



NOTRE METHODE



LES EXPERTS

« Gestions des risques industriels »

NEWS FEV 2021

Newsletter N°50 : Conditions extrêmes / Risques industriels
Approche technico-historique des catastrophes sub-zéro....

En ce début d'année, nous vous proposons cette 50^{ème} **newsletter** (que le temps passe vite...) toujours dédiée à la thématique des « Conditions extrêmes et les risques industriels ». Cette fois, nous nous focaliserons sur l'impact des basses températures vis-à-vis des matériaux métalliques. Pour cela, nous nous intéresserons à 3 catastrophes industrielles qui nous permettront de comprendre comment évoluent les caractéristiques mécaniques dans ces conditions extrêmes : les Liberty Ships de la 2^{ème} guerre mondiale, le Titanic, le Silver Bridge de Point Pleasant aux USA.

a) Les « Liberty Ships »

Pendant la seconde guerre mondiale, les Etats-Unis ont construit 2700 "Liberty Ships", des cargos de 130 mètres et 10 000 tonnes, chargés de ravitailler les alliés. Pour faire face à l'urgence, les méthodes de production ont été revues afin de réduire la durée de fabrication qui est passée d'un mois à moins de 5 h avec le "SS Patrick Henry". (Cf. figure 1)



Figure 1 : Fabrication à la chaîne.

Parmi l'ensemble de la flotte, 362 de ces bateaux se sont plus ou moins gravement fissurés (Cf. figure 2) principalement dans des mers froides comme la Mer du Nord.



Figure 2 : Liberty Ships : Pétrolier Shenectady et l'USS Ponaganset [SCHMI 14 ; VERN 11]



NOTRE METHODE



LES EXPERTS

« Gestions des risques industriels »

NEWS FEV 2021

D'un point de vue métallurgique, la diminution de la température de l'eau a pour conséquence une fragilisation croissante du matériau lorsque cette température se trouve en dessous de ce que l'on appelle la température de transition ductile-fragile ou TTDF, définie par l'essai de flexion par choc réalisé avec le mouton de Charpy (Cf. figure 3). Plus le marteau remonte haut après avoir rompu l'éprouvette et plus l'acier testé est fragile (moins il a fallu d'énergie pour rompre l'éprouvette, qui est devenu cassant). A l'inverse, plus le matériau est mou, et moins le marteau remontera haut car une grosse partie de l'énergie cinétique sera absorbée lors du choc.

Cet accroissement de la fragilité s'accompagne donc d'une perte de plasticité (ductilité).

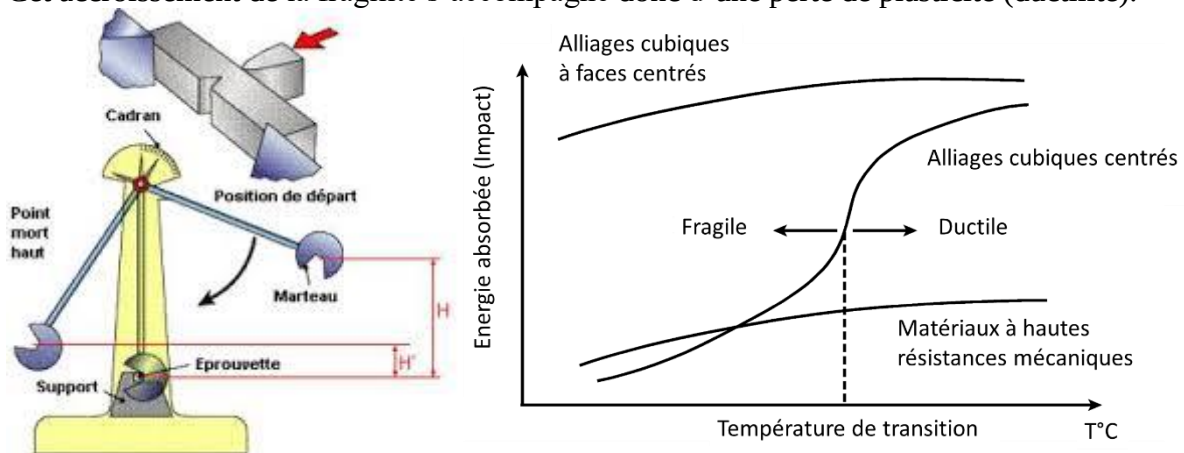


Figure 3 : Mouton de Charpy et évolutions de la tenue en flexion par choc en fonction de la température pour différentes familles d'alliages métalliques

A la relativement basse température de l'eau en Mer du Nord, il faut ajouter que les bateaux étaient fortement chargés et que la santé matière des tôles ou des rivets utilisés pour les assembler, n'étaient pas optimisées compte tenu du niveau de connaissance dont disposait le monde de la sidérurgie à cette époque.

Vers la fin de la guerre et pour des raisons de productivité, un autre phénomène est venu accentuer la fragilité des « Liberty Ships » : le remplacement de l'opération de rivetage des tôles par un assemblage par soudage, beaucoup plus rapide en production. Il a été constaté, pour ces bateaux, que les amorçages des fissures étaient localisés au niveau d'imperfections géométriques des cordons de soudure, dans les zones fondues trop chargées en impureté (soufre - phosphore) et dans les zones affectées thermiquement avec la présence d'un constituant fragile (la martensite non revenue) et de contraintes internes résiduelles de traction élevées.

b) Le Titanic

Un autre exemple, beaucoup plus connu du grand public, nous permet de mettre en évidence ces problèmes de fragilisation à basses températures : le naufrage du Titanic qui a commencé



NOTRE METHODE



LES EXPERTS

« Gestions des risques industriels »

NEWS FEV 2021

son premier et dernier voyage pour New York, le 10 avril 1912 en partant de Southampton. Quatre jours après son départ, il sombra dans les abîmes de l'Océan Atlantique à 640 km au sud-est de Newfoundland (Terre neuve) pour s'échouer à 4000 mètres de profondeur.

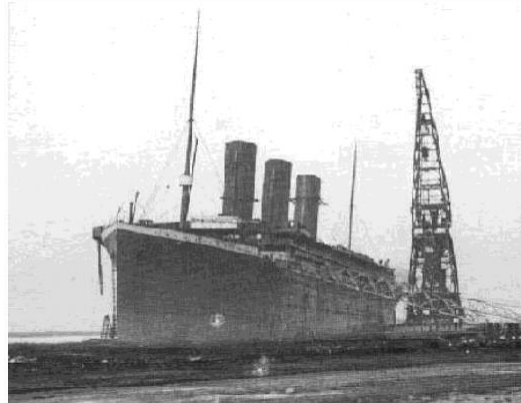


Figure 4 : Le Titanic à Southampton le 5 avril 1912. [ROBI 2010]

Deux théories ont été avancées pour expliquer le naufrage rapide de l'édifice : un problème au niveau de la coque (matière et conception) et une faiblesse des rivets. Il est important de rappeler que 3 millions de rivets ont été utilisés pour assembler les 2000 tôles de la coque du Titanic.

Ces 2 hypothèses d'ordre métallurgique mettent en avant le fait que la température de transition (TTDF) des alliages utilisés était trop élevée. L'impact avec l'iceberg a occasionné une rupture fragile facilitée par une composition chimique non optimisée : teneur insuffisante en manganèse pour piéger le soufre dont le pourcentage pouvait approcher les 0,7% alors que de nos jours on tend vers le centième de pourcent.

De plus, il semblerait que la vitesse du Titanic était assez élevée au moment de l'impact. Ce constat a une influence directe sur la plasticité des matériaux (Cf. figure 5) et sur le positionnement de la température de la transition ductile / fragile comme le montre la figure 6.

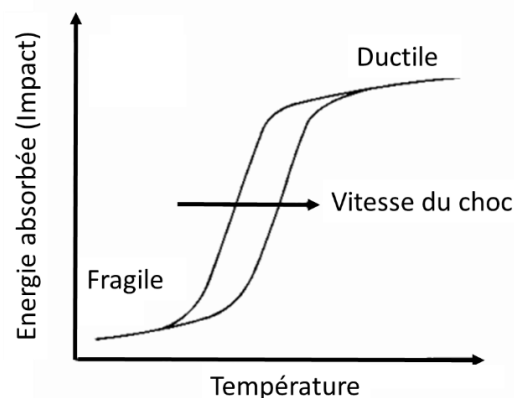


Figure 5 : Transition ductile fragile en fonction de la vitesse du choc. [PINE 2000]



NOTRE METHODE



LES EXPERTS

« Gestions des risques industriels »

NEWS FEV 2021**c) Silver Bridge de Point Pleasant**

Pour illustrer les problèmes de fragilisation à basses températures, on peut également aborder l'effondrement du pont suspendu le Silver Bridge à Point Pleasant (USA) en décembre 1967. La corrosion sous contrainte associée à des températures hivernales assez basses a été à l'origine de la rupture des barres filetées utilisées comme suspentes reliant les câbles porteurs au tablier du pont. (Cf. figure 6)



Figure 6 : Le Silver Bridge de Point Pleasant.

Après l'analyse de la défaillance, il s'est avéré que toutes les ruptures ont été amorcées dans des zones à fortes concentration de contraintes : les fonds de filets dans lesquels il était possible d'observer des stries d'usinage, des piqûres de corrosion ou des amorçages de fissures de fatigue. [PERS 1988]

La présence de défauts de surface sur les barres filetées à l'origine de l'accident nous permet de souligner l'extrême importance de ces constations sur l'endommagement des fixations qu'il s'agisse de la rupture brutale ou lorsque l'on aborde la tenue en endurance.

Il est connu que la tenue en endurance d'une éprouvette lisse augmente avec l'abaissement de la température. En revanche, dans le cas d'éprouvettes entaillées la phase de propagation de fissure est extrêmement limitée, par conséquent le régime de fatigue est essentiellement gouverné par l'étape d'amorçage de la fissure.

Le comportement à froid des aciers de construction dépend de l'empilement des atomes, de la composition chimique (Cf. tableau 1), de la qualité de l'élaboration (santé matière), des structures métallurgiques et de la taille des grains associée, mais également du niveau de finition de surface du produit (rugosité) et de sa géométrie.

Bonne Année les méca-llurgistes**A. FLEURENTIN****Expert judiciaire Matériaux Métalliques
(Cour d'appel de Paris)**

**NOTRE METHODE****LES EXPERTS****« Gestions des risques industriels »****NEWS FEV 2021****REFERENCES**

- [PERS 1988] JP Persy, A. Raharinaivo, « Etude de la rupture par temps froid d'éléments en acier provenant d'un pont suspendu », Traitement thermique N°220, 1988.
- [PINE 2000] « LES ALLIAGES MÉTALLIQUES POUR CONDITIONS EXTRÊMES », conférence de PINEAU André, octobre 2000.
- [ROBI 2010] C. Robin, « Mécanisme de rupture et de croissance de fissures », Présentation Ecole des Mines de Douai, Déc 2010.
- [SCHM 2014] JH. Schmitt, « Matériaux à hautes performances / endommagement et rupture », Cours ECP, 2014.
- [VERN 2011] Verne Ragle, « Brittle Fracture : the cold, hard Facts », présentation 2011 API Inspection Summit and Expo”.