



Our passion, your solution.



# Super-fails

## De ces projets qui n'ont pas fonctionné comme prévu

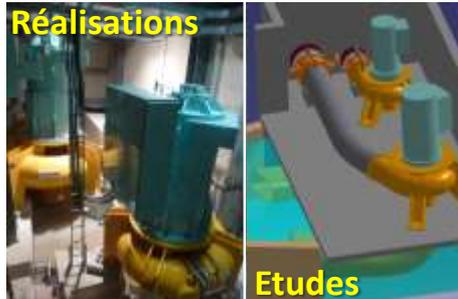
Atelier technologies et services  
mhyllab

11<sup>èmes</sup> Rencontres France Hydro Electricité

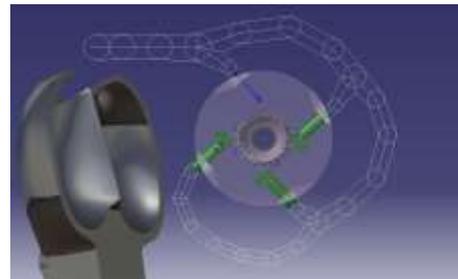
*A. Choulot, L. Smati*

*6 et 7 juin 2019 – St-Etienne*

Ingénierie



Profils hydrauliques de turbines



Stand d'essais indépendant



- mhyLab : 100% petite hydraulique
- Plus de 20 ans d'expérience nationale et internationale
- 3 domaines d'activités
- Projets sur l'eau potable, les eaux usées, en rivière, réhabilitations et nouveaux sites
- Des études de potentiel à la mise en service
- Plus de 240 profils de turbines conçues (puissance cumulée de 116 MW) pour une dizaine de constructeurs en Europe et au Japon
- Des essais de qualification et développement en laboratoire pour tiers
- Synergies stand d'essais / ingénierie / terrain
- Expertises

# Maîtriser un projet : les 4C

## Compétences

Choix des entreprises, spécifications techniques, garanties



## Contrôle

des études, de la fabrication, du montage, de la mise en service



## Coordination

des études, des fournisseurs, des co- ou sous-traitants



## Co-activité

des entreprises lors du chantier (souvent moins fréquent en petite hydro)

- Extension d'un site existant par l'ajout d'un nouveau groupe
- Rupture de la bifurcation entre groupes existants et nouveau groupe
- ⇒ Retard de la Mise en Service de 2 mois
- ⇒ 2 mois de perte de production des centrales (existante + nouvelle)
- ⇒ Heureusement, pas de dommage corporel ou matériel sur les centrales existantes, ni les autres équipements de la nouvelle installation
- ❖ Contrôle (note de calcul, épreuve hydraulique, etc.)



**Contrôle**

# Conception mécanique

- Echauffement paliers-turbine : en alarme, proche seuil-défaut
- HS après quelques dizaines d'heures de fonctionnement
- ⇒ Perte de production + coût de maintenance difficilement chiffrable
- ❖ **Root Cause Analysis pour identifier la cause puis modification du groupe**



**Contrôle**

- Endommagement du bâti Pelton lors du transport entre l'usine et la centrale
- ❖ Le bâti a pu être sauvé ⇨ Réparation sur site
- ❖ Préparation itinéraire. Expérience, références, assurances du transporteur



**Compétences**

- Non-respect des plans d'ouvrage
- Dimensions erronées du local existant
- Absence d'étude du canal de fuite
  
- ⇒ Réserve-aspireurs trop petites
- ⇒ Canal de fuite trop étroit
- ⇒ Perte de charge conduites supérieure
- ⇒ Niveau d'eau insuffisant dans canal de fuite

- ❖ Elargissement des réservations-aspireurs
- ❖ Modification angles et positions aspireurs
- ❖ Ajout d'un seuil dans le canal de fuite
- ❖ Perte de production 100'000 kWh par an



**Coordination**

- Erreur sur le type de raccord des tuyauteries après bifurcation : risque de déboîtement
- Absence de prise de pression, de brides pour les by-pass de vanne de garde, etc.
- Gestion des aléas de réalisation sans tenir compte des plans existants et sans coordination avec les différents acteurs
- ⇒ Importantes modifications des tuyauteries Principale et secondaires
- Réunions de chantier hebdomadaires ne prenant pas assez en compte la co-activité et les aléas (*attention de ne pas pêcher par optimiste sur le planning*)
- ⇒ Report à plusieurs reprises du montage des équipements électro-mécaniques
- ❖ Au final, mise en service retardée de 9 mois (3,5 GWh)
- ❖ Claims ou dépense sup. de plusieurs k€ chacune



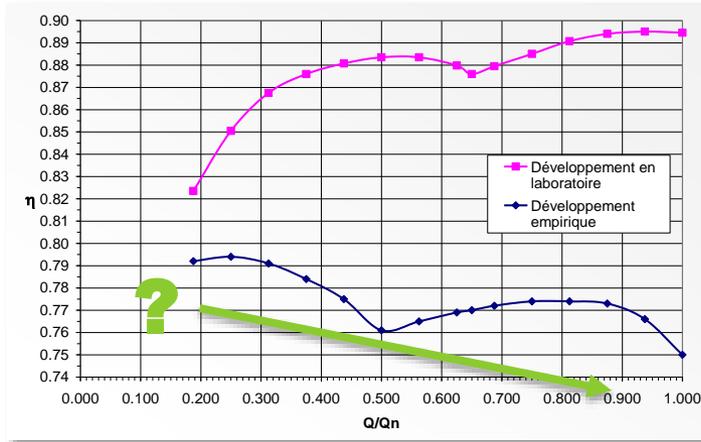
- Les «mini-fails» restent souvent en l'état  
! Qu'ils ne deviennent pas ou n'engendrent pas un super-fail par effet-domino!



- Fuite sur joint de tourillon de vanne



- Défaut d'étanchéité de la bride



## 2 ÉTUDES DE CAS EXAMINÉS DANS LE DÉTAIL

Que faire quand le super-fail n'a pas pu être évité =

- ✓ Analyser la situation
- ✓ Identifier toutes les solutions possibles (plutôt que de chercher le coupable!)
- ✓ Trouver la meilleure solution ou celle acceptable par toutes les parties prenantes

**Rechercher des solutions avant de chercher un coupable !**

# Etude de cas n°1

## Accident sur roue durant l'usinage



Coupure  
d'électricité?

# Etude de cas n°1

## Contexte

- Pélec  $\cong$  80 kW
- ➔ taille du projet / conséquences?
- Acteurs (atelier mécanique, fournisseur,..., exploitant,...) en collaboration régulière
- Refus de la roue?
- ➔ Réparations + contrôles réguliers



Méthode de réparation	Temper Bead	Standard Wire
Température de préchauffage (°C)	40	80
Epaisseur de la soudure (mm)	1.5	3.0
Traitement thermique (TT) après soudage?	non	Oui
Dureté de la surface soudée (HB – dureté Brinell)	Max 100 HB >>> métal de base (sans TT)	Max 70 HB > métal de base (après TT)

→ Défaut d'homogénéité + risques de fissuration

→ Garantie donnée par l'atelier mécanique pour la réparation: 100'000 heures

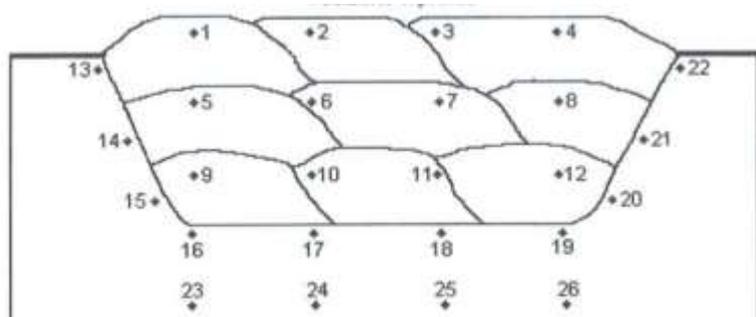
Contrôle	Juste après réparation	> 1500 h	>10'000 h
Mesures de micro-dureté	Oui	-	-
Dimensions de l'accouplement (déformation?)	Oui	-	-
Magnétoscopie	oui	oui	oui
Qualité de surface des augets	oui	-	oui
Mesures de rendements	oui		
Ressuage	-	oui	oui



Essai de ressuage

**Etude de cas n°1:** aux frais de l'atelier mécanique

→ A chaque étape: remplacement de la roue?



1	2	3	4	5	6	7	8	9
366	351	366	351	336	322	336	336	336
10	11	12	13	14	15	16	17	18
351	351	336	322	309	297	297	309	297
19	20	21	22	23	24	25	26	27
322	309	322	309	297	297	297	297	-----

*Coupe d'une zone rechargée*

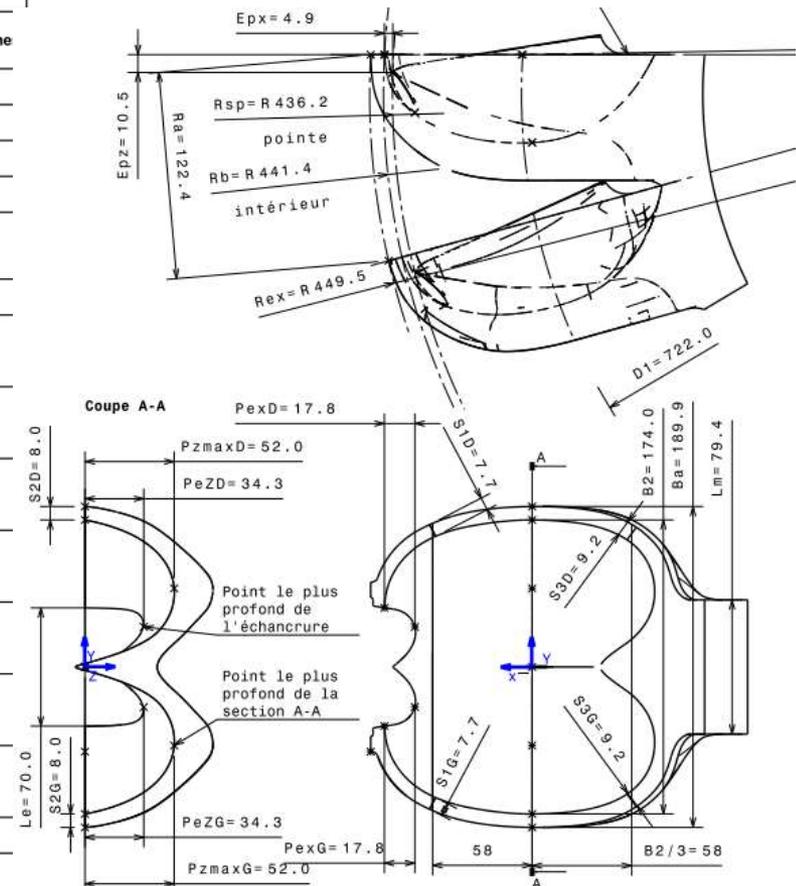


Points de contrôle:

- dans la zone reconstituée par l'apport de soudure
- dans le métal de base proche de la zone réparée
- dans la ZAT (Zone Affectée Thermiquement)

- Contrôle standard à effectuer pour toute roue-

1.2 Cotes à contrôler			Tolérances (mm)			
		Valeurs nominales (mm)	Sur les valeurs individuelles		Sur les valeurs moyenne	
Se référer au croquis MaDH1903-P-1903 - Feuille 1/2						
Largeur intérieure de l'auget	B <sub>2</sub>	174.0	-0.6	0.9	-0.4	0.6
Largeur extérieure de l'auget Ba	B <sub>a</sub>	189.9	-0.9	1.4	-0.6	0.9
Largeur de l'échancrure	Le	70.0	-0.6	0.6	-0.3	0.3
Largeur du pied de l'auget	Lm	79.4	-0.6	0.6	-0.3	0.3
Position de la pointe de l'échancrure par rapport au plan perpendiculaire au plan de référence passant par le rayon max Rb du profil intérieur de l'auget	Epx	4.9	-0.3	0.3	-0.2	0.2
Position de la pointe de l'échancrure par rapport au plan de référence	Epz	10.5	-0.3	0.3	-0.2	0.2
Profondeur max de l'échancrure par rapport au plan perpendiculaire au plan de référence passant par le rayon max Rb du profil intérieur de l'auget	Pex G	17.8	-0.6	0.6	-0.3	0.3
	Pex D					
Profondeur max de l'échancrure par rapport au plan de référence	Pez G	34.3	-0.9	0.9	-0.5	0.5
	Pez D					
Distance entre les augets mesurée au niveau du diamètre extérieur Da de la roue	Ra G	122.4	-0.9	0.9	-0.5	0.5
	Ra D					
Profondeur max de l'auget par rapport au plan de référence au niveau de la coupe passant par B2	Pzmax G	52.0	-0.6	0.6	-0.3	0.3
	Pzmax D					
Epaisseur de l'auget mesurée dans le plan de référence au niveau de la coupe passant par B2	S <sub>2</sub> G	8.0	-0.3	0.3	-0.2	0.2
	S <sub>2</sub> D					
Epaisseur de l'auget mesurée dans le plan de référence au niveau de la coupe distante de B2/3 en avant de la coupe passant par B2	S <sub>1</sub> G	7.6	-0.3	0.3	-0.2	0.2
	S <sub>1</sub> D					
Epaisseur de l'auget mesurée dans le plan de référence au niveau de la coupe distante de B2/3 en arrière de la coupe passant par B2	S <sub>3</sub> G	9.2	-0.3	0.3	-0.2	0.2
	S <sub>3</sub> D					
Rayon définissant l'inclinaison du plan de référence par rapport au centre de la roue	ρ	23.1	-6.3	6.3	-3.0	3.0



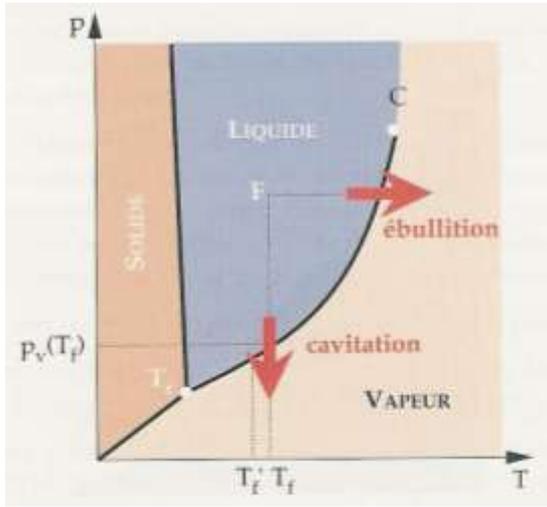
# Etude de cas n°1

## Conclusions pour le projet

- Bonne communication entre les différents acteurs
- Les meilleurs compromis
- Solution financièrement acceptable pour le fournisseur
- Solution techniquement acceptable pour le client contre garantie supplémentaire
- **Pas de retard** dans la mise en service

# Etude de cas n°2

## Cavitation sur les Pelton aussi!



- Erosion des aubages => destruction de la roue
- Baisse de rendement => baisse de production
- Ultérieurement, vibrations dues au déséquilibre

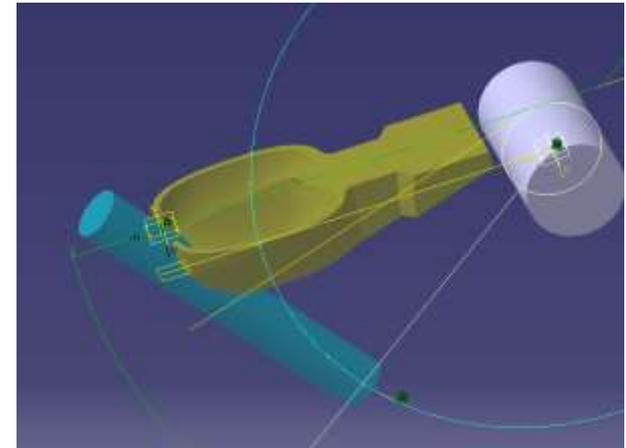
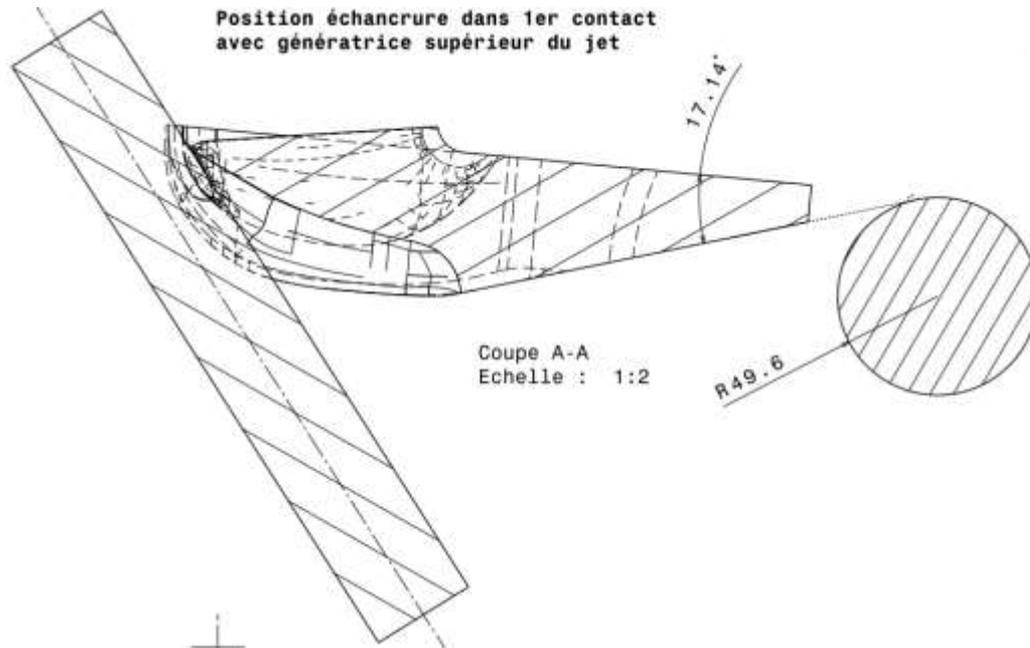
# Etude de cas n°2

## Cavitation sur les Pelton aussi!



- Chute faible (< 100 m) ?
- Définition trop approximative de la perte de charge dans la conduite?
- Vitesse de rotation trop élevée ? Diamètre d'injection trop grand?
- Trop peu d'augets? Grand angle de travail? Le jet impacte l'auget suivant? (calcul du recouvrement?)
- Conception hydraulique inadaptée?
- Mauvais calage du point de dimensionnement?
- Mauvais calage du jet? Des augets?

## Cavitation au dos des augets: mauvaise incidence



Analyse de l'inclinaison du jet  
→ adaptation du profil extradors de l'auget

## Connaître son projet

- ✓ Connaissance des données de base
- ✓ Bien définir ses objectifs (pas de sous ou sur-qualité)
- ✓ Bien définir ses besoin : dimensionnement optimal des équipements

## Compétences

- ✓ Choix des entreprises : références, expériences projets similaires, doc. autres projets
- ✓ Contrôles ciblés des études / plans / procédures les plus critiques
- ✓ Demande de garanties : mesurables, adaptées au projet, justes pour le Client/Fournisseur

## Contrôle & Inspections

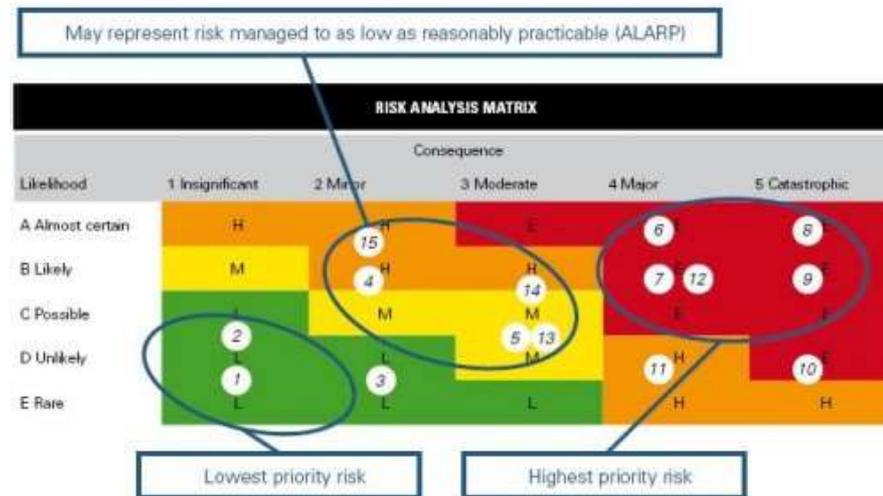
- ✓ Contrôles des étapes-clefs de la fabrication, du montage, de la Mise en Service,
- ✓ Vérification des performances attendues

## Coordination

- ✓ Vérification des interfaces entre lots et sous-traitants
- ✓ Planning pour s'assurer que les informations seront disponibles à temps

# Chaque projet est particulier

- Les principes généraux pour réaliser une centrale hydraulique sont toujours les mêmes. Cependant, les détails de sa réalisation, des contrôles doivent être adaptés à chaque cas en se basant sur :
  - Les retour d'expérience (Ingénierie, Exploitation, Maintenance)
  - Une analyse de risques : identification, gravité, probabilité, etc.



**Stand  
d'exposition  
n°23**

mhyLab  
Laboratoire de mini-hydraulique  
Chemin du Bois Jolens 6  
1354 Montcherand  
Suisse  
☎ +41 24 442 87 87  
✉ info@mhyLab.com  
<http://www.mhyLab.ch>

Rez-de-chaussée

