



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports,  
de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral de l'énergie OFEN

**Rapport annuel** 27 novembre 2009

---

# **Réalisation d'un Prototype de Système de Stockage Hydropneumatique d'Energie**

**Mandant:**

Office fédéral de l'énergie OFEN  
Programme de recherche Technologies et utilisations de l'électricité  
CH-3003 Berne  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Cofinancement:**

N/A

**Mandataire:**

Enairys Powertech SA  
3, chemin de la Raye  
CH-1024 Ecublens  
[www.enairys.com](http://www.enairys.com)

**Auteurs:**

Sylvain Lemofouet-Gatsi, Enairys Powertech SA, [sylvain.lemofouet@enairys.com](mailto:sylvain.lemofouet@enairys.com)

**Responsable de domaine de l'OFEN:** Dr. Michael Moser

**Chef de programme de l'OFEN:** Roland Brüniger

**Numéro du contrat et du projet de l'OFEN:** 154008

L'auteur de ce rapport porte seul la responsabilité de son contenu et de ses conclusions.

# Résumé

Le but du présent projet est de réaliser une installation expérimentale permettant de prouver la faisabilité du piston liquide à eau pour une pression de l'ordre de 250bar et de démontrer l'efficacité d'un système de compression/détente qui minimisent le contact direct entre l'air et l'eau tout en améliorant l'échange thermique entre les 2 fluides, ce qui réduit considérablement les risques de diffusion ou dissolution.

Une architecture globale particulière qui s'appuie sur une machine hydraulique multi-étage et multi-cylindrée pour implémenter un processus de compression/détente multi-étage dans lequel le rapport de compression/détente par étage est limité à environ 4. Cette limitation permet réaliser aisément un processus quasi-isotherme sur toute la plage de compression et d'obtenir un excellent rendement thermodynamique.

Cette nouvelle approche thermodynamique est complétée par une stratégie de commande de contrôle dédiée qui permet un fonctionnement harmonieux et optimal du système et procure une plus grande flexibilité dans son exploitation.

Le projet précité, initialement prévu pour prendre fin en octobre 2009 a pris du retard, essentiellement à cause des difficultés de fabrication qui entraînent des délais de livraison extrêmement longs pour les composants spéciaux nécessaires à la réalisation du prototype. Cependant, d'importantes avancées ont été réalisées sur tous les autres aspects de développement du prototype, dans la perspective d'atteindre les objectifs de performances fixés.

## Buts du projet

Le but de ce projet est d'apporter la validation technologique du concept de stockage hydropneumatique d'énergie développé par Enairys Powertech. Ce concept est basé sur le principe du piston liquide, dans lequel l'eau est utilisée pour comprimer l'air de manière à le refroidir simultanément et pour le détendre de manière à le réchauffer simultanément. Il en résulte un excellent rendement thermodynamique. La technologie décrite possède en outre un avantage environnemental intrinsèque par rapport aux solutions classiques basées sur les batteries électrochimiques.

**Le premier objectif du projet est de prouver la faisabilité du piston liquide à eau pour une pression de l'ordre de 250bar** de manière à valider la compression/détente quasi-isotherme et à apporter des réponses concrètes aux risques de diffusion ou dissolution de l'air dans l'eau pendant les phases de compression/détente. Cette validation se fera d'abord pour une pression de 64bar et ensuite pour une pression de l'ordre 250bar.

**Le deuxième objectif de ce projet est de montrer l'application effective de ce principe de piston au stockage d'énergie** par la réalisation d'un prototype du système de stockage hydropneumatique d'énergie (HyPES) à 2 étages. Ce prototype devra donc effectué des cycles de charge/décharge complets à partir d'une source de tension continue.

## Plan de travail

Le travail de développement du prototype se fera en 2 étapes :

### 1. Développements et réalisations hydropneumatiques

Les premières chambres de compression/détente seront d'abord testées individuellement sur une installation test réalisée à cet effet. Sur la base des mesures réalisées sur ces

chambres-test, de nouvelles chambres de compression/détente de plus grande puissance seront conçues, optimisées, réalisés et intégrées dans le prototype.

#### 1.1. Finalisation et test du module-test de compression/détente

Adaptation des circuits hydropneumatiques et électriques existants, mise en service de l'installation de test et réalisation des essais de compression/détente jusqu'à 64bar. Fabrication du couvercle supérieur du module haute pression, adaptation des circuits hydropneumatiques et électriques et réalisation des essais de compression/détente jusqu'à 170bar.

#### 1.2. Optimisation et réalisation des échangeurs de chaleur intégrés

Sur la base des résultats des premiers essais, dimensionnement et optimisation des échangeurs de chaleur intégrés et des éléments d'interfaçage air/eau dans les chambres de compression/détente pour les pressions et la puissance finales (64 bar, 256bar, 10kW), simulation par éléments finis 3D, achat de la matière, usinage et construction des échangeurs

#### 1.3. Optimisation et réalisation des modules de compression/détente finaux

Sur la base des résultats des premiers essais, calcul de structure et optimisation des modules de compression/détente pour les pressions et la puissance finales (64bar, 256bar, 10kW). Achat de la matière, usinage et construction des modules de compression/détente finaux.

## 2. Développements et réalisations électroniques, intégration, commande et contrôle du système

#### 2.1 : Réalisation du Convertisseur de fréquence triphasé

Dimensionnement, achat de composants et réalisation du convertisseur de fréquence triphasé 380V AC pour la commande du moteur/générateur et de la carte d'acquisition et de mise en forme des mesures et signaux de commande et contrôle du système.

#### 2.2 : Intégration, commande et contrôle du prototype

Assemblage et intégration des différents modules du prototype, implémentation du programme de commande et contrôle, mise en service progressif, essais et réalisation du cycle de charge/décharge complet. Réalisation des mesures de rendement de cycle.

Des essais et des mesures d'un cycle complet de charge/décharge électrique (DC-DC) seront alors réalisés pour caractériser le système.

## Travaux effectués et résultats acquis

### 1. Développements et Réalisations hydropneumatiques

Les modifications mécaniques et électroniques nécessaires à la réalisation des tests basse et haute pression des chambres de compression précédentes sont terminés. L'installation de test des cylindres vient d'être remise en marche et une nouvelle série d'essais de compression est en cours de réalisation. Les résultats définitifs sont attendus vers fin 2009.

### 2. Optimisation et réalisation des nouveaux échangeurs de chaleur intégrés et des modules de compression/détente finaux

La conception et les simulations des nouveaux échangeurs de chaleur pour la puissance de 10kW sont terminées. La livraison des composants nécessaires à la construction des nouveaux échangeurs est prévue pour fin novembre 2009 et la construction des échangeurs

prendra ensuite environ une semaine. Les 2 chambres de compression/détente finales sont aussi en cours fabrication; leur livraison est prévue pour décembre 2009.

### 3. Développements et réalisations électroniques, intégration du système

Les développements pour la réalisation du prototype sont achevés. Le module de conversion de puissance a été réalisé. Certains composants hydropneumatiques sont fabriqués; d'autres sont en cours de fabrication et les dernières livraisons sont attendues pour fin décembre. Compte tenu du temps nécessaire pour l'assemblage des modules, l'intégration et le réglage de l'unité de conversion, la fin du projet est maintenant prévue vers la fin du mois de Janvier 2010.

Le code de contrôle du système a été élaboré et testé par simulation. L'intégration et la mise en service, l'essai du prototype global sont prévus pour janvier 2010, lorsque tous les composants et modules auront été livrés et testés individuellement.

## Collaboration nationale

Unité	Adresse	Responsable	Ressources pour le projet
Enairys Powertech	1024 Ecublens	Dr. Lemo-fouet	Compétences en Electronique de puissance et thermodynamique Unité de test et développement de système HyPES
Laboratoire d'Electronique Industrielle (LEI)	EPFL 1015 Lausanne	Prof. Rufer A.	Compétences en Electronique de puissance et de réglage Infrastructure de production de circuits électronique et convertisseur de puissance
Laboratoire de Processus Thermique (LPTherm)	HEIG-VD 1400 Yverdon	Prof. Weber N.	Compétences en équipements sous pression, Expert ISO 9000. Calcul de structure
Crevoisier SA	2714 Les Genevez	N. Ramseyer	Fabrication mécanique, construction de machines

## Évaluation de l'année 2009 et perspective pour 2010

Des avancées satisfaisantes ont été réalisées au cours de l'année 2009 sur le développement du prototype. Toutes les modifications liées ou résultant de la première phase des travaux ont été comme prévu réalisées et intégrées dans une nouvelle conception des modules de compression/détente et du système de stockage.

Un important retard de 3 mois, engendré par les difficultés de fabrication et délais de livraison très long est à déplorer. Ce retard n'a pas permis de finaliser et évaluer le système dans les temps prévus, mais les travaux de fabrication et construction du nouveau système sont bien avancés et nous sommes confiants quant à sa réalisation et la finalisation du projet durant les premières semaines de l'année 2010

Malgré ce retard, des avancées importantes et satisfaisantes ont été réalisées en parallèle dans la préparation des développements post-prototypes. L'année 2010 débutera par la finalisation des travaux d'intégration du système, suivie des tests et mesures pour l'évaluation de ses performances. Les résultats de ces mesures seront alors diffusés dans le rapport final qui marquera la fin du projet.