



**ASSEMBLÉE GÉNÉRALE
DE L'ABVL**

27 AVRIL 2024

**RESTAURATION DES
ROUES À AUBES
CENTENAIRES DES
BATEAUX BELLE
EPOQUE**

**Irwin Gafner
Directeur technique**

ORDRE DU JOUR



- Introduction
- Contexte et historique
- Analyse des causes
- Restauration des roues à aubes
- Planification du projet et estimation des coûts

ORDRE DU JOUR



- Introduction
- Contexte et historique
- Analyse des causes
- Restauration des roues
- Planification du projet et estimation des coûts

INTRODUCTION



OBJECTIF DE LA PRÉSENTATION :

A B V L

ASSOCIATION
DES AMIS DES BATEAUX
A VAPEUR DU LÉMAN

Lausanne, avril 2024

A toutes celles et ceux
qui souhaitent
nous apporter leur soutien

**Les bateaux Belle Époque *Vevey* et *Italie* navigueront en alternance en 2024!
En cause : leurs roues à aubes, qui nécessitent une révision complète cette année.**

Madame, Monsieur, chères amies et chers amis des bateaux Belle Époque du Léman,

Nous avons besoin de votre soutien ! Un coup dur a entraîné l'arrêt du *Vevey* pendant plusieurs mois l'année dernière : certaines pièces de ses roues à aubes ont subitement cassé, comme sur son jumeau *Italie* par ailleurs, mettant en évidence l'usure d'éléments essentiels de propulsion. Ces arrêts forcés sont d'autant plus préoccupants qu'il s'agit des deux unités les plus sollicitées de la flotte Belle Époque, parcourant chaque année entre 20 et 30 000 km chacune.

Dès lors, une révision complète s'impose en 2024. Pour contribuer au financement de ces réparations, qui vont bien au-delà de l'entretien courant de ces bateaux plus que centenaires, **l'ABVL s'est engagée à trouver d'ici l'été CHF 500 000.- auprès de ses donatrices et donateurs.** C'est à cette condition que le *Vevey* et l'*Italie* pourront être réparés et continuer à naviguer.

Vous qui aimez les bateaux Belle Époque du Léman, nous faisons appel à votre générosité. Nous avons besoin de votre soutien pour réunir les CHF 500 000.- nécessaires aux réparations des roues à aubes des bateaux *Vevey* et *Italie*. Diverses pièces d'origine, datant respectivement de 1907 et 1908, doivent en effet être restaurées, voire pour certaines reconstruites.



Usées par des millions de rotations durant des décennies, les roues à aubes d'origine des bateaux *Vevey* et *Italie*



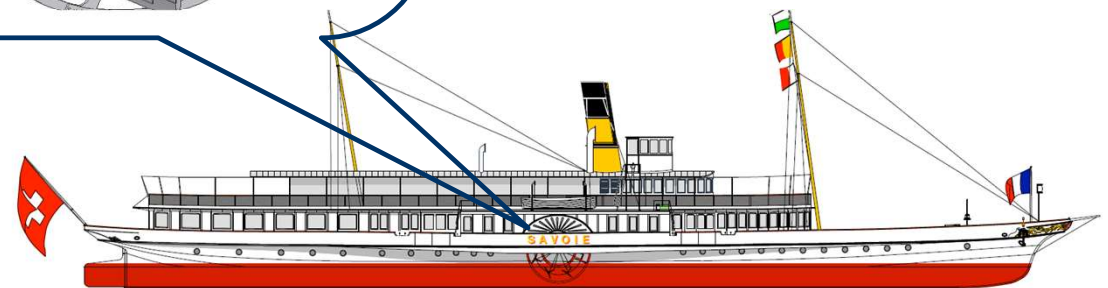
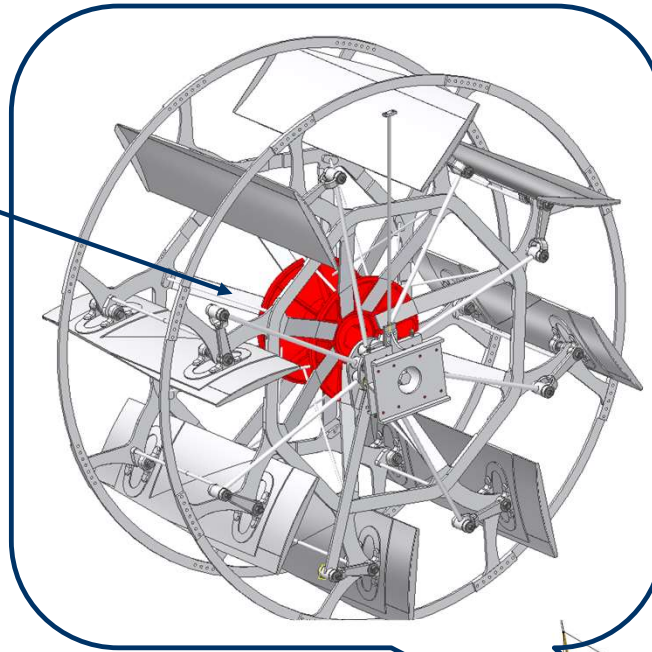
Coup dur en pleine saison 2023 : à la suite d'une avarie au niveau de ses roues à aubes, il a fallu arrêter le *Vevey*.



INTRODUCTION

QUELQUES BRÈVES DÉFINITIONS ET EXPLICATIONS

1) Moyeu

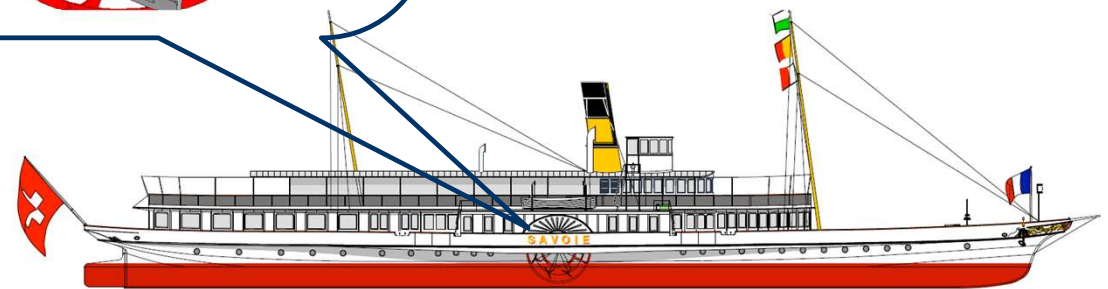
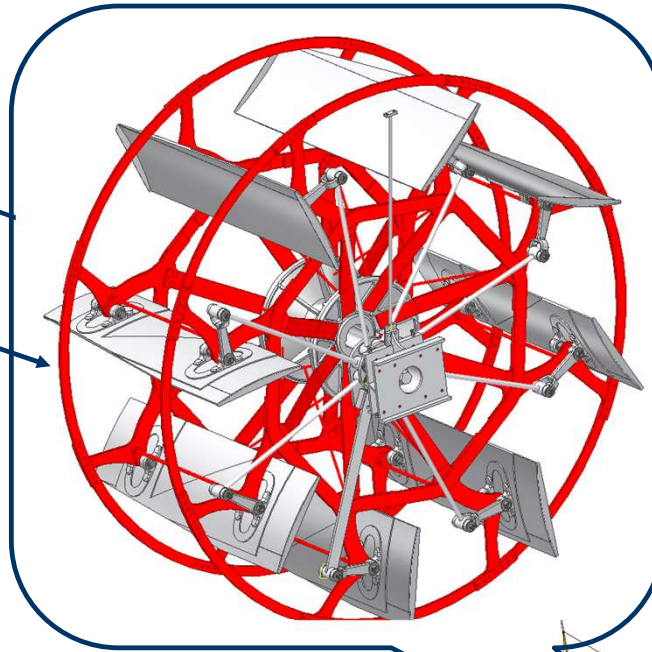


INTRODUCTION

QUELQUES BRÈVES DÉFINITIONS ET EXPLICATIONS

1) Moyeu

2) Cerclage



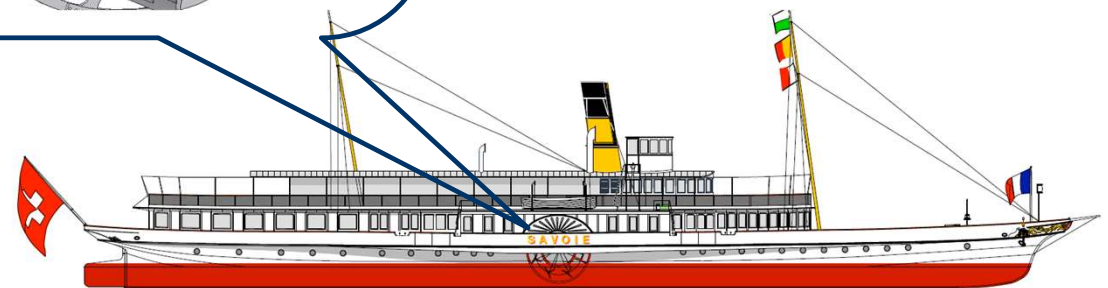
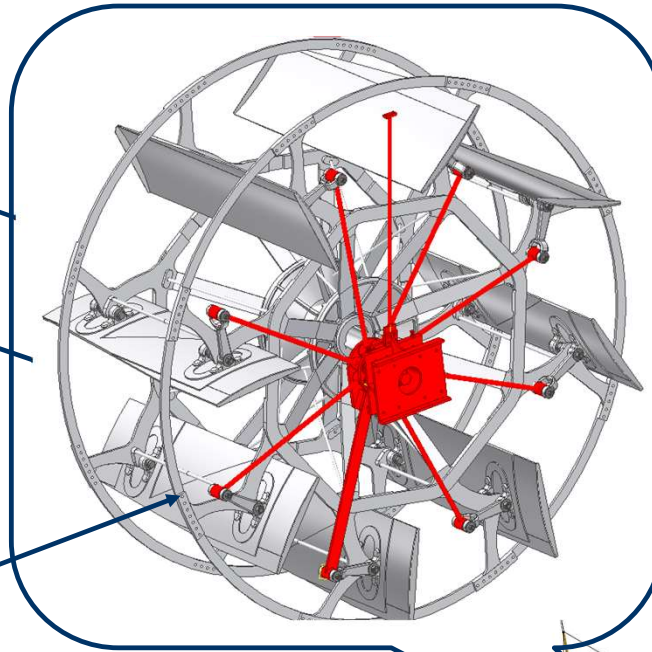
INTRODUCTION

QUELQUES BRÈVES DÉFINITIONS ET EXPLICATIONS

1) Moyeu

2) Cerclage

3) Excentrique



INTRODUCTION

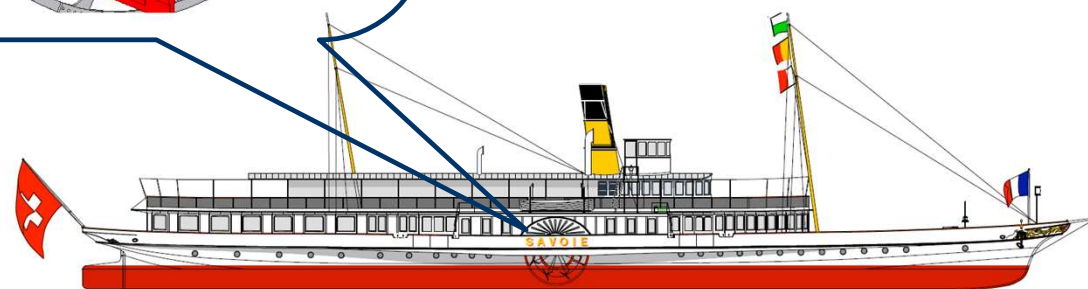
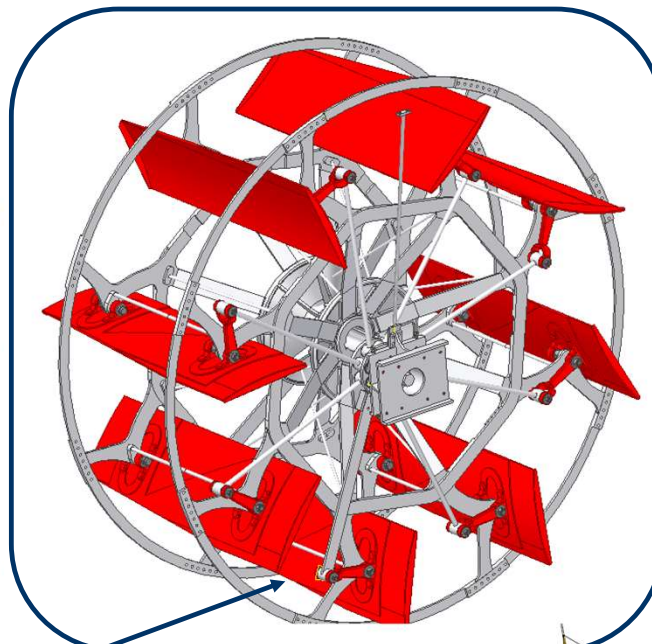
QUELQUES BRÈVES DÉFINITIONS ET EXPLICATIONS

1) Moyeu

2) Cerclage

3) Excentrique

4) Aubes (8x)



ORDRE DU JOUR



- Introduction
- Contexte et historique
- Analyse des causes
- Restauration des roues
- Planification du projet et estimation des coûts

CONTEXTE ET HISTORIQUE



- Les roues à aubes des 8 bateaux Belle Epoque sont toutes d'origine
- Eléments n'ayant pas été modifiés lors des précédentes restaurations

| | Année de construction | Remotorisation | Restauration partielle | Restauration complète | Changement arbres de roues |
|----------|-----------------------|----------------|------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Montreux | 1904 | 1961 / 2001 | - | 2001 | 2001 |
| Vevey | 1907 | 1955 | - | 2013 | 2022 |
| Italie | 1908 | 1958 | - | 2016 | 2021 |
| Suisse | 1910 | - | 1960 / 1971 | 2009 | 2022 |
| Savoie | 1914 | - | 1977 | 2006 | 2023 |
| Simplon | 1920 | - | 2005 / 2011 | - | 2021 |
| Helvétie | 1926 | 1977 | 2011 | - | - |
| Rhône | 1927 | - | 1969 | 2022 | 2022 |

- Les arbres de 6 bateaux ont été remplacés en 3 ans
- Les roues à aubes n'ont jamais été changées ou restaurées

CONTEXTE ET HISTORIQUE

- Age des roues à aubes de la flotte :

| | Montreux 1904 | Vevey 1907 | Italie 1908 | Suisse 1910 | Savoie 1914 | Simplon 1920 | Helvétie 1926 | Rhône 1927 |
|--|------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|---------------|
| Nombre d'année depuis la construction | 120 ans | 117 ans | 116 ans | 114 ans | 110 ans | 104 ans | 98 ans | 97 ans |

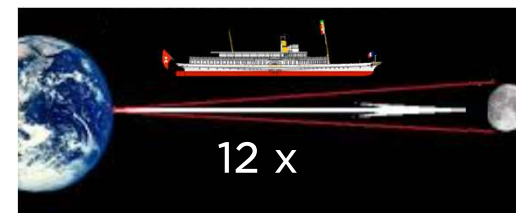
- En moyenne, les roues à aubes des bateaux Belle Epoque ont parcouru

23 km/h
44 tr/min
10 heures / jour
5 mois / an
Age moyen: 100 ans



400 millions
de tours de roue

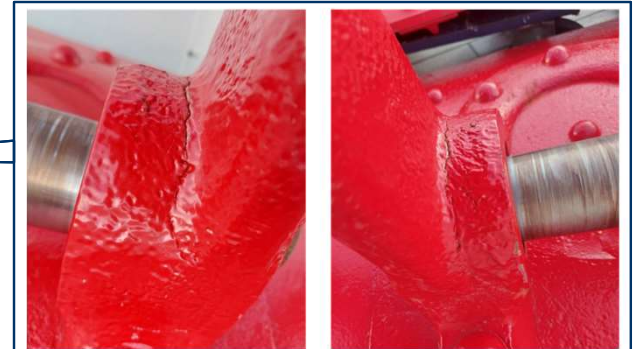
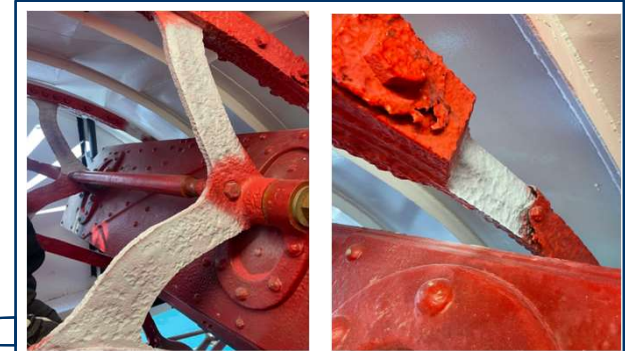
Soit 12 fois la distance
Terre-Lune



CONTEXTE ET HISTORIQUE

LISTE DES PANNES RECENSÉES DEPUIS 2022:

- SIMPLON, novembre 2022
Rupture de rayon de roue BB N°2
- RHÔNE, 17 mars 2023
Fissuration des bras d'orientation ou des aubes BB N°2 et 3
- SUISSE, 1 juillet 2023
Rupture du cerclage intérieur de la roue TB
- ITALIE, juin 2023
Fissuration de la fourche du support de l'aube BB N°4
- VEVEY, 23 juin 2023
Rupture du bras d'orientation de l'aube BB N°1



ORDRE DU JOUR



- Introduction
- Contexte et historique
- **Analyse des causes**
- Restauration des roues
- Planification du projet et estimation des coûts

ANALYSE DES CAUSES



TRAVAUX D'ANALYSE RÉALISÉS EN COLLABORATION AVEC

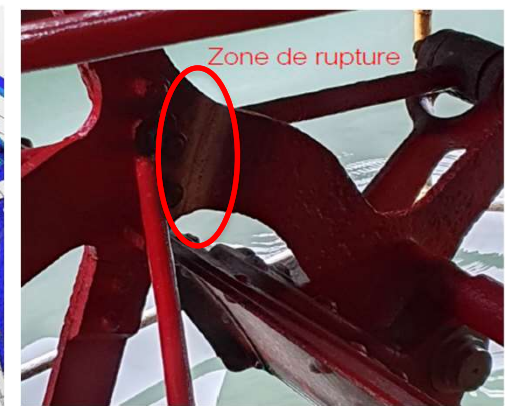
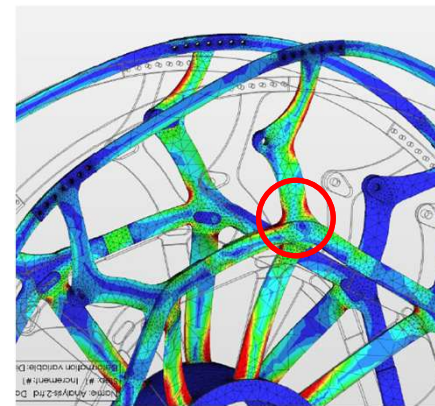


1. RUPTURE DES CERCLAGES (SIMPLON, SUISSE)

- Cause : Corrosion de certaines parties du cerclage

- Conséquences

- Perte de matière ($\approx -34\%$)
- Rupture dans les zones les plus sollicitées



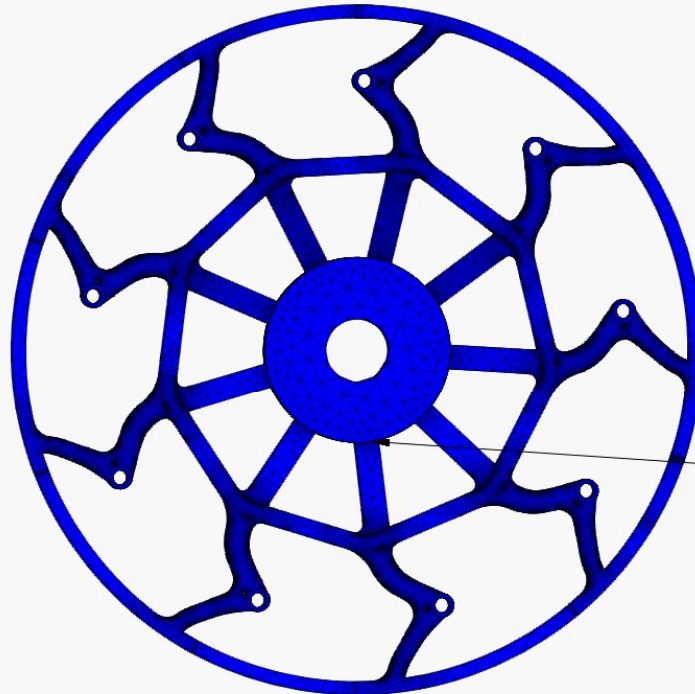
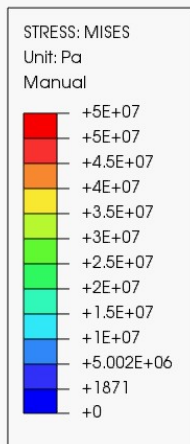
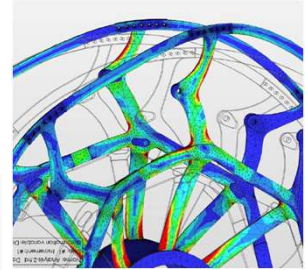
- Raisons

- Immobilisation d'une partie de la roue dans l'eau (stagnation de la roue dans l'eau)
- Absence d'anode de protection sur la coque / roues jusqu'aux années 2000

ANALYSE DES CAUSES



1. RUPTURE DES CERCLAGES : EXEMPLE DE CONTRAINTES



Name: essai.frd Date: 04/22/2024 Time: 12:54:46
Step: #1 Increment: #1 Analysis time: 1 s
Deformation variable: Displacements Deformation scale factor: 510
Animation scale factor: 0

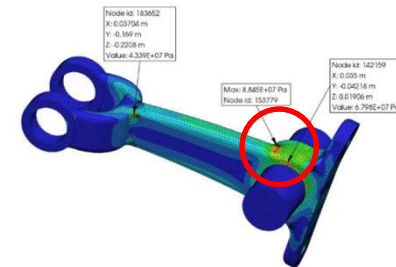
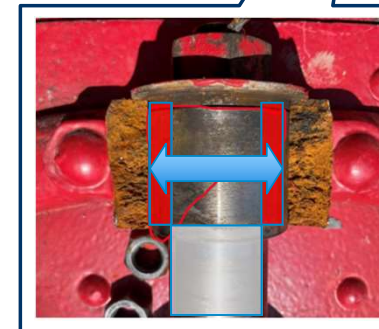
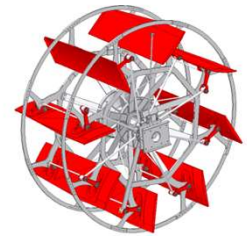
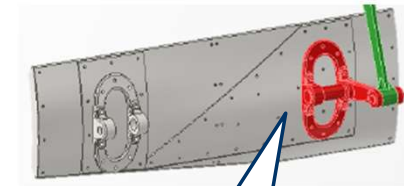
Max: 0 Pa
Node id: 1817456



ANALYSE DES CAUSES

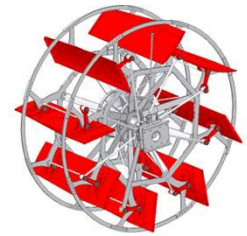
2. RUPTURE DES SUPPORTS DES AUBES (VEVEY)

- Cause : Modification de la conception d'origine (ajout de douilles par frettage)
- Conséquences
 - Perte de section (usinage pour insertion de douilles)
 - Augmentation de la contrainte maximale de + 17%
 - Rupture dans les zones les plus sollicitées
- Raison
 - Modification suite à la réparation nécessaire des œillets (corrosion + état de surface, 2010)

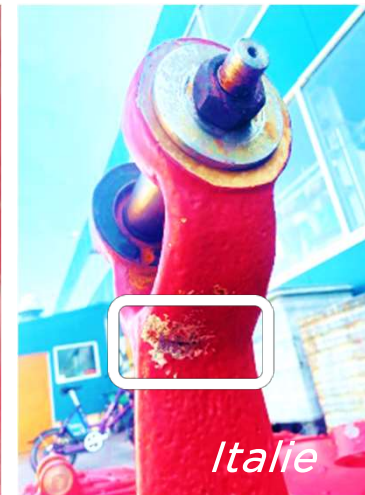


ANALYSE DES CAUSES

3. FISSURES DES AUBES (TOUS LES BATEAUX)



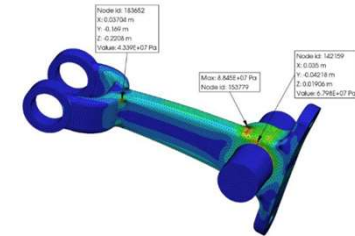
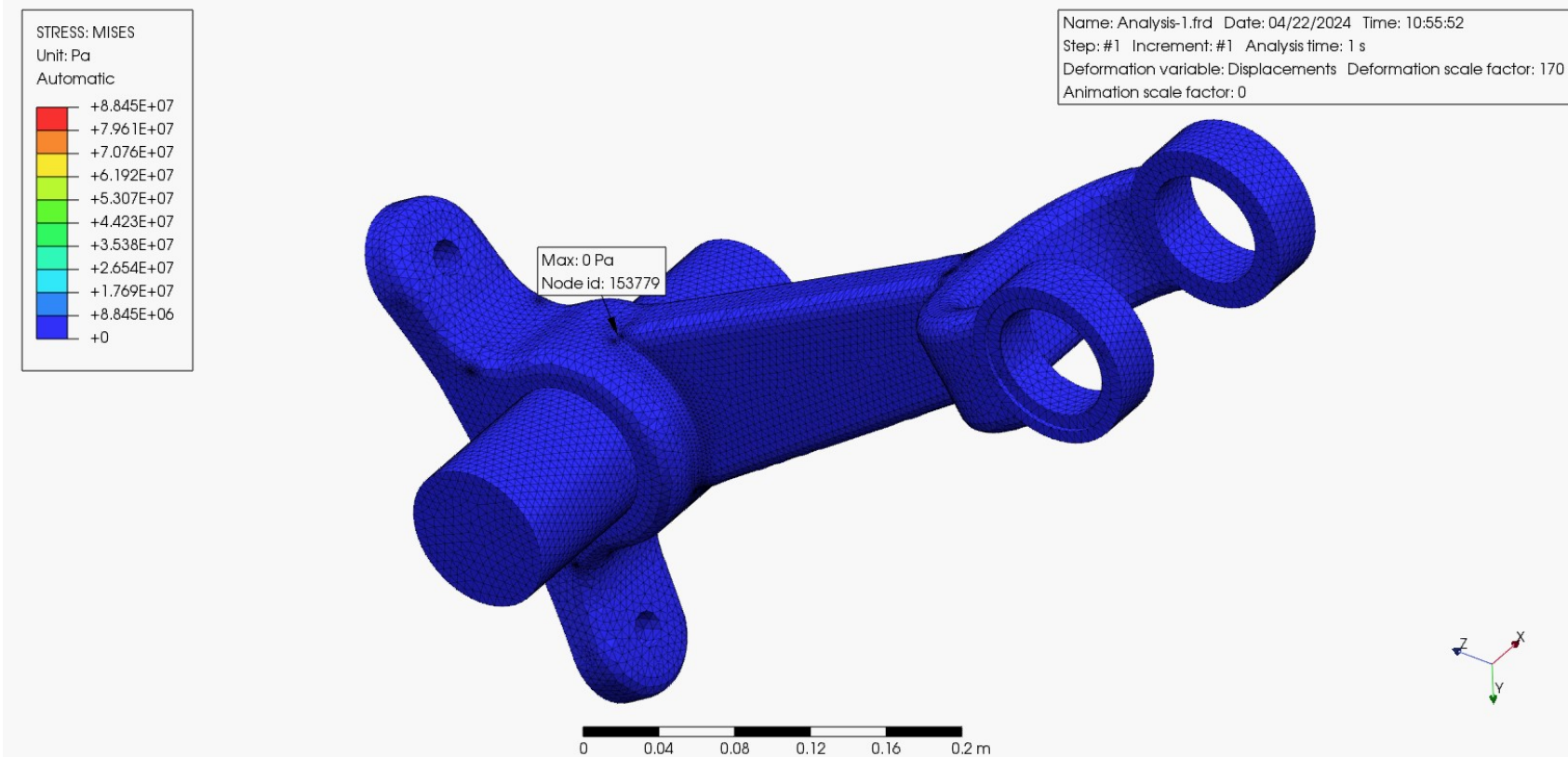
- Cause : Fatigue mécanique + contraintes cycliques alternées
- Conséquences
 - Fissurations sur plusieurs zones de concentration de contraintes
- Raisons
 - Très grand nombre de cycles d'utilisation et durée de vie
⇒ environ 400 millions de cycle et > 100 ans



ANALYSE DES CAUSES



3. FISSURES DES AUBES (TOUS LES BATEAUX): EXEMPLE DE CONTRAINTES

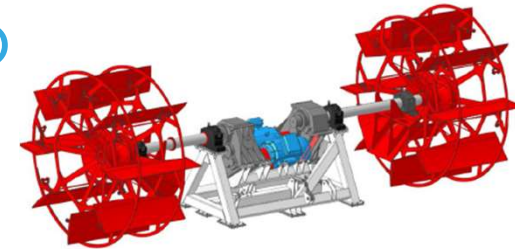


X 400'000'000



ANALYSE DES CAUSES

4. SOLLICITATION DES AUBES (PROPULSIONS ÉLECTRIQUES VV-IT)



- Cause :
 - Modification du système de propulsion
Machine à vapeur (1907-08) ⇒ Moteur Diesel (1955-58) ⇒ 100% Electrique (2013-16)

- Conséquences

- Augmentation des couples maximaux aux arbres
- Augmentation des sollicitations dynamiques

| | Rhône (vapeur) | VV / IT (électrique) | Augmentation |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------|--------------|
| | Couple max / min aux pales [kNm] | | [%] |
| Accélération | 74 / 31 | 82 / 32 | 4 - 11 |
| Vitesse de croisière | 55 / 30 | 60 / 38 | 9 - 26 |

- Raisons

- Conception d'origine pas prévu pour un système de propulsion à moteur électrique
⇒ Couple élevé et haute réactivité (dynamique)

ORDRE DU JOUR



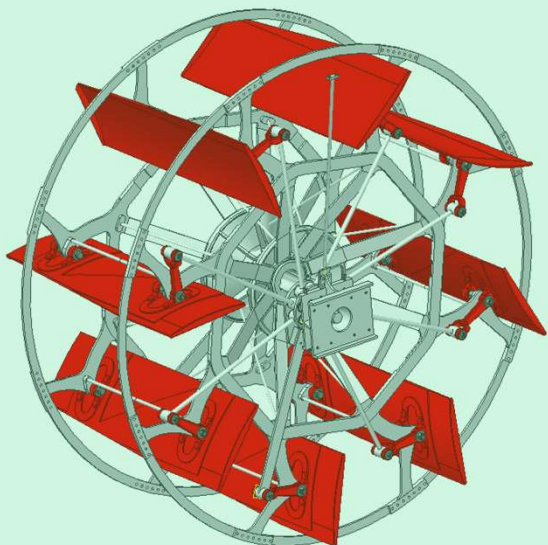
- Introduction
- Contexte et historique
- Analyse des causes
- **Restauration des roues**
- Planification du projet et estimation des coûts

RESTAURATION DES ROUES

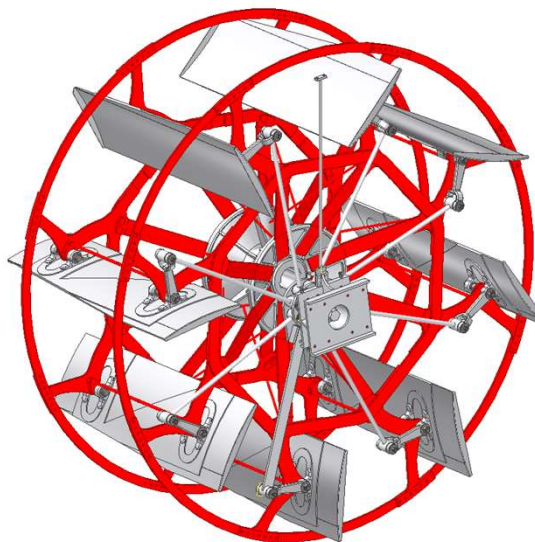
- La restauration des roues aura lieu en 3 étapes :

Etape actuelle

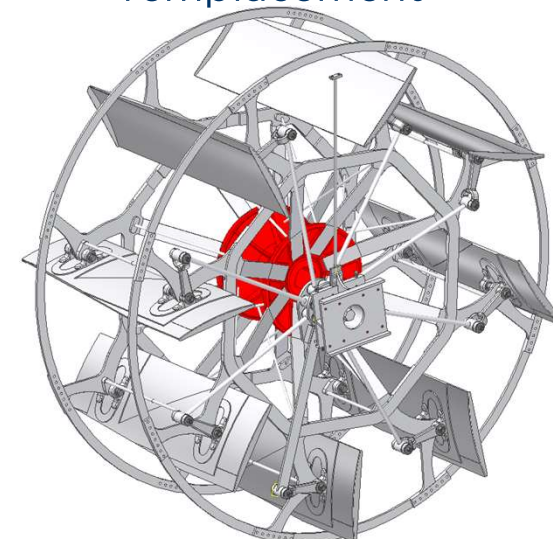
1) Reconstruction des aubes selon l'origine (non réparable)



2) Reconstruction des cerclages selon l'origine (non réparable)



3) Préservation (si possible) du moyeu d'origine ou remplacement



- Pour ces travaux, la CGN se fait accompagner par

RESTAURATION DES ROUES

- La reconstruction des aubes selon les plans d'origines nécessite les étapes suivantes:

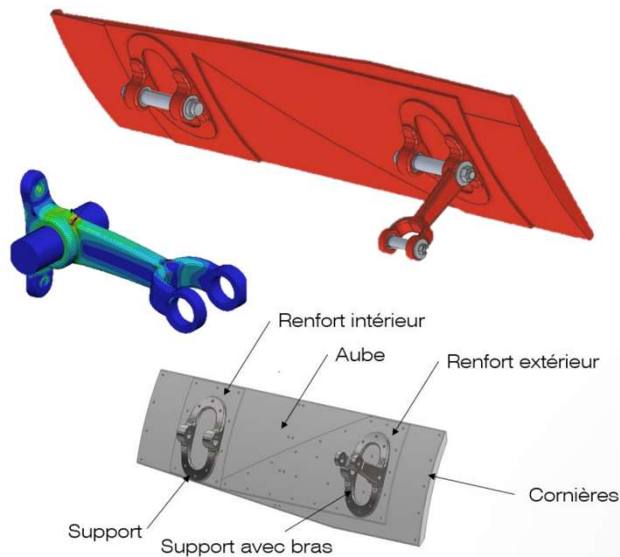


- 2 difficultés majeures se sont présentées :
 - ⇒ Retrouver une fonderie (EU) capable de refaire les supports
 - ⇒ Retrouver une entreprise de construction capable de refaire des assemblages rivetés

RESTAURATION DES ROUES

- Les 6 étapes de construction :

1) Construction sur CAO et validation dimensionnement



2) Recherche de fournisseurs (10 offres en Europe)



3) Réalisation des moules des supports d'origine



RESTAURATION DES ROUES

- Les 6 étapes de construction (suite) :



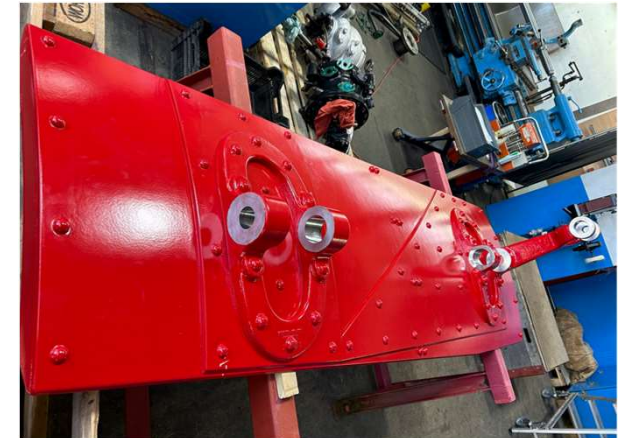
4) Réalisation des 2 types de supports en fonte d'acier



5) Montage des supports, construction, usinage et rivetage des aubes (acier)



6) Peinture et envoi du prototype pour test



RESTAURATION DES ROUES

- Résultat au 28.03.2024 sur l'Italie (aube N°2, côté Bâbord)

Aube d'origine (1908)

Aube reconstruite (2024)

ORDRE DU JOUR



- Introduction
- Contexte et historique
- Analyse des causes
- Restauration des roues
- Planification du projet et estimation des coûts

PLANIFICATION DU PROJET



- 2023: Recherche des causes, analyse et sélection de la solution technique

06.24: Vevey (aubes)



05.25: Vevey (roues)



03.26: Suisse (roues)



Montreux




Savoie



07.24: Italie (aubes)



03.24: Prototype (aubes)




03.25: Italie (roues)




12.25: Rhône (roues)



Simplon



Helvétie



BUDGET DU PROJET



- Quels sont les coûts prévus ? Exemple sur le Vevey et l'Italie (projet en cours)

| | |
|--|-------------|
| 1) Ingénierie et construction: | 125'000 CHF |
| 2) Fonderie des supports: | 45'000 CHF |
| 3) Usinage pièces & alésage: | 85'000 CHF |
| 4) Construction, rivetage: | 120'000 CHF |
| 5) Fonderie moyeu: | 45'000 CHF |
| 6) Construction (cerclage, rayon, excentrique) | 220'000 CHF |



Souhait direction technique: Essayer de préserver les moyeux

TOTAL: 640'000 CHF par bateau

Au total, le projet de restauration des roues à aubes (identique à l'origine) nécessitera un financement d'environ 5 millions pour les 8 bateaux de la flotte Belle Epoque

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

