

Rapport d'enquête technique

**RUPTURE D'UN DES MATS
DU NAVIRE A UTILISATION COLLECTIVE**

NOTRE DAME

DE RUMENGOL

SURVENUE LE 25 AOUT 2010

EN RADE DE BREST

(UNE PASSAGERE GRIEUREMENT BLESSEE)

Avertissement

Le présent rapport a été établi conformément aux dispositions du titre III de la loi n° 2002-3 du 3 janvier 2002 et du décret n° 2004-85 du 26 janvier 2004 relatifs aux enquêtes techniques après événement de mer, accident ou incident de transport terrestre, ainsi qu'à celles du « Code pour la conduite des enquêtes sur les accidents » de l'Organisation Maritime Internationale (OMI), résolution MSC 255 (84).

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

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 a été 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.

PLAN DU RAPPORT

1	CIRCONSTANCES	Page 6
2	CONTEXTE	Page 6
3	NAVIRE	Page 8
4	EQUIPAGE	Page 15
5	CHRONOLOGIE	Page 16
6	AVARIES	Page 20
7	ANALYSE	Page 21
8	SYNTHESE	Page 28
9	MESURES PRISES	Page 28
10	RECOMMANDATIONS	Page 29

ANNEXES

- A. Décision d'enquête
- B. Planche photographique
- C. Informations diverses

Liste des abréviations

BEAmer	:	Bureau d'enquêtes sur les évènements de mer
CIN	:	Certificat d'Initiation Nautique
CROSS	:	Centre Régional Opérationnel de Surveillance et de Sauvetage
CRS	:	Commission Régionale de sécurité
CSN	:	Centre de Sécurité des Navires
DRAM	:	Direction Régionale des Affaires Maritimes
GPS	:	Système mondial de localisation (<i>Global Positioning System</i>)
NUC	:	Navire à Utilisation Collective
SAMU	:	Service d'Aide Médicale d'Urgence
SITREP	:	<i>SITuation REPort</i>
Tx	:	Tonneaux

1 CIRCONSTANCES

Le 25 août 2010 après-midi, le navire du patrimoine (statut de voilier à utilisation collective) *NOTRE DAME DE RUMENGOL*, à gréement « dundee », immatriculé BR 267500, effectue une navigation commerciale sous voiles en rade de Brest, avec 20 passagers, par vent assez fort de Sud/Sud-Ouest.

Après avoir effectué un virement de bord « lof pour lof » (vent arrière), l'extrémité du mât arrière (mât d'artimon ou de « dundee ») se brise en entraînant la chute du gréement sur tribord.

L'espar supérieur (appelé pic ou corne) tombe sur la jambe gauche d'une passagère située sur le passavant tribord. Grièvement blessée, celle-ci est évacuée par hélicoptère.

2 CONTEXTE

Le navire à utilisation collective (NUC) *NOTRE DAME DE RUMENGOL* est un navire du patrimoine ; les navires du patrimoine appartiennent à trois catégories distinctes : les bateaux classés monuments historiques, ceux labellisés « bateau d'intérêt patrimonial » par la Fondation du Patrimoine Maritime et Fluvial (FPMF) et les bateaux de conception ancienne (conçus avant 1950 ou leurs répliques).

Ces différents classements procurent des avantages (exonérations fiscales, octroi de subventions) et des contraintes (règles fixées par le Ministère de la Culture ou par la FPMF selon le cas) ; ainsi, à bord d'un navire classé monument historique, les travaux de restauration ou de réparation ne peuvent être effectués sans l'autorisation du Ministère chargé de la Culture.

Classé monument historique le 28 octobre 1991, le *NOTRE DAME DE RUMENGOL* est géré par l'association type loi de 1901 « An Test » (en breton : « Le Témoin »). L'objet de « An Test » est de protéger et de promouvoir le patrimoine maritime de la rade de Brest ; son siège social se trouve à L'Hôpital Camfrout (Finistère).

« An Test » gère un autre navire du patrimoine, le *BERGERE DE DOMREMY*, qui n'est pas sous statut NUC, mais sous celui de navire de plaisance à usage personnel. L'association rémunère quatre salariés, l'équipage du *NOTRE DAME DE RUMENGOL* et une secrétaire.

Le *NOTRE DAME DE RUMENGOL*, qui est utilisé six mois dans l'année, effectue une navigation commerciale à vocation touristique entre Calais et Noirmoutier et parfois aux îles Scilly (Royaume Uni). L'association propose aussi des croisières à la journée ou à la demi-journée aux abords de Brest (découverte de la rade, remontée et descente de l'Aulne, les Tas de Pois) et de trois jours en Mer d'Iroise.

Les ressources de l'association se composent à la fois des cotisations de ses membres, des subventions qui peuvent lui être accordées par l'Etat et par des collectivités publiques, des revenus de ses biens, des sommes perçues en contrepartie de ses prestations et de toute autre ressource autorisée par les textes législatifs et réglementaires. Néanmoins, l'équilibre budgétaire étant difficile à atteindre, le navire doit faire le plein de passagers en saison.

La restauration du *NOTRE DAME DE RUMENGOL* s'est inscrite dans le mouvement de sauvegarde des bateaux du patrimoine des côtes de France, initiée au début des années 1980. Au-delà des navires restaurés, un certain nombre de constructions de répliques de navires traditionnels ont été réalisées. La plus grande partie de cette flotte est gérée par des associations type loi de 1901. Les passagers payants contribuent à couvrir les frais de fonctionnement et d'entretien des navires.

Parmi ces derniers, certains sont exploités sous le statut NUC, permettant, au travers d'une réglementation nationale de sécurité, le transport de passagers à titre onéreux, alors que d'autres sont utilisés en tant que navires de plaisance à usage personnel. Néanmoins, la conjoncture économique actuelle n'étant pas bonne, le nombre de passagers transportés diminue et de moins en moins de groupes réservent des sorties à la mer.

Dans ces conditions, la question du maintien en bon état et même de la survie de certains navires du patrimoine se pose aujourd'hui. Cette situation, dont les *média* se font régulièrement l'écho, apparaît préoccupante dans la mesure où elle peut avoir des conséquences sur la sécurité.

A l'échelon européen, un réseau s'est constitué depuis 1992 entre les différentes organisations du patrimoine maritime en Europe, puis s'est transformé en 1995 en une véritable organisation de protection européenne des navires du patrimoine intitulée « European Maritime Heritage », et domiciliée aux Pays-Bas. Sous son impulsion, le *memorandum* d'entente de Londres a été signé le 28 novembre 2005 par le Danemark, la Finlande, L'Estonie, les Pays-Bas et l'Allemagne.

L'accord porte sur la reconnaissance mutuelle des certificats pour la sécurité de l'exploitation des navires du patrimoine dans les eaux européennes et des qualifications de leurs équipages. La France n'est pas signataire de ce memorandum, dans lequel figure un guide sur la mise en place d'un système de gestion de la sécurité (ISM) à bord des navires traditionnels, visant notamment la maintenance du navire.

3 NAVIRE

3.1 Historique - approbation



Le *NOTRE DAME DE RUMENGOL* (Photo site internet An Test)

Ancienne gabare, le navire *NOTRE DAME DE RUMENGOL* a été construit en 1945 à Camaret (29) par les établissements Keraudren. Il a d'abord été exploité au cabotage en tant que navire de charge, puis en navigation côtière entre les abers et les ports de la rade de Brest en tant que sablier pour l'extraction et le transport de sable. C'est un voilier à deux mâts et voiles auriques.

La barre étant située devant le mât d'artimon, le *NOTRE DAME DE RUMENGOL* est qualifié de « dundee ». Le grand mât est en acier et le mât d'artimon (ou « dundee ») est en bois massif. Le mât de dundee est maintenu par deux haubans de chaque bord et un étai ; ils sont capelés environ 2,00 mètres sous la tête de mât, au-dessus de la corne. La tension des haubans est réglée par des caps de mouton.

Désarmé en 1981, le navire a été acquis par l'association « An Test » la même année, dans le cadre de la protection et la promotion du patrimoine maritime de la rade de Brest.

En 1983, il est approuvé en tant que navire de plaisance par le CSN de Brest en 5^{ème} catégorie de navigation (5 milles d'un abri) avec 6 personnes à bord.

Le PV de CRS n°06/80 du 17 mars 1994 rappelle qu'en 1987, le nombre maximum de personnes embarquées était le suivant : « *pour des sorties en rade de Brest, le nombre de personnes embarquées est passé à 30 + 5 équipages lors d'une navigation au moteur et 25 + 5 équipages en navigation sous voile. Pour des sorties extérieures à la rade de Brest, le nombre de personnes autorisée est de 15 + 5 au moteur et 20 + 5 sous voile* ». On observe ainsi une inversion non expliquée dans la répartition du nombre de passagers en configuration moteur ou voile selon que le navire se trouve en rade de Brest ou à l'extérieur.

En 1988 paraît un règlement annexé à l'arrêté du 23 novembre 1987 sur la sécurité des navires, fixant les dispositions de sécurité auxquelles doivent répondre les navires à utilisation collective d'une longueur supérieure ou égale à 10 mètres. Il s'agit de la division 225 qui donne la définition suivante d'un NUC : « *tout navire à voile d'une longueur inférieure à 25 mètres sur lequel sont embarquées à titre onéreux, sous la responsabilité du propriétaire, de son représentant ou de son préposé, lui-même embarqué, des personnes effectuant une navigation sportive, touristique ou de formation nautique non professionnelle* ».

La navigation pratiquée par le *NOTRE DAME DE RUMENGOL* entrant alors dans la définition d'un NUC, un dossier d'approbation est soumis à l'examen de la Commission Régionale de Sécurité de Bretagne. Le 29 mars 1994, le DRAM Bretagne approuve le navire en NUC pour une navigation en 4^{ème} catégorie plaisance, avec 20 personnes (équipage compris).

Le 26 mai 1994, suite à une demande d'augmentation de la capacité passagère par « An Test » et après examen favorable du nouveau dossier par la CRS, le DRAM de Bretagne approuve le navire en 4^{ème} catégorie de navigation plaisance, avec 30 personnes (équipage compris).

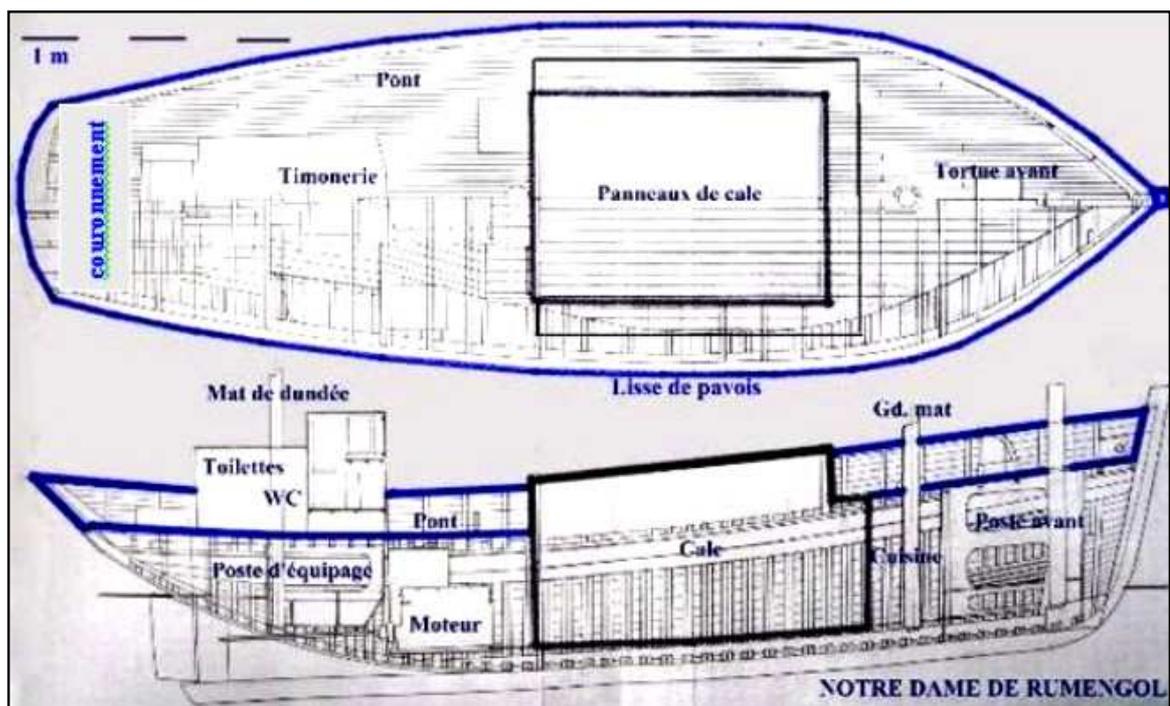
Le 24 mai 1996, un dossier pour approbation de travaux de rénovation du navire est transmis à la CRS de Rennes par « An Test ». A l'issue de cet examen, le DRAM de Bretagne confirme le maintien de l'approbation du navire.

Le 06 février 2006, « An Test » souhaitant exploiter son navire en saison estivale en 3^{ème} catégorie plaisance avec 12 passagers, un nouveau dossier est examiné par la CRS de Rennes. Le DRAM de Rennes valide l'avis de la CRS, favorable à une navigation en 3^{ème} catégorie, limitée à la saison estivale (15 avril au 15 septembre), avec un maximum de 14 personnes embarquées, dont 3 membres d'équipage.

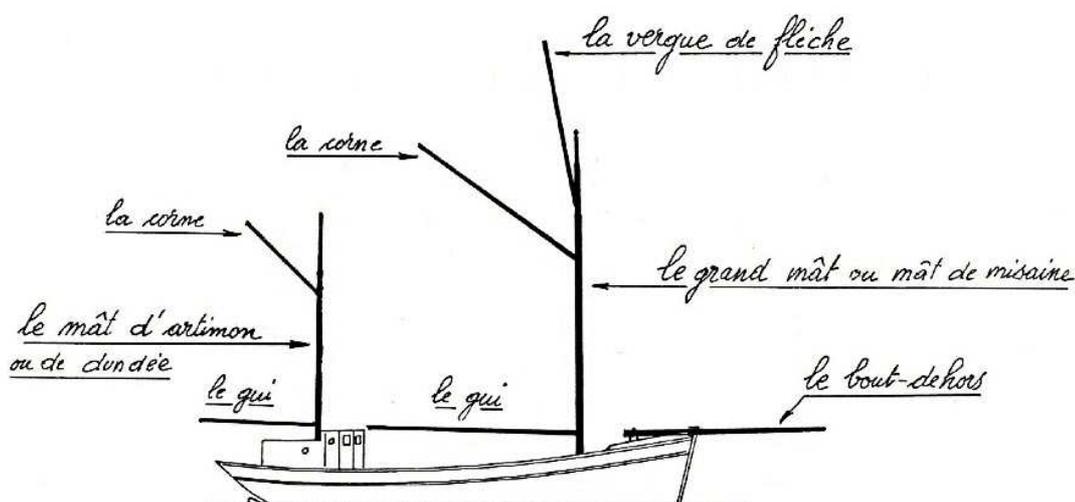
Le 16 mai 2008 paraît la division 241 relative aux navires de plaisance de longueur de coque inférieure à 24 mètres à utilisation collective ; l'article 241-1.06 mentionne que tout navire à utilisation collective neuf ou existant est exploité dans les limites d'une des catégories de navigation professionnelle définies à l'article 110-2.01. Les catégories de navigation mentionnées sur le permis de navigation du *NOTRE DAME DE RUMENGOL* sont modifiées comme suit :

- 2^{ème} catégorie professionnelle (60 milles d'un abri) du 15 avril au 15 septembre avec 14 personnes à bord dont 3 membres d'équipage.
- 3^{ème} catégorie professionnelle (20 milles d'un abri) avec 30 personnes à bord dont 3 membres d'équipage.

3.2 Principales caractéristiques

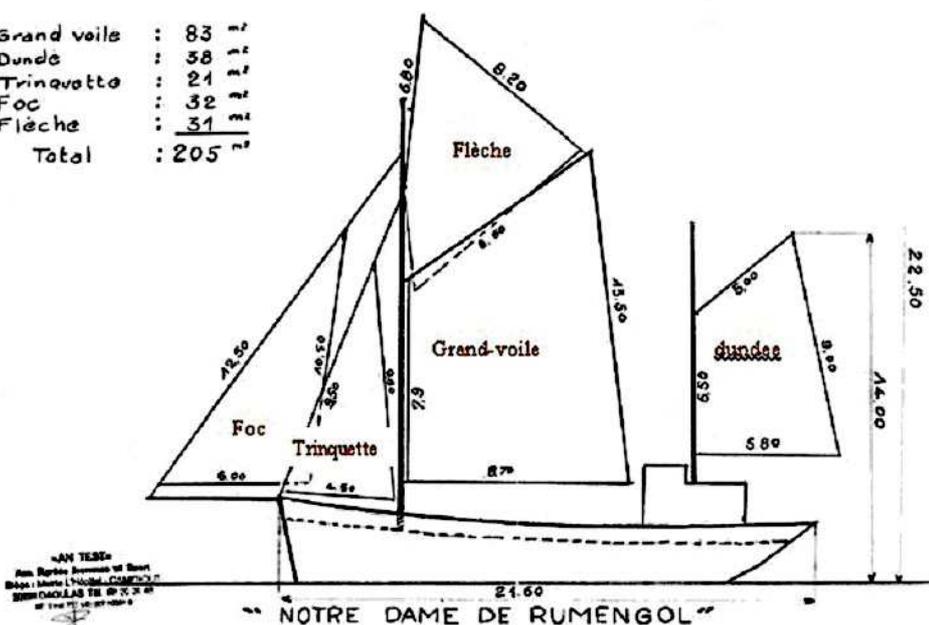


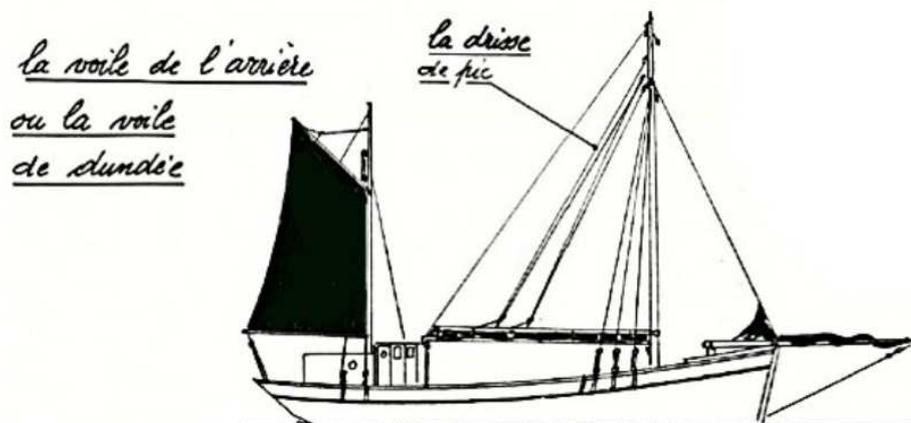
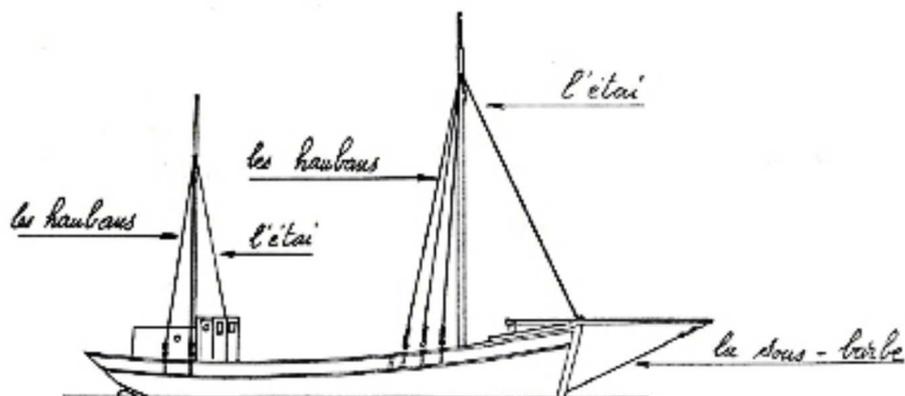
- Type de navire : voilier
- Construction : bois
- Immatriculation : BR 267500
- Indicatif : FH 5521
- Longueur hors tout : 21,70 mètres
- Largeur : 6,54 mètres
- jauge brute : 58,04 tx
- Propulsion mécanique : MP BAUDOUIN DK6 (88 kW)
- Gréement : dundee aurique comprenant un grand mât et un mât d'artimon (appelé « dundee »)



“ Plan de voilure ”

Grand voile	: 83	m ²
Dundee	: 38	m ²
Trinquette	: 21	m ²
Foc	: 32	m ²
Flèche	: 31	m ²
Total	: 205	m ²





Description du gréement du *NOTRE DAME DE RUMENGOL*
(extrait de la brochure réalisée par l'association « An Test »)

Equipements	Désignation	Nombre
Radio	VHF Radio Océan / ASN	2
	BLU / ICOM M710	1
Navigation	Sondeur Piranha Max 10	1
	GPS : MLR – FX 312	1
	Radar Furuno 1623	1
	Compas magnétique	1
Sauvetage	Radeaux de classe II plaisance d'une capacité de 30 places	3
	Brassières de sauvetage dont 24 pour enfants	60
	Bouées de sauvetage	2 dont 1 lumineuse

Le permis de navigation a été renouvelé le 06 mai 2010 pour un an.

Un Document Unique de Prévention a été établi en 2010. Les risques encourus par les passagers présents à bord ne sont pas évoqués.

3.3 Entretien du navire

Depuis son acquisition par l'association « An Test » en 1981, le suivi de l'entretien est effectué par l'équipage, par des bénévoles en hiver pour les travaux de peinture et par le chantier du GUIP à Brest.

En 1996, une importante restauration des membrures, de l'étrave et du pont a été réalisée par le chantier du GUIP. De janvier à avril 2010, au cours de la mise au sec du navire, l'étrave a été remplacée par ce même chantier.

Un contrôle visuel du gréement est effectué une fois par semaine par le chef de bord et l'équipier ; un suivi journalier est réalisé par ce dernier.

3.4 Historique du mât de dundee

Le 16 novembre 2001, à la demande de l'association « An Test », un devis a été établi par le chantier du GUIP pour le remplacement du mât de dundee existant (bois massif) par un mât en pin d'Oregon lamellé collé, comportant une gaine technique centrale. « An Test » n'a pas donné suite et le mât existant est resté en place jusqu'en 2003.

En 2003, un nouveau mât de dundee en bois massif est mis en place ; cet espar, issu d'un tronc donné à l'association par l'Office National des Forêts, a été réalisé par des membres bénévoles.

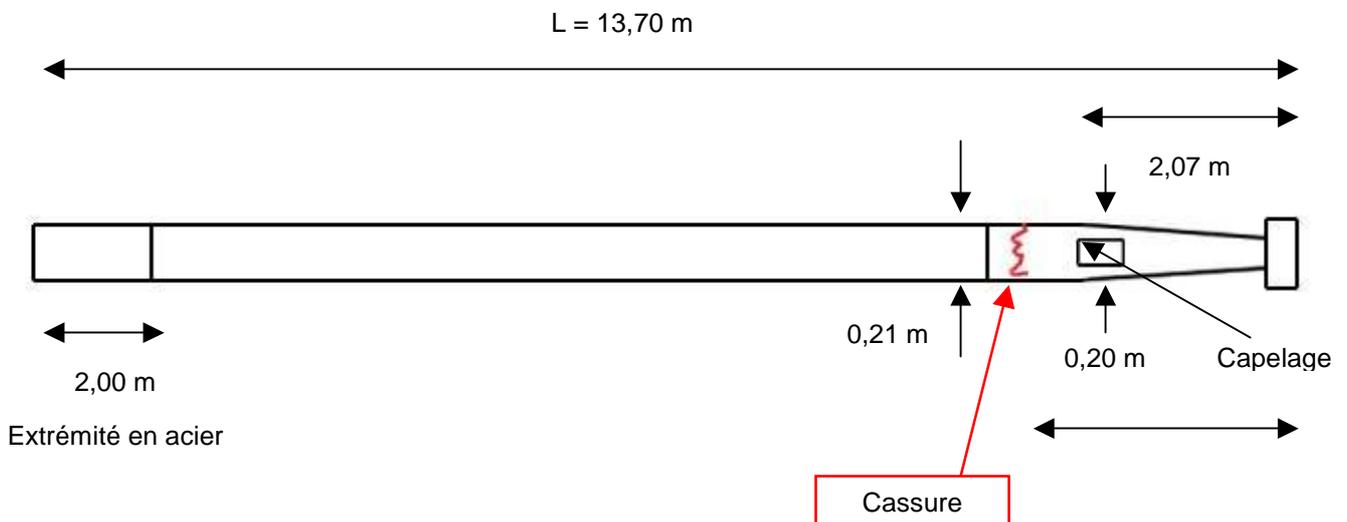
Durant l'hiver 2005/2006, l'un des membres de l'association choisit et achète un pin sur pied dans la région de Landerneau (29), dans le but de réaliser lui-même le mât de son bateau personnel. L'arbre ayant été abattu, le tronc est entreposé pour séchage dans un atelier, jusqu'à l'hiver 2007/2008. C'est à cette époque que son propriétaire en fait don à « An Test » qui cherche à remplacer le mât mis en place en 2003.

Le nouveau mât, en bois massif, aura les mêmes cotes que le mât existant, ce dernier lui servant de modèle. La fabrication se fait sous la direction de son donateur, dont les

connaissances en matière de charpente de marine sont reconnues ; il a notamment participé au choix, dans les Pyrénées, des différents arbres qui seront utilisés plus tard pour la construction de l'avis *LA RECOUVRANCE*, goëlette emblématique de la ville de Brest. L'association « An Test » a tenu à faire observer qu'avant sa première peinture, ce mât avait été largement traité avec des produits insecticides et fongicides achetés dans le commerce.

Le 17 avril 2008, le mât est transféré de Landerneau jusqu'au port de Brest, puis il est mis en place à bord du *NOTRE DAME DE RUMENGOL* par un prestataire de services, sous le contrôle de son donateur. Depuis cette date, le mât est resté à poste.

Dimensions du mât de dundee et emplacement de la cassure



Corne du mât de dundee



Détail de l'encornât

4 EQUIPAGE

La fiche d'effectif, prévoyant au minimum, en opérations commerciales avec passagers, un chef de bord et deux équipiers, a été visée le 19 mai 2003 par le chef du service des Affaires Maritimes de Brest.

La composition de l'équipage présent à bord du navire le 25 août 2010 est conforme à la fiche d'effectif et comprend trois personnes (le chef de bord et deux équipiers) ; chaque marin est apte physiquement.

Le chef de bord est âgé de 32 ans ; inscrit maritime depuis 2005, il a toujours navigué à bord de NUC comme équipier ou chef de bord ; équipier à bord du *NOTRE DAME DE RUMENGOL* durant la saison 2009, il en devient le chef de bord en avril 2010. Il détient les qualifications suivantes :

- brevet de patron Plaisance voile délivré le 09/04/2004,
- permis de conduire les moteurs marins délivré le 27/02/2006,
- certificat général d'opérateur délivré le 23/03/2006,
- certificat de formation de base à la sécurité délivré le 14/02/2006,
- brevet de Capitaine 200 voile délivré le 02/11/2009.

Inscrit maritime depuis 2005, l'équipier est âgé de 40 ans. Il navigue dans cette fonction à bord du *NOTRE DAME DE RUMENGOL* depuis 2006. Il est titulaire d'un CIN délivré le 05/07/2005.

L'équipière est âgée de 33 ans. Inscrite maritime depuis 2004, elle a navigué à bord de NUC ou de navires à passagers. Embarquée à bord du *NOTRE DAME DE RUMENGOL* le 01/05/2010 comme équipière, elle détient les qualifications suivantes :

- matelot de quart à la passerelle délivré le 16/09/2008,
- certificat de formation de base à la sécurité délivré le 19/06/2006,
- certificat d'aptitude à la conduite des moteurs des navires conchyliques délivré le 01/12/2004,
- CIN délivré le 01/12/2004.

On note également la présence à bord, le jour de l'évènement, de la secrétaire de l'association.

5 CHRONOLOGIE

(Heures locales)

Cette chronologie a été établie à partir du rapport de mer rédigé par le chef de bord du *NOTRE DAME DE RUMENGOL*, et du message SITREP du CROSS Corsen et des témoignages de l'équipage et de passagers du navire.

Le **25 août 2010** en début d'après midi :

Avant l'appareillage, le chef de bord prend connaissance des prévisions météo de la journée du 25 août 2010, affichées au port du Château à Brest. Il est annoncé un vent de Sud-Ouest force 5, une mer calme et une visibilité de 6 à 8 milles. Après avoir accueilli ses passagers, le chef de bord les informe des consignes de sécurité à respecter; il leur demande de ne pas se positionner sur la zone de balayage de l'écoute de grand voile durant les manœuvres de virement de bord, de ne pas se tenir dans la zone proche de l'écoute de dundee, de ne pas s'appuyer sur le grand mât, de ne pas s'asseoir sur la lisse de plat bord et de garder les pieds « sur ce qui n'est pas peint », c'est-à-dire le pont. Il les autorise à utiliser le reste de l'espace. Les passagers qui le souhaitent peuvent participer aux manœuvres.

A **14h30**, appareillage au moteur du port de commerce de Brest avec 20 passagers, dont 6 enfants. Le chef de bord renouvelle les consignes de sécurité données avant l'appareillage. Le retour est prévu vers 17h00.

Après avoir franchi les passes de la rade abri, la voilure est établie. Elle se compose de la grand-voile (avec 2,5 tours de rouleau), de la voile de dundee, et de la trinquette. Le foc sera établi plus tard, sur le bord de large. Le navire commençant à faire route sous voiles, le moteur de propulsion est stoppé.

Le cap est mis vers le goulet, bâbord amure, en suivant une route longeant la digue extérieure du port militaire jusqu'au niveau de la bouée Basse Saint-Pierre. Après un virement de bord vent devant, le navire prend une nouvelle route tribord amure, vers la Pointe du Caro.

Au large de cette pointe, un virement de bord est effectué vent devant, puis le navire fait route, bâbord amure, vers la Pointe des Espagnols. Arrivé au large de cette dernière, un nouveau virement de bord vent devant est exécuté pour suivre, tribord amure, au large, une route vers la Pointe du Corbeau.

La croisière touchant à sa fin, un virement de bord lof pour lof (vent arrière) est prévu afin de rejoindre les passes de la rade abri. La manœuvre programmée est la suivante : le chef de bord borde la voile de dundee et la grand-voile, puis l'équipier met la barre en grand à gauche pour venir au nouveau cap. Une fois passé le lit du vent, le chef de bord choque progressivement l'écoute de grand-voile, jusqu'à ce que son réglage soit satisfaisant; puis la voile de dundee est à son tour choquée et réglée. L'équipière, positionnée à l'avant, s'occupe quant à elle du passage du foc et de la trinquette, de bâbord vers tribord ; la secrétaire de l'association lui apporte son assistance éventuelle.

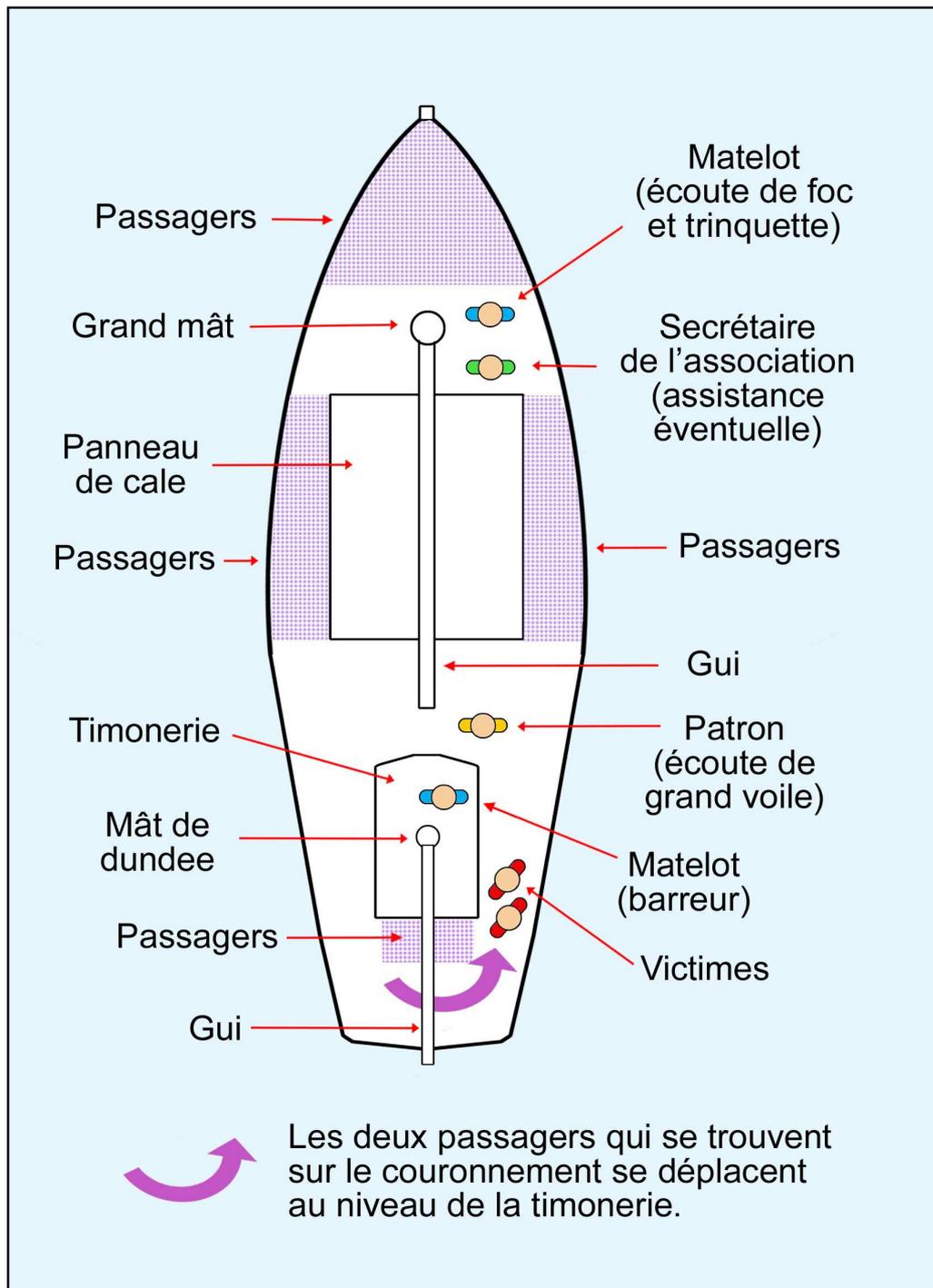
La manœuvre débute vers **16h15**. L'équipier est à la barre, pendant que le chef de bord commence à ramener le gui du mât de dundee dans l'axe du navire, afin de border au maximum la voile. L'équipière s'est positionnée près des voiles de l'avant ; à côté d'elle, se tient la secrétaire de l'association, prête à l'aider. Le chef de bord a demandé aux passagers se trouvant près du couronnement de libérer cet espace durant la manœuvre de la voile de dundee. Deux passagers, un homme et une femme, quittent le couronnement puis se placent sur le passavant tribord au niveau de la timonerie que surplombe le mât de dundee.

Le chef de bord donne l'ordre de changement de cap au barreur. Ce dernier met la barre à gauche. En raison de son déplacement lourd, le navire évolue lentement vers son nouveau cap.

Le chef de bord et l'équipière reprennent le mou des écoutes de grand voile, de foc et de trinquette. Les voiles ayant passé le lit du vent, ils commencent à choquer progressivement les écoutes.

Le navire n'a pas encore atteint le cap prévu, lorsque l'extrémité du mât de dundee se brise soudainement, juste au moment où la corne pivote. Contrairement au gui tenu par l'écoute, cet espar jouit d'une certaine liberté de mouvement, même lorsque la voile est bordée à plat.

L'extrémité du mât de dundee et sa corne tombent du côté tribord ; la corne, espar en bois massif d'un poids de 80 kg environ, chute sur les deux passagers qui viennent de quitter le couronnement.



Position des personnes à bord au moment de l'accident

L'équipage et des passagers se portent immédiatement au secours des deux victimes ; ils réussissent à dégager l'homme qui, hormis quelques contusions, est indemne. La passagère est grièvement atteinte, sa jambe gauche ayant été écrasée par la corne.

A **16h22**, le chef de bord signale CROSS Corsen qu'une personne est blessée suite à un démâtage.

A **16h23**, après consultation radio médicale avec le SAMU 29, le CROSS Corsen demande l'intervention d'un hélicoptère de la Marine nationale.

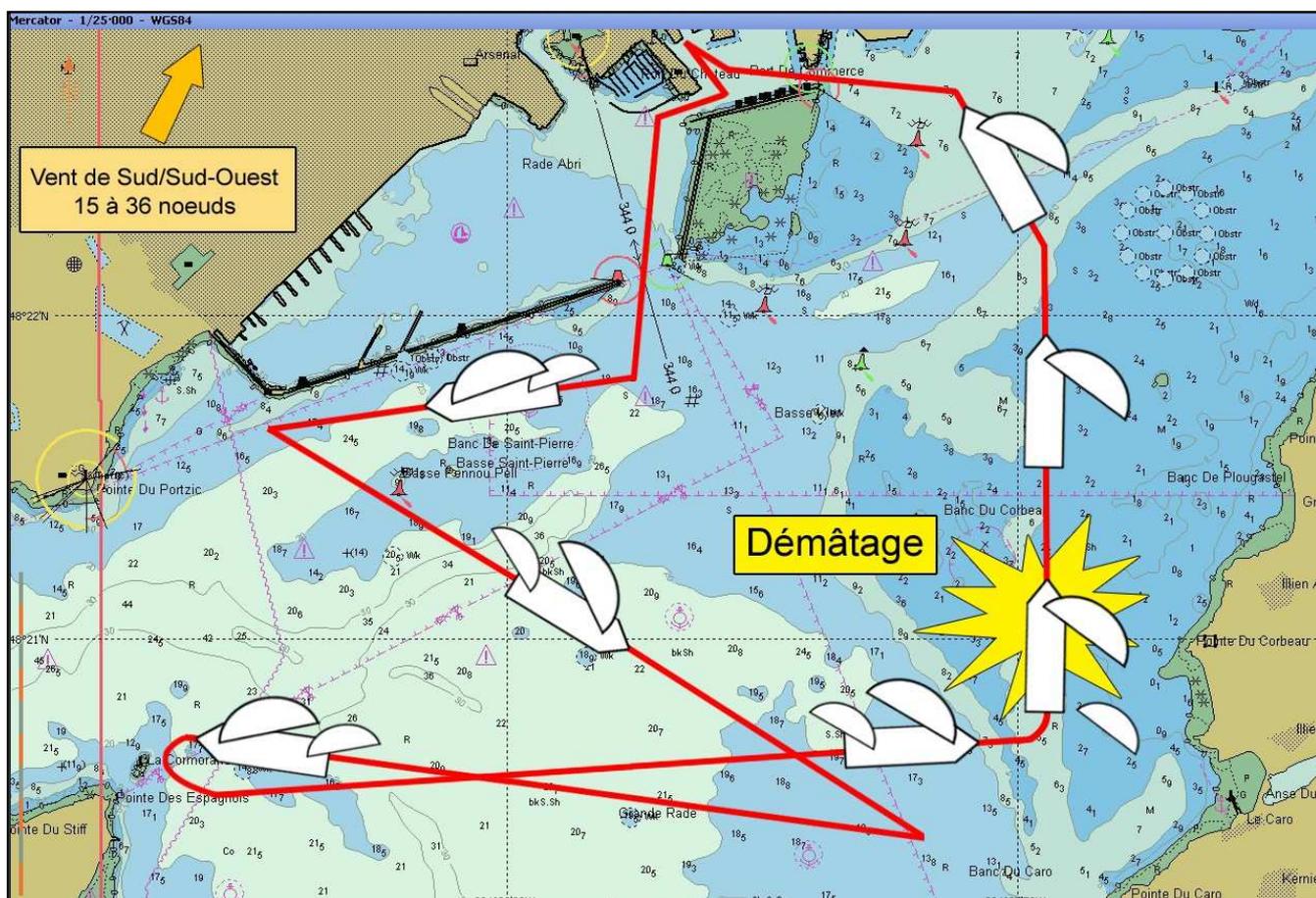
A **16h26**, le CROSS Corsen diffuse un message PAN.

A **16h27**, le CROSS Corsen demande le concours d'un moyen nautique des sapeurs-pompiers.

A **16h35**, transférés par la pilotine du port militaire de Brest, deux infirmiers du chasseur de mines de la Marine nationale *CROIX DU SUD* embarquent et commencent à prodiguer des soins à la victime.

A **17h26**, la victime est hélitreuillée à bord de l'hélicoptère de la Marine nationale et, à **17h28**, est prise en charge à l'hôpital.

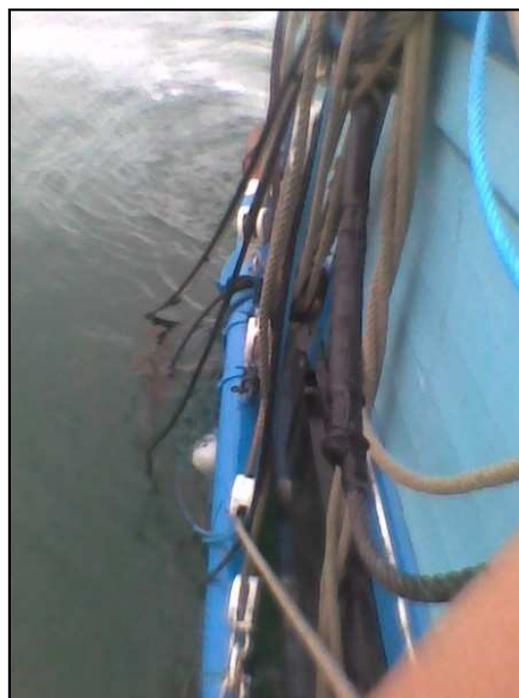
A **18h13**, accostage du *NOTRE DAME DE RUMENGOL* au port de Brest .



Trajet effectué par le *NOTRE DAME DE RUMENGOL*, l'après-midi du 25 août 2010.

6 AVARIES

Le mât s'est brisé à son quart supérieur. L'aérien du radar, fixé sur la partie supérieure du mât, est hors d'usage. Aucun autre dommage au navire n'est à déplorer. La corne, malgré sa chute sur le pont, n'est pas endommagée. La voile, ainsi que les gréements dormant et courant, sont intacts.



Vues du gréement arrière peu après l'accident



Vues de l'extrémité du mât et de la cassure

7 ANALYSE

La méthode retenue pour cette analyse est celle utilisée par le *BEA*mer pour l'ensemble de ses enquêtes, conformément au Code pour la conduite des enquêtes sur les accidents de l'Organisation Maritime Internationale (OMI), résolution MSC 255 (84).

Les facteurs en cause ont été classés dans les catégories suivantes :

- **facteurs naturels ;**
- **facteurs matériels ;**
- **facteur humain ;**
- **autres facteurs.**

Dans chacune de ces catégories, les enquêteurs du *BEA*mer ont répertorié les facteurs possibles et tenté de les qualifier par rapport à leur caractère :

- **certain ou hypothétique ;**
- **déterminant ou sous jacent ;**
- **conjoncturel ou structurel ;**
- **aggravant ;**

avec pour objectif d'écartier, après examen, les facteurs sans influence sur le cours des événements et de ne retenir que ceux qui pourraient, avec un degré de probabilité appréciable, avoir pesé sur le déroulement des faits. Ils sont conscients, ce faisant, de ne pas répondre à toutes les questions suscitées par l'évènement.

7.1 Facteurs naturels

7.1.1 Conditions météorologiques

Météo sur zone notée par le CROSS Corsen à partir des indications fournies par la vigie du Portzic durant l'opération de sauvetage : vent du 207° Sud/Sud-Ouest) 36 nœuds, mer agitée. Ces observations doivent être comparées aux prévisions affichées au port de plaisance du Château avant l'appareillage du *NOTRE DAME DE RUMENGOL* : vent de Sud-Ouest force 5 Beaufort (17 à 21 nœuds), mer calme, visibilité 6/8 milles.

Après avoir consulté les prévisions météo affichées au port de plaisance du Château, le chef de bord fait procéder, avant son hissage, à une réduction de la surface de la grand voile de 2,5 tours de rouleau. Le gui de la voile de dundee n'est pas muni de rouleau et la voile elle-même ne dispose pas de système de prise de ris ; le dundee a donc été entièrement hissé.

Selon le chef de bord, la surface de voile du navire était bien adaptée aux conditions météorologiques sur zone. Néanmoins, on peut s'interroger sur la vitesse du vent en rade de Brest dans les parages du banc du Corbeau, à l'instant où le *NOTRE DAME DE RUMENGOL* a démâté : au même moment en effet, un vent de 36 nœuds était observé à la vigie du Portzic, située sur un promontoire face au goulet. Dans ces conditions de vent fort, le relief de la rade de Brest environnant le *NOTRE DAME DE RUMENGOL*, a pu favoriser la formation de turbulences.

Une turbulence soudaine survenant au moment du virement de bord lof pour lof a pu constituer **un facteur conjoncturel déclenchant** de la rupture du mât de dundee.

7.2 Facteurs matériels

7.2.1 L'état du mât de dundee (voir planche photo en annexe B)

Le *BEA*mer a fait analyser par le laboratoire du FCBA (Pôle des laboratoires Forêt, Cellulose, Bois – Construction, Ameublement) à Bordeaux, deux tronçons du mât de dundee, prélevés de chaque côté de la cassure.

Trois expertises ont été réalisées :

- anatomie du bois afin d'en déterminer l'essence,
- analyse mycologique afin d'identifier d'éventuelles altérations biologiques,
- analyse de la qualité du bois.

L'échantillon de la partie supérieure de la cassure a été utilisé pour déterminer l'essence du bois : l'analyse montre que le bois appartient à la famille des Pinacées, sous-famille Pinoïdées, genre Pinus et à la section sylvestris. **Il s'agit donc soit d'un pin sylvestre, ou d'un pin noir, ou d'un pin à crochet.**

L'échantillon analysé contient une proportion d'aubier très importante, qui constitue 90% de sa section :

- diamètre extérieur du mât : environ 200 mm,
- diamètre de la partie duraminisée : 55 à 65 mm,
- épaisseur d'aubier : 60 à 90 mm.

L'aubier est une partie du bois dont la durabilité face aux agents de dégradations biologiques est nulle à l'état naturel. L'imprégnabilité de l'aubier de pin est très forte. Cette caractéristique est particulièrement appréciable chez ces essences pour la pénétration des produits de traitement.

En l'absence de dégradation, les propriétés mécaniques de l'aubier et du duramen sont similaires.

L'application de produits de traitement fongicide du bois sur le mât de Dundee avant sa première mise en peinture, telle que précisé par l'association « An Test », n'a pas suffi à éviter le pourrissement de l'aubier. Par ailleurs, il n'a pas été constaté la présence sur le mât, d'une protection spécifique de type soufflage, au niveau du portage de l'encornât. Une peinture avait bien été appliquée récemment sur le mât, mais s'était déjà partiellement dégradée sur la surface soumise au frottement de l'encornât.

La présence d'une fente, inévitable sur une section de bois circulaire à cœur enfermé, a été constatée par le FCBA sur l'échantillon analysé. Il y a présence de peinture sur les bords extérieurs de la fente, mais pas à l'intérieur de celle-ci. N'étant pas protégée, elle a permis à l'humidité de pénétrer, favorisant le développement des champignons de pourriture.

On peut en conclure que la protection insuffisante du bois est la principale cause de la vulnérabilité du mât à la pourriture.

L'analyse mycologique a été réalisée par le FCBA sur l'échantillon de la partie supérieure de la cassure.

La présence de deux types de champignons a été identifiée :

- un champignon lignivore, se traduisant par une pourriture fibreuse, qui se développe à partir de 40% d'humidité dans le bois, entraînant pour celui-ci **une dégradation et une perte de propriétés mécaniques** ;
- un champignon lignicole :
 - o se traduisant par un bleuissement qui se développe à partir de 30% d'humidité dans le bois et altère ses propriétés esthétiques (coloration définitive bleue/noire en surface et en profondeur), sans perte de propriétés mécaniques ;
 - o à l'origine de moisissures, qui se développent à partir de 18% d'humidité dans le bois, sans pertes de propriétés mécaniques.

Le rapport du FCBA souligne en outre les points suivants :

L'aubier est en grande partie dégradé par des champignons de pourriture fibreuse, des champignons de ternissure et des échauffures.¹ Sa masse volumique est d'environ 320 kg/m³.

Le duramen est quant à lui naturellement plus durable que l'aubier et ne comprend pas de dégradations biologiques. Sa masse volumique est d'environ 450 kg/m³.

La rupture du mât s'est produite à l'interface aubier-duramen, car l'aubier dégradé et le duramen ont des propriétés physiques et mécaniques très différentes. Le mât est donc devenu un bi-composant à 90% d'aubier dégradé et 10% de duramen. Lorsque le mât fléchit, des contraintes de cisaillement très importantes apparaissent au niveau de l'interface pouvant conduire à la dissociation des deux parties : duramen et aubier dégradé, ce qui apparaissait d'ailleurs nettement sur l'échantillon.

Le mât comprend des fentes dans lesquelles la peinture a été partiellement appliquée. Il n'est que partiellement protégé par une peinture non entretenue (inefficace).

Le développement du champignon lignivore provoque à terme une perte totale de résistance mécanique de l'essence de bois attaquée, ce qui peut aboutir à le rendre totalement inapte à assurer son rôle structural.

¹ *Echauffure* : altération du bois provoquée par un champignon, provoquant un amoindrissement de ses propriétés mécaniques.

La conclusion du rapport du FCBA est la suivante :

« Le mât est dégradé par un champignon au niveau de l'aubier qui constitue 90% de la section.

Le bois ne comportait probablement pas de défaut majeur tel que des nœuds ou une roulure pouvant expliquer la rupture.

La peinture (non entretenue) ne constituait pas une protection suffisante du bois. »

Les analyses et interprétations faites par le FCBA permettent donc de comprendre comment on en est arrivé à la rupture de l'espar :

- la pourriture fibreuse de l'aubier avait affaibli la résistance du mât ;
- les propriétés physiques et mécaniques de l'aubier dégradé et du duramen sont très différentes ;
- la portion du mât sur laquelle portait l'encornât était soumise à des flexions alternées lors des changements d'amures ;
- les flexions alternées ont vraisemblablement provoqué un phénomène de fatigue favorisant un affaiblissement, voire une disparition de la liaison duramen/aubier ;
- lors du virement de bord « lof pour lof », le mât affaibli a été soumis à une contrainte de cisaillement trop forte et s'est brisé au niveau du portage de l'encornât, là où s'était développé un foyer de pourriture fibreuse. Au moment de sa rupture, le vent de Sud/Sud-Ouest soufflait entre 15 et 36 nœuds et la pression de la corne, pesant 80 kg, venait de se reporter brusquement de bâbord vers tribord sur la partie supérieure du mât.

L'état dégradé du mât de dundee est donc le **facteur déterminant** de l'accident et de ses conséquences.

7.2.2 L'impossibilité de réduire la surface de la voile de dundee

Après avoir pris connaissance des prévisions météo, le chef de bord avait décidé de réduire de 2,5 tours de rouleau la surface de la grand-voile ; la voile de dundee, qui ne dispose d'aucun dispositif de réduction de surface (ni prise de ris, ni gui à enrrouleur), a été hissée complètement. Le rôle de cette voile de 38 m² est important, car elle facilite la tenue du cap en équilibrant le navire, et aide au virement de bord vent devant. Le chef de bord a donc décidé de conserver cette voile hissée, même s'il ne pouvait en réduire la surface.

Le 25 août, les efforts exercés par le vent et la corne ont alors été suffisants pour briser le mât, lui-même affaibli structurellement par une pourriture fibreuse.

L'absence de dispositif de réduction de la voile de dundee a pu constituer **un facteur contributif** de l'accident et de ses conséquences.

7.3 Facteur humain

La sécurité des passagers lors des manœuvres sous voiles

Avant l'appareillage, le chef de bord avait informé les passagers de ne pas stationner, lors des virements de bord, dans la zone dangereuse du pont, balayée par le gui et par l'écoute de grand-voile, de ne pas se tenir dans la zone proche de l'écoute de dundee, de ne pas s'appuyer sur le grand mât, de ne pas s'asseoir sur la lisse de plat bord et de garder les pieds « sur ce qui n'est pas peint », c'est-à-dire le pont. Cependant, aucune information n'avait donnée aux passagers sur les risques présentés par un stationnement sous le vent de ce gréement lourd, en particulier durant une manœuvre de virement de bord.

Juste avant le virement lof pour lof, les passagers s'étaient répartis sur toute la surface du pont. Quelques passagers se trouvaient à la poupe, près du couronnement. Le chef de bord leur a indiqué que le déplacement de la voile de dundee était bruyant mais sans danger; il leur a demandé de libérer cet espace durant la manœuvre de l'écoute de la voile de dundee. Parmi eux se trouvent les victimes de l'accident, qui se sont déplacées pour venir se poster sous le vent du mât de dundee.

L'un des passagers, positionné avec son épouse sur l'avant bâbord au moment de l'accident, a précisé aux enquêteurs que, lors des virements de bord, tous deux, de leur propre initiative, se déplaçaient systématiquement par sécurité vers une zone située au vent, bien dégagée des éléments du gréement. Ayant lui-même l'expérience de la navigation à voile, il lui paraissait en effet judicieux de procéder de la sorte pour prévenir le risque d'un accident dû au gréement.

La sensibilisation insuffisante des passagers par l'équipage, s'agissant notamment des précautions à prendre lors des manœuvres sous voiles pour se mettre en sécurité, est **un facteur aggravant** des conséquences de la rupture du mât.

7.4 AUTRES FACTEURS

7.4.1 Le choix d'un mât en bois massif

A la fin de l'année 2001, l'association avait fait établir un devis par le chantier du GUIP pour la réalisation et la pose d'un nouveau mât de dundee. Le responsable du chantier avait alors proposé de réaliser un mât en bois lamellé-collé, avec gaine technique centrale, qui offre certains avantages par rapport au bois massif : la faible épaisseur des lamelles de bois permet, avant fabrication du mât, d'en vérifier facilement la qualité, notamment de séchage.

Les mâts en bois lamellé-collé sont plus légers que les mâts en bois massif ; en outre, le collage du bois sous haute pression donne un matériau très résistant qui supporte très bien les variations de température et d'humidité, évitant la formation de fentes. L'association « An Test » n'a cependant pas donné suite au devis proposé en 2001 par le chantier du GUIP.

Le mât en bois massif installé à bord est issu d'un arbre dont le tronc a été entreposé à l'abri, durant deux ans, dans un atelier. Le mât a ensuite été réalisé par les membres de l'association eux-mêmes et mis en place en 2008 à bord du *NOTRE DAME DE RUMENGOL*. L'application avant la première peinture, de produits de traitement contre les agressions entomologiques et mycologiques, n'a pas empêché le développement de pourriture fibreuse ; au niveau du portage de l'encornât, aucune protection de type soufflage n'a été mise en place.

Le choix de mettre en place un mât en bois massif, non muni d'un soufflage au niveau du portage de l'encornât et dont l'aubier n'était vraisemblablement pas suffisamment imprégné par les produits de traitement, constitue **un facteur sous-jacent** de l'accident.

7.4.2 L'inspection du gréement

L'inspection visuelle du gréement était effectuée, une fois par semaine, par le chef de bord (qui est aussi charpentier de marine) et l'équipier (faisant office de « bosco »), ce dernier réalisant également un suivi journalier. L'association « An Test » précise qu'un contrôle (à la pointe de couteau) de dureté du bois du mât était régulièrement effectué par l'équipage. Il apparaît cependant que la pourriture fibreuse localisée au niveau du portage de l'encornât, s'est développée à l'intérieur d'une fente du bois.

Un examen périodique plus approfondi de l'état du bois du mât, notamment à l'intérieur des gerces et fentes aurait peut-être permis de détecter à temps le risque de pourriture lié à l'infiltration d'eau. Des mesures correctives ou/et préventives auraient alors pu le cas échéant être prises.

L'examen vraisemblablement insuffisant des fentes du mât de dundee, a pu également constituer **un facteur sous-jacent** de l'accident.

8 SYNTHÈSE

Le 25 août 2010, peu avant 14h30, le *NOTRE DAME DE RUMENGOL* appareille de Brest avec 3 membres d'équipage et 20 passagers pour une courte croisière en rade de Brest. La mer est peu agitée à agitée et le vent de Sud/Sud-Ouest est assez fort avec rafales.

La grand voile est réduite mais la voile de dundee, ne comportant pas de dispositif de réduction de voilure, est entièrement hissée. Hormis l'interdiction de stationner dans la zone de balayage de la grand voile et sur le couronnement, aucune consigne particulière n'est donnée aux passagers, s'agissant de leur positionnement au cours des manœuvres.

A l'issue d'un virement lof pour lof, le mât de « dundee » se brise à sa partie supérieure puis chute sur le pont, entraînant la corne. Une passagère est grièvement blessée et évacuée par hélicoptère vers l'hôpital de Brest.

L'analyse des restes du mât mettra en évidence une pourriture de l'aubier au niveau de l'encornât, due principalement à un traitement insuffisant du bois contre les effets des infiltrations d'eau. Cette dégradation n'a pas été détectée à temps, faute d'examen périodiques suffisamment approfondis.

9 MESURES PRISES PAR L'ARMATEUR

Un nouveau mât de dundee, réalisé en bois lamellé-collé, est en fabrication au chantier du GUIP à Brest.



10 RECOMMANDATIONS

Le *BEA*mer rappelle :

aux chefs de bord et membres d'équipage de voiliers NUC

- 10.1** Qu'il convient de porter une attention constante à la sécurité des passagers embarqués, particulièrement lors des manœuvres du gréement.

Le *BEA*mer recommande :

à l'armateur du *NOTRE DAME DE RUMENGOL*

- 10.2** de mettre en place un dispositif de réduction de surface de la voile de dundee ;

aux armateurs de voiliers NUC :

- 10.3** de faire exécuter par des professionnels qualifiés tous travaux autres que ceux touchant à l'entretien courant du navire, et de suivre leurs recommandations ;

- 10.4** d'afficher et de rappeler aux passagers, avant appareillage, les consignes relatives aux mesures de sécurité à prendre en cas de situation d'urgence, mais aussi en navigation courante pour se positionner sans risques durant les manœuvres ;

- 10.5** de veiller à disposer des budgets adéquats pour entretenir et faire naviguer leurs unités en toute sécurité.

aux fabricants de mâts et autres espars en bois :

- 10.6** d'appliquer aux espars en bois un traitement par autoclave permettant d'atteindre le niveau de protection de la classe de risque 3b (forte exposition à une humidité fréquemment supérieure à 20%) voire 4 (humidité toujours supérieure à 20%) telle que défini par les normes NF EN 335-2 et NF B 50-100.

à l'administration chargée de la réglementation de la sécurité des navires

10.7 d'insérer dans la réglementation NUC :

- une disposition adressée aux armateurs, visant à mettre en place un système de gestion de la sécurité comportant une maintenance planifiée formalisée du navire;
- une disposition, pour les navires à voiles, relative à l'entretien des mâts et autres espars, ceux-ci faisant partie intégrante du gréement ;
- une disposition pour les navires à voiles, prévoyant l'inspection annuelle approfondie du gréement par un professionnel qualifié et la présentation du rapport correspondant à l'inspecteur de la sécurité des navires lors de la visite périodique du navire ;

10.8 d'exiger qu'à bord de tout NUC, le DUP prenne en compte les risques encourus par les passagers présents à bord, à l'instar de ce qui est exigible des navires de pêche embarquant des passagers (cf. note DAM/SM/SM2 du 11 janvier 2007).

LISTE DES ANNEXES

A. Décision d'enquête

B. Planche photographique

C. Informations diverses

Décision d'enquête



Bureau d'enquêtes sur
les événements de mer

Paris, le 12 OCT. 2010

N/réf. : BEAmer 0017



Décision

Le Ministre de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer ;

- VU** la loi n° 2002-3 du 3 janvier 2002 relative aux enquêtes techniques après événements de mer ;
- VU** le décret n° 2004-85 du 26 janvier 2004 relatif aux enquêtes techniques après événement de mer, accident ou incident de transport terrestre ;
- VU** le décret du 09 septembre 2008 portant délégation de signature (Bureau d'enquêtes sur les événements de mer) ;
- VU** le décret du 09 juin 2008 portant nomination du Directeur du Bureau d'enquêtes sur les événements de mer ;
- VU** le SITREP 1038 établi le 25 août 2010 par le CROSS Corsen ;

DECIDE

Article 1 : En application de l'article 14 de la loi sus-visée, une enquête technique est ouverte concernant le démâtage du voilier *NOTRE-DAME DE RUMENGOL* survenu le 25 août 2010 en rade de Brest, immatriculé à Brest sous le N° 267500 et battant pavillon français.

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 le titre III de la loi sus-visée et la résolution MSC.255 (84) de l'Organisation Maritime Internationale.

Ministère de l'Écologie,
de l'Énergie,
du Développement durable,
et de la Mer

BEAmer

Tour Pascal B – Antenne Voltaire
92055 LA DEFENSE CEDEX
téléphone : 33 (0) 1 40 81 38 24
télécopte : 33 (0) 1 40 81 38 42
Bea-Mer@developpement.durable.gouv.fr

Pour le Ministre et par délégation
Le Directeur-adjoint du BEAmer
Philippe LAINE



Planche photographique



M.E.E.D.D.M (BEA Mer)
FCBA.IBC.342.373-PMa/PDe-N°2010.512.0327
Bordeaux, le 23/11/2010

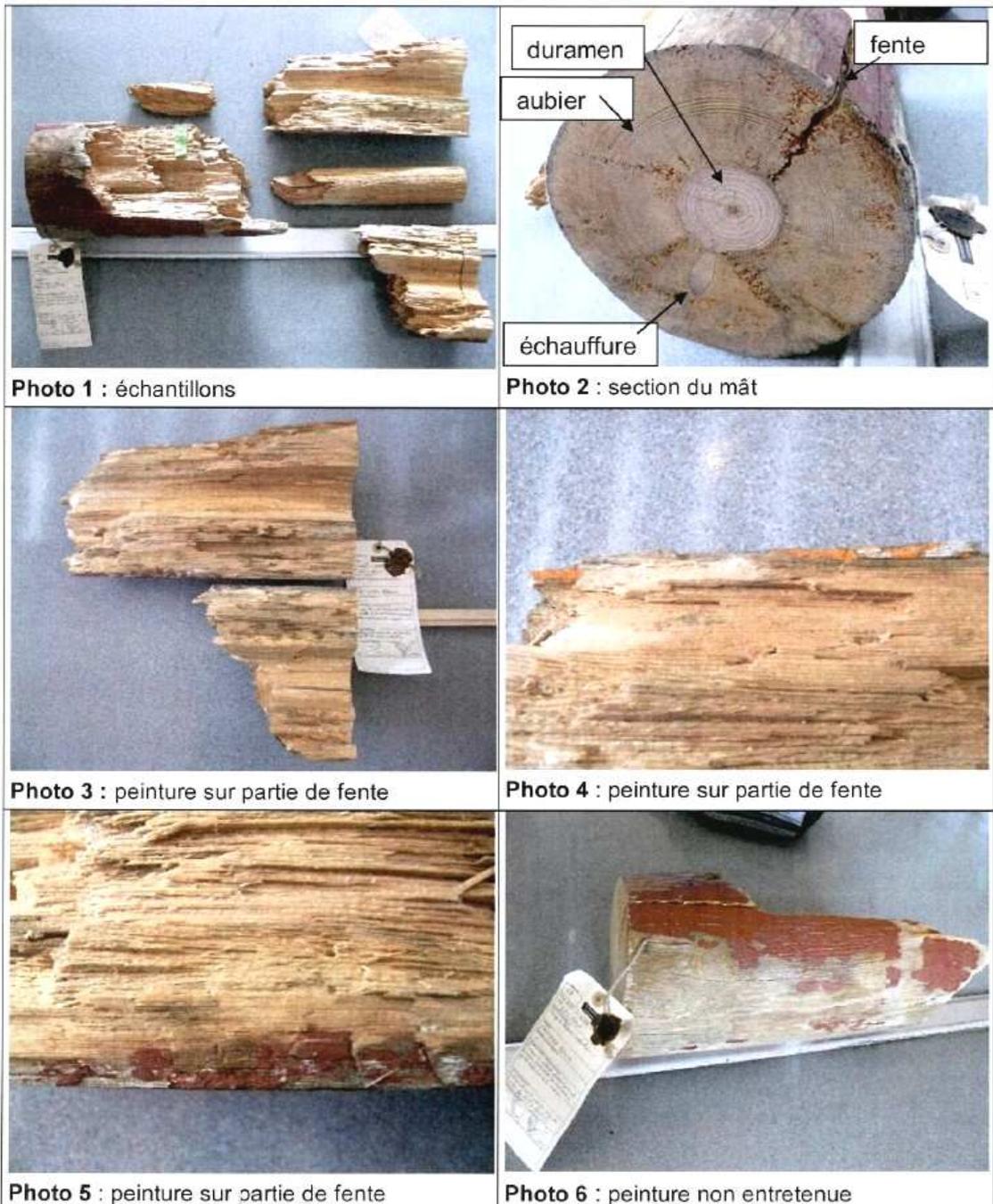


Photo 1 : échantillons

Photo 2 : section du mât

Photo 3 : peinture sur partie de fente

Photo 4 : peinture sur partie de fente

Photo 5 : peinture sur partie de fente

Photo 6 : peinture non entretenue



Informations diverses

M.E.E.D.D.M (BEA Mer)
FCBA.IBC.342.373-PMa/PDe-N°2010.512.0327
Bordeaux, le 23/11/2010

4

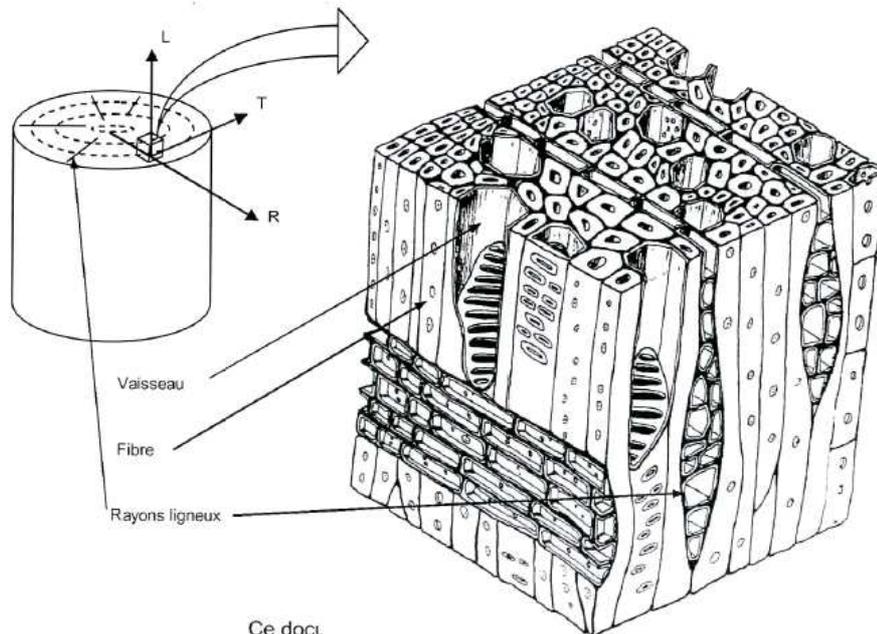
5 - INFORMATIONS DIVERSES

Le bois est un matériau naturel extrait de l'arbre. Ses propriétés s'expliquent pour une grande part par le principe de sa formation dans l'arbre.

Il se compose de plusieurs types de cellules : fibres, vaisseaux, parenchyme, trachéides, canaux résinifères ou lactifères.... Ces cellules ont chacune des rôles précis qui permettent au bois de remplir ses fonctions dans l'arbre, principalement :

- la conduction de la sève brute (des racines aux feuilles) dans une zone conductrice : aubier ;
- le soutien architectural : l'arbre est une structure très élancée qui porte ses capteurs solaires (feuilles) très haut à partir d'une assise très réduite ; le développement des bourgeons réalise le plan architectural ; le bois est le matériau de construction qui permet la réalisation de ce plan dans l'espace physique compte tenu de la pesanteur, des vents, de l'éclairage... ;
- le stockage des déchets du métabolisme : les plantes n'ont pas d'appareil excréteur comme les animaux, le bois de cœur permet de stocker ceux-ci sous forme de substances synthétisées lors de la duraminisation. Ces substances, appelées « extraits » sont souvent « toxiques » et difficilement extractibles et conféreront ultérieurement au bois une résistance contre les organismes.

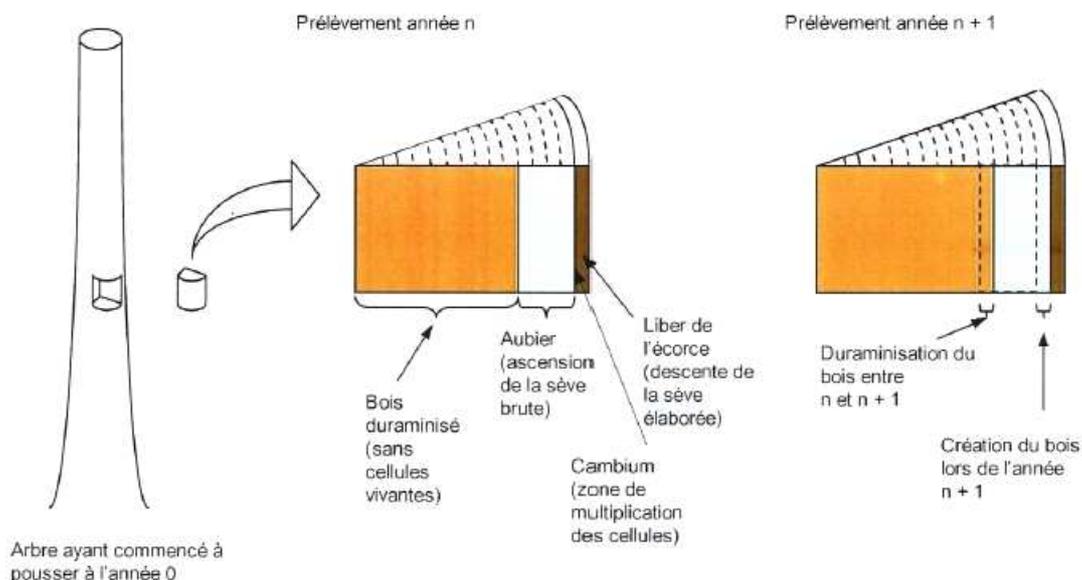
Le bois est donc, à l'échelle du millimètre, un matériau cellulaire. Ces cellules sont orientées : la majeure partie sont des tubes allongés selon la direction L (longitudinale) (sens des fibres). Cette direction coïncide approximativement avec l'axe du tronc. Les rayons ligneux sont des cellules alignées en files radiales (comme des rayons de bicyclette) selon la direction R (radiale). La direction T (tangentielle) est alors définie telle que RTL soit un repère orthonormé direct qui coïncide avec les coordonnées cylindriques dans les troncs cylindriques. Il est à noter qu'aucune cellule n'est orientée selon T.



Les orientations privilégiées confèrent une première anisotropie au matériau bois ; les propriétés diffèrent selon R, T et L.

Les propriétés mécaniques du bois sont conférées par les fibres et trachéides (principalement orienté selon L), assimilables à des tubes creux qui représentent en général plus de 80 % du volume cellulaire.

A l'échelle macroscopique d'une section de tige, le bois naît du cambium situé juste sous l'écorce. On distingue ensuite un anneau de bois périphérique, l'aubier, souvent de couleur plus claire, qui conduit la sève (un arbre adulte véhicule entre 70 et 500 litres d'eau par jour). Le cœur interne se constitue progressivement au fur et à mesure de la croissance de l'arbre en diamètre par stockage des extraits selon un processus appelé « duraminisation ». Le bois de cœur, aussi appelé duramen ou bois parfait, est souvent plus coloré du fait de ces extraits, on parle alors de cœur et d'aubier différenciés. Ce n'est généralement pas le cas sur les bois blancs. Seul le bois de cœur peut présenter suivant l'essence une résistance aux attaques de termites, de champignons ou d'insectes (du fait des extraits « toxiques »). Mécaniquement l'aubier a une structure intime analogue à celle du bois de cœur qui lui confère des propriétés identiques ; mais d'un point de vue durabilité l'aubier est très sensible à tous les agents de dégradation biologique quelle que soit l'essence de bois.



Le bois est un matériau hydrophile conçu dans l'arbre vivant pour accueillir et faire transiter de l'eau. Hors de l'arbre vivant ses propriétés mécaniques et physiques sont différentes.

L'humidité du bois agit pratiquement sur toutes les propriétés du bois notamment mécaniques. Pour limiter les déformations et les variations de dimensions et de propriétés du bois après sa mise en œuvre, il est conseillé d'amener le bois à une humidité moyenne correspondant à son utilisation.

Quel que soit le milieu ambiant hors d'eau, le bois sorti de l'arbre (dont le taux d'humidité est supérieur à 70 % en moyenne) ressuie lentement jusqu'au point de saturation des fibres (appelé PSF qui est d'environ 30% d'humidité pour les résineux tempérés).

Le bois peut ensuite sécher à l'air libre ; mais la vitesse de séchage, pour se rapprocher de l'humidité d'équilibre, est assez lente, et il est impossible de descendre en dessous de l'humidité d'équilibre qui dépend de la température et de l'humidité relative de l'air (cf. diagramme en annexe).

Le séchage artificiel permet de sécher le bois à une faible humidité en le plaçant dans des conditions sèches rudes. Toutefois, un excès de ces conditions peut provoquer des fentes, des gerces ou du collapse. Pour des sections importantes et pour des bois plus difficiles à sécher, il est difficile d'obtenir une humidité convenable à cœur.

En dessous du point de saturation des fibres les variations d'humidité conduisent à des variations importantes de dimensions (et au dessus le bois ne subi pas de variation de dimension).

Dans une direction de bois donnée, on appelle le retrait total le rapport de la variation de dimensions entre le bois sec et le bois au PSF sur la dimension du bois sec.

$$R = (\text{Dim}_{(H\% \geq \text{PSF})} - \text{Dim}_{(H\% = 0)}) / \text{Dim}_{(H\% = 0)}$$

Le retrait total est variable selon le bois et surtout selon la direction considérée. Le retrait longitudinal total est le plus faible (présence des fibres du bois) de l'ordre de 1 %. Le retrait radial total est plus important mais reste limité par la présence des rayons ligneux, il est de l'ordre de 5 %. Enfin, le retrait tangentiel total est le plus important car aucune cellule n'est orientée dans ce sens, il est de l'ordre de 10 %.

Ces déformations sont proportionnelles à la variation d'humidité. Le coefficient de retrait α est défini par la variation de dimensions due à une variation de 1 % d'humidité sur la dimension du bois sec.

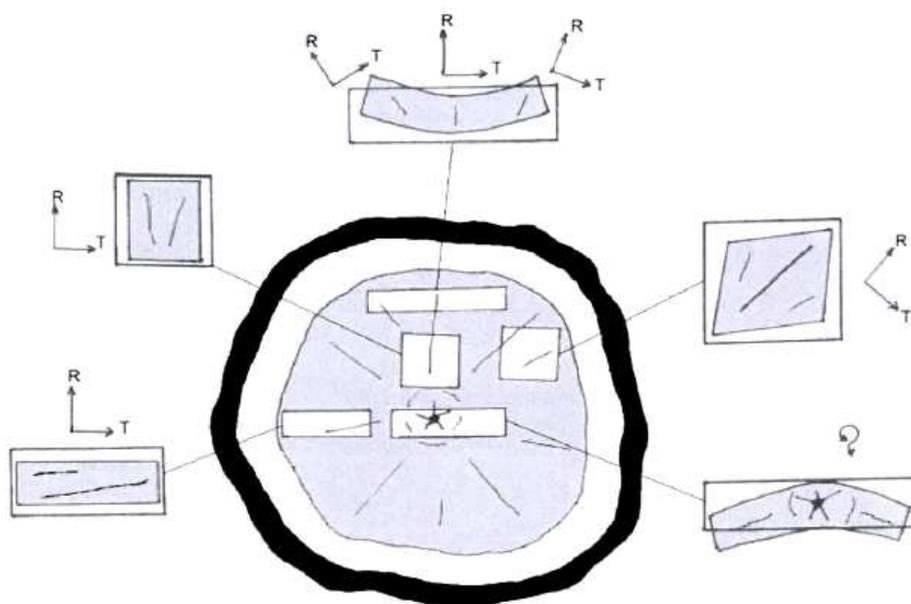
$$\alpha = R / \text{PSF}$$

Orientation	Coefficient de retrait en % par % de H	résineux	chêne
tangentielle	α_t	0,35	0,43
radiale	α_r	0,19	0,18
axiale	α_l	0,006	0,028

Finalement, la variation de dimension se calcule simplement avec la formule suivante :

$$\Delta l = \alpha_i \times \Delta H \times l / 100$$

En conséquence des différences de retraits suivant les directions R et T, le bois se déforme irrégulièrement en séchant. Le retrait selon la direction R étant moins important (que celui selon T), on dit que le bois « tire à cœur » en séchant. Le phénomène est inverse pour la reprise d'humidité.



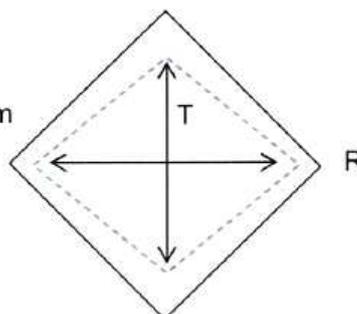
Justification de la déformation par calcul :

Prenons un carrelet (avivé de section carrée) de 10 cm de diagonale, taillé sur faux quartier.

S'il passe de 20 à 10 % d'humidité.

Retrait : $\Delta_R = 0,19/100 \times (20-10) \times 10 = 0,19 \text{ cm}$

Retrait : $\Delta_T = 0,35/100 \times (20-10) \times 10 = 0,35 \text{ cm}$

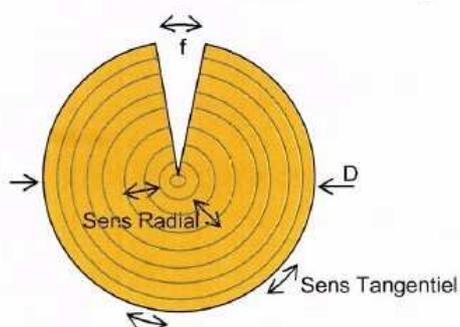


La diagonale dans le sens R sera plus grande et donnera une forme de parallélogramme.

Dans le cas d'un rondin de bois où le cœur de l'arbre est enfermé, les différences de retrait radial et tangentiel font que la périphérie de la section tend à réduire de façon plus importante que le rayon.

De ce fait le bois supporte des contraintes de traction perpendiculaire dans le sens tangentiel ou bien des fentes se produisent. La résistance en traction perpendiculaire du bois étant faible, des fentes apparaissent dans la plupart des cas.

La largeur de la fente (ou cumulée des fentes) est même prévisible par le calcul, et dépend notamment du diamètre, de la variation d'humidité du bois (depuis PSF), et de la différence entre le retrait radial et tangentiel.



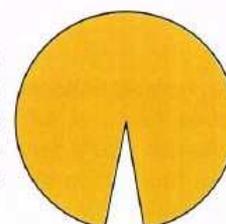
$$f = \pi \cdot D (\alpha_T - \alpha_R) \Delta H / 100$$

Le positionnement des fentes sur les bois ronds est difficilement prévisible. Elles se produisent dans les zones les plus fragiles ou à proximité des nœuds.

Ces fentes n'ont en général peu de conséquence sur la résistance mécanique du bois dont le cœur est enfermé ; Les fibres du bois sont dissociées mais non rompues.

En revanche, elles peuvent constituer des pièges à eau pouvant générer un développement fongique, mais aussi mettre à nu une partie du bois dont la durabilité n'était pas suffisante et protégée par une technique de préservation (protection surfacique ou imprégnation partielle avec un produit de préservation).

Une technique utilisée sur les glissières de sécurité routière est de créer volontairement cette fente par une entaille à mi bois. Cette entaille libère les contraintes de déformation et limite donc l'apparition de fente dans des zones non souhaitées (au niveau des assemblages par exemple). Elle est généralement placée en partie basse pour ne pas constituer de piège à eau.



Certains éléments de structure de forte dimension sont reconstitués et sont beaucoup plus homogènes. Leur stabilité fait qu'ils ne présentent pas (ou peu) de problème d'apparition de fentes. Ces produits sont entre autres : le lamellé collé, le contrecollé, le lamibois...

Autre information : Les champignons de pourriture du bois sont des champignons lignivores, qui peuvent se développer sur du bois (résineux ou feuillu) dès que celui-ci présente une humidité comprise entre 22 et 45% en moyenne. Par conséquent, l'apparition et le développement des champignons de pourriture sont une conséquence directe de la présence d'une humidité anormale au niveau des éléments de bois attaqués. La pourriture cubique est causée par la dégradation enzymatique de deux composants essentiels de la paroi cellulaire du bois : les hémicelluloses et la cellulose.

La dégradation de ces composés provoque une désorganisation structurelle du bois : les parois cellulaires du bois perdent leur structure fibrillaire interne et sont réduites à une substance amorphe cassante. Le bois pourri se dessèche, se rétracte et se fracture dans le sens transversal et le sens longitudinal, découpant le bois en cubes. Le développement du champignon provoque ainsi à terme une perte totale de la résistance mécanique de l'essence de bois attaquée, ce qui peut aboutir à le rendre totalement inapte à assurer son rôle structural.

**RISQUES D'ATTAQUES FONGIQUES
SUR LES MENUISERIES EXTERIEURES**

Ces attaques ne peuvent se produire que si le bois atteint en permanence ou durant de longues périodes un taux d'humidité supérieur à 20 %.

Il est difficile d'éviter totalement cette humidification, en particulier pour les assemblages bas des châssis ou les parties inférieures des volets.

Le risque d'attaque est lié :

- à la conception même de l'ouvrage
(pour les fenêtres se référer à la norme P 23-305)
- à la mise en oeuvre

Il peut être aggravé par le revêtement choisi :

- Finition trop imperméable qui freine le séchage du bois
- Finition appliquée sur un bois humide

Le traitement de préservation est nécessaire si le bois n'est pas naturellement résistant.

Dans le cas où une finition est envisagée, il faut s'assurer de la compatibilité du système de traitement avec le produit de finition.