

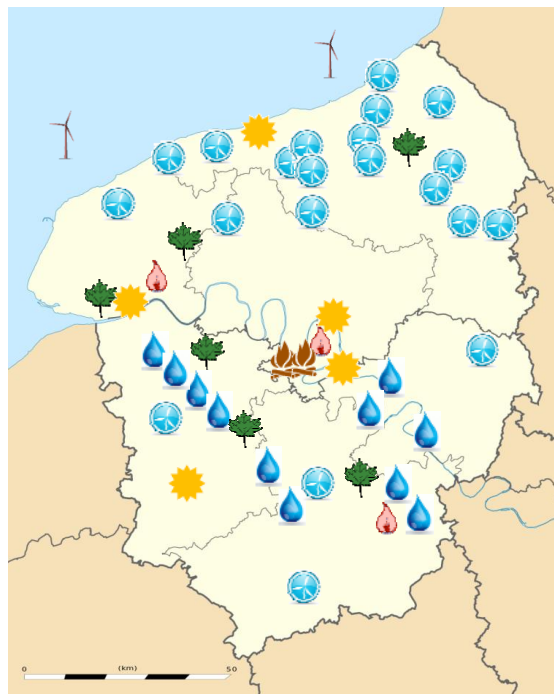
Combiner des solutions de stockage hybrides pour faire face aux variations de production et consommation d'électricité

SYNTHÈSE

Le stockage de l'énergie est au cœur des nouvelles problématiques énergétiques liées à l'optimisation de la production et de l'injection dans le réseau. La Haute-Normandie s'illustre dans deux domaines d'expertise : le stockage d'énergies renouvelables pour des usages fixes et le stockage d'énergie pour la mobilité. Dans les deux cas, des projets de recherche locaux étudient les possibilités de stockage à des échelles complémentaires. D'autres pistes sont approfondies, plus adaptées aux territoires ruraux par exemple. La Haute-Normandie dispose également d'atouts géographiques permettant d'envisager des solutions innovantes.

- La diversification croissante du mix énergétique (éolien, biogaz, nucléaire, thermique, etc.) doit s'adosser aux différents besoins et usages possibles à l'échelle du territoire des énergies. Par ailleurs, une connaissance plus fine sur les consommations énergétiques instantanées, notamment grâce aux nouveaux compteurs intelligents, sera disponible dans quelques années (voir fiche n°11).
- Le Centre d'expertise CEVEO et d'autres partenaires académiques recherchent des solutions de stockage hybrides, combinant différentes technologies à différentes échelles spatiotemporelles, pour adapter la production d'énergie aux variations saisonnières et lisser la distribution d'énergie électrique issue de sources intermittentes (par exemple grâce au biogaz, voir Fiche N°2).
- Le déploiement à venir de parcs de grande ampleur sur le territoire (notamment éolien) pose le défi de solutions opérationnelles à grande échelle.
- La spécialisation du territoire dans le stockage d'énergie pour la mobilité se fait au travers de plusieurs éléments :
 - Le Pôle de compétitivité Mov'eo (R&D Automobile / Mobilité et Transports publics) consacre un de ses 7 Domaines d'Activités Stratégiques (DAS) au Système de Stockage de l'Énergie (SSE).
 - Le développement des bornes de recharge pour véhicules électriques dans les agglomérations du Havre et de Rouen dans le cadre du plan national pour favoriser ce type d'installations, lancé en 2009 (voir fiche n°13).
 - Deux entreprises situées en Haute-Normandie commercialisent différents types de batteries pour véhicules électriques.
- Le territoire haut-normand est propice au développement de nouvelles solutions :
 - Stations de Transfert de l'Énergie par Pompage (STEP) marines sur le littoral. Si des études ont montré l'intérêt de telles installations dans cette région, aucun projet concret n'a été mis en œuvre à ce jour.
 - Stockage thermique par hydro-accumulation. Des test sont en cours à la chaufferie multi-énergie de Maromme (76).

LE PRODUCTION D'ENERGIE EN HAUTE-NORMANDIE



- Énergie éolienne
- Énergie éolienne offshore
- Énergie photovoltaïque
- Énergie hydraulique
- Énergie biomasse
- Énergie biogaz
- Énergie issue des déchets ménagers



ZOOM SUR...

Le Pôle de compétitivité Mov'eo R&D Automobile / Mobilité et Transports publics, implanté en Basse-Normandie, en Haute-Normandie et en Ile-de-France, a défini 7 DAS, dont Système de Stockage de l'Énergie (SSE). Ce DAS abrite déjà 4 projets de développement de techniques de stockage de l'énergie. SUPERCAL^[3] et SIMCAL^[4] sont des projets de développement de techniques de stockage électrochimique : modélisation électrique des supercondensateurs avec prise en compte du vieillissement des cellules pour le premier, et modélisation du vieillissement des batteries de type NiMH et Li-Ion embarqués dans des véhicules routiers pour le second. Le projet CINELI^[5], ou Charge INductive Électrique Interopérable, développe un principe de « couplage magnétique entre l'émetteur et le récepteur », une technologie de stockage magnétique de l'électricité. Enfin, VIVE (« Volant d'Inertie pour la recharge de Véhicules Électriques »), validé en octobre 2013, est un projet de développement du principe du volant d'inertie (stockage mécanique de l'électricité) qui consiste à stocker l'énergie sous forme cinétique au niveau de stations de recharge.

CHIFFRES CLES

Economie

2 commerces haut-normands vendent des batteries lithium-ion pour véhicules électriques

Environnement

110 m : c'est la hauteur maximale des falaises du Pays de Caux, favorables au développement des STEP

Société

70% de la R&D automobile française sur le territoire de Mov'eo

LE STOCKAGE D'ÉNERGIE EN HAUTE-NORMANDIE



Crédit : energie.com

Deux types de stockage d'énergie sont en fonctionnement sur le territoire : des batteries électriques lithium-ion déjà commercialisées et un site de stockage de gaz naturel, à la frontière entre l'Eure et le Val-d'Oise (St-Clair-sur-Epte (95)). Les autres technologies sont en phase de R&D : stockage mécanique, électrochimique et magnétique. Le développement de solutions de stockage est nécessaire à la fois pour le secteur des énergies intermittentes (éolien essentiellement), des véhicules décarbonés et pour les sites de production d'énergie décentralisés.

Le déploiement de parcs éoliens offshore accroît les besoins de stockage de l'électricité produite

L'essor et la **viabilité économique des 2 projets de parcs éoliens** au large de Fécamp et du Tréport (voir Fiche n°4) sont en partie conditionnés par la mise en place de systèmes de stockage. En effet, l'éolien est une énergie intermittente qui alimente le réseau électrique de façon irrégulière. Les projets WIN (Wind Innovation in Normandy) qui accompagnent le développement de l'éolien en mer en Haute-Normandie, ont notamment pour objectif de résoudre cette problématique. Ils accueillent des projets pilotes de stockage de l'électricité éolienne par compression du gaz et sous forme d'hydrogène par électrolyse.

Les véhicules hybrides et électriques en demande de progrès technologiques

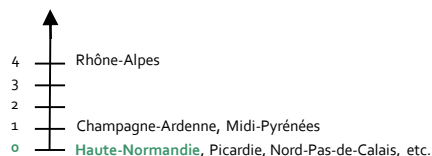
Pour que les moyens de transport électriques deviennent des alternatives viables aux transports carbonés, l'autonomie et le coût des batteries doivent être optimisés. Le Pôle de Compétitivité Mov'eo travaille sur ces enjeux à travers des projets de R&D sur des thématiques allant de la définition et l'optimisation des composants jusqu'à l'analyse de leur cycle de vie. Mov'eo anime également un réseau d'acteurs du secteur automobile (industriels, PME, universités et laboratoires) pour favoriser l'échange et l'innovation. Plus de 350 membres le composent et 325 projets ont été labellisés (dont 325 financés par des autorités publiques). **4 projets portent sur le développement de techniques de stockage électrochimique, mécanique et magnétique** (voir « Zoom sur... »), dont le projet « VIVE » qui vise à développer une technologie prometteuse pour le secteur des transports : le principe du volant d'inertie. Ce dernier consiste à faire tourner une masse (anneau ou tube) à une vitesse très élevée, puis à stocker sous forme cinétique l'énergie générée par la masse qui continue à tourner, même si plus aucun courant ne l'alimente. L'application de ce principe sur le métro de Rennes (pour récupérer l'énergie du freinage) amène à se poser la question de l'utilisation de cette technique sur des structures similaires en Haute-Normandie, comme le métro de Rouen ou le tramway du Havre.

D'autres alternatives de stockage

Les **Stations de Transfert d'Énergie par Pompage (STEP)** marines constituent une solution intéressante à l'échelle du territoire. Cette technologie de stockage mécanique est composée de 2 bassins situés à des altitudes différentes et permet de stocker de l'énergie en pompant l'eau du bassin inférieur vers le bassin supérieur (lorsque la demande électrique est faible) et de restituer l'électricité sur le réseau en turbinant l'eau du bassin supérieur (lorsque la demande électrique augmente). Pour l'instant, il n'existe que 6 STEP en France dans les régions montagneuses (Savoie et Isère essentiellement) mais l'absence de relief suffisant et le développement de l'éolien dans le nord de la France poussent à étudier la mise en place de STEP sur les littoraux. **Le pays de Caux (76) est particulièrement favorisé par sa position et sa topographie pour accueillir ce type d'installation : les falaises en bord de mer amènent un dénivelé suffisant pour installer des bassins à différentes altitudes.** En outre, la proximité des sites nucléaires de Paluel et Penly et des couloirs de lignes électriques associés accentue l'intérêt de positionner des sites de stockage dans cette zone.

Les sites décentralisés de production d'énergie (industriels, particuliers) se multiplient et la régularité de l'approvisionnement n'est pas toujours maîtrisée. Dans ce cadre, l'identification de solutions de stockage local est nécessaire, par exemple pour optimiser la gestion énergétique des bâtiments. Ainsi, 4 chercheurs du Laboratoire PROCédés, Matériaux et Énergie Solaire (PROMES), unité de recherche du CNRS située à Perpignan, ont étudié la possibilité d'installer « un système de **stockage thermique de type hydro-accumulation** destiné à une chaufferie collective multi-énergie (ou mixte) », à Maromme (76). L'étude montre qu'il est possible, grâce à ces techniques, de réaliser des économies significatives sur la durée de vie du site.

Stations de Transfert d'Énergie par Pompage recensés en France, par région



POSITIONNEMENT DE LA HAUTE-NORMANDIE

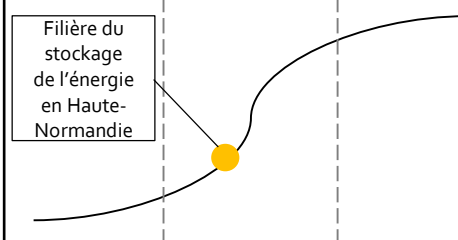
La Haute-Normandie n'est pas encore une région pionnière en matière de stockage de l'énergie en France, au contraire de la région Rhône-Alpes où l'on dénombre déjà 4 STEP en fonctionnement. En revanche, 70% de la R&D automobile française est réalisée sur le territoire de Mov'eo (Haute-Normandie, Basse-Normandie et Ile-de-France). La région fait donc partie des territoires actifs en matière de stockage d'énergie pour la mobilité, grâce à ce Pôle de Compétitivité.

TENDANCES ET ÉVOLUTIONS

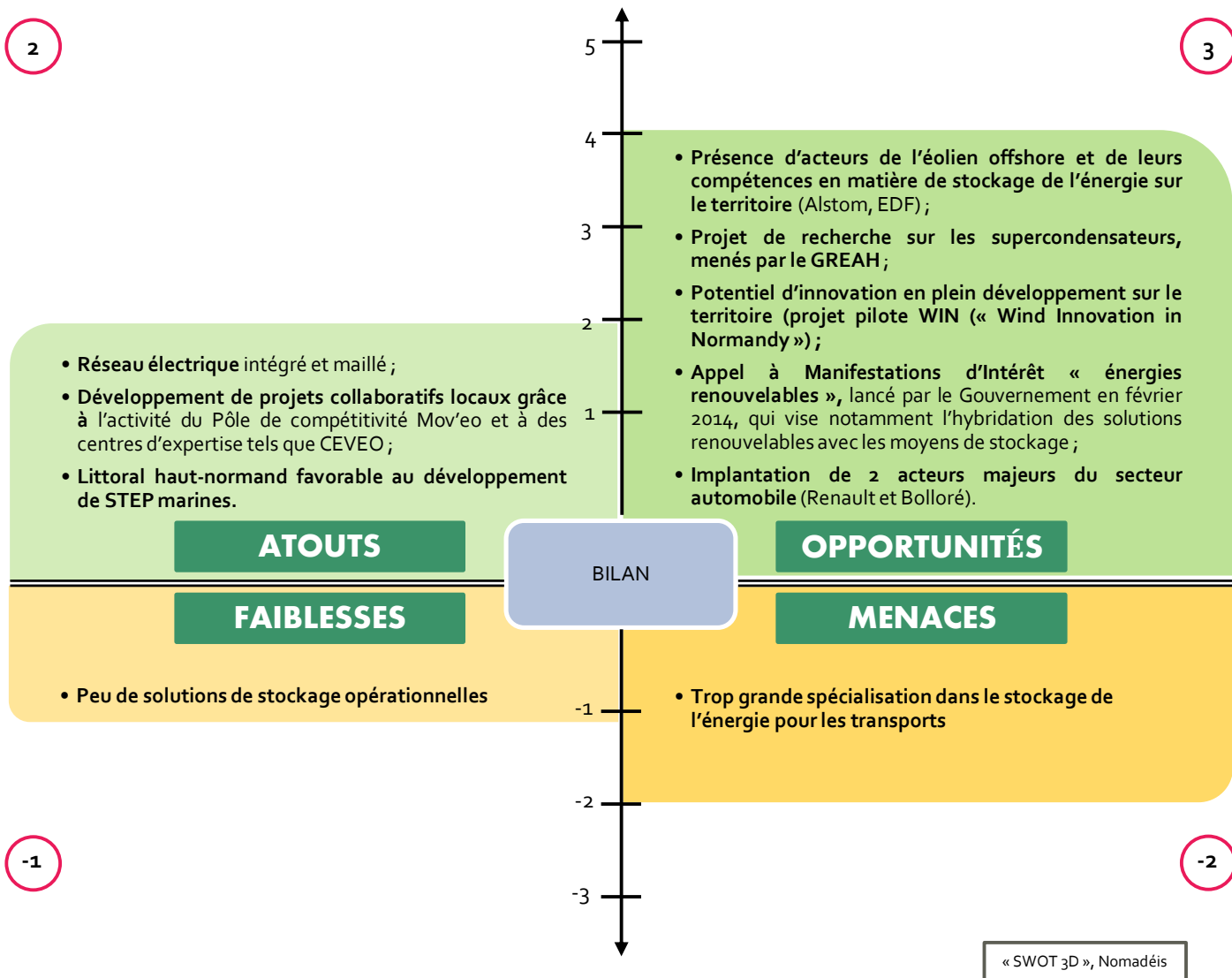
Le stockage de l'énergie est une filière jeune dont l'intérêt s'accroît fortement avec le développement des énergies renouvelables « intermittentes ». À l'image des quatre projets récemment financés dans le cadre du Pôle de Compétitivité Mov'eo, le stockage de l'énergie est en croissance en Haute-Normandie. Plusieurs technologies sont encore au stade de la R&D mais d'autres comme les batteries lithium-ion sont déjà disponibles à la vente sur le territoire.

Maturité de la filière

ÉMERGENCE DÉCOLLAGE MATURE



ANALYSE ATOUTS-FAIBLESSES-OPPORTUNITÉS-MENACES



ENJEUX ET PERSPECTIVES

La prise de conscience des acteurs haut-normands quant à la nécessité de (s')investir dans la filière du stockage d'énergie est forte. Dans la synthèse régionale du débat national sur la transition énergétique (débat ayant eu lieu courant 2013 entre différents acteurs régionaux, réunissant 600 personnes), les acteurs proposent notamment de « soutenir la R&D en matière de stockage de l'énergie électrique et de réseaux intelligents » ainsi que de « lancer rapidement des projets de R&D et de démonstrateurs de conversion *Power to Gas* et de STEP marine en couplage avec l'éolien offshore. » Les technologies de *Power-to-gas* et *Power-to-fuel* sont des technologies encore au stade de la R&D, notamment en France et en Allemagne, qui couplent les réseaux électriques et gaziers. Les acteurs haut-normands veulent donc profiter de l'essor de l'éolien offshore pour devenir un territoire pionnier en matière de stockage de l'énergie.

Le développement et l'installation de techniques de stockage de l'énergie devient d'autant plus nécessaire en Haute-Normandie que les énergies renouvelables intermittentes (éolien offshore en particulier, voir fiche n°4) sont en croissance accélérée.



DISPOSITIFS RÉGIONAUX

Le Pôle de compétitivité **Mov'eo en R&D Automobile / Mobilité et Transports publics** est implanté en Haute-Normandie, et rayonne sur les régions voisines de la Basse-Normandie et de l'Île-de-France.

Système de Stockage de l'Énergie (SSE), un des 7 domaines d'activités stratégiques (DAS) définis, abrite déjà quatre projets de développement de techniques de stockage de l'énergie : SUPERCAL, SIMCAL, CINELI et VIVE.

Les sujets de recherche abordés sont la modélisation électrique avancée des supercondensateurs, la modélisation du vieillissement des batteries NiMH et Li-Ion, une technologie de stockage magnétique de l'électricité et le développement du principe du volant d'inertie.



MÉTIERS D'AVENIR CONCERNÉS

La filière du stockage de l'énergie va permettre de créer des emplois sur le territoire haut-normand. Voici quelques métiers d'avenir qui pourront potentiellement être concernés (liste non exhaustive) :

- **Génie électrique** : technicien d'études et d'essais de systèmes électriques
- **Génie mécanique** : responsable mécanicien
- **Qualité / Sécurité / Environnement / Chimie** : chargé d'affaires procédés aval du cycle du combustible
- **Génie informatique** : architecte technique systèmes

PAROLE D'EXPERT

[Sur le développement de STEP utilisant la mer]

« Le pays de Caux (Haute-Normandie) paraît très favorable et son potentiel conséquent. [...] Ce grand stockage économique bien situé pourrait être la meilleure solution pour permettre réellement un programme d'énergies renouvelables important et pour réduire la part d'électricité d'origine fossile en utilisant mieux l'énergie nucléaire. »

Hydrocoop

François Lempérière, expert hydraulicien président de l'association à but non lucratif Hydrocoop

Crédit : hydrocoop.org

POUR EN SAVOIR PLUS

[1] Débat national sur la transition énergétique, Synthèse régionale Haute-Normandie, 2013

[2] Dimensionnement et gestion d'un système de stockage thermique par hydro-accumulation : application à la chaufferie multi-énergie de Maromme, Laboratoire PROMES-CNRS, juillet 2013

[3] [Mov'eo, SUPERCAL : Interaction des modes de vieillissement calendaire des supercondensateurs pour applications automobiles](#)

[4] [Mov'eo, SIMCAL : Étude et modélisation du vieillissement calendaire des batteries NiMH et Li-Ion embarqués dans des véhicules routiers](#)

[5] [Mov'eo, CINELI : Charge INductive Électrique Interopérable](#)

[6] F. Lempérière, Stockage d'énergie électrique dans le nord de la France, avril 2010

[7] [L'Argus, "Dix projets Mov'eo ont été retenus pour être financés", octobre 2013](#)