

## Stage PFE CNR (en collaboration avec GIPSA-lab - INRAE/IGE)

**Caractérisation, modélisation dynamique et surveillance de la dégradation des infrastructures de production hydroélectrique**  
**Characterization, dynamic modeling and monitoring of the degradation of hydroelectric production infrastructures**  
(English version below)

**Entreprise** : CNR (en collaboration avec GIPSA-lab et INRAE/IGE) - <https://www.cnr.tm.fr/>

**Encadrement industriel** : Sébastien GIGOT (CNR)

**Suivi laboratoire**: Christophe BERENQUER (GIPSA Lab) & Jean-Marc TACNET (INRAE/IGE)

Contact et candidatures (CV & lettre) : [christophe.berenquer@grenoble-inp.fr](mailto:christophe.berenquer@grenoble-inp.fr), [jean-marc.tacnet@inrae.fr](mailto:jean-marc.tacnet@inrae.fr), [S.Gigot@cnr.tm.fr](mailto:S.Gigot@cnr.tm.fr)

### Contexte industriel

La CNR exploite le parc d'infrastructures dédiées à la production d'énergie hydroélectrique sur le Rhône. Ces équipements vieillissent, se détériorent et suivre leur état, choisir et mettre en œuvre les meilleures stratégies de maintenance est un enjeu majeur pour la société. Les problématiques se situent de manière originale entre les domaines des risques technologiques, naturels et les décisions à prendre sont multifactorielles et complexes. Il s'agit en effet de trouver les meilleures solutions techniques mais aussi de prendre en compte les interactions avec les parties prenantes et les enjeux environnementaux, économiques, sociaux. Les stratégies de gestion d'actifs permettent d'intervenir avant une défaillance fonctionnelle ou complète de l'actif pour en prolonger la durée de vie utile.

Appuyer les choix décisionnels à l'aide d'un outil d'aide à la décision en gestion d'actifs pour proposer des scénarii décisionnels dans un contexte incertain et sans cesse en évolution devient un enjeu majeur pour la DGAC (Direction de la Gestion d'Actifs et Concession).

### Sujet de stage

#### Problématique

La volonté de la CNR, et en particulier de la DGAC, est ainsi de disposer d'une démarche méthodologique lui permettant de construire son plan de gestion d'actifs, de proposer des scénarios de maintenance permettant de garantir le taux de disponibilité des actifs, et d'aider aux prises de décision associées, par exemple sur la priorisation des actions de maintenance à mettre en œuvre. Un plan de gestion des actifs définit les stratégies et les étapes pour assurer le maintien des actifs dans le but d'en assurer le bon fonctionnement et d'en prévenir la dégradation prématurée.

Une des originalités de la démarche méthodologique à développer est qu'elle doit contribuer à mettre en œuvre une prise de décision dynamique, prenant en compte sur les informations disponibles au cours du temps sur les systèmes (évolution de leur état de santé), leur environnement et leurs contraintes opérationnelles (prix de l'énergie, contrainte de navigabilité, ...). Le développement d'une telle méthodologie nécessite de disposer de modèles, de méthodes et d'outil pour caractériser et évaluer la dégradation et l'état de santé d'un actif, pour suivre et prévoir son évolution au cours du temps jusqu'à sa défaillance éventuelle (durée de vie), pour construire des scénarios de maintenance, en évaluer les performances et aider à la prioriser.

#### Travaux prévus

Pour apporter des éléments de réponse à cette problématique et atteindre cet objectif global, le travail prévu dans ce stage PFE s'articulera autour de 2 points principaux :

1. Sur la base d'une modélisation d'ensemble à créer, **caractérisation des indicateurs et des niveaux des états de santé d'un matériel** : à partir des données d'exploitation et de maintenance, de connaissances métier sur le système considéré et de résultats d'études d'analyse fonctionnelle, la première étape des travaux consistera à définir et caractériser les divers indicateurs d'état de santé à considérer pour un matériel donné, et leurs différents niveaux. Il s'agira de proposer une définition complète de l'état de santé d'un système (ou d'une "partie du système" – sous-système, composant, mode de défaillance particulier, ...), cohérente pour les différents points de vue possibles. Ainsi, l'état de santé d'un matériel ou système ne se limitera pas à un unique état technique sectoriel ou à un niveau de dégradation physique, mais devra aussi intégrer des variables de performance, des informations sur sa maintenabilité et prendre en compte ses différents paramètres et contraintes d'exploitation. Cette première étape du travail permettra donc, à partir d'un ensemble de données et d'information hétérogènes, et parfois incomplètes ou imprécises, d'aboutir à une définition cohérente, une caractérisation complète et une cotation agrégée et non-ambiguë de l'état de santé d'un système, à partir duquel un modèle de dégradation (ou d'évolution de l'état de santé au cours du temps) pourra être élaboré. Pour un système donné, on étudiera également le niveau de granularité pertinent pour la définition de l'ensemble des indicateurs états de santé le caractérisant.
2. **Modélisation de la dynamique des processus d'évolution de l'état de santé des actifs** : sur la base des états de santé ainsi définis, on s'intéressera à l'élaboration de modèles de dégradation ou de modèles d'évolution de l'état de santé. Ces modèles ont pour rôle de rendre compte de la dynamique temporelle de l'évolution de l'état de santé, d'explicitier les dépendances entre cette dynamique de dégradation et les conditions environnementales, les contraintes opérationnelles et les événements d'exploitation auxquels est soumis le système considéré. On cherchera également à intégrer les effets des actions de maintenance dans ces modèles. Ils devront enfin rendre compte des incertitudes associées à la dynamique d'évolution de l'état de santé. Cette modélisation de la dynamique de la détérioration s'appuiera sur des connaissances de différentes natures : modèles physiques lorsqu'ils sont accessibles, données de surveillance et de retour d'expérience, et avis d'experts. Selon les données et le niveau de connaissance disponibles sur les phénomènes de dégradation considérés, différents modèles pourront être envisagés comme par exemple des modèles de sauts entre états de santé discrets, ou des modèles d'évolution continue d'un indicateur de santé. Autant que possibles, des modèles hybrides, mettant à profit aussi bien des modèles physiques que des données de surveillance et de retour d'expérience seront développés. On s'attachera à proposer des modèles de dégradation « intégrés » qui rendent compte non seulement des phénomènes de dégradation intrinsèques aux actifs considérés, mais aussi de l'effet des conditions d'exploitation, des conditions environnementales et des actions de maintenance (parfois partielles et imparfaites) sur l'évolution de leur dégradation. Sur la base de ces modèles de dégradation, on proposera des méthodes de pronostic pour prédire la durée de vie résiduelle de l'actif (par l'estimation du temps d'atteinte d'un niveau de dégradation inacceptable), ou de façon équivalente, sa fiabilité conditionnelle, qui constituent des variables d'entrée indispensables pour la prise de décision de gestion d'actif.  
**Les développements réalisés seront mis en œuvre sur des systèmes cibles** : portes d'écluse, alternateurs, évacuateurs de crue

Ce sujet pourra faire l'objet d'une poursuite en thèse CIFRE

### Profil souhaité

- Stage Master 2 ou PFE Ingénieur : Automatique, Mathématiques Appliqués, Recherche Opérationnelle, Sciences des Données, Génie Industriel, Génie Civil

### Avantages

- Logement ou indemnité logement sous conditions
- Tickets restaurants pour les stages de plus de 2 mois
- Prise en charge de 50% des frais de transport en commun domicile-travail

## **CNR PFE internship (in collaboration with GIPSA-lab - INRAE/IGE)**

### **Characterization, dynamic modeling and monitoring of the degradation of hydroelectric production infrastructures**

**Company:** CNR (in collaboration with GIPSA-lab and INRAE/IGE) - <https://www.cnr.tm.fr/>

**Industrial supervisor:** Sébastien GIGOT (CNR)

**Laboratory supervisors :** Christophe BERENGUER (GIPSA Lab) & Jean-Marc TACNET (INRAE/IGE)

**Contact and application (CV & letter):** [christophe.berenguer@grenoble-inp.fr](mailto:christophe.berenguer@grenoble-inp.fr), [jean-marc.tacnet@inrae.fr](mailto:jean-marc.tacnet@inrae.fr), [S.Gigot@cnr.tm.fr](mailto:S.Gigot@cnr.tm.fr)

### **Industrial context**

CNR operates the infrastructure dedicated to the production of hydroelectric power on the Rhône. This equipment ages and deteriorates, and monitoring its condition and choosing and implementing the best maintenance strategies is a major challenge for the company. The issues involved lie somewhere between technological and natural risks, and the decisions to be made are multifactorial and complex. The aim is not only to find the best technical solutions, but also to take into account interactions with stakeholders and environmental, economic and social issues. Asset management strategies make it possible to intervene before an asset fails, either functionally or completely, in order to extend its useful life. A major challenge for the DGAC (Direction de la Gestion d'Actifs et Concession) is to support decision-making choices using an asset management decision-support tool, in order to propose decision-making scenarios in an uncertain and constantly evolving context.

### **Problem statement**

CNR, and in particular the DGAC, wanted a methodological approach that would enable it to build its asset management plan, to propose maintenance scenarios that would guarantee asset availability, and to help with the associated decision-making, for example on the prioritization of maintenance actions to be implemented. An asset management plan defines the strategies and steps involved in maintaining assets, with the aim of keeping them running smoothly and preventing premature deterioration.

One of the original features of the methodological approach to be developed is that it must contribute to implementing dynamic decision-making, taking into account the information available over time on the systems (changes in their state of health), their environment and their operational constraints (energy prices, airworthiness constraints, etc.). The development of such a methodology requires models, methods and tools to characterize and assess the degradation and state of health of an asset, to monitor and predict its evolution over time until its eventual failure (service life), to build maintenance scenarios, evaluate their performance and help prioritize them.

### **Planned work**

To provide answers to this problem and achieve this overall objective, the work planned in this PFE internship will focus on 2 main points:

1. On the basis of an overall model to be created, characterization of the indicators and levels of equipment health states: using operating and maintenance data, business knowledge of the system in question and the results of functional analysis studies, the first stage of the work will consist of defining and characterizing the various health state indicators to be considered for a given piece of equipment, and their different levels. The aim will be to propose a complete definition of the state of health of a system (or of a "part of the system" - sub-system, component, particular failure mode, etc.), consistent for the different possible points of view. In this way, the state of health of a piece of equipment or system will not be limited to a single technical state or level of physical degradation, but will also have to integrate performance variables, information on its maintainability and take into account its various operating parameters and constraints. This first stage of the work will therefore enable us, from a set of heterogeneous and sometimes incomplete or imprecise data and information, to arrive at a coherent definition, a complete characterization and an aggregated and unambiguous rating of the state of health of a system, from which a model

of degradation (or evolution of the state of health over time) can be developed. For a given system, we will also study the relevant level of granularity for defining the set of health status indicators characterizing it.

2. Modeling the dynamics of asset health evolution processes: on the basis of the health states thus defined, we will focus on the development of degradation models or health state evolution models. The role of these models is to account for the temporal dynamics of health state evolution, and to explain the dependencies between these degradation dynamics and the environmental conditions, operational constraints and operating events to which the system in question is subjected. We will also seek to integrate the effects of maintenance actions into these models. Finally, they will need to take account of the uncertainties associated with the dynamics of the evolution of the state of health. This modeling of deterioration dynamics will draw on a variety of knowledge sources: physical models where available, monitoring and feedback data, and expert opinion. Depending on the data and level of knowledge available on the deterioration phenomena under consideration, different models may be envisaged, such as jump models between discrete states of health, or continuous evolution models of a health indicator. Wherever possible, hybrid models will be developed, drawing on both physical models and monitoring and feedback data. The aim will be to propose "integrated" degradation models that take into account not only the intrinsic degradation phenomena of the assets under consideration, but also the effect of operating conditions, environmental conditions and maintenance actions (sometimes partial and imperfect) on the evolution of their degradation. Based on these degradation models, prognostic methods will be proposed to predict the residual life of the asset (by estimating the time to reach an unacceptable level of degradation), or equivalently, its conditional reliability, which are essential input variables for asset management decisions.
3. The developments achieved will be implemented on target systems: lock gates, alternators, spillways, etc.

This internship will be possibly followed by CIFRE funded PhD