

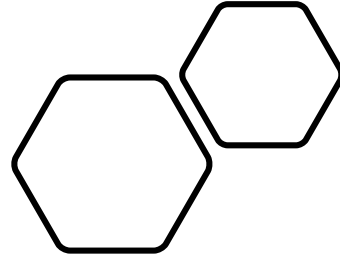
Turbine Hydraulique

Maintenance et analyse d'évènements

Qui suis-je ?

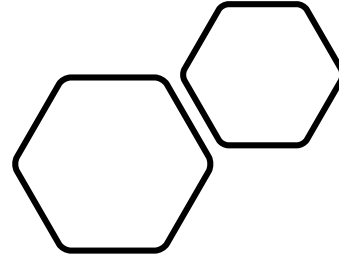
- Mickaël Szczota, ing., M.Ing.
- Génie Mécanique à l'École Nationale d'Ingénieur de Saint-Étienne (ENISE), France.
Spécialisation Fiabilité et maintenance.
- Maîtrise en génie Mécanique à l'École de Technologie Supérieure (ETS).
Projet de recherche sur la modélisation stochastique de l'opération des groupes turbines-alternateurs avec le centre de recherche d'Hydro-Québec,
- Ingénieur mécanique pour Alstom/GE de 2012 à 2016.
- Ingénieur mécanique pour Hydro-Québec depuis 2017.

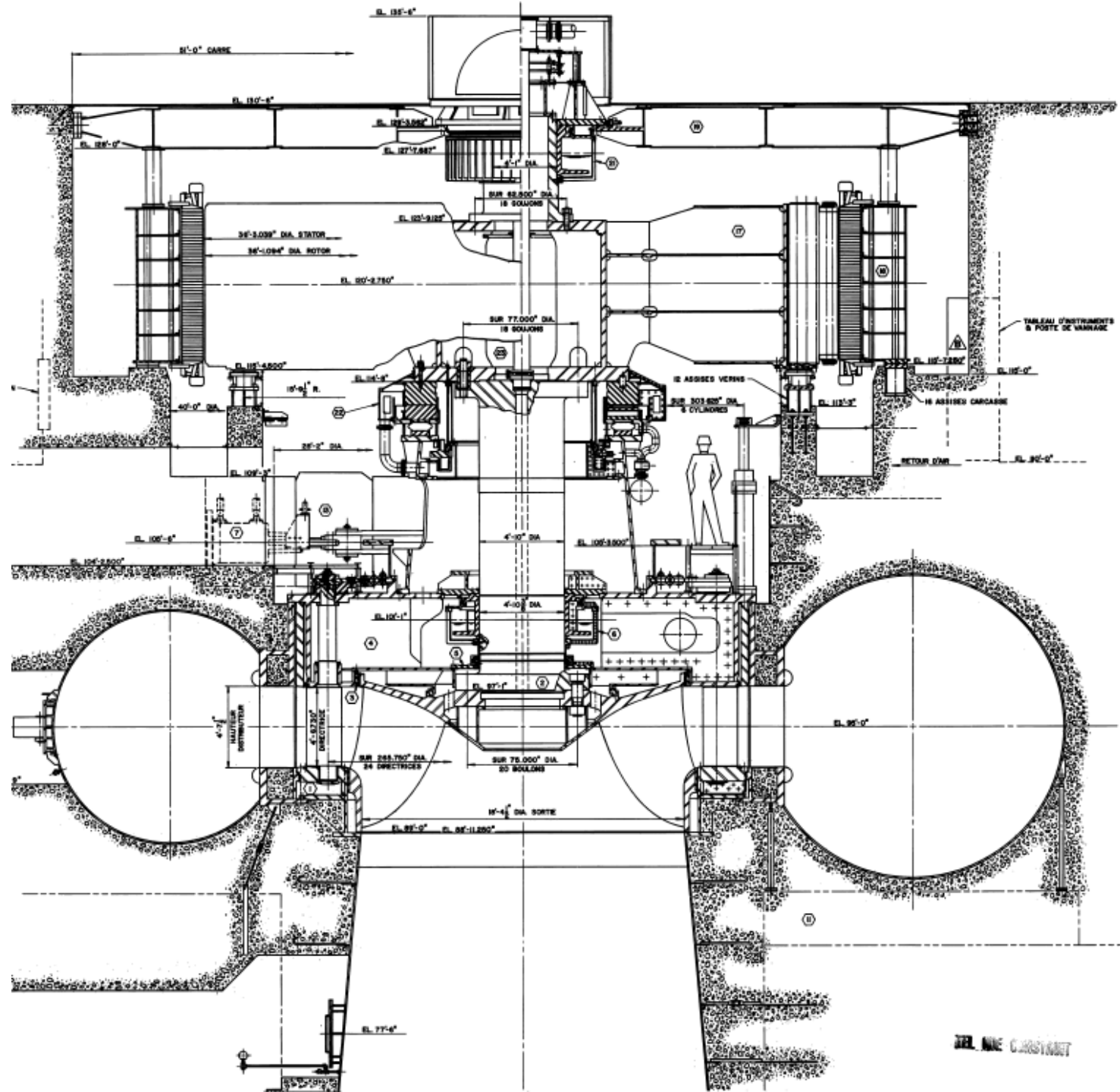
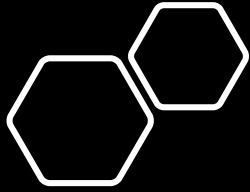
Sommaire



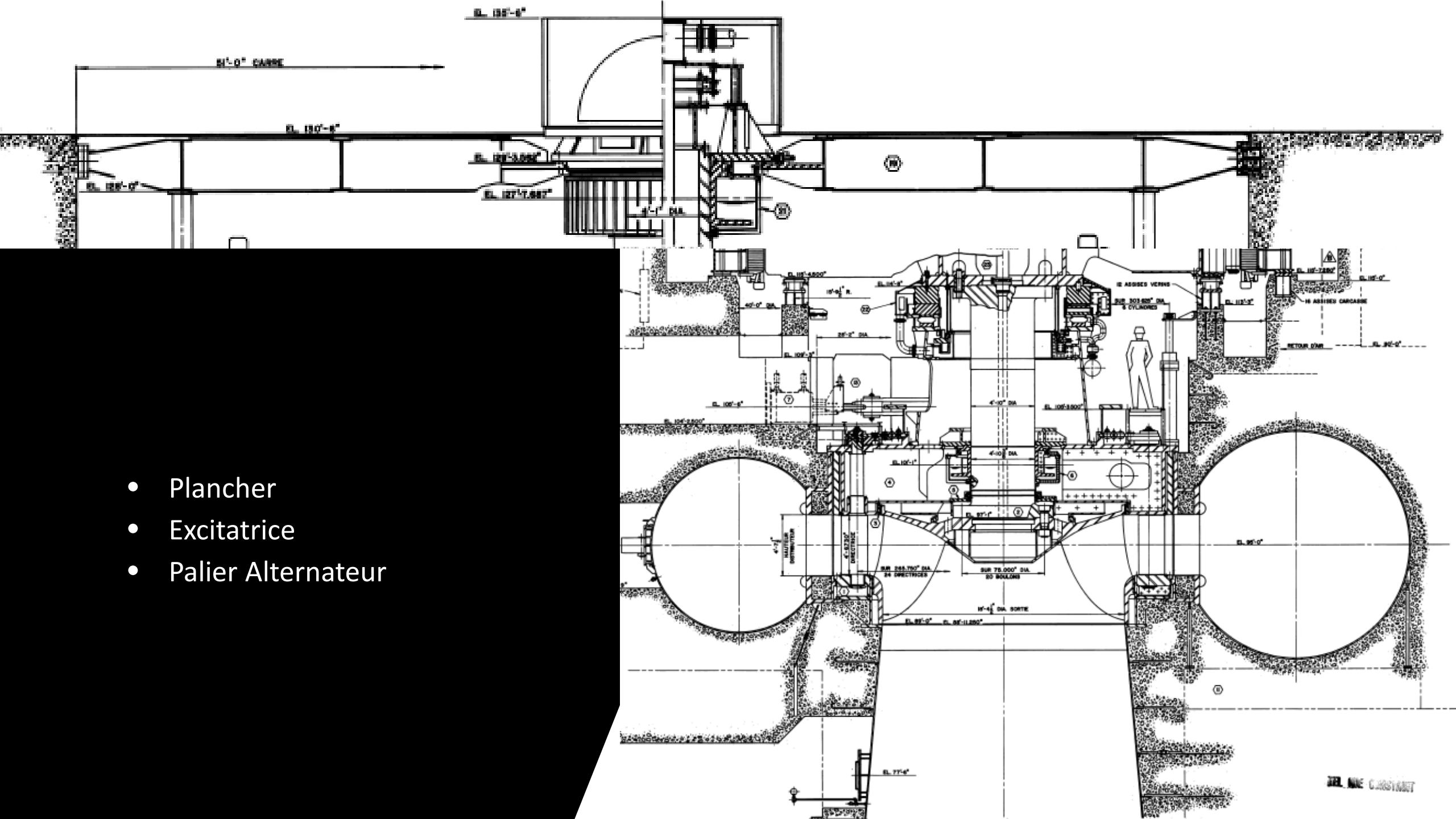
1. Présentation d'un groupe-turbine alternateur
2. Protection et surveillance
3. Maintenances typiques
4. Exemples de problématiques et d'analyses

Présentation d'un groupe-turbine alternateur

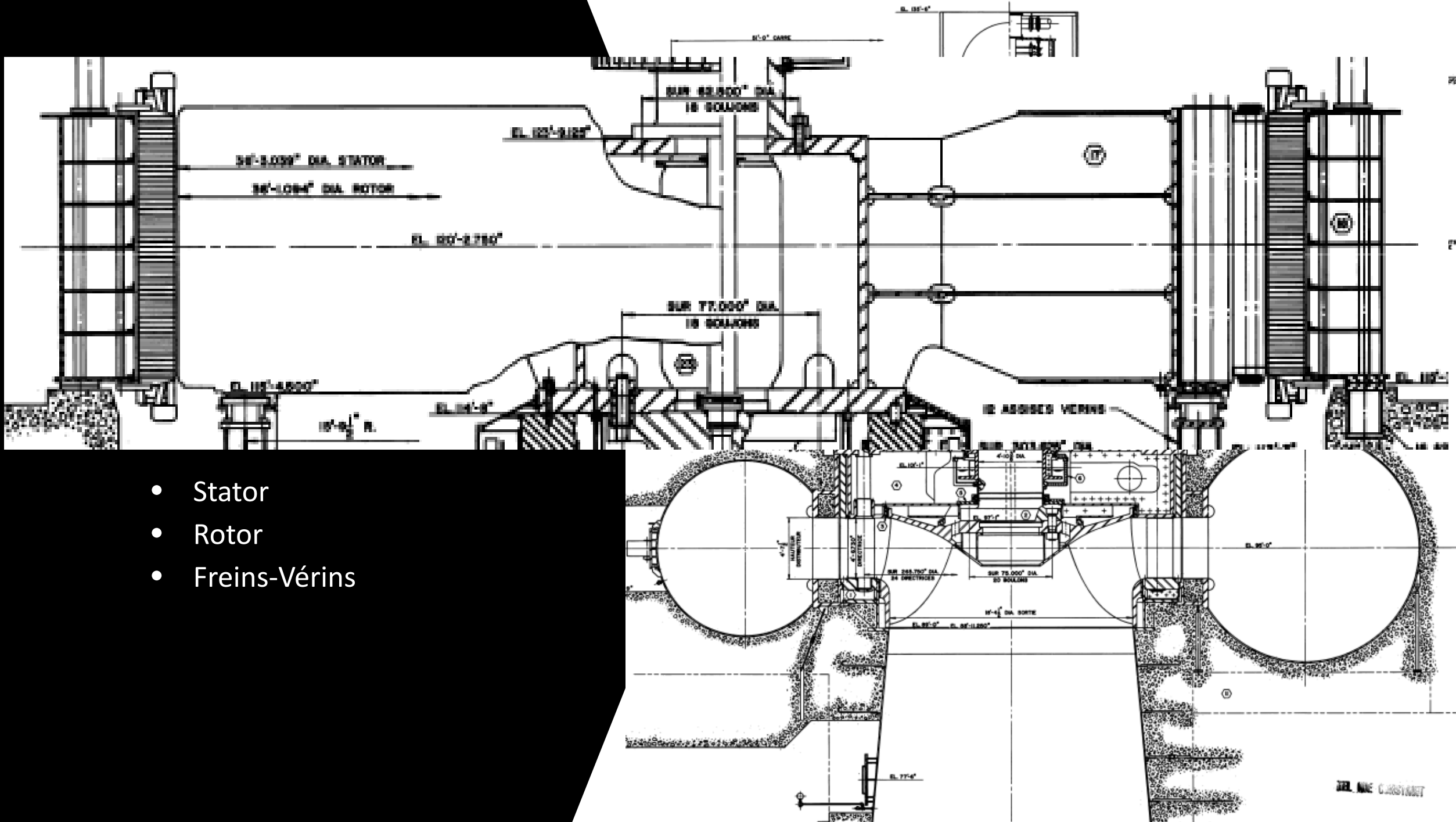


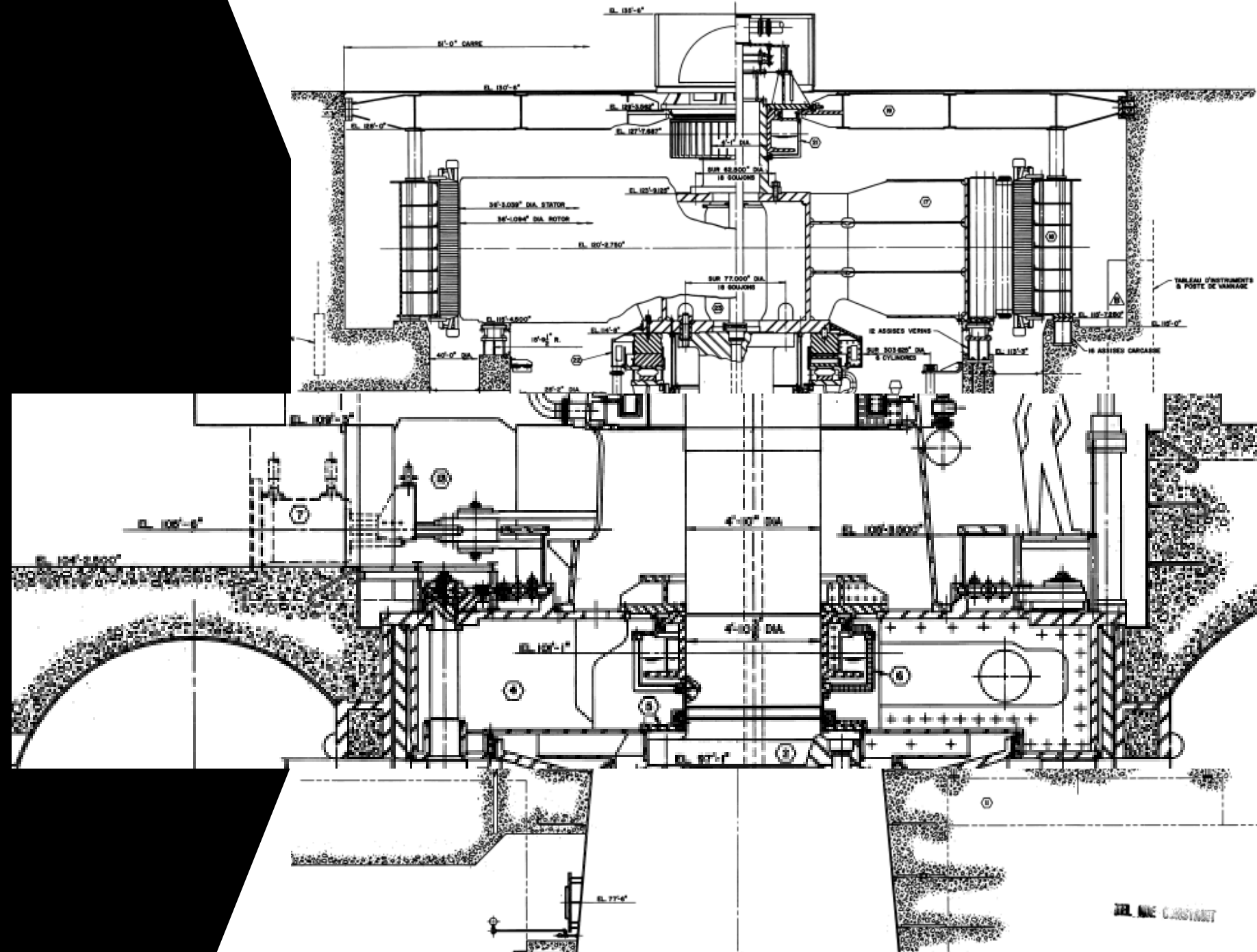
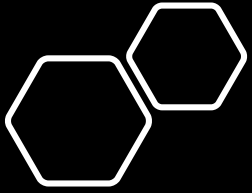


- Plancher
- Excitatrice
- Palier Alternateur

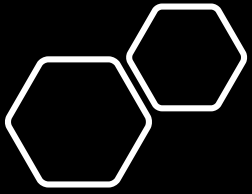


- Stator
- Rotor
- Freins-Vérins

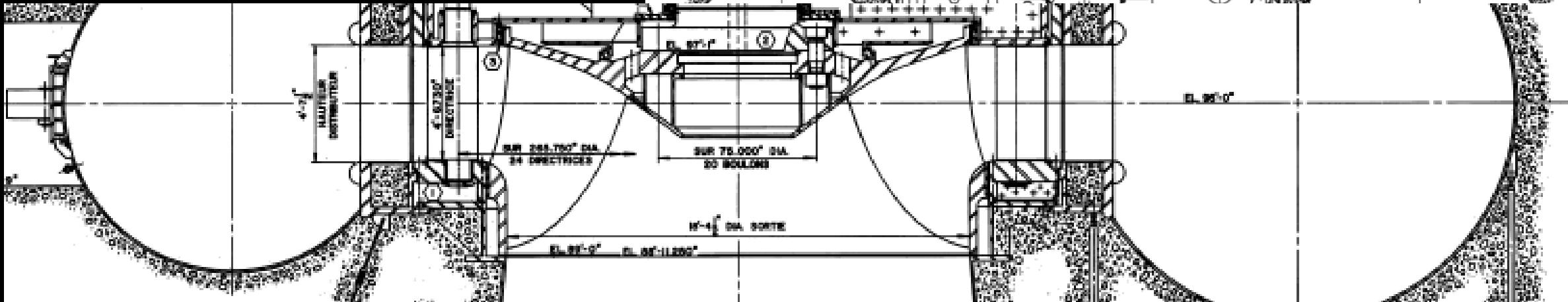
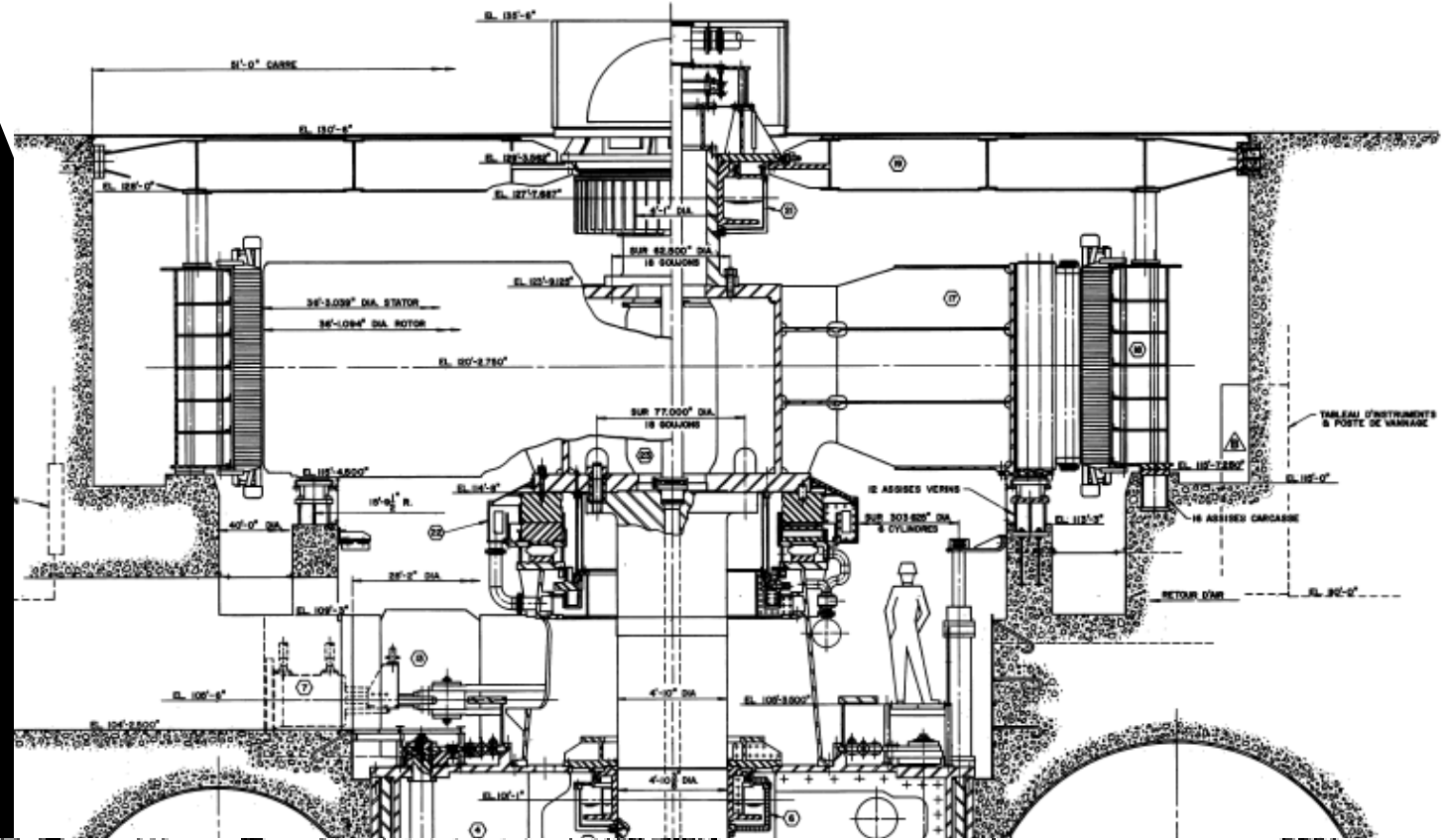


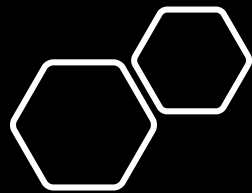


- Servomoteurs
- Palier Turbine
- Flasque supérieur

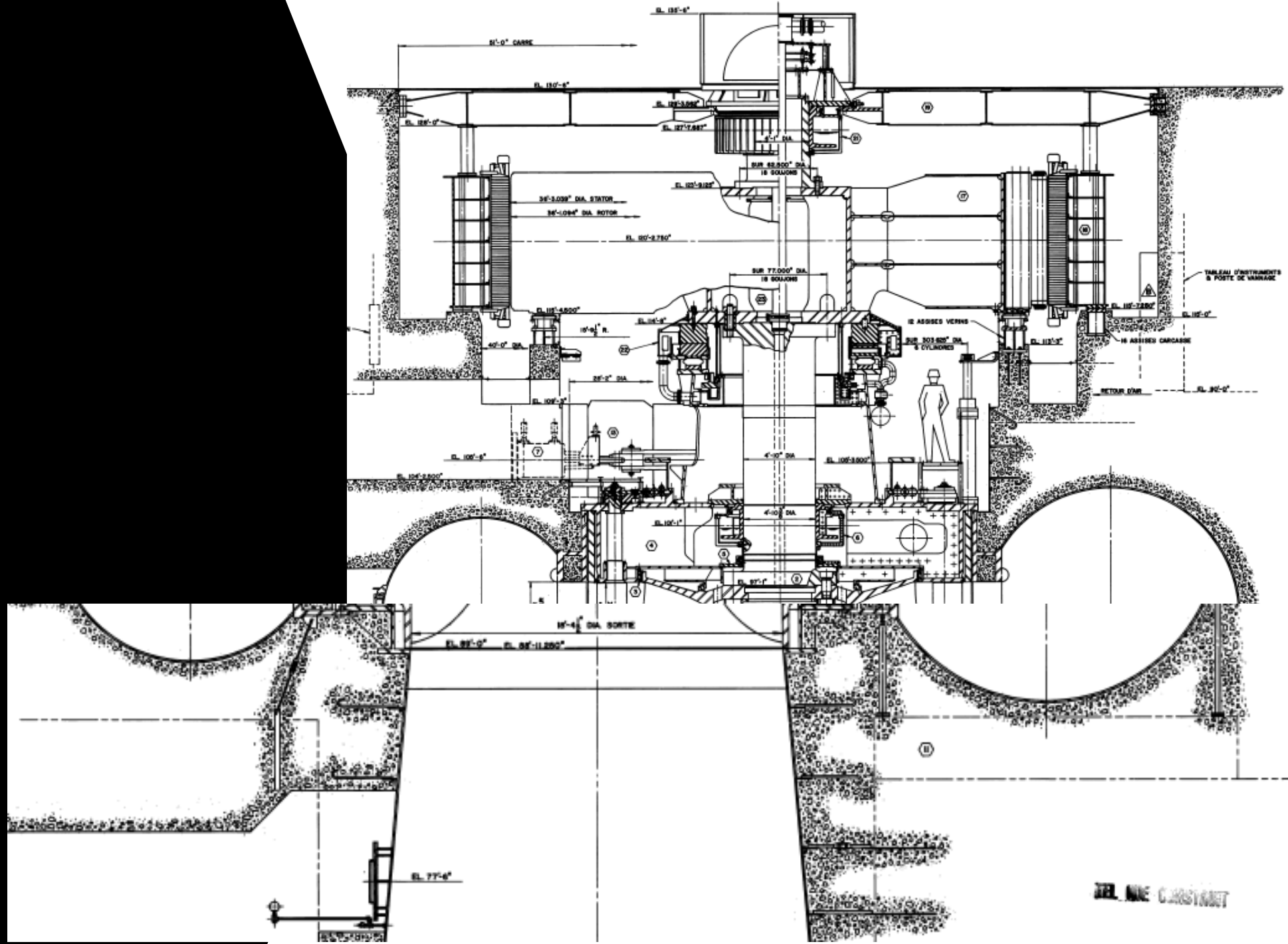


- Bâche
- Directrices
- Roue
- Flasque inférieur

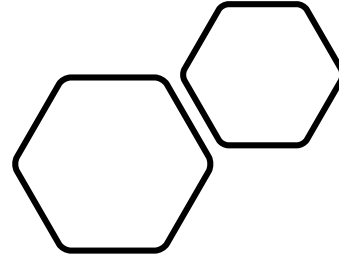


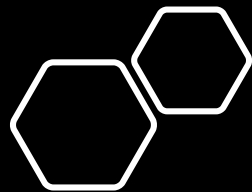


- Cone Aspirateur



Protection et surveillance





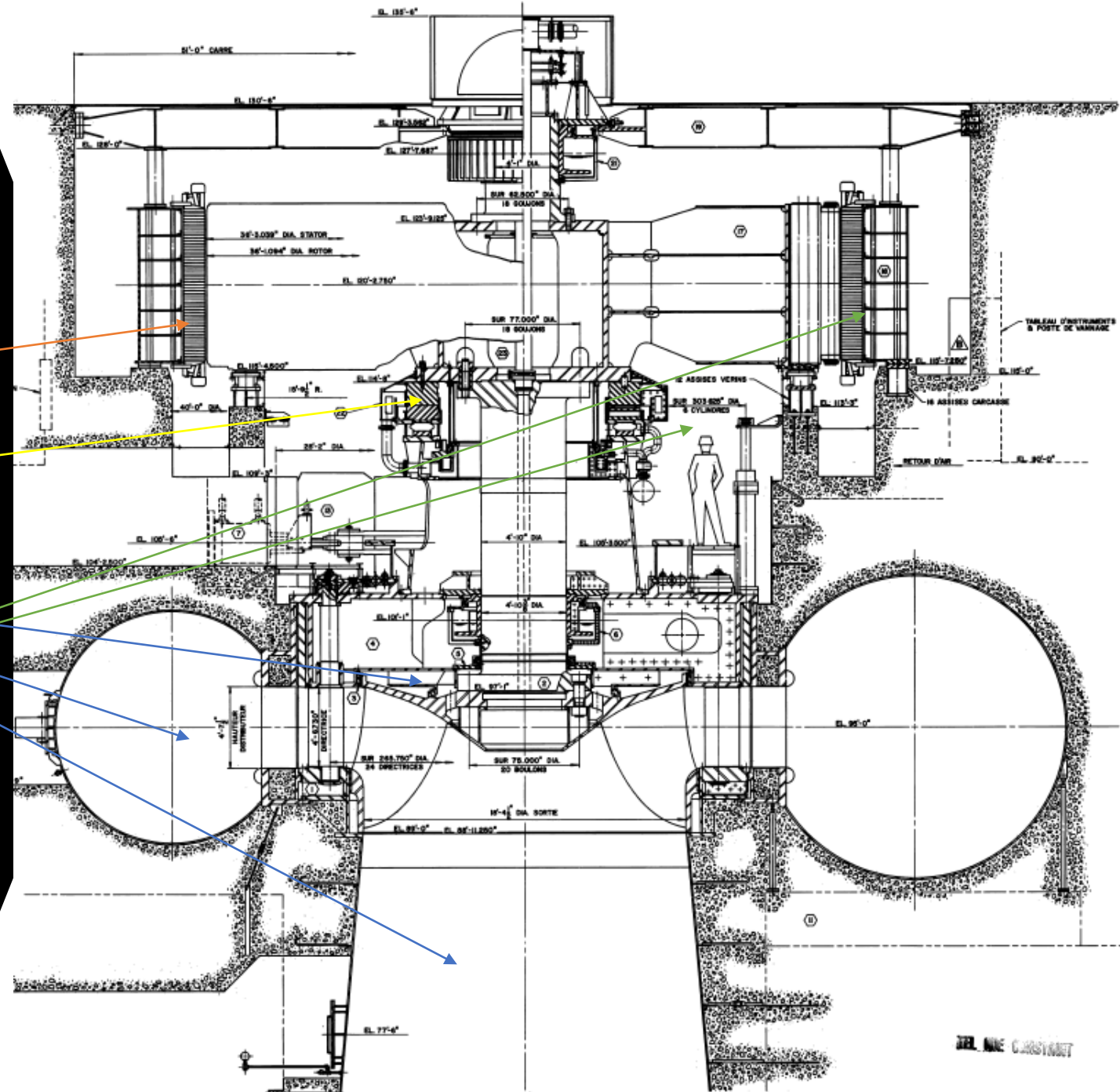
Surveillance

Entrefer

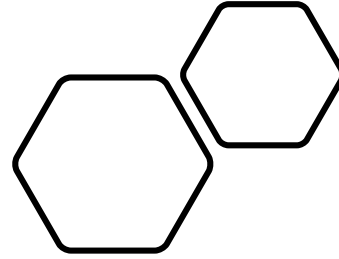
Vibration

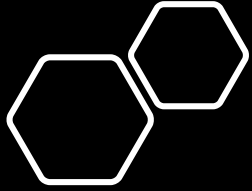
Pression

Température



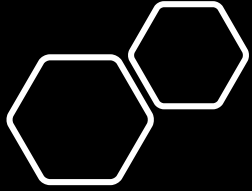
Maintenances typiques





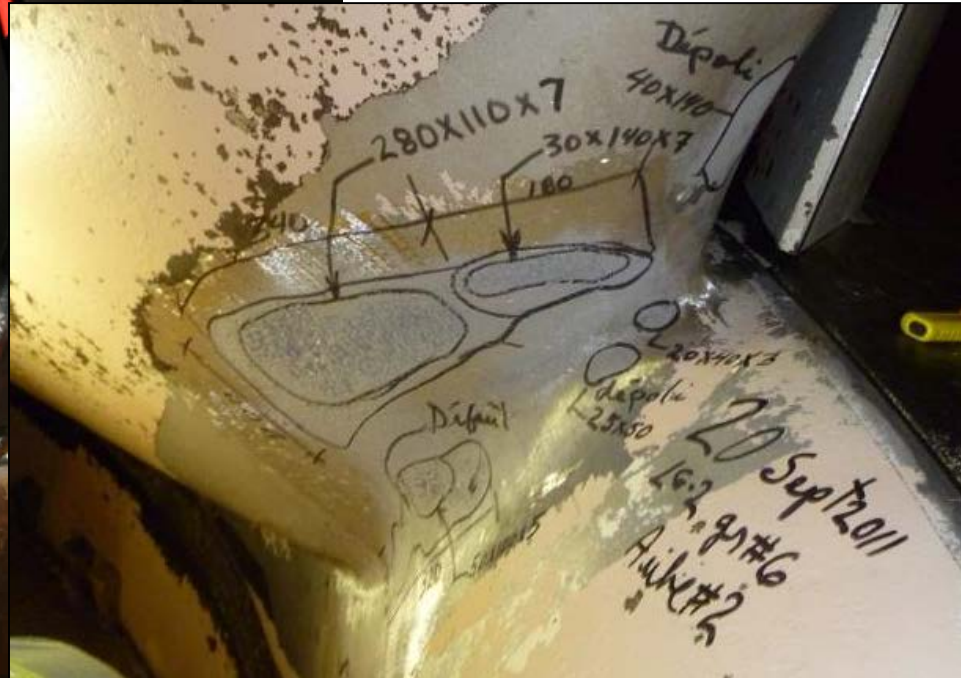
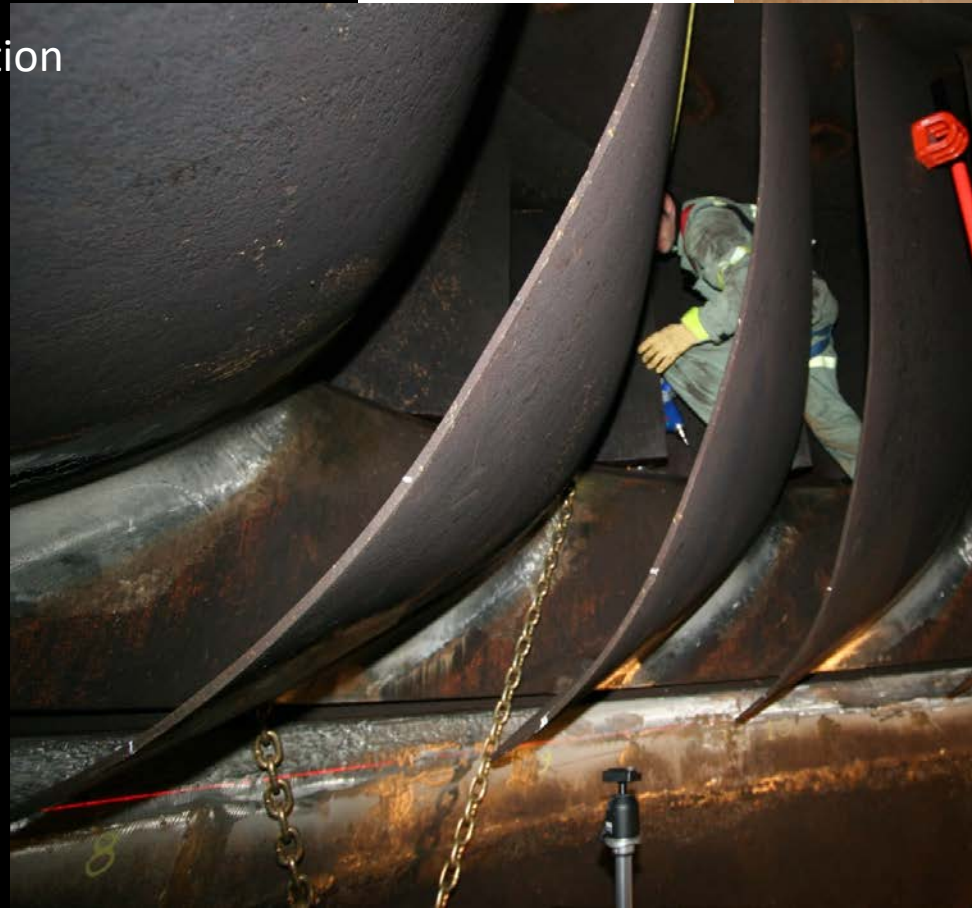
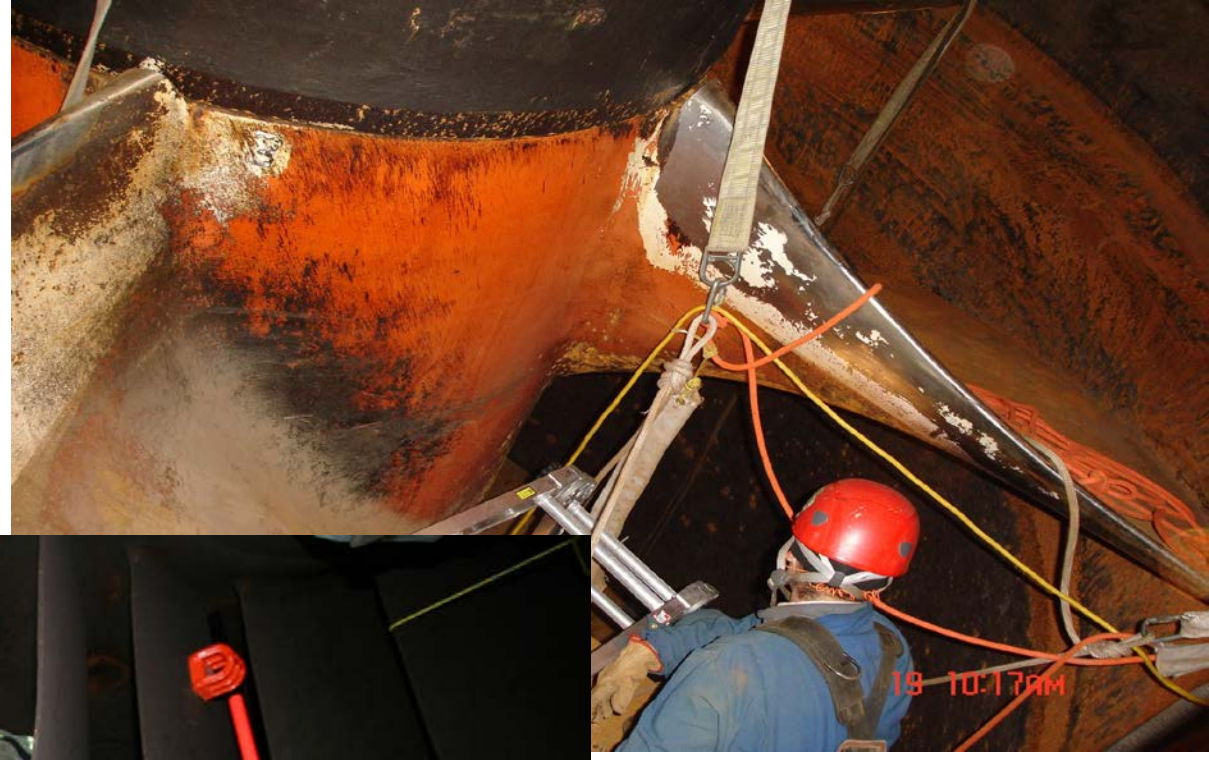
Défaillances et endommagements

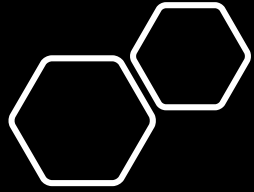
- Fuite d'huile
- Palier autolubrifié qui sort du logement
- Goupilles de cisaillement brisent à répétition
- Capacité des SM pour manoeuvrer les directrices insuffisante (dégradation au fil du temps)
- Vibrations
 - Fatigue (fissures et bris)
 - Déplacements
 - Sons élevés
 - Vannes de prises d'eau non étanches
 - Joints des vannes de garde non étanches
- Transitoires
- Balourds mécaniques et/ou hydrauliques
- RAG (Réaction alcali-granulat / béton qui bouge)
- Paliers qui « brûlent »



Inspections des roues

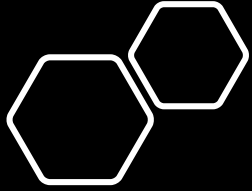
- Fissures
- Dommages de cavitation
- Corrosion





La cavitation

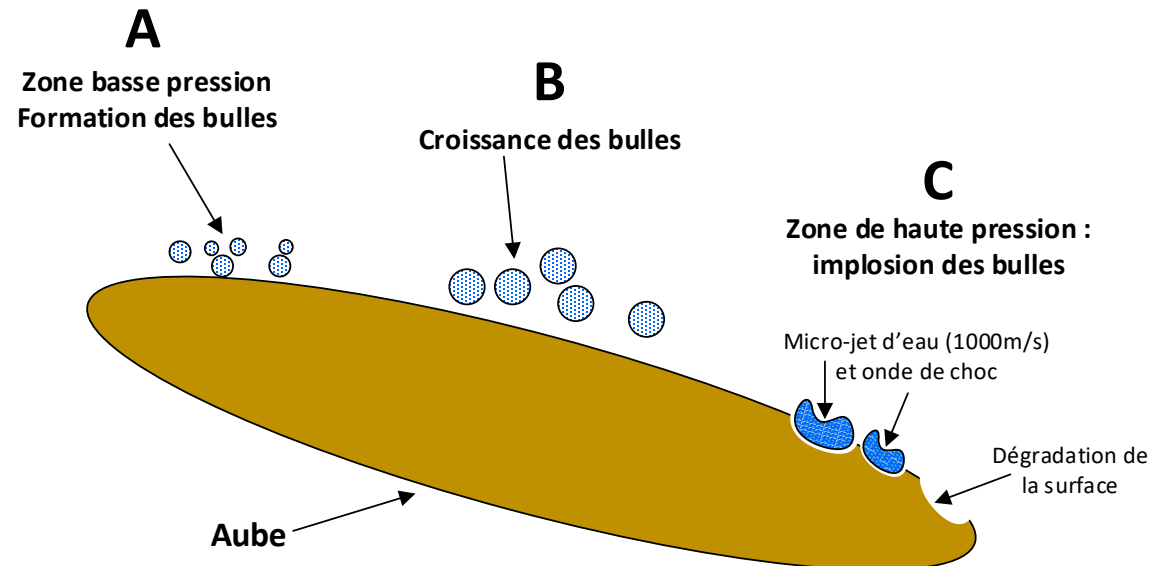
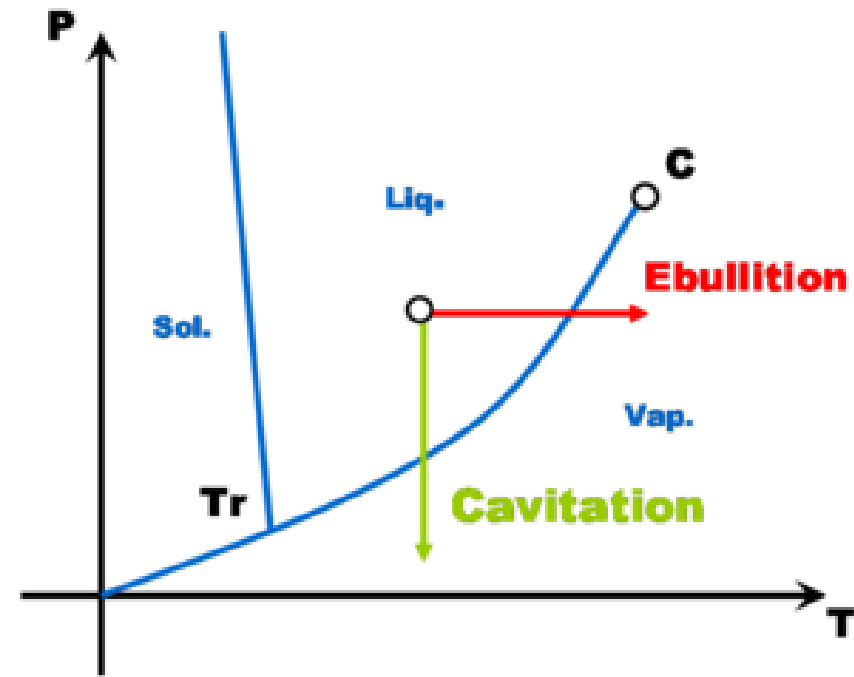
Qu'est-ce que la cavitation ?

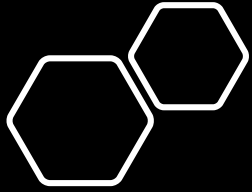


La cavitation

La cavitation est influencée par :

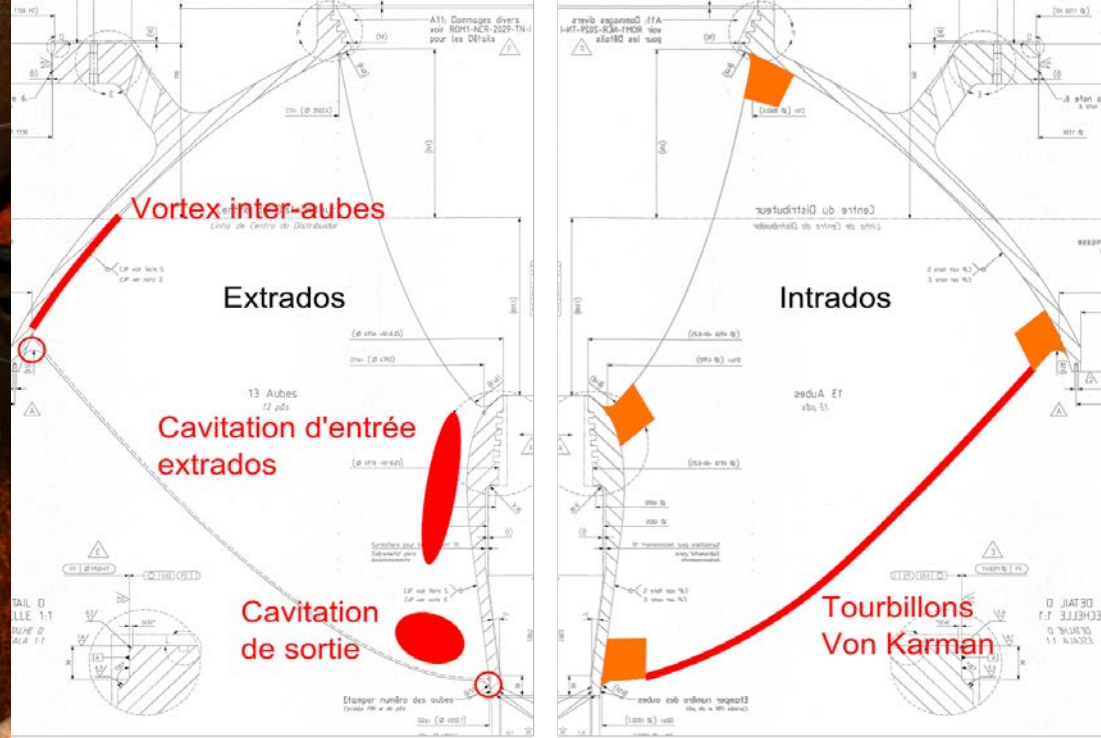
- L'enfoncement de la roue par rapport au niveau aval;
- La vitesse d'écoulement;
- La géométrie des surfaces hydrauliques.





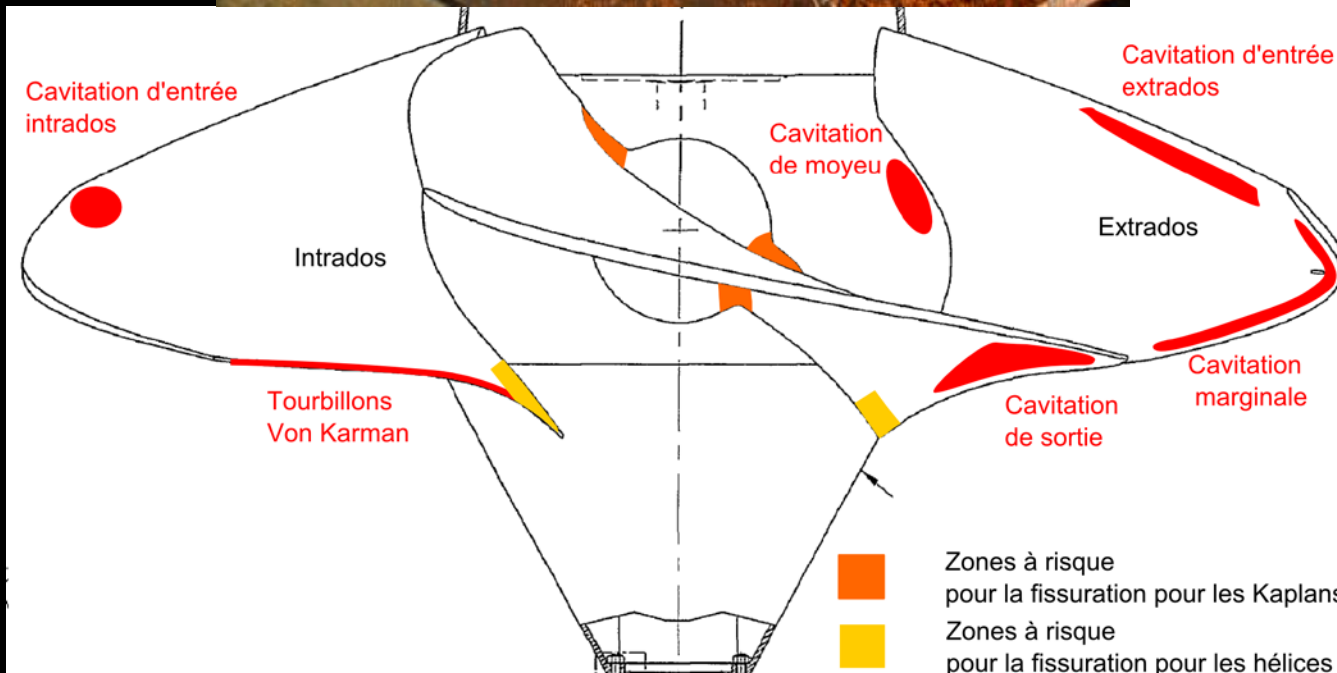
La cavitation

- Exemples de dommages

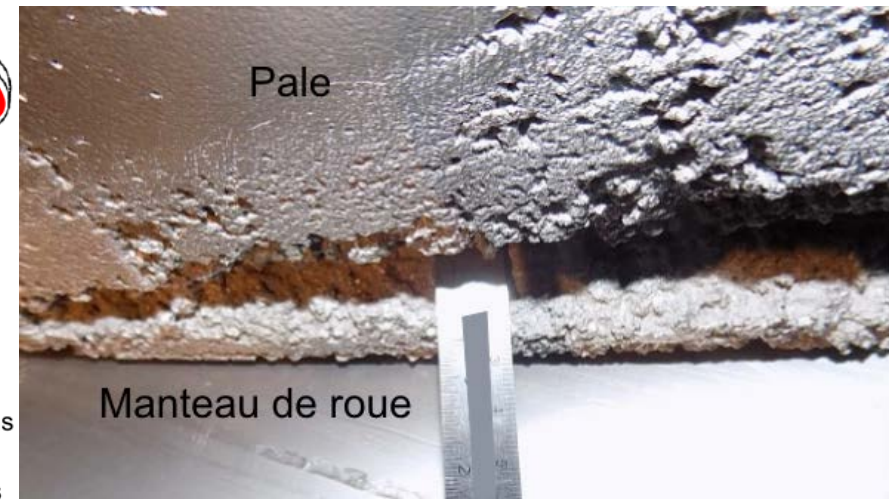


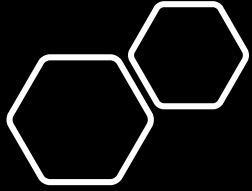
○ "Moustaches" de cavitation

■ Zones à risque pour la fissuration



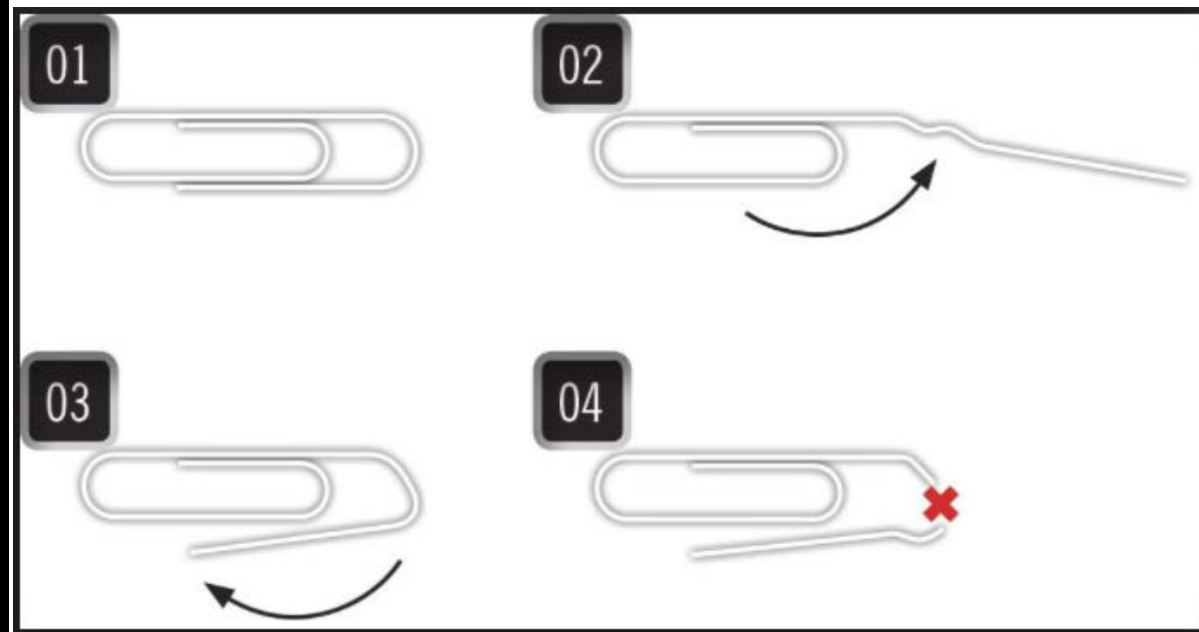
■ Zones à risque pour la fissuration pour les Kaplan
■ Zones à risque pour la fissuration pour les hélices





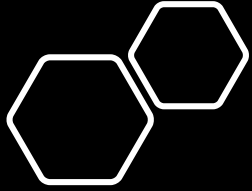
La fatigue

- Notion de base



Pourquoi l'exemple du trombone ne représente pas la réalité de la fatigue dans les roues de turbine ?

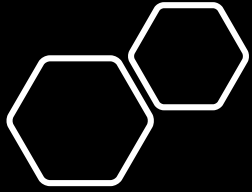




La fatigue

- Exemples de dommages

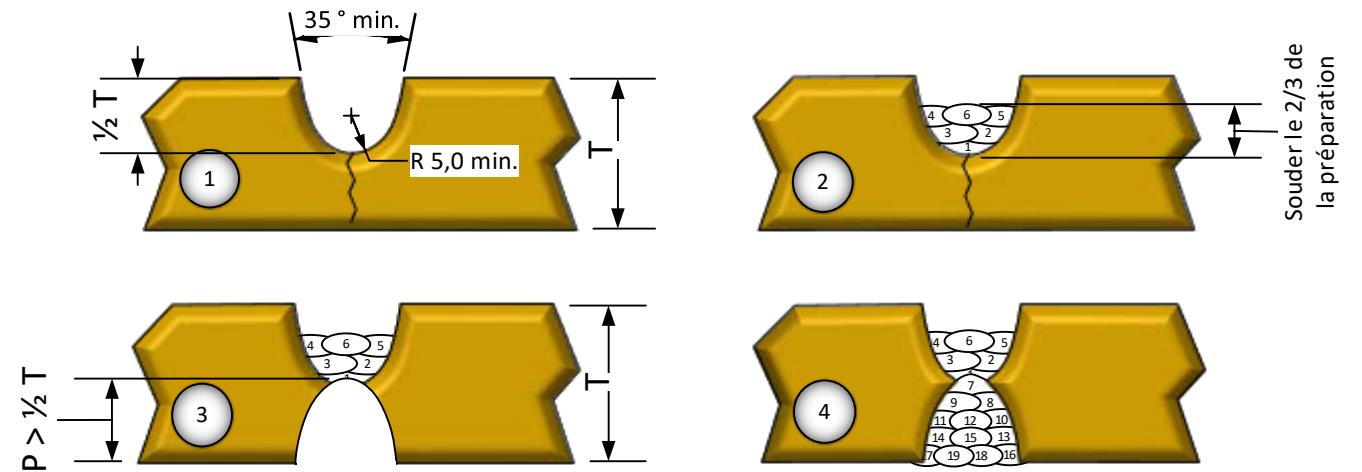


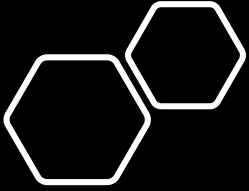


Réparation des roues

Étapes de réparation

1. Préchauffage
2. Gougeage
3. Inspections
4. Soudage
5. Martelage (pour les fissures)
6. Meulage
7. Inspections





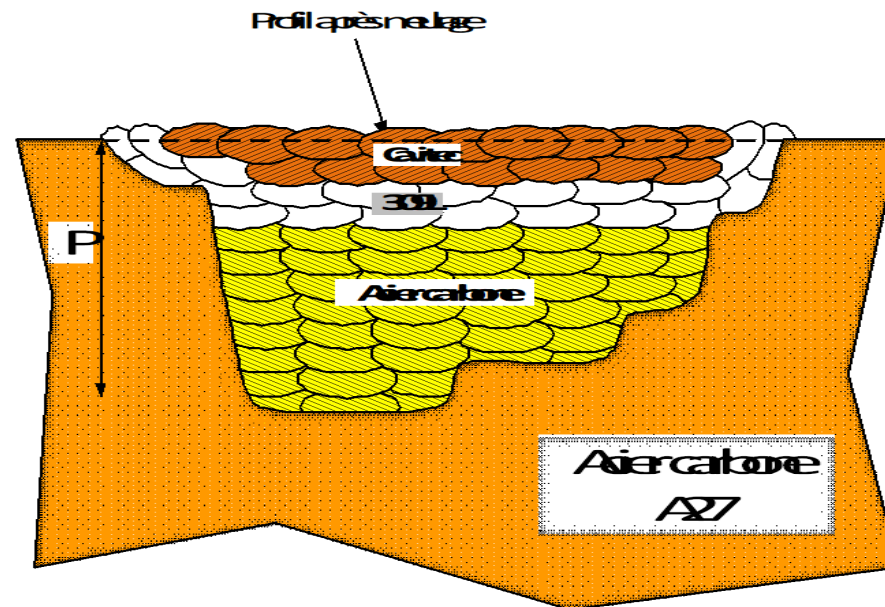
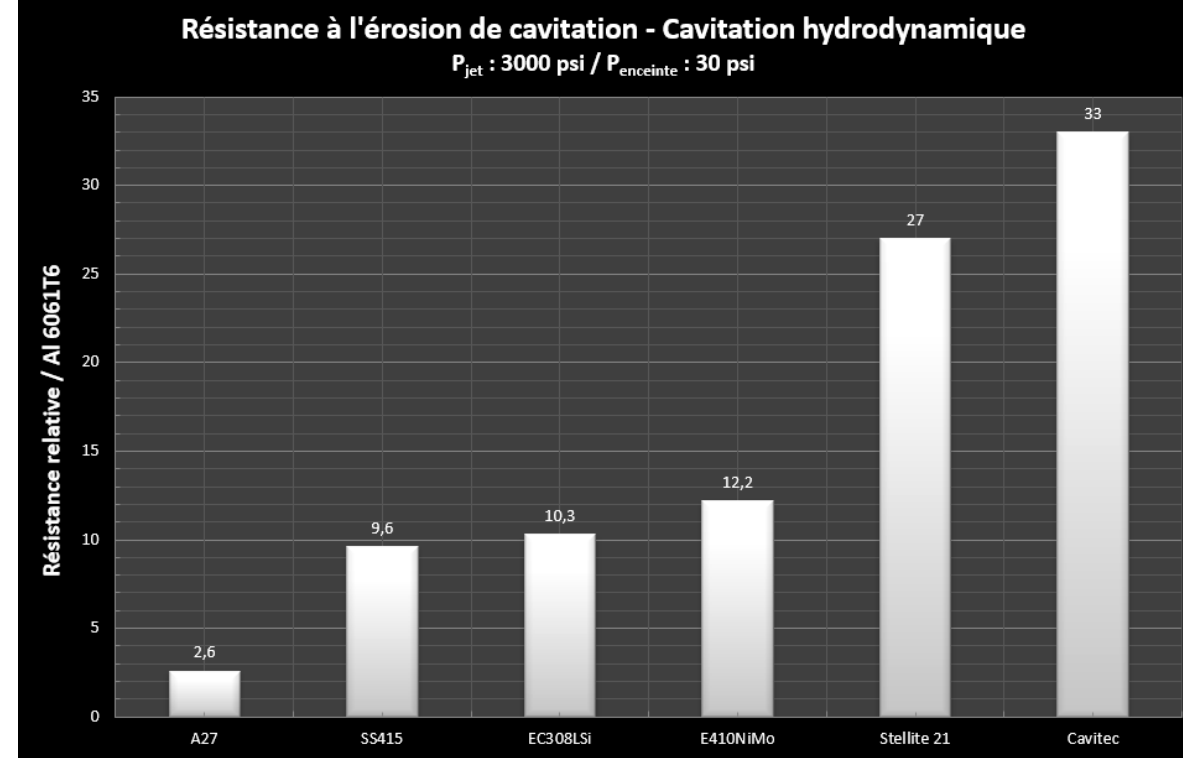
Réparation des roues

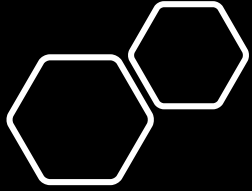
Matériaux d'apports utilisés pour les réparations in-situ :

- 309 L
- Acier au carbone
- Cavitech

Matériaux utilisés à la fabrication:

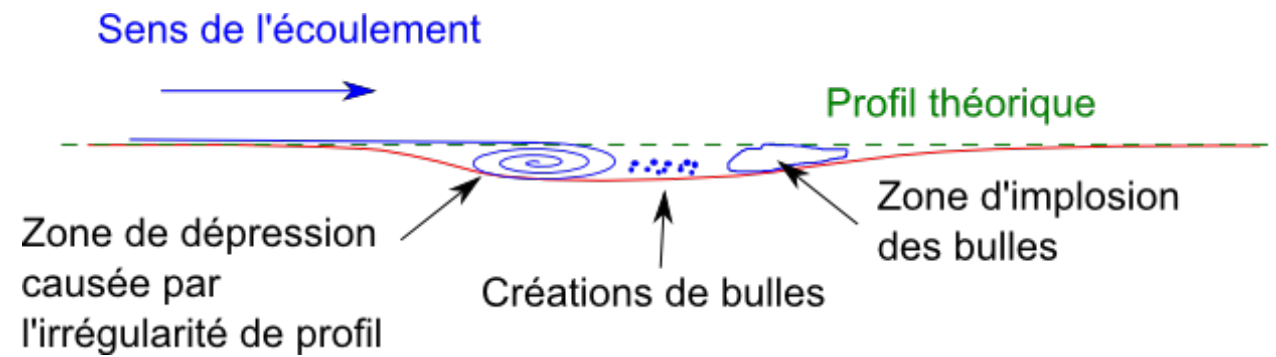
- CA6NM (fonderie)
- 410NiMo (soudage)
- A27 (anciennes roues)

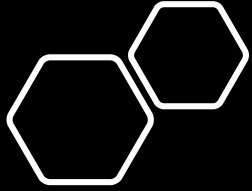




Réparation des roues

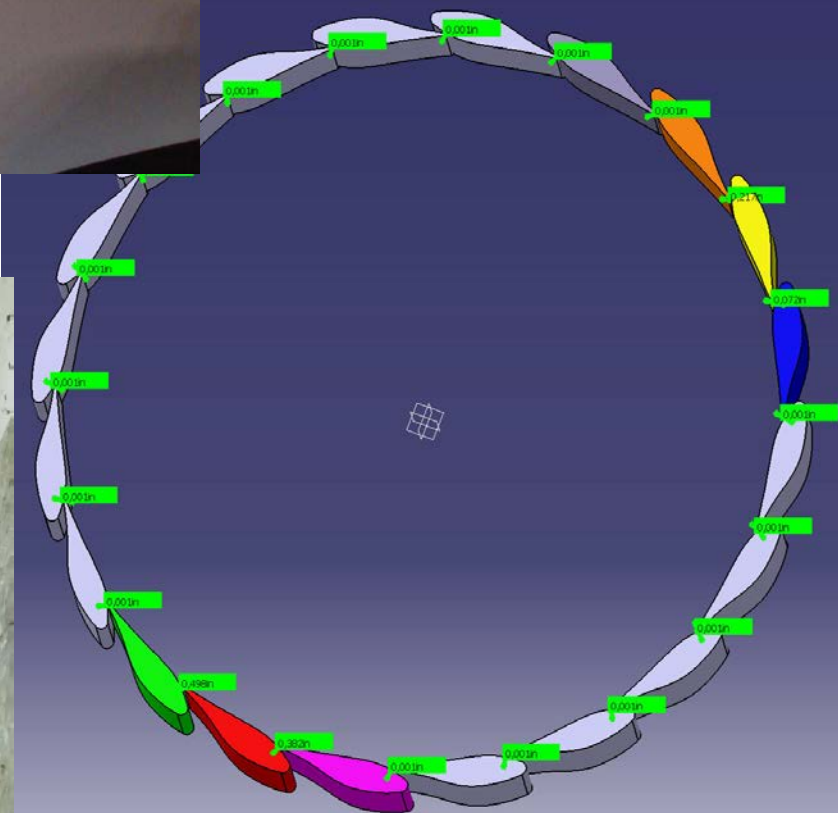
Meulage étape importante mais difficile

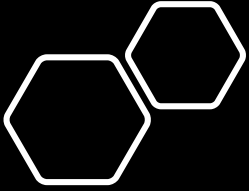




Maintenance du cercle de vannage

- Inspections visuelles
- Mesures des jeux entre les directrices
- Évaluation des fuites d'huiles

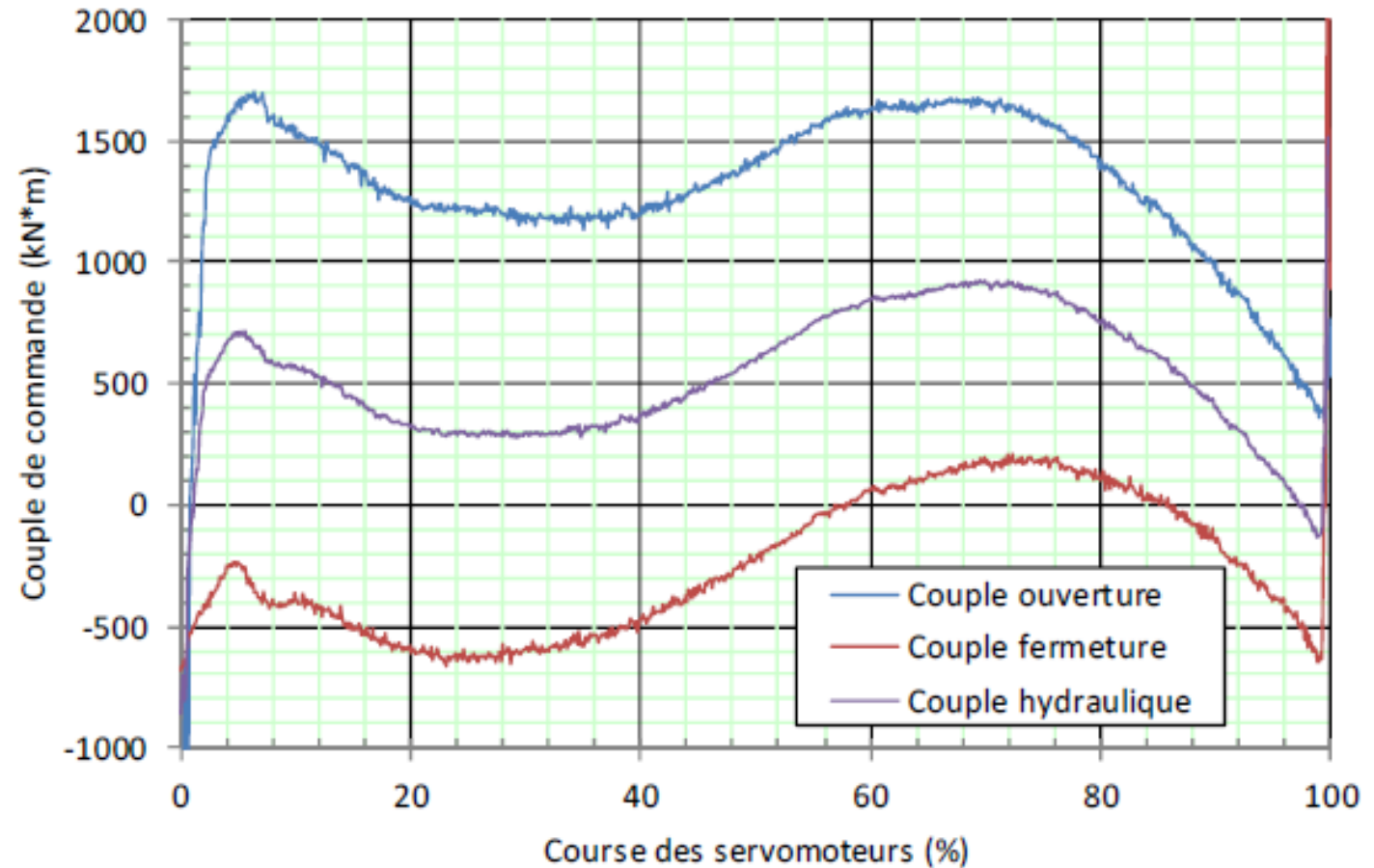


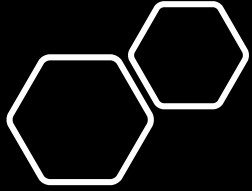


Maintenance du cercle de vannage

Mesures des forces de frottement de Vannage. Dégradations causées par :

- RAG (déformation du béton)
- Gonflement des paliers autolubrifiés
- Défaillance du système de graissage

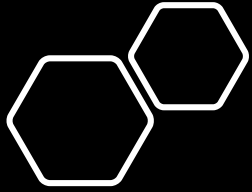




Inspections des paliers

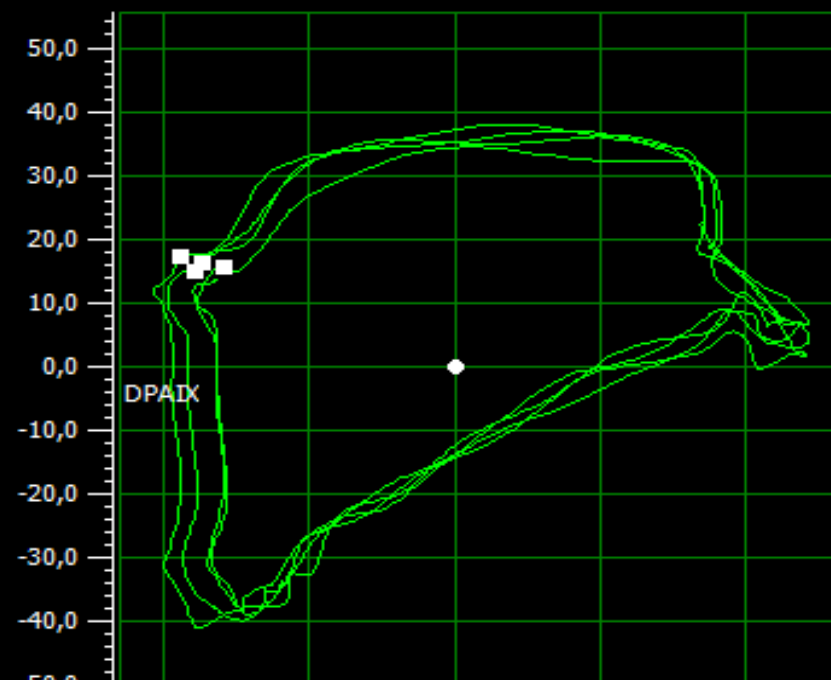
- Analyses d'huiles
- Évaluation des fuites d'huile
- Mesure des jeux
- Mesure de l'alignement de la machine
- Vérification de l'état d'usure des paliers



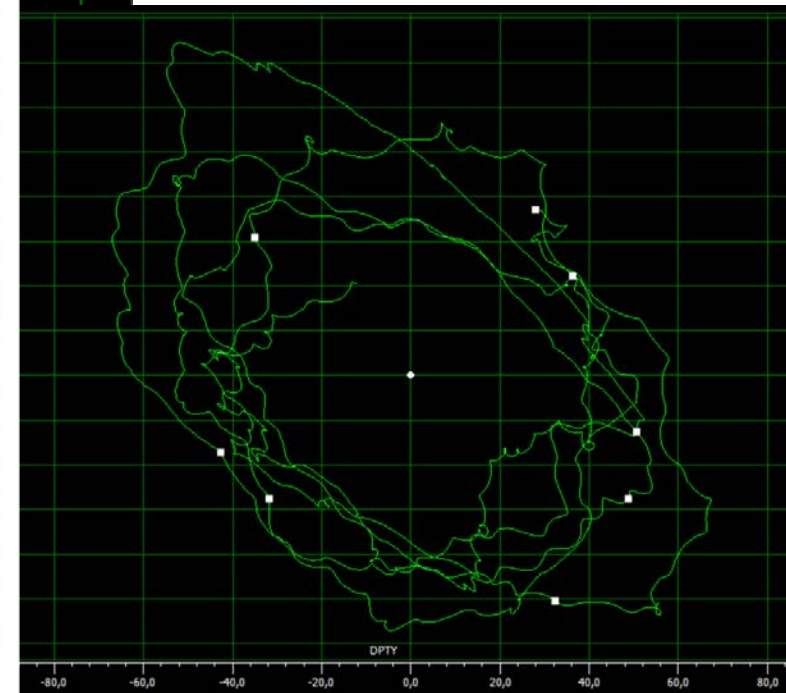
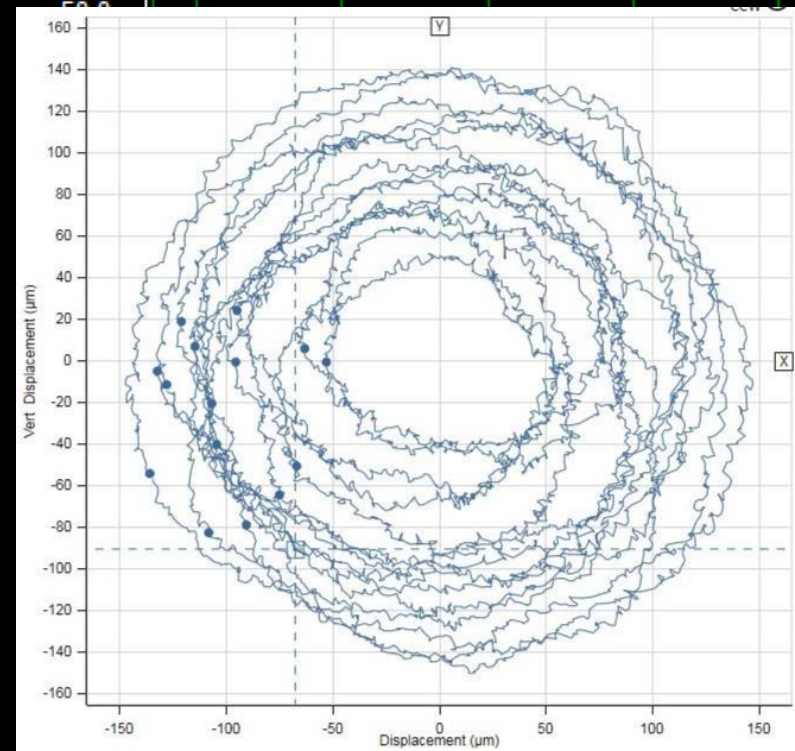


Inspections des paliers

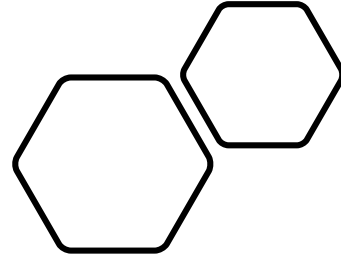
Mesure de vibration



Quelle est la meilleure orbite?



Exemples de problématiques et d'analyses



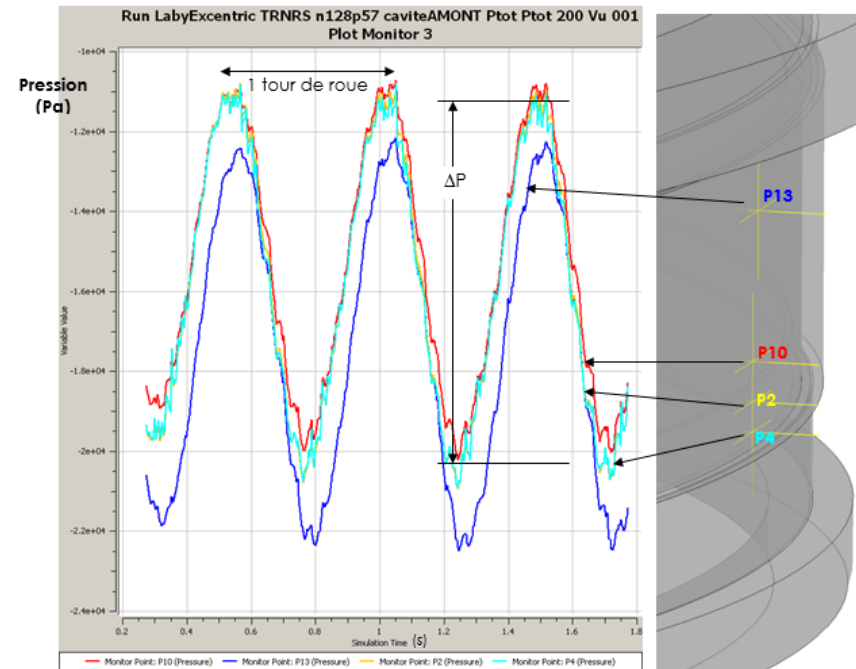
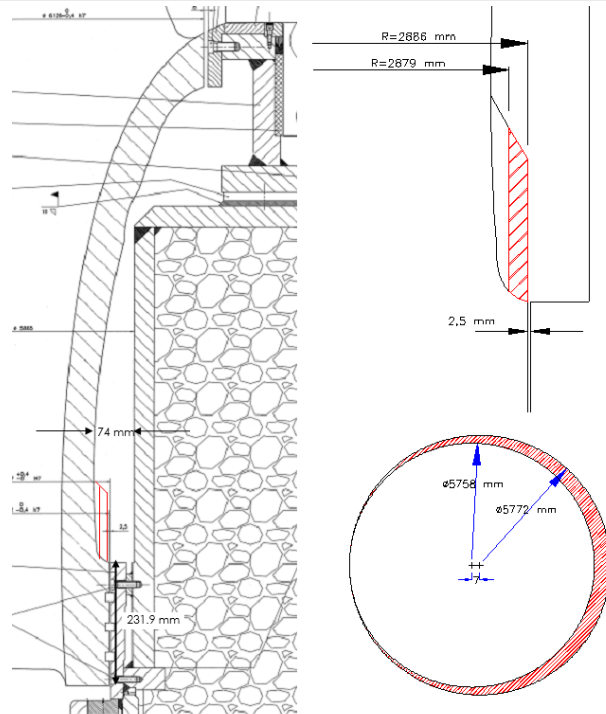
Exemple d'un balourd hydraulique engendré lors de la correction du balourd mécanique

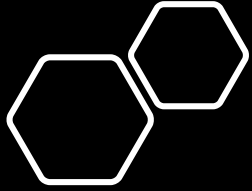


Ceinture de roue original



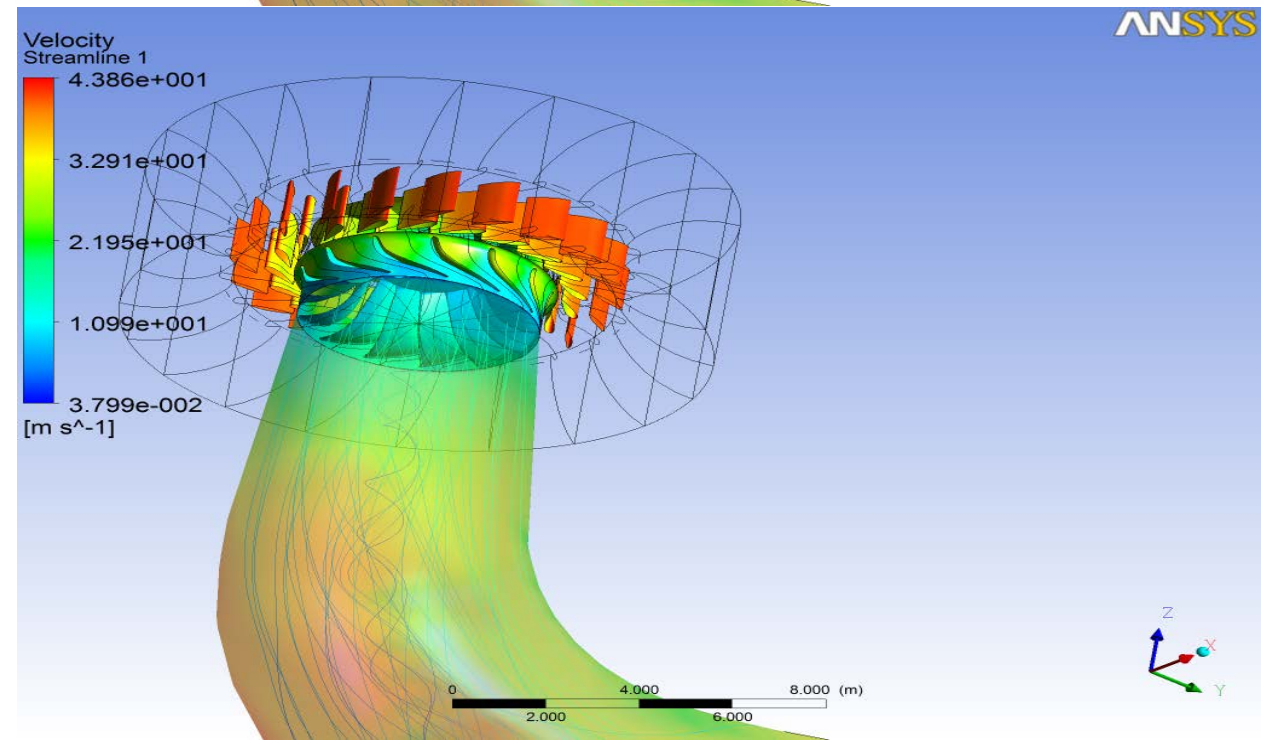
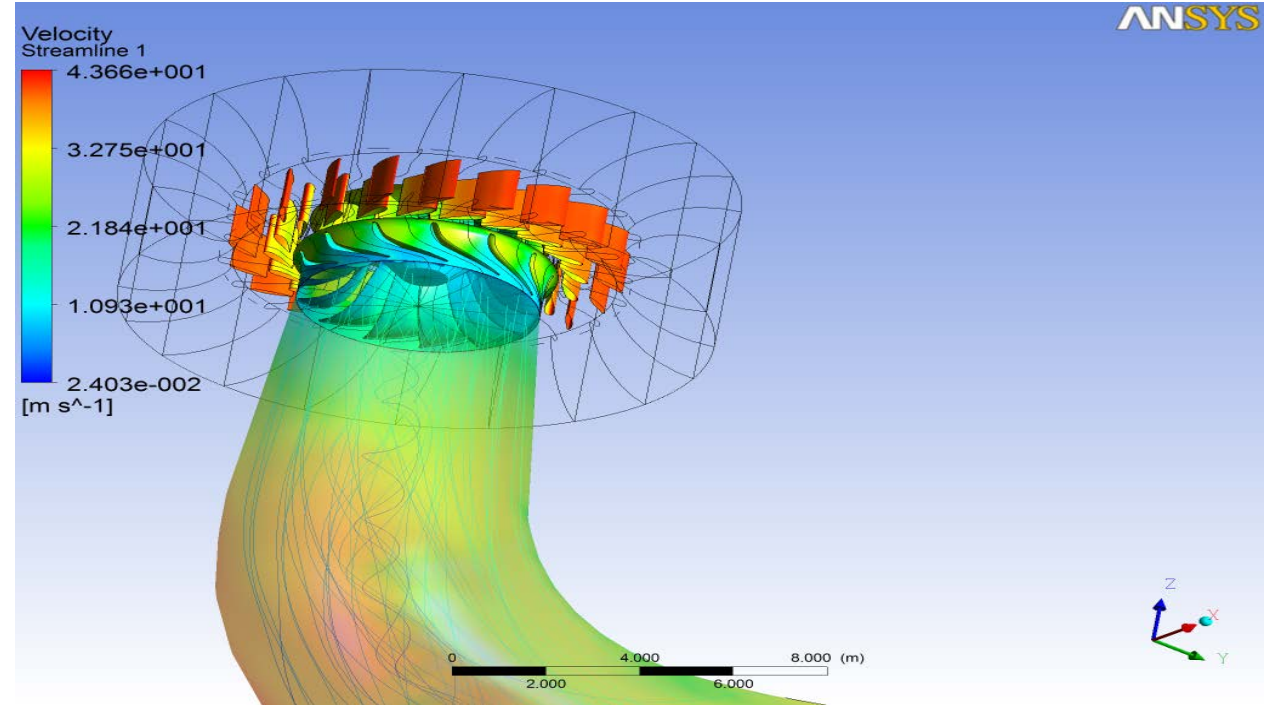
Ceinture de roue usinée pour corriger le balourd mécanique

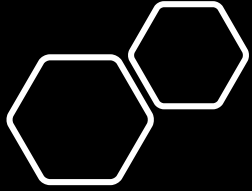




Le rôle de la CFD

Évaluation de la perte de rendement causé par la perte du cône de la roue

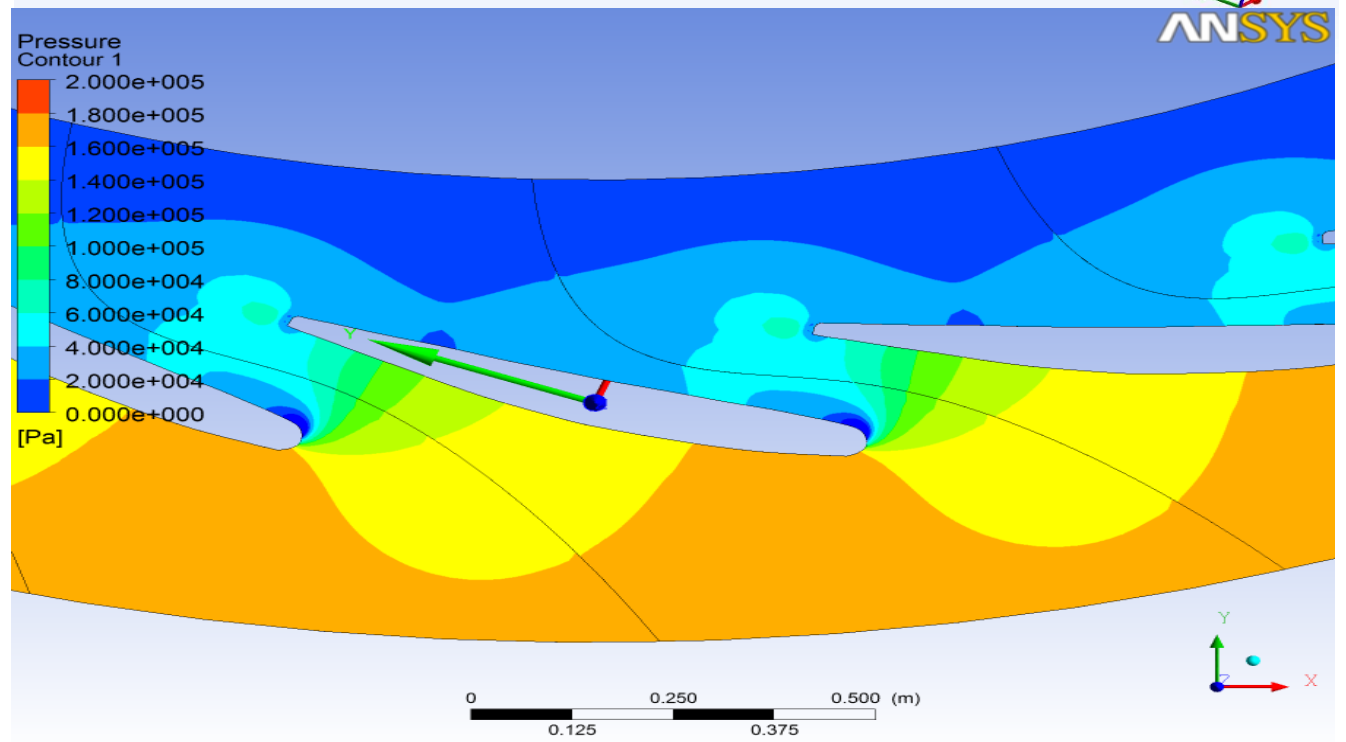
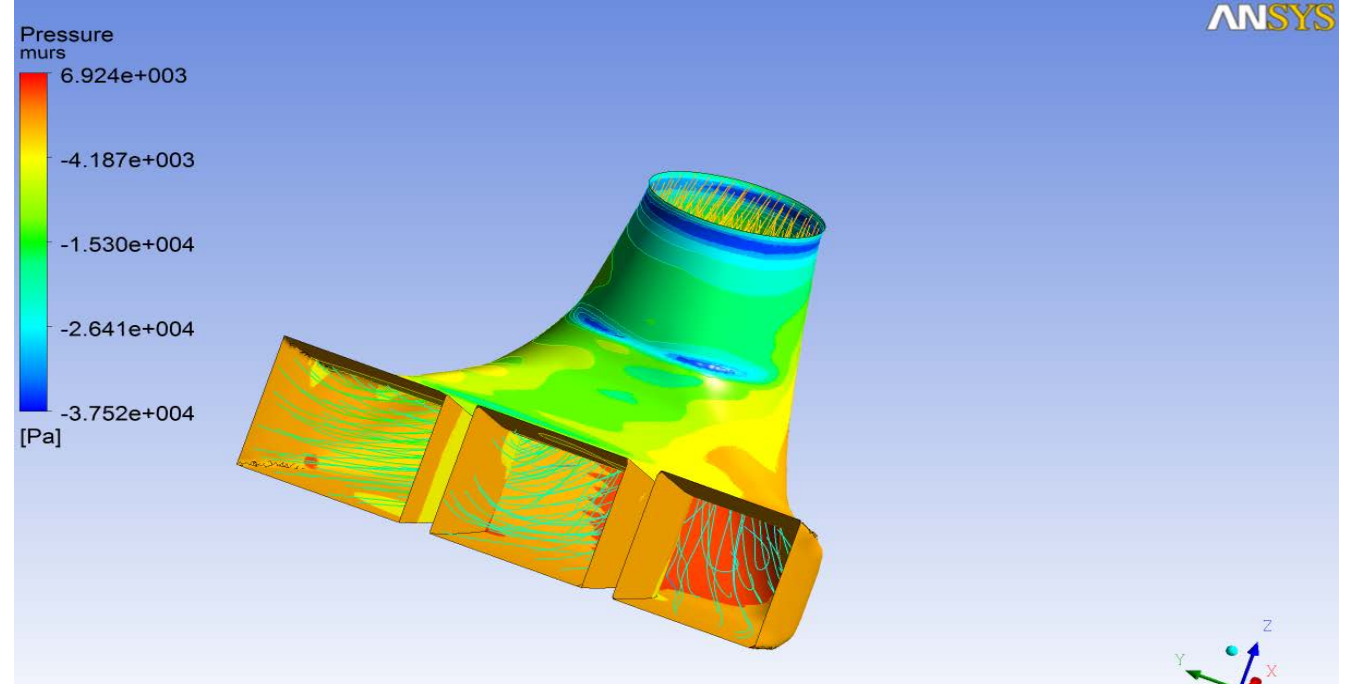


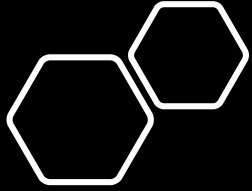


Le rôle de la CFD

Écoulement dans l'aspirateur

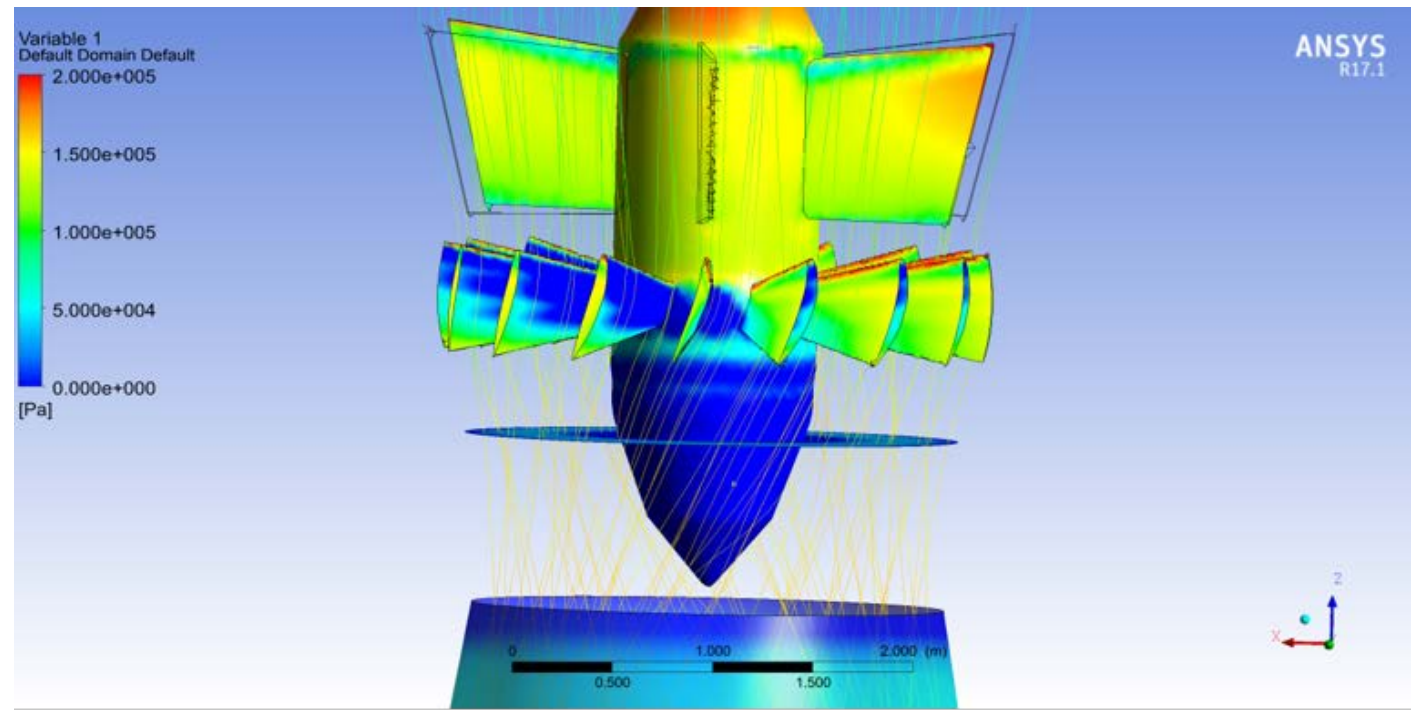
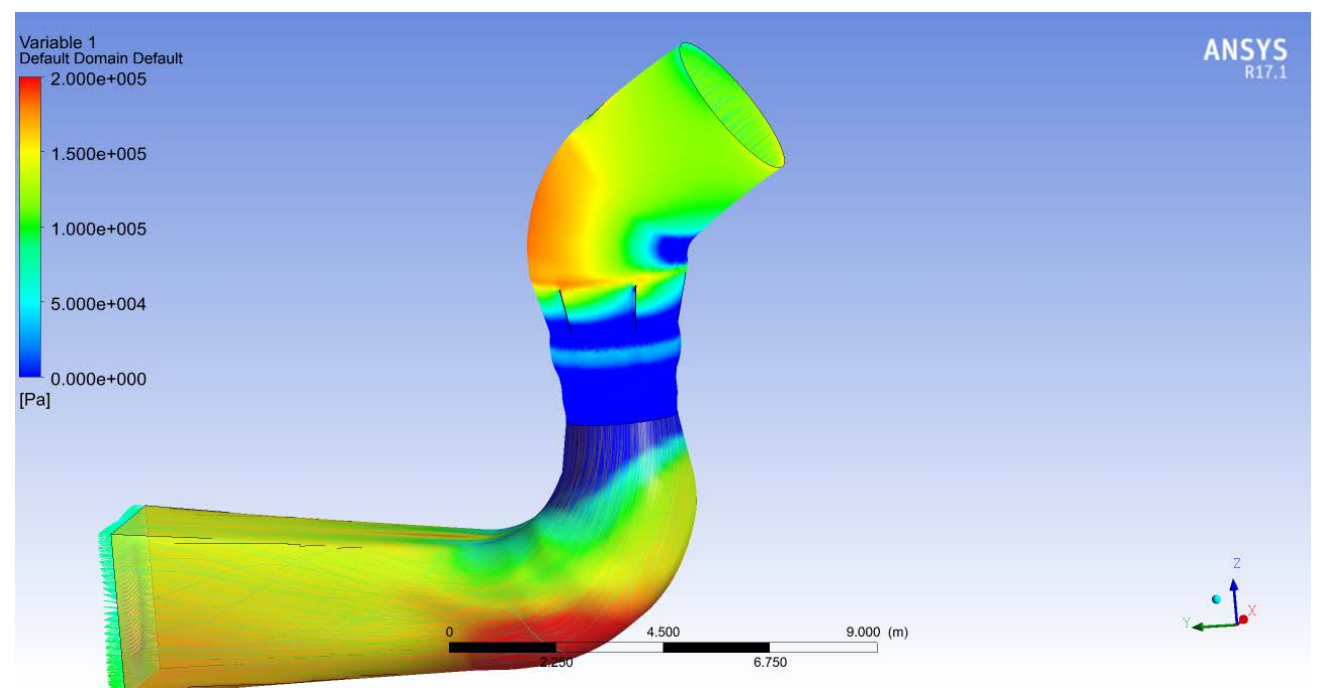
Estimation des efforts hydrauliques sur les directrices

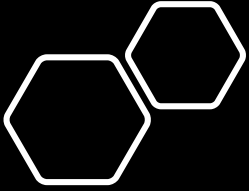




Le rôle de la CFD

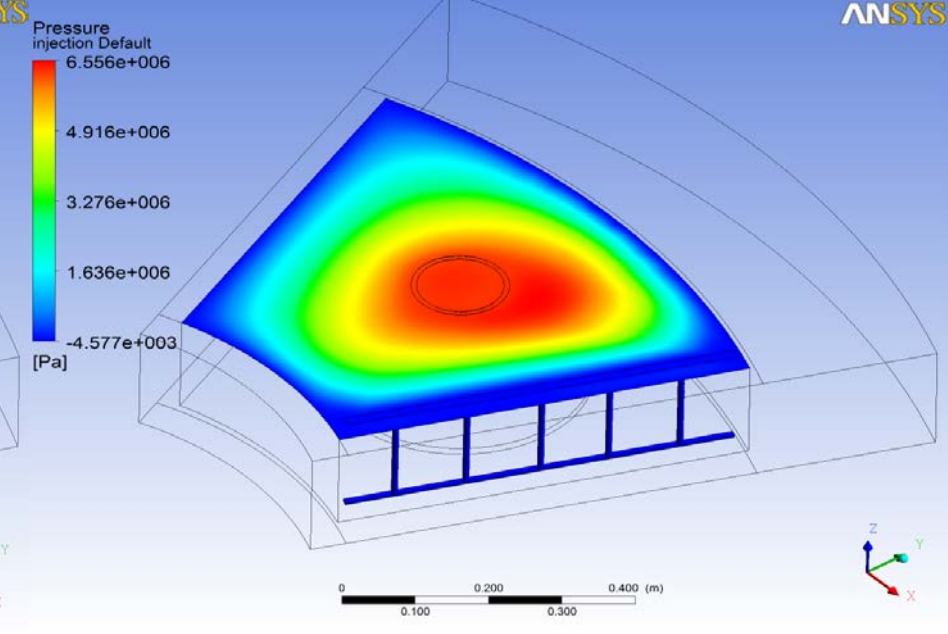
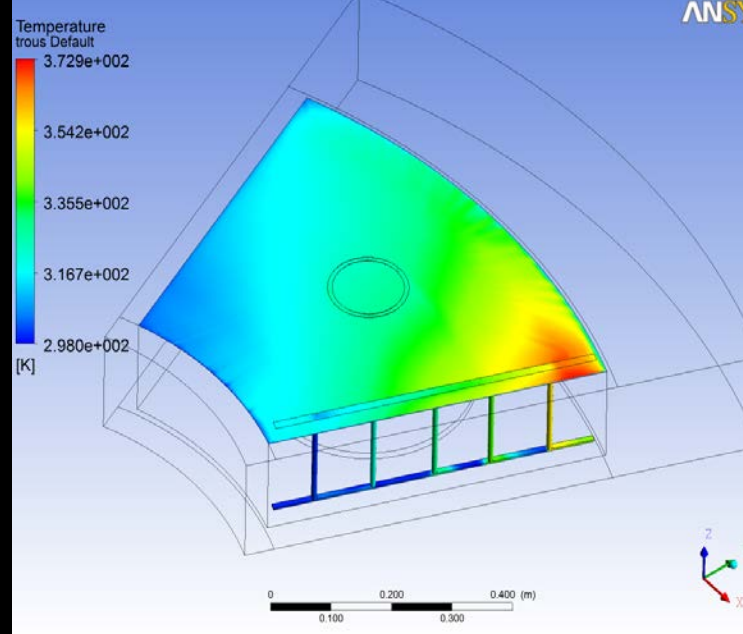
Conversion d'un groupe Saxo en
conduite d'évacuation



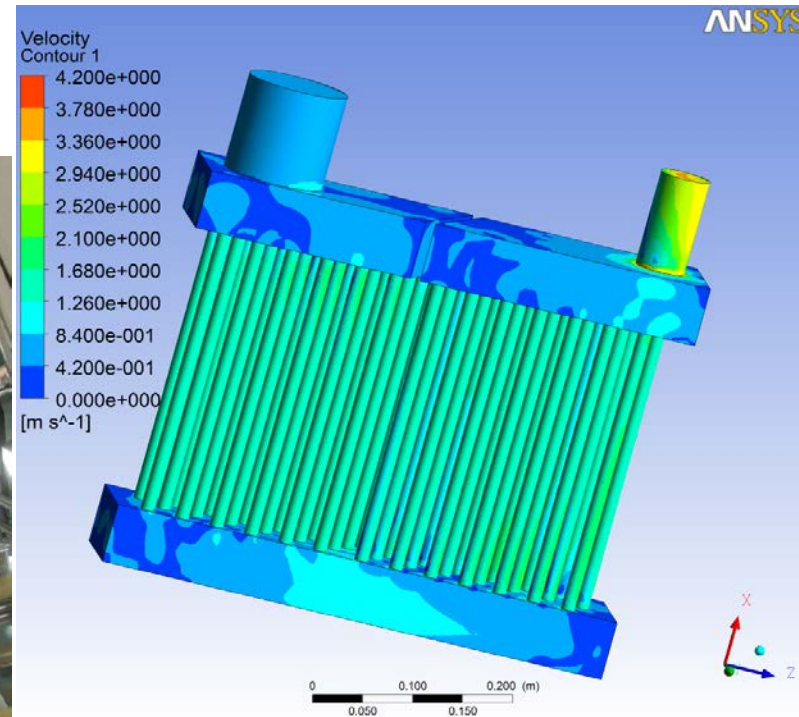
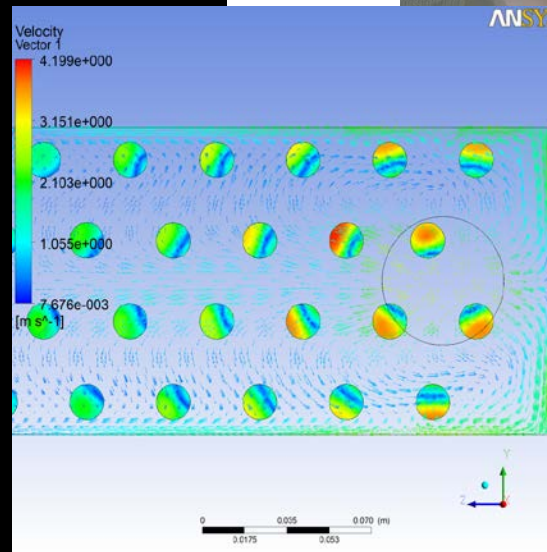


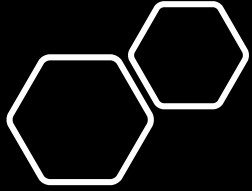
Le rôle de la CFD

Calcul de pression et température d'un film d'un palier de butée



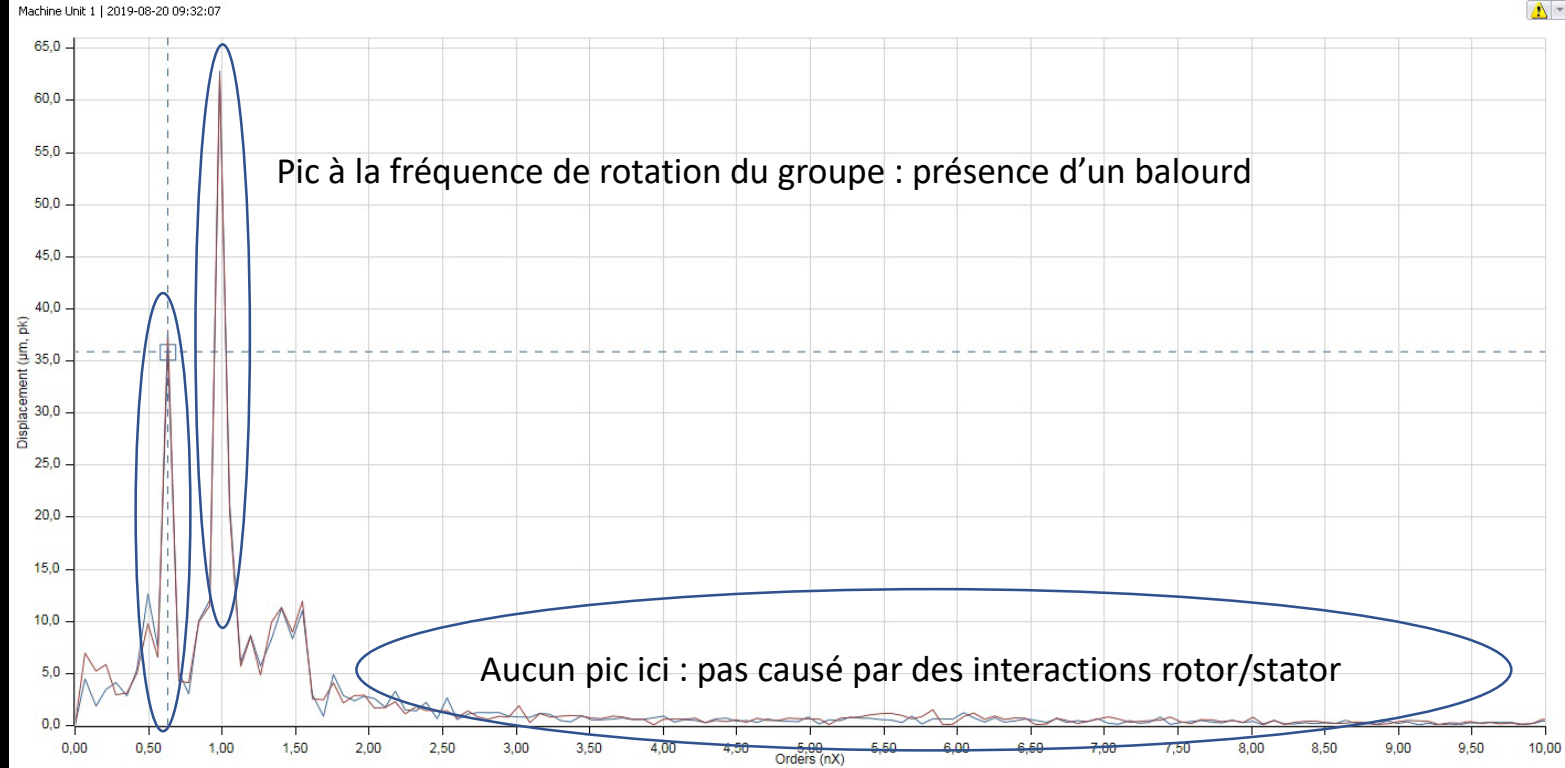
Évaluation de l'écoulement d'air dans un refroidisseur stator





Intervention à cause de vibrations trop élevées

Étape 1 : Comprendre d'où vient la vibration

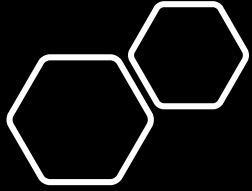


Pic à 2/3 de la fréquence de rotation du groupe : vibration causée par une torche sous la roue

Inspection complète du groupe

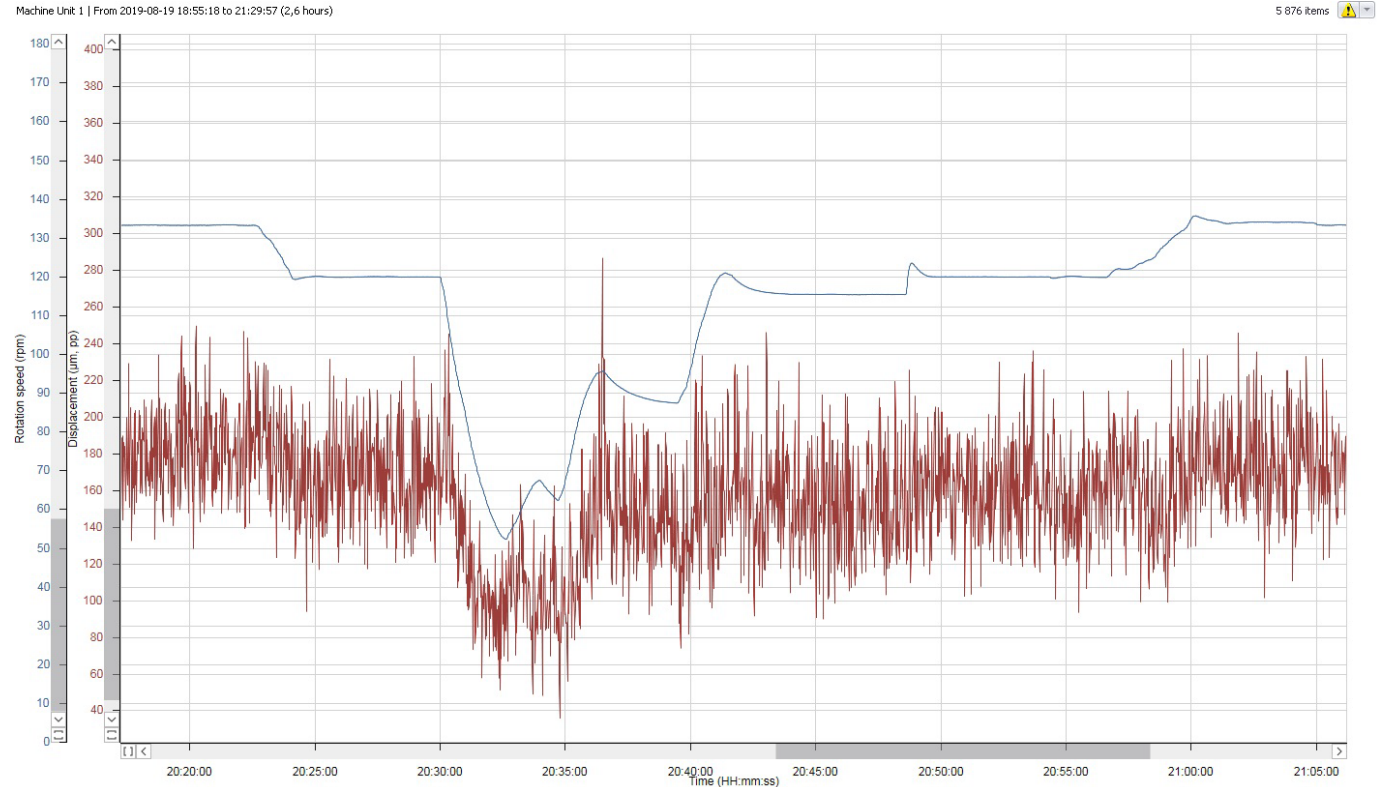
Les vibrations sont élevées uniquement au palier de turbine => le problème trouve donc sa source au niveau de la roue.

Analyse FFT pour connaître la fréquence à laquelle l'amplitude des vibrations est la plus élevée



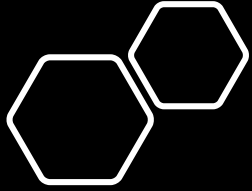
Intervention à cause de vibrations trop élevées

Étape 2 : Caractériser le balourd



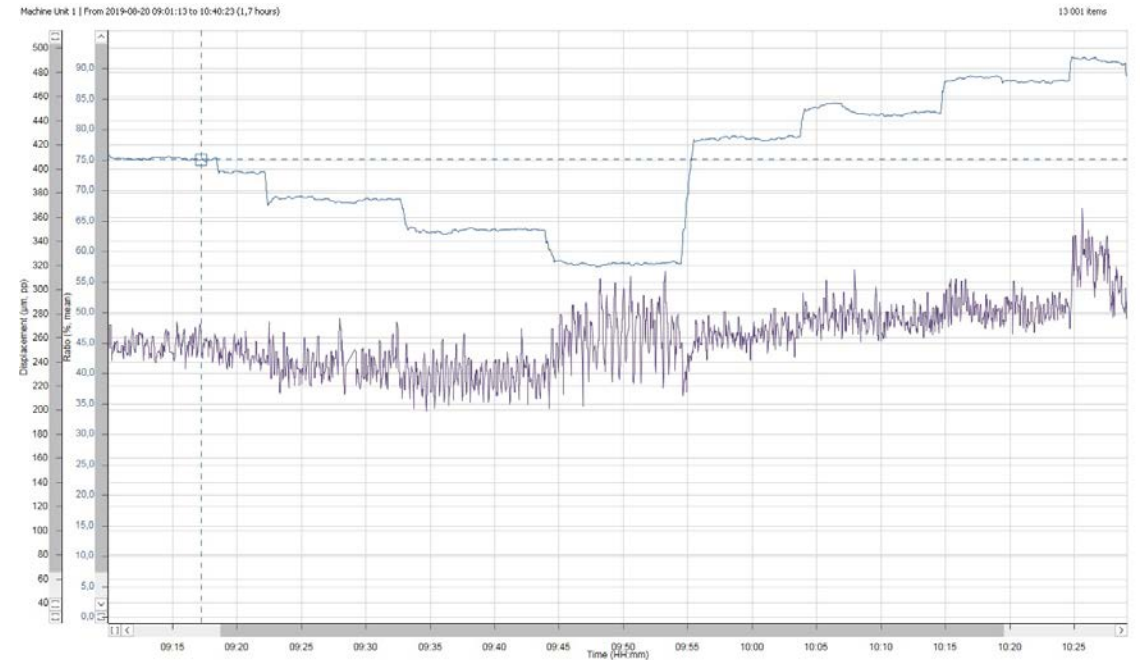
Essais avec et sans charge : si les vibrations augmentent en charge alors il y a un balourd magnétique => ce n'est pas le cas

Essai à différente vitesse : si les vibrations augmentent alors il y a un balourd mécanique => c'est le cas

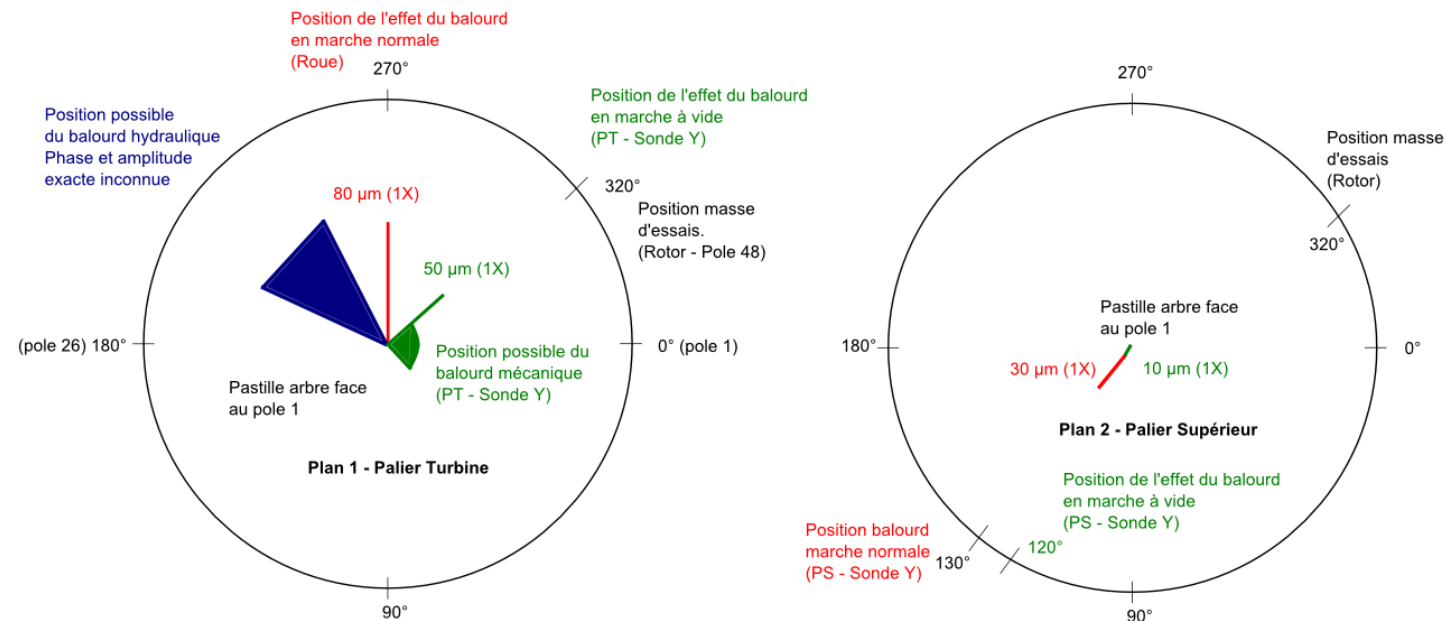


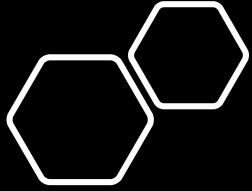
Intervention à cause de vibrations trop élevées

Étape 2 : Caractériser le balourd



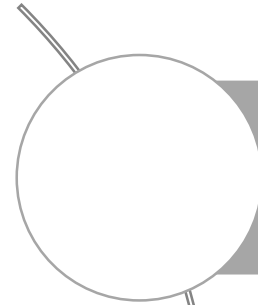
Essais à différentes charge : si les vibrations augmentent alors il y a un balourd hydraulique => c'est le cas.



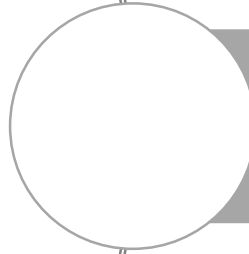


Intervention à cause de vibrations trop élevées

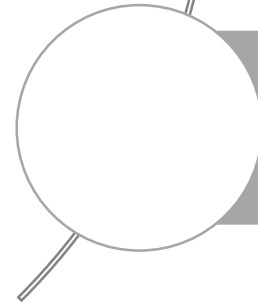
Étape 3 : Comment corriger?



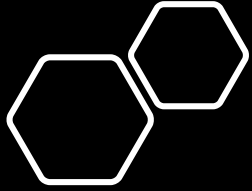
On peut corriger un balourd mécanique avec un équilibrage. Les essais doivent se faire en marche à vide.



Corriger un balourd hydraulique peut nécessiter une modification de la roue

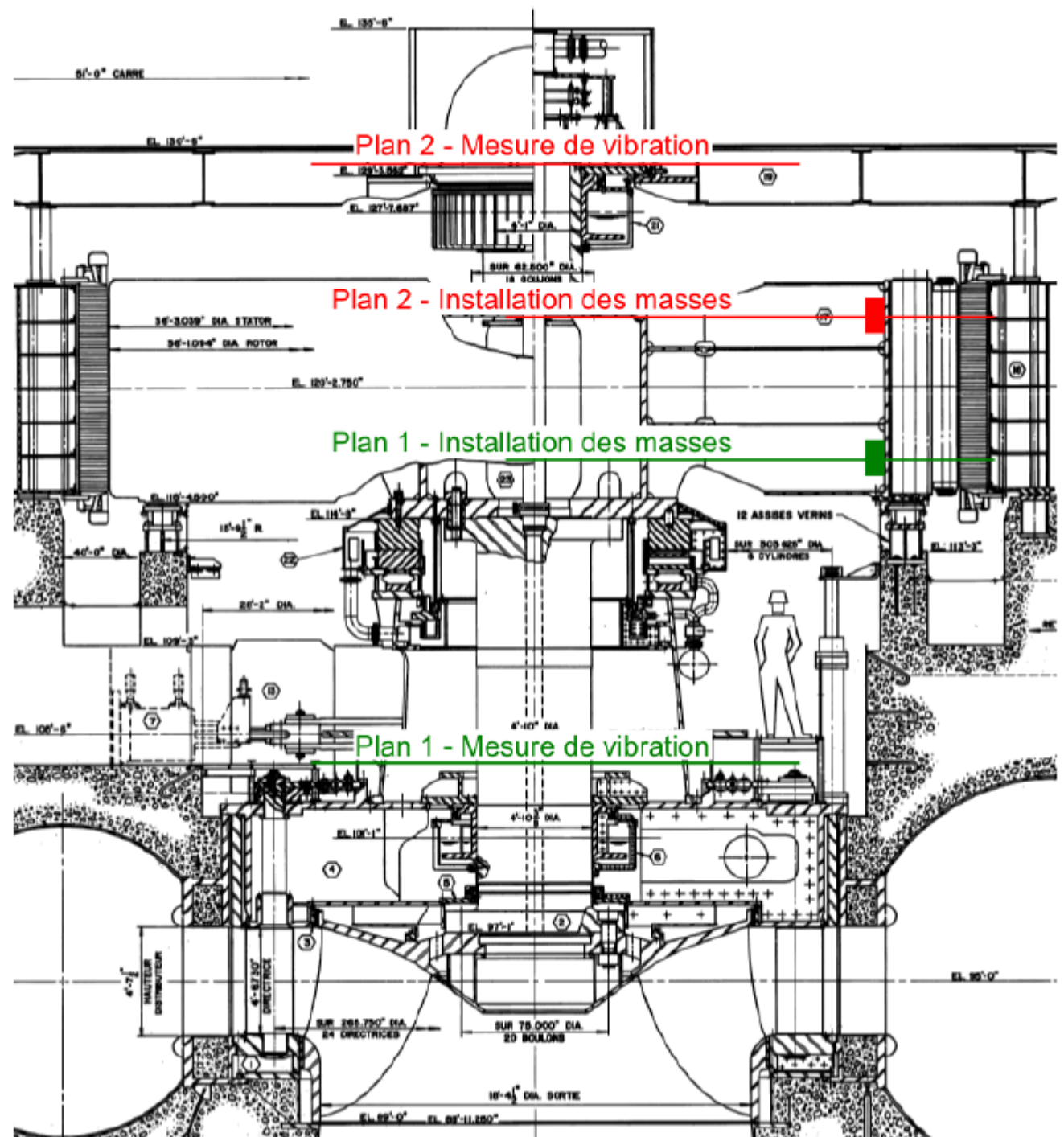


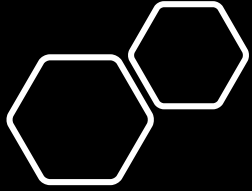
Pour ce groupe, un équilibrage peut se faire dans l'alternateur pour corriger les vibrations au palier turbine



Intervention à cause de vibrations trop élevées

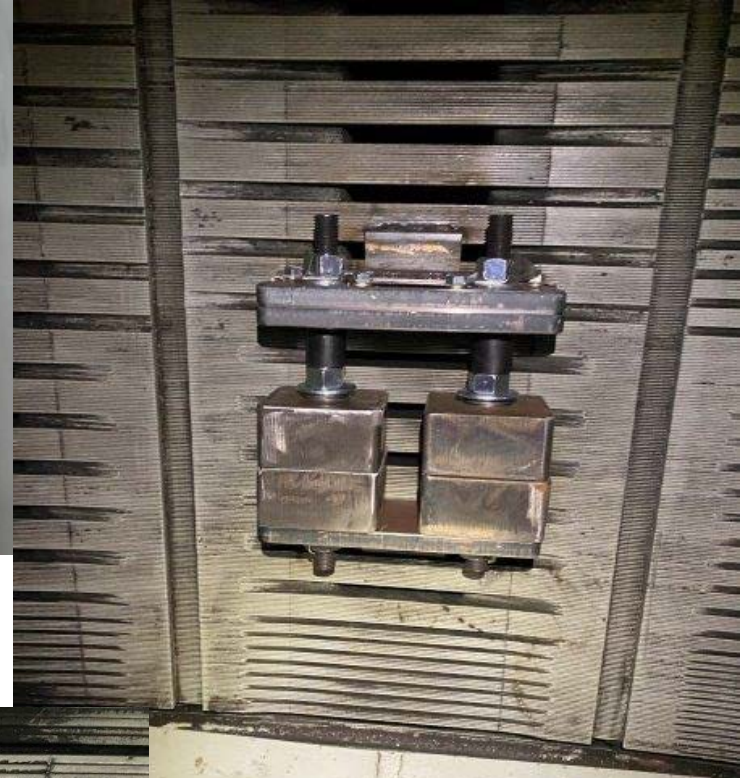
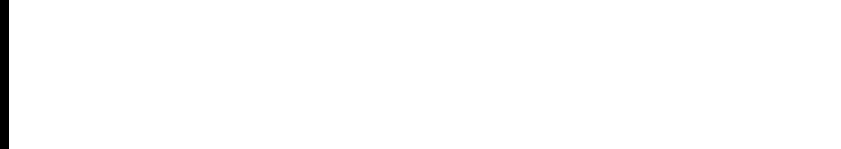
Étape 4 : Équilibrage d'un groupe turbine-alternateur – Méthode dynamique

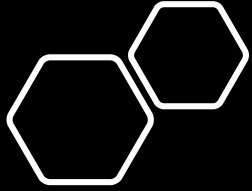




Intervention à cause de vibrations trop élevées

Étape 4 : Équilibrage d'un groupe turbine-alternateur – Méthode dynamique



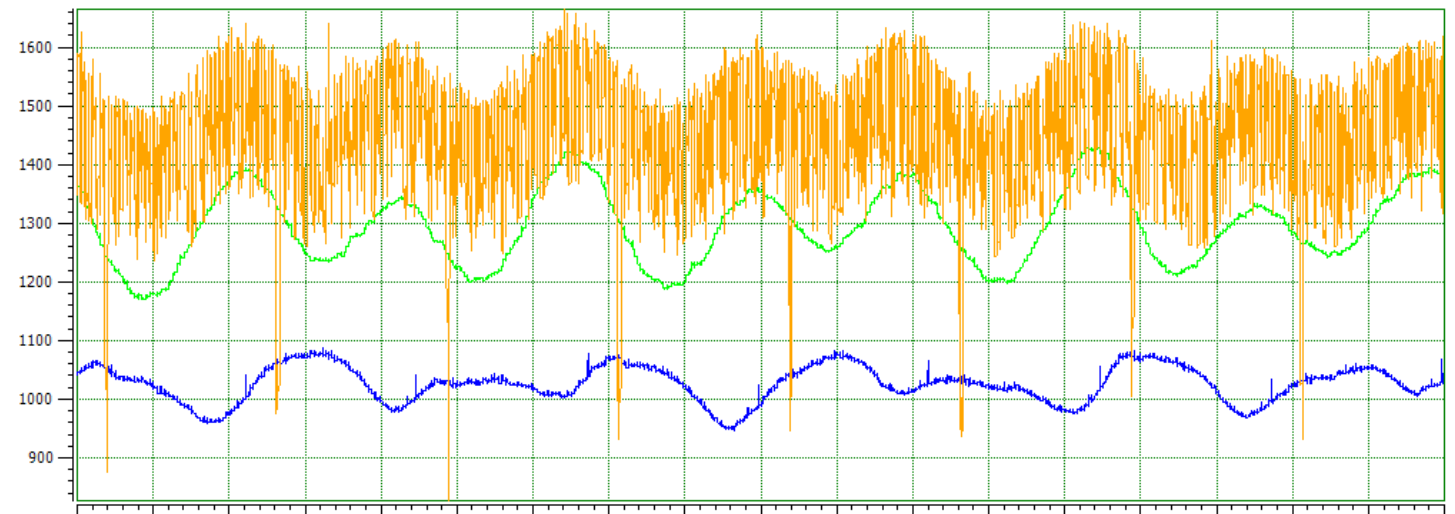
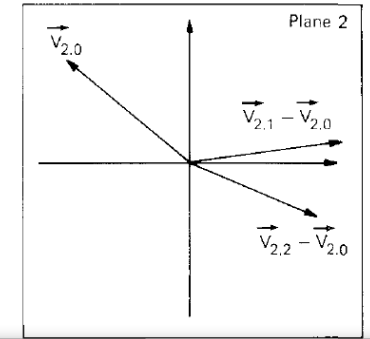
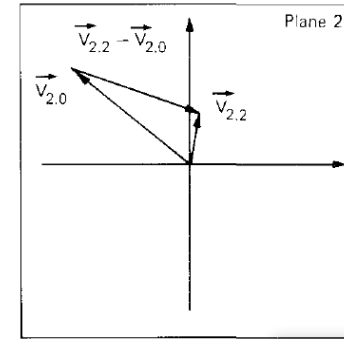
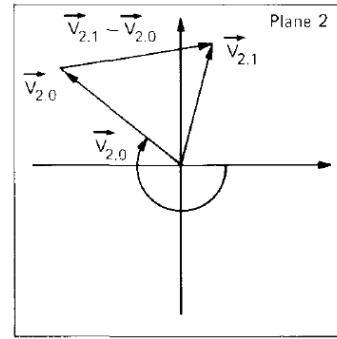
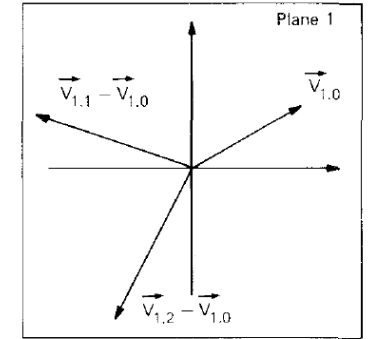
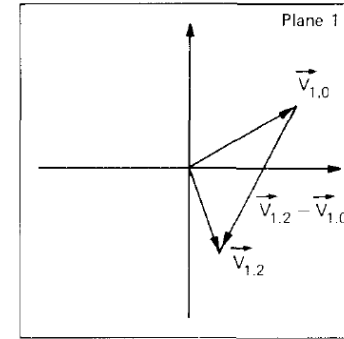
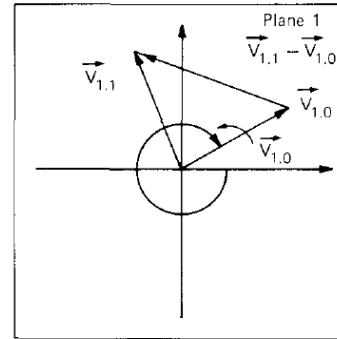


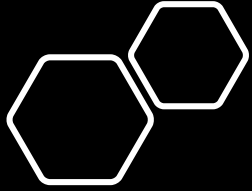
Intervention à cause de vibrations trop élevées

Étape 4 : Équilibrage d'un groupe turbine-alternateur – Méthode dynamique

$$Q_1(V_{1,1} - V_{1,0}) + Q_2(V_{1,2} - V_{1,0}) = -V_{1,0}$$

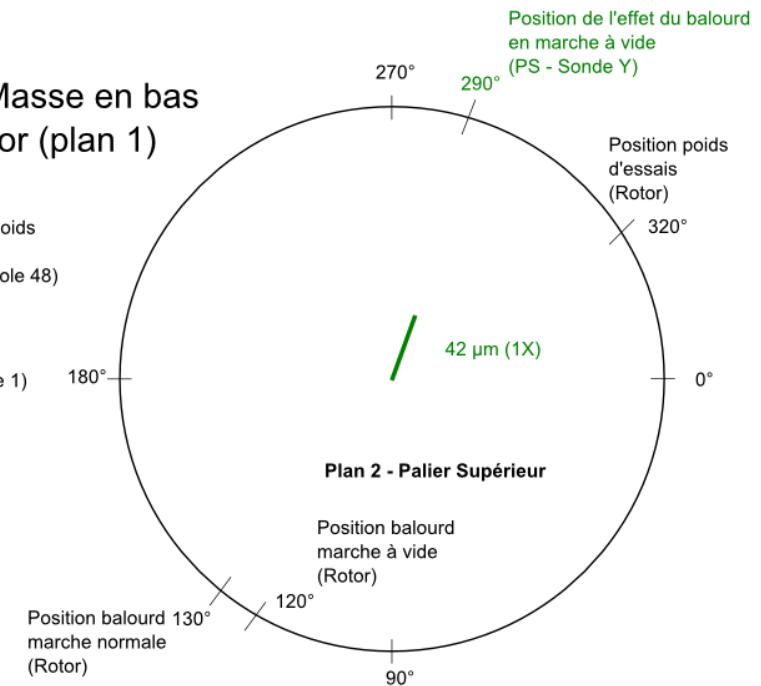
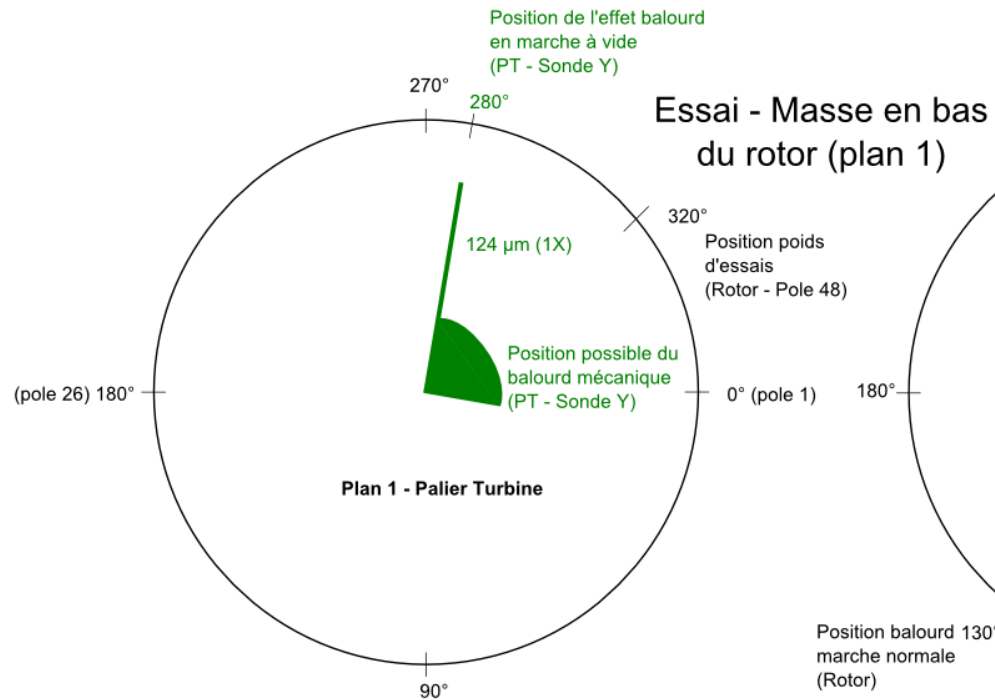
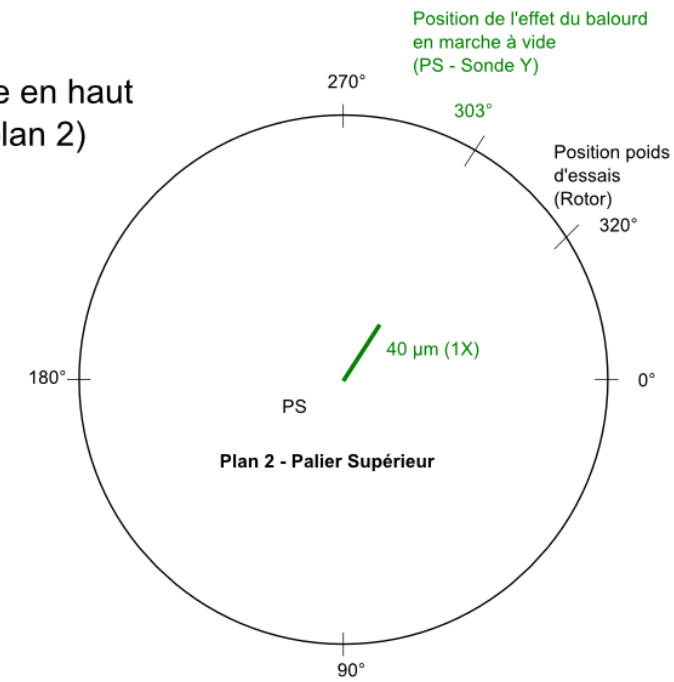
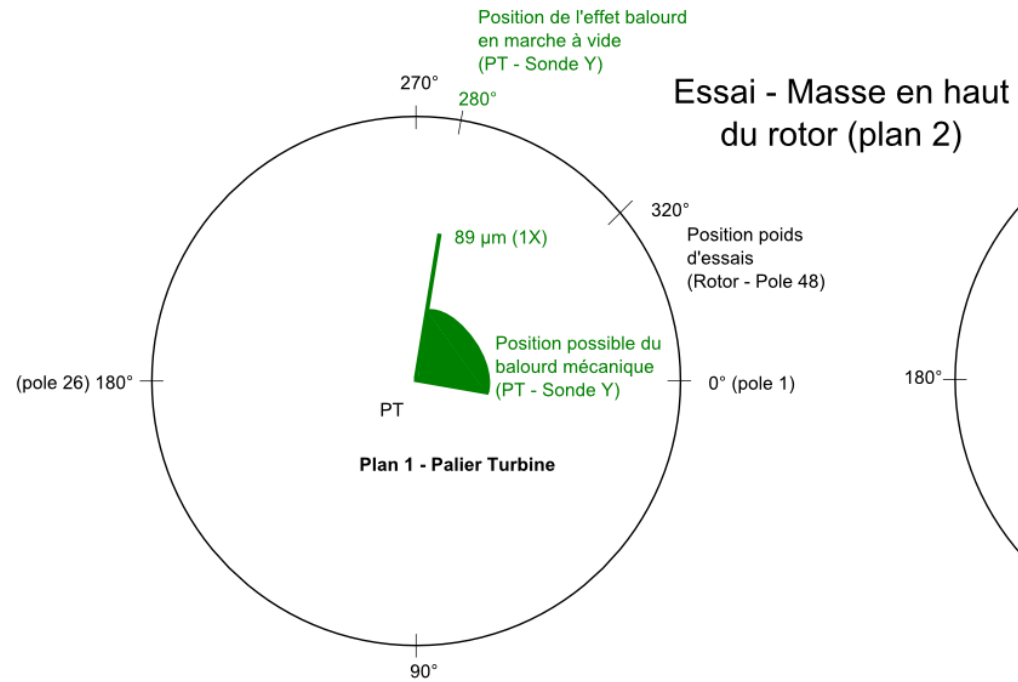
$$Q_1(V_{2,1} - V_{2,0}) + Q_2(V_{2,2} - V_{2,0}) = -V_{2,0}$$

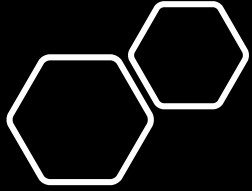




Intervention à cause de vibrations trop élevées

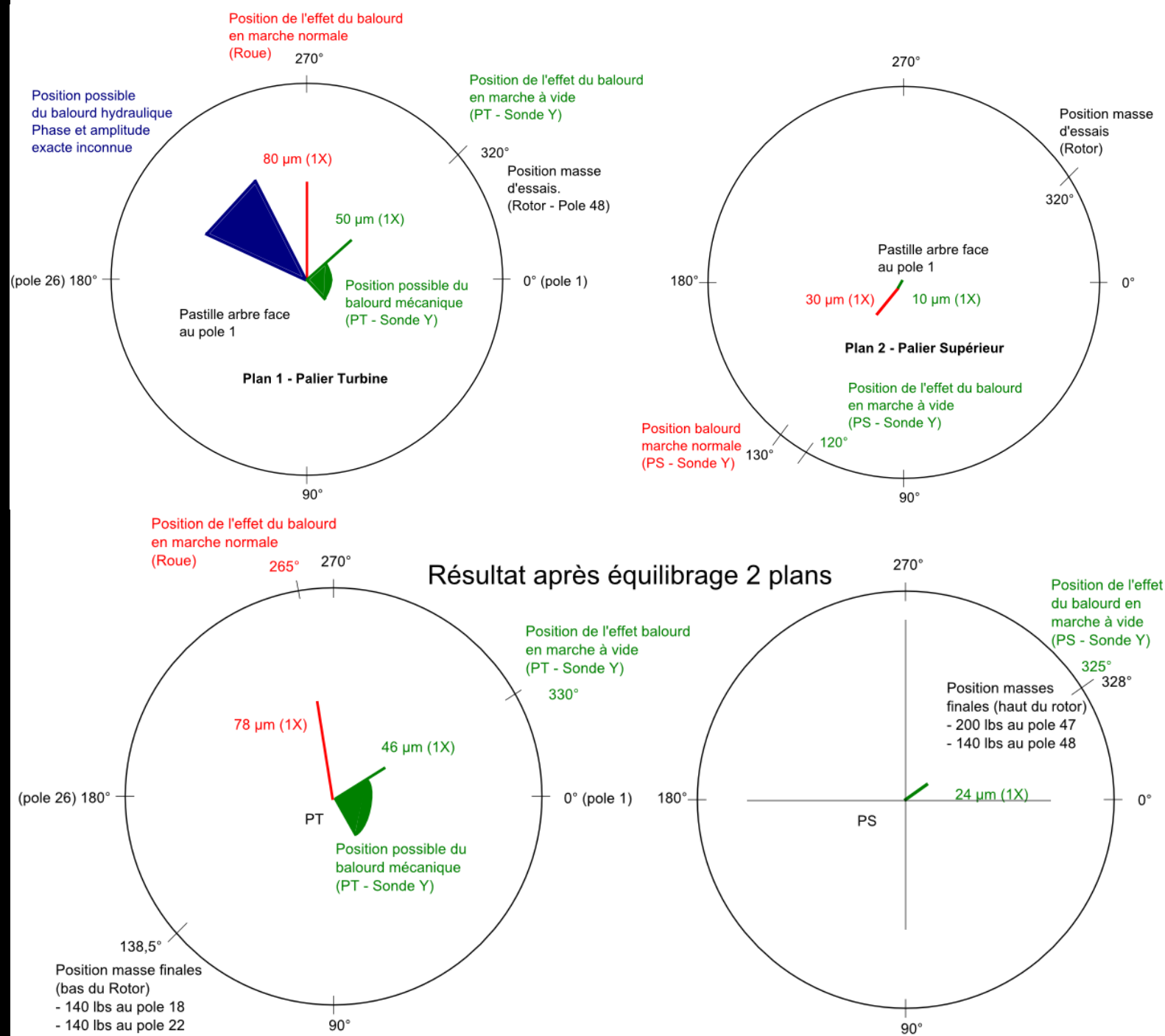
Étape 4 : Équilibrage d'un groupe turbine-alternateur – Méthode dynamique

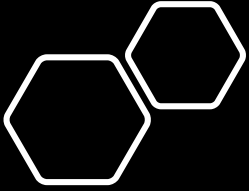




Intervention à cause de vibrations trop élevées

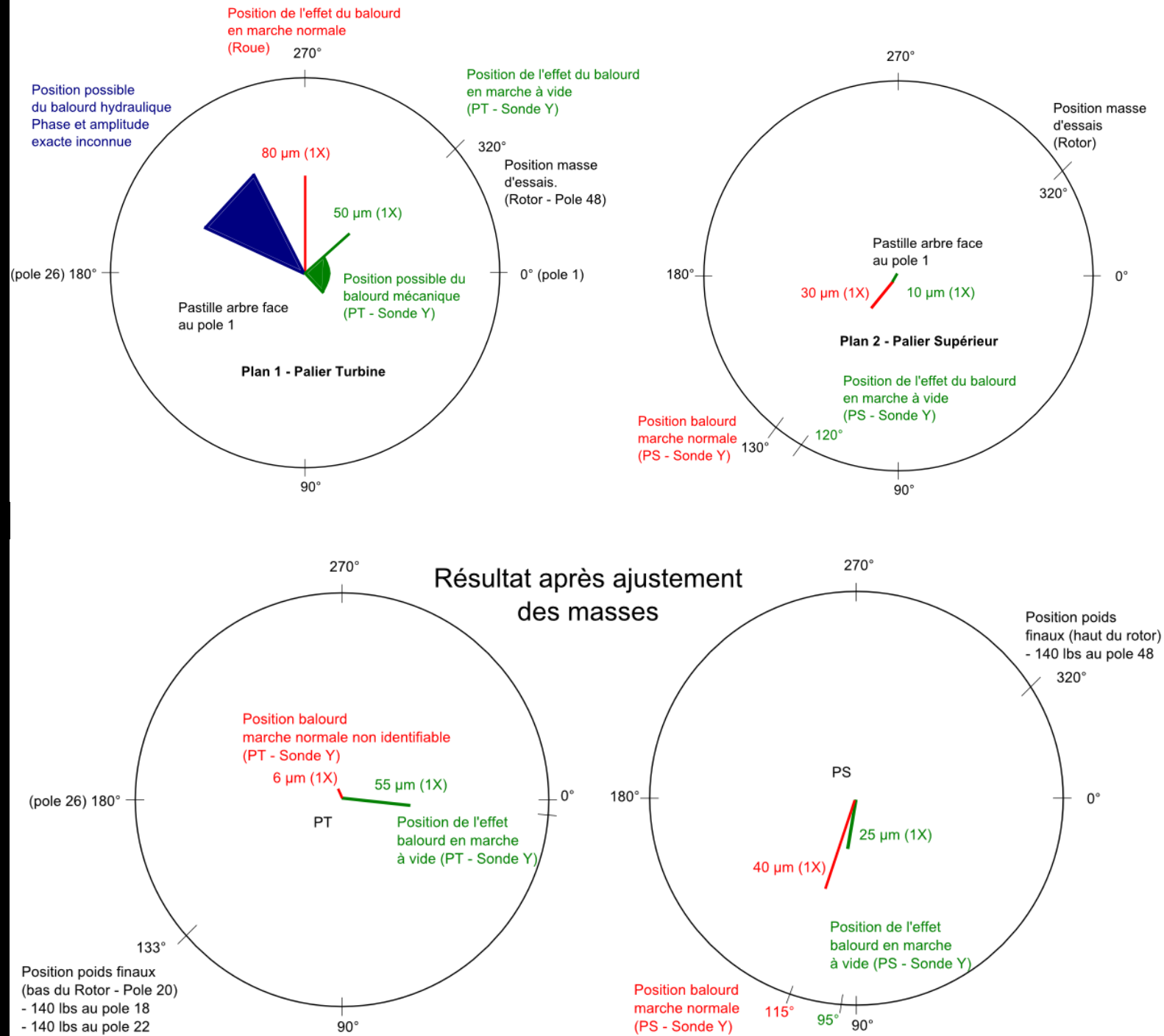
Étape 5 : Résultat de l'équilibrage deux plans
=> Échec

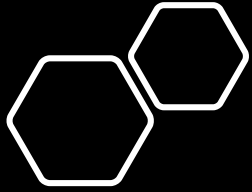




Intervention à cause de vibrations trop élevées

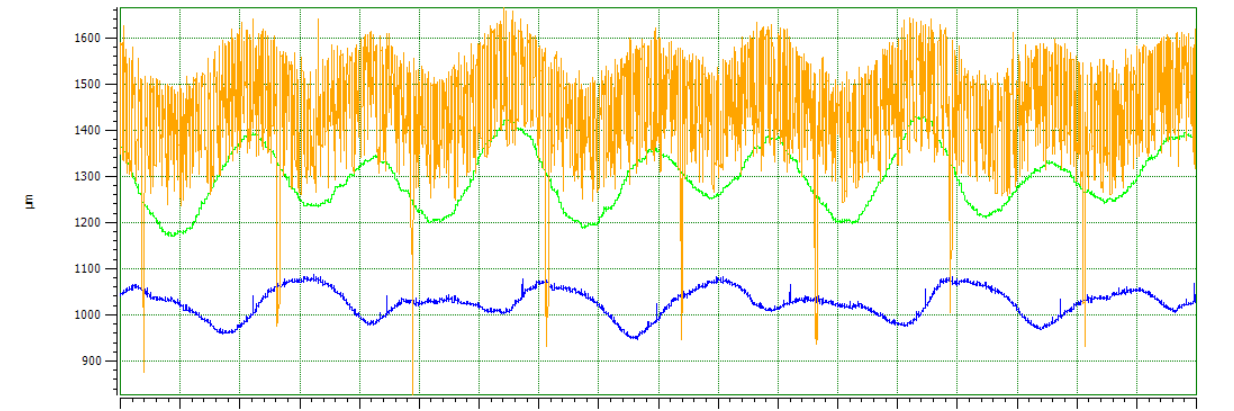
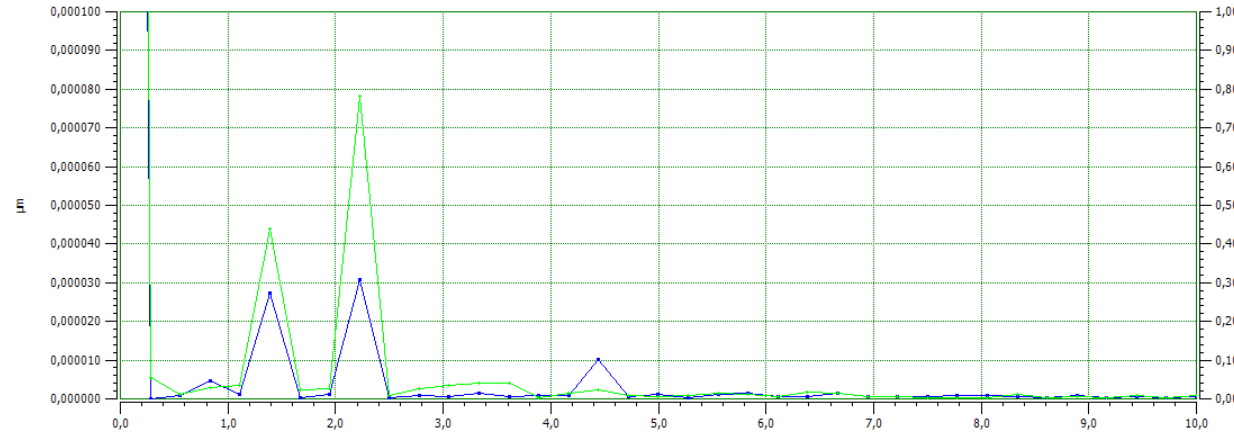
Étape 6 : On corrige nos erreurs !!



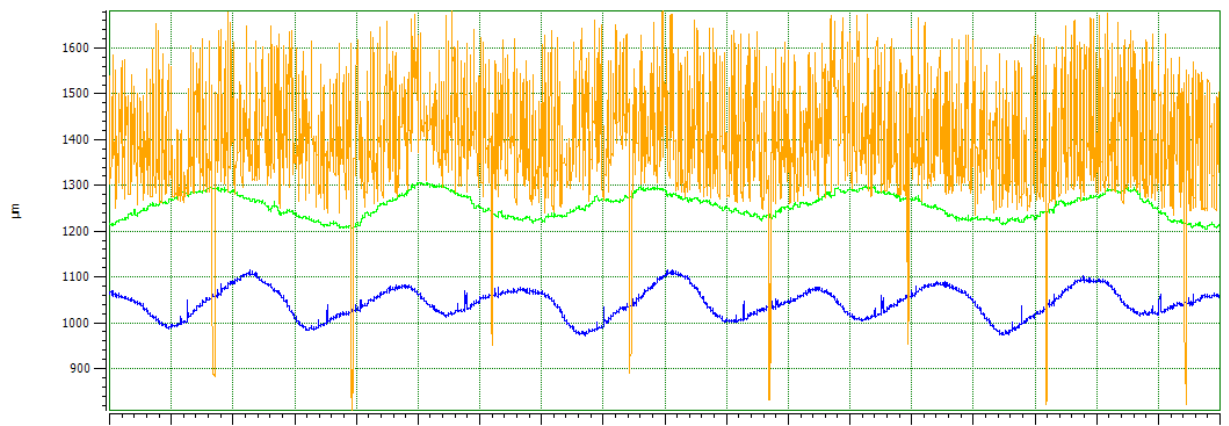
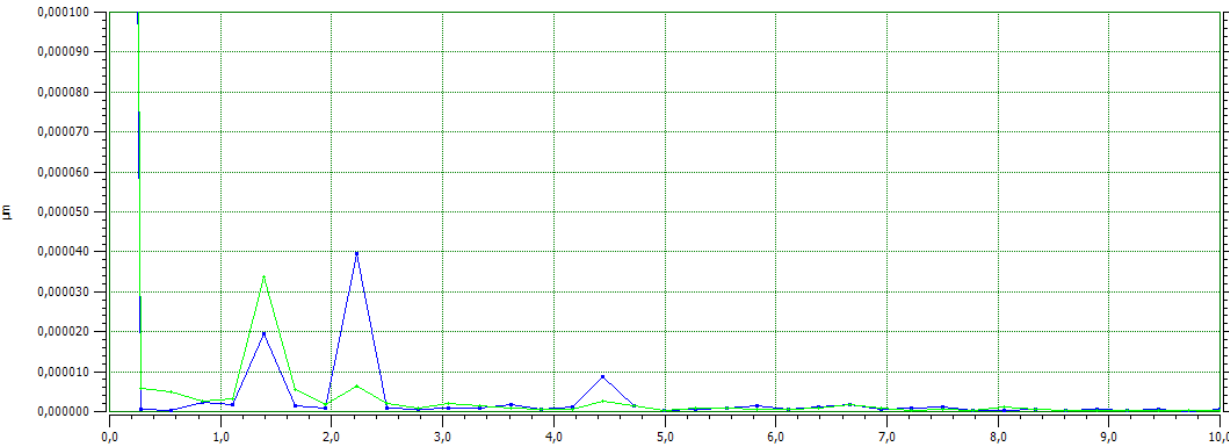


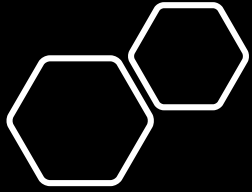
Intervention à cause de vibrations trop élevées

Avant



Après



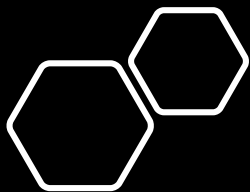


Évaluation des risques de mouvement involontaire

Arrêts des groupes pour maintenance – Le code de sécurité des travaux

Tableau 1 – Choix des points de coupure mécanique

		Cas A Aucun contact avec parties tournantes ou mobiles		Cas B Contact avec parties tournantes ou mobiles	Cas C Accès à la bâche spirale
		1 ^{re} poss. Z. P.	2 ^e poss. Z. P.		
	Directrices en position <i>fermée</i>				
	Directrices en position <i>ouverte</i>				
	Servomoteurs <i>verrouillés</i>				
	<i>Pression d'huile</i> éliminée aux servomoteurs				
	<i>Fermeture d'une vanne</i> située en amont des directrices				
	<i>Fermeture d'une vanne</i> située en amont de la bâche spirale (ainsi que sa valve de dérivation si elle en est munie)				
	<i>Vanne aval</i> selon le niveau ou la variation de niveau				
	<i>Dépressurisation</i> du circuit hydraulique de turbine à pales variables				

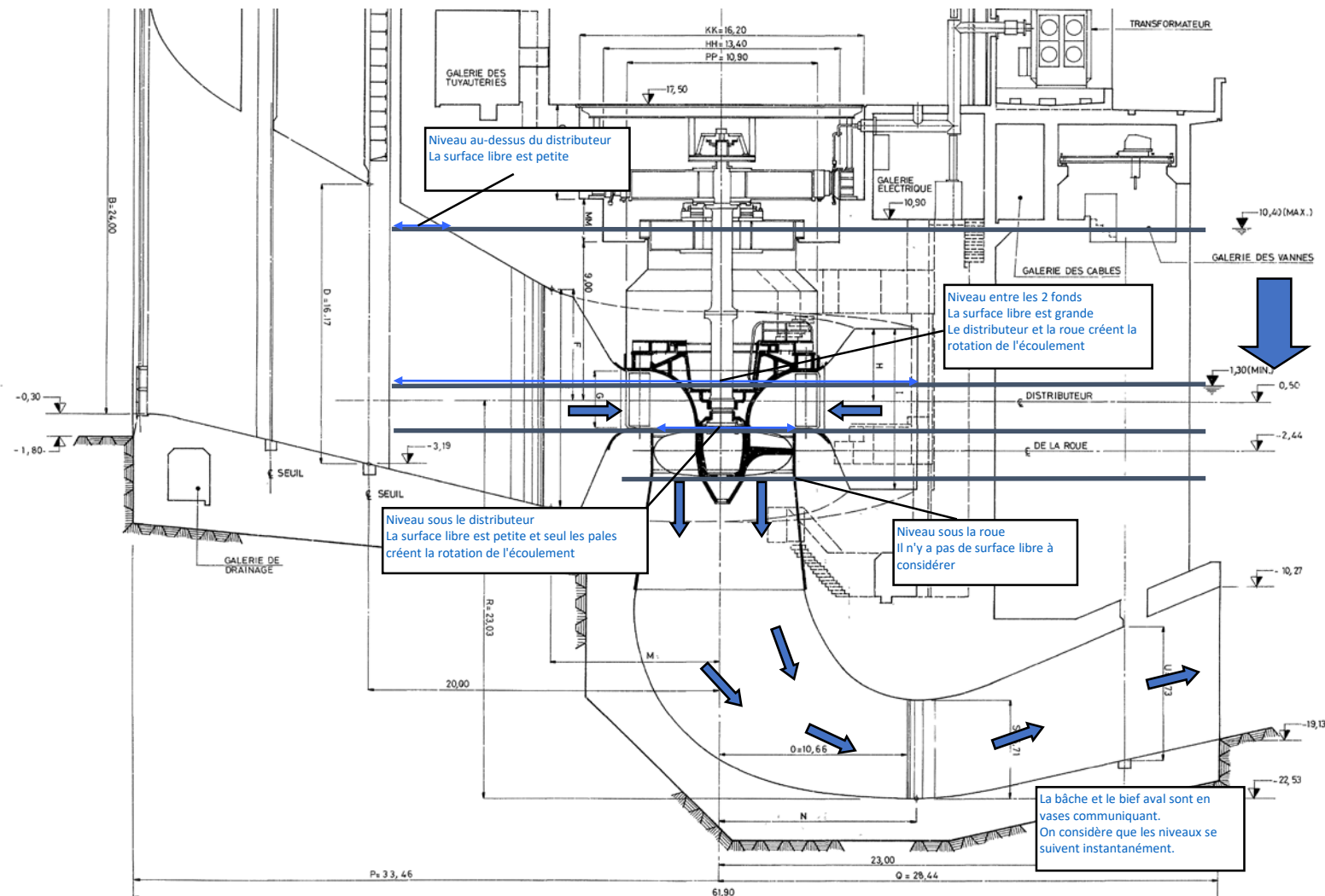


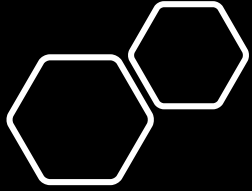
Évaluation des risques de mouvement involontaire

Cause du mouvement involontaire –
Variation rapide du niveau aval

Plusieurs cas de figure en fonction du niveau
aval

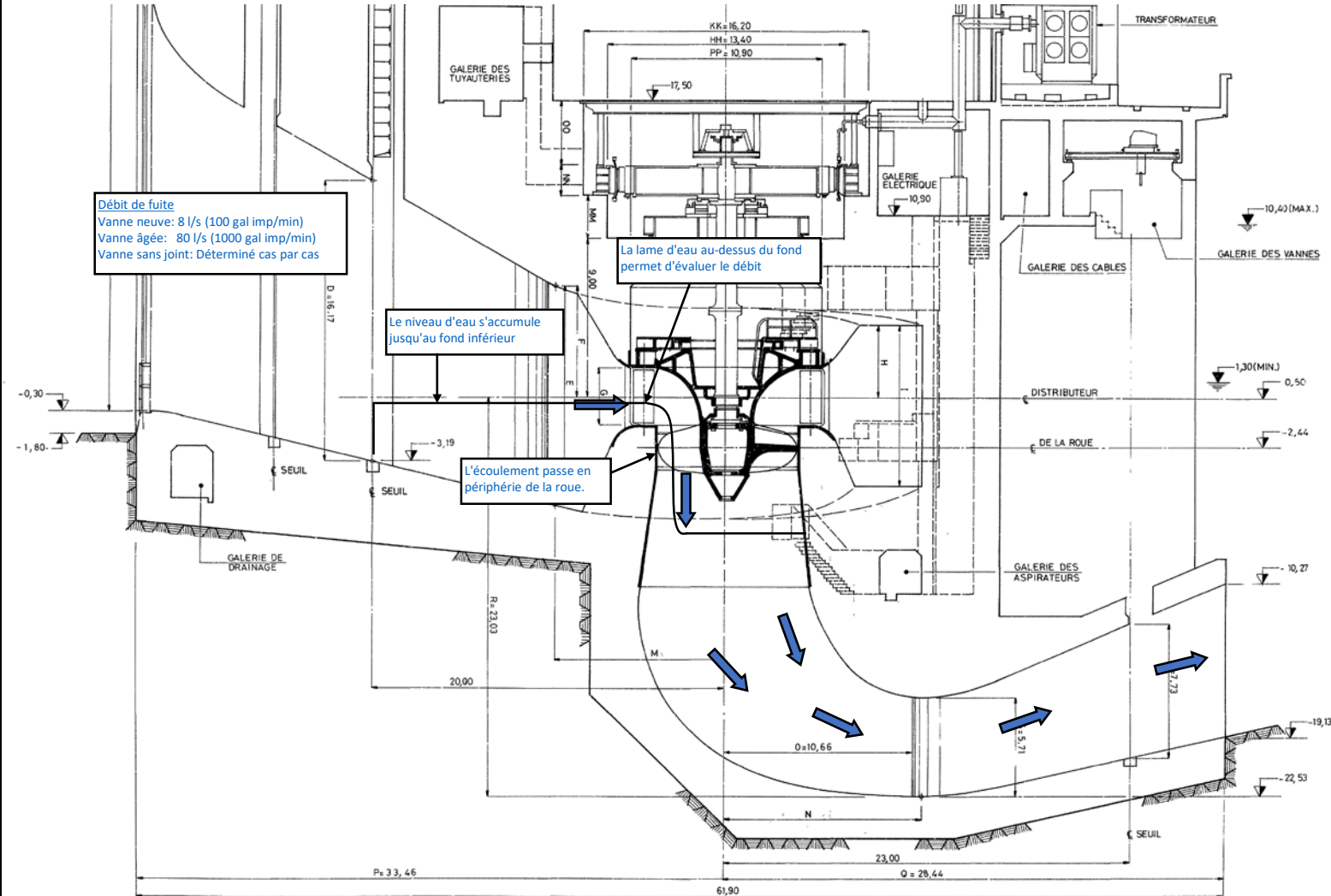
Principe des vases communicants

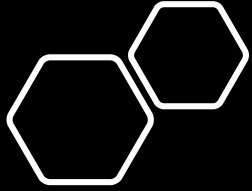




Évaluation des risques de mouvement involontaire

Cause du mouvement involontaire – Fuites à l'amont des directrices





Évaluation des risques de mouvement involontaire

Calculs pour assurer la sécurité du personnel

Les incertitudes

Sur le couple
résistif

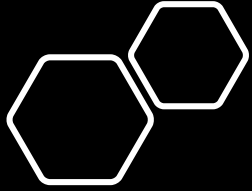
- Coefficient de friction
- Temps pour atteindre le coefficient de friction maximal

Sur
l'intumescence

- La valeur de descente
- La vitesse de descente

Sur le couple
hydraulique

- Débit passant dans la roue
- Relation Couple/Débit



Évaluation des risques de mouvement involontaire

Calculs pour assurer la sécurité du personnel

Réalisation d'essais

Traction du rotor

- Coefficient de friction
- Temps pour atteindre le coefficient de friction maximal

Délestage de centrale

- La valeur de descente
- La vitesse de descente
- Est-ce que le groupe tourne

Ouverture de vanne

- Débit passant dans la roue
- Débit requis pour mettre en rotation