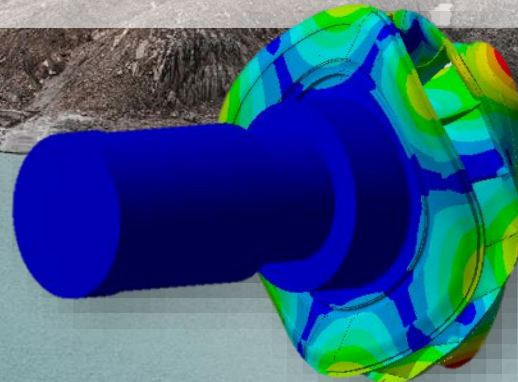
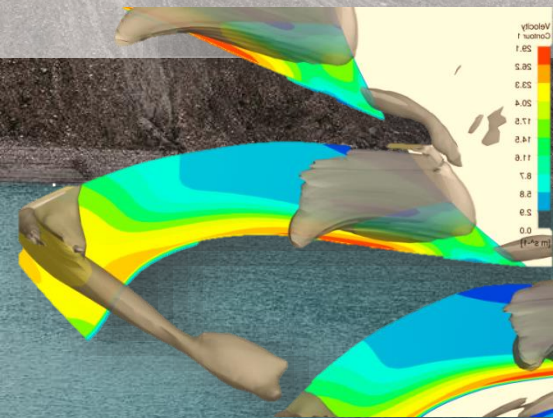


Analyse de la fatigue prématurée d'une roue de turbine Francis par une simulation fluide-structure

Jean Decaix, Vlad Hasmatuchi, Maximilian Titzschkau, Laurent Rapillard & Cécile Münch-Alligné

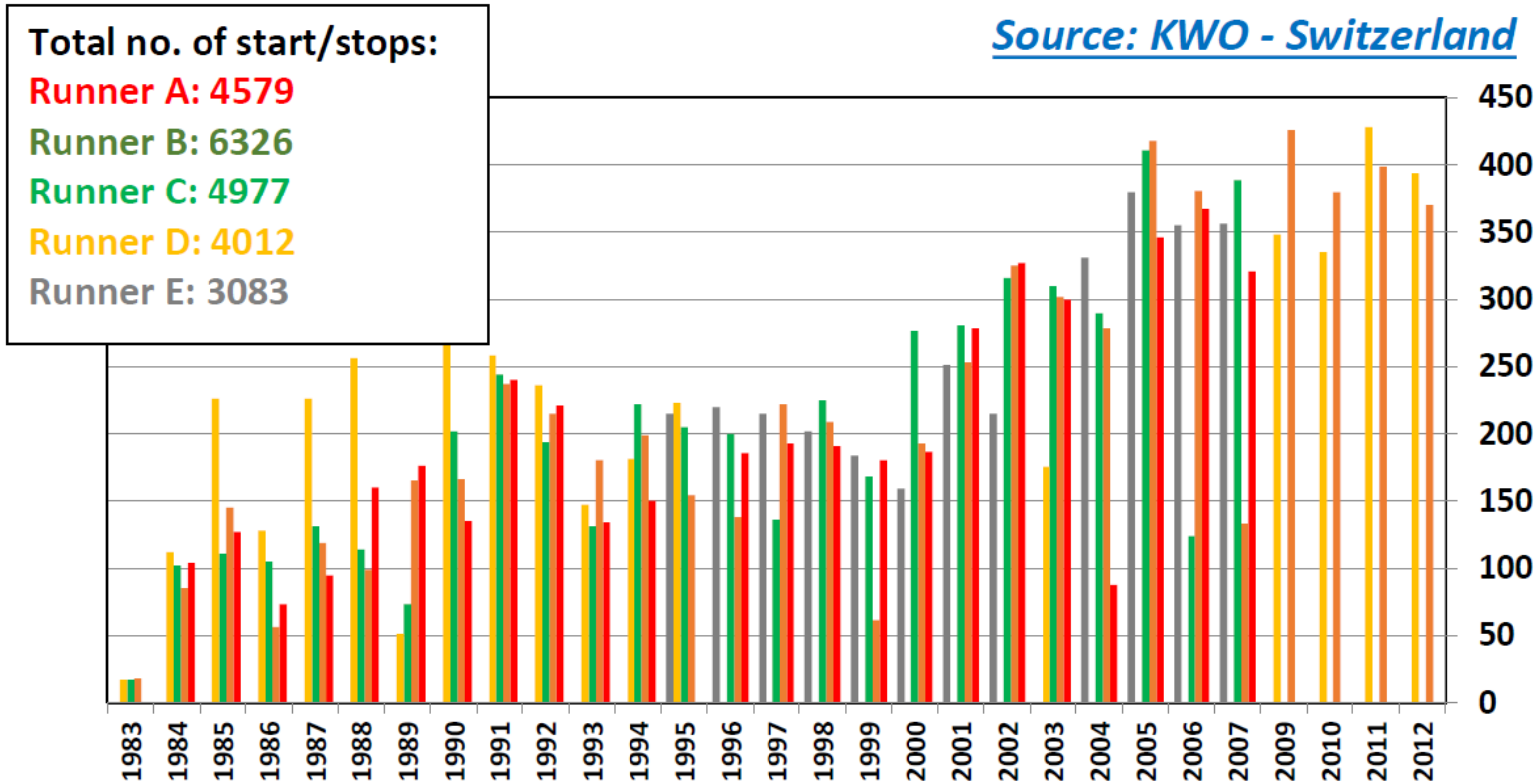
jean.decaix@hevs.ch, vlad.hasmatuchi@hevs.ch, maximilian.titzschkau@grimselhydro.ch, laurent.rapillard@hevs.ch, cecile.muench@hevs.ch

Forum Virtuel CADFEM & ANSYS 2021 – Simulation de la mécanique des fluides - Ecoulements, couplage fluide-structure, particules, refroidissement



Problématique

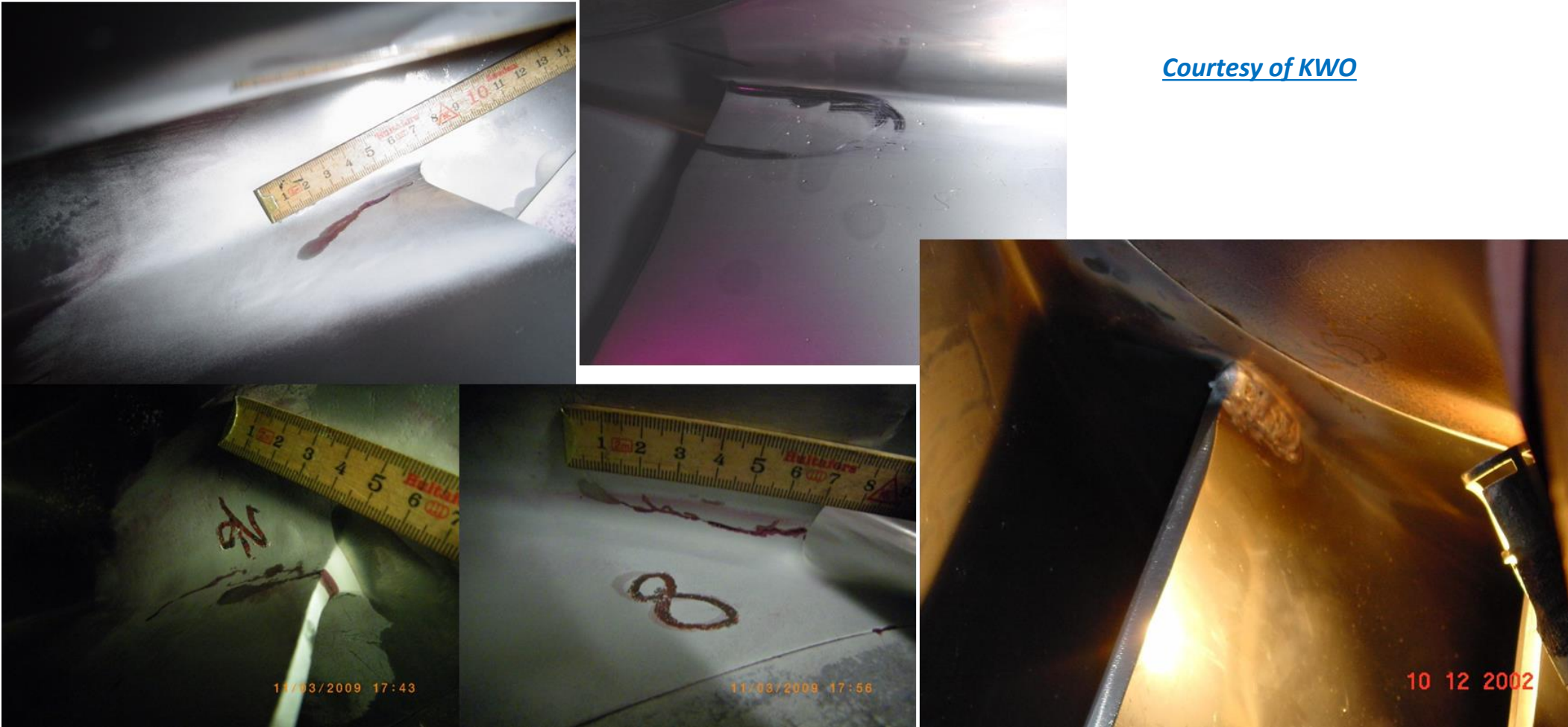
Les centrales de pompage/turbinage sont soumises à une augmentation du nombre annuel d'arrêts et démarrages



Centrale de Grimsel 2 équipée de 4 groupes ternaies

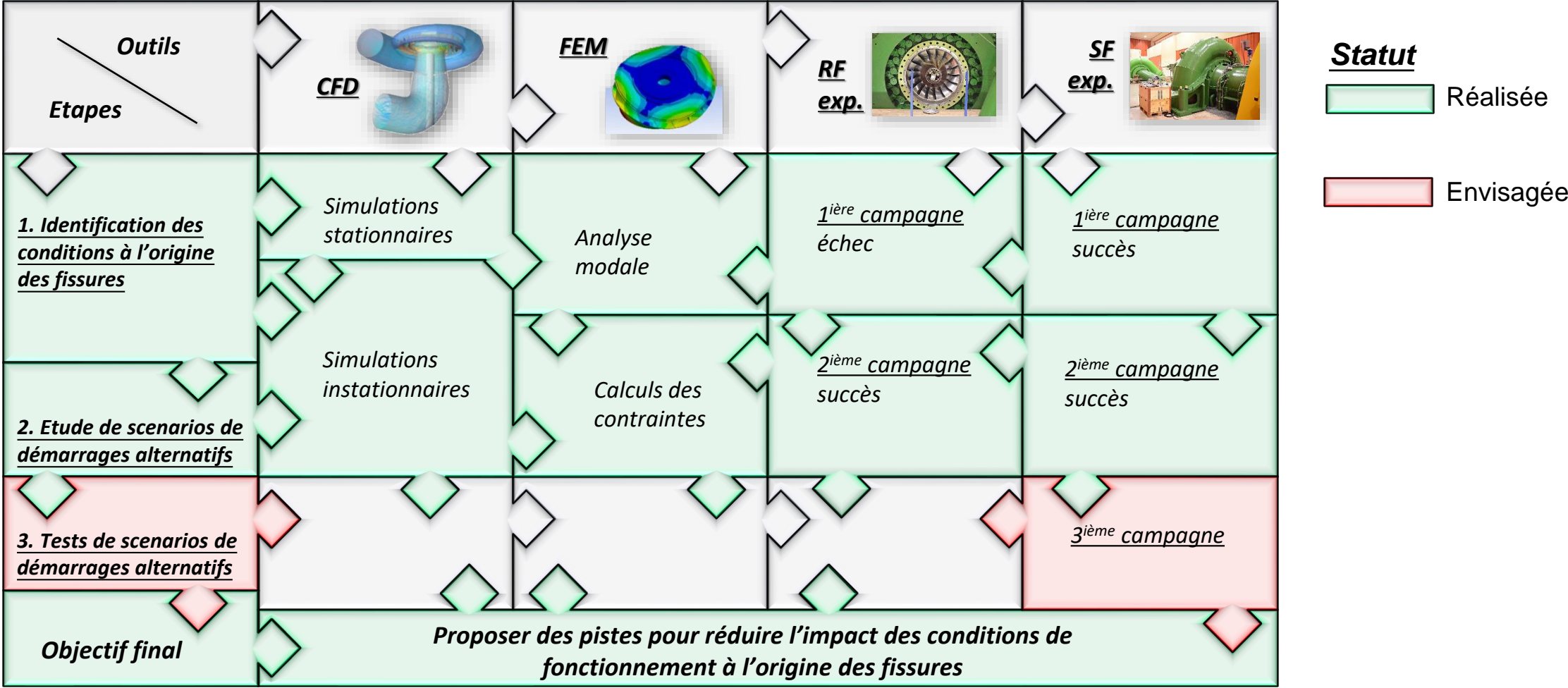
Source: KWO – Switzerland

Contexte: fatigue prématurée des aubes des turbines



OBJECTIF: Trouver le phénomène à l'origine des fissures et proposer des pistes pour limiter la fatigue

Stratégie appliquée



*V. Hasmatuchi et al., "A challenging puzzle to extend the runner lifetime of a 100 MW Francis turbine", Proceedings of Hydro 2018, Gdansk, Poland.

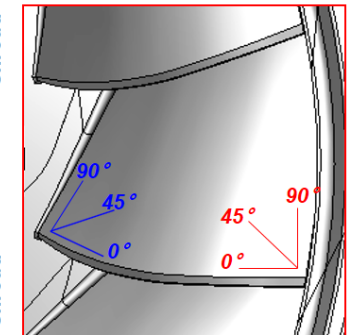
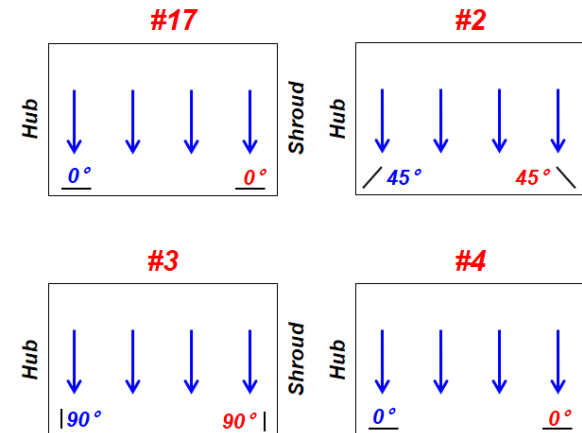
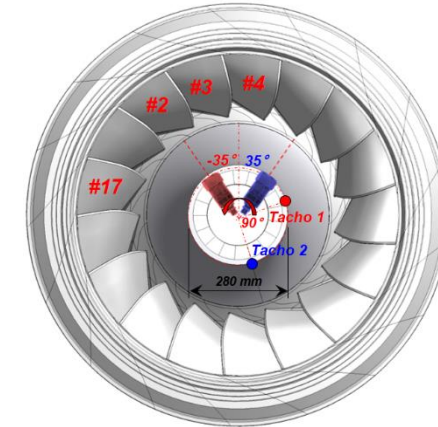
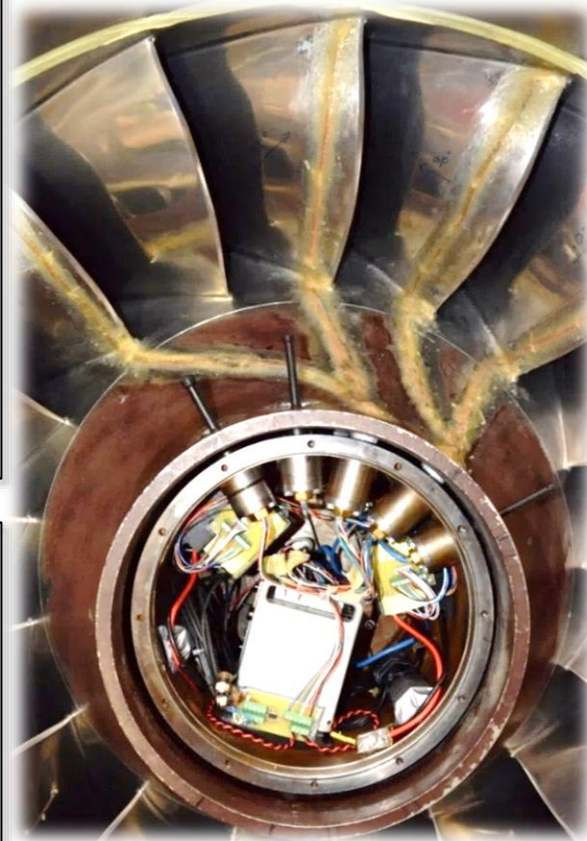
Mesures embarquées

Composants

- 1x système d'acquisition Gantner Q.brixx
- 2x batteries 21 Ah, 22.2 VDC LiPo
- 1x électronique de protection de l'alimentation électrique
- 8x jauges de contraintes quart de pont
- 2x accéléromètre uni-axe IEPE
- 2x tachomètre à induction

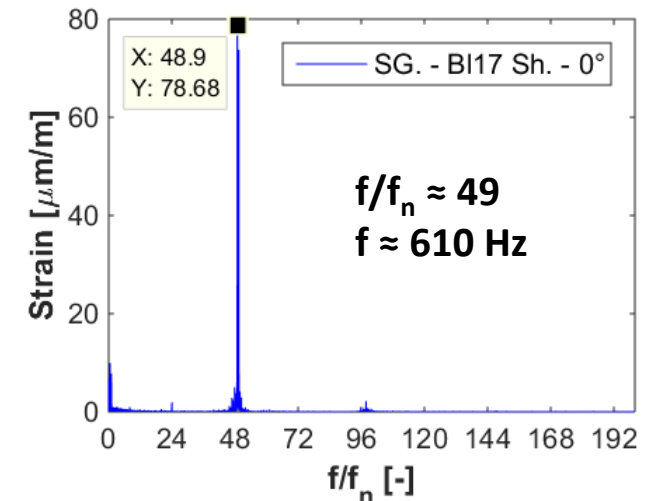
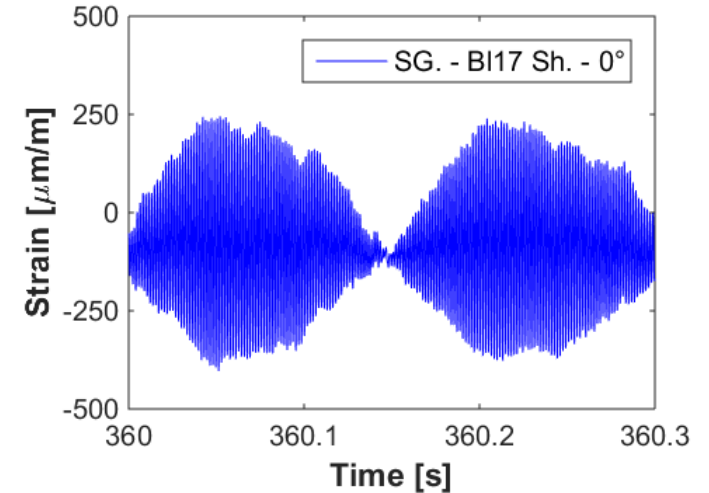
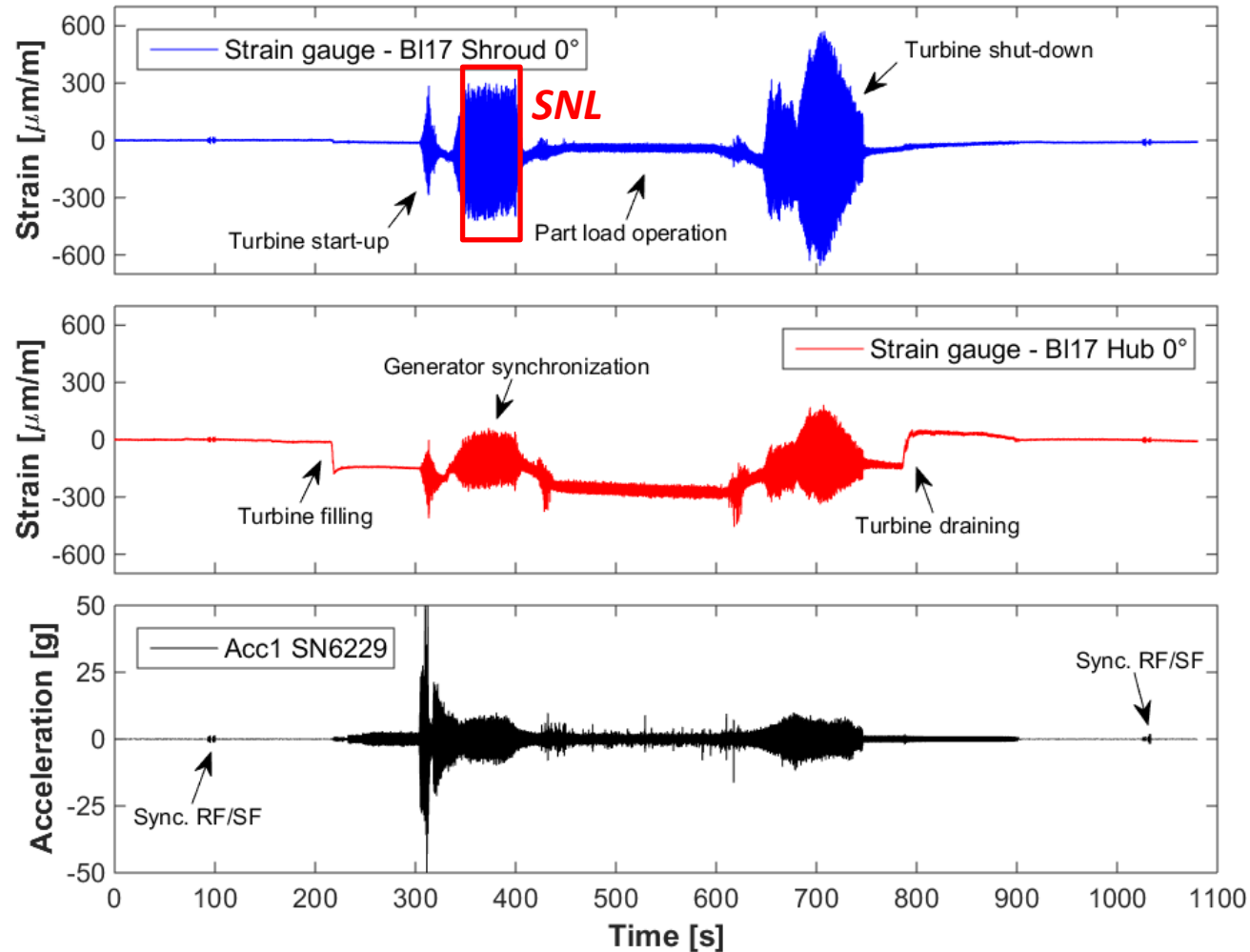
Challenges

- Pression de fonctionnement > 17 bars
- Forces centrifuges importantes: 750 tr/min
- Turbine à axe horizontal
- Accès à la roue difficile
- Garantir une autonomie de fonctionnement



Mise en évidence du mode de fonctionnement critique

- ✓ Acquisition des contraintes sur l'aube et des vibrations de la machine sur un cycle complet démarrage/arrêt
- ✓ Mise en évidence d'un niveau de contrainte élevé à charge nulle pendant les phases de synchronisation et d'arrêt.



Simulations fluides: configuration

Caractéristiques de la simulation

Maillage: 15'000'000 nœuds

Condition limite en entrée: débit ou pression totale

Condition limite en entrée : Opening

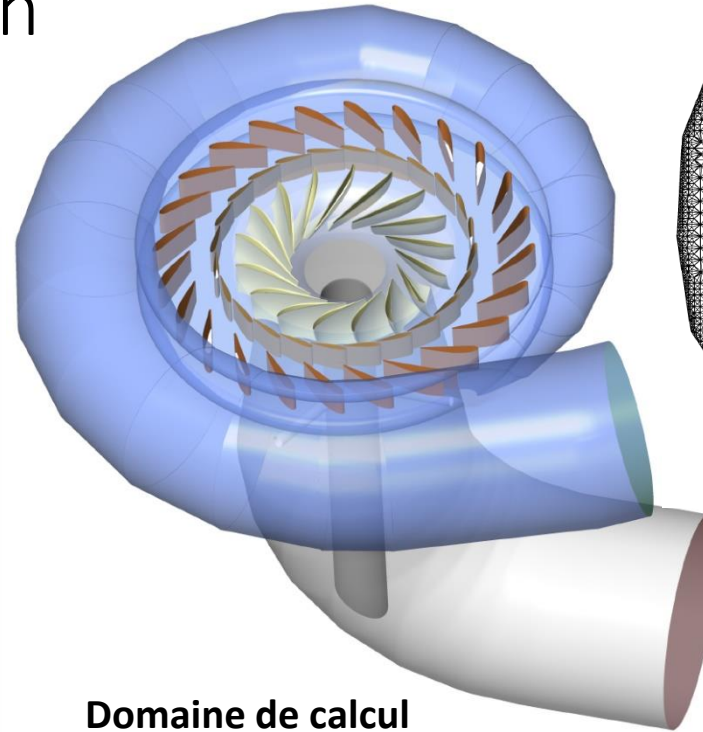
Parois solides: Vitesse nulle

Domaine de la roue: $N = 750 \text{ min}^{-1}$.

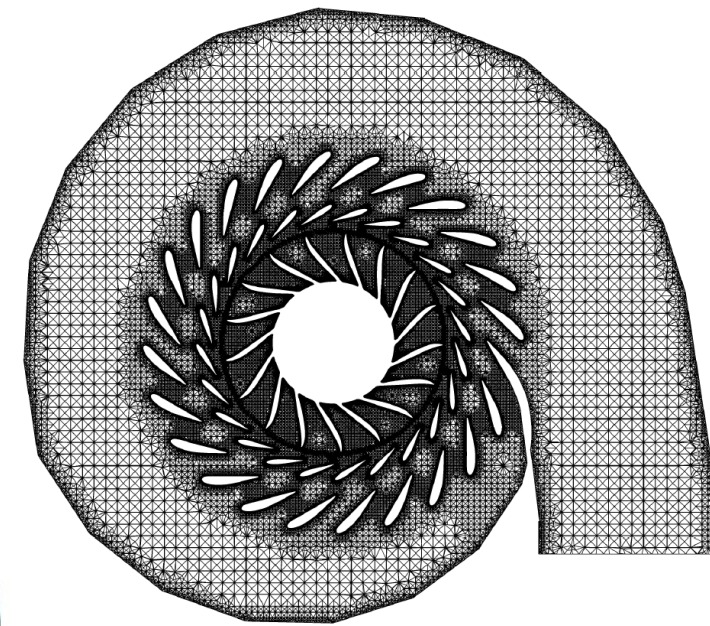
Interface rotor/stator: Frozen ou Transient.

Modèle de turbulence: SST k- ω , SAS SST k- ω , EARSM

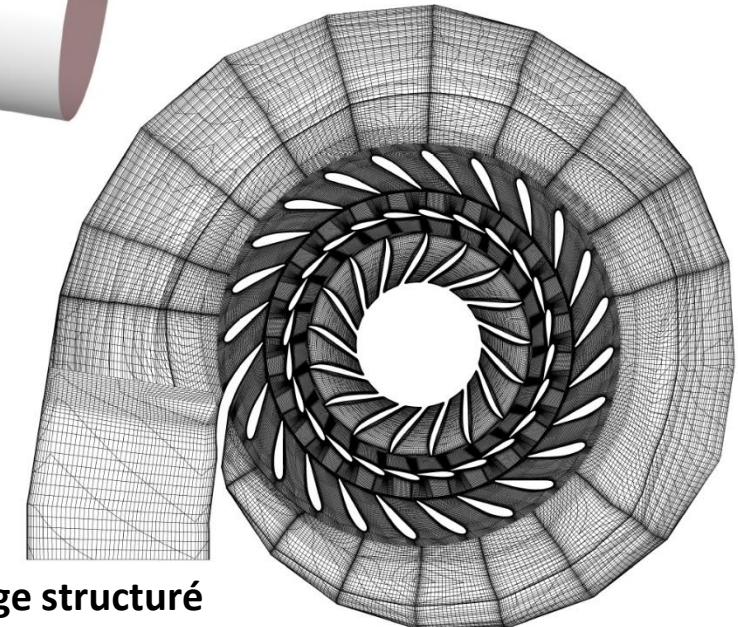
Logiciels: Ansys CFX et IcemCFD



Domaine de calcul

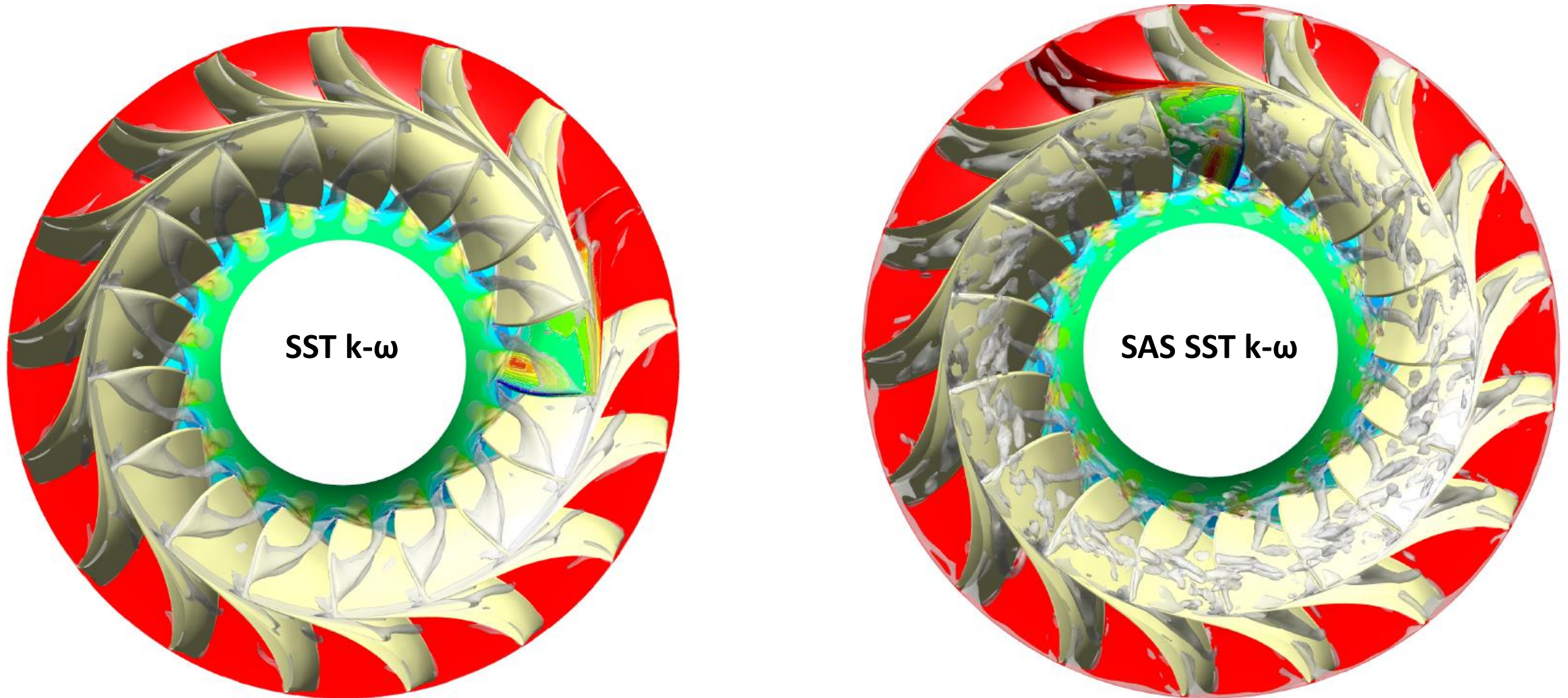


Maillage non structuré



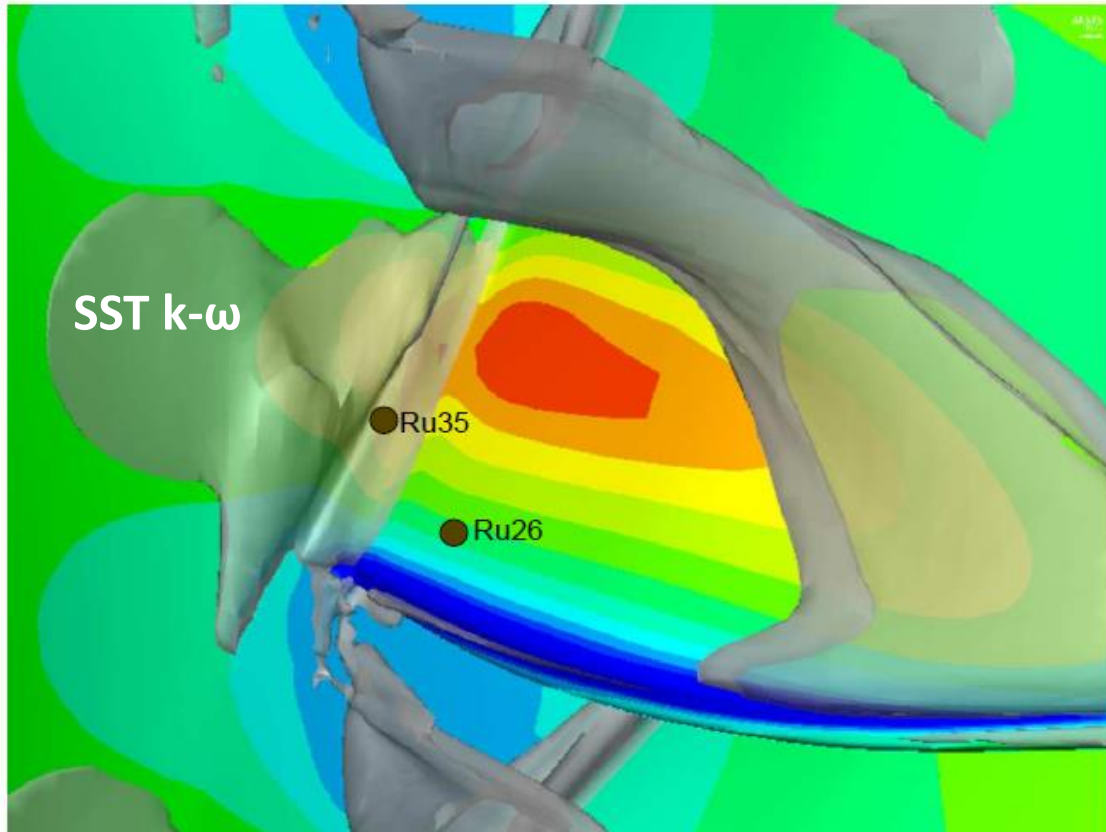
Maillage structuré

Simulations fluides: résultats

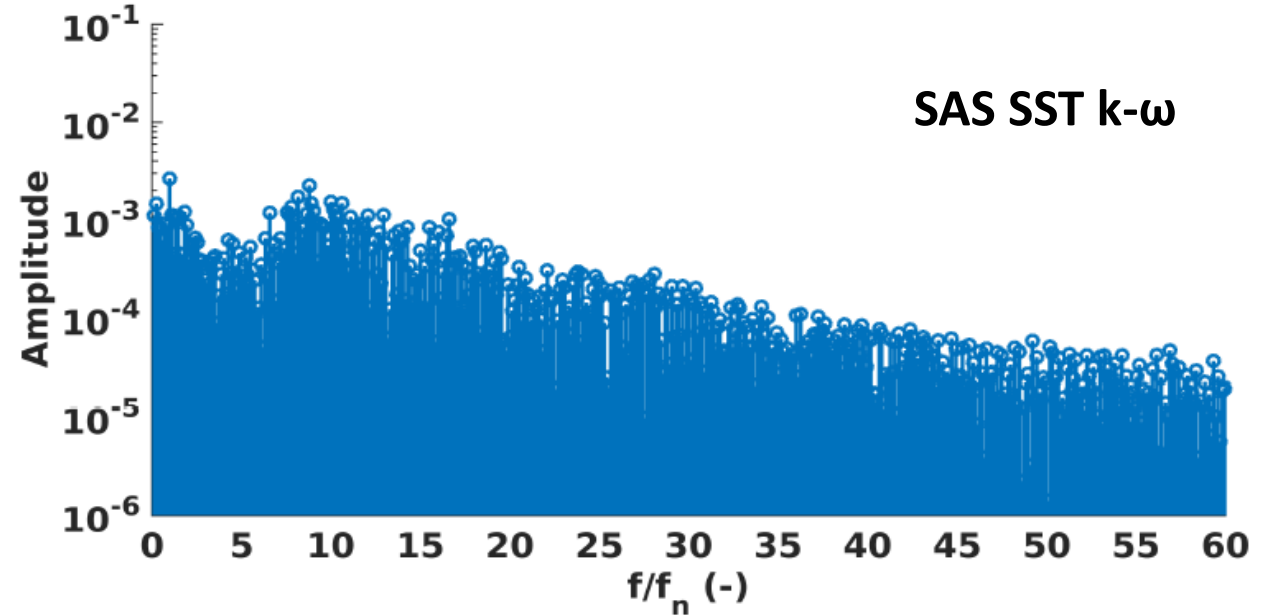
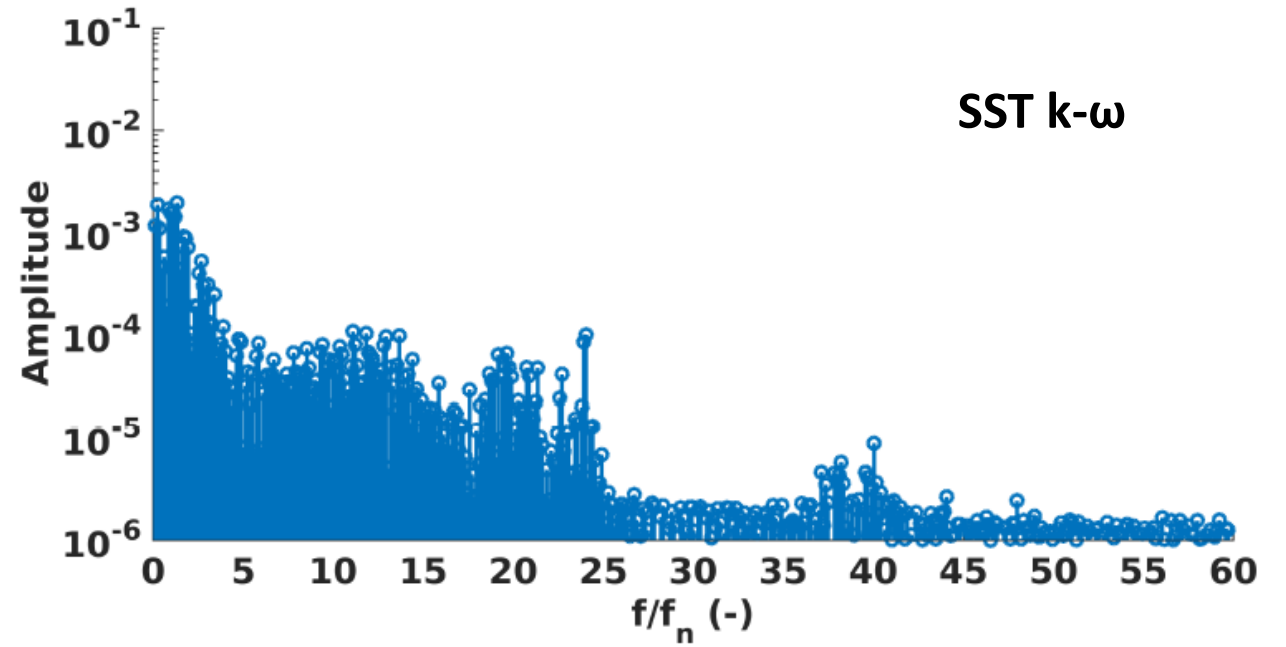


J. Decaix, V. Hasmatuchi, M. Titzschkau & C. Münch-Alligné, 2018, "CFD investigation of a high head Francis turbine at speed no-load using advanced U-RANS models", Applied Sciences, 8(12).

Simulations fluides: résultats

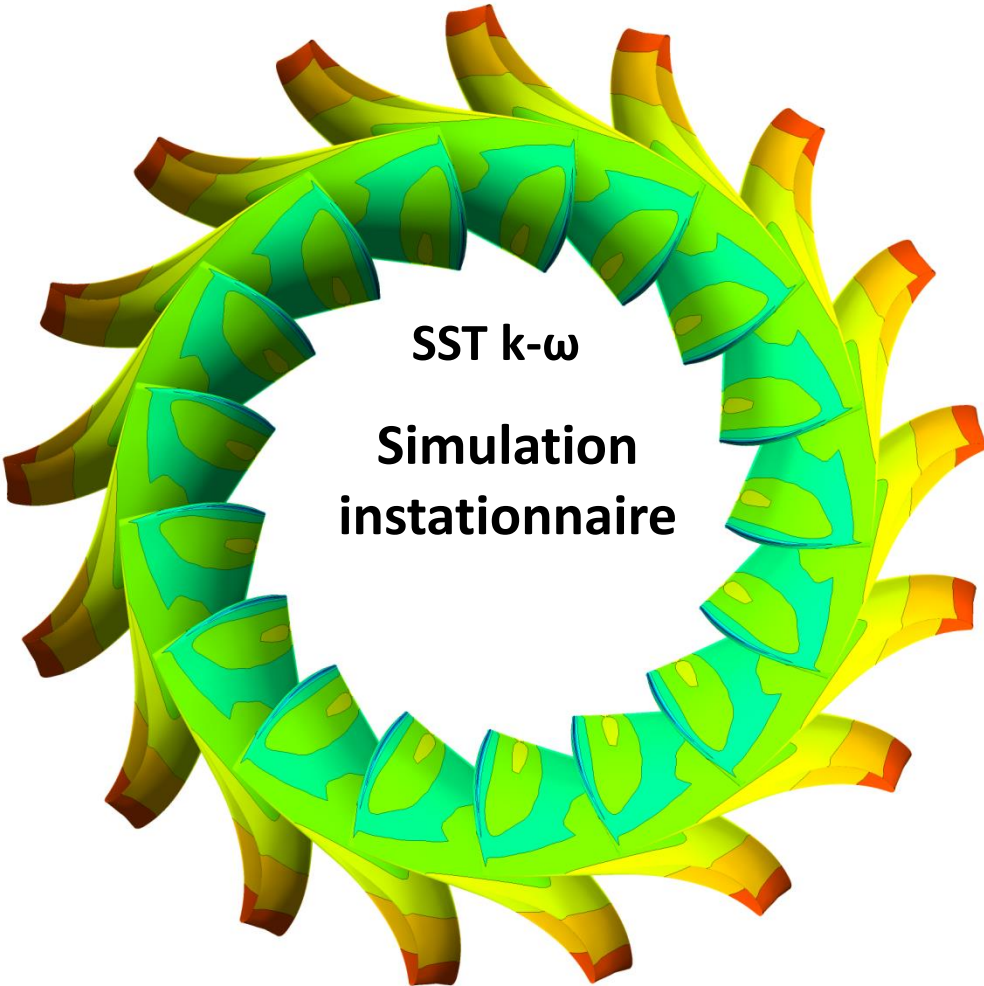
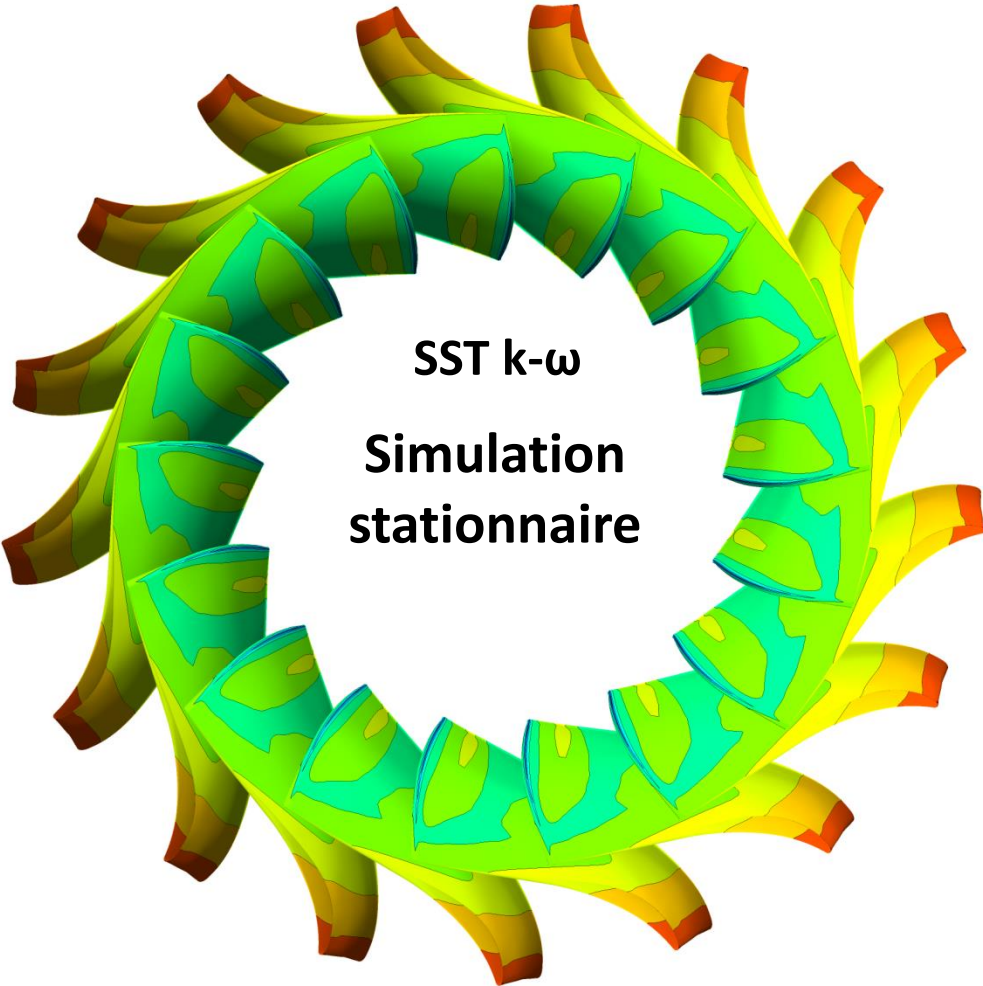


Spectre du signal de pression au niveau de la sonde Ru26



Simulations fluides: résultats

Champs de pression



Simulations structures par éléments finis

Analyse modale

Roue plongée dans un volume d'eau

Maillage tétraédriques avec 300'000 éléments

Conditions limites

- Support fixe à la liaison entre l'arbre et la roue et sur la surface plancher du réservoir d'eau
- Pression acoustique complexe sur les frontières externes du réservoir

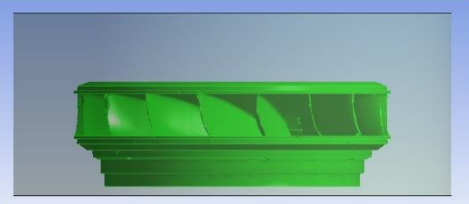
Analyse structurelle

Maillage tétraédriques avec 4'500'000 éléments

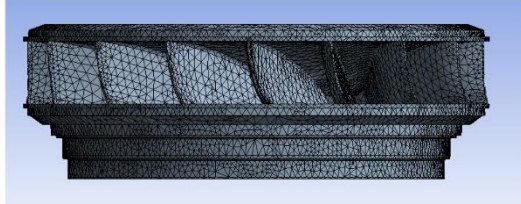
Conditions limites

- Support fixe à la liaison entre l'arbre et la roue et sur la surface plancher du réservoir d'eau
- Champ de pression exporté depuis la simulation numérique fluide stationnaire

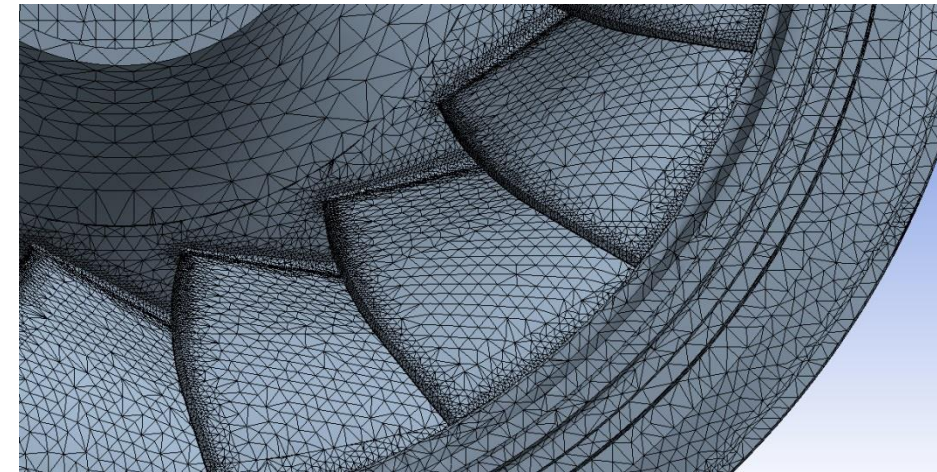
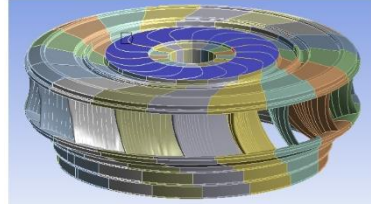
Computational domain



Mesh



Boundary conditions



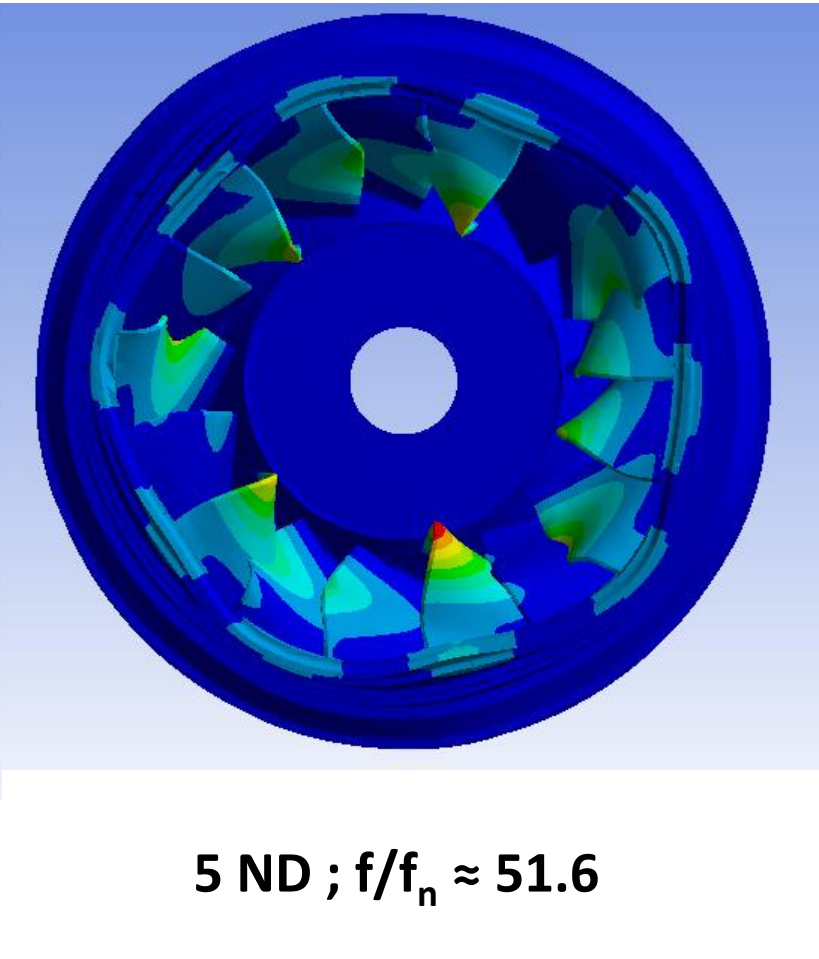
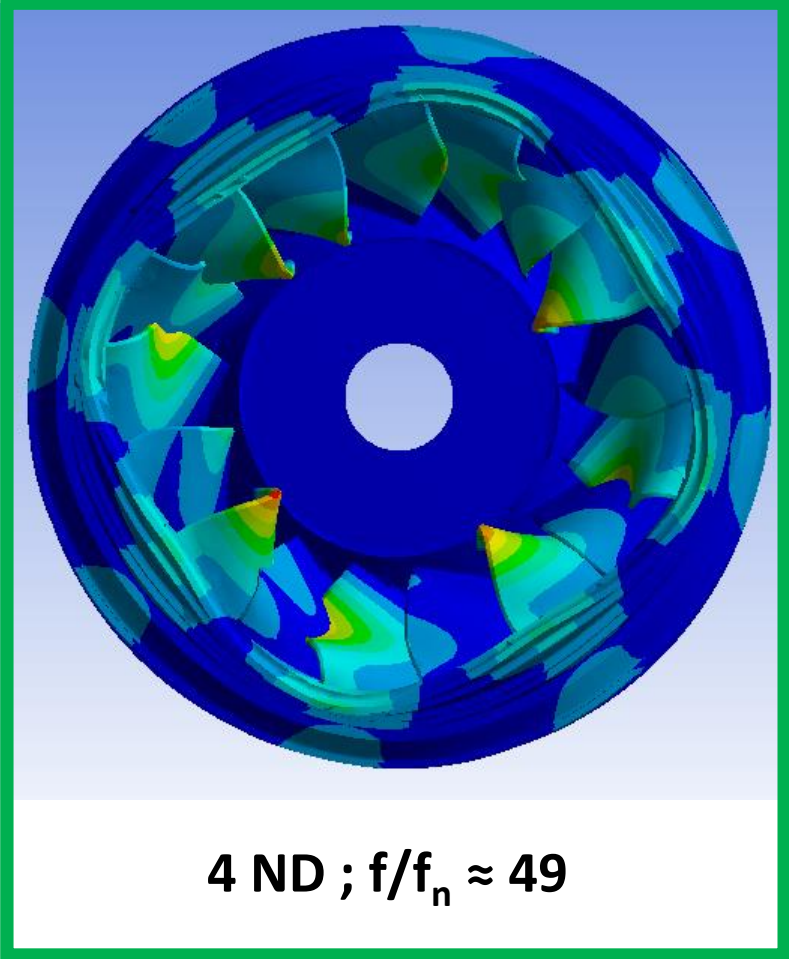
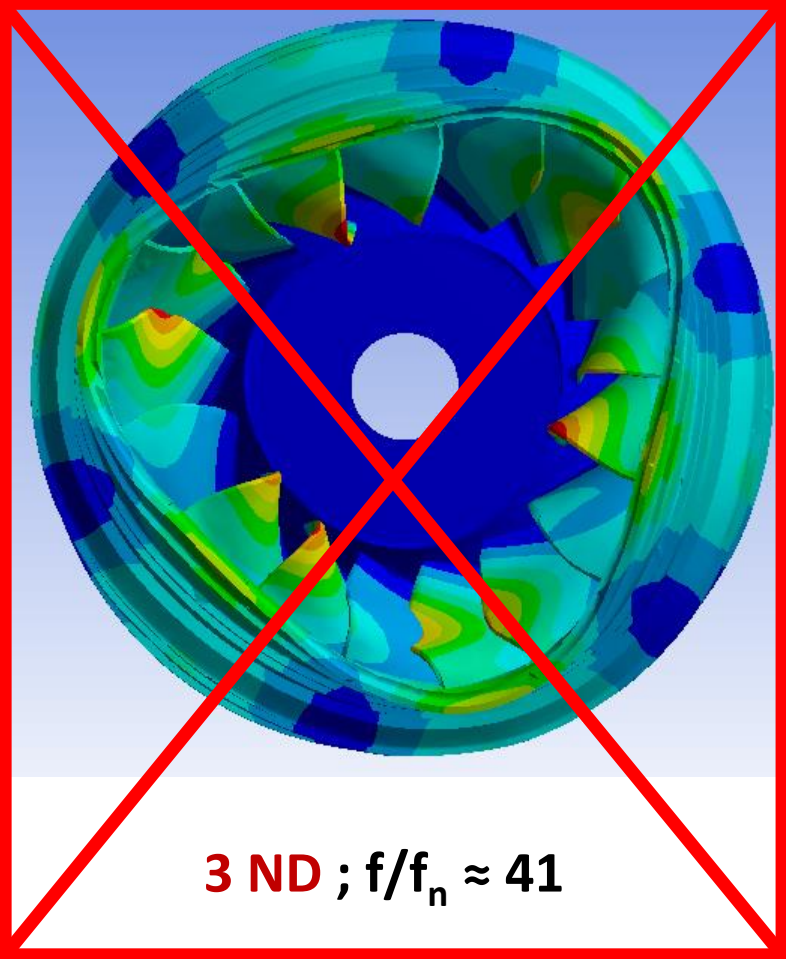
Logiciel: Ansys Mechanical

Analyse modale

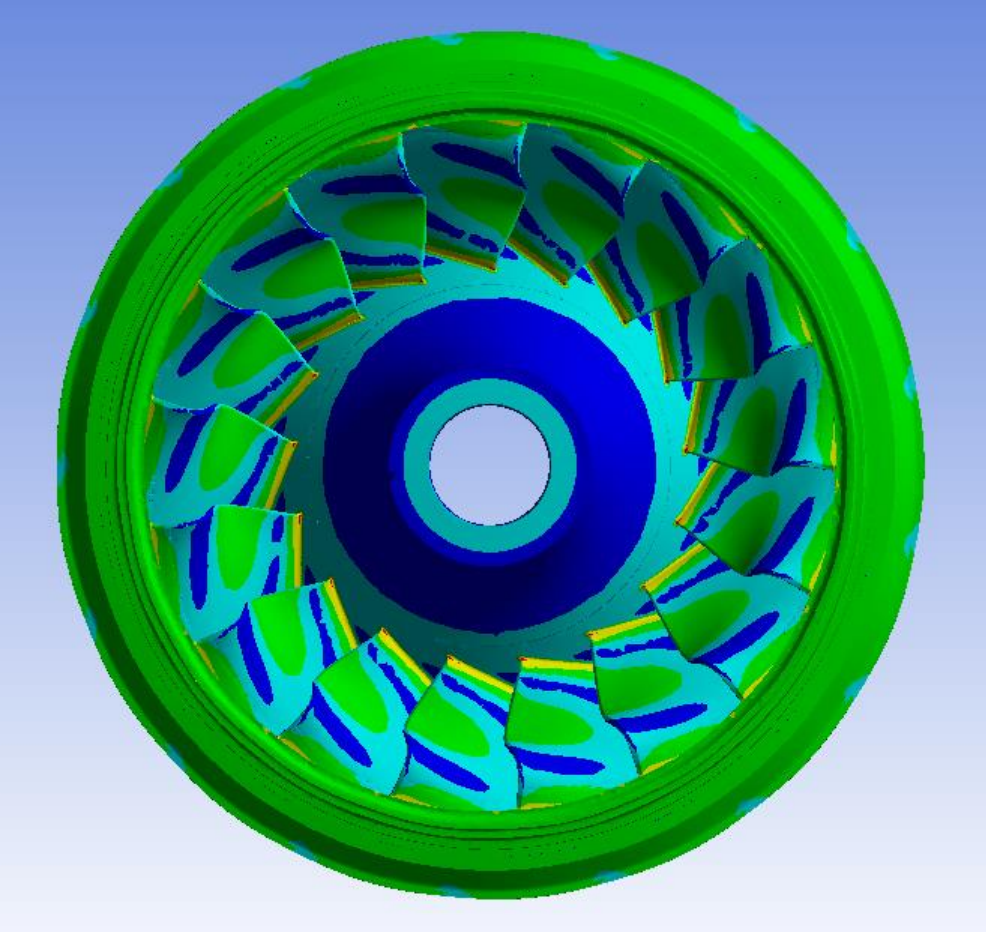
Intéraction rotor/stator

$$mZ_R - nZ_S = k$$

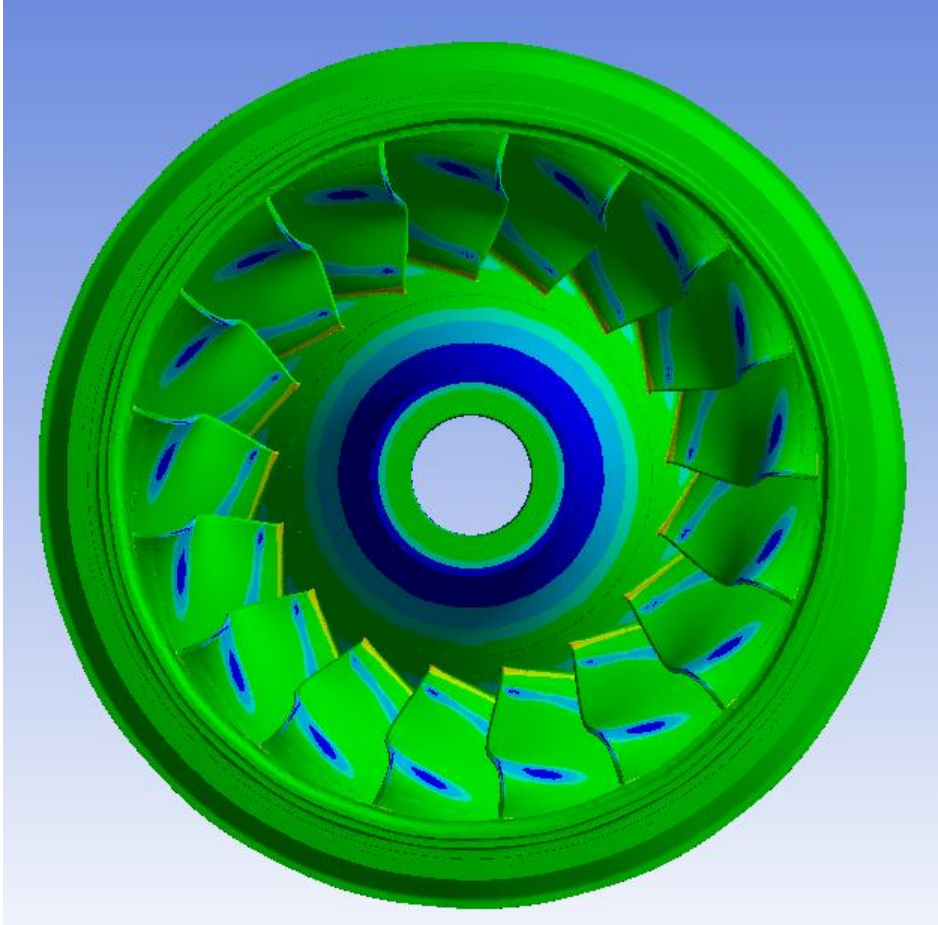
m	n	k
?	2	?



Analyse structure



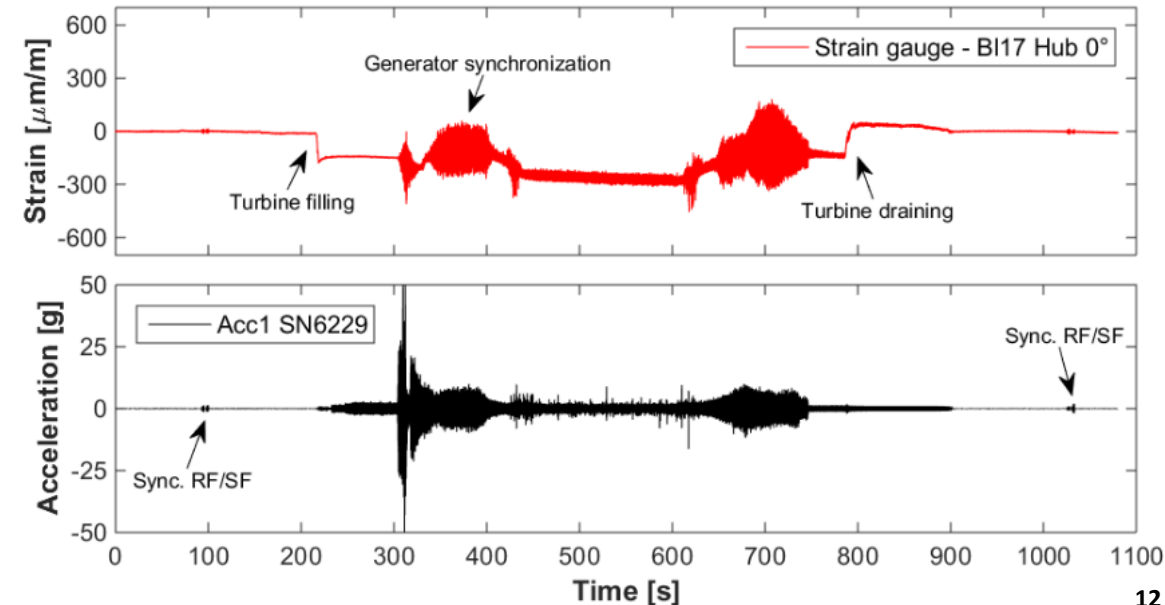
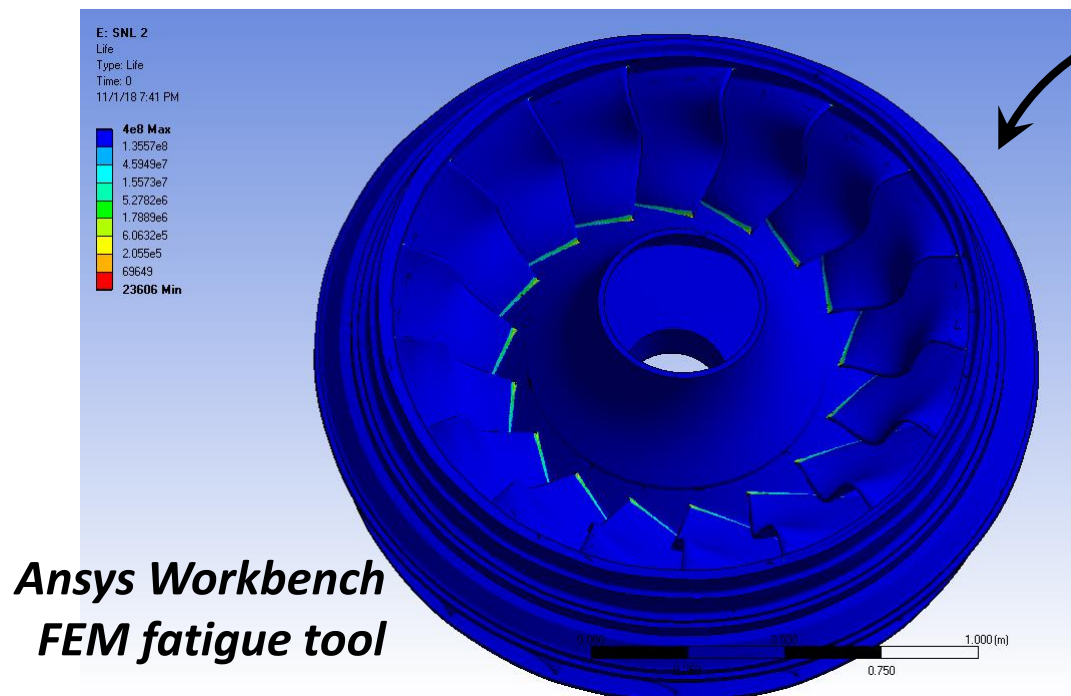
Déformations élastiques équivalentes



Contraintes équivalentes

Etude de la fatigue

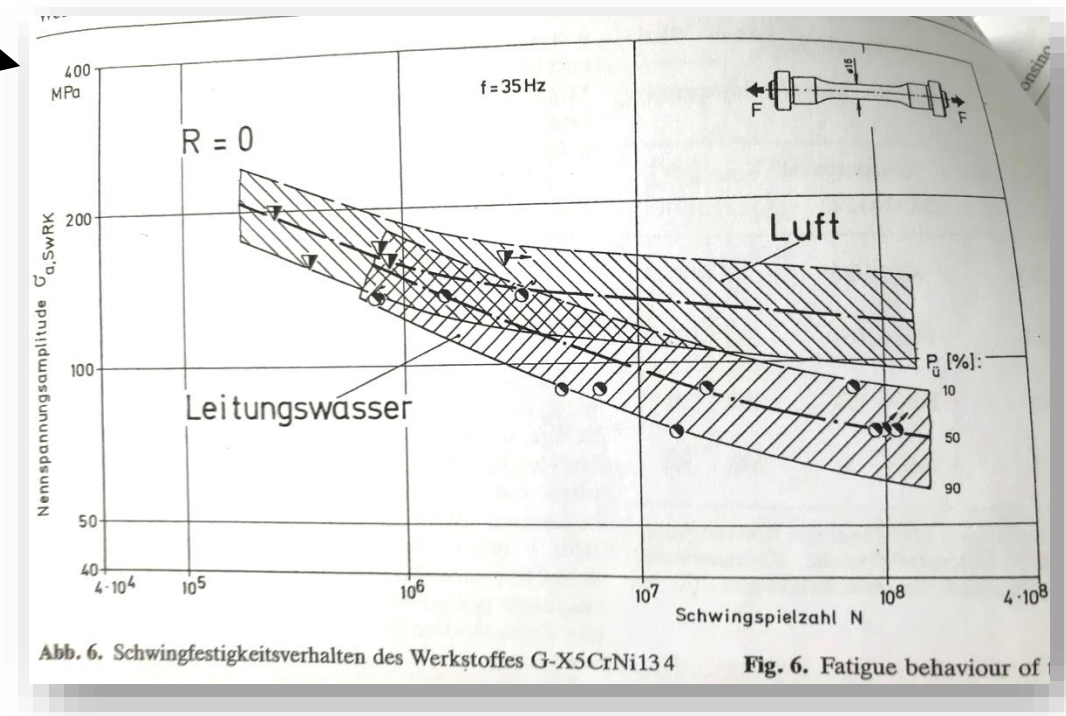
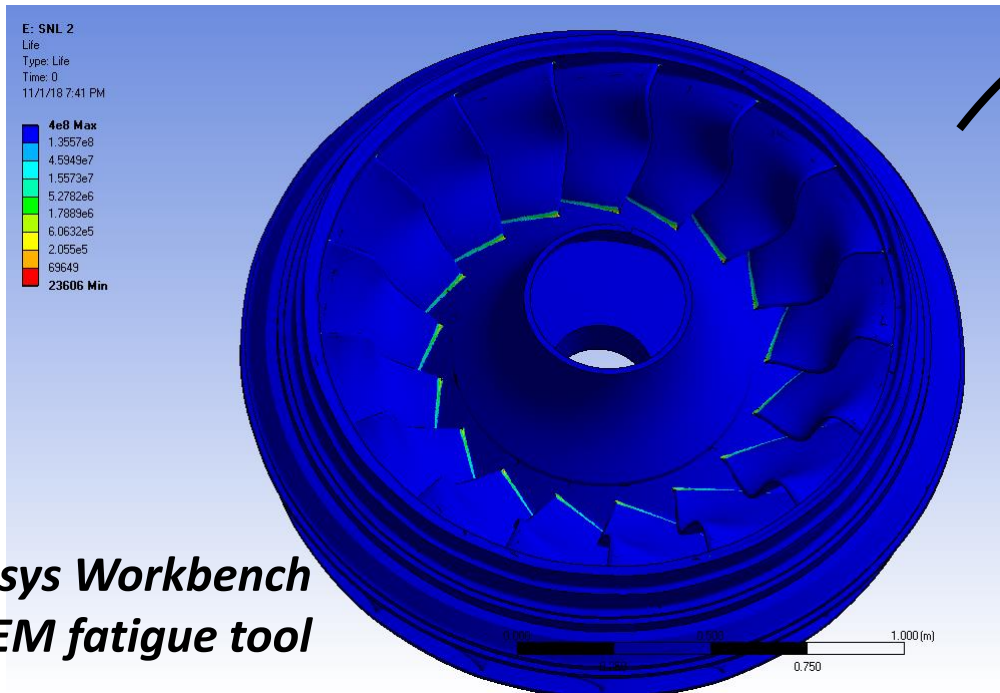
- Ajout d'une composante sinusoïdale à la contrainte moyenne
- Charge de type ratio avec un scale factor de 2.06 et un ratio de -0.02. La charge évolue entre -0.1236 et 2.06 avec une valeur moyenne de 1.
- Ces valeurs correspondent à une variation de la contrainte moyenne locale d'environ 50 MPa entre 100 MPa et 0 MPa.
- L'analyse de fatigue se base sur le critère de Soderberg.



12

FEM fatigue investigation

- ✓ La contrainte alternée équivalente σ_d est d'environ 55 MPa avec l'utilisation du critère Söderberg avec une limite élastique de l'acier G-X5 Cr Ni 13 4. $R_e = 550$ Mpa
- ✓ En reportant cette valeur sur la courbe de Wöhler en eau, les fissures devraient arriver après 10^8 cycles.
- ✓ **L'estimation basse du nombre de cycle est d'environ 5 500**



Courtesy of Sonsino C. M. & Dieterich K.,
Materials and Corrosion, 41(6), June 1990, pp. 330-342

Conclusion

- ❑ Le point de fonctionnement responsable de l'usure prématurée des aubes des turbines Francis a été identifié expérimentalement.
- ❑ L'analyse modale numérique pointe un risque d'excitation d'un mode propre de la roue différent du mode correspondant à l'interaction rotor/stator.
- ❑ L'analyse structure combinant les contraintes moyennes numériques avec l'amplitude du signal expérimentale permet d'estimer la limite du nombre de cycle avant rupture. La valeur estimée de 5 000 cycles est en accord avec les données de l'exploitant de la centrale.
- ❑ L'analyse fluide numérique ne permet pas de mettre en évidence une source d'excitation provenant du fluide. Cependant, l'utilisation de modèles de turbulence avancés type SAS SST k- ω tend à montrer l'existence d'un spectre de pression large bande qui pourrait être participé à l'excitation du mode propre.

Remerciements


FLEXSTOR - WP6 (CTI no. 17902.3 PFEN-IW-FLEXSTOR)

HES-SO VS: *V. Hasmatuchi, J. Decaix, C. Cachelin, O. Walpen, L. Rapillard, C. Münch-Alligné*

EPFL-LMH: *A. Renaud, F. Avellan*

EPFL-LCH: *P. Manso*

KWO: *M. Titzschkau*

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Swiss Confederation
Innosuisse – Swiss Innovation Agency

FlexSTOR

Hes·SO VALAIS WALLIS
School of Engineering 



GRIMSELSTROM



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

SCCER SoE

SWISS COMPETENCE CENTER for ENERGY RESEARCH
SUPPLY of ELECTRICITY

In cooperation with the CTI

 **Energy funding programme**
Swiss Competence Centers for Energy Research

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Commission for Technology and Innovation CTI

Listes de publications

- ✓ V. Hasmatuchi, M. Titzschkau, J. Decaix, F. Avellan & C. Münch-Alligné, 2017, “**Challenging onboard measurements in a 100 MW high-head Francis turbine prototype**”, Poster & Presentation at the SCCER-SoE Annual Conference 2017, Birmensdorf, Switzerland.
- ✓ J. Decaix, V. Hasmatuchi, M. Titzschkau, F. Avellan & C. Münch-Alligné, 2017, “**CFD investigation of a Francis turbine to help the experimental measurements and the definition of start-up procedures**”, Poster at the SCCER-SoE Annual Conference 2017, Birmensdorf, Switzerland.
- ✓ V. Hasmatuchi, J. Decaix, M. Titzschkau & C. Münch-Alligné, 2018, “**A challenging puzzle to extend the runner lifetime of a 100 MW Francis turbine**”, Proceedings of Hydro 2018, Gdansk, Poland.
- ✓ J. Decaix, V. Hasmatuchi, M. Titzschkau & C. Münch-Alligné, 2018, “**CFD investigation of a high head Francis turbine at speed no-load using advanced U-RANS models**”, Applied Sciences, 8(12).
- ✓ J. Decaix, V. Hasmatuchi, M. Titzschkau, L. Rapillard, P. Manso, F. Avellan & C. Münch-Alligné, 2018, “**CFD and FEM investigations of a Francis turbine at speed no-load**”, Poster at the SCCER-SoE Annual Conference 2018, Horw, Switzerland.
- ✓ V. Hasmatuchi, J. Decaix, M. Titzschkau, L. Rapillard, P. Manso, F. Avellan & C. Münch-Alligné, 2018, “**Detection of harsh operating conditions on a Francis prototype based on in-situ onboard and non-intrusive measurements**”, Poster at the SCCER-SoE Annual Conference 2018, Horw, Switzerland.
- ✓ M. Titzschkau, V. Hasmatuchi, J. Decaix & C. Münch-Alligné, 2018, “**On-board measurements at a 100MW high-head Francis turbine**”, Proceedings of Vienna Hydro 2018, Vienna, Austria.
- ✓ J. Decaix, V. Hasmatuchi, M. Titzschkau, L. Rapillard, P. Manso, F. Avellan & C. Münch-Alligné, 2019, “**Experimental and numerical investigations of a high-head pumped-storage power plant at speed no-load**”, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 240(8).
- ✓ M. Titzschkau, V. Hasmatuchi, J. Decaix & C. Münch-Alligné, 2019, “**On-board measurements at a 100MW high-head Francis turbine**”, To appear in WasserWirtschaft 2019.
- ✓ J. Decaix, V. Hasmatuchi, M. Titzschkau, L. Rapillard. & C. Münch-Alligné, 2019, “**Hydro-structural stability investigation of a 100 MW Francis turbine based on experimental tests and numerical simulations**”, To appear in IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.
- ✓ V. Hasmatuchi, J. Decaix, M. Titzschkau, O. Pacot & C. Münch-Alligné, 2019, “**Detection of harsh operating conditions on a Francis prototype based on in-situ non-intrusive measurements**”, Prepared for Hydro 2019, Porto, Portugal.
- ✓ ...