

**OFFRE CONJOINTE DE  
STAGE DE MASTER  
ET DE  
THESE DE DOCTORAT**

**Titre :** Conception d'un logiciel d'aide à la décision basé sur des techniques d'intelligence artificielle en vue d'optimisation de centrales énergétiques hybrides pour des applications mobiles et stationnaires

**Laboratoire d'accueil principal :** Institut FEMTO-ST, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard - <https://www.femto-st.fr/fr/Departements-de-recherche/ENERGIE/Equipes-de-recherche/SHARPAC>

**Laboratoire partenaire :** Laboratoire Connaissance et Intelligence Artificielle Distribuées (CIAD) de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard et de l'Université Bourgogne Franche-Comté – <http://www.ciad-lab.fr>

**Entreprise d'accueil du stagiaire et partenaire pour la thèse (contrat CIFRE) :**

XYDROGEN, Etupes (25), France

**Spécialité du doctorat préparé :** Energie

**Mots-clefs :** modélisation sémantique de systèmes d'énergie, dimensionnement optimal des centrales d'énergies renouvelables, construction automatique de réponses à appels d'offres, intelligence artificielle

**Descriptif détaillé du projet :**

**1. Contexte et état de l'art**

La société XYDROGEN conçoit de nouveaux systèmes énergétiques en se basant principalement sur les systèmes hydrogène et les solutions de stockage des énergies renouvelables. La structuration de XYDROGEN est composée de deux parties :

- La construction d'une base de connaissances XYDROMARK<sup>®</sup> concernant les différentes offres disponibles en termes de production, stockage ou distribution de l'énergie. Cette base de connaissance est appelée la Marketplace XYDROMARK<sup>®</sup>.

- Un bureau d'études XYDRODESK<sup>®</sup> répondant aux exigences des clients de XYDROGEN par des études de faisabilité, du chiffrage budgétaire, des missions d'engineering et de consulting liées à des projets énergétiques.

La Marketplace est composée de 800 partenaires : c'est la première plateforme internationale dédiée au dimensionnement optimal des centrales d'énergie intégrant les à l'hydrogène et au stockage des énergies renouvelables ainsi que l'hydrogène, l'électricité et la thermique pour le stockage et la gestion énergétique. La constitution de la base de connaissance de la Marketplace est réalisée par des actions de veille technologique à partir d'informations récoltées dans les salons, les communications professionnelles et l'Internet. Cette veille est réalisée manuellement par les collaborateurs de XYDROGEN qui collationnent les documents, les analysent, et injectent les connaissances extraites dans la base de données de la Marketplace.

Le bureau d'études XYDRODESK<sup>®</sup> utilise les connaissances acquises dans la Marketplace afin de construire ses propositions. Dans l'état actuel des outils utilisés par XYDROGEN, les différentes propositions sont réalisées également « à la main » grâce à différents logiciels spécialisés exploités par les collaborateurs de XYDROGEN. Par conséquent, les études technico-économiques prennent énormément de temps pour être mises en place. Pourtant, ces études suivent la même méthodologie, même si les données et les usages diffèrent selon les clients.

La problématique posée par XYDROGEN est donc :

**Comment aider à la construction automatique d'une étude énergétique en considérant différentes données d'entrées et usages, qui évolueront dans le futur ?**

La solution envisagée dans cette thèse CIFRE consiste à créer un logiciel d'aide à la décision. Ce logiciel a comme objectifs de créer un prédimensionnement simple et rapide intégrant les nouvelles technologies issues de la Marketplace XYDROMARK<sup>®</sup>, et les aspects une étude technico-économiques-environnementaux (cout, bilan carbone, recyclabilité) fiable et actuelle. Ainsi, le logiciel devra avoir différentes propriétés :

1. Implanter les connaissances métier de XYDROGEN afin de construire les propositions (hybridations des systèmes énergétiques) ;
2. Utiliser les connaissances acquises dans la Marketplace qui sont liées aux composants de production, transport et stockage et distribution de l'énergie ;
3. Permettre l'exploration et l'optimisation interactive des différentes propositions données par le logiciel sur la base de critères prédéfinis.

Tout d'abord, le point 3 affirme l'intérêt de XYDROGEN pour un outil intuitif, interactif et évolutif (veille permanente des technologies) en corrélation avec les tendances actuelles de création de logiciels d'aide à la décision [1]. Toutefois, l'idée est de faire progresser l'état de l'art en proposant un outil inspiré des interactions homme-machine dans le domaine des outils de navigation [2,3] ou des jeux vidéo [4].

Le cœur des travaux de cette thèse CIFRE correspond aux points 1 et 2, cités ci-dessus. En effet, afin de permettre l'implantation du logiciel par les équipes d'ingénieurs du laboratoire Connaissance et Intelligence Artificielle Distribuées (CIAD) de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, il est nécessaire de réaliser un travail théorique visant à :

1. Formaliser les connaissances dans le domaine de l'énergie qui sont intrinsèquement utilisées par les collaborateurs de XYDROGEN.
2. Formaliser la méthodologie utilisée par les collaborateurs du bureau d'études afin de permettre son automatisation.

D'une part, le domaine scientifique de l'intelligence artificielle possède un champ d'études concernant la modélisation de connaissances métier (ou connaissances expertes) dans différents domaines tels que l'industrie [8], les villes intelligentes [6], et également l'énergie [5,7]. Ces

différents travaux ont utilisé des techniques issues de la modélisation à base d'ontologies, de réseaux sémantiques, de processus de modélisation, etc. De plus, plus récemment, des travaux se sont intéressés à l'évolution au cours du temps des connaissances métiers afin de limiter la part de compétences dans les entreprises [9] ou de s'adapter à de nouvelles informations technico-légales [10] et notamment le domaine du « lifelong machine learning » [11]. Sur le plan énergétique, il sera question d'intégrer les derniers résultats de travaux de recherche en termes de modélisation et le dimensionnement des centrales énergétiques hybrides répondant à la problématique environnementale liée à la pollution et la pénurie des ressources fossiles. Ces centrales regroupent notamment les sources d'énergies renouvelables (éolien, solaire, hydrolien, biomasse, géothermie...), les usages stationnaire et mobile et le stockage via l'hydrogène, l'électricité et la chaleur [exemples : 12 , 13, 14].

D'autre part, le domaine de la modélisation de systèmes complexes à base d'intelligence artificielle (comme les systèmes multi-agents), c'est intéressé à la modélisation des concepts, processus et méthodes pour construire des méthodologies de création de systèmes complexes. Or, les systèmes étudiés par XYDROGEN sont par nature complexes. Il est par conséquent intéressant d'explorer cette direction de recherche afin de formaliser la méthodologie utilisée par les collaborateurs de XYDROGEN et de permettre sa généralisation et son évolution en fonction des connaissances et des pratiques technico-légales.

## 2. Objectifs

Les objectifs de cette thèse CIFRE sont :

- Proposer un modèle évolutif pour la formalisation des connaissances métier de XYDROGEN, de manière la plus générique et la plus abstraite possible, afin de permettre l'usage du modèle proposé pour différentes études multi-énergies et multi-technologies. et indépendamment d'instances de technologies particulières.
- Proposer un processus méthodologique évolutif de construction de solutions dans le domaine de l'énergie. Cette méthodologie devra utiliser des techniques d'intelligence artificielle (notamment apprentissage artificiel) afin de permettre la construction « intelligente » des solutions énergétiques optimisées et une évolution dynamique en fonction des modifications de la base de connaissances dans le domaine de l'énergie.
- Proposer un prototype de logiciel de dimensionnement calcul des offres de (niveau TRL 6 ou TRL7 à confirmer), en collaboration avec les ingénieurs du laboratoire CIAD, et excluant la partie interface homme-machine qui reste à la charge des ingénieurs du CIAD. Ce logiciel prendra la forme d'un service logiciel (type web-service si cette solution technique est retenue).

## Références bibliographiques :

[1] Frutos-Pascual, M., & Zapirain, B. G. (2015). Review of the use of AI techniques in serious games: Decision making and machine learning. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, 9(2), 133-152.

[2] Google maps (2015). Retrieved 25th January 2015.

[3] Open street map (2014) . Retrieved March, 18, 2014.

[4] Borgdorff, J., Krishna, H., & Lees, M. H. (2015, January). SIM-CITY: An e-Science Framework for Urban Assisted Decision Support. In *ICCS* (pp. 2327-2336).

[5] Jiawei ZHU, Fabrice LAURI, Abderrafiaa KOUKAM, Vincent HILAIRE, Yishuai LIN, Youquan LIU. "A hybrid intelligent control based cyber-physical system for thermal comfort in smart homes." In *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, vol 30, pp. 199-214, dec 2019.

[6] Philippe DESCAMPS, Vincent HILAIRE, Olivier LAMOTTE, Sebastian RODRIGUEZ. "An experience of Engineering of MAS for Smart Environments: extension of ASPECS." In Smart Digital Future 2016, jun 2016.

[7] Gillian BASSO, Massimo COSENTINO, Vincent HILAIRE, Fabrice LAURI, Sebastian RODRIGUEZ, Valeria SEIDITA. "Engineering multi-agent systems using feedback loops and holarchies." In Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol 55, pp. 14-25, jun 2016.

[8] Davy MONTICOLO, Simona MIHAITA, Hind DARWICH, Vincent HILAIRE. "An agent-based system to build project memories during engineering projects." In Knowledge-Based Systems, vol 68, pp. 88-102, dec 2014. ISSN: 0950-7051. DOI: 10.1016/j.knosys.2013.12.022.

[9] Candanedo, I. S., Nieves, E. H., González, S. R., Martín, M. T. S., & Briones, A. G. (2018, August). Machine learning predictive model for industry 4.0. In International Conference on Knowledge Management in Organizations (pp. 501-510). Springer, Cham.

[10] Dalal, S. R., Shekelle, P. G., Hempel, S., Newberry, S. J., Motala, A., & Shetty, K. D. (2013). A pilot study using machine learning and domain knowledge to facilitate comparative effectiveness review updating. Medical Decision Making, 33(3), 343-355.

[11] Chen, Z., & Liu, B. (2018). Lifelong machine learning. Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning, 12(3), 1-207.

[12] , Omar Hazem MOHAMMED, « On optimal sizing and energy management of hybrid power generation systems based on renewables », these de doctorat, UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE, 26/05/2016.

[13] Arnaud GRANDJEAN, « Introduction de non linéarités et non stationnarités dans les modèles de représentation de la demande électrique résidentielle », thèse de doctorat, École nationale supérieure des mines de Paris, 10/01/2013.

[14] Thibaut Barbier, « Modélisation de la consommation électrique à partir de grandes masses de données pour la simulation des alternatives énergétiques du futur », thèse de doctorat, MINES ParisTech, 22/12/2017.

**Profil demandé pour les candidats en stage puis en thèse :**

- Un diplôme de master ou équivalent en énergie électrique, informatique ou autre spécialité en relation avec le sujet de thèse ou de stage de fin d'études (pour les candidats en dernière année de Master ou de diplôme d'Ingénieur
- Un très bon niveau de maîtrise dans la modélisation de systèmes de production, de stockage et de consommation d'énergies conventionnelles et renouvelables
- Un bon niveau en modélisation et programmation informatique (modélisation et programmation orientée objet).
- Des connaissances en intelligence artificielle et apprentissage machine seront appréciées
- Une bonne maîtrise de l'anglais (oral et écrit) est exigée

**Lieux d'exercice pour le stage :** Société XYDROGEN à Etupes (25)

**Lieux d'exercice pour le stage :** Société XYDROGEN à Etupes (25) pour 50% du temps de travail et les laboratoires FEMTO-ST et CIAD à Belfort pour 50% du temps de travail. Toutefois, XYDROGEN se réserve le droit de modifier temporairement cette répartition en fonction de ses besoins (formations, études, diagnostics, veilles...).

**Financement et durée du stage :**

Contrat de stage de 6 mois financé par XYDROGEN

**Financement et durée de la thèse :**

Contrat à durée déterminée de 3 ans dans la société XYDROGEN selon les modalités d'un financement de type CIFRE

**Dates importantes :**

Dossier à envoyer pour le 15 Décembre 2021

Début estimée de début du stage : Février 2022

Date estimée de début de la thèse : Septembre 2022

**Candidatures :**

Les candidatures doivent être envoyées par email à :

- Prof. dr. Abdesslem DJERDIR <abdesslem.djerdir@utbm.fr>
- Prof. dr. Stéphane GALLAND <[stephane.galland@utbm.fr](mailto:stephane.galland@utbm.fr)>

Le dossier de candidature doit contenir :

- un CV détaillé
- une copie du diplôme de Master ou tout document attestant du niveau de Master
- une copie des bulletins de notes de Master
- une copie de la carte d'identité ou d'un passeport
- une lettre de motivation, références et/ou une à deux lettres de recommandation

Tout dossier incomplet sera rejeté.

**Direction / codirection de la thèse :**

- Directeur de thèse : Prof. dr. Abdesslem DJERDIR

- Co-encadrement de thèse : Prof. dr. Stéphane GALLAND

**Encadrement dans la société XYDROGEN :**

- M. Xavier SAUGE (PDG)