

Validation du fonctionnement de la technologie innovante de stockage massif d'énergie électrique en mer par air comprimé REMORA – Projet ODySEA

Van-Binh DINH⁽¹⁾, Thibault NEU^(1,2), David GUYOMARC'H⁽¹⁾, Albert SUBRENAT⁽²⁾, Luc LORON⁽³⁾, Jean LAPORTE⁽⁴⁾

(1) SEGULA Technologies, 1 Rue Charles Lindbergh, 44340 Bouguenais, FRANCE

(2) IMT Atlantique, GEPEA URM CNRS 6144, 4 Rue Alfred Kastler, 44000 Nantes, FRANCE

(3) Institut de Recherche en Energie Electrique de Nantes Atlantique, Université de Nantes, 37 Boulevard de l'Université, 44602 Saint-Nazaire, France

(4) Cetim, Pôle Fluid & Sealing Technologies, 74 Route de la Jonelière, 44000 Nantes, FRANCE

RESUME – Cet article présente les premiers résultats expérimentaux obtenus sur le prototype du système innovant de stockage massif d'énergie électrique en mer sous forme d'air comprimé. Ce système a pour objectif d'absorber les surproductions d'énergies renouvelables offshore pour les restituer en période de sous production à l'échelle d'une région ou d'un pays au travers des réseaux électriques. L'innovation du procédé de stockage réversible s'appuie sur l'utilisation d'une technologie nouvelle de compression et détente d'air isotherme via piston liquide, qui a été brevetée en 2015 par Segula Technologies. L'analyse dans ce papier des résultats d'expériences du prototype à petite échelle nommé ODySEA permettra alors de valider le fonctionnement de la technologie ainsi que de mieux comprendre le comportement physique du dispositif, facilitant la recherche des voies d'optimisation d'efficacité énergétique du système.

Le projet ODySEA est le fruit d'une collaboration entre le Laboratoire IREENA de l'université de Nantes, IMT Atlantique, le Cetim et de SEGULA Technologies. Il est labellisé par le pôle de compétitivité S2E2 et a obtenu un financement de l'ADEME.

Mots-clés — *Stockage d'énergie, REMORA, ODySEA, Compression isotherme, CAES, stockage massif, énergie renouvelable, technologie innovante.*

1. INTRODUCTION

Dans le but d'augmenter l'utilisation des énergies renouvelables intermittentes pour la transition énergétique, le stockage de l'énergie est indispensable pour la sécurité et la flexibilité du réseau électrique ainsi que l'optimisation des coûts. Il existe actuellement plusieurs technologies de stockage telles que le stockage mécanique (Stations de Transfert d'Energie par Pompage - STEP, Stockage d'Energie par Air Comprimé - CAES, Stockage à volant d'inertie...), stockage par voie chimique (batteries, vecteur hydrogène...), stockage thermique (chaleur latente ou sensible), et stockage électromagnétique (bobines supraconductrices, supercapacités...).

Guney and Tepe [1] présente une description des systèmes de stockage d'énergie avec leurs classifications détaillées, les caractéristiques, les impacts environnementaux, et les possibilités de mise en œuvre. Achkari and Fadar [2] analyse les

caractéristiques techniques, les avantages et inconvénients de chaque solution de stockage. Luo et al. [3] donne un aperçu de divers types de technologies de stockage d'énergie électrique et fournit une comparaison détaillée basée sur des données techniques et économiques. Koochi-Faegh and Rosen [4] synthétise presque toutes les technologies de stockage d'énergie, leurs applications et développements récents. A l'heure actuelle, aucune technologie de stockage ne domine les autres sur tous ces aspects. Chacune convient à des applications particulières (mobiles ou stationnaires) et chaque solution peut répondre aux besoins nationaux ou locaux en fonction des différents facteurs : coût d'investissement, localisation, temps de réponse, efficacité des cycles, sécurité, densité de puissance, densité d'énergie, impacts environnementaux, etc. A long terme, les batteries, en particulier au Lithium, qui commencent à se développer rapidement, pourraient supporter des niveaux très élevés d'énergie renouvelable variable. Cependant, certains matériaux utilisés sont toxiques et polluants qui représentent des risques de sécurité importants. Le stockage par hydrogène quant à lui présente par contre un rendement très faible dans une utilisation électricité à électricité. Parmi les solutions de stockage ci-dessus, la technologie mature des STEP permettant de stocker de grandes quantités d'énergie représente actuellement près de 95% des capacités de stockage d'électricité dans le monde [5]. Néanmoins, l'exploitation plus massive de cette solution serait limitée dans les décennies à venir en raison de la nécessité de sites géographiques spécifiques, de grandes sources de l'eau et d'un impact environnemental et sociétal très important. En marge des solutions usuelles, le stockage d'énergie par air comprimé, particulièrement par un processus de compression/détente isotherme, peut être considéré comme une solution prometteuse pour la transition énergétique grâce à ses points positifs : *capable de stockage massif avec des installations de fortes puissances ; solution écologique et non polluante ; utilisation d'air naturel ; technologie sécurisée, efficacité énergétique importante, etc.*

La technologie de stockage d'énergie par air comprimé n'est pas nouvelle, elle a été développée pour le stockage stationnaire d'énergie depuis les années 1970 par les systèmes CAES classiques basés sur la compression et la détente d'air

adiabatique [6]. Le système utilise en mode stockage un compresseur d'air qui consomme l'énergie électrique pour compresser l'air ambiant à haute pression. L'air comprimé est ensuite refroidi et stocké dans des réservoirs formés dans cavités souterraines. En mode détente, l'air comprimé est libéré pour faire tourner des turbines qui produisent de l'électricité. L'inconvénient majeur de ce système est lié à l'augmentation importante de température pendant la compression qui génère de grandes quantités de chaleur dissipées dans l'atmosphère ou au travers des parois des réservoirs. De plus, l'air comprimé doit être réchauffé en phase déstockage en utilisant la combustion de carburant fossile pour éviter d'endommager des dispositifs à cause des fortes chutes de température par la détente adiabatique. Par conséquent, le rendement d'une installation CAES adiabatique classique (A-CAES) est au maximum de l'ordre de 50% [7]. [8] présente un système CAES adiabatique avancé (AA-CAES) qui vise à résoudre les contraintes thermiques du système CAES classique en ajoutant un système de stockage thermique auxiliaire pour capturer la chaleur de compression qui est puis utilisée lors de détente d'air. Malgré certains projets en cours, il existe jusqu'au présent très peu, ou même aucune installation AA-CAES en fonctionnement, notamment en raison de contraintes thermiques extrêmes. Contrairement aux concepts AA-CAES, le stockage d'énergie par air comprimé dit isotherme (I-CAES) consiste à limiter au maximum la variation de température pendant les compressions et détentes sans système de stockage thermique auxiliaire [9]. Son principe est basé sur l'utilisation d'un piston liquide piloté par les pompes pour faire monter le niveau d'eau et réduire le volume d'air dans les chambres de compression : le volume disponible pour l'air diminue et donc l'air est comprimé. L'échange thermique entre l'air, la chambre de compression et le piston liquide permet de maintenir la température quasi constante. Des études expérimentales ont montré la présence d'un échange convectif interne intense [10]. Afin de résoudre les contraintes d'implantation géologiques des cavités souterraines [11] propose d'employer le milieu sous-marin afin de stocker l'air à grande échelle. De plus, la pression hydrostatique du milieu, qui augmente avec la profondeur, aide à stocker plus facilement des gaz sous pression lorsque la pression de stockage dans le réservoir est égale à celle de son environnement.

Dans le cadre des projets de Recherche & Innovation, SEGULA Technologies développe le projet REMORA¹ qui utilise une technologie de compression et détente d'air quasi-isotherme via piston liquide contrôlé par les pompes centrifuges à différents étages de pression pour le stockage d'énergie électrique sous forme d'air comprimé en mer [12]. La transformation réversible de l'électricité en air comprimé est donc réalisée grâce à une chaîne de conversion d'énergie embarquée sur une plateforme flottante en mer. L'air comprimé quant à lui est stocké dans des réservoirs sous-marins. La description détaillée du système REMORA sera présentée un peu plus tard dans ce papier. Depuis plusieurs années, de nombreux travaux de recherche en interne de SEGULA ont été réalisés dans le but de maîtriser tous les composants de la chaîne de conversion électrique - air comprimé, de lever des verrous technologiques et d'améliorer l'efficacité énergétique du système dans son ensemble. Neu et al. [13, 14] analyse et élabore des lois d'échange convectif lors de la compression isotherme d'air par piston liquide réalisée sur un banc d'essai. La

modélisation du processus de compression est également initiée avec une méthode 0D [15] et puis méthode 2D par Gouda et al. [16, 17]. Maisonnave et al. [18-20] développe des approches d'optimisation du dimensionnement et de l'opération des machines électriques et convertisseurs appliqués au fonctionnement de REMORA. Ratolojanahary et al. [21] recherche à modéliser les phénomènes dynamiques du circuit hydraulique. Debille [22] étudie les problèmes économiques et techniques de REMORA pour l'intégration au réseau électrique et réseau isolé dans les îles. Depuis 2018, le projet REMORA est passé au stade du démonstrateur en laboratoire avec le projet ODySEA. Ce prototype à échelle réduite propose une puissance de quelques kW et l'intégration de l'ensemble des éléments de la chaîne de conversion énergétique. Le but du projet ODySEA est d'apporter la preuve du concept REMORA, d'étudier les interactions physiques entre les composants et d'optimiser l'efficacité énergétique du système global.

L'objectif de ce papier est de présenter le premier succès en faisant fonctionner le dispositif expérimental ODySEA suivant le concept REMORA. L'analyse des résultats expérimentaux obtenus permettra de valider le fonctionnement de la technologie et donc de franchir une nouvelle étape. Le reste de cet article s'organise comme suit. La section 2 présente plus en détail la technologie REMORA et son prototype. Les résultats des essais expérimentaux sont analysés et discutés dans la section 3. La section 4 résume les éléments principaux présentés dans ce papier et présente des perspectives des travaux à venir.

2. PRESENTATION DE LA TECHNOLOGIE REMORA ET DU PROTOTYPE ODySEA

2.1. *Système innovant de stockage d'énergie par air comprimé en mer REMORA*

La technologie REMORA, brevetée en 2015 par Segula Technologies, est un système innovant de stockage d'énergie par air comprimé en mer ayant pour but d'absorber les surproductions d'énergies renouvelables offshore pour les restituer en période de sous production à l'échelle d'une région ou d'un pays au travers des réseaux électriques. Le système REMORA se compose deux parties principales, avec d'une part une plateforme flottante embarquant l'ensemble des éléments de la chaîne de conversion d'énergie (convertisseurs, machines électriques, pompes centrifuges, circuits hydrauliques, chambres de compression, générateurs, etc), et d'une autre part une série des réservoirs d'air sous-marins (Fig. 1). La plateforme est reliée au réseau électrique par un câble électrique sous-marin à haute tension et aux réservoirs par une canalisation à air comprimé. L'une des originalités de la technologie est liée à l'exploitation de piston liquide piloté par des pompes centrifuges sur plusieurs étages, ce qui permet d'approcher un processus de compression isotherme et d'optimiser l'efficacité énergétique de l'ensemble. L'implantation de REMORA en mer permet à la fois d'obtenir un rendement global élevé de 70%, tout en ayant un impact faible sur l'environnement et les usagers (pêcheurs, touristes, trafic maritime, etc).

¹<https://www.segulatechnologies.com/fr/innovation/projet/remora/>

L'INVENTION BREVETÉE PAR SEGULA TECHNOLOGIES
STOCKAGE DE L'ÉLECTRICITÉ PAR AIR COMPRIMÉ EN MER

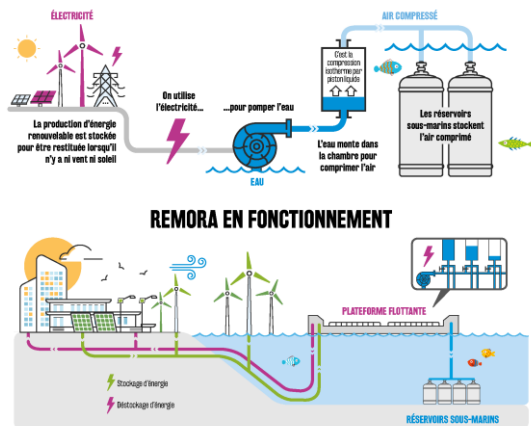


Fig. 1. Système innovant I-CAES REMORA

Chaque plateforme REMORA pourra convertir une puissance électrique de 15MW et stocker une capacité de 90MWh pour les réservoirs posés au fond entre 70 et 200m. Modulable en fonction des besoins de chaque situation, REMORA permet aussi bien de contribuer à l'équilibre offre/demande que participer aux services systèmes du réseau.

Le principe de fonctionnement de REMORA est présenté sur la Fig. 1. En phase stockage, l'électricité produite en excédent par les éoliennes ou panneaux photovoltaïques est utilisée pour alimenter les moteurs électriques qui actionnent les pompes centrifuges connectées à un circuit hydraulique permettant de pomper l'eau vers les chambres de compression. L'apport d'eau dans les chambres diminue le volume disponible à l'air et génère sa compression à une température quasi-constante, jusqu'à atteindre la pression voulue de stockage. L'air comprimé est ensuite envoyé aux réservoirs sous-marins par une conduite flexible, et s'y accumule pendant la succession de cycles de compression. Pour récupérer l'énergie emmagasinée dans les réservoirs, le système fonctionne de façon inversée. L'air est décomprimé à une température constante dans les chambres, ce qui pousse l'eau du circuit dans la pompe qui fonctionne alors en tant que turbine. Cette turbine entraîne le générateur électrique qui produira l'électricité.

2.2. ODySEA - Premier démonstrateur complet terrestre de REMORA

Le projet ODySEA s'inscrit dans le cadre du développement de la technologie REMORA. C'est un projet collaboratif qui a été démarré en 2018 et porté par SEGULA Technologies en collaboration avec les partenaires Université de Nantes-IREENA², CETIM³ et IMT Atlantique⁴ avec le soutien de l'ADEME et la labellisation du pôle S2E2. Le projet vise la réalisation d'un démonstrateur à terre et l'étude du dispositif expérimental de stockage et déstockage d'énergie par air comprimé suivant le procédé REMORA. Le système produit de l'air comprimé en consommant de l'électricité sur le réseau en mode stockage et produit de l'électricité en consommant de l'air comprimé en mode déstockage.

Le dispositif ODySEA conserve toutes les caractéristiques spécifiques de la technologie REMORA, mais à une échelle réduite d'une puissance moyenne de l'ordre de quelques kW. De ce fait, le système se compose comme REMORA des conversions énergétiques successives présentées sur la Fig. 2.



Fig. 2. Chaîne de conversion énergétique REMORA

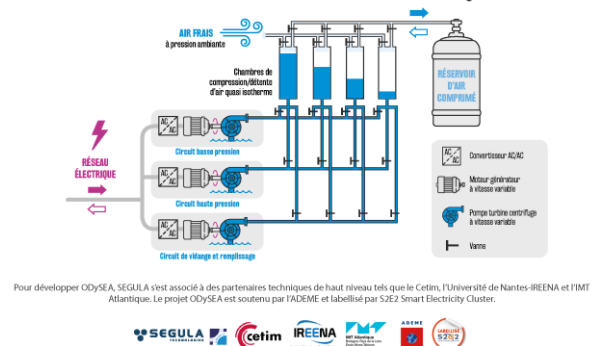
En effet, il s'agit d'une chaîne de conversion réversible dans laquelle l'énergie électrique est d'abord convertie en énergie mécanique via l'électronique de puissance et les moteurs électriques. Grâce au système des pompages, l'énergie mécanique est ensuite convertie en énergie hydraulique qui est après transformée en énergie pneumatique au travers des chambres de compression. L'air comprimé est donc produit et stocké dans les réservoirs sous-marins. L'air stocké sera réutilisé dans la même chaîne en sens inverse pour produire à nouveau de l'électricité.

Etant le premier démonstrateur complet, le système ODySEA a été construit à terre chez notre partenaire CETIM pour étudier l'interaction physique entre les composants et valider le fonctionnement global de la chaîne de conversion d'énergie (Fig. 3).



Fig. 3. Dispositif expérimental ODySEA au Cetim

DÉMONSTRATEUR TERRESTRE DE REMORA : ODySEA



Pour développer ODySEA, SEGULA s'est associé à des partenaires techniques de haut niveau tels que le Cetim, l'Université de Nantes-IREENA et l'IMT Atlantique. Le projet ODySEA est soutenu par l'ADEME et labellisé par S2E2 Smart Electricity Cluster.



Fig. 4. Schéma du dispositif ODySEA

² <https://www.ireena.univ-nantes.fr/>

³ <https://www.cetim.fr/>

⁴ <https://www.imt-atlantique.fr/fr>

La Fig. 4 montre que le dispositif utilise 3 pompes et 4 chambres de compression pour réaliser les cycles de stockage et déstockage d'énergie. En mode stockage, la pompe de basse pression BP permet de générer le débit d'eau au piston liquide afin de compresser l'air dans une chambre jusqu'à une pression intermédiaire $P_{\text{basculé}}$ (environ 3 bars). La pompe de haute pression HP prend ensuite le relais pour compresser l'air de la pression $P_{\text{basculé}}$ à une pression P_{stockage} (environ 10 bars). Lorsque l'air atteint cette pression, la pompe HP continue à pomper l'eau dans la chambre pour chasser l'air vers le réservoir d'air. Et puis, la pompe de remplissage/vidange RV est utilisée pour vidanger l'eau de la chambre de compression permettant de recommencer le cycle. Une pompe, après avoir terminé un cycle dans une chambre, sera commutée vers une autre chambre par un jeu de vannes commandées. Lorsque la pompe BP alimente une chambre, la pompe HP alimentera une deuxième, et la pompe RV en alimentera une autre. Trois chambres au minimum sont nécessaires pour permettre le fonctionnement cycle du système en laissant le temps à une chambre de retourner à son état initial. Le fonctionnement du système est réalisé en mode déstockage par le même processus, mais en sens inverse dans lequel les pompes BP et HP tournent en mode turbine pour produire de l'électricité.

Le procédé est mesuré en continu par l'ensemble des capteurs et piloté par le système de contrôle commande basé sur un système automate/supervision qui permet d'ajuster et réguler la vitesse des pompes/moteurs électriques à des points de fonctionnement à haut rendement.

3. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Après la mise au point initiale, de nombreux essais expérimentaux ont été réalisés sur le prototype ODySEA à partir du début 2020. Une approche d'exploitation progressive a été faite dans le but de maîtriser le comportement du système et de fiabiliser son fonctionnement. Le programme expérimental a compris des essais en mode manuel pour caractériser les composants du système (pompes, moteurs, vannes ...), des tests unitaires en mode automatique puis enfin des tests complets dans les modes stockage et déstockage. A l'heure actuelle, ODySEA est capable de réaliser des cycles complets de stockage et déstockage d'énergie suivant le procédé REMORA.

Les figures 5 à 9 présentent les résultats bruts de 10 cycles obtenus le 19 mars 2020 pour un essai de compression en mode stockage. Ces résultats ont permis de faire les premières analyses sur le fonctionnement cyclique complet du système. De manière générale, les courbes sont cohérentes avec les attentes. En effet, le système a consommé l'électricité du réseau pour alimenter les moteurs électriques générant les couples mesurés sur les arbres moteur/pompe (Fig. 5). Cela a fait tourner les pompes BP et HP dont les vitesses sur la Fig. 6 sont pilotées aux points de meilleure performance. Le fonctionnement cyclique du système a été bien vu ici. La pompe HP par exemple a bien commencé à une petite vitesse initiale tandis que la pression était faible. En fonction de l'augmentation des pressions à ses bornes, la vitesse augmente jusqu'à sa valeur nominale. Lorsqu'un cycle est fini, la pompe revient à sa vitesse initiale pour commencer un cycle à nouveau.

Le fonctionnement des pompes BP et HP a donc permis de pousser l'eau vers les chambres de compression dont les débits d'eau sont retrouvés sur les courbes bleu et rouge, Fig. 7. La Fig. 8 montre que l'air dans les chambres a été bien compressé de la pression atmosphérique (0 bar relatif) jusqu'à la pression

de stockage (de l'ordre de 10 bars). L'air comprimé a été finalement envoyé au réservoir d'air dont le débit est tracé sur la Fig. 9. Ce volume d'air sous pression transféré dans le réservoir correspond ainsi à l'énergie stockée au cours d'une compression.

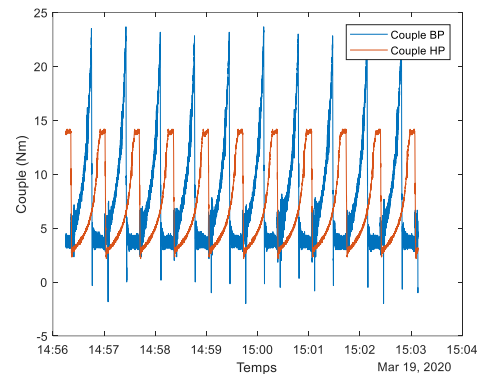


Fig. 5. Couples BP et HP

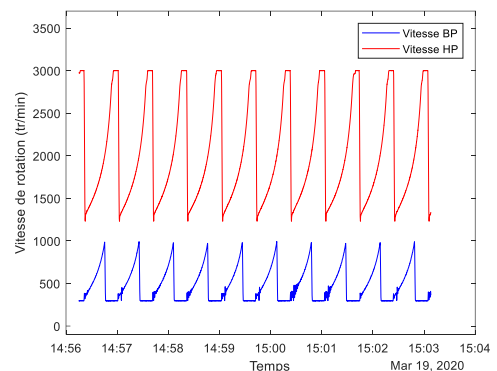


Fig. 6. Vitesse des pompes BP et HP

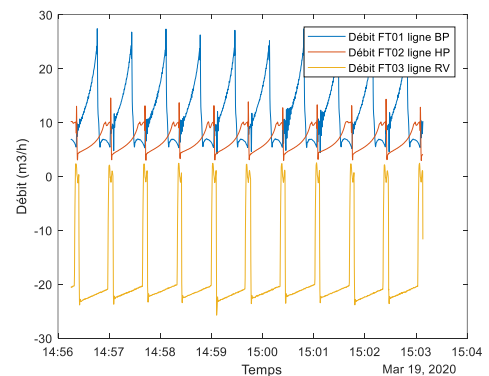


Fig. 7. Débit d'eau sur 3 lignes BP-HP-RV

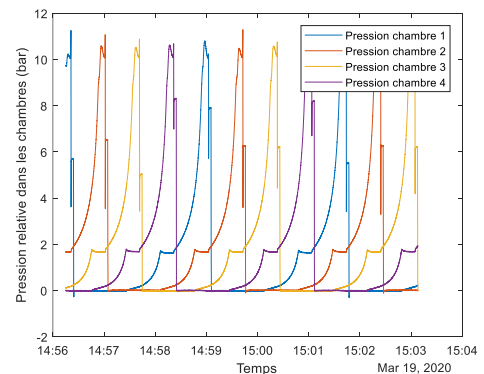


Fig. 8. Pression dans les chambres

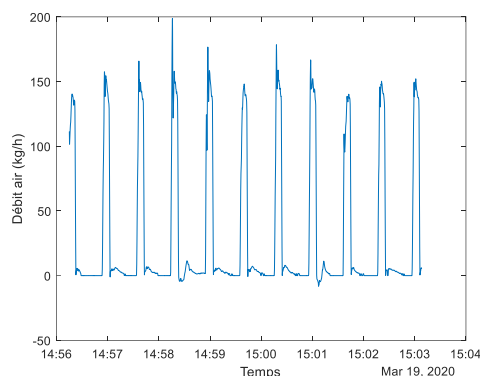


Fig. 9. Débit d'air comprimé en mode stockage

En mode déstockage, le même processus en sens inverse a été également réalisé avec succès pour un enchainement de 4 cycles. La Fig. 10 présente le débit d'air comprimé qui sort du réservoir d'air et rentre dans les chambres en mode déstockage. La valeur négative implique le sens inverse de l'air par rapport à la mode stockage. La détente de l'air quasi-isotherme (Fig. 12) repousse l'eau des chambres (de compression/détente) vers la pompe qui fonctionne en mode turbine pour entrainer le générateur et produire de l'électricité. La Fig. 11 présente les puissances électriques BP et HP produites par ce processus avec des pics de puissance totale de l'ordre de 1.5-2kW.

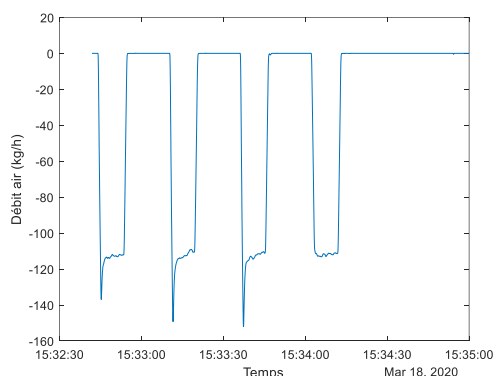


Fig. 10. Débit d'air en mode déstockage

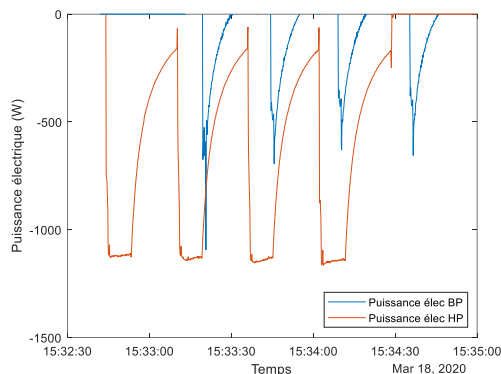


Fig. 11. Puissances électriques produites en mode déstockage

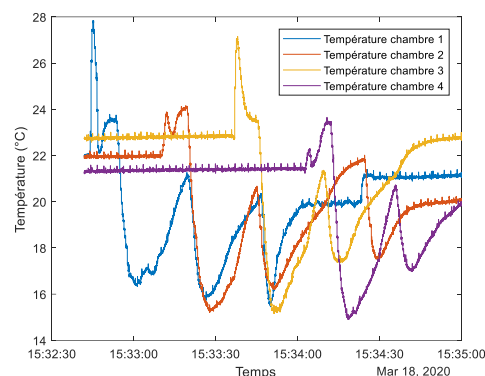


Fig. 12. Evolution de la température dans les chambres en mode déstockage

On observe sur la Fig. 12 que les températures mesurées dans les chambres de compression/détente restent quasi-constantes pendant le processus de décompression, contrairement à des processus de détente adiabatiques dont la température diminue d'une centaine de degrés Celsius pour une détente de 10 bars vers la pression atmosphérique. Ces résultats tendent à démontrer que le dispositif ODySEA fonctionne suivant le concept REMORA pour stocker et déstocker l'énergie par les processus de compression et décompression quasi-isotherme.

Dans ce papier, le rendement global du système ODySEA ne sera pas détaillé. Des travaux futurs, s'appuyant sur des essais améliorés et plus récents, s'attacheront à analyser plus finement l'efficacité du système à échelle réduite.

4. CONCLUSIONS

Ce papier présente une technologie innovante de stockage massif d'énergie par air comprimé en mer à l'aide d'une chaîne de conversion d'énergie, basée sur le processus de compression et décompression quasi-isotherme. C'est une solution écologique, sécurisée, et prometteuse pour le développement des énergies renouvelables. Bien que chacune des briques technologiques internes du système ait été l'objet d'études et de papiers, il est démontré ici pour la première fois la validation du principe de fonctionnement global.

Dans la suite des travaux, nous travaillerons sur l'amélioration du fonctionnement du système et la recherche d'optimisation de son efficacité énergétique. Nous visons également le développement d'un modèle numérique complet du démonstrateur pour le pilotage optimal du système à échelle réduite, ainsi que pour le dimensionnement des composants à taille réelle REMORA. Ces résultats nous permettent également de nous projeter vers de nouvelles étapes, dont la construction d'un deuxième démonstrateur de taille plus grande en mer.

5. REFERENCES

- [1] M.S. Guney, Y. Tepe, « Classification and assessment of energy storage systems », Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 75, p.1187–1197, 2017.
- [2] O. Achkari, A.E. Fadar, « Renewable Energy Storage Technologies - A Review », Conférence Internationale en Automatique & Traitement de Signal (ATS-2018), Proceedings of Engineering and Technology, vol. 35, p. 69-79.

- [3] X. Luo, J. Wang, M. Dooner, J. Clarke, « Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation », *Appl. Energy* 137 (2015) 511–536.
- [4] S.Koohi-Fayegh, M.A. Rosen, « A review of energy storage types, applications and recent developments », *Journal of Energy Storage*, 27 (2020) 101047.
- [5] IRENA (2017), « Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030 », International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- [6] R.B. Schainker, M. Nakhamkin, « Compressed -air energy storage (caes): Overview, performance and cost data for 25mw to 220mw plants», *IEEE Trans Power Apparatus Syst* 1985, PAS-104(4):790–5.
- [7] M. Budt, D. Wolf, R. Span, J. Yan, « A review on compressed air energy storage: Basic principles, past milestones and recent developments », *Appl Energy* 2016; 170(Supplement C):250–68.
- [8] H. Mozayeni, H. Mozayeni, M. Negnevitsky, X. Wang, F.Cao, X Peng, « Performance Study of an Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Storage System », *Energy Procedia*, Volume 110, March 2017, Pages 71–76.
- [9] M. Heidari, M. Mortazavi, A. Rufer, « Design, modeling and experimental validation of a novel finned reciprocating compressor for isothermal compressed air energy storage applications », *Energy* 2017;140:1252–66.
- [10] B. Yan, J. Wieberdink, F. Shirazi, P.Y. Li, T.W. Simon, J.DV. de Ven, « Experimental study of heat transfer enhancement in a liquid piston compressor/expander using porous media inserts », *Appl Energy* 2015;154:40–50.
- [11] Z. Wang, W. Xiong, DS-K. Ting, R. Cariveau, Z. Wang, « Comparison of underwater and underground caes systems for integrating floating offshore wind farms », *J Energy Storage* 2017;14:276–82.
- [12] T. Neu, « Experimental study and modeling of near isothermal air compression for offshore energy storage device », Ph.D. thesis, Nantes, France: Institut Mines-Telecom Atlantique; 2017.
- [13] T. Neu, D. Guyomarc'h, A. Bignon, C. Sollicec, « Elaboration d'une loi d'échange convectif dans le cas d'une compression d'air par piston liquide », 22ème Congrès Français de Mécanique, Lyon, 24 au 28 Août 2015.
- [14] T. Neu, D. Guyomarc'h, A. Bignon, C. Sollicec, « Analyse de la transition du régime d'échange convectif lors de la compression isotherme d'air par piston liquide : Application au stockage d'énergie », Congrès français de thermique, Thermique Mers et Océans, Marseille 30 mai - 2 juin 2017.
- [15] T. Neu, D. Guyomarc'h, A. Bignon, C. Sollicec, « Modélisation de la compression d'air par piston liquide – Application au stockage d'énergie renouvelable intermittente », 12^{ème} Colloque Interuniversitaire Franco-Québécois sur la Thermique des Systèmes, 8-10 juin 2015, Sherbrooke, Québec (Canada).
- [16] E.M. Gouda, M. Benaouicha, T. Neu, Y. Fan, L. Luo, « Modélisation numérique de l'écoulement et des transferts thermiques engendrés par la compression d'air dans un piston liquide », Congrès français de thermique, Thermique et Industrie du futur, Nantes 3-6 juin 2019.
- [17] E.M. Gouda, M. Benaouicha, T. Neu, L. Luo, Y. Fan, « Méthode VOF pour la simulation numérique de l'écoulement de l'air comprimé et du transfert thermique associé dans un piston liquide », 24^{ème} Congrès Français de Mécanique), Brest 26-30 Août 2019.
- [18] O. Maisonnave, N. Bernard, L. Moreau, M.F. Benkhoris, R. Aubrée, T. Neu, « Optimisation sur cycle du dimensionnement d'une MSAP appliquée à un système de stockage offshore par air comprimé », SYMPOSIUM DE GENIE ELECTRIQUE (SGE 2018), 3-5 JUILLET 2018, NANCY, FRANCE.
- [19] O. Maisonnave, « Contrôle et optimisation énergétique d'une chaîne multimachines multi-pompes à vitesse variable pour le stockage d'énergie par air comprimé », Thèse de doctorat, Université de Nantes, 2017.
- [20] O. Maisonnave, L. Moreau, R. Aubrée, M.F. Benkhoris, T. Neu, D. Guyomarc'h, « Optimal energy management of an underwater compressed air energy storage station using pumping systems », *Energy Conversion and Management* 165 (2018) 771–782.
- [21] N. Ratolojanahary et al., « Approach of Dynamic Modelling of a Hydraulic System », presented at the SimHydro 2019, Nice Sophia Antipolis, 2020
- [22] A. Debillé, C. Simon, R. Loisel, D. Guyomarc'h, T. Neu, and L. Lemiale, « Underwater CAES assessment: economic and engineering references for energy mix sizing in islands grids », in *2019 Offshore Energy and*