

## Implementation of Control Systems for Hybrid Thermochemical Processes

### Description

Multi-Energy Systems (MES) are seen as a promising lever for the energy transition to achieve the greenhouse gas emission reduction targets set by France. They involve considering the deep interaction between different energy vectors (electricity, gas, heat, and tomorrow, hydrogen) through their distribution networks and the technologies connected to them (production, conversion from one vector to another, storage).

A thermochemical process operates from low-temperature heat sources and integrates several functionalities into a single system: storage, and production of cooling and electricity. This so-called 'hybrid' cycle combines::

- A solid/gas sorption trithermal cycle (thermochemical) utilizing thermal flows related to reversible solid/gas reactions (endothermic decomposition/exothermic synthesis) ensuring cooling production at the endothermic component;
- An expansion element ('expander') utilizing mass flows of this reactive gas to ensure mechanical energy production.

However, certain issues exist, particularly concerning the coupling between different components. For example, we can mention mass coupling between the expander and the reactor, or thermal coupling between the reactor and the superheater. Additionally, these systems require precise identification of irreversibilities and an in-depth analysis of ways to optimize their thermodynamic performance. The development of control systems is a key solution to address coupling and irreversibility issues. It helps stabilize system behavior while optimizing its energy efficiency and overall performance.

The ThermHyVal project brings together various highly complementary skills on an innovative topic at the crossroads of experimental sciences and methodological development with strong industrial interest. The work of this internship is part of the activities of the PROMES-CNRS laboratory.

### Work to be done

The objective of this internship is to implement basic or advanced control systems to optimize the thermodynamic performance of a hybrid thermochemical process (storage, cooling, and electricity production). The various tasks to be carried out include:

- Study of the Existing System:
  - Familiarize with the fundamental concepts of multi-energy systems and the hybrid thermochemical process.
  - Analyze the operation of the trithermal cycle (solid/gas sorption) and the expansion system (expander)..
  - Identify interactions between components: reactor, expander, superheater.
- Analysis of Existing Data:
  - Study different results obtained from the prototype in terms of temperature, power, and pressure.
  - Identify controllable parameters to meet the internship objectives.

- Development of Basic and Advanced Control Strategies Using Matlab/Simulink and Python:
  - Design basic control systems (PID regulation) to stabilize interactions between components.
  - Explore advanced control systems (predictive models, adaptive controls) to improve overall efficiency.
  - Simulate the performance of these controls on the process using Matlab/Simulink and Python.
  - Analyze the system's output behavior to evaluate optimization performance.
- Development of an Experimental Implementation Strategy for the Control System on the Process:
  - Identify the necessary equipment for the experimental implementation of the control system on the thermochemical process.
  - Propose a wiring diagram with the associated components.

This work will be mainly conducted using Matlab/Simulink and Python.

**Prerequisites:** Programming, electrical and/or thermal modeling, automation, control, data analysis

**Maximum number of persons:** 1

**Internship Location:**

Laboratoire PROMES-CNRS  
Rambla de la thermodynamique  
66100 Perpignan

**Education Level:** Master 2nd year, Engineering School 5th year

**Field:** Control systems, Electrical Engineering, Embedded Systems

**Duration:** 6 months

**Preferred Period:** 2nd semester 2025

**Remuneration:** Yes

**Potential Continuation After Internship:** Yes

**Supervisors:** Michael Bressan, Frédéric Thiery, Maxime Perier-Muzet

**Contact emails :** [michael.bressan@univ-perp.fr](mailto:michael.bressan@univ-perp.fr), [thiery@univ-perp.fr](mailto:thiery@univ-perp.fr) [maxime.perier-muzet@univ-perp.fr](mailto:maxime.perier-muzet@univ-perp.fr)

## Implementación de Sistemas de Control para Procesos Termoquímicos Híbridos

### Descripción

Los Sistemas Multi-Energéticos (MES) se consideran una palanca prometedor para la transición energética, con el fin de alcanzar los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero establecidos por Francia. Implican considerar la interacción profunda entre diferentes vectores energéticos (electricidad, gas, calor y, en el futuro, hidrógeno) a través de sus redes de distribución y las tecnologías conectadas a ellas (producción, conversión de un vector a otro, almacenamiento).

Un proceso termoquímico opera a partir de fuentes de calor de baja temperatura e integra varias funcionalidades en un solo sistema: almacenamiento y producción de frío y electricidad. Este ciclo denominado 'híbrido' combina:

- Un ciclo tritérico de sorción sólido/gas (termoquímico) que utiliza flujos térmicos relacionados con reacciones sólido/gas reversibles (descomposición endotérmica/síntesis exotérmica), asegurando la producción de frío en el componente endotérmico;
- Un elemento de expansión ('expansor') que utiliza flujos másicos de este gas reactivo para garantizar la producción de energía mecánica.

Sin embargo, existen ciertos problemas, particularmente en lo que respecta al acoplamiento entre los diferentes componentes. Por ejemplo, podemos mencionar el acoplamiento másico entre el expansor y el reactor, o el acoplamiento térmico entre el reactor y el sobrecalentador. Además, estos sistemas requieren una identificación precisa de las irreversibilidades y un análisis en profundidad de las formas de optimizar su rendimiento termodinámico. El desarrollo de sistemas de control es una solución clave para abordar los problemas de acoplamiento e irreversibilidades. Ayuda a estabilizar el comportamiento del sistema mientras optimiza su eficiencia energética y su rendimiento global.

El proyecto ThermHyVal reúne diversas competencias altamente complementarias sobre un tema innovador en la encrucijada de las ciencias experimentales y el desarrollo metodológico con un fuerte interés industrial. El trabajo de estas prácticas forma parte de las actividades del laboratorio PROMES-CNRS.

### Trabajo a realizar

El objetivo de estas prácticas es implementar sistemas de control básicos o avanzados para optimizar el rendimiento termodinámico de un proceso termoquímico híbrido (almacenamiento, producción de frío y electricidad). Las diversas tareas a realizar incluyen:

- ⑩ Estudio del Sistema Existente:
  - ✦ Familiarizarse con los conceptos fundamentales de los sistemas multi-energéticos y del proceso termoquímico híbrido.
  - ✦ Analizar el funcionamiento del ciclo tritérico (sorción sólido/gas) y del sistema de expansión (expansor).

- ✦ Identificar interacciones entre los componentes: reactor, expansor, sobrecalentador.
- ⑩ Análisis de Datos Existentes:
  - ✦ Estudiar diferentes resultados obtenidos del prototipo en términos de temperatura, potencia y presión.
  - ✦ Identificar parámetros controlables para cumplir con los objetivos de las prácticas.
- ⑩ Desarrollo de Estrategias de Control Básicas y Avanzadas Usando Matlab/Simulink y Python:
  - ✦ Diseñar sistemas de control básicos (regulación PID) para estabilizar las interacciones entre los componentes.
  - ✦ Explorar sistemas de control avanzados (modelos predictivos, controles adaptativos) para mejorar la eficiencia general.
  - ✦ Simular el desempeño de estos controles en el proceso utilizando Matlab/Simulink y Python.
  - ✦ Analizar el comportamiento de salida del sistema para evaluar el desempeño de la optimización.
- ⑩ Desarrollo de una Estrategia de Implementación Experimental del Sistema de Control en el Proceso:
  - ✦ Identificar el equipo necesario para la implementación experimental del sistema de control en el proceso termoquímico.
  - ✦ Proponer un esquema de cableado con los componentes asociados.

Este trabajo se realizará principalmente usando Matlab/Simulink y Python.

**Requisitos Previos:** Programación, modelado eléctrico y/o térmico, automatización, control, análisis de datos.

**Número Máximo de Becarios:** 1

**Lugar de las Prácticas:**

Laboratorio PROMES-CNRS  
Rambla de la Thermodynamique  
66100 Perpiñán

**Nivel Educativo:** Segundo año de máster, quinto año de escuela de ingeniería

**Campo:** Sistemas de control, ingeniería eléctrica, sistemas embebidos

**Duración:** 6 meses

**Período Preferido:** Segundo semestre de 2025

**Remuneración:** Sí

**Posible Continuación Después de las Prácticas:** Sí

**Supervisores :** Michael Bressan, Frédéric Thiery, Maxime Perier-Muzet

**Contact emails :** [michael.bressan@univ-perp.fr](mailto:michael.bressan@univ-perp.fr), [thiery@univ-perp.fr](mailto:thiery@univ-perp.fr) [maxime.perier-muzet@univ-perp.fr](mailto:maxime.perier-muzet@univ-perp.fr)

## Mise en œuvre de systèmes de commande pour des procédés thermochimiques hybrides

### Description

Les systèmes multi-énergies (MES) sont vus comme un levier prometteur de la transition énergétique pour atteindre les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre que la France s'est fixée. Ils consistent à considérer l'interaction profonde entre les différents vecteurs énergétiques (électricité, gaz, chaleur, demain hydrogène) via leurs réseaux de distribution et les technologies qui leur sont connectées (production, conversion d'un vecteur à l'autre, stockage).

Un procédé thermochimique fonctionne à partir de sources de chaleur basse température et intégrant plusieurs fonctionnalités en un seul système : stockage, productions de froid et d'électricité. Ce cycle dit 'hybride' combine :

- un cycle tritherme à sorption solide/gaz (thermochimique) valorisant les flux thermiques liés aux réactions renversables solide/gaz (décomposition endothermique/ synthèse exothermique) assurant une production de froid au composant endothermique ;
- un élément de détente ('expandeur') valorisant les flux massiques de ce gaz réactif pour assurer une production d'énergie mécanique.

Cependant, certaines problématiques existent, notamment en ce qui concerne le couplage entre les différents composants. Par exemple, nous pouvons citer le couplage massique entre l'expandeur et le réacteur, ou encore le couplage thermique entre le réacteur et le surchauffeur. Par ailleurs, ces systèmes nécessitent une identification précise des irréversibilités ainsi qu'une analyse approfondie des moyens permettant d'optimiser leurs performances thermodynamiques. Le développement de systèmes de commande est une solution clé pour répondre aux problématiques de couplage et d'irréversibilités. Il permet de stabiliser le comportement du système tout en optimisant son efficacité énergétique et ses performances globales.

Le projet ThermHyVal permet de rassembler différentes compétences très complémentaires sur un sujet novateur à la croisée des sciences expérimentales et du développement méthodologique avec un fort intérêt industriel. Les travaux de ce stage font partie des activités du laboratoire PROMES-CNRS.

### Travail à réaliser

L'objectif de ce stage est de mettre en œuvre des systèmes de commandes basiques ou avancés afin d'optimiser les performances thermodynamiques d'un procédé thermochimique hybride (stockage, productions de froid et d'électricité.). Les différentes tâches à élaborer sont les suivantes :

- ⑩ Étude le système existant :
  - ✦ Se familiariser avec les concepts fondamentaux des systèmes multi-énergies et du procédé thermochimique hybride.
  - ✦ Analyser le fonctionnement du cycle tritherme (sorption solide/gaz) et du système d'expansion (expandeur).

- ✦ Identifier les interactions entre les composants : réacteur, expandeur, surchauffeur.
- ⑩ Analyse des données existantes :
  - ✦ Etudier les différents résultats obtenus du prototype en termes de température, de puissances et de pression.
  - ✦ Identifier les paramètres contrôlables afin de répondre aux objectifs de stage.
- ⑩ Développement d'une stratégie de commande basique et avancée utilisant Matlab/Simulink et python :
  - ✦ Concevoir des systèmes de commande basiques (régulation PID) pour stabiliser les interactions entre composants.
  - ✦ Explorer des systèmes de commande avancés (modèles prédictifs, commandes adaptatives) pour améliorer l'efficacité globale.
  - ✦ Simuler sur Matlab/Simulink et Python les performances de ces commandes sur le procédé.
  - ✦ Analyser le comportement en sortie du système afin d'évaluer les performances d'optimisation.
- ⑩ Développement d'une stratégie de mise en œuvre expérimentale du système de commande sur le procédé.
  - ✦ Identifier les équipements nécessaires pour la mise en œuvre expérimentale du système de commande sur le procédé thermochimique.
  - ✦ Proposer un schéma de câblage avec les différents organes associés.

Ces travaux s'effectueront essentiellement sous Matlab/Simulink et le langage Python.

**Pré-requis** : programmation, modélisation électrique et/ou modélisation thermique, automatique, contrôle, commande, analyse de données, intelligence artificielle

**Nombre de personnes maximum** : 1

**Lieu où se déroule le stage** :

Laboratoire PROMES-CNRS  
Rambla de la thermodynamique  
66100 Perpignan

**Formation** : Master 2<sup>ème</sup> année, école d'ingénieur 5<sup>ème</sup> année

**Domaine** : EEA, IA, systèmes embarqués

**Durée du stage** : 6 mois

**Période souhaitée** : 1<sup>er</sup> semestre 2025

**Rémunération** : Oui

**Poursuite éventuelle après le stage** :

**Lien** :

**Encadrants** : Michael Bressan, Frédérik Thiery, Maxime PERIER-MUZET

**Mails de contacts** : [michael.bressan@univ-perp.fr](mailto:michael.bressan@univ-perp.fr), [thiery@univ-perp.fr](mailto:thiery@univ-perp.fr) [maxime.perier-muzet@univ-perp.fr](mailto:maxime.perier-muzet@univ-perp.fr)