



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 final / Rapport annuel 15 décembre 2010

Réalisation d'un Prototype de Système de Stockage Hydropneumatique d'Énergie

Mandant:

Office fédéral de l'énergie OFEN
Programme de recherche Technologies et utilisations de l'électricité
CH-3003 Berne
www.bfe.admin.ch

Cofinancement:

N/A

Mandataire:

Enairys Powertech SA
3, chemin de la Raye
CH-1024 Ecublens
www.enairys.com

Auteurs:

Sylvain Lemofouet-Gatsi, Enairys Powertech SA, 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 minimise 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 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. De plus, plusieurs travaux complémentaires de développement, d'adaptation et de fabrication ont dû être réalisés au courant de cette année pour finaliser la construction mécanique du système.

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 puis 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 effectuer 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

L'année 2010 a été entièrement consacrée à la construction du nouveau prototype de 10kW destiné à la validation finale du concept de stockage hydropneumatique d'énergie développé par Enairys Powertech. Ces travaux de construction ont essentiellement porté sur les 2 aspects suivants du projet:

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

Sur la base des résultats de travaux de conception et les simulations des nouveaux échangeurs de chaleur réalisés l'année précédente, un procédé de réalisation de la nouvelle architecture de ces échangeurs avait été défini. Il était basé sur l'assemblage d'environ 5400 profilés en aluminium à fabriquer par la Société LNI à Grandson.

Une livraison partielle des composants nécessaires à la construction de ces nouveaux échangeurs a eu lieu fin 2009 ; malheureusement il a fallu attendre le printemps pour recevoir le solde et les composants ne correspondant pas à nos spécifications. Nous avons donc dû procéder à de nombreux et longs travaux d'adaptation et la construction des échangeurs s'est finalement terminée en Août 2010.

2. Développements et réalisations électroniques, intégration du système

Avec la finalisation de la construction des échangeurs de chaleur intégrés, l'intégration mécanique du nouveau prototype a pu commencer en septembre dernier. Mais cette intégration s'est heurtée à de nombreuses difficultés d'assemblage, notamment celle à trouver des élé-

ments de raccordement en acier inox nécessaires à la réalisation des connexions hydrauliques haute pression. Elles ont conduit à la fabrication de plusieurs blocs en acier inox pour réaliser certaines de ces connexions. Les connexions hydrauliques basse pression initialement réalisées par une entreprise locale spécialisée en fonte malléable se sont avérées inappropriée et sont en train d'être remplacée en ce moment par des connexions en PVC-U.

Les nouvelles cartes électroniques de mesure et mise en forme des signaux de contrôle et commande du système ont été fabriquées. Le code de contrôle a été élaboré et testé par simulation et sur le prototype précédent. L'implémentation du code, la mise en service et l'essai du prototype global sont prévus pour janvier 2011.

Parallèlement à l'intégration de l'unité de conversion, une unité de stockage à 2 modules d'une capacité de 1m³ a été spécifié en collaboration avec le fabriquant et commandé. Sa livraison est prévue ces prochains jours, en provenance de la Pologne. Le niveau élevé d'humidité dans l'air comprimé produit par l'unité de conversion hydropneumatique et l'absence de protection anticorrosion dans les bouteilles de l'unité de stockage nous ont également conduits à chercher et acquérir un système d'assèchement d'air haute pression qui vient d'être livré.

Collaboration nationale

Unité	Adresse	Responsable	Ressources pour le projet
Enairys Powertech	1024 Ecublens	Dr. Lemofouet	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
Reco Mécanique	3960 Sierre	X. de Preux	Fabrication mécanique
Atelier mécanique Dürst	1110 MORGES	E. Wagner	Fabrication mécanique
Wyss Hydro Services	1025 St-Sulpice	P. Wyss	Fabrication et fourniture de composants et éléments de connectique hydraulique haute pression
Diemand SA	1003 Lausanne	Evard	Etude et réalisation de circuit hydraulique Basse pression pour l'eau.
Hamberger Armaturen	4125 Riehen	E. Moritz	Développement et fourniture d'électrovannes hydrauliques et pneumatiques

Collaboration internationale

Unité	Adresse	Responsable	Ressources pour le projet
The Water Hydraulics Co. Ltd	Hull, UK	Tony Markham	Développement et fabrication de motopompe hydrauliques
Vitkovice-Milmet	41200 Sosnowiec, Poland	Henryk Plawinski	Fabrication de bouteilles et unité de stockage d'air haute pression
Beko Technologies GmbH	Neuss, Allemagne	Marcus. Ziegref	Développement et fabrication système de traitement d'air haute pression

Évaluation de l'année 2010 et perspectives pour 2011

Des avancées importantes ont été réalisées au cours de l'année 2010 sur le développement et la construction du nouveau prototype. De nombreux problèmes de fabrication et construction mécanique ont été rencontrés, tels que les difficultés de fabrication de composants du fait de leur complexité ou leur nouveauté, des délais de livraison très longs, des travaux de développement et d'adaptation supplémentaires non prévus initialement, des travaux de correction de choix technologiques inappropriés réalisés.

Ces problèmes ont engendré un important retard qui n'a pas permis de finaliser le projet dans les temps prévus, mais les travaux de construction du nouveau système sont quasiment terminés et nous sommes confiants quant à la finalisation du projet durant les premières semaines de l'année 2011.

L'année 2011 débutera donc par la finalisation des travaux d'intégration du système, suivie par l'implémentation du code de commande et contrôle, puis par les essais et mesures pour l'évaluation de ses performances. Les résultats de ces mesures seront alors intégrés dans le rapport final qui marquera la fin du projet.

Ces difficultés rencontrées et surmontées nous ont néanmoins permis d'acquérir de l'expérience dans la construction de ce nouveau système et, nous pouvons dire que des progrès importants et satisfaisantes ont été réalisées en parallèle dans la préparation des développements post-prototypes et l'industrialisation de la technologie HyPES.