième\ de\ maille}$	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	°
$F_{critique\ rupture\ plastique}$ choc mi-maill	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	t
F_{delta} choc mi-maille	0	0	3	13	65	336	t
$F_{critique\ rupture\ plastique}$ choc 1/4 ma	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	t
F_{delta} choc 1/4 maille	0	1	5	27	131	673	t
$F_{critique\ rupture\ plastique}$ choc 1/8 mai	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	t
F_{delta} choc 1/8 maille	0	1	11	53	261	1345	t
COMPORTEMENT DE LA STRUCTURE TRANSVERSALE - Choc sur membrure Pb 140x8							
Approxim. raideur navire, K_{navire}	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	mm/N
$I_{Pb\ 140x8}$	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	mm4
$W_{Pb\ 140x8}$	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	mm3
Portée	2700,0	2600,0	2500,0	2400,0	2300,0	2200,0	mm
K_{navire}+$K_{Pb\ 140x8\ choc\ mi\ portée\ membrure}$	4,11E-05	3,68E-05	3,28E-05	2,91E-05	2,58E-05	2,25E-05	mm/N
K_{navire}+$K_{Pb\ 140x8\ choc\ 1/4\ portée\ membru}$	1,77E-05	1,58E-05	1,41E-05	1,26E-05	1,11E-05	9,80E-06	mm/N
K_{navire}+$K_{Pb\ 140x8\ choc\ 1/8\ portée\ membru}$	3,93E-06	3,57E-06	3,23E-06	2,92E-06	2,64E-06	2,37E-06	mm/N
F_{choc} mi portée	2,2	5,5	16,7	39,4	92,9	225,1	t
F_{choc} 1/4 portée	3,3	8,4	25,4	59,9	141,0	341,0	t
F_{choc} 1/8 portée	7,0	17,6	53,0	124,2	289,7	693,1	t
$\sigma_{choc\ RUGUEUR}$ mi portée	75	183	533	1210	2735	6339	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 portée	64	157	457	1035	2335	5402	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/4 portée	129	313	913	2070	4671	10805	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 portée	46	112	325	731	1633	3736	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/8 portée	185	449	1300	2922	6531	14945	MPa
f_{choc} mi portée	0,9	2,0	5,4	11,2	23,4	49,7	mm
f_{choc} 1/4 portée (au point d'impa	0,6	1,3	3,5	7,4	15,4	32,8	mm
f_{choc} 1/8 portée (au point d'impa	0,3	0,6	1,7	3,6	7,5	16,1	mm
COMPORTEMENT DE LA STRUCTURE TRANSVERSALE - **Choc sur membrure Pb 160x8**							
$I_{Pb\ 160x8}$	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	mm4
$W_{Pb\ 160x8}$	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	mm3
Portée	3200	3100,0	3000,0	2900,0	2800,0	2700,0	mm
K_{navire}+$K_{Pb\ 160x8\ choc\ mi\ portée\ membru}$	4,56E-05	4,15E-05	3,76E-05	3,41E-05	3,07E-05	2,76E-05	mm/N
K_{navire}+$K_{Pb\ 160x8\ choc\ 1/4\ portée\ membru}$	1,95E-05	1,78E-05	1,62E-05	1,47E-05	1,33E-05	1,19E-05	mm/N
K_{navire}+$K_{Pb\ 160x8\ choc\ 1/8\ portée\ membru}$	4,31E-06	3,96E-06	3,64E-06	3,34E-06	3,06E-06	2,80E-06	mm/N
F_{choc} mi portée	2,1	5,2	15,5	36,4	84,9	203,3	t
F_{choc} 1/4 portée	3,1	7,9	23,7	55,4	129,1	308,9	t
F_{choc} 1/8 portée	6,7	16,7	50,0	116,2	268,8	638,2	t
$\sigma_{choc\ RUGUEUR}$ mi portée	63	152	443	1003	2258	5215	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 portée	54	131	380	859	1933	4458	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/4 portée	108	261	760	1718	3866	8916	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 portée	39	94	273	613	1369	3134	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/8 portée	156	377	1091	2451	5477	12537	MPa
f_{choc} mi portée	0,9	2,1	5,7	12,2	25,6	55,0	mm
f_{choc} 1/4 portée (au point d'impa	0,6	1,4	3,8	8,0	16,8	36,2	mm
f_{choc} 1/8 portée (au point d'impa	0,3	0,6	1,8	3,8	8,1	17,5	mm

Container "dans ses lignes"	pieds	Container	Avel vor		E_{young} acier	210000	MPa
L	40	12,19	55,7	Approx. $E_{plast.}$ acier		21000	MPa
B	8	2,44	12,4	$\sigma_{0,02}$ E235		235	MPa
T	9	2,74	4,66	σ_R E235		340	MPa
Disp plein d'O		81,55	1591,2	m3			
Masse		83,59	1631	t			
Cb		1	0,49				
$Cm_{lav.\ double}$ (méthode Stelson)		1,88	1,60				
Mcouplage		127,94	127,94	t			
K		3,66	m				
R		6,22	m				
V choc	11	5,66	Kn ; m/s				
Angle choc α	0,5	1	2,5	5	10	20	°
γ	78,2	77,7	76,2	73,7	68,7	58,7	°
Cexcentricité	0,29	0,29	0,30	0,32	0,36	0,46	
$E_{choc\ perp.}$ H^{el}	0,04	0,18	1,17	4,91	21,94	109,69	kJ
$E_{choc\ tang.}$ H^{el}	590,45	595,74	612,29	641,85	705,78	828,01	kJ
$E_{choc\ total}$	590,49	595,92	613,45	646,76	727,72	937,70	kJ
Angle bordé β	40	50	60	70	80	90	°
$E_{choc\ perp}$ réel	0,02	0,11	0,88	4,34	21,28	109,69	kJ
F pour dpct. 1 mm	1,89	10,86	89,23	442,22	2169,40	11181,41	t
Toutes raideurs intégrées - Choc au-dessus des caisses GO - 1 à 2 Pb 140x8							
$W_{Pb\ 140x8}$	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	mm3
Portée	2700,0	2600,0	2500,0	2400,0	2300,0	2200,0	mm
Kbordé mi maille mi portée	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille mi portée	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille mi-portée	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	mm/N
Kbordé mi maille 1/4 portée	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/4 portée	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/4 portée	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	mm/N
Kbordé mi maille 1/8 portée	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/8 portée	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/8 portée	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	mm/N
K mi maille mi portée	4,47E-04	4,45E-04	4,43E-04	4,41E-04	4,39E-04	4,37E-04	mm/N
K 1/4 maille mi portée	2,81E-04	2,79E-04	2,77E-04	2,75E-04	2,73E-04	2,71E-04	mm/N
K 1/8 maille mi-portée	1,31E-04	1,29E-04	1,27E-04	1,25E-04	1,23E-04	1,21E-04	mm/N
K mi maille 1/4 portée	4,38E-04	4,41E-04	4,39E-04	4,38E-04	4,36E-04	4,35E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/4 portée	2,73E-04	2,71E-04	2,69E-04	2,68E-04	2,66E-04	2,65E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/4 portée	1,13E-04	1,11E-04	1,10E-04	1,08E-04	1,07E-04	1,05E-04	mm/N
K mi maille 1/8 portée	3,61E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,59E-04	3,59E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/8 portée	2,32E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,30E-04	2,30E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/8 portée	9,78E-05	9,75E-05	9,72E-05	9,69E-05	9,67E-05	9,64E-05	mm/N
Fchoc mi maille mi portée	0,7	1,6	4,5	10,1	22,4	51,1	t
Fchoc 1/4 maille mi portée	0,8	2,0	5,7	12,8	28,5	64,9	t
Fchoc 1/8 maille mi-portée	1,2	2,9	8,5	19,0	42,4	97,1	t
Fchoc mi maille 1/4 portée	0,7	1,6	4,6	10,1	22,5	51,2	t
Fchoc 1/4 maille 1/4 portée	0,8	2,0	5,8	13,0	28,8	65,6	t
Fchoc 1/8 maille 1/4 portée	1,3	3,2	9,1	20,4	45,5	104,0	t
Fchoc mi maille 1/8 portée	0,7	1,8	5,0	11,2	24,8	56,3	t
Fchoc 1/4 maille 1/8 portée	0,9	2,2	6,3	14,0	31,0	70,4	t
Fchoc 1/8 maille 1/8 portée	1,4	3,4	9,7	21,6	47,8	108,7	t
Bordés - Liaisons considérées plastifiées si < 235 Mpa et tout bordé plastifié au delà							c/F (RdM7)
Bordé mi maille mi portée (MPa)	99	Plastifié	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille mi portée (MPa	104	Plastifié	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille mi-portée (MPa	98	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/4 portée (MPa	100	Plastifié	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille 1/4 portée (MPa	106	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille 1/4 portée (MPa	106	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/8 portée (MPa	99	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,38E-02
Bordé 1/4 maille 1/8 portée (MPa	111	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,24E-02
Bordé 1/8 maille 1/8 portée (MPa	120	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,69E-03
Raidisseurs							
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ mi maille mi portée	11	26	73	156	331	720	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/4 maille mi portée	22	50	138	296	629	1372	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/8 maille mi portée	37	86	238	512	1094	2396	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ mi maille 1/4 portée	13	30	82	176	374	812	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/4 maille 1/4 portée	25	57	157	337	717	1562	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/8 maille 1/4 portée	45	103	287	619	1322	2889	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ mi maille 1/8 portée	10	22	62	132	280	608	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/4 maille 1/8 portée	18	42	116	247	525	1140	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/8 maille 1/8 portée	33	75	208	445	945	2055	MPa
Toutes raideurs intégrées - Choc au-dessus des caisses GO - 1 à 2 Pb 160x8							
$W_{Pb\ 160x8}$	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	mm3
Portée	3200	3100,0	3000,0	2900,0	2800,0	2700,0	mm
Kbordé mi maille mi portée	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille mi portée	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille mi-portée	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	mm/N
Kbordé mi maille 1/4 portée	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/4 portée	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/4 portée	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	mm/N
Kbordé mi maille 1/8 portée	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/8 portée	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/8 portée	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	mm/N
K mi maille mi portée	4,49E-04	4,47E-04	4,45E-04	4,43E-04	4,42E-04	4,40E-04	mm/N
K 1/4 maille mi portée	2,83E-04	2,81E-04	2,79E-04	2,77E-04	2,76E-04	2,74E-04	mm/N
K 1/8 maille mi-portée	1,33E-04	1,31E-04	1,29E-04	1,27E-04	1,26E-04	1,24E-04	mm/N
K mi maille 1/4 portée	4,40E-04	4,38E-04	4,37E-04	4,36E-04	4,35E-04	4,34E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/4 portée	2,70E-04	2,68E-04	2,67E-04	2,66E-04	2,65E-04	2,64E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/4 portée	1,10E-04	1,09E-04	1,08E-04	1,07E-04	1,06E-04	1,05E-04	mm/N
K mi maille 1/8 portée	3,61E-04	3,61E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,60E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/8 portée	2,32E-04	2,32E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,31E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/8 portée	9,81E-05	9,78E-05	9,76E-05	9,73E-05	9,70E-05	9,68E-05	mm/N
Fchoc mi maille mi portée	0,7	1,6	4,5	10,1	22,4	50,9	t
Fchoc 1/4 maille mi portée	0,8	2,0	5,7	12,8	28,3	64,5	t
Fchoc 1/8 maille mi-portée	1,2	2,9	8,4	18,8	42,0	95,9	t
Fchoc mi maille 1/4 portée	0,7	1,6	4,6	10,2	22,5	51,2	t
Fchoc 1/4 maille 1/4 portée	0,8	2,0	5,8	13,0	28,9	65,7	t
Fchoc 1/8 maille 1/4 portée	1,3	3,2	9,2	20,6	45,8	104,4	t
Fchoc mi maille 1/8 portée	0,7	1,8	5,0	11,2	24,8	56,3	t
Fchoc 1/4 maille 1/8 portée	0,9	2,2	6,3	14,0	31,0	70,3	t
Fchoc 1/8 maille 1/8 portée	1,4	3,4	9,7	21,5	47,7	108,5	t
Bordés - Liaisons considérées plastifiées si < 235 Mpa et tout bordé plastifié au delà							c/F (RdM7)
Bordé mi maille mi portée (MPa)	99	Plastifié	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille mi portée (MPa	104	Plastifié	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille mi-portée (MPa	97	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/4 portée (MPa	100	Plastifié	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille 1/4 portée (MPa	106	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille 1/4 portée (MPa	107	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/8 portée (MPa	99	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,38E-02
Bordé 1/4 maille 1/8 portée (MPa	111	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,24E-02
Bordé 1/8 maille 1/8 portée (MPa	120	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,69E-03
Raidisseurs							
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ mi maille mi portée	10	23	65	139	296	654	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/4 maille mi portée	19	44	122	264	567	1244	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/8 maille mi portée	32	75	210	455	979	2157	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ mi maille 1/4 portée	11	26	73	158	338	741	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/4 maille 1/4 portée	22	51	141	303	650	1426	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/8 maille 1/4 portée	40	93	258	559	1202	2643	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ mi maille 1/8 portée	9	20	55	118	253	554	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/4 maille 1/8 portée	16	37	103	222	474	1039	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/8 maille 1/8 portée	29	67	185	398	853	1870	MPa

Container vertical

Container vertical	pieds	Container	Avel vor		E_{young} acier	210000	MPa
L	9	2,74	55,7		Approx. $E_{plast.}$ acier	21000	MPa
B	8	2,44	12,4		$\sigma_{0,02}$ E235	235	MPa
T	40	12,19	4,66		σ_e E235	340	MPa
Disp plein d'O		81,55	1591,2	m3			
Masse		83,59	1631	t			
Cb		1	0,49				
$Cm_{eau\ ecoulee}$ (méthode Stelson)		4,93	1,60				
Mcouplage		131,32	131,32	t			
K		0,82		m			
R		1,84		m			
V choc	11	5,66		Kn ; m/s			
Angle choc α	0,5	1	2,5	5	10	20	°
γ	47,9	47,4	45,9	43,4	38,4	28,4	°
Cexcentricité	0,54	0,55	0,57	0,61	0,68	0,81	
E_{choc} perp. H^0	0,09	0,35	2,28	9,70	43,06	199,73	kJ
E_{choc} tang. H^0	1139,78	1154,73	1198,54	1267,48	1385,10	1507,68	kJ
E_{choc} total	1139,87	1155,08	1200,83	1277,18	1428,16	1707,41	kJ
Angle bordé β	40	50	60	70	80	90	°
E_{choc} perp réel	0,04	0,21	1,71	8,57	41,77	199,73	kJ
F pour dpct. 1 cm	0,37	2,10	17,47	87,33	425,75	2035,98	t
Rotules - Raideur bordé seul - Choc sur bordé zone très raide, CE et plafond de réservoir, CE lgt ou carlingue							
Ep. bordés	9	9	9	9	9	9	mm
E bordés	600	600	600	600	600	600	mm
Inertie panneau bordé 600x600	36450	36450	36450	36450	36450	36450	mm4
Raideur choc mi portée bordé	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	mm/N
Raideur choc 1/4 portée bordé	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	mm/N
Raideur choc 1/8 portée bordé	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	mm/N
F_{choc} mi maille	0,8	1,9	5,5	12,3	27,2	59,4	t
F_{choc} 1/4 maille	1,1	2,5	7,3	16,4	36,2	79,2	t
F_{choc} 1/8 maille	1,8	4,4	12,6	28,1	62,1	135,8	t
σ_{choc} mi maille	145	347	1000	2235	4936	10794	MPa
σ_{choc} 1/4 maille	145	347	1000	2235	4936	10794	MPa
σ_{choc} 1/8 maille	145	347	1000	2235	4936	10794	MPa
f_{choc} mi maille	4,6	11,0	31,7	71,0	156,7	342,7	mm
f_{choc} 1/4 maille (au point d'impac	3,4	8,3	23,8	53,2	117,5	257,0	mm
f_{choc} 1/8 maille (au point d'impac	2,0	4,8	13,9	31,0	68,6	149,9	mm
Encastrements - Bordé seul - Choc sur bordé zone très raide, CE et plafond de réservoir, CE lgt ou carlingue							
Ep. bordés	9	9	9	9	9	9	mm
E bordés	600	600	600	600	600	600	mm
Inertie panneau bordé 600x600	36450	36450	36450	36450	36450	36450	mm4
Raideur choc mi portée bordé	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	mm/N
Raideur choc 1/4 portée bordé	6,20E-05	6,20E-05	6,20E-05	6,20E-05	6,20E-05	7,94E-05	mm/N
Raideur choc 1/8 portée bordé	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	mm/N
F_{choc} mi maille	1,6	3,8	11,0	24,6	54,3	118,8	t
F_{choc} 1/4 maille	2,5	5,9	16,9	37,9	83,7	161,7	t
F_{choc} 1/8 maille	5,5	13,2	38,0	85,0	187,8	410,6	t
$\sigma_{choc\ RX/RR/P}$ mi maille	145	347	1000	2235	4936	10794	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 maille	125	301	866	1936	4275	8262	MPa
$\sigma_{choc\ RX}$ 1/4 maille	251	601	1732	3872	8549	16525	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 maille	96	230	661	1479	3265	7140	MPa
$\sigma_{choc\ RX}$ 1/8 maille	383	918	2645	5914	13059	28558	MPa
f_{choc} mi maille	2,3	5,5	15,9	35,5	78,3	171,3	mm
f_{choc} 1/4 maille (au point d'impac	1,5	3,6	10,3	23,0	50,9	125,9	mm
f_{choc} 1/8 maille (au point d'impac	0,7	1,6	4,6	10,3	22,7	49,6	mm
MOYENNE BORDES SEMI APPUYES SEMI ENCASTRES							
$\sigma_{choc\ P}$ mi maille	145	347	1000	2235	4936	10794	MPa
$\sigma_{choc\ RX/RR}$ mi maille	72	174	500	1118	2468	5397	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 maille	135	324	933	2086	4605	9528	MPa
$\sigma_{choc\ RX}$ 1/4 maille	125	301	866	1936	4275	8262	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 maille	120	288	831	1857	4100	8967	MPa
$\sigma_{choc\ RX}$ 1/8 maille	191	459	1323	2957	6530	14279	MPa
f_{choc} mi maille	3,4	8,3	23,8	53,2	117,5	257,0	mm
f_{choc} 1/4 maille (au point d'impac	2,5	5,9	17,1	38,1	84,2	191,5	mm
f_{choc} 1/8 maille (au point d'impac	1,3	3,2	9,2	20,7	45,6	99,7	mm
PLASTIFICATION APRES DOMAINE ELASTIQUE							
$\Delta_{elastique}L/L = \sigma_{0,02}/E_{Young}$	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	
$\Delta_{plastique}L/L = \sigma_e/E_{plastique}$	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	
$\theta_{rotule\ plastique}$	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	°
$t_{rotule\ plastique}$ choc mi-maille	33,2	33,2	33,2	33,2	33,2	33,2	mm
$t_{rotule\ plastique}$ choc quart maille	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	mm
$\theta_{RR\ rupt.\ RA\ choc\ quart\ de\ maille}$	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	°
$t_{rotule\ plastique}$ choc 1/8 maille	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	mm
$\theta_{RR\ rupt.\ RA\ choc\ huitième\ de\ maille}$	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	°
$F_{critique\ rupture\ plastique}$ choc mi-maill	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	t
$F_{rupture}$ choc mi-maille	0	1	5	26	128	613	t
$F_{critique\ rupture\ plastique}$ choc 1/4 ma	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	t
$F_{rupture}$ choc 1/4 maille	0	1	11	53	256	1225	t
$F_{critique\ rupture\ plastique}$ choc 1/8 mai	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	t
$F_{rupture}$ choc 1/8 maille	0	3	21	105	512	2450	t
COMPORTEMENT DE LA STRUCTURE TRANSVERSALE - Choc sur membrure Pb 140x8							
Approxim. raideur navire, K_{navire}	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	mN/N
$I_{Pb\ 140x8}$	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	mm4
$W_{Pb\ 140x8}$	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	mm3
Portée	2700,0	2600,0	2500,0	2400,0	2300,0	2200,0	mm
K_{navire}+$K_{Pb\ 140x8\ choc\ mi\ portée\ membru}$	4,11E-05	3,68E-05	3,28E-05	2,91E-05	2,56E-05	2,25E-05	mN/N
K_{navire}+$K_{Pb\ 140x8\ choc\ 1/4\ portée\ membr}$	1,77E-05	1,58E-05	1,41E-05	1,26E-05	1,11E-05	9,80E-06	mN/N
K_{navire}+$K_{Pb\ 140x8\ choc\ 1/8\ portée\ membru}$	3,93E-06	3,57E-06	3,23E-06	2,92E-06	2,64E-06	2,37E-06	mN/N
F_{choc} mi portée	3,0	7,8	23,3	55,3	130,1	303,7	t
F_{choc} 1/4 portée	4,6	11,6	35,5	84,2	197,5	460,1	t
F_{choc} 1/8 portée	9,7	24,5	74,2	174,6	405,8	935,2	t
$\sigma_{choc\ RX/RR/P}$ mi portée	104	254	746	1701	3831	8583	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 portée	89	218	639	1455	3271	7290	MPa
$\sigma_{choc\ RX}$ 1/4 portée	179	436	1278	2909	6543	14580	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 portée	64	156	455	1027	2287	5042	MPa
$\sigma_{choc\ RX}$ 1/8 portée	258	625	1819	4106	9149	20167	MPa
f_{choc} mi portée	1,2	2,8	7,5	15,8	32,7	67,0	mm
f_{choc} 1/4 portée (au point d'impa	0,8	1,8	4,9	10,4	21,6	44,2	mm
f_{choc} 1/8 portée (au point d'impa	0,4	0,9	2,4	5,0	10,5	21,8	mm
COMPORTEMENT DE LA STRUCTURE TRANSVERSALE - **Choc sur membrure Pb 160x8**							
$I_{Pb\ 160x8}$	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	mm4
$W_{Pb\ 160x8}$	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	mm3
Portée	3200	3100,0	3000,0	2900,0	2800,0	2700,0	mm
K_{navire}+$K_{Pb\ 160x8\ choc\ mi\ portée\ membru}$	4,56E-05	4,15E-05	3,76E-05	3,41E-05	3,07E-05	2,76E-05	mN/N
K_{navire}+$K_{Pb\ 160x8\ choc\ 1/4\ portée\ membr}$	1,95E-05	1,78E-05	1,62E-05	1,47E-05	1,33E-05	1,19E-05	mN/N
K_{navire}+$K_{Pb\ 160x8\ choc\ 1/8\ portée\ membru}$	4,31E-06	3,96E-06	3,64E-06	3,34E-06	3,06E-06	2,80E-06	mN/N
F_{choc} mi portée	2,9	7,2	21,7	51,1	118,9	274,3	t
F_{choc} 1/4 portée	4,4	11,0	33,2	77,9	180,9	416,8	t
F_{choc} 1/8 portée	9,3	23,3	69,9	163,2	376,6	861,1	t
$\sigma_{choc\ RX/RR/P}$ mi portée	87	212	620	1409	3183	7038	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 portée	75	182	532	1207	2708	6016	MPa
$\sigma_{choc\ RX}$ 1/4 portée	149	364	1064	2415	5415	12031	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 portée	54	131	382	861	1918	4229	MPa
$\sigma_{choc\ RX}$ 1/8 portée	217	525	1527	3445	7673	16918	MPa
f_{choc} mi portée	1,3	2,9	8,0	17,1	35,8	74,2	mm
f_{choc} 1/4 portée (au point d'impa	0,8	1,9	5,3	11,2	23,5	48,9	mm
f_{choc} 1/8 portée (au point d'impa	0,4	0,9	2,5	5,3	11,3	23,6	mm

Container vertical	pieds	Container	Avel vor		E_{young} acier	210000	MPa
L	9	2,74	55,7		Approx. $E_{plast.}$ acier	21000	MPa
B	8	2,44	12,4		$\sigma_{0,02}$ E235	235	MPa
T	40	12,19	4,66		σ_e E235	340	MPa
Disp plein d'O		81,55	1591,2	m3			
Masse		83,59	1631	t			
Cb		1	0,49				
$Cm_{eau\ ecoulee}$ (méthode Stelson)		4,93	1,60				
Mcouplage		131,32	131,32	t			
K		0,82		m			
R		1,84		m			
V choc	11	5,66		Kn ; m/s			
Angle choc α	0,5	1	2,5	5	10	20	°
γ	47,9	47,4	45,9	43,4	38,4	28,4	°
Cexcentricité	0,54	0,55	0,57	0,61	0,68	0,81	
E_{choc} perp. H^0	0,09	0,35	2,28	9,70	43,06	199,73	kJ
E_{choc} tang. H^0	1139,78	1154,73	1198,54	1267,48	1385,10	1507,68	kJ
E_{choc} total	1139,87	1155,08	1200,83	1277,18	1428,16	1707,41	kJ
Angle bordé β	40	50	60	70	80	90	°
E_{choc} perp réel	0,04	0,21	1,71	8,57	41,77	199,73	kJ
F pour dpct. 1 mm	3,66	21,05	174,68	873,26	4257,47	20359,78	t
Toutes raideurs intègrées - Chocs au-dessus des caisses GO - 1 à 2 Pb 140x8							
$W_{Pb\ 140x8}$	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	mm3
Portée	2700,0	2600,0	2500,0	2400,0	2300,0	2200,0	mm
Kbordé mi maille mi portée	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille mi portée	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille mi-portée	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	mm/N
Kbordé mi maille 1/4 portée	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/4 portée	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/4 portée	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	mm/N
Kbordé mi maille 1/8 portée	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/8 portée	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/8 portée	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	mm/N
K mi maille mi portée	4,47E-04	4,45E-04	4,43E-04	4,41E-04	4,39E-04	4,37E-04	mm/N
K 1/4 maille mi portée	2,81E-04	2,79E-04	2,77E-04	2,75E-04	2,73E-04	2,71E-04	mm/N
K 1/8 maille mi-portée	1,31E-04	1,29E-04	1,27E-04	1,25E-04	1,23E-04	1,21E-04	mm/N
K mi maille 1/4 portée	4,38E-04	4,41E-04	4,39E-04	4,38E-04	4,36E-04	4,35E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/4 portée	2,73E-04	2,71E-04	2,69E-04	2,68E-04	2,66E-04	2,65E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/4 portée	1,13E-04	1,11E-04	1,10E-04	1,08E-04	1,07E-04	1,05E-04	mm/N
K mi maille 1/8 portée	3,61E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,59E-04	3,59E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/8 portée	2,32E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,30E-04	2,30E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/8 portée	9,78E-05	9,75E-05	9,72E-05	9,69E-05	9,67E-05	9,64E-05	mm/N
Fchoc mi maille mi portée	0,9	2,2	6,3	14,2	31,4	68,9	t
Fchoc 1/4 maille mi portée	1,2	2,8	8,0	18,0	39,9	87,5	t
Fchoc 1/8 maille mi-portée	1,7	4,1	11,9	26,7	59,4	131,0	t
Fchoc mi maille 1/4 portée	0,9	2,2	6,4	14,3	31,5	69,1	t
Fchoc 1/4 maille 1/4 portée	1,2	2,8	8,1	18,2	40,4	88,5	t
Fchoc 1/8 maille 1/4 portée	1,8	4,4	12,7	28,7	63,8	140,4	t
Fchoc mi maille 1/8 portée	1,0	2,4	7,0	15,7	34,8	76,0	t
Fchoc 1/4 maille 1/8 portée	1,3	3,0	8,8	19,6	43,4	95,0	t
Fchoc 1/8 maille 1/8 portée	2,0	4,7	13,5	30,3	67,0	146,7	t
Bordés - Liaisons considérées plastifiées si < 235 Mpa et tout bordé plastifié au delà							c/F (RdM7)
Bordé mi maille mi portée (MPa)	138	Plastifié	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille mi portée (MPa	145	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille mi-portée (MPa	137	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/4 portée (MPa	139	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille 1/4 portée (MPa	147	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille 1/4 portée (MPa	147	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/8 portée (MPa	138	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,38E-02
Bordé 1/4 maille 1/8 portée (MPa	154	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,24E-02
Bordé 1/8 maille 1/8 portée (MPa	166	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,69E-03
Raidisseurs							
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ mi maille mi portée	16	37	102	219	464	972	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/4 maille mi portée	30	69	193	415	882	1852	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/8 maille mi portée	51	119	333	719	1532	3233	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ mi maille 1/4 portée	18	41	115	247	523	1096	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/4 maille 1/4 portée	34	79	220	474	1005	2107	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/8 maille 1/4 portée	62	144	402	870	1852	3899	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ mi maille 1/8 portée	13	31	86	185	392	821	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/4 maille 1/8 portée	25	58	162	347	735	1538	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/8 maille 1/8 portée	45	105	291	625	1324	2772	MPa
Toutes raideurs intègrées - Chocs au-dessus des caisses GO - 1 à 2 Pb 160x8							
$W_{Pb\ 160x8}$	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	mm3
Portée	3200	3100,0	3000,0	2900,0	2800,0	2700,0	mm
Kbordé mi maille mi portée	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille mi portée	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille mi-portée	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	mm/N
Kbordé mi maille 1/4 portée	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/4 portée	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/4 portée	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	mm/N
Kbordé mi maille 1/8 portée	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/8 portée	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/8 portée	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	mm/N
K mi maille mi portée	4,49E-04	4,47E-04	4,45E-04	4,43E-04	4,42E-04	4,40E-04	mm/N
K 1/4 maille mi portée	2,83E-04	2,81E-04	2,79E-04	2,77E-04	2,76E-04	2,74E-04	mm/N
K 1/8 maille mi-portée	1,33E-04	1,31E-04	1,29E-04	1,27E-04	1,26E-04	1,24E-04	mm/N
K mi maille 1/4 portée	4,40E-04	4,38E-04	4,37E-04	4,36E-04	4,35E-04	4,34E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/4 portée	2,70E-04	2,68E-04	2,67E-04	2,66E-04	2,65E-04	2,64E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/4 portée	1,10E-04	1,09E-04	1,08E-04	1,07E-04	1,06E-04	1,05E-04	mm/N
K mi maille 1/8 portée	3,61E-04	3,61E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,60E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/8 portée	2,32E-04	2,32E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,31E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/8 portée	9,81E-05	9,78E-05	9,76E-05	9,73E-05	9,70E-05	9,68E-05	mm/N
Fchoc mi maille mi portée	0,9	2,2	6,3	14,2	31,3	68,7	t
Fchoc 1/4 maille mi portée	1,1	2,8	8,0	17,9	39,7	87,0	t
Fchoc 1/8 maille mi-portée	1,7	4,0	11,7	26,4	58,8	129,3	t
Fchoc mi maille 1/4 portée	0,9	2,2	6,4	14,3	31,6	69,1	t
Fchoc 1/4 maille 1/4 portée	1,2	2,8	8,2	18,3	40,5	88,6	t
Fchoc 1/8 maille 1/4 portée	1,8	4,4	12,9	28,9	64,1	140,9	t
Fchoc mi maille 1/8 portée	1,0	2,4	7,0	15,7	34,7	76,0	t
Fchoc 1/4 maille 1/8 portée	1,3	3,0	8,8	19,6	43,4	94,9	t
Fchoc 1/8 maille 1/8 portée	1,9	4,7	13,5	30,2	66,9	146,4	t
Bordés - Liaisons considérées plastifiées si < 235 Mpa et tout bordé plastifié au delà							c/F (RdM7)
Bordé mi maille mi portée (MPa)	138	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille mi portée (MPa	144	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille mi-portée (MPa	135	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/4 portée (MPa	139	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille 1/4 portée (MPa	148	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille 1/4 portée (MPa	149	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/8 portée (MPa	138	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,38E-02
Bordé 1/4 maille 1/8 portée (MPa	154	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,24E-02
Bordé 1/8 maille 1/8 portée (MPa	166	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,69E-03
Raidisseurs							
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ mi maille mi portée	14	32	90	196	418	883	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/4 maille mi portée	26	61	171	371	794	1679	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/8 maille mi portée	45	105	294	639	1372	2911	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ mi maille 1/4 portée	16	37	103	222	474	1009	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/4 maille 1/4 portée	30	70	197	426	911	1924	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/8 maille 1/4 portée	55	129	362	786	1683	3566	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ mi maille 1/8 portée	12	28	77	166	355	748	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/4 maille 1/8 portée	22	52	144	311	664	1401	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/8 maille 1/8 portée	40	93	259	560	1195	2523	MPa

Container "en travers"

Container "en travers"	pieds	Container	Avel vor		E_{young} acier	210000	MPa
L	8	2,44	55,7	Approx. $E_{plast.}$ acier		21000	MPa
B	40	12,19	12,4		$\sigma_{0,02}$ E235	235	MPa
T	9	2,74	4,66		σ_R E235	340	MPa
Disp plein d'O		81,55	1591,2	m3			
Masse		83,59	1631	t			
Cb		1	0,49				
$Cm_{eau\ ajoutée}$ (méthode Stelson)		1,18	1,60				
Mcouplage		124,81	124,81	t			
K		0,73		m			
R		6,22		m			
V choc	11	5,66		Kn ; m/s			
Angle choc α	0,5	1	2,5	5	10	20	°
γ	10,8	10,3	8,8	6,3	1,3	-8,7	°
Cexcentricité	0,97	0,97	0,98	0,99	1,00	0,98	
E_{choc} perp. H	0,15	0,59	3,73	15,03	60,24	229,33	kJ
E_{choc} tang. H	1939,80	1944,59	1955,72	1963,35	1937,37	1731,16	kJ
E_{choc} total	1939,95	1945,18	1959,45	1978,38	1997,61	1960,49	kJ
Angle bordé β	40	50	60	70	80	90	°
E_{choc} perp réel	0,06	0,35	2,80	13,27	58,42	229,33	kJ
F pour dpct. 1 cm	0,62	3,54	28,50	135,27	595,50	2337,76	t
Rotules - Raideur bordé seul - Choc sur bordé zone très raide, CE et plafond de réservoir, CE lgt ou carlingue							
Ep. bordés	9	9	9	9	9	9	mm
E bordés	600	600	600	600	600	600	mm
Inertie panneau bordé 600x60(	36450	36450	36450	36450	36450	36450	mm4
Raideur choc mi portée bordé	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	mm/N
Raideur choc 1/4 portée bordé	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	mm/N
Raideur choc 1/8 portée bordé	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	mm/N
F_{choc} mi maille	1,0	2,5	7,0	15,3	32,1	63,7	t
F_{choc} 1/4 maille	1,4	3,3	9,4	20,4	42,8	84,9	t
F_{choc} 1/8 maille	2,4	5,7	16,1	35,0	73,4	145,5	t
σ_{choc} mi maille	189	450	1277	2782	5838	11566	MPa
σ_{choc} 1/4 maille	189	450	1277	2782	5838	11566	MPa
σ_{choc} 1/8 maille	189	450	1277	2782	5838	11566	MPa
f_{choc} mi maille	6,0	14,3	40,5	88,3	185,3	367,2	mm
f_{choc} 1/4 maille (au point d'impa	4,5	10,7	30,4	66,2	139,0	275,4	mm
f_{choc} 1/8 maille (au point d'impa	2,6	6,3	17,7	38,6	81,1	160,6	mm
Encastrements - Bordé seul - Choc sur bordé zone très raide, CE et plafond de réservoir, CE lgt ou carlingue							
Ep. bordés	9	9	9	9	9	9	mm
E bordés	600	600	600	600	600	600	mm
Inertie panneau bordé 600x60(	36450	36450	36450	36450	36450	36450	mm4
Raideur choc mi portée bordé	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	mm/N
Raideur choc 1/4 portée bordé	6,20E-05	6,20E-05	6,20E-05	6,20E-05	6,20E-05	6,20E-05	mm/N
Raideur choc 1/8 portée bordé	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	mm/N
F_{choc} mi maille	2,1	5,0	14,1	30,6	64,3	127,3	t
F_{choc} 1/4 maille	3,2	7,6	21,6	47,2	98,9	196,0	t
F_{choc} 1/8 maille	7,2	17,1	48,6	105,8	222,1	440,0	t
$\sigma_{choc\ RA/RB/P}$ mi maille	189	450	1277	2782	5838	11566	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 maille	163	390	1106	2409	5056	10017	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/4 maille	327	780	2212	4819	10111	20033	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 maille	125	298	845	1840	3861	7650	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/8 maille	499	1192	3379	7361	15445	30601	MPa
f_{choc} mi maille	3,0	7,1	20,3	44,2	92,7	183,6	mm
f_{choc} 1/4 maille (au point d'impa	1,9	4,6	13,2	28,7	60,2	119,2	mm
f_{choc} 1/8 maille (au point d'impa	0,9	2,1	5,9	12,8	26,8	53,1	mm
MOYENNE BORDES SEMI APPUYES SEMI ENCASTRES							
$\sigma_{choc\ P}$ mi maille	189	450	1277	2782	5838	11566	MPa
$\sigma_{choc\ RA/RB}$ mi maille	94	225	639	1391	2919	5783	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 maille	176	420	1192	2596	5447	10791	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/4 maille	163	390	1106	2409	5056	10017	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 maille	157	374	1061	2311	4849	9608	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/8 maille	250	596	1689	3681	7722	15301	MPa
f_{choc} mi maille	4,5	10,7	30,4	66,2	139,0	275,4	mm
f_{choc} 1/4 maille (au point d'impa	3,2	7,7	21,8	47,5	99,6	197,3	mm
f_{choc} 1/8 maille (au point d'impa	1,7	4,2	11,8	25,7	53,9	106,9	mm
PLASTIFICATION APRES DOMAINE ELASTIQUE							
$\Delta_{élastique}L/L = \sigma_{0,02}/E_{Young}$	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	
$\Delta_{plastique}L/L = \sigma_R/E_{plastique}$	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	
$\delta_{rupture\ plastique}$	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	°
$f_{rupture\ plastique}$ choc mi-maille	33,2	33,2	33,2	33,2	33,2	33,2	mm
$f_{rupture\ plastique}$ choc quart maille	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	mm
$\delta_{RB\ rupt.\ RA\ choc\ quart\ de\ maille}$	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	°
$f_{rupture\ plastique}$ choc 1/8 maille	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	mm
$\delta_{RB\ rupt.\ RA\ choc\ huitième\ de\ maille}$	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	°
$F_{critique\ rupture\ plastique}$ choc mi-mai	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	t
$F_{réelle}$ choc mi-maille	0	1	9	41	179	703	t
$F_{critique\ rupture\ plastique}$ choc 1/4 ma	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	t
$F_{réelle}$ choc 1/4 maille	0	2	17	81	358	1407	t
$F_{critique\ rupture\ plastique}$ choc 1/8 ma	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	t
$F_{réelle}$ choc 1/8 maille	1	4	34	163	717	2813	t
COMPORTEMENT DE LA STRUCTURE TRANSVERSALE - Choc sur membrure Pb 140x8							
Approxim. raideur navire, K_{navi}	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	mm/N
$I_{Pb\ 140x8}$	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	mm4
$W_{Pb\ 140x8}$	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	mm3
Portée	2700,0	2600,0	2500,0	2400,0	2300,0	2200,0	mm
$K_{navire}+K_{Pb\ 140x8\ choc\ mi\ portée\ membr}$	4,11E-05	3,68E-05	3,28E-05	2,91E-05	2,56E-05	2,25E-05	mm/N
$K_{navire}+K_{Pb\ 140x8\ choc\ 1/4\ portée\ memb}$	1,77E-05	1,58E-05	1,41E-05	1,26E-05	1,11E-05	9,80E-06	mm/N
$K_{navire}+K_{Pb\ 140x8\ choc\ 1/8\ portée\ memb}$	3,93E-06	3,57E-06	3,23E-06	2,92E-06	2,64E-06	2,37E-06	mm/N
F_{choc} mi portée	3,9	9,9	29,8	68,9	153,9	325,4	t
F_{choc} 1/4 portée	6,0	15,1	45,3	104,8	233,6	493,1	t
F_{choc} 1/8 portée	12,7	31,8	94,8	217,2	479,9	1002,1	t
$\sigma_{choc\ RA/RB/P}$ mi portée	136	330	953	2117	4531	9165	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 portée	117	283	816	1810	3869	7812	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/4 portée	233	566	1632	3621	7738	15623	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 portée	84	203	581	1278	2705	5402	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/8 portée	336	811	2323	5111	10820	21610	MPa
f_{choc} mi portée	1,6	3,6	9,6	19,6	38,7	71,8	mm
f_{choc} 1/4 portée (au point d'imp	1,0	2,3	6,3	12,9	25,5	47,4	mm
f_{choc} 1/8 portée (au point d'imp	0,5	1,1	3,0	6,2	12,4	23,3	mm
COMPORTEMENT DE LA STRUCTURE TRANSVERSALE - Choc sur membrure Pb 160x8							
$I_{Pb\ 160x8}$	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	mm4
$W_{Pb\ 160x8}$	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	mm3
Portée	3200	3100,0	3000,0	2900,0	2800,0	2700,0	mm
$K_{navire}+K_{Pb\ 160x8\ choc\ mi\ portée\ membr}$	4,56E-05	4,15E-05	3,76E-05	3,41E-05	3,07E-05	2,76E-05	mm/N
$K_{navire}+K_{Pb\ 160x8\ choc\ 1/4\ portée\ memb}$	1,95E-05	1,78E-05	1,62E-05	1,47E-05	1,33E-05	1,19E-05	mm/N
$K_{navire}+K_{Pb\ 160x8\ choc\ 1/8\ portée\ memb}$	4,31E-06	3,96E-06	3,64E-06	3,34E-06	3,06E-06	2,80E-06	mm/N
F_{choc} mi portée	3,7	9,3	27,8	63,6	140,6	293,9	t
F_{choc} 1/4 portée	5,7	14,2	42,4	96,9	213,9	446,6	t
F_{choc} 1/8 portée	12,1	30,2	89,3	203,2	445,4	922,7	t
$\sigma_{choc\ RA/RB/P}$ mi portée	113	275	792	1754	3741	7541	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 portée	97	236	679	1503	3202	6446	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/4 portée	195	472	1359	3005	6404	12892	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 portée	71	170	487	1072	2269	4532	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/8 portée	283	681	1950	4287	9074	18128	MPa
f_{choc} mi portée	1,7	3,8	10,3	21,3	42,4	79,5	mm
f_{choc} 1/4 portée (au point d'imp	1,1	2,5	6,7	14,0	27,8	52,3	mm
f_{choc} 1/8 portée (au point d'imp	0,5	1,2	3,2	6,7	13,4	25,3	mm

Container "en travers"	pieds	Container	Avel vor		E_{young} acier	210000	MPa
L	8	2,44	55,7	Approx. $E_{plast.}$ acier		21000	MPa
B	40	12,19	12,4		$\sigma_{0,02}$ E235	235	MPa
T	9	2,74	4,66		σ_R E235	340	MPa
Disp plein d'O		81,55	1591,2	m3			
Masse		83,59	1631	t			
Cb		1	0,49				
$Cm_{eau\ ajoutée}$ (méthode Stelson)		1,18	1,60				
Mcouplage		124,81	124,81	t			
K		0,73		m			
R		6,22		m			
V choc	11	5,66		Kn ; m/s			
Angle choc α	0,5	1	2,5	5	10	20	°
γ	10,8	10,3	8,8	6,3	1,3	-8,7	°
Cexcentricité	0,97	0,97	0,98	0,99	1,00	0,98	
E_{choc} perp. H	0,15	0,59	3,73	15,03	60,24	229,33	kJ
E_{choc} tang. H	1939,80	1944,59	1955,72	1963,35	1937,37	1731,16	kJ
E_{choc} total	1939,95	1945,18	1959,45	1978,38	1997,61	1960,49	kJ
Angle bordé β	40	50	60	70	80	90	°
E_{choc} perp réel	0,06	0,35	2,80	13,27	58,42	229,33	kJ
F pour dpct. 1 cm	0,62	3,54	28,50	135,27	595,50	2337,76	t
Toutes raideurs intégrées - Chocs au-dessus des caisses GO - 1 à 2 Pb 140x8							
$W_{Pb\ 140x8}$	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	mm3
Portée	2700,0	2600,0	2500,0	2400,0	2300,0	2200,0	mm
Kbordé mi maille mi portée	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille mi portée	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille mi-portée	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	mm/N
Kbordé mi maille 1/4 portée	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/4 portée	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/4 portée	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	mm/N
Kbordé mi maille 1/8 portée	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/8 portée	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/8 portée	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	mm/N
K mi maille mi portée	4,47E-04	4,45E-04	4,43E-04	4,41E-04	4,39E-04	4,37E-04	mm/N
K 1/4 maille mi portée	2,81E-04	2,79E-04	2,77E-04	2,75E-04	2,73E-04	2,71E-04	mm/N
K 1/8 maille mi-portée	1,31E-04	1,29E-04	1,27E-04	1,25E-04	1,23E-04	1,21E-04	mm/N
K mi maille 1/4 portée	4,38E-04	4,41E-04	4,39E-04	4,38E-04	4,36E-04	4,35E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/4 portée	2,73E-04	2,71E-04	2,69E-04	2,68E-04	2,66E-04	2,65E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/4 portée	1,13E-04	1,11E-04	1,10E-04	1,08E-04	1,07E-04	1,05E-04	mm/N
K mi maille 1/8 portée	3,61E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,59E-04	3,59E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/8 portée	2,32E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,30E-04	2,30E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/8 portée	9,78E-05	9,75E-05	9,72E-05	9,69E-05	9,67E-05	9,64E-05	mm/N
Fchoc mi maille mi portée	1,2	2,9	8,1	17,7	37,2	73,8	t
Fchoc 1/4 maille mi portée	1,5	3,6	10,2	22,4	47,1	93,8	t
Fchoc 1/8 maille mi-portée	2,2	5,3	15,1	33,2	70,2	140,3	t
Fchoc mi maille 1/4 portée	1,2	2,9	8,1	17,8	37,3	74,0	t
Fchoc 1/4 maille 1/4 portée	1,5	3,7	10,4	22,7	47,8	94,9	t
Fchoc 1/8 maille 1/4 portée	2,4	5,7	16,3	35,7	75,5	150,4	t
Fchoc mi maille 1/8 portée	1,3	3,2	9,0	19,6	41,1	81,5	t
Fchoc 1/4 maille 1/8 portée	1,7	4,0	11,2	24,5	51,3	101,8	t
Fchoc 1/8 maille 1/8 portée	2,5	6,1	17,3	37,7	79,2	157,2	t
Bordés - Liaisons considérées plastifiées si < 235 Mpa et tout bordé plastifié au delà							σ/F (RdM7)
Bordé mi maille mi portée (MPa	180	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille mi portée (MP	189	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille mi-portée (MP	178	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/4 portée (MP	182	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille 1/4 portée (MI	192	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille 1/4 portée (MI	192	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/8 portée (MP	180	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,38E-02
Bordé 1/4 maille 1/8 portée (MI	201	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,24E-02
Bordé 1/8 maille 1/8 portée (MI	217	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,69E-03
Raidisseurs							
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ mi maille mi portée	21	48	130	272	548	1042	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/4 maille mi portée	39	90	246	517	1043	1984	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/8 maille mi portée	67	155	425	895	1812	3464	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ mi maille 1/4 portée	23	54	147	307	619	1175	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/4 maille 1/4 porté	45	103	281	589	1189	2258	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/8 maille 1/4 porté	81	187	514	1082	2191	4178	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ mi maille 1/8 portée	18	40	110	231	464	880	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/4 maille 1/8 porté	33	76	207	432	869	1648	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/8 maille 1/8 porté	59	136	371	778	1566	2971	MPa
Toutes raideurs intégrées - Chocs au-dessus des caisses GO - 1 à 2 Pb 160x8							
$W_{Pb\ 160x8}$	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	mm3
Portée	3200	3100,0	3000,0	2900,0	2800,0	2700,0	mm
Kbordé mi maille mi portée	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille mi portée	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille mi-portée	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	mm/N
Kbordé mi maille 1/4 portée	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/4 portée	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/4 portée	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	mm/N
Kbordé mi maille 1/8 portée	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/8 portée	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/8 portée	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	mm/N
K mi maille mi portée	4,49E-04	4,47E-04	4,45E-04	4,43E-04	4,42E-04	4,40E-04	mm/N
K 1/4 maille mi portée	2,83E-04	2,81E-04	2,79E-04	2,77E-04	2,76E-04	2,74E-04	mm/N
K 1/8 maille mi-portée	1,33E-04	1,31E-04	1,29E-04	1,27E-04	1,26E-04	1,24E-04	mm/N
K mi maille 1/4 portée	4,40E-04	4,38E-04	4,37E-04	4,36E-04	4,35E-04	4,34E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/4 portée	2,70E-04	2,68E-04	2,67E-04	2,66E-04	2,65E-04	2,64E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/4 portée	1,10E-04	1,09E-04	1,08E-04	1,07E-04	1,06E-04	1,05E-04	mm/N
K mi maille 1/8 portée	3,61E-04	3,61E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,60E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/8 portée	2,32E-04	2,32E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,31E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/8 portée	9,81E-05	9,78E-05	9,76E-05	9,73E-05	9,70E-05	9,68E-05	mm/N
Fchoc mi maille mi portée	1,2	2,8	8,1	17,6	37,1	73,6	t
Fchoc 1/4 maille mi portée	1,5	3,6	10,2	22,3	46,9	93,2	t
Fchoc 1/8 maille mi-portée	2,2	5,3	15,0	32,9	69,5	138,6	t
Fchoc mi maille 1/4 portée	1,2	2,9	8,2	17,8	37,4	74,1	t
Fchoc 1/4 maille 1/4 portée	1,5	3,7	10,4	22,8	47,9	95,0	t
Fchoc 1/8 maille 1/4 portée	2,4	5,8	16,4	36,0	75,8	150,9	t
Fchoc mi maille 1/8 portée	1,3	3,2	9,0	19,6	41,1	81,4	t
Fchoc 1/4 maille 1/8 portée	1,7	4,0	11,2	24,4	51,3	101,7	t
Fchoc 1/8 maille 1/8 portée	2,5	6,1	17,3	37,6	79,1	156,9	t
Bordés - Liaisons considérées plastifiées si < 235 Mpa et tout bordé plastifié au delà							σ/F (RdM7)
Bordé mi maille mi portée (MPa	180	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille mi portée (MP	188	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille mi-portée (MP	177	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/4 portée (MP	181	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille 1/4 portée (MI	193	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille 1/4 portée (MI	194	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/8 portée (MP	179	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,38E-02
Bordé 1/4 maille 1/8 portée (MI	201	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,24E-02
Bordé 1/8 maille 1/8 portée (MI	217	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,69E-03
Raidisseurs							
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ mi maille mi portée	18	42	115	244	494	946	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/4 maille mi portée	34	79	219	462	939	1799	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/8 maille mi portée	58	136	375	796	1622	3119	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ mi maille 1/4 portée	21	48	131	276	560	1072	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/4 maille 1/4 porté	39	91	251	531	1077	2061	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/8 maille 1/4 porté	72	167	462	978	1991	3822	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ mi maille 1/8 portée	15	36	98	207	419	802	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/4 maille 1/8 porté	29	67	184	388	786	1502	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/8 maille 1/8 porté	52	120	330	697	1413	2703	MPa

Le groupe de colonne gauche, concerne les éléments isolés, le groupe droit, les couplages toutes raideurs.

Les cases colorées donnent les résultats de choc
- Sans dommage grave en vert
- Avec plastification partielle mais sans brèche probable en orange
- Avec déchirage ou brèche en rouge

Le fichier est joint en annexe avec toutes les valeurs numériques.

COMMENTAIRES

La position du container n'a pas un impact considérable. Pour une collision au-dessus de 5-10° par rapport aux WL et des zones de murailles assez verticales, le déchirage est certain, quelle que soit la zone de choc. Cette occurrence est déjà assez probable. Peut-être, au regard de notre expérience bassin et surtout navigation lorsque l'on voit des objets aspirées sous des voûtes, de l'ordre de 50% ? Seule une étude CFD (Computational Fluids Dynamics, les éléments finis de l'aéro et de l'hydrodynamique) hors-norme ou des études bassins permettraient d'améliorer l'approche. Les bassins travaillant sur les glaces ont peut-être des données.

Pour une collision avec un angle inférieur à 1° dans une zone des murailles assez obliques, il n'y a pas déchirage.

Entre les deux, les zones les plus raides sont les plus rapidement endommagées.

La limite en flexion des bordés est d'abord atteinte mais après plastification, leur résistance est plutôt supérieure à celle d'une membrure de zone égale.

Si l'on tient compte de la magnification des données d'entrée, le risque de brèche en cas de collision est donc supérieur aux ¾. Pour un container 20' également envahi, compte tenu de la racine carrée entre force et énergie, le risque de brèche reste encore supérieur à ½.

Dans les limites du calcul essentiellement traditionnel utilisé ici, il s'avère également que les flèches aux limites de rupture sont assez faibles. Pour des chocs les plus souples, mi portée mi maille, on a des flèches critiques d'environ 35-40 mm. ¼ maille et ¼ bordé, on passe à 20-25 mm et 10-15 mm pour 1/8 maille et 1/8 portée.

La brèche peut donc ne pas être extrêmement visible même si elle est survenue dans les hauts derrière des vaigrages, tuyautages ou accessoires comme déjà évoqué.

CONCLUSION

Evidemment nous avons considéré un container envahi, mais il aurait été plutôt étonnant en cas de collision avec un container même un peu moins rempli que n'apparaisse pas de voie d'eau. Peu rempli, il aurait été signalé par le radar à l'équipage de veille à la passerelle.

L'angle de rencontre et la zone de bordé avec la structure attenante sur laquelle le container heurte le navire révèle avant tout du hasard et de la fortune de mer.

Une éventuelle étude CFD n'apportera sans doute pas beaucoup d'éléments dans la mesure où les angles à partir desquels les risques de brèche apparaissent sont très petits.

En revanche la perte consécutive du navire suite à l'envahissement machine si celui-ci était donné pour ne pas mettre en péril sa flottabilité est plus surprenante. Elle supposerait soit que son étanchéité était incomplète, ce qu'il n'est pas évident que l'équipage ait pu partout détecter, a fortiori dans de telles circonstances, soit que cette donnée fût inexacte. Une étude d'envahissement de la machine et éventuellement des locaux attenants permettrait de progresser sur cette question.

H&T - HERSKOVITS & TOBIE, ARCHITECTURE NAVALE ET INGENIERIE MARITIME
11, rue du Calvaire, 44000 Nantes ; Téléphone 02 40 48 16 66, fax. 02 40 48 04 81 – 11, passage Boudin, 75020 Paris ; Téléphone 01 42 72 32 33

Expert membre de la Chambre des Experts Fluviax- Enseignants à l'Ecole d'Architecture de Nantes, à l'Ecole Centrale Nantes et aux Universités de Nantes et de Lorient

SHOCK CALCULATION NOTE FOLLOWING THE LOSS OF THE VESSEL AVEL VOR

CONTRACTING BODY
BEA MER
Arche Sud - 92055 La Défense cedex - France
Tél. 01 40 81 38 24

Un thonier français coule au large du Liberia

Publié le 29/10/2019 13:32 | Mis à jour le 30/10/2019 14:39

Le thonier-congélateur **Avel Vor** (61 mètres) de l'armement CFTO (groupe Parlevliet et Van der Plas) a sombré dans la nuit du lundi 28 au mardi 29 octobre, au large du Liberia, sans faire de victime parmi les 22 membres de l'équipage.

Le navire, construit en 1991, faisait route vers sa zone de pêche le dimanche 27 octobre au soir quand l'équipage a entendu le bruit d'un choc sur la coque **« avec un objet flottant non identifié à environ 170 milles des côtes »**, indique la Compagnie française du thon océanique (CFTO) dans un communiqué le mardi 29 octobre. **« La salle des machines a été envahie très rapidement et les pompes n'ont pas pu étaler**, poursuit le communiqué de l'armement basé à Concarneau. **Malgré l'intervention de l'équipe machine, le patron a pris la décision d'abandonner le navire en toute sécurité en milieu de nuit. »**

Tout l'équipage a été récupéré sain et sauf par plusieurs navires de la compagnie, le **Sterenn**, puis le **Gueotec** et le **Pendruc**.

L'**Avel Vor** s'est enfoncé progressivement en mer jusqu'à ce qu'il disparaisse, le mardi 29 octobre au matin, du radar du **Pendruc**. Ce dernier reste sur zone pour récupérer les objets flottants susceptibles de perturber la navigation. Il n'y a pas de trace de pollution, selon la CFTO.

Contracting body doc.

SUBJECT

Following the loss of the tuna seiner *Avel Vor* at the end of 2019, the BEAMER, the contracting body, wishes to base its investigation on a structural shock calculation.

The vessel was set to make 10.5 knots, the vessel's declared speed at the time of impact. Calculations aim to approximate the possibilities of a 40' container corner tearing the plating and possibly one or two typical floors-side frames of the after area.

MODE OF INVESTIGATION

The stiffness of the shell plating and the average adjoining structure is modelled in Excel to review a large number of impact cases and to easily integrate the stiffness-shock-force coupling in a parametric way. The Excel shell plating calculations have been verified with *RdM 7* in finite elements. The stiffness is considered infinite for the impacting object, which necessarily aggravates the hypotheses a little but is undoubtedly quite negligible compared to the real for a corner of a container, as shown by the consideration of the vessel stiffness, which has little impact on the results. Especially as, given the results of the force generated by the impact, the hydrostatic pressure on the fairly thick shell plating was neglected for a similar but opposite proportion.

Ship and container movements are approached with the usual coefficients of added mass and reduction by damping in this type of calculation in order to establish the probability of mass-angle risk for the plating bending at the limit of rupture and/or the membrane plating after elastically deformed shape, and the typical stiffener bending at the limit of rupture.

The container could have been pushed by the mass of water itself pushed by the bow and possibly rotated; the rotation seen from above is trigonometric to port and clockwise to starboard. The container is undoubtedly sucked at the stern by the runs, possibly accentuating the rotation, but then when the container collides the hull, if there is a rotation, it reduces the impact speed. Rotation can also worsen the speed if the suction generates a reverse rotation... and furthermore modify the angle of impact, the importance of which is just as crucial.

The rotation speed of the container is therefore neglected given the vessel’s speed.

The shape of the striking object that we initially thought to be also important and which can hardly be grasped, such as shapes blunter or tearing than a corner of a 40' or 50' container that can similarly be imagined, turns out, in the end, to be less important as the results clearly show the rather strong possibility that the imagined impact will pierce or tear the plating and easily break the side frames.

It is, therefore, necessary to remain aware of the limits of this calculation which only allows us to approach orders of magnitude here because with the suction of the run the relative movements remain very uncertain.

The available elements initially provided by the BEAmer suggested that the engine room plating in the flotation zone were 8 mm, and the spacing of the frames 600 mm, but the quality of the scanners and the absence of rigorous data on the setting of the frames made these data uncertain and it would have been a pity to carry out this in itself delicate and somewhat cumbersome structural study on a basis that was so likely to be erroneous.

The design office of the Piriou shipyard has therefore kindly agreed to send us more reliable and sufficient documents, general structure and engine room structure.

The plating is 9 mm thick and the side frames are made of 160 and 140x8 offsets bulb plates.

Piriou shipyard requested that these plans remain confidential, so they have been removed from the V2 of this report.

STRUCTURAL ANALYSIS OF THE SHOCK

Energy related to the shock

The theoretical maximum loaded mass of a 40' container is 30.5 metric tons. However, the container may have filled with water and barely come to the surface. This is even likely because, at 20 or 35 metric tons, the container would probably have been visible on the water surface and the radar display. When full of water, the mass of the container can then reach 83 t in seawater.

This value has been adopted.

In the event of such an impact, the mass of added water must be taken into account. Stelson's method enables the mass of added water to be calculated:

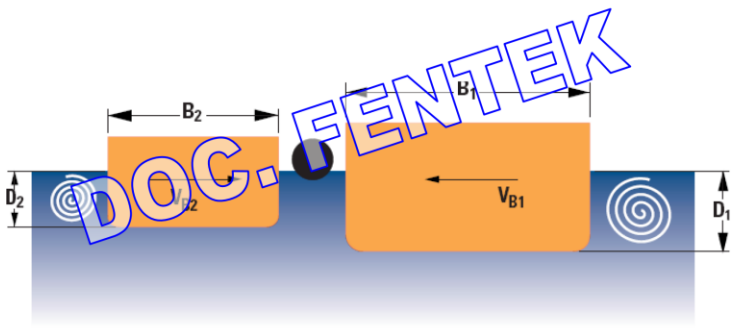
METHODE STELSON ▶

$$C_M = 1 + \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L_{BP} \cdot \rho_{SW}}{4 \cdot M_D}$$

avec,

- D = Tirant d'eau (m)
- L_{BP} = Longueur entre perpendiculaires (m)
- ρ_{SW} = Densité de l'eau de mer = 1.025
- M_D = Déplacement du navire (t)

A noter que C_M doit être calculé pour les deux navires.



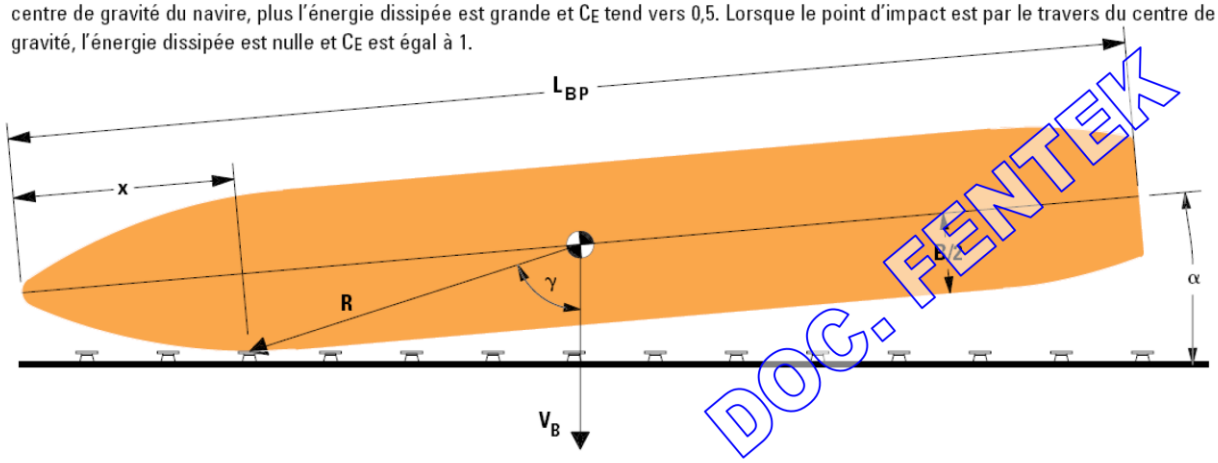
DOC. FENTEK

It is then coupled for the two floating bodies, i.e. $M_{coupling} = M_1C_{m1}M_2C_{m2}/(M_1C_{m2}+M_2C_{m1})$

On the other hand, the movement of the container is taken into account during the impact with the eccentricity coefficient:

COEFFICIENT D'EXCENTRICITE (C_E)

Le coefficient d'excentricité prend en compte l'énergie dissipée par la rotation du navire autour de son point d'impact. Plus on s'éloigne du centre de gravité du navire, plus l'énergie dissipée est grande et C_E tend vers 0,5. Lorsque le point d'impact est par le travers du centre de gravité, l'énergie dissipée est nulle et C_E est égal à 1.



DOC. FENTEK

Pour déterminer le coefficient d'excentricité, il faut d'abord calculer K, le rayon de giration longitudinal ; R, la distance du centre de gravité au point d'impact ; et γ, l'angle entre R et V_B, composante orthogonale au quai du vecteur vitesse V, en utilisant la formule suivante :

$$C_E = \frac{K^2 + (R^2 \cdot \cos^2(\gamma))}{K^2 + R^2}$$

$$K = [(0.19 \cdot C_B) + 0.11] \cdot L_{BP}$$

$$R = \sqrt{\left[\frac{L_{BP}}{2} - x\right]^2 + \left[\frac{B}{2}\right]^2}$$

$$\gamma = 90° - \alpha - \sin^{-1}\left[\frac{B}{2 \cdot R}\right]$$

avec,

- C_B = Coefficient de bloc
- L_{BP} = Longueur entre perpendiculaires (m)
- x = Distance de l'étrave au point d'impact
- B = Largeur du navire (m)
- α = Angle d'accostage (°)

In general, the flow velocities in the stern regions are slightly higher than those of the vessel, for a shape wake coefficient of 1.1, there comes a velocity of about 11 knots.

This value has been adopted.

α, the angle of the impact is naturally unknown, but it should be, a priori, small. Impact angles of up to 30° distributed in an arithmetic sequence were first considered and then reduced to 20° with a geometric progression (almost to avoid thousandths) given the results.

The value α is to be considered in the horizontal plane of the impact between plating and floating object.

From there the energy of the shock is calculated perpendicular to the water lines (trajectory of the floating body in the horizontal plane), and also tangential and total, but this has no impact on the calculation up to the tearing and possible dragging of the object over a few metres, which must not have been the case since the water leak was not far from being under control.

At this stage, the calculation file is as follows down to the last 3 lines:

Container "in its lines"	feet	Container	Avel Vor		E_{young} steel	210000	MPa
L (length)	**40**	12,19	55,7		Approx. $E_{plast.}$ Steel	21000	MPa
B (Breadth)	**8**	2,44	12,4		$\sigma_{0,02}$ E235	235	MPa
T (Draught)	**9**	2,74	4,66		σ_R E235	340	MPa
Disp full of water/loaded		81,55	1591,2	m3			
Mass		83,59	1631	t			
Cb		1	0,49				
$Cm_{added\ water}$ (Stelson's Method)		1,88	1,60				
Mcoupling		127,94	127,94	t			
K		3,66		m			
R		6,22		m			
V shock	11	5,66		Kn ; m/s			
Angle of shock α	0,5	1	2,5	5	10	20	°
γ	78,2	77,7	76,2	73,7	68,7	58,7	°
Ceccentricity	0,29	0,29	0,30	0,32	0,36	0,46	
Eshock perp. Hal	0,04	0,18	1,17	4,91	21,94	109,69	kJ
Eshock tang. Hal	590,45	595,74	612,29	641,85	705,78	828,01	kJ
Eshock total	590,49	595,92	613,45	646,76	727,72	937,70	kJ
Angle plating β	40	50	60	70	80	90	°
Eshock perp real	0,02	0,11	0,88	4,34	21,28	109,69	kJ
F for dpct. 1 **cm**	0,19	1,09	8,92	44,22	216,94	1118,14	t

The last three lines correspond to the transition from the horizontal coordinate system of the impact in the plane of the waterline to a coordinate system related to the plating, i.e. the component of the force perpendicular to the plating that causes bending. The β angle corresponds to the measure of the curve of the floors or frames, usually considered according to yy', so 90° corresponds to the vertical parts of the plating at the top of the engine room or at the bottom of the keel. The β angle measured on the engine room sections varies from about 40 to 90° at the top of the engine room towards the tween deck and the waterline.

We had initially imagined a fairly low impact, without which the crew would probably have seen the water leak, but in fact, the results in terms of deflection-deformed shape can also suggest that the breach and the water leak, even fairly high, could have gone unnoticed behind a side ceiling or various installations.

Of course, the more vertical the plating, the greater the force generated by the impact. An analysis in 10° steps from 30-40 to 90° was therefore chosen. As we shall see later, the location where the UFO hits will further increase the number of case studies. Now we already have 6 angles α and 6 angles β. Scanning all 6 β for each angle α would have led to 36 different energies per position of the container, then 58 cases of stresses per energy, as developed below. We would thus arrive at 2088 cases of stress or critical F_{shock} to be multiplied by 2 or 3 positions of the container, with largely overlapping cases for intermediate α and β angles.

In order to make the results more readable and to limit the stress calculations per container position or critical F_{shock} to 348, it was decided to "magnify" the data and results by associating the weakest α and β angles, the average and the strongest between them (i.e. from α 0.5° and β 40°, ..., α 5 and β 70, ..., to 20-90°), all intermediate cases being of course in the "holes" between these pairs. We, therefore, have one-sixth of the values and a representative sample.

Force, deformed shape and impact-related stress

The force generated by the shock is proportional to the square root of the energy divided by the sum of the stiffness or rigidity at the point of impact, which explains the multiplication of cases.

Three stiffnesses have to be considered:

- Shell plating
- Structures
- Vessel girder

Obviously, the stiffness is not the same on a plating panel impacted in the middle or near a frame. The same applies to a frame near a stringer or near its mid-span and to the reaction of one or two frames depending on the impact position on the plating (only one frame if the impact is right beside the frame, up to 2 frames if the impact is just in the middle of the frame spacing). Finally, the vessel will react by lurching and yawing, or even heaving, heeling and pitching if β is slight, and the components of hull stiffness in rotation vs. midship perpendicular vary according to the longitudinal position of the impact.

But fortunately for the plethora of results, the stiffnesses of the shell plating are, depending on the impact zone, of the order of magnitude 10^{-4} - 10^{-5}, the current stiffeners 10^{-4} - 10^{-5} and the vessel 10^{-7} mm/N. This makes it possible to reduce and simplify some hypotheses despite the addition of a new problem: As can be seen on the engine room structure plan on page 3, the gasoil tank plates at mid-height are incomparably stiffer than the frames above the capacities, and the small sampled floors ditto frames of the aft section of the engine room.

The ship girder was therefore taken into account for an average value of a mid-engine room impact vs. midship perpendicular according to console stiffness. The approximation is rather rough but its impact, roughly 1000 times less important than the flexibility of the plating on the generated force, does not justify more precision.

We can then consider the following representative cases of point of impact:

- On a plating
    - Either a very stiff panel at the bottom of the hull in the hull springs or equivalent or even in the sides of the gasoil tank plates but apart perhaps from a dry aft bilge space, it seems that we are in watertight tanks which would not have generated flooding but possibly seawater in capacities.

      For such a panel, the stiffness of the structures and vessel is negligible, all the more so given the various other unknowns aforementioned.
    - Or a much lighter 140-160 offset bulb plate stiffener, in which case the plating stiffness+Pb/Hp must be taken into account.

– On a frame itself, or extremely close to it, and in any case, it is important to check whether the frames break before the plating is torn even for impacts "first" impacting the plating.
– Perpendicular to a primary structural node. A case that is difficult to approach in the scope of this study but whose stiffness would be such that the colossal force would inevitably generate a "crumpling" such that the plating would not be able to remain watertight for a shock at 11 Knots of more than one or two degrees along the WLs.

Therefore, the following calculations include,
– Shell plating alone (without structural stiffness) in areas where structural flexibility is negligible, primary stiffening and capacities as mentioned,
– calculations on the transverse structure (with vessel stiffness) in the event of an impact affecting it first, especially as a stiffer frame can break before the plate tears,
– then the combination of the three stiffnesses in the areas, as it is for the most part, where the coupling can attenuate the shock (upper deformed shape).

Finally, once these data have been finalized, the container is approached by three positions, as the coefficient equations model rather poorly askew positions:

- "In its lines",
- "Vertical",
- "Athwart".

As we shall see, the results remain fairly similar, but worsen significantly in the same order.

On the other hand, swapping width and height, the 8 and 9 feet of the yy' and zz' in the normal lines, changes almost nothing. The results are presented, however, for the very slightly worse of the l-h container swap configurations for each global position.

It is still left to recall some of the components of the material resistance calculation.

Shell plating

A metal vessel's plating is usually calculated as "half-embedded – half-supported" pressure. Bearing in mind that M_{max} hydrostatic supported $=pL^2/8$ and M_{max} hydrostatic built-in $=pL^2/12$, we usually use M_{max} sample $= pL^2/10$. See on this subject for more details "*Architecture navale*" by *Dominique Paulet and Dominique Presles, Editions de l'Ecole d'architecture de Paris la Villette.*

By analogy, the shell plating is calculated in the same way for the impact, but the stiffness calculations are more complicated for a semi-embedded structure, so it was decided to average the support-ball results and the support-embedment results by dissociating the calculations first and then using the stress and deflection results.

However, it should be pointed out that for an embedding, the maximum stress is almost always at one of the two embedments and that when the limits are slightly exceeded, even if only beyond $n.10^{7-8}$ fatigue cycles for steel (buckling patterns on vessels' bow), and in our case when the impact stress exceeds 235 MPa, the support on the stiffeners or at least the most stressed (impact side) becomes plastic and becomes a ball joint. The second embedment follows in principle and the panel then behaves as a simple support (hence the state of the art 30° chamfers in shipbuilding at the end of stiffeners connected without brackets).

For a hydrostatic calculation, an associated strip of plating between stiffeners is considered. In our case, it is still necessary to distribute the shock in height. A strip of the same height as the span has been chosen in relation to our literary and experimental culture. In reality, the height decreases as one

approaches a stiffener on this side and increases on the other, but this approach has been confronted with a finite element calculation for shocks at different % of the frame spacing, see graphs below, and has proven to be a little flexible in terms of stiffness, about 10-20%, but very sufficiently correct (< 5%) in stress not to be corrected for plating alone calculations. On the other hand, since the stiffnesses for the coupled calculations give a direct result on the plating, the stiffnesses resulting from the FE calculation are integrated into the coupled calculations. So for plating alone calculations:

Shell plating 9 mm

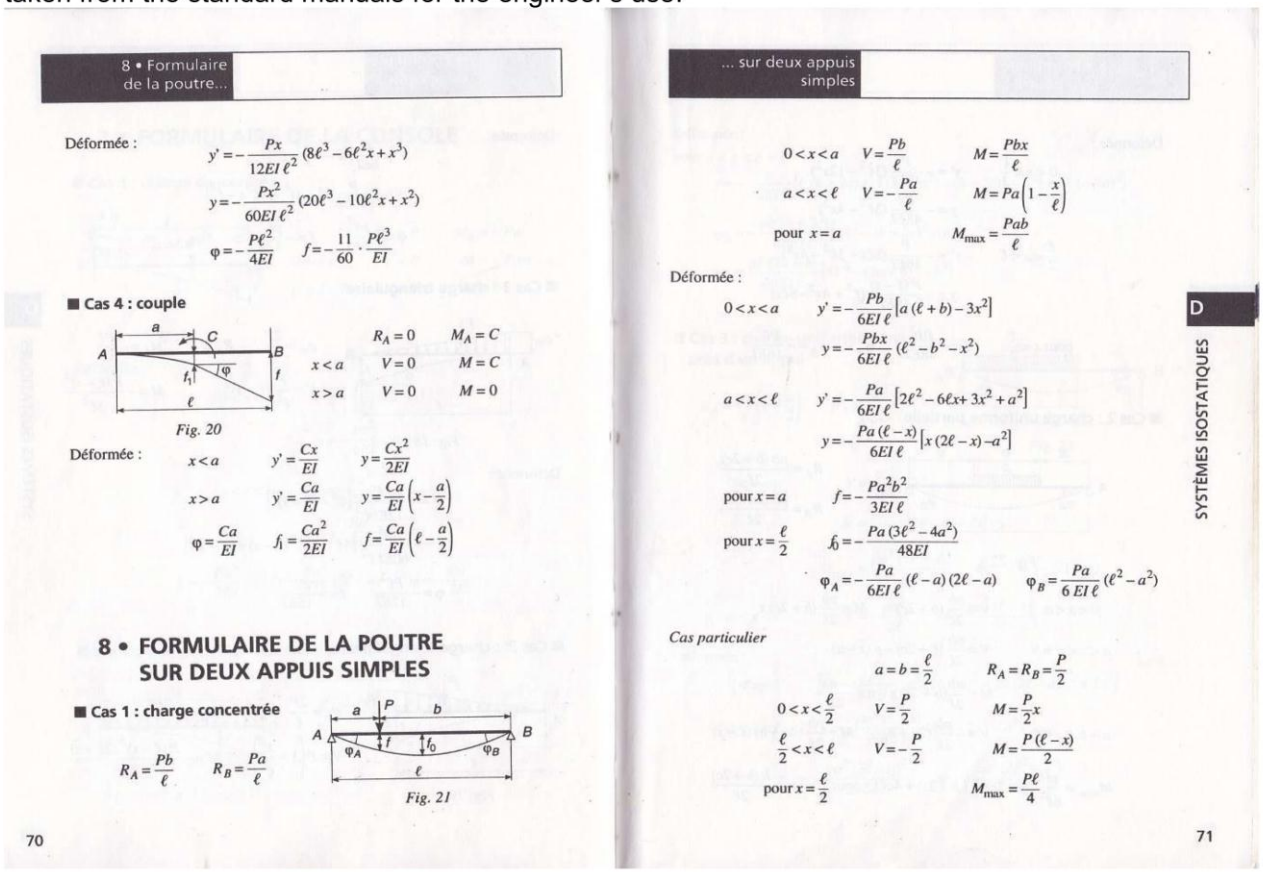
E 600 mm => h or b (in RoM) = E = 600 mm

$I = h\ ép^3 / 12 = 600 \times 9^3 / 12$

However, this approach based on the deflection calculation corresponds to the elastic limits results for the rest of the panel - or stiffener, i.e. for E24 steel in which the vessel is built at a stress rate of 235 MPa. In principle, no one would mess around with dimensioning structures or vessels beyond elastic limits.

But here again, the literature and experience make it possible to approach the plastic behaviour of the plating which, beyond the elastic limit, gradually diffuses into the element and behaves like a cord or membrane (respectively 2 and 3D), or like a triangle or pyramid for a point impact. The biggest unknown for an impact calculation is that it is necessary to pass through the maximum elongation at rupture to know the corresponding deflection and to be able to determine the maximum force and stress, thus passing through the equivalent of the mean Young's modulus after elastic zone, ductile modulus or plastic modulus. For common steel, according to the literature and the abundant curves available on the net, the slope at plasticization is of the order of 1/8 to 1/12th of that in the elastic phase. We have chosen one-tenth.

The unit stiffnesses or deformed shapes, as well as the stresses calculated from the moments, are taken from the standard manuals for the engineer's use:



8 • Formulaire de la poutre...

Déformée :

$$y' = -\frac{Px}{12EI\ell^2}(8\ell^3 - 6\ell^2 x + x^3)$$

$$y = -\frac{Px^2}{60EI\ell^2}(20\ell^3 - 10\ell^2 x + x^2)$$

$$\varphi = -\frac{P\ell^2}{4EI} \qquad f = -\frac{11}{60}\cdot\frac{P\ell^3}{EI}$$

■ Cas 4 : couple

Fig. 20

Déformée :

$x < a$: $y' = \frac{Cx}{EI}$; $y = \frac{Cx^2}{2EI}$

$x > a$: $y' = \frac{Ca}{EI}$; $y = \frac{Ca}{EI}\left(x - \frac{a}{2}\right)$

$$\varphi = \frac{Ca}{EI} \qquad f_1 = \frac{Ca^2}{2EI} \qquad f = \frac{Ca}{EI}\left(\ell - \frac{a}{2}\right)$$

8 • FORMULAIRE DE LA POUTRE SUR DEUX APPUIS SIMPLES

■ Cas 1 : charge concentrée

$$R_A = \frac{Pb}{\ell} \qquad R_B = \frac{Pa}{\ell}$$

Fig. 21

70

... sur deux appuis simples

$0 < x < a$: $V = \frac{Pb}{\ell}$; $M = \frac{Pbx}{\ell}$

$a < x < \ell$: $V = -\frac{Pa}{\ell}$; $M = Pa\left(1 - \frac{x}{\ell}\right)$

pour $x = a$: $M_{max} = \frac{Pab}{\ell}$

Déformée :

$0 < x < a$:

$$y' = -\frac{Pb}{6EI\ell}\left[a(\ell + b) - 3x^2\right]$$

$$y = -\frac{Pbx}{6EI\ell}(\ell^2 - b^2 - x^2)$$

$a < x < \ell$:

$$y' = -\frac{Pa}{6EI\ell}\left[2\ell^2 - 6\ell x + 3x^2 + a^2\right]$$

$$y = -\frac{Pa(\ell - x)}{6EI\ell}\left[x(2\ell - x) - a^2\right]$$

pour $x = a$: $f = -\frac{Pa^2b^2}{3EI\ell}$

pour $x = \frac{\ell}{2}$: $f_0 = -\frac{Pa(3\ell^2 - 4a^2)}{48EI}$

$$\varphi_A = -\frac{Pa}{6EI\ell}(\ell - a)(2\ell - a) \qquad \varphi_B = \frac{Pa}{6EI\ell}(\ell^2 - a^2)$$

Cas particulier

$a = b = \frac{\ell}{2}$: $R_A = R_B = \frac{P}{2}$

$0 < x < \frac{\ell}{2}$: $V = \frac{P}{2}$; $M = \frac{P}{2}x$

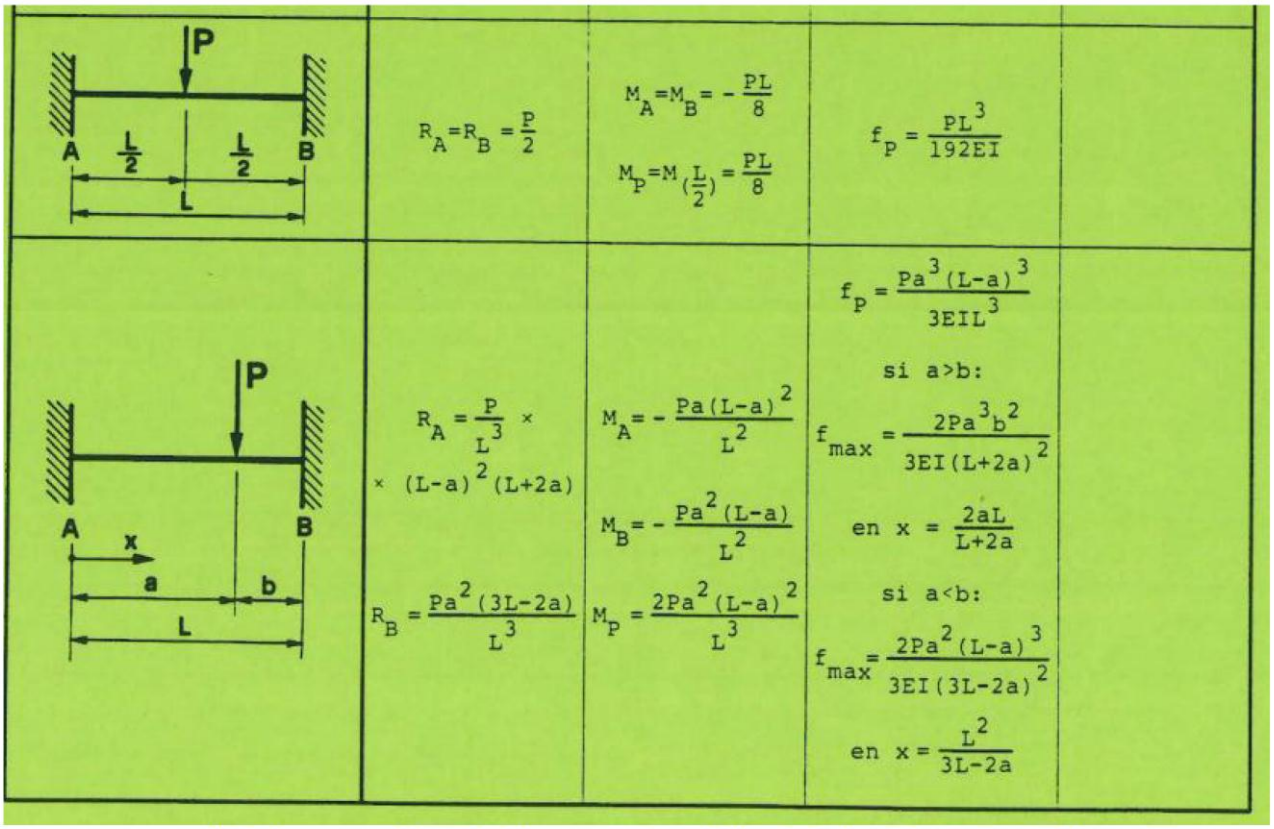
$\frac{\ell}{2} < x < \ell$: $V = -\frac{P}{2}$; $M = \frac{P(\ell - x)}{2}$

pour $x = \frac{\ell}{2}$: $M_{max} = \frac{P\ell}{4}$

D SYSTÈMES ISOSTATIQUES

71

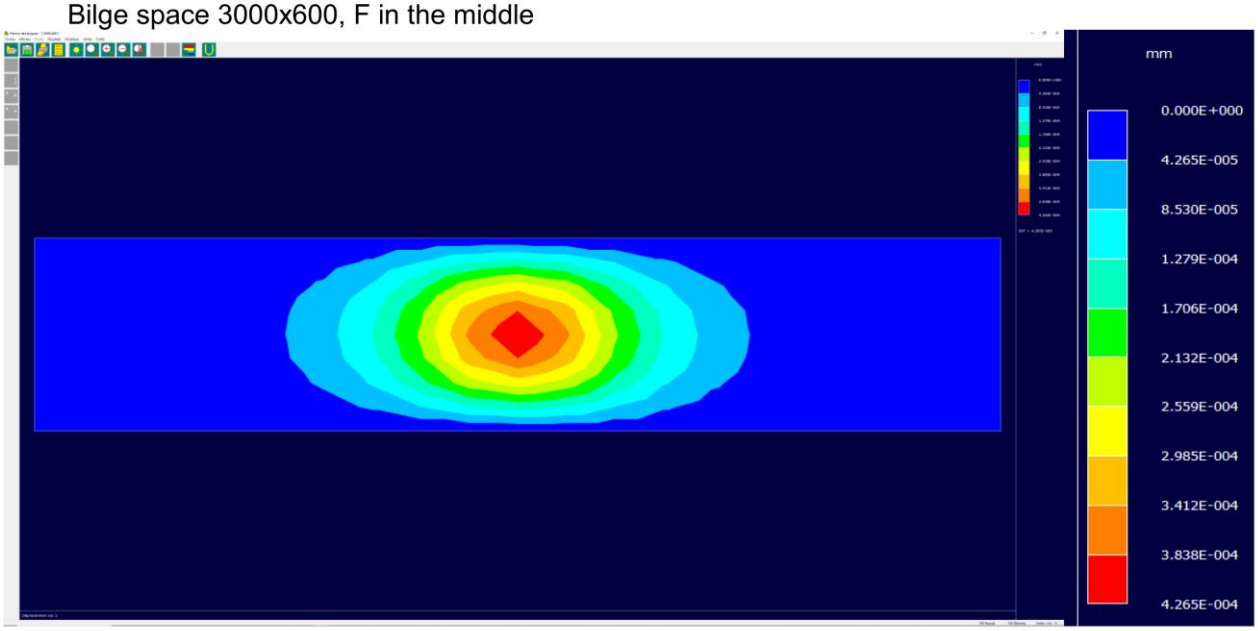
(Simple support - Dunod, Structural mechanics Resistance of Materials)



Embedding - http://www.corminboeuf.net/resources/Formulaire-de-statique-barres---vert.pdf

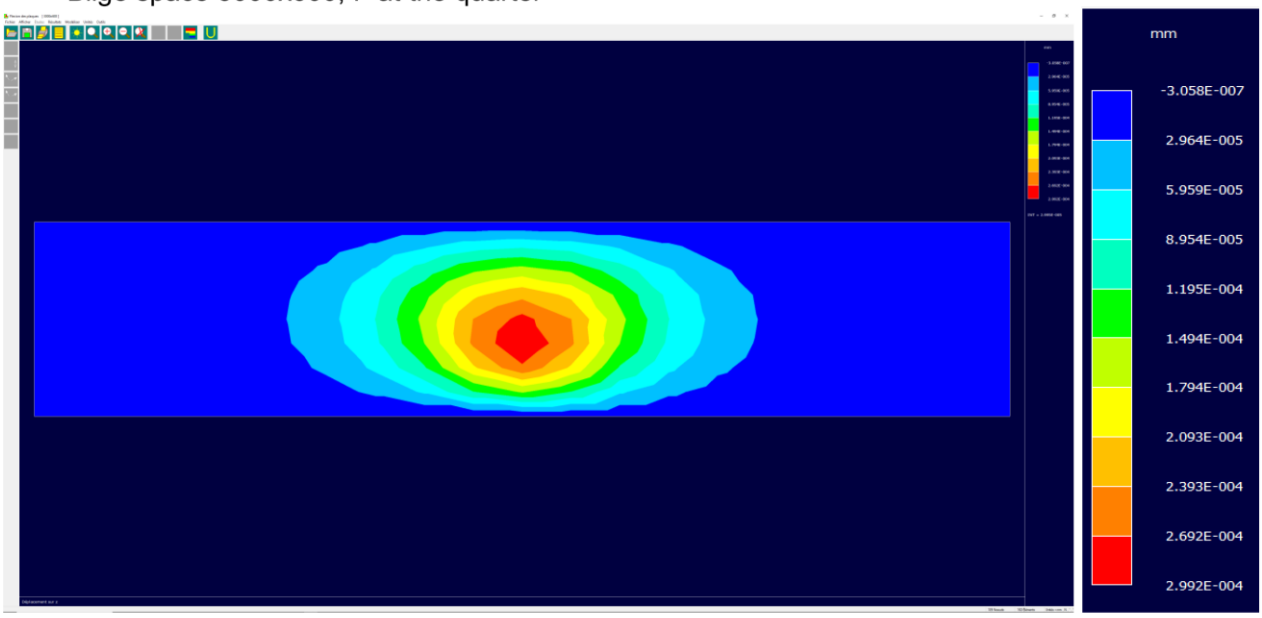
The finite element basis makes it possible to determine edge effects a little more precisely than traditional calculations. Below are the nine calculation bases for the combinations half-space/quarter-space/eighth-space and half-span/quarter-span/eighth-span, for an average panel of 3 m, by 600 mm of course:

Bilge space 3000x600, F in the middle



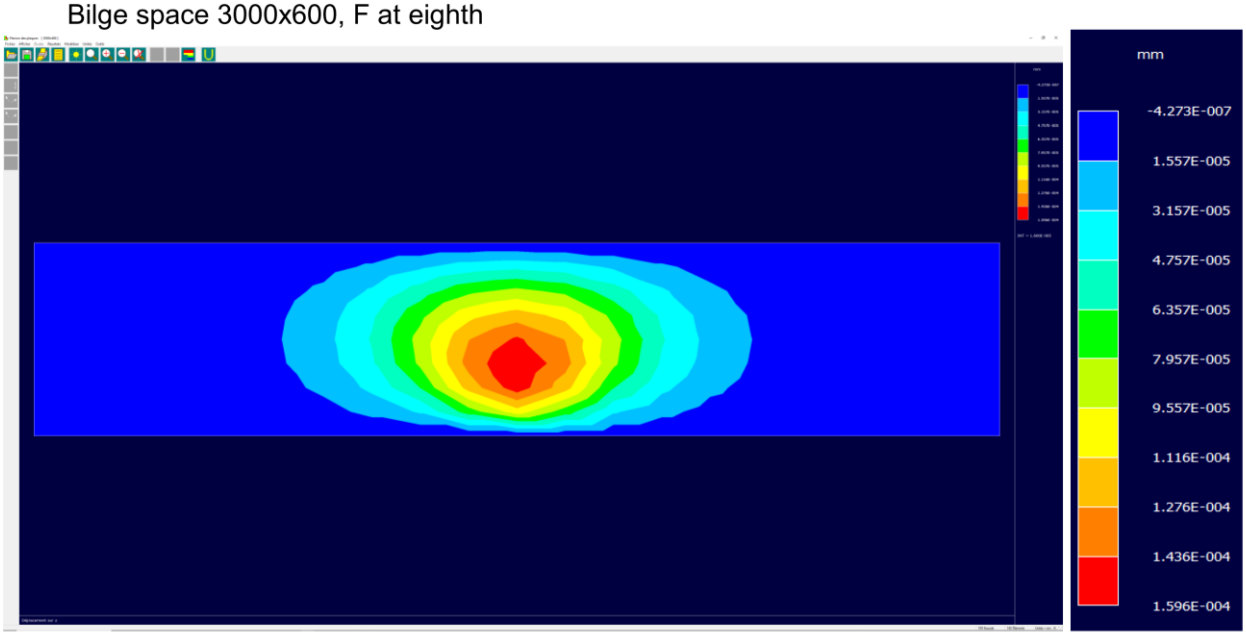
Deflection 4.26.10-4 mm/N - Sigma eq. Tresca1.54.10-2 MPa/N

Bilge space 3000x600, F at the quarter



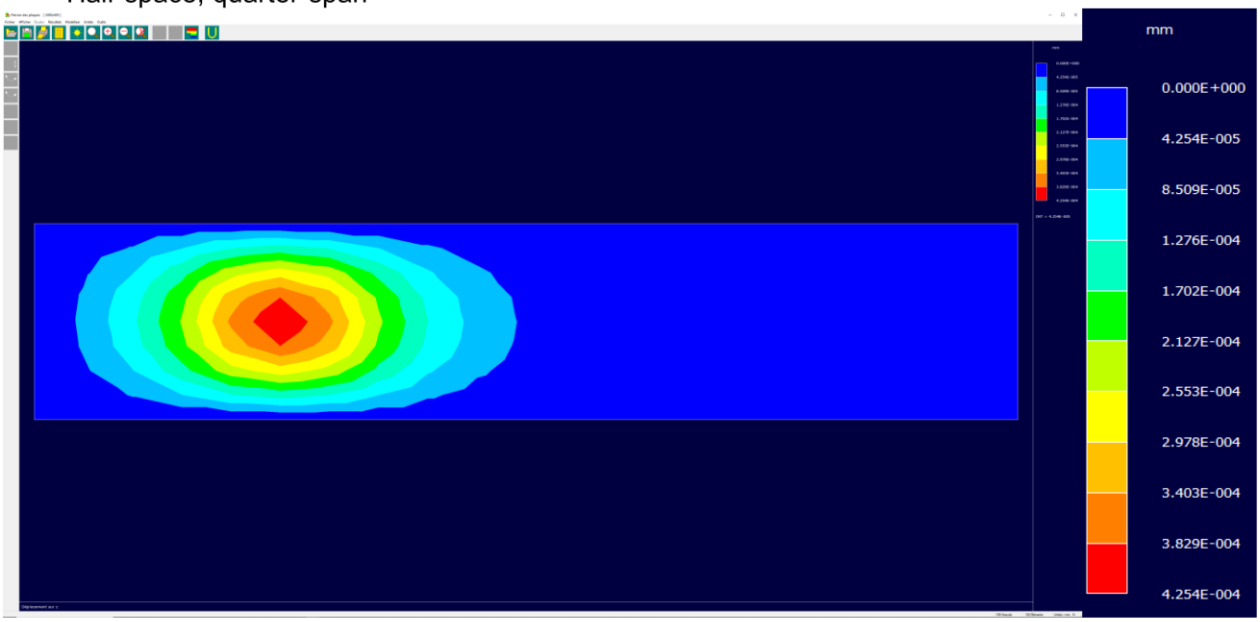
Deflection at impact point 2.6.10-4 mm/N - Sigma eq. Tresca 1.28.10-2 MPa/N

Bilge space 3000x600, F at eighth



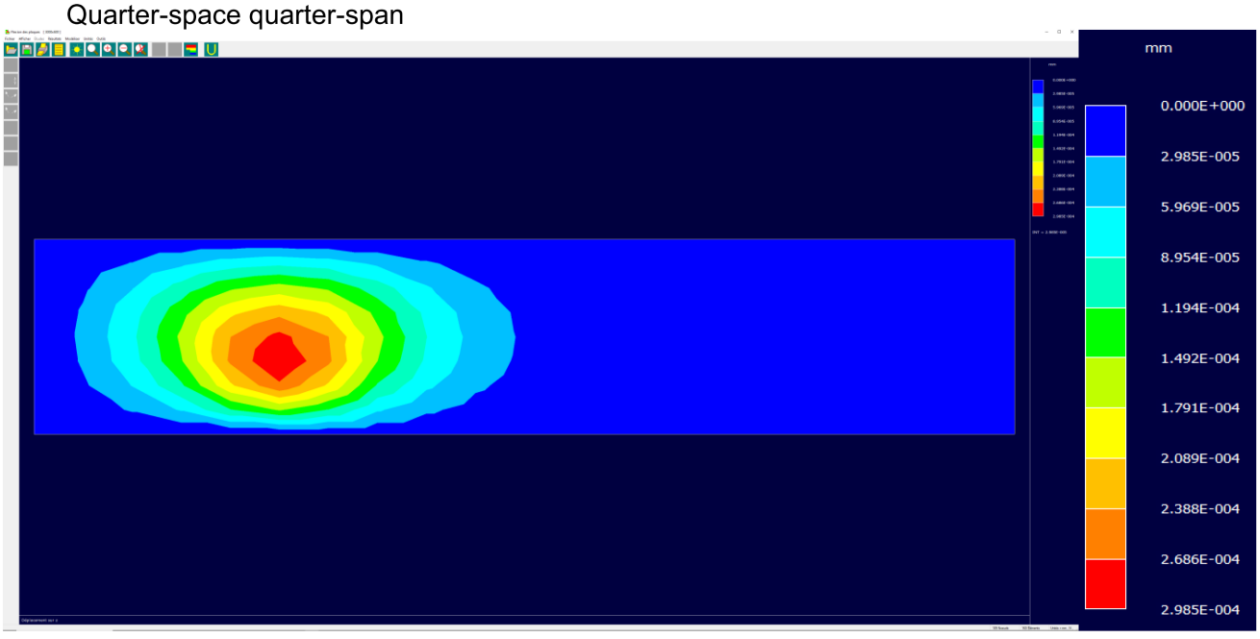
Deflection at impact point 1.10-4 mm/N - Sigma eq. Tresca 8.25.10-3 MPa/N

Half-space, quarter-span



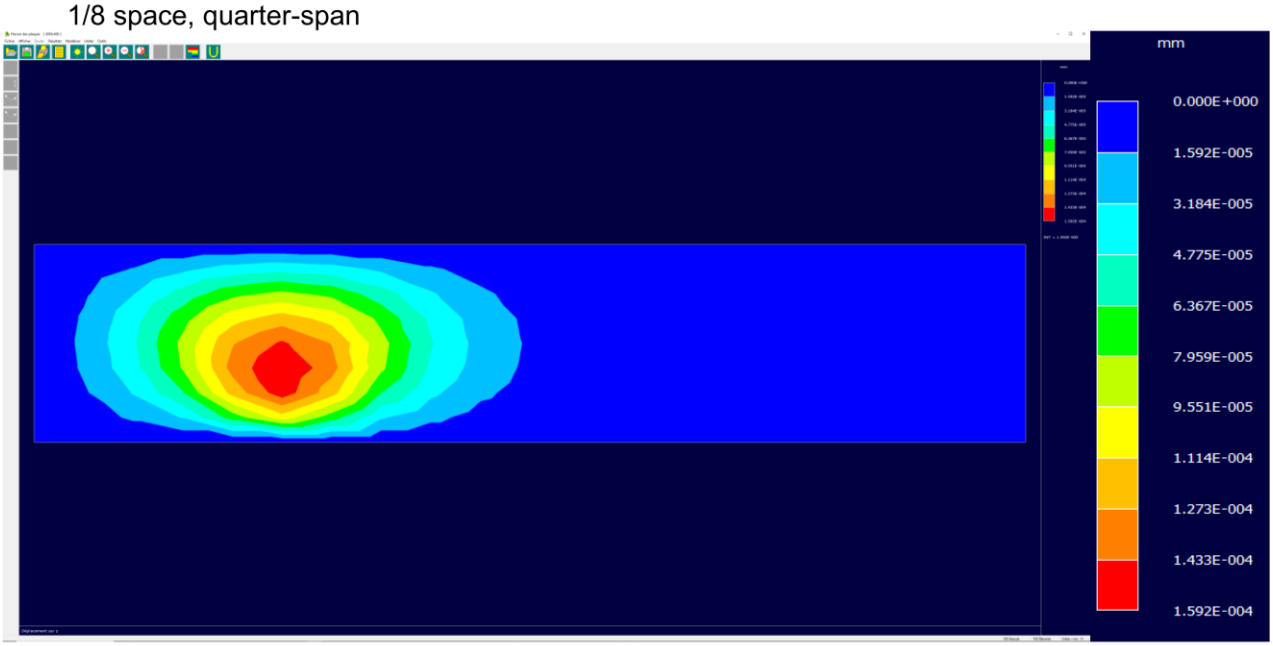
Deflection at impact point 4.25.10-4 mm/N - Sigma eq. Tresca 1.54.10-2 MPa/N

Quarter-space quarter-span



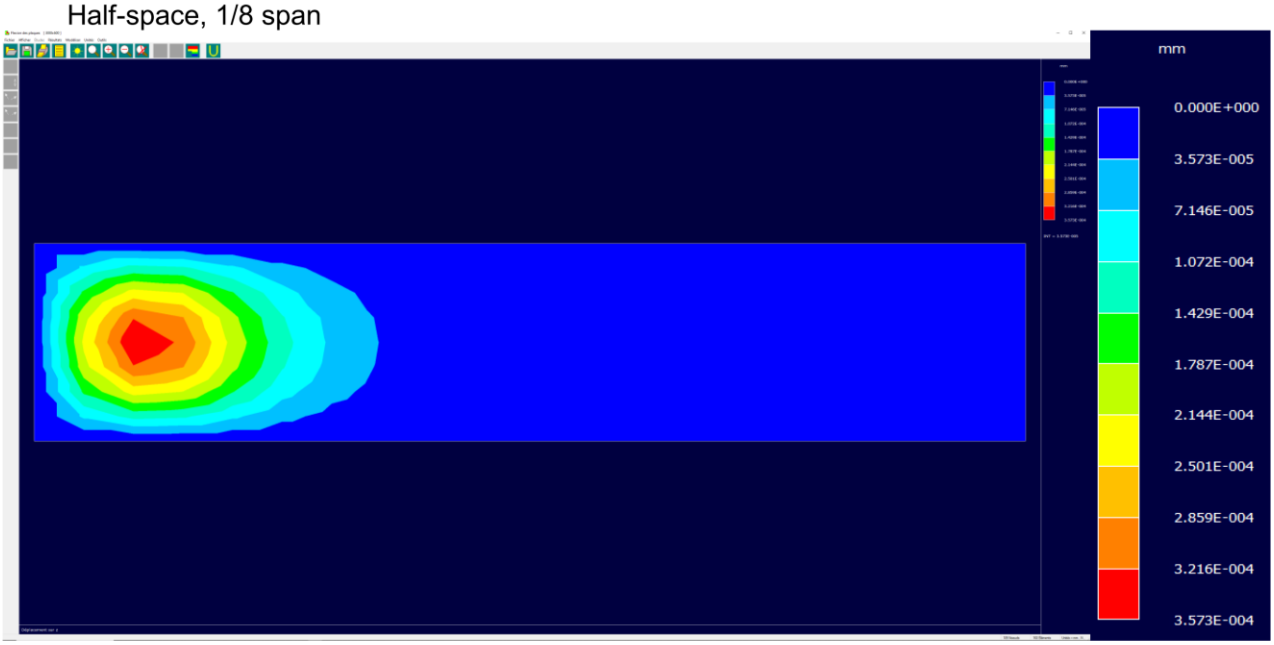
Deflection at impact point 2.55.10-4 mm/N - Sigma eq. Tresca 1.28.10-2 MPa/N

1/8 space, quarter-span



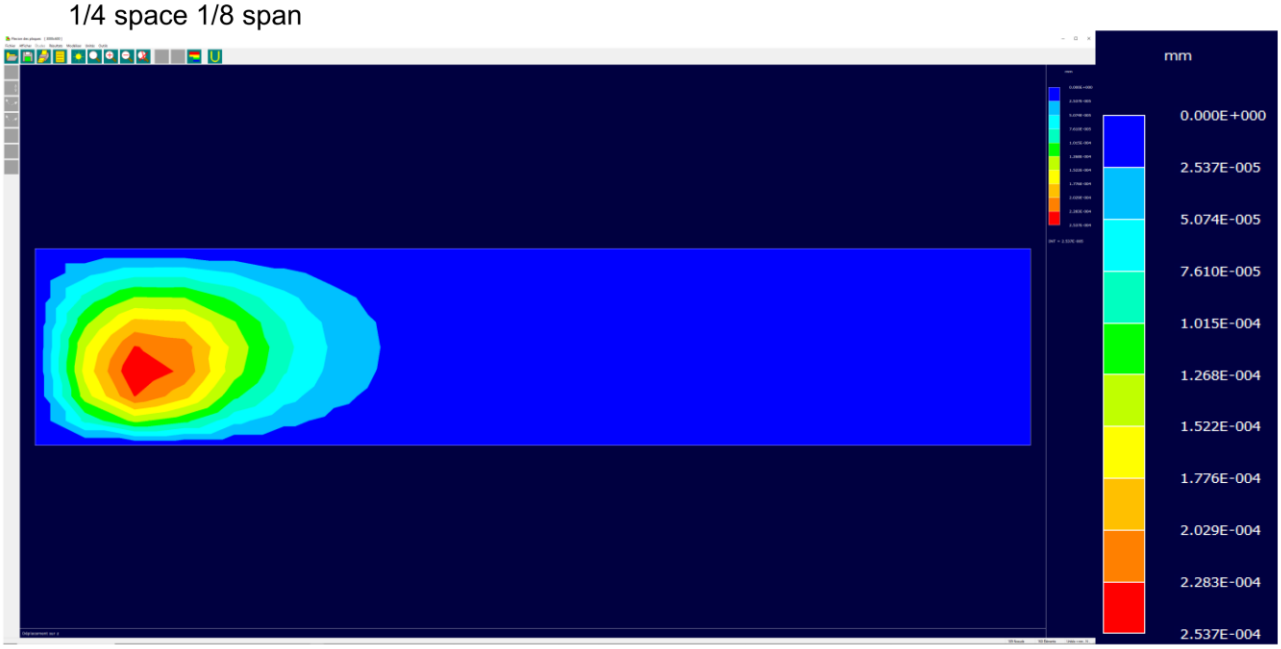
Deflection at impact point 9.55.10-5 mm/N - Sigma éq. Tresca 8.25.10-3 MPa/N

Half-space, 1/8 span



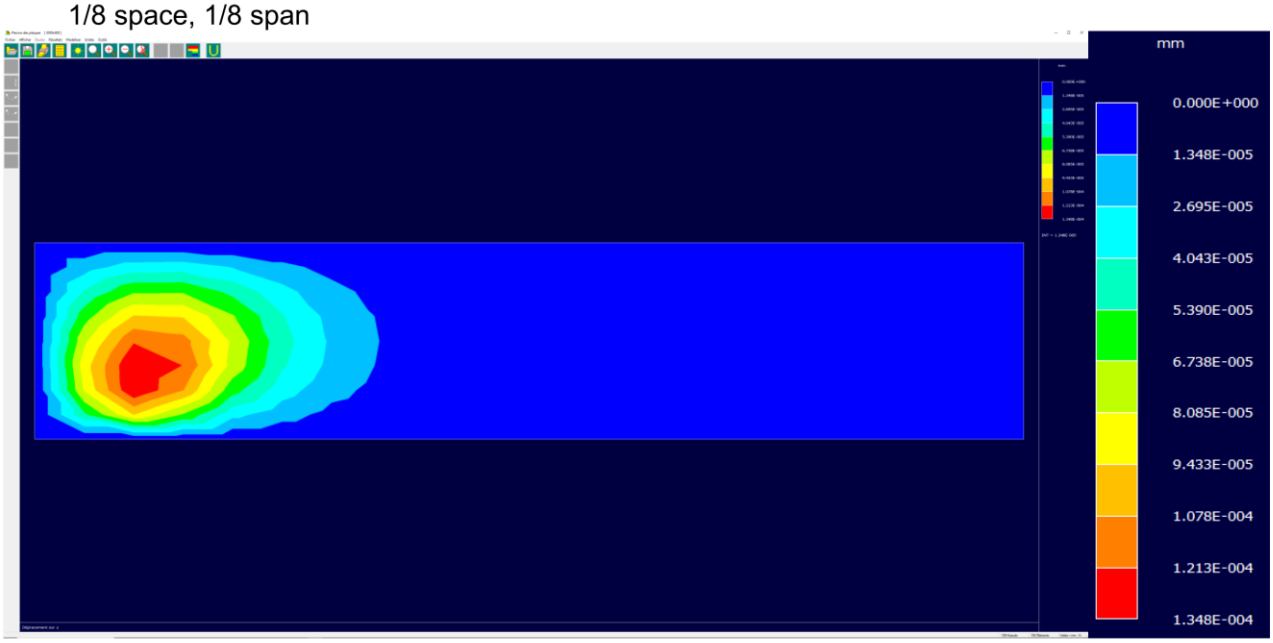
Deflection at impact point 3.57.10-4 mm/N - Sigma eq. Tresca 1.38.10-2 MPa/N

1/4 space 1/8 span



Deflection at impact point 2.28.10-4 mm/N - Sigma eq. Tresca 1.24.10-2 MPa/N

1/8 space, 1/8 span



Deflection at impact point 9.43.10-5 mm/N - Sigma eq. Tresca 8.69.10-3 MPa/N

Stiffeners

The stiffeners are all recessed with gussets and calculated as such.

For calculations without stiffness coupling, frame alone, the calculation is always on a single stiffener.

For the global calculations of standard areas, the variation in stiffness and resistance following an impact of the half to one-eighth of a bilge space is always taken into account.

For this construction by Piriou in Concarneau, the offset bulb plates are considered to be of the French type:

C.D. : 669.14 – 42 mars 1969

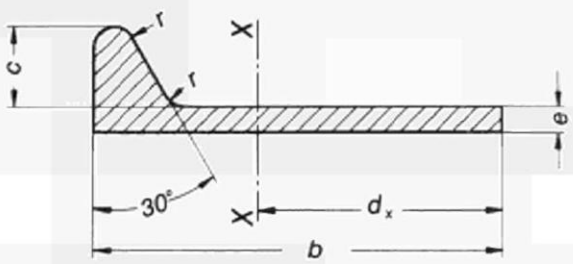
COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE DU CHARBON ET DE L'ACIER
COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES
COMMISSION DE COORDINATION DE LA NOMENCLATURE DES PRODUITS SIDÉRURGIQUES

Ancienne édition :

Rectificatif :

Plats à boudin laminés à chaud

EURONORM 67 – 69



Désignation abrégée	Poids *)	Section	Dimensions				Distance du centre de gravité	Caractéristiques rapportées à l'axe neutre x – x		Moment de résistance **)
			b	e	c	r	d_x	I_x	$\frac{I_x}{d_x}$	R_x
	kg/m	cm²	mm				cm	cm⁴	cm³	cm³
80 × 5	4, 9	5,71	80	5	16	4	5,02	35,5	7,06	22,9
× 7	5,'4	7,31		7			4 80	·5,3	9,44	28,0
100 × 6	6,-1	8,17	100	6	18	4,5	6 15	80,2	13,0	39,4
× 7	7, 0	9,17		7			6,02	89 8	14,9	43,2
120 × 6	7,83	9 98	120	6	20,5	5	7,46	142	19 1	57,8
× 8	9,72	12,4		8			7,18	175	24,4	68,5
140 × 7	'0·4	13,3	140	7	23	5,5	8,61	258	30,0	87,6
× 8	11 5	14,7		8			8,45	284	33 6	94,7
× 7	12 2	15,5		7			9 92	362	39,8	119
160 × 8	13,5	17,1	160	8	26	6	9 79	437	44,6	128
× 9	14,7	18,7		9			9 64	475	49,5	137
180 × 8	15,6	19,9	180	8	29	7	11,2	643	57,4	170
× 10	18,5	23,5		10			10,9	755	69,5	193
× 9	19,5	24,9	200	9	32	8	12,4	989	79,6	233
200 × 11	'2,7	28,9		11			12,1	.140	94,5	261
× 12	24,2	30,9		12			12,0	.220	102	275
× 9	22 2	28,3	20	9	35,5	9	13,9	1.360	97,8	297
220 × 11	25,7	32 7		11			13,5	1 570	116	330
× 12	27,4	34,9		12			13,4	1 670	125	347
240 × 10	26 8	34,	240	10	38,5	10	15,1	1 950	129	387
× 12	30,6	38,9		12			14,7	2 220	151	426
260 × 10	29,8	37,9	260	10	41,5	11	16,6	2 540	153	469
× 12	33,8	43 1		2			16,2	2 890	179	516
280 × 11	35,0	44,6	280	11	44,5	12	17,8	3 470	195	589
× 12	37 2	47,4		12			17,6	.690	210	616
× 11	38,6	49,1	300	1	48	13	19,3	4.360	226	702
300 × 12	40,9	52,1		12			19,1	4.640	244	732
× 13	43,3	55,1		13			18,8	4 910	261	763
320 × 12	44,5	56,8	320	12	51	14	20,5	5 740	280	856
× 13	47,1	60,0		13			20,3	6.070	299	890
340 × 12	48,5	61,8	340	12	54,5	15	22,0	7.030	319	999
× 13	51,2	65,2		13			21,8	7 440	341	1.040
370 × 13	57 2	72,9	370	13	59	16,5	24,0	9.810	409	1.270
× 15	63,1	80,3		15			23,5	10.860	462	1.360
400 × 14	67,0	85,3	400	14	64	18	26,0	13.400	515	1.600
× 16	73,2	93,3		16			25,5	14.730	578	1.710
430 × 15	77,2	98,3	430	15	68,5	19,5	27,9	17.830	638	1.970
× 17	83,9	107		17			27,4	19.490	710	2 090

*) Calculé avec 7,85 kg/dm³.
**) Moment de résistance des plats à boudin avec tôle associée de largeur 610 mm et de même épaisseur e.

Their mechanical properties with an associated 600 mm plating are as follows:

140x8	160x8
---------- AREAS ---------- Area: 6865.75 Perimeter: 1530.74 Contour zone: X: -300.68 -- 299.32 Y: -23.51 -- 125.49 Centre of gravity: X: 0.00 Y: 0.00 Moments of inertia: X: 12 021 012.74 Y: 162 079 382.83 Products of inertia: XY: 551174.15 Radius of gyration: X: 41.84 Y: 153.65 Principal moments and X-Y directions around the centre of gravity: I: 12018988.27 along [1.00 0.00] J: 162081407.30 along [0.00 1.00]	---------- AREAS ---------- Area : 7113.49 Perimeter: 1575.15 Contour zone: X: -300.90 -- 299.10 Y: -29.17 -- 139.83 Centre of gravity: X: 0.00 Y: 0.00 Moments of inertia: X: 18 042 043.90 Y: 162 116 724.71 Products of inertia: XY: 840090.65 Radius of gyration: X: 50.36 Y: 150.96 Principal moments and X-Y directions around the centre of gravity: I: 18 037 145.43 along [1.00 0.01] J: 162 121 623.02 along [-0.01 1.00]

Vessel girder

The transverse component of the impact causes the ship to slew around the C48, PPM 14.4 m further forward.

Engine room from C15 to C32 => To integrate the vessel's girder into the impact, we use an average action at C24.

Hence the inertia and mean modulus of the vessel in the engine room close to C36 I_{xz} and W_{xz}:

ABSOLU								M	
		COEF / L	L	LARGEUR				Sigma	0
BORDÉ ASSOCIÉ		0,20	35000,00	7000,00					
		LARGEUR	HAUTEUR	SURFACE	d / base	produit dS	bh3/12	sd2	I; I/v ou v'
AILE BASSE OU BORDÉ		7000	9,0	63000	4,50	2,84E+05	4,25E+05	2,43E+12	
1		25,4	12400,0	314960	6209,00	1,96E+09	4,04E+12	0,00E+00	
2		7000	9,0	63000	12413,50	7,82E+08	4,25E+05	2,43E+12	
3		0	0,0	0	12418,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
4		0	0,0	0	12418,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
5		0	0,0	0	12418,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
6		0	0,0	0	12418,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
7		0	0,0	0	12418,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
			12418,0	440960	**6209,00**	2,74E+09	4,04E+12	4,85E+12	**8,89E+12**
v'					**6209,00**				**1,43E+09**

Apprehension of the average stiffness of the impact vis-à-vis the vessel girder in the horizontal plane: $K_{navire} = L^3/3EI = 14\,400^3 / 3 / 210\,000 / 8.9^{E12} = 5.33^{E-7}$

SPREADSHEETS (.XLS FILE IN APPENDIX)

Container "in its lines"

Container "dans ses lignes"	pieds	Container	Avel vor		E_{young} acier	210000	MPa
L	40	12,19	55,7	Approx. E_{glass} acier		21000	MPa
B	8	2,44	12,4		$\sigma_{0,02}$ E235	235	MPa
T	9	2,74	4,66		σ_R E235	340	MPa
Disp plein d'O		81,55	1591,2	m3			
Masse		83,59	1631	t			
Cb		1	0,49				
$Cm_{eau\ ajoutée}$ (méthode Stelson)		1,88	1,60				
Mcouplage		127,94	127,94	t			
K		3,66		m			
R		6,22		m			
V choc	11	5,66		Kn ; m/s			
Angle choc α	0,5	1	2,5	5	10	20	°
γ	78,2	77,7	76,2	73,7	68,7	58,7	°
Cexcentricité	0,29	0,29	0,30	0,32	0,36	0,46	
E_{choc} perp. H^{ull}	0,04	0,18	1,17	4,91	21,94	109,69	kJ
E_{choc} tang. H^{ull}	590,45	595,74	612,29	641,85	705,78	828,01	kJ
E_{choc} total	590,49	595,92	613,45	646,76	727,72	937,70	kJ
Angle bordé β	40	50	60	70	80	90	°
E_{choc} perp réel	0,02	0,11	0,88	4,34	21,28	109,69	kJ
F pour dpct. 1 cm	0,19	1,09	8,92	44,22	216,94	1118,14	t
Rotules - Raideur bordé seul - Choc sur bordé zone très raide, CE et plafond de réservoir, CE lgt ou carlingue							
Ep. bordés	9	9	9	9	9	9	mm
E bordés	600	600	600	600	600	600	mm
Inertie panneau bordé 600x600	36450	36450	36450	36450	36450	36450	mm4
Raideur choc mi portée bordé	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	mm/N
Raideur choc 1/4 portée bordé	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	mm/N
Raideur choc 1/8 portée bordé	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	mm/N
F_{choc} mi maille	0,6	1,4	3,9	8,8	19,4	44,0	t
F_{choc} 1/4 maille	0,8	1,8	5,2	11,7	25,9	58,7	t
F_{choc} 1/8 maille	1,3	3,1	9,0	20,0	44,3	100,6	t
σ_{choc} mi maille	104	249	715	1591	3523	7999	MPa
σ_{choc} 1/4 maille	104	249	715	1591	3523	7999	MPa
σ_{choc} 1/8 maille	104	249	715	1591	3523	7999	MPa
f_{choc} mi maille	3,3	7,9	22,7	50,5	111,9	253,9	mm
f_{choc} 1/4 maille (au point d'impac	2,5	5,9	17,0	37,9	83,9	190,5	mm
f_{choc} 1/8 maille (au point d'impac	1,4	3,5	9,9	22,1	48,9	111,1	mm
Encastrements - Bordé seul - Choc sur bordé zone très raide, CE et plafond de réservoir, CE lgt ou carlingue							
Ep. bordés	9	9	9	9	9	9	mm
E bordés	600	600	600	600	600	600	mm
Inertie panneau bordé 600x600	36450	36450	36450	36450	36450	36450	mm4
Raideur choc mi portée bordé	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	mm/N
Raideur choc 1/4 portée bordé	6,20E-05	6,20E-05	6,20E-05	6,20E-05	6,20E-05	6,20E-05	mm/N
Raideur choc 1/8 portée bordé	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	mm/N
F_{choc} mi maille	1,1	2,7	7,9	17,5	38,8	88,1	t
F_{choc} 1/4 maille	1,8	4,2	12,1	27,0	59,7	135,6	t
F_{choc} 1/8 maille	4,0	9,5	27,2	60,5	134,0	304,3	t
$\sigma_{choc\ RA/RB/P}$ mi maille	104	249	715	1591	3523	7999	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 maille	90	216	619	1378	3051	6927	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/4 maille	180	432	1238	2755	6103	13855	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 maille	69	165	473	1052	2331	5291	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/8 maille	275	659	1891	4209	9322	21164	MPa
f_{choc} mi maille	1,7	4,0	11,3	25,3	55,9	127,0	mm
f_{choc} 1/4 maille (au point d'impac	1,1	2,6	7,4	16,4	36,3	82,5	mm
f_{choc} 1/8 maille (au point d'impac	0,5	1,1	3,3	7,3	16,2	36,7	mm
MOYENNE BORDES SEMI APPUYES SEMI ENCASTRES							
$\sigma_{choc\ P}$ mi maille	104	249	715	1591	3523	7999	MPa
$\sigma_{choc\ RA/RB}$ mi maille	52	125	357	795	1762	4000	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 maille	97	233	667	1484	3287	7463	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/4 maille	90	216	619	1378	3051	6927	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 maille	86	207	594	1321	2927	6645	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/8 maille	138	330	945	2104	4661	10582	MPa
f_{choc} mi maille	2,5	5,9	17,0	37,9	83,9	190,5	mm
f_{choc} 1/4 maille (au point d'impac	1,8	4,3	12,2	27,1	60,1	136,5	mm
f_{choc} 1/8 maille (au point d'impac	1,0	2,3	6,6	14,7	32,6	73,9	mm
PLASTIFICATION APRES DOMAINE ELASTIQUE							
$\Delta_{plastique}L/L = \sigma_{0,02}/E_{Young}$	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	
$\Delta_{plastique}L/L = \sigma_R/E_{plastique}$	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	
$\delta_{rupture\ plastique}$	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	°
$f_{rupture\ plastique}$ choc mi-maille	33,2	33,2	33,2	33,2	33,2	33,2	mm
$f_{rupture\ plastique}$ choc quart maille	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	mm
$\delta_{RB\ rupt.\ RA\ choc\ quart\ de\ maille}$	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	°
$f_{rupture\ plastique}$ choc 1/8 maille	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	mm
$\delta_{RB\ rupt.\ RA\ choc\ huitième\ de\ maille}$	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	°
$F_{critique\ rupture\ plastique}$ choc mi-maill	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	t
F_{destr} choc mi-maille	0	0	3	13	65	336	t
$F_{critique\ rupture\ plastique}$ choc 1/4 ma	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	t
F_{destr} choc 1/4 maille	0	1	5	27	131	673	t
$F_{critique\ rupture\ plastique}$ choc 1/8 mai	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	t
F_{destr} choc 1/8 maille	0	1	11	53	261	1346	t
COMPORTEMENT DE LA STRUCTURE TRANSVERSALE - Choc sur membrure Pb 140x8							
Approxim. raideur navire, K_{navire}	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	mm/N
$I_{Pb\ 140x8}$	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	mm4
$W_{Pb\ 140x8}$	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	mm3
Portée	2700,0	2600,0	2500,0	2400,0	2300,0	2200,0	mm
$K_{navire}+K_{Pb\ 140x8\ choc\ mi\ portée\ membru}$	4,11E-05	3,68E-05	3,28E-05	2,91E-05	2,56E-05	2,25E-05	mm/N
$K_{navire}+K_{Pb\ 140x8\ choc\ 1/4\ portée\ membru}$	1,77E-05	1,58E-05	1,41E-05	1,26E-05	1,11E-05	9,80E-06	mm/N
$K_{navire}+K_{Pb\ 140x8\ choc\ 1/8\ portée\ membru}$	3,93E-06	3,57E-06	3,23E-06	2,92E-06	2,64E-06	2,37E-06	mm/N
F_{choc} mi portée	2,2	5,5	16,7	39,4	92,9	225,1	t
F_{choc} 1/4 portée	3,3	8,4	25,4	59,9	141,0	341,0	t
F_{choc} 1/8 portée	7,0	17,6	53,0	124,2	289,7	693,1	t
$\sigma_{choc\ RA/RB/P}$ mi portée	75	183	533	1210	2735	6339	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 portée	64	157	457	1035	2335	5402	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/4 portée	129	313	913	2070	4671	10805	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 portée	46	112	325	731	1633	3736	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/8 portée	185	449	1300	2922	6531	14945	MPa
f_{choc} mi portée	0,9	2,0	5,4	11,2	23,4	49,7	mm
f_{choc} 1/4 portée (au point d'impa	0,6	1,3	3,5	7,4	15,4	32,8	mm
f_{choc} 1/8 portée (au point d'impa	0,3	0,6	1,7	3,6	7,5	16,1	mm
COMPORTEMENT DE LA STRUCTURE TRANSVERSALE - Choc sur membrure Pb 160x8							
$I_{Pb\ 160x8}$	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	mm4
$W_{Pb\ 160x8}$	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	mm3
Portée	3200	3100,0	3000,0	2900,0	2800,0	2700,0	mm
$K_{navire}+K_{Pb\ 160x8\ choc\ mi\ portée\ membru}$	4,56E-05	4,15E-05	3,76E-05	3,41E-05	3,07E-05	2,76E-05	mm/N
$K_{navire}+K_{Pb\ 160x8\ choc\ 1/4\ portée\ membru}$	1,95E-05	1,78E-05	1,62E-05	1,47E-05	1,33E-05	1,19E-05	mm/N
$K_{navire}+K_{Pb\ 160x8\ choc\ 1/8\ portée\ membru}$	4,31E-06	3,96E-06	3,64E-06	3,34E-06	3,06E-06	2,80E-06	mm/N
F_{choc} mi portée	2,1	5,2	15,5	36,4	84,9	203,3	t
F_{choc} 1/4 portée	3,1	7,9	23,7	55,4	129,1	308,9	t
F_{choc} 1/8 portée	6,7	16,7	50,0	116,2	268,8	638,2	t
$\sigma_{choc\ RA/RB/P}$ mi portée	63	152	443	1003	2258	5215	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 portée	54	131	380	859	1933	4458	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/4 portée	108	261	760	1718	3866	8916	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 portée	39	94	273	613	1369	3134	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/8 portée	156	377	1091	2451	5477	12537	MPa
f_{choc} mi portée	0,9	2,1	5,7	12,2	25,6	55,0	mm
f_{choc} 1/4 portée (au point d'impa	0,6	1,4	3,8	8,0	16,8	36,2	mm
f_{choc} 1/8 portée (au point d'impa	0,3	0,6	1,8	3,8	8,1	17,5	mm

Container "dans ses lignes"	pieds	Container	Avel vor		E_{young} acier	210000	MPa
L	40	12,19	55,7	Approx. E_{glass} acier		21000	MPa
B	8	2,44	12,4		$\sigma_{0,02}$ E235	235	MPa
T	9	2,74	4,66		σ_R E235	340	MPa
Disp plein d'O		81,55	1591,2	m3			
Masse		83,59	1631	t			
Cb		1	0,49				
$Cm_{eau\ ajoutée}$ (méthode Stelson)		1,88	1,60				
Mcouplage		127,94	127,94	t			
K		3,66		m			
R		6,22		m			
V choc	11	5,66		Kn ; m/s			
Angle choc α	0,5	1	2,5	5	10	20	°
γ	78,2	77,7	76,2	73,7	68,7	58,7	°
Cexcentricité	0,29	0,29	0,30	0,32	0,36	0,46	
E_{choc} perp. H^{ull}	0,04	0,18	1,17	4,91	21,94	109,69	kJ
E_{choc} tang. H^{ull}	590,45	595,74	612,29	641,85	705,78	828,01	kJ
E_{choc} total	590,49	595,92	613,45	646,76	727,72	937,70	kJ
Angle bordé β	40	50	60	70	80	90	°
E_{choc} perp réel	0,02	0,11	0,88	4,34	21,28	109,69	kJ
F pour dpct. 1 mm	1,89	10,86	89,23	442,22	2169,40	11181,41	t
Toutes raideurs intégrées - Chocs au-dessus des caisses GO - 1 à 2 Pb 140x8							
$W_{Pb\ 140x8}$	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	mm3
Portée	2700,0	2600,0	2500,0	2400,0	2300,0	2200,0	mm
Kbordé mi maille mi portée	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille mi portée	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille mi-portée	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	mm/N
Kbordé mi maille 1/4 portée	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/4 portée	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/4 portée	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	mm/N
Kbordé mi maille 1/8 portée	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/8 portée	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/8 portée	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	mm/N
K mi maille mi portée	4,47E-04	4,45E-04	4,43E-04	4,41E-04	4,39E-04	4,37E-04	mm/N
K 1/4 maille mi portée	2,81E-04	2,79E-04	2,77E-04	2,75E-04	2,73E-04	2,71E-04	mm/N
K 1/8 maille mi-portée	1,31E-04	1,29E-04	1,27E-04	1,25E-04	1,23E-04	1,21E-04	mm/N
K mi maille 1/4 portée	4,38E-04	4,41E-04	4,39E-04	4,38E-04	4,36E-04	4,35E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/4 portée	2,73E-04	2,71E-04	2,69E-04	2,68E-04	2,66E-04	2,65E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/4 portée	1,13E-04	1,11E-04	1,10E-04	1,08E-04	1,07E-04	1,05E-04	mm/N
K mi maille 1/8 portée	3,61E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,59E-04	3,59E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/8 portée	2,32E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,30E-04	2,30E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/8 portée	9,78E-05	9,75E-05	9,72E-05	9,69E-05	9,67E-05	9,64E-05	mm/N
Fchoc mi maille mi portée	0,7	1,6	4,5	10,1	22,4	51,1	t
Fchoc 1/4 maille mi portée	0,8	2,0	5,7	12,8	28,5	64,9	t
Fchoc 1/8 maille mi-portée	1,2	2,9	8,5	19,0	42,4	97,1	t
Fchoc mi maille 1/4 portée	0,7	1,6	4,6	10,1	22,5	51,2	t
Fchoc 1/4 maille 1/4 portée	0,8	2,0	5,8	13,0	28,8	65,6	t
Fchoc 1/8 maille 1/4 portée	1,3	3,2	9,1	20,4	45,5	104,0	t
Fchoc mi maille 1/8 portée	0,7	1,8	5,0	11,2	24,8	56,3	t
Fchoc 1/4 maille 1/8 portée	0,9	2,2	6,3	14,0	31,0	70,4	t
Fchoc 1/8 maille 1/8 portée	1,4	3,4	9,7	21,6	47,8	108,7	t
Bordés - Liaisons considérées plastifiées si < 235 Mpa et tout bordé plastifié au delà							c/F (RdM7)
Bordé mi maille mi portée (MPa)	99	Plastifié	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille mi portée (MPa	104	Plastifié	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille mi-portée (MPa	98	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/4 portée (MPa	100	Plastifié	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille 1/4 portée (MPa	106	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille 1/4 portée (MPa	106	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/8 portée (MPa	99	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,38E-02
Bordé 1/4 maille 1/8 portée (MPa	111	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,24E-02
Bordé 1/8 maille 1/8 portée (MPa	120	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,69E-03
Raidisseurs							
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ mi maille mi portée	11	26	73	156	331	720	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/4 maille mi portée	22	50	138	296	629	1372	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/8 maille mi portée	37	86	238	512	1094	2396	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ mi maille 1/4 portée	13	30	82	176	374	812	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/4 maille 1/4 portée	25	57	157	337	717	1562	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/8 maille 1/4 portée	45	103	287	619	1322	2889	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ mi maille 1/8 portée	10	22	62	132	280	608	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/4 maille 1/8 portée	18	42	116	247	525	1140	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/8 maille 1/8 portée	33	75	208	445	945	2055	MPa
Toutes raideurs intégrées - Chocs au-dessus des caisses GO - 1 à 2 Pb 160x8							
$W_{Pb\ 160x8}$	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	mm3
Portée	3200	3100,0	3000,0	2900,0	2800,0	2700,0	mm
Kbordé mi maille mi portée	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille mi portée	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille mi-portée	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	mm/N
Kbordé mi maille 1/4 portée	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/4 portée	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/4 portée	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	mm/N
Kbordé mi maille 1/8 portée	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/8 portée	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/8 portée	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	mm/N
K mi maille mi portée	4,49E-04	4,47E-04	4,45E-04	4,43E-04	4,42E-04	4,40E-04	mm/N
K 1/4 maille mi portée	2,83E-04	2,81E-04	2,79E-04	2,77E-04	2,76E-04	2,74E-04	mm/N
K 1/8 maille mi-portée	1,33E-04	1,31E-04	1,29E-04	1,27E-04	1,26E-04	1,24E-04	mm/N
K mi maille 1/4 portée	4,40E-04	4,38E-04	4,37E-04	4,36E-04	4,35E-04	4,34E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/4 portée	2,70E-04	2,68E-04	2,67E-04	2,66E-04	2,65E-04	2,64E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/4 portée	1,10E-04	1,09E-04	1,08E-04	1,07E-04	1,06E-04	1,05E-04	mm/N
K mi maille 1/8 portée	3,61E-04	3,61E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,60E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/8 portée	2,32E-04	2,32E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,31E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/8 portée	9,81E-05	9,78E-05	9,76E-05	9,73E-05	9,70E-05	9,68E-05	mm/N
Fchoc mi maille mi portée	0,7	1,6	4,5	10,1	22,4	50,9	t
Fchoc 1/4 maille mi portée	0,8	2,0	5,7	12,8	28,3	64,5	t
Fchoc 1/8 maille mi-portée	1,2	2,9	8,4	18,8	42,0	95,9	t
Fchoc mi maille 1/4 portée	0,7	1,6	4,6	10,2	22,5	51,2	t
Fchoc 1/4 maille 1/4 portée	0,8	2,0	5,8	13,0	28,9	65,7	t
Fchoc 1/8 maille 1/4 portée	1,3	3,2	9,2	20,6	45,8	104,4	t
Fchoc mi maille 1/8 portée	0,7	1,8	5,0	11,2	24,8	56,3	t
Fchoc 1/4 maille 1/8 portée	0,9	2,2	6,3	14,0	31,0	70,3	t
Fchoc 1/8 maille 1/8 portée	1,4	3,4	9,7	21,5	47,7	108,5	t
Bordés - Liaisons considérées plastifiées si < 235 Mpa et tout bordé plastifié au delà							c/F (RdM7)
Bordé mi maille mi portée (MPa)	99	Plastifié	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille mi portée (MPa	104	Plastifié	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille mi-portée (MPa	97	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/4 portée (MPa	100	Plastifié	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille 1/4 portée (MPa	106	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille 1/4 portée (MPa	107	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/8 portée (MPa	99	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,38E-02
Bordé 1/4 maille 1/8 portée (MPa	111	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,24E-02
Bordé 1/8 maille 1/8 portée (MPa	120	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,69E-03
Raidisseurs							
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ mi maille mi portée	10	23	65	139	298	654	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/4 maille mi portée	19	44	122	264	567	1244	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/8 maille mi portée	32	75	210	455	979	2157	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ mi maille 1/4 portée	11	26	73	158	338	741	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/4 maille 1/4 portée	22	51	141	303	650	1426	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/8 maille 1/4 portée	40	93	258	559	1202	2643	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ mi maille 1/8 portée	9	20	55	118	253	554	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/4 maille 1/8 portée	16	37	103	222	474	1039	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/8 maille 1/8 portée	29	67	185	398	853	1870	MPa

Container vertical

Container vertical	pieds	Container	Avel vor		E_{young} acier	210000	MPa
L	9	2,74	55,7	Approx. E_{plast} acier		21000	MPa
B	8	2,44	12,4	$\sigma_{0,02}$ E235		235	MPa
T	40	12,19	4,66	σ_R E235		340	MPa
Disp plein d'O		81,55	1591,2	m3			
Masse		83,59	1631	t			
Cb		1	0,49				
$Cm_{bau\ ajoutée}$ (méthode Stelson)		4,93	1,60				
Mcouplage		131,32	131,32	t			
K		0,82		m			
R		1,84		m			
V choc	11	5,66		Kn ; m/s			
Angle choc α	0,5	1	2,5	5	10	20	°
γ	47,9	47,4	45,9	43,4	38,4	28,4	°
Cexcentricité	0,54	0,55	0,57	0,61	0,68	0,81	
E_{choc} perp. H°	0,09	0,35	2,28	9,70	43,06	199,73	kJ
E_{choc} tang. H°	1139,78	1154,73	1198,54	1267,48	1385,10	1507,68	kJ
E_{choc} total	1139,87	1155,08	1200,83	1277,18	1428,16	1707,41	kJ
Angle bordé β	40	50	60	70	80	90	°
E_{choc} perp réel	0,04	0,21	1,71	8,57	41,77	199,73	kJ
F pour dpct. 1 cm	6,37	2,10	17,47	67,33	425,75	2035,98	t

Container vertical	pieds	Container	Avel vor		E_{young} acier	210000	MPa
L	9	2,74	55,7	Approx. E_{plast} acier		21000	MPa
B	8	2,44	12,4	$\sigma_{0,02}$ E235		235	MPa
T	40	12,19	4,66	σ_R E235		340	MPa
Disp plein d'O		81,55	1591,2	m3			
Masse		83,59	1631	t			
Cb		1	0,49				
$Cm_{bau\ ajoutée}$ (méthode Stelson)		4,93	1,60				
Mcouplage		131,32	131,32	t			
K		0,82		m			
R		1,84		m			
V choc	11	5,66		Kn ; m/s			
Angle choc α	0,5	1	2,5	5	10	20	°
γ	47,9	47,4	45,9	43,4	38,4	28,4	°
Cexcentricité	0,54	0,55	0,57	0,61	0,68	0,81	
E_{choc} perp. H°	0,09	0,35	2,28	9,70	43,06	199,73	kJ
E_{choc} tang. H°	1139,78	1154,73	1198,54	1267,48	1385,10	1507,68	kJ
E_{choc} total	1139,87	1155,08	1200,83	1277,18	1428,16	1707,41	kJ
Angle bordé β	40	50	60	70	80	90	°
E_{choc} perp réel	0,04	0,21	1,71	8,57	41,77	199,73	kJ
F pour dpct. 1 mm	3,68	21,05	174,68	873,26	4257,47	20359,78	t

Rotules - Raideur bordé seul - Choc sur borde zone très raide, CE et plafond de réservoir, CE lgt ou carlingue							
Ep. bordés	9	9	9	9	9	9	mm
E bordés	600	600	600	600	600	600	mm
Inertie panneau bordé 600x600	36450	36450	36450	36450	36450	36450	mm4
Raideur choc mi portée bordé	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	mm/N
Raideur choc 1/4 portée bordé	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	mm/N
Raideur choc 1/8 portée bordé	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	mm/N
F_{choc} mi maille	0,8	1,9	5,5	12,3	27,2	59,4	t
F_{choc} 1/4 maille	1,1	2,5	7,3	16,4	36,2	79,2	t
F_{choc} 1/8 maille	1,8	4,4	12,6	28,1	62,1	135,8	t
σ_{choc} mi maille	145	347	1000	2235	4936	10794	MPa
σ_{choc} 1/4 maille	145	347	1000	2235	4936	10794	MPa
σ_{choc} 1/8 maille	145	347	1000	2235	4936	10794	MPa
f_{choc} mi maille	4,6	11,0	31,7	71,0	156,7	342,7	mm
f_{choc} 1/4 maille (au point d'impac	3,4	8,3	23,8	53,2	117,5	257,0	mm
f_{choc} 1/8 maille (au point d'impac	2,0	4,8	13,9	31,0	68,6	149,9	mm
Encastrements - Bordé seul - Choc sur bordé zone très raide, CE et plafond de réservoir, CE lgt ou carlingue							
Ep. bordés	9	9	9	9	9	9	mm
E bordés	600	600	600	600	600	600	mm
Inertie panneau bordé 600x600	36450	36450	36450	36450	36450	36450	mm4
Raideur choc mi portée bordé	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	mm/N
Raideur choc 1/4 portée bordé	6,20E-05	6,20E-05	6,20E-05	6,20E-05	6,20E-05	7,94E-05	mm/N
Raideur choc 1/8 portée bordé	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	mm/N
F_{choc} mi maille	1,6	3,8	11,0	24,6	54,3	118,8	t
F_{choc} 1/4 maille	2,5	5,9	16,9	37,9	83,7	161,7	t
F_{choc} 1/8 maille	5,5	13,2	38,0	85,0	187,8	410,6	t
$\sigma_{choc\ RAVBEUP}$ mi maille	145	347	1000	2235	4936	10794	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 maille	125	301	866	1936	4275	8262	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/4 maille	251	601	1732	3872	8549	16525	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 maille	96	230	661	1479	3265	7140	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/8 maille	383	918	2645	5914	13059	28558	MPa
f_{choc} mi maille	2,3	5,5	15,9	35,5	78,3	171,3	mm
f_{choc} 1/4 maille (au point d'impac	1,5	3,6	10,3	23,0	50,9	125,9	mm
f_{choc} 1/8 maille (au point d'impac	0,7	1,6	4,6	10,3	22,7	49,6	mm
MOYENNE BORDES SEMI APPUYES SEMI ENCASTRES							
$\sigma_{choc\ P}$ mi maille	145	347	1000	2235	4936	10794	MPa
$\sigma_{choc\ RAVBEUP}$ mi maille	72	174	500	1118	2468	5397	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 maille	135	324	933	2086	4605	9528	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/4 maille	125	301	866	1936	4275	8262	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 maille	120	288	831	1857	4100	8967	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/8 maille	191	459	1323	2957	6530	14279	MPa
f_{choc} mi maille	3,4	8,3	23,8	53,2	117,5	257,0	mm
f_{choc} 1/4 maille (au point d'impac	2,5	5,9	17,1	38,1	84,2	191,5	mm
f_{choc} 1/8 maille (au point d'impac	1,3	3,2	9,2	20,7	45,6	99,7	mm
PLASTIFICATION APRES DOMAINE ELASTIQUE							
$\Delta_{plastique}L/L = \sigma_{0,02}/E_{Young}$	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	
$\Delta_{plastique}L/L = \sigma_R/E_{plastique}$	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	
$\delta_{rupture\ plastique}$	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	°
$f_{rupture\ plastique}$ choc mi-maille	33,2	33,2	33,2	33,2	33,2	33,2	mm
$f_{rupture\ plastique}$ choc quart maille	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	mm
$\delta_{RB\ rupt.\ RA\ choc\ quart\ de\ maille}$	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	°
$f_{rupture\ plastique}$ choc 1/8 maille	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	mm
$\delta_{RB\ rupt.\ RA\ choc\ huitième\ de\ maille}$	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	°
$F_{critique\ rupture\ plastique}$ choc mi-maill	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	t
$F_{elastic}$ choc mi-maille	0	1	5	26	128	613	t
$F_{critique\ rupture\ plastique}$ choc 1/4 ma	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	t
$F_{elastic}$ choc 1/4 maille	0	1	11	53	256	1225	t
$F_{critique\ rupture\ plastique}$ choc 1/8 mai	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	t
$F_{elastic}$ choc 1/8 maille	0	3	21	105	512	2450	t
COMPORTEMENT DE LA STRUCTURE TRANSVERSALE - Choc sur membrure Pb 140x8							
Approxim. raideur navire, K_{navire}	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	mm/N
$I_{Pb\ 140x8}$	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	mm4
$W_{Pb\ 140x8}$	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	mm3
Portée	2700,0	2600,0	2500,0	2400,0	2300,0	2200,0	mm
$K_{navire}+K_{Pb\ 140x8\ choc\ mi\ portée\ membru}$	4,11E-05	3,68E-05	3,28E-05	2,91E-05	2,56E-05	2,25E-05	mm/N
$K_{navire}+K_{Pb\ 140x8\ choc\ 1/4\ portée\ membru}$	1,77E-05	1,58E-05	1,41E-05	1,26E-05	1,11E-05	9,80E-06	mm/N
$K_{navire}+K_{Pb\ 140x8\ choc\ 1/8\ portée\ membru}$	3,93E-06	3,57E-06	3,23E-06	2,92E-06	2,64E-06	2,37E-06	mm/N
F_{choc} mi portée	3,0	7,6	23,3	55,3	130,1	303,7	t
F_{choc} 1/4 portée	4,6	11,6	35,5	84,2	197,5	460,1	t
F_{choc} 1/8 portée	9,7	24,5	74,2	174,6	405,8	935,2	t
$\sigma_{choc\ RAVBEUP}$ mi portée	104	254	746	1701	3831	8553	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 portée	89	218	639	1455	3271	7290	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/4 portée	179	436	1278	2909	6543	14580	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 portée	64	156	455	1027	2287	5042	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/8 portée	258	625	1819	4106	9149	20167	MPa
f_{choc} mi portée	1,2	2,8	7,5	15,8	32,7	67,0	mm
f_{choc} 1/4 portée (au point d'impa	0,8	1,8	4,9	10,4	21,6	44,2	mm
f_{choc} 1/8 portée (au point d'impa	0,4	0,9	2,4	5,0	10,5	21,8	mm
COMPORTEMENT DE LA STRUCTURE TRANSVERSALE - **Choc sur membrure Pb 160x8**							
$I_{Pb\ 160x8}$	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	mm4
$W_{Pb\ 160x8}$	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	mm3
Portée	3200	3100,0	3000,0	2900,0	2800,0	2700,0	mm
$K_{navire}+K_{Pb\ 160x8\ choc\ mi\ portée\ membru}$	4,56E-05	4,15E-05	3,76E-05	3,41E-05	3,07E-05	2,76E-05	mm/N
$K_{navire}+K_{Pb\ 160x8\ choc\ 1/4\ portée\ membru}$	1,95E-05	1,78E-05	1,62E-05	1,47E-05	1,33E-05	1,19E-05	mm/N
$K_{navire}+K_{Pb\ 160x8\ choc\ 1/8\ portée\ membru}$	4,31E-06	3,96E-06	3,64E-06	3,34E-06	3,06E-06	2,80E-06	mm/N
F_{choc} mi portée	2,9	7,2	21,7	51,1	118,9	274,3	t
F_{choc} 1/4 portée	4,4	11,0	33,2	77,9	180,9	416,8	t
F_{choc} 1/8 portée	9,3	23,3	69,9	163,2	376,6	861,1	t
$\sigma_{choc\ RAVBEUP}$ mi portée	87	212	620	1409	3163	7038	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 portée	75	182	532	1207	2708	6016	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/4 portée	149	364	1064	2415	5415	12031	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 portée	54	131	382	861	1918	4229	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/8 portée	217	525	1527	3445	7673	16918	MPa
f_{choc} mi portée	1,3	2,9	8,0	17,1	35,8	74,2	mm
f_{choc} 1/4 portée (au point d'impa	0,8	1,9	5,3	11,2	23,5	48,9	mm
f_{choc} 1/8 portée (au point d'impa	0,4	0,9	2,5	5,3	11,3	23,6	mm

Toutes raideurs intégrées - Chocs au-dessus des caisses GO - 1 à 2 Pb 140x8							
$W_{Pb\ 140x8}$	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	mm3
Portée	2700,0	2600,0	2500,0	2400,0	2300,0	2200,0	mm
Kbordé mi maille mi portée	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille mi portée	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille mi-portée	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	mm/N
Kbordé mi maille 1/4 portée	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/4 portée	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/4 portée	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	mm/N
Kbordé mi maille 1/8 portée	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/8 portée	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/8 portée	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	mm/N
K mi maille mi portée	4,47E-04	4,45E-04	4,43E-04	4,41E-04	4,39E-04	4,37E-04	mm/N
K 1/4 maille mi portée	2,81E-04	2,79E-04	2,77E-04	2,75E-04	2,73E-04	2,71E-04	mm/N
K 1/8 maille mi-portée	1,31E-04	1,29E-04	1,27E-04	1,25E-04	1,23E-04	1,21E-04	mm/N
K mi maille 1/4 portée	4,38E-04	4,41E-04	4,39E-04	4,38E-04	4,36E-04	4,35E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/4 portée	2,73E-04	2,71E-04	2,69E-04	2,68E-04	2,66E-04	2,65E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/4 portée	1,13E-04	1,11E-04	1,10E-04	1,08E-04	1,07E-04	1,05E-04	mm/N
K mi maille 1/8 portée	3,61E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,59E-04	3,59E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/8 portée	2,32E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,30E-04	2,30E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/8 portée	9,78E-05	9,75E-05	9,72E-05	9,69E-05	9,67E-05	9,64E-05	mm/N
Fchoc mi maille mi portée	0,9	2,2	6,3	14,2	31,4	68,9	t
Fchoc 1/4 maille mi portée	1,2	2,8	8,0	18,0	39,9	87,5	t
Fchoc 1/8 maille mi-portée	1,7	4,1	11,9	26,7	59,4	131,0	t
Fchoc mi maille 1/4 portée	0,9	2,2	6,4	14,3	31,5	69,1	t
Fchoc 1/4 maille 1/4 portée	1,2	2,8	8,1	18,2	40,4	88,5	t
Fchoc 1/8 maille 1/4 portée	1,8	4,4	12,7	28,7	63,8	140,4	t
Fchoc mi maille 1/8 portée	1,0	2,4	7,0	15,7	34,8	76,0	t
Fchoc 1/4 maille 1/8 portée	1,3	3,0	8,8	19,6	43,4	95,0	t
Fchoc 1/8 maille 1/8 portée	2,0	4,7	13,5	30,3	67,0	146,7	t
Bordés - Liaisons considérées plastifiées si < 235 Mpa et tout bordé plastifié au délà							σ/F (RdM7)
Bordé mi maille mi portée (MPa)	138	Plastifié	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille mi portée (MPa	145	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille mi-portée (MPa	137	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/4 portée (MPa	139	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille 1/4 portée (MPa	147	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille 1/4 portée (MPa	147	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/8 portée (MPa	138	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,38E-02
Bordé 1/4 maille 1/8 portée (MPa	154	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,24E-02
Bordé 1/8 maille 1/8 portée (MPa	166	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,69E-03
Raidisseurs							
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ mi maille mi portée	16	37	102	219	464	972	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/4 maille mi portée	30	69	193	415	882	1852	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/8 maille mi portée	51	119	333	719	1532	3233	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ mi maille 1/4 portée	18	41	115	247	523	1096	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/4 maille 1/4 portée	34	79	220	474	1005	2107	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/8 maille 1/4 portée	62	144	402	870	1852	3899	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ mi maille 1/8 portée	13	31	86	185	392	821	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/4 maille 1/8 portée	25	58	162	347	735	1538	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/8 maille 1/8 portée	45	105	291	625	1324	2772	MPa

Toutes raideurs intégrées - Chocs au-dessus des caisses GO - 1 à 2 Pb 160x8							
$W_{Pb\ 160x8}$	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	mm3
Portée	3200	3100,0	3000,0	2900,0	2800,0	2700,0	mm
Kbordé mi maille mi portée	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille mi portée	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille mi-portée	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	mm/N
Kbordé mi maille 1/4 portée	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/4 portée	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/4 portée	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	mm/N
Kbordé mi maille 1/8 portée	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/8 portée	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/8 portée	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	mm/N
K mi maille mi portée	4,49E-04	4,47E-04	4,45E-04	4,43E-04	4,42E-04	4,40E-04	mm/N
K 1/4 maille mi portée	2,83E-04	2,81E-04	2,79E-04	2,77E-04	2,76E-04	2,74E-04	mm/N
K 1/8 maille mi-portée	1,33E-04	1,31E-04	1,29E-04	1,27E-04	1,26E-04	1,24E-04	mm/N
K mi maille 1/4 portée	4,40E-04	4,38E-04	4,37E-04	4,36E-04	4,35E-04	4,34E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/4 portée	2,70E-04	2,68E-04	2,67E-04	2,66E-04	2,65E-04	2,64E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/4 portée	1,10E-04	1,09E-04	1,08E-04	1,07E-04	1,06E-04	1,05E-04	mm/N
K mi maille 1/8 portée	3,61E-04	3,61E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,60E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/8 portée	2,32E-04	2,32E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,31E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/8 portée	9,81E-05	9,78E-05	9,76E-05	9,73E-05	9,70E-05	9,68E-05	mm/N
Fchoc mi maille mi portée	0,9	2,2	6,3	14,2	31,3	68,7	t
Fchoc 1/4 maille mi portée	1,1	2,8	8,0	17,9	39,7	87,0	t
Fchoc 1/8 maille mi-portée	1,7	4,0	11,7	26,4	58,8	129,3	t
Fchoc mi maille 1/4 portée	0,9	2,2	6,4	14,3	31,6	69,1	t
Fchoc 1/4 maille 1/4 portée	1,2	2,8	8,2	18,3	40,5	88,6	t
Fchoc 1/8 maille 1/4 portée	1,8	4,4	12,9	28,9	64,1	140,9	t
Fchoc mi maille 1/8 portée	1,0	2,4	7,0	15,7	34,7	76,0	t
Fchoc 1/4 maille 1/8 portée	1,3	3,0	8,8	19,6	43,4	94,9	t
Fchoc 1/8 maille 1/8 portée	1,9	4,7	13,5	30,2	66,9	146,4	t
Bordés - Liaisons considérées plastifiées si < 235 Mpa et tout bordé plastifié au délà							σ/F (RdM7)
Bordé mi maille mi portée (MPa)	138	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille mi portée (MPa	144	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille mi-portée (MPa	135	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/4 portée (MPa	139	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille 1/4 portée (MPa	148	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille 1/4 portée (MPa	149	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/8 portée (MPa	138	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,38E-02
Bordé 1/4 maille 1/8 portée (MPa	154	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,24E-02
Bordé 1/8 maille 1/8 portée (MPa	166	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,69E-03
Raidisseurs							
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ mi maille mi portée	14	32	90	196	418	883	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/4 maille mi portée	26	61	171	371	794	1679	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/8 maille mi portée	45	105	294	639	1372	2911	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ mi maille 1/4 portée	16	37	103	222	474	1000	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/4 maille 1/4 portée	30	70	197	426	911	1924	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/8 maille 1/4 portée	55	129	362	786	1683	3566	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ mi maille 1/8 portée	12	28	77	166	355	748	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/4 maille 1/8 portée	22	52	144	311	664	1401	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/8 maille 1/8 portée	40	93	259	560	1195	2523	MPa

Container "athwart"

Container "en travers"	pieds	Container	Avel vor		E_{young} acier	210000	MPa
L	8	2,44	55,7		Approx. $E_{plast.}$ acier	21000	MPa
B	40	12,19	12,4		$\sigma_{0,02}$ E235	235	MPa
T	9	2,74	4,66		σ_e E235	340	MPa
Disp plein d'O		81,55	1591,2	m3			
Masse		83,59	1631	t			
Cb		1	0,49				
$Cm_{eau\ ajoutée}$ (méthode Stelson)		1,18	1,60				
Mcouplage		124,81	124,81	t			
K		0,73		m			
R		6,22		m			
V choc	11	5,66		Kn ; m/s			
Angle choc α	0,5	1	2,5	5	10	20	°
τ	10,8	10,3	8,8	6,3	1,3	-8,7	°
Cexcentricité	0,97	0,97	0,98	0,99	1,00	0,98	
$E_{choc\ perp.}$ H^{el}	0,15	0,59	3,73	15,03	60,24	229,33	kJ
$E_{choc\ tang.}$ H^{el}	1939,80	1944,59	1955,72	1963,35	1937,37	1731,16	kJ
E_{choc} total	1939,95	1945,18	1959,45	1978,38	1997,61	1960,49	kJ
Angle bordé β	40	50	60	70	80	90	°
E_{choc} perp réel	0,06	0,35	2,80	13,27	58,42	229,33	kJ
F pour dpct_1 cm	0,62	3,54	28,50	135,27	595,50	2337,76	t
Rotules - Raideur bordé seul - Choc sur bordé zone très raide, CE et plafond de réservoir, CE lgt ou carlingue							
Ep. bordés	9	9	9	9	9	9	mm
E bordés	600	600	600	600	600	600	mm
Inertie panneau bordé 600x60	36450	36450	36450	36450	36450	36450	mm4
Raideur choc mi portée bordé	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	5,88E-04	mm/N
Raideur choc 1/4 portée bordé	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	3,31E-04	mm/N
Raideur choc 1/8 portée bordé	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	mm/N
F_{choc} mi maille	1,0	2,5	7,0	15,3	32,1	63,7	t
F_{choc} 1/4 maille	1,4	3,3	9,4	20,4	42,8	84,9	t
F_{choc} 1/8 maille	2,4	5,7	16,1	35,0	73,4	145,5	t
σ_{choc} mi maille	189	450	1277	2782	5838	11586	MPa
σ_{choc} 1/4 maille	189	450	1277	2782	5838	11586	MPa
σ_{choc} 1/8 maille	189	450	1277	2782	5838	11586	MPa
f_{choc} mi maille	6,0	14,3	40,5	88,3	185,3	367,2	mm
f_{choc} 1/4 maille (au point d'impa	4,5	10,7	30,4	66,2	139,0	275,4	mm
f_{choc} 1/8 maille (au point d'impa	2,6	6,3	17,7	38,6	81,1	160,6	mm
Encastrements - Bordé seul - Choc sur bordé zone très raide, CE et plafond de réservoir, CE lgt ou carlingue							
Ep. bordés	9	9	9	9	9	9	mm
E bordés	600	600	600	600	600	600	mm
Inertie panneau bordé 600x60	36450	36450	36450	36450	36450	36450	mm4
Raideur choc mi portée bordé	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	1,47E-04	mm/N
Raideur choc 1/4 portée bordé	6,20E-05	6,20E-05	6,20E-05	6,20E-05	6,20E-05	6,20E-05	mm/N
Raideur choc 1/8 portée bordé	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05	mm/N
F_{choc} mi maille	2,1	5,0	14,1	30,6	64,3	127,3	t
F_{choc} 1/4 maille	3,2	7,6	21,6	47,2	98,9	196,0	t
F_{choc} 1/8 maille	7,2	17,1	48,6	105,8	222,1	440,0	t
$\sigma_{choc\ RA/RB/P}$ mi maille	189	450	1277	2782	5838	11586	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 maille	163	390	1106	2409	5056	10017	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/4 maille	327	780	2212	4819	10111	20033	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 maille	125	298	845	1840	3861	7650	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/8 maille	499	1192	3379	7361	15445	30601	MPa
f_{choc} mi maille	3,0	7,1	20,3	44,2	92,7	183,6	mm
f_{choc} 1/4 maille (au point d'impa	1,9	4,6	13,2	28,7	60,2	119,2	mm
f_{choc} 1/8 maille (au point d'impa	0,9	2,1	5,9	12,8	26,8	53,1	mm
MOYENNE BORDES SEMI APPUYES SEMI ENCASTRES							
$\sigma_{choc\ P}$ mi maille	189	450	1277	2782	5838	11586	MPa
$\sigma_{choc\ RA/RB}$ mi maille	94	225	639	1391	2919	5783	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 maille	176	420	1192	2596	5447	10791	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/4 maille	163	390	1106	2409	5056	10017	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 maille	157	374	1061	2311	4849	9608	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/8 maille	250	596	1689	3681	7722	15301	MPa
f_{choc} mi maille	4,5	10,7	30,4	66,2	139,0	275,4	mm
f_{choc} 1/4 maille (au point d'impa	3,2	7,7	21,8	47,5	99,6	197,3	mm
f_{choc} 1/8 maille (au point d'impa	1,7	4,2	11,8	25,7	53,9	106,9	mm
PLASTIFICATION APRES DOMAINE ELASTIQUE							
$\Delta_{plastique}L/L = \sigma_{0,02}/E_{Young}$	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	1,12E-03	
$\Delta_{plastique}L/L = \sigma_e/E_{plastique}$	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	5,00E-03	
$\theta_{rupture\ plastique}$	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	°
$f_{rupture\ plastique}$ choc mi-maille	33,2	33,2	33,2	33,2	33,2	33,2	mm
$f_{rupture\ plastique}$ choc quart maille	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	mm
$\theta_{RB\ rupt.\ RA\ choc\ quart\ de\ maille}$	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	°
$f_{rupture\ plastique}$ choc 1/8 maille	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	mm
$\theta_{RB\ rupt.\ RA\ choc\ huitième\ de\ maille}$	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	°
$F_{critique\ rupture\ plastique}$ choc mi-mai	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	34,1	t
F_{delta} choc mi-maille	0	1	9	41	179	703	t
$F_{critique\ rupture\ plastique}$ choc 1/4 m	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	t
F_{delta} choc 1/4 maille	0	2	17	81	358	1407	t
$F_{critique\ rupture\ plastique}$ choc 1/8 ma	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	t
F_{delta} choc 1/8 maille	1	4	34	163	717	2813	t
COMPORTEMENT DE LA STRUCTURE TRANSVERSALE - Choc sur membrure Pb 140x8							
Approxim. raideur navire, K_{navire}	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	5,33E-07	mm/N
$I_{Pb\ 140x8}$	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	mm4
$W_{Pb\ 140x8}$	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	9,58E+04	mm3
Portée	2700,0	2600,0	2500,0	2400,0	2300,0	2200,0	mm
$K_{navire}+K_{Pb\ 140x8\ choc\ mi\ portée\ membr}$	4,11E-05	3,68E-05	3,28E-05	2,91E-05	2,56E-05	2,25E-05	mm/N
$K_{navire}+K_{Pb\ 140x8\ choc\ 1/4\ portée\ membr}$	1,77E-05	1,58E-05	1,41E-05	1,26E-05	1,11E-05	9,80E-06	mm/N
$K_{navire}+K_{Pb\ 140x8\ choc\ 1/8\ portée\ membr}$	3,93E-06	3,57E-06	3,23E-06	2,92E-06	2,64E-06	2,37E-06	mm/N
F_{choc} mi portée	3,9	9,9	29,8	68,9	153,9	325,4	t
F_{choc} 1/4 portée	6,0	15,1	45,3	104,8	233,6	493,1	t
F_{choc} 1/8 portée	12,7	31,8	94,8	217,2	479,9	1002,1	t
$\sigma_{choc\ RA/RB/P}$ mi portée	136	330	953	2117	4531	9165	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 portée	117	283	816	1810	3869	7812	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/4 portée	233	566	1632	3621	7738	15623	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 portée	84	203	581	1278	2705	5402	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/8 portée	336	811	2323	5111	10820	21610	MPa
f_{choc} mi portée	1,6	3,6	9,6	19,6	38,7	71,8	mm
f_{choc} 1/4 portée (au point d'impa	1,0	2,3	6,3	12,9	25,5	47,4	mm
f_{choc} 1/8 portée (au point d'impa	0,5	1,1	3,0	6,2	12,4	23,3	mm
COMPORTEMENT DE LA STRUCTURE TRANSVERSALE - **Choc sur membrure Pb 160x8**							
$I_{Pb\ 160x8}$	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	1,80E+07	mm4
$W_{Pb\ 160x8}$	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	mm3
Portée	3200	3100,0	3000,0	2900,0	2800,0	2700,0	mm
$K_{navire}+K_{Pb\ 160x8\ choc\ mi\ portée\ membr}$	4,56E-05	4,15E-05	3,76E-05	3,41E-05	3,07E-05	2,76E-05	mm/N
$K_{navire}+K_{Pb\ 160x8\ choc\ 1/4\ portée\ membr}$	1,95E-05	1,78E-05	1,62E-05	1,47E-05	1,33E-05	1,19E-05	mm/N
$K_{navire}+K_{Pb\ 160x8\ choc\ 1/8\ portée\ membr}$	4,31E-06	3,96E-06	3,64E-06	3,34E-06	3,06E-06	2,80E-06	mm/N
F_{choc} mi portée	3,7	9,3	27,8	63,6	140,6	293,9	t
F_{choc} 1/4 portée	5,7	14,2	42,4	96,9	213,9	446,6	t
F_{choc} 1/8 portée	12,1	30,2	89,3	203,2	445,4	922,7	t
$\sigma_{choc\ RA/RB/P}$ mi portée	113	275	792	1754	3741	7541	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/4 portée	97	236	679	1503	3202	6446	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/4 portée	195	472	1359	3005	6404	12892	MPa
$\sigma_{choc\ P}$ 1/8 portée	71	170	487	1072	2289	4532	MPa
$\sigma_{choc\ RA}$ 1/8 portée	283	681	1950	4287	9074	18128	MPa
f_{choc} mi portée	1,7	3,8	10,3	21,3	42,4	79,5	mm
f_{choc} 1/4 portée (au point d'impa	1,1	2,5	6,7	14,0	27,8	52,3	mm
f_{choc} 1/8 portée (au point d'impa	0,5	1,2	3,2	6,7	13,4	25,3	mm

Container "en travers"	pieds	Container	Avel vor		E_{young} acier	210000	MPa
L	8	2,44	55,7		Approx. $E_{plast.}$ acier	21000	MPa
B	40	12,19	12,4		$\sigma_{0,02}$ E235	235	MPa
T	9	2,74	4,66		σ_e E235	340	MPa
Disp plein d'O		81,55	1591,2	m3			
Masse		83,59	1631	t			
Cb		1	0,49				
$Cm_{eau\ ajoutée}$ (méthode Stelson)		1,18	1,60				
Mcouplage		124,81	124,81	t			
K		0,73		m			
R		6,22		m			
V choc	11	5,66		Kn ; m/s			
Angle choc α	0,5	1	2,5	5	10	20	°
τ	10,8	10,3	8,8	6,3	1,3	-8,7	°
Cexcentricité	0,97	0,97	0,98	0,99	1,00	0,98	
$E_{choc\ perp.}$ H^{el}	0,15	0,59	3,73	15,03	60,24	229,33	kJ
$E_{choc\ tang.}$ H^{el}	1939,80	1944,59	1955,72	1963,35	1937,37	1731,16	kJ
E_{choc} total	1939,95	1945,18	1959,45	1978,38	1997,61	1960,49	kJ
Angle bordé β	40	50	60	70	80	90	°
E_{choc} perp réel	0,06	0,35	2,80	13,27	58,42	229,33	kJ
F pour dpct_1 cm	0,62	3,54	28,50	135,27	595,50	2337,76	t
Toutes raideurs intégrées - Chocs au-dessus des caisses GO - 1 à 2 Pb 140x8							
$W_{Pb\ 140x8}$	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	9,56E+04	mm3
Portée	2700,0	2600,0	2500,0	2400,0	2300,0	2200,0	mm
Kbordé mi maille mi portée	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille mi portée	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille mi-portée	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	mm/N
Kbordé mi maille 1/4 portée	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/4 portée	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/4 portée	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	mm/N
Kbordé mi maille 1/8 portée	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/8 portée	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/8 portée	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	mm/N
K mi maille mi portée	4,47E-04	4,45E-04	4,43E-04	4,41E-04	4,39E-04	4,37E-04	mm/N
K 1/4 maille mi portée	2,81E-04	2,79E-04	2,77E-04	2,75E-04	2,73E-04	2,71E-04	mm/N
K 1/8 maille mi-portée	1,31E-04	1,29E-04	1,27E-04	1,25E-04	1,23E-04	1,21E-04	mm/N
K mi maille 1/4 portée	4,38E-04	4,41E-04	4,39E-04	4,38E-04	4,36E-04	4,35E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/4 portée	2,73E-04	2,71E-04	2,69E-04	2,68E-04	2,66E-04	2,65E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/4 portée	1,13E-04	1,11E-04	1,10E-04	1,08E-04	1,07E-04	1,05E-04	mm/N
K mi maille 1/8 portée	3,61E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,59E-04	3,59E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/8 portée	2,32E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,30E-04	2,30E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/8 portée	9,78E-05	9,75E-05	9,72E-05	9,69E-05	9,67E-05	9,64E-05	mm/N
Fchoc mi maille mi portée	1,2	2,9	8,1	17,7	37,2	73,8	t
Fchoc 1/4 maille mi portée	1,5	3,6	10,2	22,4	47,1	93,8	t
Fchoc 1/8 maille mi-portée	2,2	5,3	15,1	33,2	70,2	140,3	t
Fchoc mi maille 1/4 portée	1,2	2,9	8,1	17,8	37,3	74,0	t
Fchoc 1/4 maille 1/4 portée	1,5	3,7	10,4	22,7	47,8	94,9	t
Fchoc 1/8 maille 1/4 portée	2,4	5,7	16,3	35,7	75,5	150,4	t
Fchoc mi maille 1/8 portée	1,3	3,2	9,0	19,6	41,1	81,5	t
Fchoc 1/4 maille 1/8 portée	1,7	4,0	11,2	24,5	51,3	101,8	t
Fchoc 1/8 maille 1/8 portée	2,5	6,1	17,3	37,7	79,2	157,2	t
Bordés - Liaisons considérées plastifiées si < 235 Mpa et tout bordé plastifié au délà							σ/F (RdM7)
Bordé mi maille mi portée (MPa	180	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille mi portée (MP	189	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille mi-portée (MP	178	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/4 portée (MP	182	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille 1/4 portée (MF	192	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille 1/4 portée (MF	192	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/8 portée (MP	180	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,38E-02
Bordé 1/4 maille 1/8 portée (MF	201	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,24E-02
Bordé 1/8 maille 1/8 portée (MF	217	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,69E-03
Raidisseurs							
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ mi maille mi portée	21	48	130	272	548	1042	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/4 maille mi portée	39	90	246	517	1043	1984	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/8 maille mi portée	67	155	425	895	1812	3464	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ mi maille 1/4 portée	23	54	147	307	619	1175	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/4 maille 1/4 porte	45	103	281	589	1189	2258	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/8 maille 1/4 porte	81	187	514	1082	2191	4178	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ mi maille 1/8 portée	18	40	110	231	464	880	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/4 maille 1/8 porte	33	76	207	432	869	1648	MPa
$\sigma_{max\ Pb140x8}$ 1/8 maille 1/8 porte	59	136	371	778	1566	2971	MPa
Toutes raideurs intégrées - Chocs au-dessus des caisses GO - 1 à 2 Pb 160x8							
$W_{Pb\ 160x8}$	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	1,29E+05	mm3
Portée	3200	3100,0	3000,0	2900,0	2800,0	2700,0	mm
Kbordé mi maille mi portée	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	4,26E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille mi portée	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille mi-portée	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04	mm/N
Kbordé mi maille 1/4 portée	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	4,25E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/4 portée	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	2,55E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/4 portée	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	9,55E-05	mm/N
Kbordé mi maille 1/8 portée	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	3,57E-04	mm/N
Kbordé 1/4 maille 1/8 portée	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	2,28E-04	mm/N
Kbordé 1/8 maille 1/8 portée	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	9,43E-05	mm/N
K mi maille mi portée	4,49E-04	4,47E-04	4,45E-04	4,43E-04	4,42E-04	4,40E-04	mm/N
K 1/4 maille mi portée	2,83E-04	2,81E-04	2,79E-04	2,77E-04	2,76E-04	2,74E-04	mm/N
K 1/8 maille mi-portée	1,33E-04	1,31E-04	1,29E-04	1,27E-04	1,26E-04	1,24E-04	mm/N
K mi maille 1/4 portée	4,40E-04	4,38E-04	4,37E-04	4,36E-04	4,35E-04	4,34E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/4 portée	2,70E-04	2,68E-04	2,67E-04	2,66E-04	2,65E-04	2,64E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/4 portée	1,10E-04	1,09E-04	1,08E-04	1,07E-04	1,06E-04	1,05E-04	mm/N
K mi maille 1/8 portée	3,61E-04	3,61E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,60E-04	3,60E-04	mm/N
K 1/4 maille 1/8 portée	2,32E-04	2,32E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,31E-04	mm/N
K 1/8 maille 1/8 portée	9,81E-05	9,78E-05	9,76E-05	9,73E-05	9,70E-05	9,68E-05	mm/N
Fchoc mi maille mi portée	1,2	2,8	8,1	17,6	37,1	73,6	t
Fchoc 1/4 maille mi portée	1,5	3,6	10,2	22,3	46,9	93,2	t
Fchoc 1/8 maille mi-portée	2,2	5,3	15,0	32,9	69,5	138,6	t
Fchoc mi maille 1/4 portée	1,2	2,9	8,2	17,8	37,4	74,1	t
Fchoc 1/4 maille 1/4 portée	1,5	3,7	10,4	22,8	47,9	95,0	t
Fchoc 1/8 maille 1/4 portée	2,4	5,8	16,4	36,0	75,8	150,9	t
Fchoc mi maille 1/8 portée	1,3	3,2	9,0	19,6	41,1	81,4	t
Fchoc 1/4 maille 1/8 portée	1,7	4,0	11,2	24,4	51,3	101,7	t
Fchoc 1/8 maille 1/8 portée	2,5	6,1	17,3	37,6	79,1	156,9	t
Bordés - Liaisons considérées plastifiées si < 235 Mpa et tout bordé plastifié au délà							σ/F (RdM7)
Bordé mi maille mi portée (MPa	180	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille mi portée (MP	188	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille mi-portée (MP	177	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/4 portée (MP	181	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,54E-02
Bordé 1/4 maille 1/4 portée (MF	193	Plastifié	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,28E-02
Bordé 1/8 maille 1/4 portée (MF	194	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,25E-03
Bordé mi maille 1/8 portée (MP	179	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,38E-02
Bordé 1/4 maille 1/8 portée (MF	201	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	1,24E-02
Bordé 1/8 maille 1/8 portée (MF	217	Plastifié	Plastifié	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	DÉCHIRÉ	8,69E-03
Raidisseurs							
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ mi maille mi portée	18	42	115	244	494	948	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/4 maille mi portée	34	79	219	462	939	1799	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/8 maille mi portée	58	136	375	796	1622	3119	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ mi maille 1/4 portée	21	48	131	276	560	1072	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/4 maille 1/4 porte	39	91	251	531	1077	2061	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/8 maille 1/4 porte	72	167	462	978	1991	3822	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ mi maille 1/8 portée	15	36	98	207	419	802	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/4 maille 1/8 porte	29	67	184	388	786	1502	MPa
$\sigma_{max\ Pb160x8}$ 1/8 maille 1/8 porte	52	120	330	697	1413	2703	MPa

The left-hand column group is for single elements, the right-hand column group is for couplings with all stiffnesses.

Coloured cells give shock results:

- Without serious damage in green
- With partial plastic deformation but without a probable breach in orange
- With tear or breach in red

The file is attached with all numerical values.

COMMENTARIES

The position of the container does not have a considerable impact. For a collision above 5-10° to the WL and fairly vertical wall areas, tearing is certain, regardless of the impact zone. This occurrence is already quite probable. Perhaps, given our experience in basins and especially during navigation when we see objects being sucked under counter sterns, of the order of 50%? Only a non-standard CFD (computational fluid dynamics, the finite elements of aero and hydrodynamic) study or basin studies would make it possible to improve the approach. Basins working on drift ice may have data.

For a collision with an angle of less than 1° in a fairly slanted area of the walls, there is no tearing.

In between, the stiffest areas are the most rapidly damaged.

The deflection limit of the plating is first reached, but after plastic deformation, their strength is rather higher than that of a frame in the same area.

If the magnification of the input data is taken into account, the risk of a breach in the event of a collision is therefore higher than ¾. For a 20' container that has also been invaded, taking into account the square root between force and energy, the risk of a breach is still higher than ½.

Within the limits of the essentially traditional calculation used here, it also turns out that the deflections at the rupture limits are quite small. For the softest shocks, half-span half-space, critical deflections are of about 35-40 mm. ¼ space and ¼ span, those decrease to 20-25 mm and 10-15 mm for 1/8 space and 1/8 span.

The breach may therefore not be extremely visible, even if it has occurred in the tops behind side ceilings, pipes or accessories, as already mentioned.

CONCLUSION

Obviously, we considered an invaded container, but it would have been rather surprising in the event of a collision with a container even a little less filled that no flooding would appear. Not very filled, it would have been reported by the radar or the crew on the bridge.

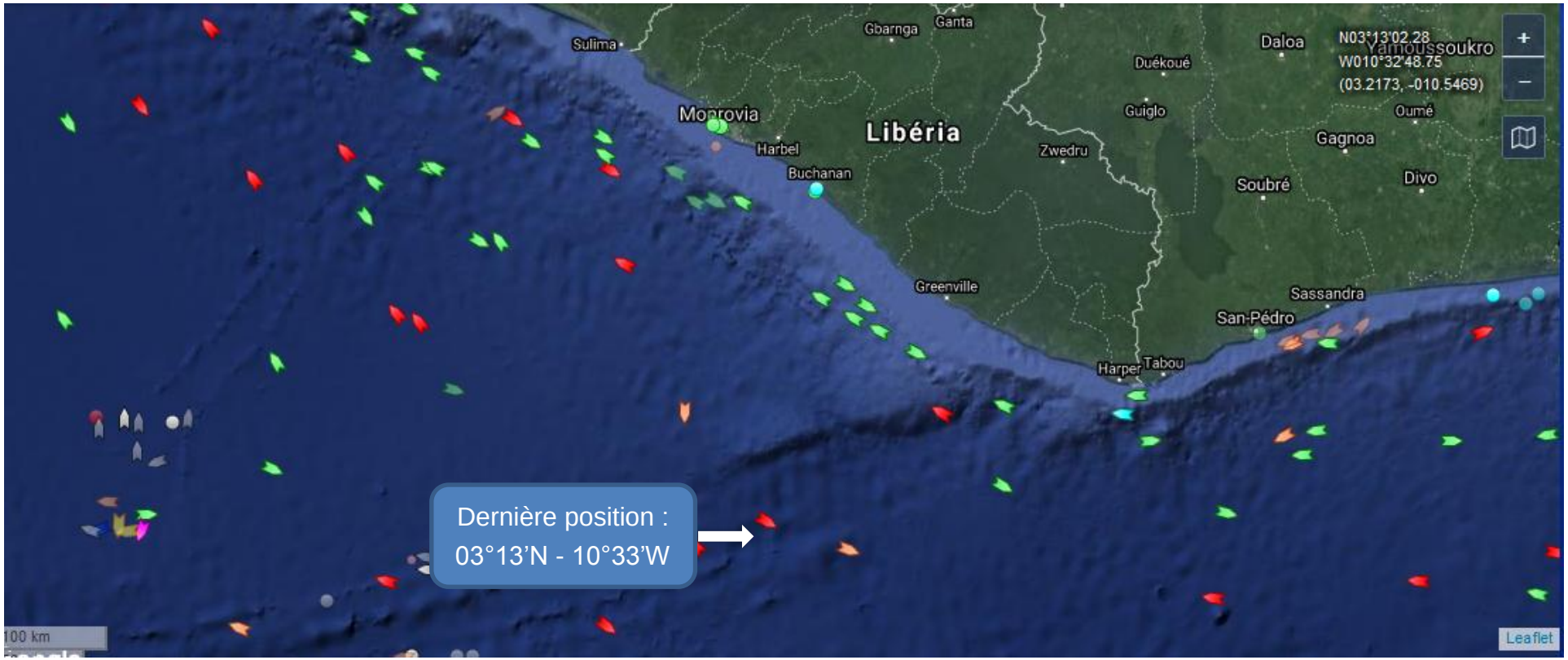
The angle of encounter and the shell plating area with the adjoining structure on which the container hits the ship is above all a matter of chance and peril of the sea.

A possible CFD study will probably not provide much information since the angles from which the risks of breach appear are very small.

On the other hand, the consequent loss of the vessel as a result of the engine room flooding, although it should not have endangered her buoyancy, is more surprising. It would suppose either that the watertightness of the engine room vis-à-vis the adjoining compartments was incomplete, which is not obvious that the crew was able to detect everywhere, a fortiori in such circumstances, or the assumption that the flooding of the engine room should not endanger her buoyancy was erroneous. A study of the flooding of the engine room and possibly the adjoining spaces would enable progress to be made on this question.

Annexe E / Appendix E

Carte / Chart



Ministère de la Mer

Bureau d'enquêtes sur les évènements de mer

Arche sud - 92055 La Défense cedex
téléphone : +33 (0) 1 40 81 38 24
bea-mer@developpement-durable.gouv.fr
www.bea-mer.developpement-durable.gouv.fr