



Rapport d'enquête Investigation report

**Incendie du compartiment machine à bord du navire roulier
à passagers *PONT-AVEN* le 29 avril 2019, entre Plymouth et Santander**

**Engine room fire on board the ro-ro passenger vessel *PONT-AVEN*
on 29 April 2019, between Plymouth and Santander**

Bureau d'enquêtes sur les événements de mer

Rapport publié: juin 2022

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.

Ce rapport n'a pas été rédigé, en ce qui concerne son contenu et son style, en vue d'être utilisé dans le cadre d'actions en justice.

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	7
2.5	Intervention	Page	8
3	Exposé	Page	11
3.1	Historique pré-accident du MP2	Page	11
3.2	Fonctionnement des automatismes pendant l'accident	Page	13
3.3	Expertises techniques post-accident	Page	14
4	Analyse	Page	15
4.1	Origine de l'accident	Page	16
4.2	Contrôle de la conformité des axes de pistons	Page	17
4.3	Maintenance	Page	19
4.4	Pistes d'amélioration	Page	22
5	Retours d'expérience	Page	23
5.1	Retours d'expérience de la compagnie	Page	23
5.2	Actions préventives entreprises	Page	25
6	Conclusions	Page	27
7	Enseignements	Page	28
8	Recommandations	Page	28
	Annexes		
A.	Liste des abréviations	Page	57
B.	Décision d'enquête	Page	58
C.	Conclusions des experts du fabricant des axes de piston	Page	59
D.	Commentaires de la BAI sur l'arrêt technique de 2016	Page	61

1 Résumé

Après avoir quitté Plymouth dans l'après-midi du dimanche 28 avril 2019, le navire roulier à passagers *PONT-AVEN* navigue vers Santander dans des conditions météorologiques favorables. Dans la nuit, alors qu'il se trouve dans le sud de la pointe de Penmarc'h, une forte vibration est ressentie dans le navire.

Un des quatre moteurs de propulsion stoppe automatiquement par sécurité. La rupture d'une pièce, au niveau d'un pied de bielle du moteur principal n°2, a provoqué des dégâts mécaniques très importants, entraînant l'arrachement de portes de carter de ce moteur. Des brouillards d'huile à très haute température s'en échappent puis s'embrasent provoquant un début d'incendie dans le local machine. La détection incendie déclenche l'alarme et active la mise en œuvre automatique du dispositif d'extinction fixe par brouillard d'eau. L'envoi de plusieurs équipes de pompiers du bord permet de maîtriser l'incendie. L'accident ne fait pas de victimes.

Durant la lutte contre l'incendie, les passagers sont appelés par sécurité aux points de rassemblement. Tout se déroule dans le calme.

Le navire étant toujours manœuvrant, la décision est prise par l'armement d'un déroutement vers Brest. Une équipe d'évaluation et d'intervention, dépêchée par la Préfecture maritime de l'Atlantique, est hélitreuillée à bord et participe aux rondes de sécurité organisées durant le transit. Le remorqueur d'intervention, d'assistance et de sauvetage *ABEILLE BOURBON* escorte le *PONT-AVEN* jusqu'à Brest où les passagers sont débarqués.

2 Informations factuelles

2.1 Contexte

BAI (Brittany ferries) est une compagnie maritime française qui exploite des navires rouliers à passagers (ferries) entre la France, l'Angleterre, l'Irlande et l'Espagne. Le *PONT-AVEN* est le plus grand navire de la compagnie. En pleine saison estivale, il peut embarquer un maximum de 2600 personnes soit 184 membres d'équipage et 2416 passagers. Le navire dessert les lignes suivantes : Roscoff-Cork, Saint-Malo-Portsmouth, Roscoff-Plymouth et Plymouth-Santander.

Pour cette traversée, sont à bord 766 passagers, dont 4 enfants et 8 nourrissons. Le navire transporte également 90 motos, 28 caravanes, 205 voitures et 77 camions. Il n'y a pas de marchandises dangereuses à bord.

2.2 Navire



- Nom du navire : *PONT-AVEN*
- Type : navire roulier à passagers
- N° OMI : 9268708
- Immatriculation : MX 905655
- Longueur hors-tout : 184,30 m
- Largeur : 30,90 m
- Tirant d'eau : 6,80 m
- Capacité d'accueil : 2416 passagers, 650 voitures
- Propulsion : 4 moteurs MaK 12 VM43 sur 2 lignes d'arbres
- Puissance : 43 200 kW
- Jauge brute (UMS) : 40859
- Année de construction : 2003 au chantier allemand Jos L Meyer
- Société de classification : Bureau Veritas Marine & Offshore (BV)

Moteurs de Propulsion

La Propulsion est assurée par 4 moteurs principaux (MP) avec 2 moteurs par ligne d'arbres. Les MP 1 et 2 sont situés dans le compartiment machine bâbord et les MP 3 et 4, dans le compartiment machine tribord. Les moteurs de propulsion tournent environ 5000 heures par an.

Les MP sont des moteurs MaK 12 VM43 (12 cylindres de 430 mm d'alésage placés en V), avec 6 paires de cylindres, A et B, numérotées de 1 à 6 en partant de l'arrière du navire. Les moteurs du *PONT-AVEN* sont les 4 premiers de la série des MaK 12 VM43 construits par le fabricant Cat motoren¹. Ces moteurs sont de type semi-rapide, 500 tours/min.

Fabricant des moteurs de propulsion

MaK est un développeur et un constructeur de moteurs marins depuis 1922, basé dans le nord de l'Allemagne. C'est une marque du groupe Caterpillar depuis 1997 sous le nom de MaK motoren puis de Cat motoren depuis 2000.

Combustible

Selon que le navire est en mer ou au port, les MP sont alimentés au fioul lourd² (HFO) ou au gazole (MDO). Le HFO doit être réchauffé afin d'être fluidifié pour être utilisé. Moins visqueux et ne nécessitant pas de réchauffage, le MDO est plus souple d'utilisation. Le changement de combustible est, en temps normal, progressif et s'effectue selon une procédure bien établie et anticipée. Au moment de l'accident, les moteurs sont alimentés au HFO.

2.3 Équipage

Lors de la traversée, il y a 142 membres d'équipage à bord du *PONT-AVEN*. Les équipes de conduite pont et machine sont constituées de 39 personnes dont 13 officiers et le service hôtelier compte 102 personnes sous la responsabilité du commissaire de bord. Au regard du nombre de passagers embarqués, la décision d'effectif³ du navire est respectée.

Le commandant est âgé de 58 ans. Officier de marine marchande depuis 1986, il commande des navires de la BAI depuis 17 ans.

Un quart permanent est organisé à la machine. La nuit, le quart est effectué par un officier qui est seul, l'équipe machine travaillant à la journée. Le quart de minuit à 4h00, lors duquel l'incendie a commencé, est effectué par le 3^{ème} officier mécanicien. Il a 42 ans et navigue sur différents navires de la compagnie comme officier mécanicien depuis juillet 2010.

¹ Caterpillar motoren GmbH & Co. KG.

² Afin de limiter la teneur en soufre des gaz d'échappement, les cheminées du navire sont équipées de laveurs de fumées (scrubbers).

³ Certificat international émis par l'administration qui valide un effectif minimum pour un navire au regard des impératifs de sécurité, de sûreté et de la réglementation en matière de durée du travail.

2.4 Accident

L'incendie du compartiment machine du *PONT-AVEN* au niveau du MP2 se produit dans la nuit du dimanche 28 au lundi 29 avril 2019. Le navire se trouve dans le Golfe de Gascogne en route entre Plymouth et Santander à 115 milles dans l'ouest des Sables-d'Olonne et à 77 milles dans le sud de la pointe de Penmarc'h. La mer est peu agitée (force 3 sur l'échelle Douglas), il y a une légère brise (force 2 sur l'échelle Beaufort de secteur nord-ouest à nord-est) et la visibilité est bonne (10 milles). (Source Météo-France).

Heure locale TU + 2

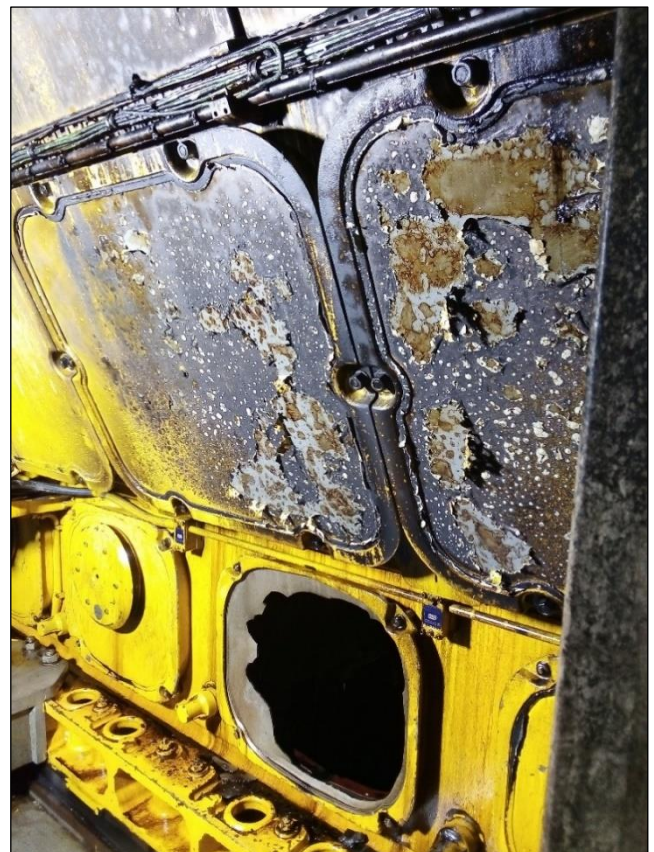
Lundi 29 avril 2019,

À **03h34**, des vibrations se font sentir sur le navire et un fort grondement retentit en machine. L'alarme du détecteur de brouillard d'huile du MP2 est activée et déclenche 4 secondes plus tard l'arrêt du moteur. La centrale de gestion des alarmes de la machine enregistre rapidement de nombreux défauts, notamment l'activation du détecteur de brouillard d'huile du MP1 qui entraîne également son arrêt.

Description des dommages sur les moteurs

Sous la projection de pièces tournantes et brisées dans le moteur, les portes de carter des cylindres A5 et B5 du MP2 sautent. Cela entraîne l'expulsion de vapeurs d'huile contenues dans le carter. La combustion instantanée des vapeurs d'huile chaude dans l'air provoque un embrasement au niveau des portes de carter. Le début d'incendie en résultant crée des dommages importants sur les chemins de câbles des MP1 et MP2 et dans le local des séparateurs d'huile.

À l'intérieur du MP2, la chemise du cylindre A5 a été fracturée en de nombreux petits morceaux de pièces dispersés au fond du carter. Le corps de la bielle est tordu et brisé en trois morceaux. Le pied de bielle est également cassé en trois morceaux qui présentent d'importantes déformations. Le coussinet du pied de bielle du cylindre A5 est presque entièrement détruit.

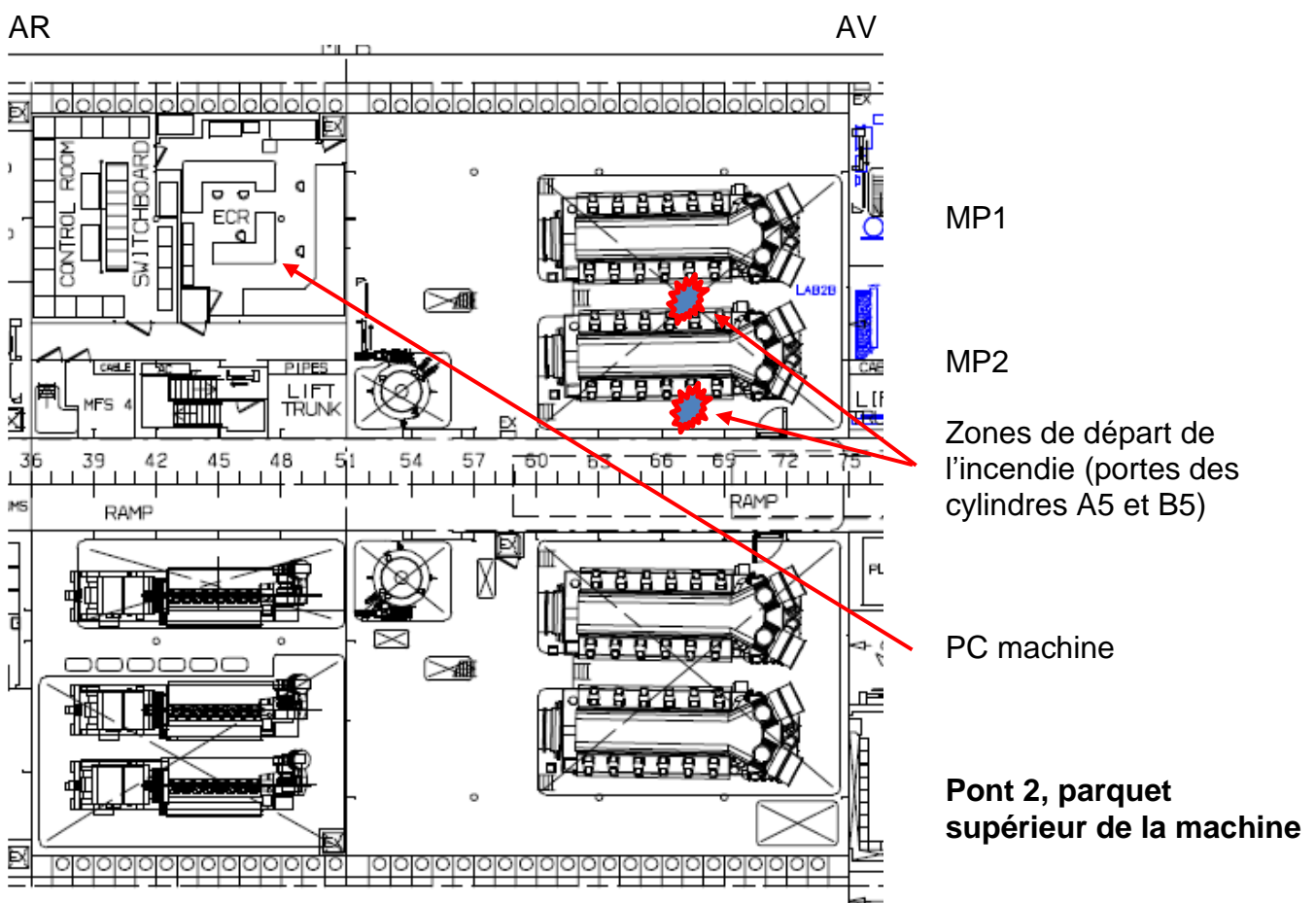


MP2, destruction de la porte de carter au niveau du cylindre 5

La tête du piston est tombée au fond du carter ainsi que des débris tordus du coussinet de pied de bielle qui a été détruit. L'axe de piston, qui a été projeté hors du moteur, est fortement endommagé avec des fissures importantes sur la circonférence et des traces de matage. Le cylindre opposé (B5) et le bâti ont subi des impacts importants par la dispersion brutale des fragments de pièces. L'ensemble de ces dégâts a rendu le moteur irréparable.

Outre la perte du MP2, un chemin de câbles constitué de 100 câbles et 6000 connexions a été endommagé par les projections et l'incendie.

2.5 Intervention



Lundi 29 avril,

À **03h34'41''**, par une détection incendie (flammes et fumée), le système de protection contre l'incendie par brouillard d'eau à haute pression (Hi-Fog) se déclenche automatiquement.

À **03h35**, le lieutenant de quart passerelle et l'officier mécanicien qui est de quart au PC machine communiquent brièvement sur l'événement.

À **03h36**, le chef de quart machine ouvre la porte du PC, voit de la fumée, et se rend au coffret des arrêts d'urgence. Il enclenche les commandes à distance des vannes à fermeture rapide d'alimentation en carburant des MP1 et MP2 et des volets de ventilation. Il se rend ensuite sur le parquet culasses, muni d'un extincteur à poudre, pour attaquer le feu sur un chemin de câbles. Après avoir envoyé deux pulvérisations, il vide l'extincteur sur un deuxième foyer situé entre les deux MP. N'étant pas équipé d'un appareil respiratoire et de la tenue adaptée, il est contraint de retourner au PC machine en raison des fumées.

À **03h38**, le lieutenant de quart à la passerelle acquitte les alarmes de la centrale de détection des incendies et observe le sinistre sur les écrans de contrôle de vidéosurveillance de la machine. Il déclenche l'émission d'un signal d'alerte dans les locaux réservés à l'équipage et effectue, via la diffusion générale du bord, l'annonce codée prévue pour prévenir les membres d'équipage. Toutes les équipes prévues dans le plan de secours du bord se mettent rapidement en place.

À **03h40**, le commandant arrive en passerelle et prend connaissance de la situation.

À **03h42**, les portes étanches d'accès par l'avant au compartiment machine bâbord sont fermées à distance depuis la passerelle. Le CROSS Étel et le cadre d'astreinte à terre de la compagnie sont prévenus par le bord de la situation. En machine, la ventilation du compartiment bâbord est stoppée et la porte étanche située entre le compartiment machine et le PC est fermée, en local, par le chef de quart machine.

À **03h44**, les pompes du circuit HFO des MP1 et MP2 sont stoppées. Sur décision du second capitaine, la zone d'approche et de réserve (ZAR), centre névralgique de l'attaque de l'incendie, est installée au pont garage n°3 à proximité d'un escalier d'accès au compartiment machine. De ce point, il donne les consignes aux équipes de lutte contre l'incendie.

À **03h53**, sur ordre du commandant, le navire fait route vers l'est afin de se rapprocher d'un port et diminuer la distance pour d'éventuelles interventions par hélicoptère. Le navire fait route sur les moteurs qui sont restés fonctionnels, les MP3 et 4.

Depuis le début de l'alerte, le bord informe par téléphone satellite le CROSS Étel de la situation de manière régulière. À **03h57**, il est demandé au CROSS de préparer, pour un possible transfert par hélicoptère, une équipe de marins-pompiers de Brest pour aider à la lutte contre l'incendie.

À **04h00**, le 1^{er} binôme de pompiers équipés d'appareil respiratoire entre dans le compartiment des MP1 et MP2. Du personnel est mis en place avec des lances pour refroidir les éventuels points chauds.

À **04h04**, le système d'extinction incendie fixe Hi-Fog, dont les buses sont situées sous le parquet du compartiment machine, est activé manuellement ce qui a pour conséquence de réduire de manière conséquente les flammes de l'incendie.

À **04h11**, alors que des flammes sont encore visibles sur l'avant des MP 1 et 2, un 2^{ème} binôme de pompiers équipés part combattre l'incendie en remplacement du 1^{er} binôme.

À **04h13**, à bord, la phase dite « alarme » est déclenchée, les passagers sont appelés à se rendre aux points de rassemblement par diffusion générale.

À **04h21**, les MP3 et MP4 sont passés au MDO.

À **04h22**, un 3^{ème} binôme est engagé.

À **04h26**, sur les écrans vidéo de la passerelle, il n'y a plus de flammes visibles dans le compartiment machine bâbord.

À **04h31**, le commandant informe le CROSS Étrel que la demande d'assistance des pompiers de terre peut être annulée.

À **04h33**, le second capitaine, responsable des équipes d'intervention, informe la passerelle que le feu est éteint.

À **04h34**, le Hi-Fog est arrêté et une investigation est effectuée par un 4^{ème} binôme qui confirme la fin de l'incendie.

À **04h50**, sur ordre du commandant, le commissaire de bord informe les passagers par la diffusion générale que le feu est éteint et qu'ils peuvent regagner leurs cabines.

À **04h52**, le second capitaine et le second mécanicien descendent à la machine, équipés de détecteurs de gaz toxiques individuels, pour une première évaluation des dégâts.

À **05h10**, après un entretien entre le directeur de la flotte de l'armement et le commandant, décision est prise de se dérouter sur Brest.

À **06h03**, le *PONT-AVEN* informe le porte-conteneurs *CMA CGM FORT SAINT PIERRE*, qui s'était dérotté, que son assistance n'est plus requise.

À **06h08**, le CROSS Étrel informe le commandant que la préfecture maritime maintient l'envoi d'un hélicoptère armé d'une équipe d'évaluation et d'intervention (EEI). Le remorqueur de haute mer *ABEILLE BOURBON* est également dépêché sur zone.

À **07h19**, l'EEL et son matériel sont à bord.

À **08h53**, l'*ABEILLE BOURBON* a rejoint le *PONT-AVEN* et débute l'escorte.

À **15h20**, le *PONT-AVEN* est à quai à Brest.

3 Exposé

L'accident provient très vraisemblablement d'une rupture mécanique. La bielle déseparée a heurté le bâti et la dispersion violente de différentes pièces a fait sauter les portes de carter des cylindres A5 et B5. Les pièces cassées à l'intérieur du moteur (axe de piston d'un côté et jupe de l'autre) ont été expulsées par les portes de carter ouvertes. Puis un brouillard d'huile brûlante s'est échappé du moteur pour s'enflammer dans le compartiment.

Le bon fonctionnement des systèmes de détection incendie, des systèmes d'extinction automatique et des systèmes de caméra a été primordial dans la limitation des conséquences de cet accident.

3.1 Historique pré-accident du MP2

Mis en service en 2004, le MP2 avait 80360 heures de fonctionnement au moment de l'accident dont 15369 depuis la conversion dite IMO2 (mise en conformité au règlement sur la réduction des émissions d'oxyde d'azote, NOX) effectuée en 2016.

Les pièces neuves des moteurs sont vérifiées en usine et certaines sont inspectées et certifiées par la société de classification (Bureau Veritas Marine & Offshore).

Pour diffuser des recommandations ou des retours d'expériences, Cat motoren utilise des courriers nommés « **Service letter** » qui sont transmis à ses clients.

Pistons

Une consigne de maintenance « **Service letter MaK n°002 M43** » datée du 21 juillet 2010 traitait d'un problème affectant des têtes de piston brûlées en raison d'une corrosion anormale à haute température. Cette anomalie avait été constatée sur le *PONT-AVEN*. Depuis que les nouvelles têtes sont couvertes par un revêtement thermique spécial le problème n'est pas réapparu.

Dans le cadre de la maintenance des moteurs de propulsion, 9 pistons sur 12, dont celui du cylindre A5, ont été remplacés par des neufs sur le MP2 lors de l'arrêt technique de 2015 à 58977 heures de fonctionnement. À cette occasion, les axes de piston n'ont pas été remplacés.

Le 7 septembre 2018, un contrôle endoscopique de l'ensemble des têtes de piston, coté A, du MP2, a été réalisé par une entreprise spécialisée suite à la découverte d'une tête de piston endommagée sur le MP1 (A1) lors d'un remplacement de culasse.

Lors de l'accident du 29 avril 2019, la partie haute de la chemise était intacte, le piston n'a pas été percé et il n'a pas « serré ». Il semble donc hors de cause dans l'origine de l'accident, désemparé de la bielle, il est monté jusqu'à aplatir le nez d'injecteur et frapper les têtes de soupapes avant de redescendre définitivement.

Pied de bielle

La consigne de maintenance « **Service letter MaK n°005 M43** » du 10 mai 2011 fait état de possibles fissures dans les pieds de bielles des moteurs M43 fabriqués avant février 2009 et ayant un nombre d'heures de fonctionnement entre 31200 et 51400. La note indique que dans trois cas, ces fissures ont conduit à une rupture par fatigue de la bielle, causant de graves dommages au moteur. La préconisation de Cat motoren est le remplacement de toutes les bielles concernées ainsi que les pièces de rechanges lors de la maintenance programmée.



Une procédure visant à ne changer que les pieds de bielle a ensuite été développée par Cat motoren. Au regard de cette procédure, accompagnée par Cat motoren, la compagnie a ainsi fait des contrôles échographiques par ultrasons pour évaluer l'état des pieds de bielle et identifier ceux qui seraient à remplacer lors du prochain arrêt technique du navire.

Il est à noter que la « **Service letter MaK n°005 M43** » se conclue par une observation « les membres du personnel embarqué devraient éviter de rester à une proximité directe des machines tournantes sauf cas d'absolue nécessité ».

Lors de l'arrêt technique 2016 du Pont-Aven, pour la visite des 60000 heures du MP2 (64640 exactement), les moteurs ont bénéficié de la mise aux normes IMO2. À l'occasion de cette conversion, tous les pieds de bielle ont été remplacés par des pièces ayant un nouveau « design ». Pour Cat motoren, ces nouveaux pieds de bielle sont prévus pour résister au problème des fissures de fatigue soulevé dans la « **Service letter MaK n°005 M43** ».

Interrogé, Cat motoren affirme qu'aucun incident relatif à des fissures de fatigue sur des bielles de moteur de type M43 n'est à déplorer depuis le remplacement des bielles ou des pieds de bielle.

Le moteur avait 80360 heures de fonctionnement au moment de l'accident et les nouveaux pieds de bielle avaient 15369 heures.

Axe de piston

Quelques cas de fissures ont été détectés sur des axes de pistons lors des vingt dernières années sur ce type de moteur sans provoquer de dégâts ou d'avaries graves.

3.2 Fonctionnement des automatismes pendant l'accident

Il n'y a pas eu de défaut de température ni d'alarme significative durant les heures précédentes. Au moment de l'accident les capteurs qui ont déclenché l'alarme sont les détecteurs de brouillard d'huile des MP2 et MP1 et les « stop-moteur ».

Détecteur de brouillard d'huile

Cet appareil surveille la concentration de brouillard d'huile dans le volume du carter et provoque automatiquement l'arrêt du moteur en cas de détection. Avec le capteur de température des paliers du moteur, c'est l'outil principal de protection des moteurs diesel contre les explosions de carter. En effet, le mélange brouillard d'huile chaud et air (oxygène) s'enflamme spontanément dès lors qu'il y a un point chaud.

Tous les détecteurs de brouillard d'huile avaient été testés par le fabricant en mars 2019.

Hi-Fog

Le système fixe de protection contre l'incendie Hi-Fog projette un brouillard d'eau sous pression à partir de diffuseurs répartis dans le local à protéger. Lorsque le brouillard d'eau se vaporise, il agit par refroidissement, inertage (déplacement de l'oxygène du fait de l'augmentation de volume des gouttelettes d'eau) et blocage du rayonnement thermique. Lors de cet incendie, le circuit des diffuseurs placés au plafond de la machine a été mis en service automatiquement⁴ par le double déclenchement d'un détecteur de flammes et d'un détecteur de fumées. Le circuit de diffuseurs Hi-Fog placés sous le parquet de la machine est à déclenchement manuel.

À bord, lorsque la réserve d'eau douce de l'installation Hi-Fog est épuisée, le système est alimenté par l'eau de mer du circuit incendie.

Lubrification

Lors de la vérification des paliers de tête de bielle sur les cylindres A6 et B4, il n'a pas été constaté de rupture du film d'huile. La lubrification s'est faite normalement et il n'y a pas eu d'alarme basse pression d'huile.

Arrêt du MP1

Un flexible d'alimentation en air d'une des cellules de détection du détecteur de brouillard d'huile du MP1 a été touché par une ou des pièces en provenant du MP2. La déconnection de ce flexible a provoqué l'arrêt du MP1. Sur ce moteur, l'incendie a provoqué la destruction de câblages électriques, de joints et des compensateurs de dilatation en élastomère.

3.3 Expertises techniques post-accident

BAI et Cat motoren ont choisi un laboratoire indépendant pour effectuer des analyses complètes de certaines des pièces du moteur. Ce laboratoire indépendant, le CETIM, a effectué des examens macrographiques, une analyse fractographique au microscope électronique à balayage, des examens micrographiques, des mesures de dureté et des analyses chimiques.

Le rapport du CETIM fait part de l'analyse des pièces qui lui ont été fournies, en particulier, pied de bielle, coussinet, axe de piston, vis de pied de bielle. Le document indique que différents examens ont révélé des fissurations progressives par fatigue sur le pied de bielle et sur l'axe de

⁴ Dispositif fixe d'extinction de l'incendie à usage local obligatoire pour protéger les moteurs des navires à passagers d'une jauge brute égale ou supérieure à 500 et aux navires de charge d'une jauge brute égale ou supérieure à 2 000 (R II/2-10 de la Convention internationale pour la sauvegarde de la vie en mer).

piston. Sur ce dernier, la fissure principale s'est amorcée sur des inclusions d'oxydes d'aluminium, au droit du canal de lubrification interne. Les inclusions sont de petites particules normalement très minoritaires dans le matériau qui sont générées dans les phases de fabrication d'un alliage.

Ces discontinuités métallurgiques peuvent être très préjudiciables à la résistance de l'acier face aux sollicitations mécaniques.

Les experts du CETIM indiquent également que l'axe de piston, maintenu dans le pied de bielle, a subi de nombreuses fissures par fatigue, suivant différentes directions, ce qui peut indiquer un processus plus long donc antérieur à la défaillance du pied de bielle.

L'examen du fragment de coussinet de l'axe de piston du cylindre A5 montre un bleuissement de la coque en acier à certains endroits qui indique une élévation de température. Le morceau ne porte pas les stigmates typiques d'un grippage comme un noircissement de la coque en acier ou bien le fluage du matériau antifriction⁵.

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 BEAmer a établi la séquence des événements ayant entraîné les accidents, à savoir :

La rupture mécanique au niveau du cylindre A5 du MP2

Dans cette séquence, les événements dits perturbateurs (événements déterminants ayant entraîné 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 (**facteurs contributifs**). 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 (**lacunes de sécurité**).

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.

⁵ Information provenant du rapport CETIM.

4.1 Origine de l'accident

Une hypothèse émise par le motoriste Cat motoren, le service technique de la BAI, les experts des assurances et du laboratoire indépendant CETIM, situerait la cause de l'accident au niveau de l'axe de piston du cylindre A5 du MP2. L'origine des fissures de l'axe de piston a été démontrée par les analyses de matériau faites par le CETIM. Elles ont mis en évidence des petites inclusions (moins de 1mm) d'oxyde d'aluminium, près du canal central de lubrification. Cette hypothèse est contestée par le sous-traitant fabricant les axes de piston qui précise que les inclusions ne peuvent par elles-mêmes créer des fissures, lesquelles ne peuvent se développer sans forces extérieures.

Une autre hypothèse serait une fissure du pied de bielle soit en tant que cause première soit en tant que facteur aggravant.

Les inclusions sont dues à la qualité originelle du matériau. Le fait que ces inclusions se trouvent à proximité du canal central de lubrification a pu provoquer des fissures.

L'examen approfondi des fissures n'a pas permis d'établir une chronologie précise des différentes étapes ayant conduit à l'accident mais une théorie sur la séquence peut être émise. L'axe de piston (cylindre A5) aurait été suffisamment fissuré pour créer des micromouvements qui auraient usé l'intérieur du coussinet du pied de bielle. La pellicule de protection en bronze ayant disparu, des frottements se seraient produits, acier contre acier. L'usure augmentant, l'axe de piston accentuerait son déplacement et son frottement à l'intérieur du coussinet. Les particules de métal ainsi arrachées auraient fini par contraindre le mouvement de l'axe de piston qui se serait figé provoquant la rupture du pied de bielle. Le sous-traitant fabricant les axes de piston conteste cet enchaînement, il précise que si la séquence s'est déroulée ainsi cela signifie que le pied de bielle s'est fracturé rapidement et donc n'a pas eu le temps d'avoir les fissurations progressives par fatigue qui sont visibles sur la figure 7 du rapport CETIM⁶.

La rupture du pied de bielle serait alors une conséquence des fissures de l'axe de piston et non la cause première de l'accident. Les goujons de pied de bielle se seraient rompus dans un deuxième temps à la suite de l'échauffement lors de la rupture des pièces.

Cependant, le CETIM précise que l'identification de l'origine de l'avarie est rendue difficile par les deux fissures en fatigue subies par l'axe de piston et le pied de bielle : les faciès de rupture n'apportent pas d'information permettant de déterminer la première rupture car dans les deux cas la surface de fissuration en fatigue est importante.

⁶ Voir en annexe C les conclusions des experts du fabricant des axes de piston.

Deux hypothèses concernant l'origine de l'accident pourraient être:

- soit la défectuosité des pièces (axe de piston, pied de bielle),
- soit le défaut de serrage lors du dernier remplacement des pieds de bielle pendant l'AT 2016 durant lequel la conversion IMO2 des moteurs a été faite avec la mise en place d'une cale de compression entre la bielle et le pied de bielle sur tous les cylindres, les vis de pieds de bielles ont également été remplacées.

Concernant la défectuosité des pièces, le *BEA*mer en a retracé l'origine au neuvage et lors des remplacements en arrêt technique (§4.2).

Concernant le défaut de serrage, le *BEA*mer s'est penché sur la répartition des tâches de surveillance lors des maintenances programmées (§4.3).

4.2 Contrôle de la conformité des axes de pistons

4.2.1 Rôle du fabricant des axes de pistons et du motoriste

Les axes de piston sont fabriqués par un sous-traitant de Cat motoren dont l'usine est en Finlande. Le fabricant a fourni les relevés des contrôles et mesures effectués en fin de production des axes de piston fabriqués en 2003 pour le *PONT-AVEN*.

Le fabricant a précisé qu'il suit les spécifications précisées par ses clients et développe ses propres procédures pour répondre à toutes les exigences du cahier des charges concernant la qualité de matériau, les dimensions et les finitions de surface.

Les axes de piston sont composés d'alliages de métaux, selon les spécifications du client. L'acier traité doit répondre aux exigences de pureté du matériau spécifique à la fabrication des axes de piston.

Le fabricant des axes de piston précise qu'il donne pour instruction à l'aciériste de respecter les spécifications qui lui ont été données par le motoriste. Le choix de la qualité de la matière première est ainsi décidé par le client du fabricant, le motoriste.

Des contrôles visuels et ultrasoniques étaient effectués sur tous les axes de piston fabriqués. Les contrôles de 2003 sur les axes de piston ont été ainsi effectués par ultrasons, après le perçage des canaux de lubrification et selon une calibration déterminée par le motoriste permettant de détecter des inclusions d'une taille supérieure à 0,5 mm. Ils ne permettaient donc pas de mettre en évidence des inclusions de 20 micromètres comme celles qui sont à l'origine des fissures de l'axe de piston.

Des examens plus approfondis de dureté étaient également effectués par échantillonnage.

Les axes de piston sont restés en place durant 15 ans, ce qui représente plus de 80000 heures de fonctionnement, sans qu'il n'y ait eu de problème. Cat motoren ne prescrit pas le remplacement régulier de l'axe de piston, car la pièce est réputée robuste et soumise à une exposition modérée à l'usure.

Depuis 2003, les modalités des contrôles par ultrasons ont été modifiées puisqu'ils sont effectués avant le perçage du canal central de l'axe. Toutefois le calibrage et la fiabilité de ces contrôles sont restés identiques.

Rôle du motoriste

Cat Motoren demande à son sous-traitant, fabricant des axes de piston, de le tenir informé de toute modification dans son process de fabrication.

Cat motoren audite occasionnellement son fabricant, notamment chaque fois qu'il y a un changement dans la production des axes de piston. C'est ainsi que les procédures de contrôle de la qualité des axes de piston sont validées par Cat motoren.

Les défauts qui, au fil des années, ont pu créer des fissures sur les axes de piston n'étaient pas détectables avec la calibration de contrôle utilisée en 2003. Ces imperfections sont inhérentes à la qualité du matériau d'origine dont le choix est déterminé sur la base d'une analyse de risque faite par le motoriste.

4.2.2 Traçabilité des pièces lors des maintenances programmées

Les pièces de rechange fournies par le constructeur Cat motoren sont identifiées par des numéros de série et une date de fabrication. Ainsi une traçabilité sur l'origine des pièces peut être effectuée (le sous-traitant, le lot, le certificat de contrôle).

Des commandes de pièces d'origine constructeur passent par le distributeur officiel de la marque en France : la société MMM (Moteurs Marine Méditerranée). Le siège du motoriste doit suivre attentivement les remplacements des pièces principales de ses clients.

La maintenance des moteurs est à la charge de l'armateur qui indique que les pièces remplacées lors des arrêts techniques de 2014, 2015, 2016, sont d'origine constructeur. Interrogé par le BEAMer, Cat motoren a confirmé que l'axe de piston et le pied de bielle du cylindre A5 du MP2 du *PONT-AVEN* étaient bien des pièces d'origine constructeur.

4.3 Maintenance

4.3.1 Surveillance lors des maintenances programmées

Lors des arrêts techniques il n'y a pas de représentant du constructeur. Lors de l'AT 2016 à Gdansk au chantier Remontowa, l'armateur BAI a fait appel au prestataire de service MMM (Moteurs Marine Méditerranée) qui a envoyé un expert des moteurs « MaK ».

Concernant le serrage des goujons des pieds de bielle, le chantier doit respecter lors du remontage une valeur absolue et non une fourchette. Cette information n'est cependant pas disponible sur les documents relatifs aux travaux effectués sur le moteur fournis par la compagnie, ni par la société de classification ni par le technicien MMM surveillant la révision du moteur. Le *BEA*mer constate qu'il n'y a pas eu d'enregistrement de ces valeurs. Aussi, il n'est pas possible d'être absolument certain que les préconisations du motoriste ont été suivies par le chantier Remontowa lors de l'AT 2016 à Gdansk. Il est à noter que lors de ce même arrêt technique, le démontage du MP2 s'est terminé avant l'arrivée du technicien MMM.

BAI fait observer que l'arrêt technique de 2016 n'était pas une simple opération de maintenance, mais un projet de conversion IMO2 des moteurs. Ce projet, qui représentait un investissement de plus de 2 millions d'euros par BAI, comprenait notamment la mise en place de pieds de bielle d'un nouveau design et la modification des paramètres moteurs.

La conversion IMO2 nécessite entre autres la dépose des attelages mobiles afin de monter une cale entre la bielle et le pied de bielle. Cette modification augmente le taux de compression ainsi que les efforts exercés sur les différentes pièces des moteurs. Le périmètre de la conversion IMO2 touche également la suralimentation des moteurs, la distribution (synchronisation des soupapes et de l'injection) ainsi que l'alimentation en combustible.⁷

À la date de la publication du rapport, l'impact de la conversion IMO2 dans le cas de cet accident fait encore l'objet d'un complément d'expertise.

Dans le guide de maintenance des moteurs fourni par Cat motoren, la surveillance du jeu entre l'axe de piston et le coussinet est préconisée toutes les 30000 heures. Lors de la prise de mesure, il est également recommandé d'examiner visuellement l'axe de piston afin d'y déceler d'éventuelles fissures en surface.

⁷ Les observations complètes de la BAI concernant l'arrêt technique de 2016 sont en annexe D.

Il est constaté l'absence de descriptifs des contrôles visuels des axes de piston qui ont dû être effectués en présence du technicien MMM et éventuellement d'un représentant du bord. La décision de non remplacement des axes de piston n'a pas été formalisée.

Rôle du service technique de l'armement

La BAI précise que son service technique prend, lors des arrêts techniques, un certain nombre de mesures de pièces et de jeux, pour détecter une usure anormale. Les marges de tolérance qui sont faibles doivent être respectées scrupuleusement. Le démontage est également l'occasion d'un contrôle visuel attentif des axes de piston pour déceler des amorces de fissures.

Il n'y a pas d'éléments de preuve permettant d'attester que le remplacement des pièces lors des maintenances programmées a été effectué dans les règles de l'art (selon les spécifications du motoriste) et inversement, il n'y a rien qui prouve qu'il y a eu un problème lors du démontage ou du remontage.

Rôle de la société de classification⁸

Au regard du règlement de classe, les entretiens et révisions des machines effectués conformément aux procédures recommandées par les fabricants et aux règles et usages établis de la marine ne nécessitent pas l'accord du BV.

Les éléments des machines de propulsion qui ont été réparés dans le cadre du maintien de classe sont normalement inspectés et certifiés par BV. Toute réparation résultant de tels entretiens et révisions, et affectant ou pouvant affecter la classe, doit être consignée sur le journal de bord et être soumise à l'expert présent lors de la visite suivante pour déterminer d'éventuelles exigences de visite qui en découleraient.

Les matériaux et les équipements utilisés pour des réparations doivent en général répondre aux prescriptions du règlement pour les navires neufs construits sous surveillance.

La société de classification précise que c'est de la responsabilité de l'armateur de suivre les instructions du fabricant pour l'opération, la maintenance et les réparations. C'est également de la responsabilité de l'armateur de contrôler les travaux effectués par le chantier lors des arrêts techniques. L'armateur doit notamment informer l'expert BV de tout démontage, réparation ou modification effectuée sur des équipements classés. L'expert BV n'est pas tenu de surveiller le démontage et la révision des machines. En cas de démontage, réparation ou modification des machines, l'expert BV doit inspecter les éléments en accord avec les prescriptions du règlement.

⁸ Source Bureau Veritas Marine & Offshore (BV).

En pratique, le navire *PONT AVEN* est soumis au Système de reclassification Continue des installations Machine (désigné sous le terme de CMS) qui permet au chef mécanicien d'effectuer les inspections requises par le règlement de classification, dans certaines conditions. Lorsque les visites sont effectuées par le chef mécanicien, elles doivent être enregistrées dans le journal de bord machine et un rapport de visite doit être préparé pour chaque item visité. Le rapport doit fournir les renseignements concernant entre autres la maintenance et les réparations effectuées ainsi que les pièces remplacées.

Les têtes de piston des cylindres de plus de 400 mm de diamètre doivent avoir un certificat matière sous la forme d'un document du fabricant, où les propriétés du matériau telles que la composition chimique, les propriétés mécaniques et les traitements de surface doivent apparaître. Un document du fabricant doit également attester que des examens non-destructifs (test ultrasonique et détection de crack par ressuage ou par magnétoscopie) ont été effectués. Un examen visuel des surfaces accessibles doit être effectué par l'expert BV. Finalement, un certificat « produit » doit être émis par BV. Les bielles avec leur chapeau doivent avoir un certificat matière émis par BV, où les propriétés du matériau telles que la composition chimique, les propriétés mécaniques et les traitements de surface doivent apparaître. Un document du fabricant doit également attester que des examens non-destructifs (test ultrasonique et détection de crack par ressuage ou par magnétoscopie) et des inspections dimensionnelles (incluant les conditions de surfaces) ont été effectués. Un examen visuel par échantillonnage de toutes les surfaces doit être effectué par l'expert BV. Finalement, un certificat produit doit être émis par BV.

BV était présent lors de l'AT 2015 à Brest, sans faire d'inspection sur les moteurs de propulsion. BV était présent lors de l'AT de 2016 à Gdansk, ainsi qu'à Santander pour l'AT de novembre à décembre 2018 où l'expert a effectué des inspections sur les moteurs de propulsion.

Cependant les enregistrements concernant les travaux effectués (métrologies, numéro de série...) par les différents acteurs en charge de la surveillance de la maintenance, ne permettent pas de s'assurer que les préconisations du motoriste sont scrupuleusement suivies.

4.3.2 Périodicité du remplacement des pièces

L'examen des documents fournis par l'armateur tend à démontrer que la périodicité des maintenances a été faite conformément aux recommandations du motoriste. De même, les remplacements préconisés suite à des défaillances signalées (service letter concernant par exemple les pieds de bielle) ont été strictement suivis.

Sauf anomalie constatée lors d'un démontage, il n'est pas prévu par Cat motoren de faire changer les axes de piston dans la maintenance préventive du moteur M43 : à ce jour, selon le motoriste, cette pièce n'a pas vocation à être remplacée quelle que soit la durée de vie du moteur.

Cat motoren a informé le *BEA*mer qu'en vingt ans, sur une cinquantaine de moteur M43 en service dans le monde, il a été constaté moins d'une dizaine d'axes de piston fissurés. Avant l'accident du *PONT-AVEN*, ces fissurations n'avaient jamais entraîné de dégâts ; le moteur peut en effet continuer à fonctionner plusieurs milliers d'heures avec un axe de piston légèrement fissuré. L'axe de piston est monté libre dans le pied de bielle et dans le piston, son amplitude de mouvement est restreinte. Il reçoit néanmoins les efforts de la pression de combustion.

Le fabricant des axes de piston souhaite préciser que selon lui:

L'axe de piston est monté libre, si bien que le contact entre le coussinet et l'axe de piston est flottant. À l'inverse, le contact entre le coussinet et le pied de bielle n'est pas libre mais fixe. Ce système mécanique est conçu de telle sorte que la friction entre le pied de bielle et le coussinet est considérablement plus importante que ne l'est celle entre l'axe de piston et le coussinet. Compte tenu du système mécanique, c'est bien le manque de friction suffisante entre le pied de bielle et le coussinet qui crée les micromouvements entre le pied de bielle et le coussinet.

Par ailleurs, au montage flottant de l'axe de piston s'ajoute un mécanisme de lubrification pour prévenir tout problème tribologique à l'aide des rainures de lubrification. Ainsi quand bien même l'axe de piston se serait fissuré, les fissures de l'axe de piston n'auraient pu engendrer une friction excédant la friction existante et normale entre le pied de bielle et le coussinet.

C'est la raison pour laquelle le moteur pourrait continuer à fonctionner en dépit d'un axe de piston fissuré.

Des études sont cependant en cours au sein de Cat motoren pour améliorer les contrôles actuels (ultrasons) ou en créer d'autres afin de mieux identifier des défauts dans le métal telles des inclusions. Ensuite au vu des résultats, il y aurait un tri à effectuer, entre les pièces qui peuvent rester avec des microfissures internes mineures et les autres pièces qui seraient à remplacer. Mais ces tests peuvent être très coûteux au regard du prix de fabrication des axes de piston.

4.4 Pistes d'amélioration

Les analyses d'huile moteur sont faites régulièrement, cela fait partie des procédures de maintenance classiques, elles permettent de détecter la présence des particules métalliques. Dans le cas du *PONT-AVEN*, les analyses d'huile effectuées mensuellement sur les MP n'ont pas

permis d'identifier de risque quelconque, celles-ci n'ont pas fait apparaître de concentration anormale en particules métalliques.

Toutefois, la BAI avait constaté une sensible augmentation du nombre de cycles de décolmatage automatiques quotidiens du filtre à lubrifiant (*Boll and Kirch*) durant les 3 jours qui avaient précédé l'accident. Le suivi précis de la fréquence des cycles de décolmatage automatiques du *Boll and Kirch*, qui est déjà un paramètre de conduite de la machine, pourrait parfois permettre d'anticiper une anomalie, en l'assortissant éventuellement à une analyse rapide de l'huile dès que des signes avant-coureurs se manifestent. Il est toutefois à noter que le critère d'augmentation des décolmatages n'est pas systématique ni d'une grande fiabilité. Il ne peut que constituer un indice et une incitation à vérification plus poussée. En effet, lors de l'arrêt technique de l'hiver 2019, un axe du MP1 a été trouvé endommagé sans qu'aucune augmentation de décolmatage n'ait été constatée, alors que sur le MP3, aucun axe n'a été trouvé endommagé alors même qu'il y avait eu une augmentation des décolmatages.

5 Retours d'expérience

5.1 Retours d'expérience de la compagnie

Équipements de sécurité

De tous les équipements de sécurité, le détecteur de brouillard d'huile a été le premier à se déclencher, il a bien fonctionné et a permis de stopper le MP2.

La détection incendie a également bien fonctionné, puisque le déclenchement de deux têtes de détecteur de flammes et de fumée a provoqué la mise en route automatique du système Hi-Fog.

Par retour d'expérience, le service technique de la BAI souligne l'absolu nécessité d'avoir une détection incendie en parfait état de fonctionnement. Cela ne dépend pas uniquement du contrôle et de la maintenance par les bords mais également de la qualité intrinsèque de l'équipement.

Concernant le système d'extinction incendie Hi-Fog le fabricant préconise l'utilisation d'une eau si possible non minérale. Le fait que l'exploitant utilise de l'eau distillée a permis d'avoir une installation parfaitement fonctionnelle ce jour-là. S'il avait utilisé de l'eau du réseau, il y aurait pu avoir de la corrosion dans le circuit. La tête d'un diffuseur Hi-Fog à l'entrée du local où le feu s'est déclaré a eu l'effet d'un rideau de protection. Ce rideau d'eau a permis de créer une zone froide qui a protégé des fumées les équipes de pompiers du bord. Pour les prochaines constructions neuves, le service technique de la BAI prendra en compte ce retour d'expérience sur l'utilité d'avoir une tête de diffuseur Hi-Fog au plus près des portes coupe-feu.

Parmi les autres équipements, la vidéo-surveillance a été une aide à la décision dans la gestion de la situation d'urgence. Elle a offert un visuel sur le foyer encore actif sous le parquet machine.

L'intervention de l'officier de quart machine a également été décisive par la fermeture des vannes du circuit d'alimentation en combustible, et la répercussion de l'alerte vers l'officier de quart passerelle. Le foyer se situant sous parquet, les pompiers de l'équipe bord de lutte contre l'incendie n'ont pas vu les flammes alors que l'un d'eux a senti une forte chaleur sous ses pieds. Suite à l'accident, il a été fourni à tous les navires de la flotte une caméra thermique portable et une formation sur son utilisation a été délivrée.

Les membres d'équipage qui sont intervenus dans les équipes de pompiers ont témoigné de la nécessité d'une alimentation énergisante avant d'attaquer le feu. En effet, le stress d'une intervention de nuit, après un réveil brutal, sans s'être alimenté ne permet pas d'avoir la pleine possession de ses moyens et peut parfois provoquer des malaises. Des barres énergisantes sont désormais à disposition sur les navires à l'intention des équipes d'intervention.

Gestion de crise par le bord

La phase « alerte » a été immédiatement déclenchée par l'officier de quart à la passerelle. Cela a permis à l'ensemble de l'équipage d'être disponible selon l'organisation prévue. Le commandant réveillé par les vibrations, est arrivé rapidement en passerelle ainsi que l'équipe de renfort.

La circulation des informations entre le commandant en passerelle, le chef mécanicien présent rapidement au PC machine et le second capitaine qui dirigeait les équipes d'interventions depuis la ZAR a été satisfaisante. Ces remontés d'informations et la vidéosurveillance qui offrait un visuel sur la machine ont permis au commandant d'avoir une perception précise de la situation.

Le travail d'équipe avec les officiers a permis au commandant de prendre des décisions en toute connaissance de cause, d'évaluer et de confirmer les propositions faites.

Bien que la situation semble sur le point d'être maîtrisée le commandant fait le choix de passer en phase « alarme » (appel des passagers aux points de rassemblement). Cette phase a permis de rassurer les passagers qui pouvaient être inquiets, de mobiliser l'ensemble de l'équipage et d'être prêt à un éventuel abandon du navire.

La prise en charge par le service hôtelier des passagers aux points de rassemblement, s'est faite dans le calme. Il a su gérer des situations déjà exécutées en exercice : prendre une attitude de maîtrise qui rassure les passagers, faire des rapprochements de famille ou encore informer les passagers sur leurs animaux de compagnie restés dans les ponts garage du navire.

La maîtrise assez rapide de l'incendie par les équipements automatiques et par l'intervention des équipes de pompiers du bord, n'a pas incité le commandant à diffuser de messages de demande d'assistance, ni de faire appel à d'autres navires de la compagnie.

Le retour d'expérience du second capitaine a incité l'armement à prévoir un sac d'intervention comprenant le matériel et les documents indispensables pour diriger les équipes en action. Il est en cours de mise en place sur tous les navires de la compagnie et se compose, entre autres, de fiches « lutte incendie », des plans plastifiés sur lesquels il est possible d'écrire, des équipements de sécurité et de matériels utiles à l'intervention.

Le commandant a transmis les informations principales aux autorités à terre par l'intermédiaire du CROSS Étel. La Préfecture maritime de l'Atlantique a toutefois maintenu l'envoi à bord d'une équipe d'évaluation et d'intervention ainsi que l'escorte par le remorqueur de haute mer *ABEILLE BOURBON*.

Gestion de crise par la compagnie

Le commandant a averti très rapidement le cadre d'astreinte de la compagnie, qui dans une première phase a géré seul la situation à terre. Ultérieurement les différents cadres dirigeants de la compagnie ont été prévenus. Il n'y a pas eu d'ouverture du « plan d'urgence » de la compagnie et la cellule de crise n'a pas été armée.

Dorénavant, les sessions de formation « incendie et sécurité » délivrées aux équipages dans le centre de formation de l'armement à Saint-Malo, intègrent un temps d'échanges avec les stagiaires autour du retour d'expérience de l'évènement du *PONT-AVEN*.

5.2 Actions préventives entreprises

Mesures prises par la compagnie

Dans les mois qui ont suivi l'accident, la BAI a remplacé tous les axes de piston des moteurs principaux du *PONT AVEN*. La compagnie a décidé de remplacer les axes de piston des autres navires équipés de M43 lors des visites de 60000 heures ou à l'occasion d'une visite d'attelage si l'axe concerné a atteint 60000 heures au moment de la visite.

Les anciens axes de piston contrôlés avec la technologie de 2003 ont donc été remplacés par de nouveaux axes contrôlés avec une technologie de 2020, cela assurant une meilleure fiabilité.

Par précaution, cette bonne pratique pourrait être utilement généralisée à l'ensemble des moteurs M43 en service dans le monde.

La compagnie BAI a décidé un contrôle ultrason des pieds de bielle des moteurs M43 de la flotte depuis le carter moteur (sans dépose des attelages) toutes les 15000 heures et un contrôle ultrason des pieds de bielle après démontage toutes les 30000 heures.

En termes de préparation aux situations d'urgence⁹, la compagnie a également pris la décision de systématiser l'activation du plan d'urgence au siège dès que la phase alerte du plan de secours à bord est enclenchée.

Mesures prises par le motoriste

La première mesure prise a été de recenser les moteurs qui comportaient des axes de piston de la même série, fabriqués et testés dans les mêmes conditions que celui de cylindre A5 du MP2 du *PONT-AVEN*. Aujourd'hui les axes de piston ne sont remplacés que lorsque des mini-fissures apparaissent sur les surfaces en contact avec les autres pièces ou lorsque les valeurs géométriques ne sont pas conformes.

Le motoriste a publié une lettre de mise en garde (« service letter ») sur le fait qu'un faible nombre d'axes de piston installés sur les moteurs M20, M25, M32, M34, M43 et M46 ont développé des fissures dans le temps. Selon Cat motoren, dans la plupart des cas, les fissures ont été découvertes durant les maintenances programmées des pistons et les dégâts au moteur ont pu être évités. Pourtant, quand une fissure demeure non détectée l'axe de piston peut finalement faillir et causer des dommages irréparables au moteur et menacer la sécurité du personnel présent dans l'environnement proche.

Il est donc demandé, à chaque maintenance programmée, une vérification visuelle de la surface sans autre mention de contrôle des axes de piston comme cela est décrit dans le manuel délivré avec le moteur, afin de détecter d'éventuelles fissures.

Des vérifications de sécurité décrites dans les procédures du motoriste sont également à réaliser sur les coussinets de pied de bielle et les circlips (vérification de l'usure et du positionnement lors du remontage).

Le motoriste et son sous-traitant ont mis en place de nouvelles techniques pour détecter les inclusions afin d'éliminer les pièces présentant un taux d'impuretés excessif. De plus le matériau d'origine est aujourd'hui soumis à un processus de refusion et d'affinage pour acier utilisé dans des conditions critiques.

⁹ Chapitre 8 du code international de gestion de la sécurité (ISM), obligatoire au titre du chapitre IX de la Convention internationale pour la sauvegarde de la vie en mer.

6 Conclusions

Une rupture mécanique a provoqué l'expulsion des portes de carter, l'émanation de vapeur d'huile chaude a provoqué un incendie en machine.

L'arrêt de sécurité du MP2 et le déclenchement automatique du Hi-Fog ont été déterminants dans la limitation des conséquences de l'accident.

Dans le cadre de la gestion de l'incendie, la capacité d'intervention des équipages a été remarquable.

La cause de l'accident est très probablement due à des fissures soit du pied de bielle soit de l'axe de piston du cylindre A5 du MP2. En raison de fissures détectées sur l'axe de piston résultant d'inclusions dans le métal lors de sa fabrication, une première hypothèse serait un grippage au niveau de l'axe de piston dans son logement pour expliquer la désolidarisation de la bielle et du piston.

Toutefois les fissurations des axes de piston constatées par le passé par le motoriste sur des navires d'autres armateurs que BAI n'avaient pas provoqué d'accident avéré. Une deuxième hypothèse serait une fissure du pied de bielle comme cause première de la rupture compte tenu des antécédents sur cette pièce.

Par précaution, la compagnie a décidé de faire changer tous les axes de pistons des moteurs principaux du *PONT AVEN*.

Les axes de piston d'origine de 2003, ont été contrôlés lors de leur fabrication selon la calibration déterminée à l'époque. Le motoriste ne voit pas d'intérêt technique à imposer une périodicité de remplacement ne les considérant pas comme des pièces d'usure.

Le *BEA*mer constate que les travaux importants de maintenance sur les moteurs principaux ne font pas l'objet de rapports suffisamment détaillés qui permettraient de conserver des traces écrites du suivi scrupuleux des préconisations du motoriste.

7 Enseignements

1. **2022-E-20** : l'examen des pièces essentielles d'un moteur qui est fait lors d'un démontage devrait faire l'objet d'un descriptif précis, notamment lorsqu'une décision de maintien en place ou de remplacement peut être prise.

8 Recommandations

Le **BEA**mer recommande :

Au constructeur du moteur Cat motoren:

1. **2022-R-11** : d'étudier les mesures mises en place par l'armateur (paragraphe 5.2), concernant le remplacement des axes de pistons et le contrôle ultrason des pieds de bielle des moteurs M43, afin de déterminer la nécessité d'étendre ces mesures à l'ensemble des moteurs identiques.

À la compagnie BAI :

2. **2022-R-12** : d'inclure dans les procédures de suivi de la maintenance des moteurs, l'enregistrement des valeurs de serrage des écrous de fixation du pied de bielle.

Une recommandation de sécurité ne doit en aucun cas faire naître une présomption de responsabilité ou de faute.

Investigation report

**Engine room fire on board the ro-ro passenger vessel *PONT-AVEN*
on 29 April 2019, between Plymouth and Santander**

Note

This report has been drawn up according to the provisions of the 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.

The report has not been written, in terms of content and style, with the intention of it being used in legal proceedings.

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	32
2	Factual information		
2.1	Background	Page	32
2.2	Vessel	Page	33
2.3	Crew	Page	34
2.4	Accident	Page	35
2.5	Emergency response	Page	36
3	Narrative	Page	39
3.1	ME2 pre-accident history	Page	39
3.2	Operation of the automatic systems during the accident	Page	41
3.3	Post-accident technical expertise	Page	42
4	Analysis	Page	43
4.1	Origin of the accident	Page	43
4.2	Checking the conformity of the piston pins	Page	45
4.3	Maintenance	Page	46
4.4	Areas for improvement	Page	50
5	Feedback	Page	51
5.1	Feedback at the company level	Page	51
5.2	Preventive actions taken	Page	53
6	Conclusions	Page	55
7	Safety lessons	Page	56
8	Safety recommendations	Page	56
	Appendixes		
A.	Abbreviation list	Page	57
B.	Investigation decision	Page	58
C.	Conclusions of the piston pin manufacturer's experts	Page	60
D.	BAI's comments about the 2016 dry dock	Page	61

1 Summary

After leaving Plymouth on the afternoon of Sunday 28 April 2019, the ro-ro passenger vessel *PONT-AVEN* was sailing to Santander in favourable weather conditions. During the night, while in the south of *Pointe de Penmarc'h*, a strong vibration was felt in the vessel.

An automatic safety device stopped one of the four main engines. The breakage of a part, at the level of a connecting rod small-end of the main engine n°2, caused very important mechanical damages, leading to the tearing off of some of the crankcase doors of this engine. Very high-temperature oil mist escaped from it and then ignited, causing a fire to break out in the engine room. Fire detection triggered the alarm and activated the automatic operation of the fixed water mist extinguishing system. The use of several teams of firefighters from the crew enabled the fire to be brought under control. There were no casualties from the accident.

During firefighting, passengers were called to assembly stations for safety reasons. Everything went smoothly.

As the vessel was still manoeuvring, the decision was taken by the shipping company to divert to Brest. An evaluation and response team, dispatched by the *Préfecture maritime de l'Atlantique*, had been hoisted aboard and took part in the safety patrols organised during the transit. The intervention, assistance, and salvage tug *ABEILLE BOURBON* escorted *PONT-AVEN* to Brest where the passengers were disembarked.

2 Factual information

2.1 Background

BAI (Brittany ferries) is a French shipping company that operates ro-ro passenger vessels (ferries) between France, England, Ireland, and Spain. *PONT-AVEN* is the company's largest vessel. At the height of the summer season, she can embark a maximum of 2,600 people, i.e. 184 crew members and 2,416 passengers. The vessel serves the following routes: Roscoff-Cork, Saint-Malo-Portsmouth, Roscoff-Plymouth, and Plymouth-Santander.

For this crossing, 766 passengers were on board, including 4 children and 8 infants. The vessel was also carrying 90 motorcycles, 28 caravans, 205 cars, and 77 trucks. There were no dangerous goods on board.

2.2 Vessel



- Vessel's name : *PONT-AVEN*
- Type : ro-ro passenger vessel
- IMO Number : 9268708
- Registration : MX 905655
- Length overall : 184.30 m
- Breadth : 30.90 m
- Draught : 6.80 m
- Capacity : 2,416 passengers, 650 cars
- Propulsion : 4 engines MaK 12 VM43 on 2 shaft lines
- Power : 43,200 kW
- Gross Tonnage (UMS) : 40,859
- Year of construction : 2003 at the German shipyard Jos L Meyer
- Classification society : Bureau Veritas Marine & Offshore (BV)

Propulsion engines

Propulsion is provided by 4 main engines (ME) with 2 engines per shaft line. MEs 1 and 2 are located in the port engine room and MEs 3 and 4 in the starboard engine room. Propulsion engines run about 5,000 hours per year.

The MEs are MaK 12 VM43 engines (12 cylinders of 430 mm bore placed in a V-shape), with 6 pairs of cylinders, A and B, numbered 1 to 6 from the rear of the vessel. The *PONT-AVEN* engines are the first 4 of the MaK 12 VM43 series built by the engine manufacturer Cat motoren¹⁰. These engines are semi-rapid type, 500 rpm.

Propulsion engine manufacturer

MaK has been a developer and manufacturer of marine engines since 1922, based in northern Germany. It has been a Caterpillar Group brand since 1997 under the name MaK motoren and since 2000 Cat motoren.

Fuel

Depending on whether the vessel is at sea or in port, the MEs are fuelled with heavy fuel oil¹¹ (HFO) or diesel oil (MDO). The HFO must be heated to be fluidized for use. As MDO is less viscous it does not require reheating and is more flexible in use. The change of fuel is, under normal circumstances, gradual and is carried out according to a well-established and anticipated procedure. At the time of the accident, the engines were fuelled with HFO.

2.3 Crew

During the crossing, there were 142 crew members on board *PONT-AVEN*. The deck and engine driving teams were made up of 39 people, including 13 officers, and the hotel service was made up of 102 people under the responsibility of the purser. Given the number of passengers on board, the vessel's manning decision¹² was respected.

The master was 58 years old. A Merchant Navy Officer since 1986, he has commanded BAI vessels for 17 years.

A permanent engine watch is set up. At night, the watch is kept by an officer who is alone, with the engine crew working during the day. The midnight to 4.00 am watch, on which the fire broke out, was carried out by the 3rd engineer officer. He was 42 years old and has been sailing on various vessels of the company as an engineering officer since July 2010.

¹⁰ Caterpillar motoren GmbH & Co. KG.

¹¹ In order to limit the sulphur content of the exhaust gases, the vessel's stacks are equipped with flue gas scrubbers.

¹² International certificate issued by the administration which validates a minimum number of staff for a vessel with regard to safety, security and working time regulation.

2.4 Accident

The fire in the engine room of *PONT-AVEN* at the level of the ME2 occurred during the night of Sunday 28 to Monday 29 April 2019. The vessel was underway in the Bay of Biscay between Plymouth and Santander, 115 miles west of *Les Sables-d'Olonne*, and 77 miles south of *Pointe de Penmarc'h*. The sea was calm (force 3 on the Douglas scale), there was a light breeze (force 2 on the Beaufort scale from northwest to northeast) and visibility was good (10 miles). (Source *Météo-France*).

Local time UTC + 2

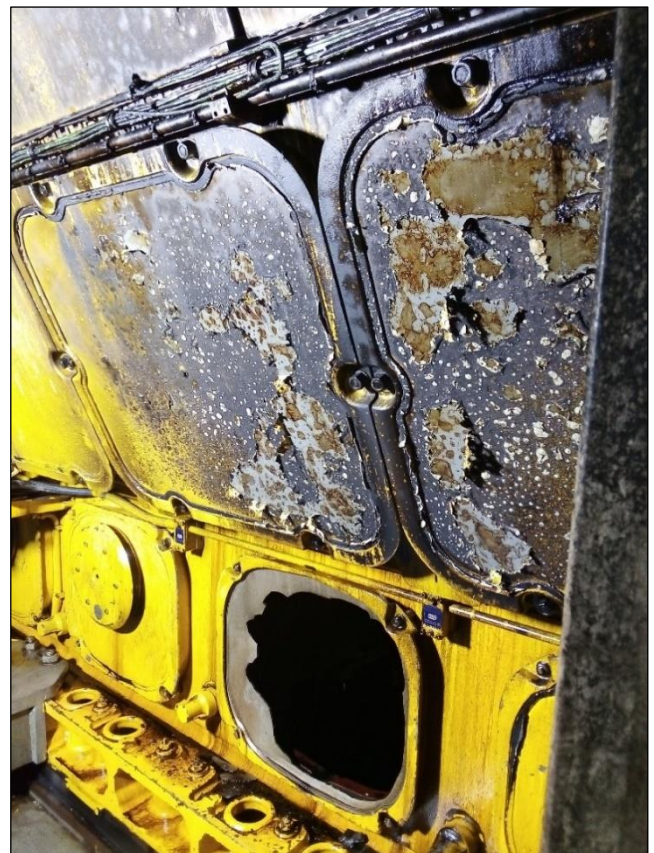
Monday 29 April 2019,

At **3.34 am**, vibrations were felt on the vessel and a loud rumbling sound was heard in the engine room. The oil mist detector alarm on the ME2 was activated and triggered an engine shutdown 4 seconds later. The engine room alarm management system quickly registered numerous faults, including the activation of the oil mist detector on the ME1, which also caused it to shut down.

Description of the damage to the engines

Due to a projection of rotating and broken parts into the engine the crankcase doors of the A5 and B5 cylinders of the ME2 went off. This caused oil vapours to be expelled from the crankcase. The instantaneous combustion of the hot oil vapours in the air caused a flashover at the crankcase doors. The resulting fire caused severe damage to the cable runs of the ME1 and ME2 and the oil separator room.

Inside the ME2, the A5 cylinder liner was fractured into numerous small pieces scattered throughout the bottom of the crankcase. The connecting rod body is twisted and broken into three pieces. The connecting rod small-end is also broken into three pieces with significant deformation. The small-end bearing shell of the A5 cylinder is almost completely destroyed.

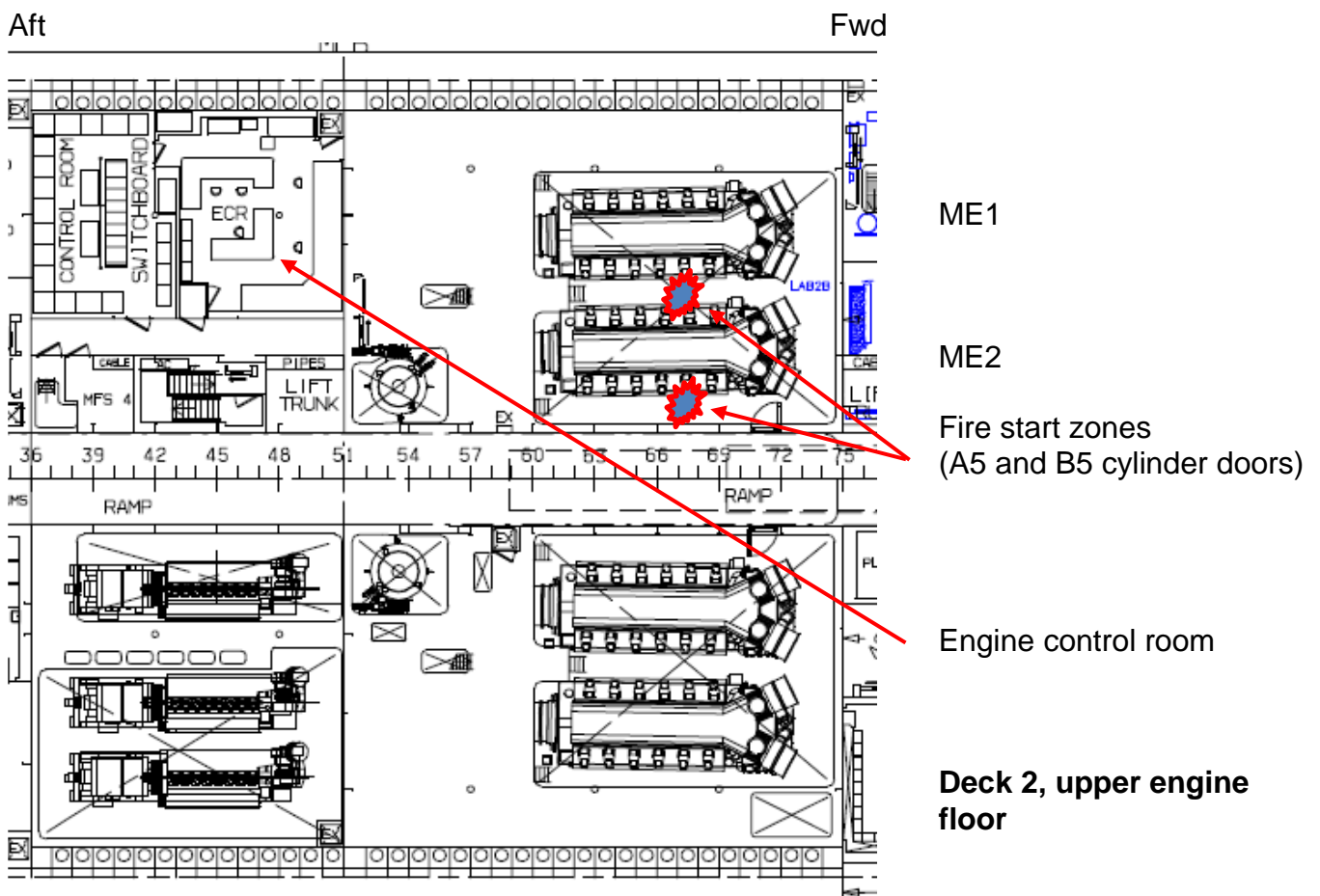


ME2, destruction of the crankcase door at cylinder 5

The piston head fell to the bottom of the crankcase along with twisted debris from the destroyed small-end bearing shell. The piston pin, which had been thrown out of the engine, was badly damaged with extensive circumferential cracks and evidence of caulking. The opposite cylinder (B5) and the frame were severely impacted by the sudden dispersal of fragments of parts. All of this damage made the engine beyond repair.

In addition to the loss of the ME2, a cable run consisting of 100 cables and 6,000 connections was damaged by the splinters and the fire.

2.5 Emergency response



Monday 29 April,

At **3.34.41 am**, due to fire detection (flames and smoke), the high-pressure water mist fire protection system (Hi-Fog) was triggered automatically.

At **3.35 am**, the bridge watch officer and the engineer officer on watch at the engine room communicated briefly about the event.

At **3.36 am**, the engine watch officer opened the engine control room door, saw smoke, and went to the emergency stop box. He engaged the remote controls of the ME1 and ME2 fuel supply quick-closing valves and the ventilation flaps. He then went to the cylinder cover floor, equipped with a powder extinguisher, to tackle the fire on a cable run. After sending two sprays, he emptied the extinguisher on another seat of fire located between the two MEs. As he was not equipped with a breathing apparatus and suitable clothing, he was forced to return to the engine control room because of the smoke.

At **3.38 am**, the bridge watchkeeping mate acknowledged the alarms from the fire detection system and observed the event on the engine room video surveillance monitors. He triggered the emission of an alert signal in the rooms reserved for the crew and made, via the public address system on board, the coded announcement intended to warn the crew members. All the teams provided for in the vessel's emergency plan were quickly in place.

At **3.40 am**, the master arrived on the bridge and took note of the situation.

At **3.42 am**, the watertight forward access doors to the port engine room were remotely closed from the bridge. *Étel*/MRCC and the company's shore-based on-call manager were alerted by the crew of the situation. In the engine room, the ventilation of the port compartment was stopped and the watertight door located between the engine room and the control room had been closed locally by the engine watch officer.

At **3.44 am**, the HFO circuit pumps of the ME1 and ME2 were stopped. By decision of the chief mate, the approach and reserve zone (ARZ), the nerve centre of the fire-fighting, was installed on the car deck N° 3 near an access staircase to the engine compartment. From this location, he was giving instructions to the fire-fighting teams.

At **3.53 am**, on the order of the master, the vessel was heading east to get closer to a port and reduce the distance for possible helicopter interventions. The vessel was proceeding on the engines that have remained functional, the ME3 and 4.

Since the beginning of the alert, the crew has been informing *Etel* MRCC of the situation by satellite telephone on a regular basis. At **3.57 am**, MRCC was asked to prepare, for a possible transfer by helicopter, a team of fire-fighting mariners from Brest to help fight the fire.

At **4.00 am**, the 1st pair of firefighters equipped with breathing apparatus entered the ME1 and ME2 compartment. Crewmembers were put in place with nozzles to cool any hot spots.

At **4.04 am**, the Hi-Fog fixed fire extinguishing system, whose nozzles are located under the

engine compartment flooring, was manually activated, which significantly reduced the flames of the fire.

At **4.11 am**, while flames were still visible on the front of ME 1 and 2, the 2nd pair of equipped firefighters went in to replace the first pair and fight the fire.

At **4.13 am**, on board, the so-called "alarm" phase was triggered, passengers were called to the assembly points by general broadcast.

At **4.21 am**, ME3 and ME4 were shifted to MDO.

At **4.22 am**, a third pair was deployed.

At **4.26 am**, on the bridge video monitors, there were no longer any visible flames in the port engine compartment.

At **4.31 am**, the master informed *Etel* MRCC that the request for assistance by shore firefighters may be cancelled.

At **4.33 am**, the chief mate, in charge of the response teams, informed the bridge that the fire was out.

At **4.34 am**, the Hi-Fog was stopped and an investigation was carried out by a 4th pair which confirmed the end of the fire.

At **4.50 am**, on the master's order, the purser informed the passengers through a general broadcast that the fire was out and that they could return to their cabins.

At **4.52 am**, the chief mate and the second engineer went down to the engine room, equipped with individual toxic gas detectors, for an initial assessment of the damage.

At **5.10 am**, after a conversation between the Director of the Armament Fleet and the master, the decision was taken to divert to *Brest*.

At **6.03 am**, *PONT-AVEN* informed the container ship *CMA CGM FORT SAINT PIERRE*, which had diverted, that her assistance was no longer required.

At **6.08 am**, *Etel* MRCC informed the master that the *préfecture maritime* was persisting in the dispatch of a helicopter armed with an assessment and response team (ART). The ocean-going tug *ABEILLE BOURBON* was also dispatched to the area.

At **7.19 am**, the ART and its equipment were on board.

At **8.53 am**, *ABEILLE BOURBON* has joined *PONT-AVEN* and was starting the escort.

At **3.20 pm**, *PONT-AVEN* was alongside at *Brest*.

3 Narrative

The accident most likely resulted from a mechanical failure. The disabled connecting rod struck the frame, and the violent dispersal of various parts caused the crankcase doors of cylinders A5 and B5 to blow off. Broken parts inside the engine (piston pin on one side and liner on the other) were ejected through the open crankcase doors. Then a scorching hot oil mist escaped from the engine and ignited in the compartment.

The proper functioning of the fire detection systems, automatic extinguishing systems, and camera systems was paramount in limiting the consequences of this accident.

3.1 ME2 pre-accident history

Commissioned in 2004, the ME2 had 80,360 operating hours at the time of the accident, including 15,369 hours since the so-called IMO2 conversion (to comply with the regulation on the reduction of nitrogen oxide (NOX) emissions) carried out in 2016.

New engine parts are checked at the factory and some are checked and certified by the classification society (Bureau Veritas Marine & Offshore).

To disseminate recommendations or feedback, Cat motoren uses letters called « **Service letter** » that are sent to its customers.

Pistons

A maintenance instruction « **Service letter MaK n°002 M43** » dated 21 July 2010 dealt with a problem with burnt piston heads due to abnormal corrosion at high temperatures. This anomaly had been noted on *PONT-AVEN*. Since the new heads are covered by a special thermal coating, the problem has not reappeared.

As part of the maintenance of the propulsion engines, 9 pistons out of 12, including the one in the A5 cylinder, were replaced by new ones on the ME2 during the 2015 technical stop at 58,977

operating hours. On this occasion, the piston pins were not replaced.

On 7 September 2018, an endoscopic inspection of all the A-side piston heads of the ME2 was carried out by a specialist company following the discovery of a damaged piston head on the ME1 (A1) during a cylinder head replacement.

In the accident on 29 April 2019, the upper portion of the liner was intact, the piston was not punctured, and it did not "seize". It, therefore, appears not to be the cause of the accident. As it was disconnected from the connecting rod, it rose until it flattened the injector tip and hit the valve heads before finally falling back down definitively.

Connecting rod small-end

The maintenance instruction « **Service letter MaK n°005 M43** » dated 10 May 2011 mentions possible cracks in the connecting rod small-ends of M43 engines manufactured before February 2009 and with between 31,200 and 51,400 operating hours. The note indicates that, in three cases, these cracks led to a fatigue failure of the connecting rod, causing severe engine damage. Cat motoren's recommendation is to replace all affected connecting rods and spare parts during scheduled maintenance.



Connecting rod small-end of the A5 cylinder after the accident

A procedure to change only the connecting rod small-ends was then developed by Cat motoren. In accordance with this procedure, accompanied by Cat motoren, the company performed ultrasonic scanning checks to assess the condition of the connecting rod small-ends and identify those that would need to be replaced during the vessel's next technical stop.

It is worth noting that the « **Service letter MaK n°005 M43** » concludes with the observation that "on-board personnel should avoid staying in close proximity to rotating machinery unless absolutely necessary".

During *PONT-AVEN* 2016 technical stop, for the 60,000 hours visit of the ME2 (64,640 to be exact), the engines benefited from being brought up to IMO2 standards. On the occasion of this conversion, all the connecting rod small-ends were replaced by parts with a new "design". For Cat motoren, these new connecting rod small-ends are designed to resist the problem of fatigue cracks raised in the "**Service letter MaK n°005 M43**".

When questioned, Cat motoren stated that there have been no incidents of fatigue cracking on M43 engine connecting rods since the replacement of the connecting rods or connecting rod small-ends.

The engine had 80,360 operating hours at the time of the accident and the new connecting rod small-ends had 15,369 hours.

Piston pin

A few cases of cracks have been detected on piston pins during the last twenty years on this type of engine without causing any serious damage or breakdown.

3.2 Operation of the automatic systems during the accident

There were no temperature faults or significant alarms in the previous hours. At the time of the accident, the sensors that set off the alarm were the ME2 and ME1 oil mist detectors, and the "engine stop".

Oil mist detector

This device monitors the oil mist concentration in the crankcase volume and automatically stops the engine if it is detected. Together with the engine bearing temperature sensor, it is the main tool for protecting diesel engines against crankcase explosions. This is because the mixture of hot oil mist and air (oxygen) ignites spontaneously when there is a hot spot.

All oil mist detectors had been tested by the manufacturer in March 2019.

Hi-Fog

The fixed Hi-Fog fire protection system projects a pressurized water mist from sprinklers distributed throughout the room to be protected. When the water mist vaporizes, it acts by cooling, inerting (displacement of oxygen due to the water droplets volume increase), and blocking heat radiation. During this fire, the sprinklers circuit placed on the ceiling of the engine room was

automatically¹³ put into operation by the double triggering of a flame detector and a smoke detector. The circuit of Hi-Fog sprinklers placed under the floor of the engine room is manually triggered.

On board, when the freshwater supply to the Hi-Fog system is depleted, the system is supplied with seawater from the fire main.

Lubrication

When the connecting rod big end bearings on the A6 and B4 cylinders were checked, no rupture of the oil film was found. Lubrication was carried out normally and there was no low oil pressure alarm.

Shutdown of ME1

An air supply hose from one of the ME1 oil mist detector sensing cells was hit by a part or parts from the ME2. The disconnection of this hose caused the ME1 to shut down. On this engine, the fire destroyed electrical wiring, seals, and elastomeric expansion compensators.

3.3 Post-accident technical expertise

BAI in conjunction with Cat motoren has chosen an independent laboratory to carry out full analyses of some of the engine parts. This independent laboratory, CETIM, carried out macrographic examinations, fractographic analysis using a scanning electron microscope, micrographic examinations, hardness measurements, and chemical analyses.

The CETIM report gives an analysis of the parts that were supplied to it, in particular, connecting rod small-end, bearing, piston pin, connecting rod small-end screw. The document indicates that various examinations revealed progressive fatigue cracking on the connecting rod small-end and the piston pin. On the piston pin, the main crack initiated at aluminium oxide inclusions side to the internal lubrication channel. Inclusions are small particles accounting for a very small proportion of the material that are generated in the manufacturing phases of an alloy. These metallurgical discontinuities can be highly detrimental to the mechanical strength of the steel with regard to mechanical loads.

The CETIM experts also indicate that the piston pin, held in the connecting rod small-end, has

¹³ Fixed local fire-extinguishing system required to protect the engines of passenger vessels of 500 gross tonnage or more and cargo vessels of 2 000 gross tonnage or more (R II/2-10 of the International Convention for the Safety of Life at Sea).

suffered numerous fatigue cracks, in different directions, which may indicate a longer process, therefore before the failure of the connecting rod small-end.

Examination of the piston pin bushing fragment from cylinder A5 shows a blueing of the steel shell in some areas, indicating a temperature rise. The piece does not bear the typical signs of seizure such as blackening of the steel shell or creep of the anti-friction material¹⁴.

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))».

BEAmer has at first drawn the sequence of events that caused the casualty namely:

The mechanical breakage at cylinder A5 of the ME2

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 organisational factors to identify factors having contributed to their occurrence or having contributed to worsening their consequences (**contributing factors**). Among these factors, those raising safety issues presenting risks for which existing defences were assessed inadequate or missing have been pointed out (**safety deficiency**).

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 Origin of the accident

An hypothesis proposed by the engine manufacturer Cat motoren, the technical service of BAI insurance experts and the independent laboratory CETIM, would locate the origin of the accident at the level of the piston pin of the ME2 A5 cylinder. The origin of the piston pin cracks has been demonstrated by the material analyses carried out by CETIM. They revealed small inclusions (less than 1mm) of aluminium oxide near the central lubrication channel. This hypothesis is disputed by the subcontractor manufacturing the piston pins, who points out that the inclusions cannot by themselves create cracks, which cannot develop without external forces.

¹⁴ Information from the CETIM report.

Another hypothesis would be, cracks on the connecting rod small-end either as a primary cause or as an aggravating factor.

Inclusions are due to the original quality of the material. The fact that these inclusions were close to the central lubrication channel may have caused cracks.

A detailed examination of the cracks did not establish a precise chronology of the various stages leading up to the accident, but a theory about the sequence can be put forward. The piston pin (cylinder A5) would have been cracked sufficiently to create micromovements that would have worn the inside of the connecting rod small-end bearing. As the bronze protective film disappeared, the friction became steel-on-steel. As the wear increased, the piston pin increased its displacement and friction within the bearing. The metal particles that were torn off eventually forced the movement of the piston pin, which would have frozen causing the connecting rod small-end to break. The subcontractor which manufactures the piston pins, contests this sequence, specifying that if the sequence unfolded in this way, it means that the connecting rod base fractured rapidly and therefore did not have time to develop the progressive fatigue cracks that are visible in figure 7 of the CETIM report¹⁵.

The fracture of the connecting rod small-end would then be a consequence of the piston pin cracks and not the primary cause of the accident. The connecting rod small-end bolts would have failed in a second stage as a result of heat build-up during the fracture of the parts.

However, the CETIM states that the identification of the origin of the damage is made difficult by the two fatigue cracks suffered by the piston pin and the connecting rod small-end: the fracture facies do not provide information enabling the first fracture to be determined because in both cases the surface area of the fatigue cracking is large.

Two hypotheses concerning the origin of the accident could be:

- either the defect of the parts (piston pin, connecting rod small-end),
- or the tightening defect during the last replacement of the connecting rod small-ends during the 2016 TS during which IMO2 engine conversion have been done with a compression shim fitted between the connecting rod and the connecting rod small-end on all cylinders, the connecting rod small-end bolts have also been replaced.

Concerning the defective parts, the *BEA*mer has traced the origin of the parts when they were new and when they were replaced during the technical stop (§4.2).

¹⁵ See in appendix C the conclusions of the piston pin manufacturer's experts.

Concerning the tightening defect, the *BEA*mer looked into the distribution of monitoring tasks during scheduled maintenance (§4.3).

4.2 Checking the conformity of the piston pins

4.2.1 Role of the piston pin manufacturer

The piston pins are manufactured by a subcontractor of Cat motoren which factory is in Finland.

The manufacturer has provided records of the checks and measurements made at the end of production of the piston pins manufactured in 2003 for *PONT-AVEN*.

The manufacturer said it follows the specifications defined by its customers and develops its own procedures to meet all the requirements of the specification regarding material quality, dimensions and surface finishes.

Piston pins are made of metal alloys, according to customer specifications. The processed steel must meet the material purity requirements specific to the manufacture of the piston pins.

The piston pin manufacturer states that he instructs the steelmaker to comply with the specifications given to him by the engine manufacturer. The choice of the quality of the raw material is thus decided by the manufacturer's customer, the engine manufacturer.

Visual and ultrasonic checks were carried out on all manufactured piston pins. The 2003 checks on the piston pins were thus carried out by ultrasound, after drilling the lubrication channels and according to a calibration determined by the engine manufacturer, making it possible to detect inclusions larger than 0.5 mm. They were therefore unable to reveal 20 micrometers inclusions such as those which are at the origin of the cracks in the piston pin.

More detailed hardness tests were also carried out by sampling.

The piston pins have remained in place for 15 years, which represents more than 80,000 hours of operation, without any problems. Cat motoren did not prescribe regular replacement of the piston pin, as the part was considered robust and subject to moderate wear.

Since 2003, the ultrasonic checking procedures have been modified as they are carried out before the drilling of the central lubrication channel of the piston pin. However the calibration and the reliability of these controls are identical.

Role of the engine manufacturer

Cat Motoren requests that his subcontractor keep it informed of any changes in its manufacturing process for piston pins.

Cat motoren occasionally audits his manufacturer, especially whenever there is a change in the production of piston pins. This is how the quality control procedures for the piston pins produced are validated by Cat motoren.

The defects that over the years may have created cracks on some of the piston pins, were not detectable with the control calibration used in 2003. These imperfections are inherent to the quality of the original material, the choice of which is determined on the basis of a risk analysis carried out by the engine manufacturer.

4.2.2 Traceability of parts during scheduled maintenance

The spare parts supplied by the manufacturer Cat motoren are identified by serial numbers and date of manufacture. This enables the origin of the parts to be traced (subcontractor, batch, test certificate).

Orders for original manufacturer's parts are placed through the brand's official distributor in France: the MMM company (Moteurs Marine Méditerranée). The engine manufacturer's head office says it carefully monitors the replacement of its customers' main parts.

The maintenance of the engines is the responsibility of the shipowner, who indicates that the parts replaced during the technical stops in 2014, 2015 and 2016 are original manufacturer parts. When questioned by the *BEA*mer, Cat Motoren confirmed that the piston pin and the connecting rod small-end of the A5 cylinder of the *PONT-AVEN's* ME2 were indeed original manufacturer parts.

4.3 Maintenance

4.3.1 Monitoring during scheduled maintenance

During technical stops, there is no manufacturer's representative. During the 2016 TS in Gdansk at the Remontowa shipyard, the shipowner BAI called on MMM (Moteurs Marine Méditerranée), the service provider, which sent a "MaK" engine expert.

Regarding the tightening of the connecting rod small-end bolts, the shipyard must respect an absolute value and not a range during reassembly. However, this information is not available on

the documents relating to the work carried out on the engine provided by the company, the classification society or the MMM technician supervising the engine overhaul. The BEAmer notes that there was no recording of these values. Therefore, it is not possible to be absolutely certain that the engine manufacturer's recommendations were followed by the Remontowa shipyard during the 2016 TS in Gdansk. It should be noted that during the same technical stop, the disassembling of the ME2 was completed before the arrival of the MMM technician.

BAI points out that the 2016 dry dock was not a simple maintenance operation, but an IMO2 engine conversion project. This project, which represented an investment of more than 2 million euros by BAI, notably included the installation of new design connecting rod small end and the modification of engine parameters.

The IMO2 conversion requires, among other things, the removal of the running-gears in order to fit a shim between the connecting rod and the connecting rod small end. This modification increases the compression ratio as well as the forces exerted on the various engine parts. The scope of the IMO2 conversion also affects engine supercharging, distribution (synchronization of valves and injection) as well as fuel supply.

At the date of publication of the report, the impact of the IMO2 conversion in this case is still the subject of further expert appraisal.

In the engine maintenance guide provided by Cat motoren, monitoring the clearance between the piston pin and bearing is recommended every 30,000 hours. When measuring, it is also recommended to visually inspect the piston pin for surface cracks.

It was noted that there were no descriptions of the visual checks of the piston pins, which had to be carried out in the presence of the MMM technician and possibly a crew representative. The decision not to replace the piston pins was not formalised.

Role of the BAI's technical department

BAI specifies that its technical department takes a number of measurements of parts and clearances during technical stops to detect abnormal wear. The small tolerance margins must be scrupulously respected. Disassembling is also the occasion for a careful visual inspection of the piston pins to detect the beginnings of cracks.

There is no evidence that the replacement of parts during scheduled maintenance was carried out in accordance with professional standards (according to the engine manufacturer's specifications) and conversely, there is no evidence that there was a problem during disassembly or reassembly.

Role of the classification society ¹⁶

In terms of the Class Rules, maintenance and overhaul of machinery items in accordance with the manufacturer's recommended procedures and established marine practice do not require formal BV's agreement.

Items of propulsion engines that have been repaired as part of classification maintenance are normally inspected and certified by BV. Any repairs resulting from such maintenance and overhauls, which affect or may affect the class, are to be noted in the ship's log and submitted to the attending surveyor for use in determining further survey requirements.

Materials and equipment used for repairs are generally to meet the requirements of the class rule for new ships built under survey.

The classification society states that it is the responsibility of the shipowner to follow the manufacturer's instructions for operation, maintenance and repair. It is also the responsibility of the shipowner to control the work carried out by the shipyard during technical stops. In particular, the shipowner must inform the BV surveyor of any disassembling, repair or modification carried out on classified equipment. The BV surveyor is not required to supervise the disassembling and overhaul of the engines. In the event of disassembling, repair or modification of engines, the BV surveyor must inspect the items in accordance with the requirements of the regulation.

In practice, the vessel *PONT AVEN* is subject to the Continuous Machinery Scheme (CMS) which allows the Chief Engineer to carry out the inspections required by the Classification Regulation, under certain conditions. When surveys are carried out by the chief engineer, they must be recorded in the engine logbook and a survey report must be prepared for each item surveyed. The report must provide information on, among other things, the maintenance and repairs carried out and the parts replaced.

Piston crowns of engines with a cylinder bore diameter bigger than 400 mm must have a raw material certificate in the form of a manufacturer's document, where material properties such as chemical composition, mechanical properties and surface treatments must be stated. A manufacturer's document shall also state that non-destructive examinations (ultrasonic testing and crack detection by dye penetration or magnetic particle crack detection) have been performed. A

¹⁶ Source Bureau Veritas Marine & Offshore (BV).

visual examination of the accessible surfaces must be carried out by the BV surveyor. Finally, a « product » certificate must be issued by BV. Connecting rods with their caps must have a raw material certificate issued by BV, where material properties such as chemical composition, mechanical properties and surface treatments must be stated. A manufacturer's document shall also state that non-destructive examinations (ultrasonic testing and crack detection by dye penetration or magnetic particle inspections) and dimensional inspection (including surface condition) have been performed. A visual inspection at random of all surfaces must be carried out by the BV surveyor. Finally, a « product » certificate must be issued by BV.

BV was present at the 2015 TS in Brest but did not inspect the propulsion engines. BV was present at the 2016 TS in Gdansk, as well as in Santander for the November-December 2018 TS where the surveyor carried out inspections on the propulsion engines.

However, the records concerning the work carried out (metrology, serial numbers, etc.) by the various parties in charge of monitoring maintenance do not make it possible to ensure that the engine manufacturer's recommendations were scrupulously followed.

4.3.2 Periodicity of parts replacement

Examination of the documents provided by the shipowner tends to show that the frequency of maintenance was carried out in accordance with the engine manufacturer's recommendations. Similarly, the replacements recommended following reported failures (service letter concerning, for example, the connecting rod small-ends) were strictly followed.

Unless an anomaly is found during disassembling, Cat motoren does not plan to change the piston pins as part of the preventive maintenance of the M43 engine: to date, according to the manufacturer, this part is not intended to be replaced whatever the life of the engine.

Cat motoren has informed the *BEA*mer that in twenty years, out of about fifty M43 engines in service worldwide, less than ten cracked piston pins have been found. Before the *PONT-AVEN* accident, these cracks had never caused any damage; the engine can in fact continue to operate for several thousand hours with a slightly cracked piston pin. The piston pin is mounted freely in the connecting rod small-end and in the piston, its range of movement is restricted. However, it receives the forces of the combustion pressure.

The piston pin manufacturer would like to point out that according him:

The piston pin is mounted free, so that the contact between the bearing and the piston pin is floating. Conversely, the contact between the bearing and the small end is not free but fixed. This mechanical system is designed in such a way that the friction between the small end and the

bearing is considerably greater than that between the piston pin and the bearing. Given the mechanical system, it is indeed the lack of sufficient friction between the connecting rod small end and the bearing that creates the micro-movements between the connecting rod small end and the bearing.

In addition, to the floating mounting of the piston pin is added a lubrication mechanism to prevent any tribological problem using the lubrication grooves. So even if the piston pin had cracked, the cracks in the piston pin could not have generated friction exceeding the existing and normal friction between the connecting rod small end and the bearing.

This is the reason why the engine could continue to run despite a cracked piston pin.

However, studies are underway at Cat motoren to improve the current controls (ultrasonic) or to create others to better identify defects in the metal such as inclusions. Then, given the results, sorting out would have to be done, between the parts that can remain with minor internal microcracks and the other parts that would have to be replaced. But these tests can be very costly in relation to the cost of manufacturing piston pins.

4.4 Areas for improvement

Engine oil analyses are carried out regularly, as part of standard maintenance procedures, to detect the presence of metallic particles. In the case of *PONT-AVEN*, the monthly oil analyses carried out on the MEs did not identify any risk, they did not reveal any abnormal concentration of metallic particles.

However, BAI had noted a significant increase in the number of daily automatic backflushing cycles of the lubricant filter (*Boll and Kirch*) during the three days before the accident. Precise monitoring of the frequency of *Boll and Kirch* automatic backflushing cycles, which is already a driving parameter of the engine, could sometimes make it possible to anticipate an anomaly, possibly combined with a quick analysis of the oil as soon as warning signs appear. It should be noted, however, that the character of increased automatic backflushing cycles is neither systematic nor very reliable. It can only be an indication and an incentive for further verification. Indeed, during the winter 2019 technical stop, a pin on the ME1 was found damaged without any increase in backflushing, while on the ME3, no pin was found damaged even though there had been an increase in backflushing.

5 Feedback

5.1 Feedback at the company level

Safety equipment

Of all the safety equipment, the oil mist detector was the first to go off, it worked well and stopped the ME2.

The fire detection also worked well, as the triggering of two flame and smoke detector heads caused the Hi-Fog system to automatically activate. Based on experience feedback, the BAI technical department emphasises the absolute necessity of having a fire detection system in perfect working order. This does not only depend on the control and maintenance by the crews, but also the intrinsic quality of the equipment.

For the Hi-Fog fire extinguishing system, the manufacturer recommends the use of non-mineral water if possible. The fact that the company uses distilled water made it possible to have a perfectly functional installation that day. Had it used tap water, corrosion could have occurred in the system. The head of a Hi-Fog sprinkler at the entrance to the room where the fire broke out acted as a protective curtain. This curtain of water created a cold zone that protected the crew firefighting teams from the smoke. For future new constructions, the BAI technical department will take into account this feedback on the usefulness of having a Hi-Fog sprinkler head as close as possible to the fire doors.

Among other equipment, video surveillance was a decision-making aid in the management of the emergency. It provided a visual on the still active seat of fire under the machine floor.

The action of the engine watch officer was also decisive in closing the fuel system valves and relaying the alert to the bridge OOW.

With the seat of fire under the floor, the firefighters of the crew firefighting team did not see the flames, while one of them felt a strong heat under his feet. Following the accident, a portable thermal imaging camera was provided to all vessels in the fleet, and training on its use was provided.

Crew members who responded to the firefighting teams testified to the need for an energizing diet before tackling the fire. Indeed, the stress of a night-time intervention, after a brutal awakening, without having eaten, does not allow one to be in full possession of one's means and can

sometimes cause discomfort. Energy bars are now available on the vessels for the intervention teams.

Crisis management by the crew

The "alert" phase was immediately initiated by the OOW on the bridge. This allowed the entire crew to be available according to the planned organisation. The master, awakened by the vibrations, quickly arrived on the bridge as well as the support team.

The flow of information between the master on the bridge, the chief engineer, who was promptly present at the engine control room, and the chief mate, who was leading the response teams from the ARZ, was satisfactory. These situation reports and the video surveillance that provided a visual display of the engine room allowed the master to have an accurate perception of the situation.

The teamwork with the officers allowed the master to make informed decisions and to evaluate and confirm the proposals made.

Although the situation seemed to be on the verge of being brought under control, the master chose to switch to the "alarm" phase (calling passengers to assembly points). This phase made it possible to reassure passengers who might have been worried, mobilise the entire crew, and be ready for a possible abandon ship situation.

The hotel service took charge of the passengers at the assembly points in a calm atmosphere. It was able to manage situations that had already occurred during drills: taking a controlling attitude that reassured the passengers, making family gatherings, or informing passengers about their pets that had remained on the vessel's garage decks.

The relatively rapid control of the fire by the automatic equipment and by the intervention of the crew firefighting teams did not prompt the master to broadcast messages requesting assistance or to call on other company vessels.

The chief mate's feedback prompted the vessel's owner to provide an intervention bag containing the equipment and documents required to lead the teams in action. It is currently being installed on all the company's vessels and consists, among other things, of "fire-fighting" cards, laminated plans on which it is possible to write, safety equipment, and materials useful for intervention.

The master transmitted the main information to the authorities ashore through *Etel* MRCC. The *Préfecture maritime de l'Atlantique*, however, kept sending an assessment and response team on board and an escort by the ocean-going tug *ABEILLE BOURBON*.

Crisis management by the company

The master very quickly notified the company's on-call executive, who during the first phase managed the situation ashore alone. Subsequently, various company executives were alerted. There was no activation of the company's "emergency plan" and the crisis cell was not set up.

From now on, the "fire and safety" training sessions delivered to the crews in the company's training centre in Saint-Malo, include a time of exchanges with the trainees around the feedback of the *PONT-AVEN* event.

5.2 Preventive actions taken

Actions taken by the company

In the months following the accident, BAI replaced all the piston pins of the Pont Aven's M43 main engines. The company has decided to replace the piston pins of the other M43-equipped vessels during the 60,000 hour visits or during a running-gear visit if the pin concerned has reached 60,000 hours at the time of the visit.

The old piston pins controlled with 2003 technology have therefore been replaced by new pins controlled with 2020 technology, thus ensuring better reliability.

As a precaution, this good practice could usefully be extended to all M43 engines in service worldwide.

BAI has decided to carry out an ultrasonic inspection of the connecting rod small-ends of the M43 engines in the fleet from the crankcase (without removing the running-gears) every 15,000 hours and an ultrasonic control of the connecting rod small ends after disassembly every 30,000 hours.

In terms of emergency preparedness¹⁷, the company has also decided to systematically activate the emergency plan at headquarters as soon as the alert phase of the on-board emergency plan is activated.

¹⁷ Chapter 8 of the International Safety Management (ISM) Code, mandatory under Chapter IX of the International Convention for the Safety of Life at Sea.

Actions taken by the engine manufacturer

The first step taken was to identify engines that had piston pins from the same series, manufactured and tested under the same conditions as the A5 cylinder pin of *PONT-AVEN* ME2. Today piston pins are only replaced when mini cracks appear on the surfaces in contact with other parts or when the geometric values are not compliant.

The engine manufacturer has issued a service letter warning that a small number of piston pins installed in M20, M25, M32, M34, M43 and M46 engines have developed cracks over time. According to Cat motoren, in most cases, the cracks were discovered during scheduled piston maintenance and engine damage was prevented. However, when a crack remains undetected the piston pin can eventually fail and cause irreparable damage to the engine and threaten the safety of personnel in the immediate environment.

It is therefore required at each scheduled maintenance, a visual check of the surface without further mention of checking the piston pins as described in the engine manual. Safety checks described in the engine manufacturer's procedures should also be carried out on the connecting rod small-end bearings and circlips (check for wear and positioning during reassembly).

The engine manufacturer and his subcontractor have implemented new techniques for detecting inclusions to eliminate parts with excessive impurities. In addition, the original material is now subjected to a re-melting and refining process for steel used in critical conditions.

6 Conclusions

A mechanical failure caused the crankcase doors to burst open, the release of hot oil vapour caused a fire in the engine room.

The safety shutdown of the ME2 and the automatic triggering of the Hi-Fog were decisive in limiting the consequences of the accident.

In the context of fire management, the crews' ability to intervene was remarkable.

The cause of the accident is most likely due to cracks either in the connecting rod small-end or in the piston pin of the ME2 A5 cylinder. Due to cracks detected in the piston pin as a result of inclusions in the metal during manufacture, a first hypothesis would be a seizure of the piston pin in its housing to explain the separation of the connecting rod and the piston.

However, the cracks of the piston pins observed in the past by the engine manufacturer on vessels of other shipowners than BAI had not caused any proven accidents. A second hypothesis would be a crack in the connecting rod small-end as the primary cause of the failure, given the history of this part.

As a precautionary measure, the company decided to have all piston pins of the main engines of *PONT AVEN* replaced.

The original piston pins from 2003 were checked during their manufacture according to the calibration determined at the time. The engine manufacturer does not see any technical interest in imposing a replacement periodicity for the piston pins as they are not considered as wear parts.

The *BEA*mer notes that major maintenance work on the main engines was not the subject of sufficiently detailed reports that would make it possible to keep written records of the scrupulous follow-up of the engine manufacturer's recommendations.

7 Safety lessons

1. **2022-E-20:** the examination of essential parts of an engine that is carried out during disassembling should be precisely described, especially when a decision on keeping in place or replacement could be made.

8 Safety recommendations

BEAmer recommends:

To the engine manufacturer Cat motoren:

1. **2022-R-11:** to study the measures implemented by the shipowner (paragraph 5.2), concerning the replacement of piston pins and the ultrasonic inspection of M43 engine connecting rod small-end, to determine the need to extend these measures to all identical engines.

To the BAI company:

2. **2022-R-12:** to include in the engine maintenance monitoring procedures, the recording of the tightening values of the connecting rod small-end fixing nuts.

A safety recommendation is in no case a presumption of liability or blame.

Liste des abréviations

Abbreviation list

AT/TS	: Arrêt technique / Technical Stop – Dry dock
BAI	: Bretagne-Angleterre-Irlande (compagnie maritime), nom commercial : Brittany ferries French shipping company (Brittany-England-Ireland), trade name: Brittany ferries.
BEAmer	: Bureau d'enquêtes sur les événements de mer / French Marine casualty investigation bureau
BV	: Bureau Veritas Marine&Offshore
CETIM	: Centre technique des industries mécaniques / Technical Centre for Engineering Industries
CROSS	: Centre régional opérationnel de surveillance et de sauvetage / French MRCC
EEI / ART	: Équipe d'évaluation et d'intervention / Assessment and Response Team
HFO	: Heavy fuel oil
Hi-Fog	: Nom commercial du système d'extinction fixe par pulvérisation d'eau sous pression / Trade name of the fixed pressure water spray extinguishing system
MDO	: Marine diesel oil
MP / ME	: Moteur principal / Main Engine
MRCC	: Maritime Rescue Coordination Centre
OOW	: Officer Of the Watch
ZAR / ARZ	: Zone d'approche et de réserve / Approach and Reserve Zone

Décision d'enquête
Investigation decision



Bureau d'enquêtes sur
les événements de mer

Paris, le **29 AVRIL 2019**

N/réf. : *BEA*mer **010**



D é c i s i o n

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

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 ;

D É C I D E

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 l'incendie à bord du navire à passagers *PONT-AVEN*, survenu le 29 avril 2019 au sud de la pointe de Penmarc'h dans le Finistère.

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.

L'Administrateur en chef de 1^{re} Classe des Affaires Maritimes
François-Xavier RUBIN DE CERVENS
Directeur par intérim du *BEA*mer

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



Conclusions des experts du fabricant des axes de piston

Objet : Incendie du compartiment machine à bord du navire roulier à passagers PONT-AVEN le 29 avril 2019, entre Plymouth et Santander – Rapport provisoire du BEA-Mer

CONCLUSIONS – cause profonde – chronologie des évènements.

La fissure initiale ayant engendré la rupture s'est formée dans une avarie de surface au niveau de la surface de l'alésage du pied de bielle. Elle est apparue à la suite d'un mouvement relatif entre les surfaces de contact du palier du coussinet et de l'alésage du pied de bielle. La formation de la fissure a été provoquée par les contraintes de masse du piston et de l'axe du piston agissant sur la partie supérieure du trou du pied de bielle, c'est-à-dire que le fonctionnement au ralenti et à charge partielle ont représenté des conditions de charge critiques.

La progression de la fissure a été principalement provoquée par les contraintes de masse du piston et de l'axe du piston agissant sur la partie supérieure du trou du pied de bielle. Le fonctionnement au ralenti et à charge partielle sont des points critiques.

La rupture finale s'est produite lorsque la fissure a atteint une longueur critique où le matériau restant ne peut plus résister aux charges auxquelles le pied de bielle est exposé. À ce stade, toute combinaison de contraintes de gaz et de masse peut être critique.

La cause profonde de la rupture est une pression de contact trop faible et/ou mal répartie entre le coussinet de l'axe du piston et l'alésage du pied de bielle.

Le fait que la bielle ait accumulé un nombre élevé de cycles de charge avant la rupture confirme l'hypothèse selon laquelle l'amorce et la progression de la fissure sont provoquées par les contraintes de masse. Ainsi, le nombre relativement faible de cycles de charge accumulés pendant le fonctionnement au ralenti et à charge partielle est beaucoup plus important que le nombre de cycles de charge accumulés à charge élevée (les contraintes de gaz s'opposent aux contraintes de masse à charge élevée).

La pression de contact entre le coussinet et l'alésage du pied de bielle augmente lorsque la friction entre l'axe et le coussinet chauffe le palier du coussinet, qui se dilate plus rapidement que la structure environnante du pied de bielle. En raison de l'augmentation de la pression de contact, l'amplitude du mouvement relatif diminue jusqu'à ce que le palier du coussinet soit finalement, et dans des conditions idéales, bloqué sur la surface de l'alésage.

Conclusions of the piston pin manufacturer's experts

Subject: Engine room fire on board the ro-ro passenger vessel PONT-AVEN on 29 April 2019, between Plymouth and Santander – BEA-Mer's preliminary report.

CONCLUSIONS-root cause-chronology of events.

The initial crack leading to the failure was formed in a surface damage on the surface of small end bore. It appeared as a consequence of relative movement between mating surfaces of bearing shell and small end bore. The crack formation was driven by piston and piston pin mass forces acting on the upper part of the small end eye, ie. idling and part load operation were critical load conditions.

The crack growth was predominantly driven by piston and piston pin mass forces acting on the upper part of the small end eye. Thus, idling and part load operation are critical issues.

The final break down occurred when the crack reached a critical length where the remaining material cannot withstand the loads the small end is exposed to anymore. At this stage any combination of gas and mass forces can be critical.

The root cause of the failure was too low and/or unfavourably distributed contact pressure between piston pin bearing and end bore.

The fact that the connecting rod had accumulated a high number of load cycles before the failure is supporting the theory, that the crack initialisation and growth is mass force driven. Thus, the fairly low number of load cycles accumulated during idling and part load operation are far more important than the number of load cycles accumulated at high load (gas forces are counteracting the mass forces at high load).

The contact pressure between bearing and small end bore increases when the friction between pin and bearing heats up the bearing shell, which expands faster than the surrounding small end structure. As a consequence of the increasing contact pressure the amplitude of the relative movement decreases until the shell finally and under ideal conditions is locked to the bore surface.

Commentaire de la BAI sur l'arrêt technique de 2016

BAI fait observer que l'arrêt technique de 2016 n'était pas une simple opération de maintenance, mais un projet de conversion IMO2 des moteurs. Ce projet, qui représentait un investissement de plus de 2 millions d'euros par BAI, comprenait notamment la mise en place de nouveaux designs de pieds de bielle et la modification des paramètres moteurs.

La conversion IMO2 nécessite entre autres la dépose des attelages mobiles afin de monter une cale entre la bielle et le pied de bielle afin de modifier le taux de compression. Le périmètre de la conversion IMO2 touche également la suralimentation des moteurs, la distribution (synchronisation des soupapes et de l'injection) ainsi que l'alimentation en combustible. Il est par ailleurs important de noter que lors de la conversion IMO2 des moteurs de propulsion du *PONT AVEN* les pieds de bielle des quatre moteurs ont été remplacés conformément à la service information n°0005M43 du 10 mai 2011. Lors de cette opération les axes de piston auront bien entendu été contrôlés avant remontage et aucune anomalie n'a été rapportée par le superviseur MAK MED présent au chantier.

En effet, pour s'assurer du bon état de fonctionnement de ses moteurs à l'issue de cette opération, BAI a fait appel à un superviseur de MMM qui a passé plus de 300 heures à surveiller la bonne marche des opérations.

Si Remontowa n'avait pas suivi ses instructions, le superviseur MMM n'aurait pas manqué de le signaler et de faire refaire les travaux.

BAI's comments about the 2016 dry dock

BAI points out that the 2016 dry dock was not a simple maintenance operation, but an IMO2 engine conversion project. This project, which represented an investment of more than 2 million euros by BAI, notably included the implementation of new design connecting rod small end and the modification of engine parameters.

The IMO2 conversion requires, among other things, the removal of the running-gears in order to fit a shim between the connecting rod and the connecting rod small end in order to modify the compression ratio. The scope of the IMO2 conversion also affects engine supercharging, distribution (synchronization of valves and injection) as well as fuel supply. It is also important to note that during the IMO2 conversion of the *PONT AVEN* propulsion engines, the connecting rod small ends of the four engines were replaced in accordance with service information letter n°0005M43 of 10 May 2011. Of course during this operation, the piston pins had been checked before reassembly and no anomaly had been reported by the MAK MED supervisor present at the site.

Indeed, to ensure that its engines were in good working order after this operation, BAI called on a supervisor from MMM who spent more than 300 hours monitoring the smooth running of operations.

If Remontowa had not followed his instructions, the MMM supervisor would have pointed it out and had the work redone.



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Bureau d'enquêtes sur les événements de mer (BEA mer)

Arche sud

92055 LA DEFENSE CEDEX

Téléphone : **+33 (0)1 40 81 38 24**

Adresse électronique : bea-mer@developpement-durable.gouv.fr

Site web : www.bea-mer.developpement-durable.gouv.fr



Intertek