

Ambassade de France au Royaume-Uni Service Science et Technologie

Royaume-Uni

Avril 2016

Le Stockage d'Energie

Éditorial

par Cyrille Van Effenterre, Conseiller pour la science et la technologie

Il nous faut trouver les moyens de tenir nos engagements!

C'est à peu près le message délivré à l'occasion du lancement de la « Mission Innovation - accelerating the clean energy revolution » par une vingtaine de chefs d'Etat dans le cadre de la COP 21 à Paris en novembre dernier. C'est en tous cas le sens de cet effort considérable affiché en matière d'innovation technologique dans les énergies propres, avec l'affichage d'un doublement dans les 5 ans des investissements en recherche et développement dans ces domaines.

L'initiative en revient pour partie à Bill Gates, mais il n'est pas impossible que le Royaume-Uni y soit un peu pour quelque chose, car il avait déjà fait circuler dans les travaux préparatoires à la COP 21 une réflexion intitulée « Innovation for Clean Energy (ICE) - International Initiative for Clean Energy RD&D ».

Ce non-papier faisait d'ailleurs probablement écho à un appel lancé quelque temps auparavant par un groupe de prestigieux chercheurs britanniques, emmenés par Sir David King et Lord Nicholas Stern, en faveur d'un ambitieux programme de recherche et développement dans les nouvelles technologies, un « programme Apollo » mondial pour combattre le changement climatique^[1].

La structure de ce manifeste britannique pour une recherche sur les énergies propres identifiait trois piliers (renouvelables, nucléaire, capture et stockage du carbone) et trois fondations indispensables à l'ensemble : efficacité énergétique, distribution, et évidemment stockage de l'énergie. En effet, Sir David King, ancien Chief Scientific Adviser du gouvernement, actuel représentant spécial du Royaume-Uni pour le changement climatique, et par ailleurs brillant scientifique en chimie catalytique, a toujours mis dans ses propos un accent particulier sur le stockage de l'énergie.

Le stockage de l'énergie est d'autant plus une priorité au Royaume-Uni que celui-ci, avec un « *mix* » énergétique encore peu tourné vers le nucléaire et sans grandes ressources hydrauliques, mise sur des énergies renouvelables comme le solaire, l'éolien ou les énergies marines, qui sont particulièrement intermittentes, et doit donc en parallèle investir dans la gestion intelligente de la ressource (*storage*) et de la distribution (*smart grid*).

Les travaux en la matière sont encore au stade de la recherche, mais ils sont foisonnants, et les développements industriels ne sont pas loin, qu'il s'agisse de l'évolution des techniques de stockage (batteries, hydrogène, air liquide, biocarburants, etc.), des moyens de transport (véhicules électriques, transport du froid ou de la chaleur) ou du fonctionnement des réseaux.

Le dossier qui suit a été établi à partir d'un travail substantiel effectué au cours de l'année 2015 par Etienne Carrot, ingénieur-élève à l'ENTPE, encadré par Mariana Beija, attachée scientifique au service à l'époque. Son étude, conduite sur la base d'entretiens, de visites et de recherche bibliographique, visait à dresser l'inventaire détaillé des techniques, des organismes impliqués et des principaux laboratoires travaillant dans ces domaines dans les universités britanniques.

Le dossier de synthèse qui suit a été réalisé à partir de ce rapport de stage par Ludovic Drouin, attaché scientifique récemment arrivé au service et en charge des sciences naturelles et de l'ingénierie. Le lecteur passionné trouvera en fin du document les indications utiles sur les rapports, sources et interlocuteurs rencontrés par le service au cours de cette étude. Science & Technologie au Royaume-Uni Journal d'information du Service pour la Science et la Technologie de l'ambassade de France à Londres ISSN 2042-7719

> Avril 2016 Numéro 78

Directeur de la publication et rédacteur en chef M. Cyrille van Effenterre Responsable de la publication Dr Ludovic Drouin

> Dossier rédigé par : Dr L. Drouin, E. Carrot, Dr M. Beija En couverture : Electricity, Crédits : domaine public

Nous contacter

Service Science et Technologie
Ambassade de France au Royaume-Uni
6 Cromwell Place
Londres SW7 2JN

Téléphone: (44) 207 073 13 80 Télécopie: (44) 207 073 13 90 info@ambascience.co.uk

Pour recevoir la version électronique http://www.ambafrance-uk.org/-Science-et-Technologie-

Taux de change de la livre le 15/04/2016 1 GBP = 1,42 USD1 GBP = 1,26 EUR

www.ambascience.co.uk

^[1] http://cep.lse.ac.uk/pubs/download/special/Global_Apollo_Programme_Report.pdf

Sommaire

1.	Introduction	4
2.	Principe et problématiques du stockage d'énergie	5
	2.1 Principe	5
	2.2 Problématiques générales	5
	2.3 Problématiques du stockage de la chaleur	6
	2.4 Problématiques du stockage de l'électricité	6
3.	Principaux acteurs au Royaume-Uni	6
	3.1 Acteurs issus du gouvernement	6
	3.2 Organes de financement et/ou opérateurs de la recherche	7
	3.3 Organismes de gestion du réseau	11
	3.4 Autres acteurs	12
4.	Politiques publiques et financements	13
	4.1 À court et moyen termes	13
	4.2 À moyen et long termes	14
5.	Techniques, recherches et projets pilotes	15
	5.1 Stockage d'énergie thermique	15
	5.2 Stockage d'énergie pour le transport	16
6.	Intégration au réseau1	16
	6.1 Architecture du réseau	16
	6.2 Situation et évolution du réseau	17
7.	Conclusion	18



Le stockage d'énergie

Cette étude a pour objectif de faire un état des lieux de la filière du stockage d'énergie au Royaume-Uni ; le lecteur y trouvera une démarche qui s'inscrit aussi bien au sein d'une politique internationale, en référence aux accords sur le réchauffement climatique, que nationale. Y sont évoqués les problématiques, les acteurs au Royaume-Uni, les solutions financières et technologiques apportées. Enfin une réflexion sur l'évolution de ce domaine donnera au lecteur matière à penser.

1. Introduction

La vingt-et-unième Conference of Parties (COP) organisée à Paris en 2015 a non seulement réveillé les consciences sur les enjeux écologiques mais a aussi eu pour ambition de définir les objectifs pour lutter contre le changement climatique et l'appauvrissement en ressources fossiles. Les pays participants ont trouvé un commun accord sur la réduction d'émissions de gaz à effet de serre ainsi que sur la baisse de consommation d'énergie.

Pour satisfaire aux ambitions de la COP21, le Royaume-Uni a lui aussi établi ses objectifs, notamment un effort en matière de recherche et développement avec 15% de l'énergie issue de sources renouvelables d'ici 2020.

Aujourd'hui, dans le paysage énergétique anglais, 47% de l'énergie est utilisée pour produire de la chaleur, dont 80% est issue de centrales à gaz. S'ajoute à cela 39% de l'énergie totale utilisée pour le transport dont une grande majorité fonctionne à l'essence. Une réduction des dépenses énergétiques serait alors un grand pas vers la réduction des émissions de gaz à effet de serre et de la consommation en ressources fossiles.

Contrairement à la France, Albion n'a pas fait le choix du couple nucléaire/hydraulique (<15% de la production totale d'énergie), mais s'oriente vers une exploitation de l'énergie éolienne, solaire et marémotrice, pour pouvoir préparer au mieux l'après pétrole et charbon. Cependant, en rendant l'approvisionnement du pays dépendant de ces sources d'énergie, celui-ci s'expose à des problèmes de fluctuation de l'offre.

Pour être fiables et permettre aux opérateurs du réseau de délivrer une quantité d'électricité égale à celle que vont consommer les britanniques, les énergies renouvelables devront retrouver une flexibilité vis-à-vis de la production. Le stockage de l'électricité issue des centrales à énergie renouvelable semble alors être une solution pour retrouver la flexibilité généralement observée des centrales thermiques.

Les exemples les plus connus en termes de stockage d'énergie et plus particulièrement d'électricité, sont les batteries. Cependant, d'autres formes de stockage existent, par exemple sous forme mécanique ou de chaleur.

En investissant dans le domaine du stockage d'énergie et en en faisant l'une de ses priorités technologiques pour l'avenir, le Royaume-Uni espère aussi limiter les investissements pour l'extension du réseau électrique. Dénommés « Eight Great Technologies » (Figure 1), huit secteurs, parmi lesquels figure le stockage d'énergie, ont été identifiés par le gouvernement britannique en 2013 comme présentant un fort potentiel de croissance et dans lesquels le Royaume-Uni souhaite devenir un leader mondial.

Aujourd'hui, le stockage d'énergie en est principalement au stade de la recherche. Si de nombreux laboratoires travaillent sur le sujet, il existe peu d'applications industrielles. On peut néanmoins noter des projets pilotes comme le site de Leighton Buzzard, géré par UK Power Network (UKPN), où l'on teste des batteries à l'échelle du réseau, ou la station de stockage par air liquéfié situé à Slough, gérée par Highview Power. Toutefois, la transition énergétique devra passer par le stockage de l'énergie issue de l'énergie renouvelable, ceci avec tous les défis que cela implique.



Figure 1 : Eight Great Technologies. Crédits : SST-Londres. Source : CLCF, Pathways for Energy Storage.

2. Principe et problématiques du stockage d'énergie

2.1 Principe

Comme mentionné en introduction, le stockage d'énergie consiste à transformer l'énergie d'une forme (électricité, chaleur) en une autre, plus apte à la conservation afin d'en disposer ultérieurement et ainsi de répondre aux fluctuations de consommation. Dans cet environnement de fluctuation, il est nécessaire d'avoir des temps de réponse différents selon les moments de la journée ce qui implique de disposer de technologies diverses de stockage.

2.2 Problématiques générales

À l'échelle d'un pays, il n'est pas possible de généraliser une méthode de stockage d'énergie (puissance, temps de réponse différents). Les distributeurs d'électricité doivent donc réfléchir localement sur la pertinence de la mise en place d'infrastructures consommatrices d'espace et de ressources financières aux endroits stratégiques du réseau. Dans le dimensionnement d'une infrastructure de stockage d'énergie, cinq grands critères sont à prendre en compte :

- rendement de l'installation, à savoir quel pourcentage de l'électricité ou chaleur fournie en entrée sera disponible en sortie :
- densités, importantes notamment pour la diffusion d'une technique à grande échelle ; densité énergétique, d'une part, qui traduit la quantité d'énergie pouvant être stockée et densité de puissance, d'autre part, qui traduit l'énergie pouvant être fournie lors de la décharge pendant un temps donné ;
- temps de réponse et de stockage, temps que met la décharge pour se déclencher et durée pendant laquelle l'énergie a été stockée sans qu'il y ait eu trop de pertes ;
- prix de l'énergie lors de sa réutilisation.

De toutes les technologies actuelles, sur le marché et en développement, aucune ne satisfait pleinement tous ces critères et il faut alors choisir la technologie la plus adaptée à une situation de stockage donnée en fonction du besoin, de l'espace disponible et des ressources financières (Figure 2).

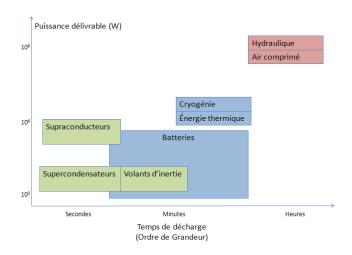


Figure 2 : Puissance délivrable en fonction du temps de décharge total pour les principales méthodes de stockage d'énergie au Royaume- Uni.

Crédits : SST-Londres.

Source: CLCF, Pathways for Energy Storage.

Aujourd'hui, la recherche au Royaume-Uni tente de savoir comment répartir les infrastructures dans le cadre de leur mise en place à grande échelle, en gardant à l'esprit l'amélioration de leurs rendements, la réduction de leurs coûts et l'affranchissement des difficultés qu'elles soulèvent.

L'Institution of Mechanical Engineers (IMechE) met en garde contre une attention trop grande portée sur le stockage d'électricité au détriment de la chaleur et des enjeux autour du transport. Il apparaît par exemple que, dans le but de rendre la production de chaleur moins coûteuse en termes de gaz à effet de serre, le Royaume-Uni cherche à remplacer le chauffage au gaz par l'utilisation de pompes à chaleur, ce qui induit des contraintes supplémentaires à l'utilisation des énergies renouvelables.

2.3 Problématiques du stockage de la chaleur

Aujourd'hui, c'est environ 50% de la consommation d'énergie au Royaume-Uni qui est dédié à la production de chaleur. Cette consommation est largement due au chauffage domestique et aux besoins de l'industrie. Cette dualité de la demande induit l'existence d'au moins deux réponses en termes de stockage de chaleur. En effet, les situations ne requièrent pas les mêmes besoins en énergie, ni n'ont les mêmes fonds à utiliser pour avoir un stockage efficace. Le faible volume stocké par des installations individuelles nécessite un travail de fond sur l'ingénierie (e.g. matériaux), ce qui implique une répercussions des prix et donc de la viabilité économique du stockage de la chaleur.

Pour les industries, le problème est autre. Si cellesci n'auront aucune difficulté à financer des installations à inertie thermique considérable, donc à limiter les pertes, elles seront confrontées à un stockage à faible densité énergétique (stockage des liquides). Pour s'affranchir de ce problème, d'autres méthodes sont aujourd'hui explorées comme le stockage par chaleur latente ou par réaction endothermique.

Au Royaume-Uni 80% de la production de chaleur est issue d'énergie primaire fossile ; des efforts dans ce secteur doivent donc être faits afin de diminuer significativement les émissions de gaz à effet de serre et de préserver les ressources. Malgré l'impact écologique, aujourd'hui l'IMechE et l'UKERC (UK Energy Research Center) mettent en garde contre le délaissement du stockage de chaleur à cause d'efforts trop focalisés sur le stockage d'électricité.

2.4 Problématiques du stockage de l'électricité

A cause de son mode de production et de consommation, l'énergie électrique coûte cher ; son stockage serait donc la solution à la réduction des gaz à effet de serre, aux fluctuations des consommations et par voie de conséquence à l'optimisation des coûts.

Ceci est d'autant plus vrai que les nouvelles sources d'énergie électrique (marémotrice, éolienne) sont difficiles à gérer et ne sont pas aussi flexibles que ne peuvent l'être des centrales thermiques à énergie fossile. Pis pour l'éolien où il est difficile d'envisager un réseau production-consommation sans passer par une étape de stockage.

Dans son rapport sur le stockage d'électricité, l'Institution of Engineering and Technology (IET), estime aujourd'hui que la demande en électricité moyenne est de l'ordre de 60% de la demande de pointe avec une prévision de 20% de marge supplémentaire pour les épisodes de pointe. Le Royaume-Uni a donc un réseau surdimensionné duquel il est possible de prendre avantage en envisageant le stockage et la redistribution nationale et internationale. Nous voyons donc une réelle volonté des acteurs d'établir des réseaux plus intelligents, connectés et proches des consommateurs, comme le préconise l'UK Power Networks (UKPN).

Aujourd'hui l'éventail des techniques de stockage de l'électricité touche de nombreux domaines de la physique

comme la compression ou la liquéfaction de l'air, l'utilisation de supraconducteurs ou bien le stockage de l'énergie sous forme cinétique (e.g. une roue tournant sur elle-même à une vitesse élevée) ou potentielle (e.g. par le biais d'une pompe et de deux réservoirs à hauteur différente). Cependant, de par ses applications et sa présence dans la vie de tous, la batterie lithium (stockage par voie électrochimique) reste en tête des méthodes. Même si cette forme est ancienne, elle tend aujourd'hui à se moderniser avec l'utilisation d'autres métaux (e.g. sodium, nickel, métal/air) ou systèmes (e.g. redox, piles à combustibles).

3. Principaux acteurs au Royaume-Uni

Autour du stockage d'énergie s'est formé depuis quelques années un écosystème, principalement constitué d'organismes historiquement présents dans le domaine de l'énergie, mais qui ont ouvert des branches dans le domaine du stockage. Ces acteurs sont des organes issus du gouvernement, des organes délivrant les financements, des opérateurs de la recherche et du développement (les grands centres de recherche) et enfin les grandes entreprises du secteur.

3.1 Acteurs issus du gouvernement

Pour l'heure, bien que le gouvernement britannique ait identifié cette technologie comme une des huit à développer, il n'y a pas d'organe en charge de la promotion et de la réglementation du marché du stockage d'énergie. Cependant, différent acteurs du gouvernement y participent.

3.1.1 Department for Business Innovation and Skills

Le BIS (Department for Business, Innovation and Skills) est en charge de la promotion de la croissance économique. Le budget innovation de ce ministère pour la période 2012-15 était de 11 Md£ sur les 16 Md£ dont dispose l'ensemble du ministère. Ce budget a aidé à la promotion et à la recherche sur le stockage mais a aussi eu pour but de renforcer les collaborations et les transferts de technologie entre les différents centres de recherche et le secteur économique (KTN/KTP (Knowledge Transfer Network/Knowledge Transfer Partnership)). Ainsi pour le BIS, le stockage de l'énergie est donc à la fois une question de progrès scientifique, finançable via les Research Councils (agences publiques de financement de la recherche), selon des critères d'excellence scientifique, et une question de diffusion d'innovation technologique, motivée par les objectifs de transition énergétique et de croissance économique.

3.1.2 Department of Energy & Climate Change

Le **DECC** (Department of Energy & Climate Change) est en charge à la fois du bon déroulement de la transition énergétique au Royaume-Uni mais aussi de la lutte contre le changement climatique. Pour soutenir les travaux nécessaires au réseau afin qu'il soit adapté au renouvellement du paysage énergétique, le DECC dispose d'une enveloppe de 110 Md£ sur dix ans, ce qui lui donnera les moyens de travailler avec la coopération internationale pour les questions liées au changement climatique, avec pour objectif 15% d'énergies

renouvelables en 2020 et 50% en 2050.

Pour la période 2011-15, 200 M£ avaient été débloqués dans le but de financer des projets à faible empreinte carbone et promouvoir les technologies propres pour ainsi répondre aux contraintes de l'Europe en matières environnementales.

3.1.3 Office of Gas and Electricity Market

Ofgem (Office of Gas and Electricity Market) est un organe national de réglementation indépendant du ministère. Sa mission est d'assurer les intérêts des utilisateurs de gaz et d'électricité avec pour priorité de garantir une énergie peu coûteuse et stable en approvisionnement pour l'usager. L'organisme travaille sur le respect des consignes de l'Union Européenne et réglemente le marché en fonction.

Parmi les thématiques des projets financés par Ofgem figurent les systèmes de stockage d'énergie dans le cadre des innovations à apporter au réseau, au même titre que les outils de contrôle des prix et des connexions. Le stockage d'énergie est alors vu comme un moyen de construire un réseau à faible empreinte carbone qui puisse fournir une énergie fiable aux utilisateurs. Les projets financés sont portés sur les tests et la mesure des effets de l'ajout d'unités de stockage sur le réseau.

3.1.4 Office for Low Emission Vehicles

L'Office for Low Emission Vehicles (OLEV) est un organe rattaché aux ministères des transports, de l'économie et à celui de l'énergie. Cet organe dispose de 900 M£ sur 2010-20 pour permettre au Royaume-Uni d'être un des leaders mondiaux dans le domaine des véhicules à très faibles émissions (véhicules électriques). Ce bureau doit permettre au gouvernement d'atteindre l'objectif ambitieux d'un parc automobile sans émissions de gaz à effet de serre en 2050. Le bureau finance des projets dans le domaine de la gestion de l'hydrogène (production, approvisionnement), celui de la recherche sur les batteries et enfin sur les systèmes de propulsion pour permettre aux véhicules électriques de rivaliser avec leurs homologues thermiques.

3.1.5 House of Commons

Les élus de la **House of Commons** peuvent s'appuyer sur un groupe de travail indépendant afin de s'informer sur des questions scientifiques et/ou technologiques : le Parliamentary Office of Science and Technology (POST).

Le POST est un organe du parlement composé d'experts chargés de le conseiller sur des sujets scientifiques. Il a pour mission de faire un état des lieux objectif dans les domaines concernés, en les replaçant dans un contexte politique, économique et social.

Dans sa note d'avril 2015, le POST s'est intéressé au sujet du stockage d'énergie et a mis en exergue les points suivants :

- stabiliser l'offre des énergies renouvelables ;
- garder un coût abordable pour l'électricité;
- stabiliser le réseau de chaleur ;

 remplacer les carburants conventionnels dans le domaine du transport.

3.2 Organes de financement et/ou opérateurs de la recherche

3.2.1 Engineering and Physical Sciences Research Council

Parmi les sept Research Councils (agences publiques de financement de la recherche) se trouve l'EPSRC (Engineering and Physical Sciences Research Council), spécifiquement dédié à la recherche dans les domaines de mathématiques, physique, chimie et sciences de l'ingénieur. L'organisme possède actuellement un budget de 800 M£ par an ce qui permet au Royaume-Uni de soutenir son ambition. L'enveloppe de l'EPSRC permet entre autres de financer des projets collaboratifs (qui représentent 42% des fonds alloués), mais également la formation de doctorants dans les secteurs identifiés comme clefs pour l'industrie via la mise en place de centres dédiés : les CDT (Centres for Doctoral Training).

Aujourd'hui, le budget de l'EPSRC lié aux problématiques de l'énergie est de 135 M£ par an (16% du budget total) dont la part en 2015 pour le financement des projets liés au stockage d'énergie représentait 71,5 M£ (Figure 3, Figure 4). Si l'EPSRC finance toujours la recherche sur les batteries et les véhicules électriques, le stockage d'électricité stationnaire via volants d'inertie, batteries à l'échelle du réseau ainsi que le stockage de chaleur sont eux aussi subventionnés. De plus, la priorité actuelle dans les financements est mise sur la recherche de l'intégration des technologies de stockage dans le réseau électrique.

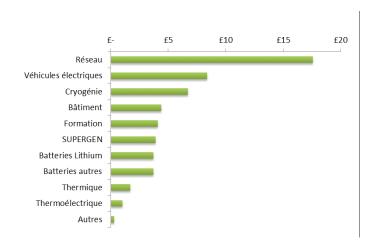


Figure 3 : Fonds délivrés par l'EPRSC pour des projets de stockage d'énergie en cours en 2015 au Royaume Uni, par thème, en M£. Crédits : SST-Londres.

Source: EPSRC support by classification.

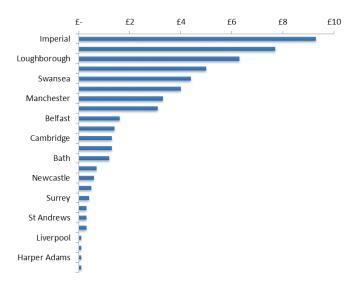


Figure 4 : Fonds délivrés par l'EPRSC pour des projets de stockage d'énergie en cours en 2015 au Royaume Uni, par université, en M£. Crédits : SST-Londres.

Source: EPSRC support by classification.

SUPERGEN Energy Storage Hub

De manière à s'informer des progrès de chaque centre de recherche et pour être conseillé dans l'attribution des financements des projets relevant du stockage d'énergie, l'EPSRC s'est doté d'un consortium (groupe de chercheurs reconnus dans le domaine) : **SUPERGEN Energy Storage Hub**, financé à hauteur de 3,9 M£ par l'EPSRC.

Ce consortium, mené par le Pr P. Bruce (université d'Oxford), et composé de 11 chercheurs, a émis des recommandations très encourageantes concernant la recherche sur les batteries, les supercondensateurs et les véhicules électriques.

3.2.2 Innovate UK

Également sous la tutelle du ministère BIS se trouve Innovate UK, anciennement appelé TSB (Technology Strategy Board). Cette structure travaille sur les missions de promotion de l'innovation du ministère de l'économie et subventionne les projets les plus importants pour renforcer les impacts de l'innovation sur l'économie.

Si la mission peut paraître semblable à celle de l'EPSRC, le stade de maturité des technologies financées ne sont pas les mêmes. Pour caractériser le degré de maturité d'une technologie la communauté scientifique, les industriels et les organes financeurs utilisent une échelle de neuf niveaux : l'échelle TRL (Technology Readiness Level, Niveau de Maturité Technologique) (Figure 5).

Innovate UK se focalise davantage sur des technologies ayant un état d'avancement proche de l'intégration sur le marché (TRL : 4 à 7). Depuis 2007, ce sont ainsi 1,5 Md£ qui ont été débloqués dans le financement de projets. Ces projets ont également été financés par l'industrie avec des montants égaux à ceux injectés par Innovate UK et l'organe estime aujourd'hui que les répercussions sur l'économie ont rapporté le double de ce qui a été totalement investi (7,5 Md£).

Niv 1	Observation du principe	
Niv 2	Formulation du concept technologique	
Niv 3	Preuve expériementale de conception	
Niv 4	Validation en laboratoire	
Niv 5	Validation en environnement réel	
Niv 6	Démonstration en environnement réel	
Niv 7 Dém	nonstration à l'échelle prototype en environnement opérationnel	
Niv 8	Qualification d'un système complet	
Niv 9	Système réel démontré en environnement opérationnel	

Figure 5 : Échelle de Niveau de Maturité Technologique. Crédit : SST-Londres. Source : MENESR.

Dans le domaine du stockage d'énergie, Innovate UK a œuvré en 2012, avec le DECC, aux financements de projet issus de PME britanniques. L'organisme a renouvelé son initiative en septembre 2015 avec un appel à projets réservé aux PME sous le nom d'Energy Catalyst avec un budget de 25 M£. Même si la technologie proposée devrait pouvoir être intégrée au réseau, l'aide pourrait concerner différentes progressions vers la commercialisation ; ainsi des fonds peuvent être attribués pour atteindre la faisabilité technique, le développement de la technologie ou la validation pré-commerciale.

3.2.2.1 Knowledge Transfer Network Ltd (KTN)

Sous la tutelle d'Innovate UK, le KTN est l'organe chargé de la promotion de la connaissance, du savoir-faire et de l'innovation britannique en matière scientifique ou non. Le but est de développer un réseau entre toutes les entités apportant de l'innovation dans le pays. En mai 2015, à la suite d'une réunion de travail trilatérale, le KTN a publié un rapport faisant l'état des lieux du stockage d'énergie au Royaume-Uni, en France et en Allemagne qui est à l'origine d'un groupe de travail trilatéral dont le but sera dédié à la promotion du stockage d'énergie et de son déploiement. Pour cela, le KTN devra se concentrer sur trois points : le marché et sa réglementation, les financements et investissements, et l'innovation et le savoir-faire. Sur chacun des points, la volonté est au rapprochement entre les pays dans le but d'avoir un marché commun pour ce secteur.

3.2.2.2 Energy System Catapult

L'autre outil que possède Innovate UK dans le but de favoriser le rapprochement entre les différents acteurs de la collaboration est la création de Catapult Centres. Parmi les onze centres existants (voir notre dossier N°77), trois concernent le stockage d'énergie (l'Offshore Renewable Energy, le High Value Manufacturing et le Transport Systems) avec notamment le Warwick Manufacturing Group (un des centres du High Value Manufacturing) qui travaille sur une chaîne de fabrication et de test de batteries pour l'industrie.

3.2.2.3 Commission Européenne : Horizon 2020

À l'échelle de l'Europe se trouvent également des fonds finançant l'innovation dans différents secteurs clefs et notamment celui de l'énergie. Horizon 2020 est le programme chargé de la recherche et de l'innovation pour la période 2014-20 dans l'ensemble de l'Union Européenne, pour lequel il dispose de 80 Md€ (56 Md£).

Dans le cadre de la lutte contre le changement climatique, Horizon 2020 a identifié l'énergie comme un secteur à promouvoir du point de vue de la recherche et de l'innovation et lui a alloué 6 Md€ sur les sept ans. Ce volet du programme s'inscrit dans la transition énergétique à réaliser à l'échelle de l'Europe et vise à atteindre en 2020 les objectifs de réduction de gaz à effet de serre de 20% par rapport à 1990. Bruxelles cherche également à valoriser l'industrie et la recherche européenne face aux autres puissances mondiales.

3.2.3 Centres de recherche en Grande Bretagne

Du fait de la pluridisciplinarité du stockage d'énergie, les universités, réparties sur l'ensemble du pays, ne dédient pas la recherche sur ce sujet à un seul département ; la création d'instituts transversaux, le plus souvent centrés sur les thématiques d'énergie en général (avec des sous départements dédiés au stockage d'énergie) sont créés (Figure 6).

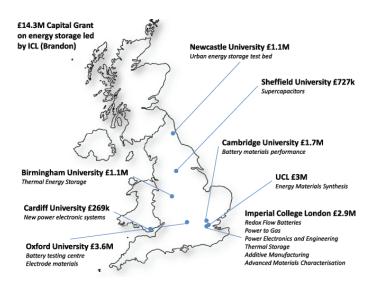


Figure 6 : Répartition des fonds et des thématiques pour le projet « Energy Storage for Low Carbon Grids » mené par Imperial College London.

Crédit et Source : Imperial College London.

3.2.3.1 Oxford Energy

L'université d'Oxford a mis en place un institut virtuel spécialement dédié au secteur de l'énergie. Créé en 2012, cet institut rassemble près de 180 chercheurs issus de différents départements de recherche. Ceux-ci développent douze thématiques identifiées dont le stockage, allant, de l'économie à l'enseignement en passant par le transport ou le solaire.

Oxford Energy note une hausse de la demande de stockage d'énergie et distingue trois secteurs où celui-ci peut s'avérer intéressant :

- la gestion du réseau où cela peut permettre à la fois de stabiliser la qualité de l'énergie issue des procédés renouvelables et d'assurer une meilleure gestion de l'offre et de la demande;
- le secteur du transport pour permettre l'essor des véhicules électriques;
- le secteur des nouvelles technologies et des objets portables.

Pour atteindre ses objectifs, Oxford Energy se focalise sur quatre volets du stockage d'énergie que sont le stockage par électrochimie (les condensateurs et batteries), le stockage de chaleur (matériaux à changement de phase), l'hydrogène (utilisé en tant que carburant ou comme adduit), et enfin la réglementation du marché et l'intégration des infrastructures de stockage au réseau.

3.2.3.2 Energy Futures Lab

À Imperial College, l'Energy Futures Lab réunit plus de 200 universitaires et travaille sur cinq grandes thématiques de l'énergie que sont la transition énergétique avec le passage au renouvelable et au nucléaire (fusion et fission), l'utilisation de l'énergie avec la réduction de l'empreinte carbone dans le milieu du transport, la promotion des véhicules électriques, la modélisation du transport de façon plus efficace et la recherche de nouveaux carburants. Dans le secteur des infrastructures, Energy Futures Lab travaille à la gestion du réseau, à l'efficacité énergétique et au stockage d'énergie. Enfin, il travaille sur des problématiques de politique à mener sur le réseau et l'innovation.

3.2.3.3 Energy Institute

À l'université de Birmingham, l'Energy Institute (75 M£ de budget) rapproche différents départements de recherche et rassemble 140 chercheurs qui travaillent au sein de cinq centres qui sont en charge des thématiques du nucléaire, de l'hydrogène et des piles à combustibles, des systèmes de transport, de l'économie de l'énergie et du stockage d'énergie.

L'université de Birmingham a été financée par l'EPSRC à hauteur de 6,7 M£ (financement des équipements) pour les projets liés au stockage d'énergie. L'université travaille surtout sur le stockage par cryogénisation de l'air pour lequel elle possède un prototype pouvant fournir plusieurs centaines de kW d'électricité. L'installation est non seulement un test à l'échelle de l'université, mais s'inscrit également dans le cadre des travaux sur la production et l'économie autour du froid, menés à l'université.

3.2.3.4 Warwick Manufacturing Group (WMG)

Contrairement aux centres évoqués précédemment, Warwick Manufacturing Group (WMG) n'appartient pas à l'université de Warwick. Le groupe s'est en effet détaché de la School of Engineering il y a 5 ans ce qui a permis une forte augmentation de ses effectifs pour atteindre 350 personnes, dont la moitié provient de l'industrie et l'autre de cursus académiques. L'objectif principal du WMG est d'offrir des solutions aux acteurs du transport pour en diminuer l'empreinte carbone.

Le groupe est aussi intégré au High Value Manufacturing Catapult Centre, mis en place par le gouvernement en 2011, dont l'objectif est de promouvoir les collaborations Industrie-Université. La plupart des collaborations sont réalisées avec l'industrie automobile, pour la production de véhicules de particuliers ou de sport ; mais également avec l'aéronautique ou encore les transports en commun (bus, rail).

En matière de stockage d'énergie, le WMG possède l'Energy Innovation Centre qui est un centre dédié aux batteries (fabrication de batteries à petite échelle et échelle préindustrielle). Ce centre travaille sur de nombreux aspects des batteries avec comme contrainte l'idée de pouvoir délivrer des produits utilisables par l'industrie. Le centre intervient sur l'ensemble du domaine pré-industriel, depuis les études de faisabilité jusqu'aux phases de développement des systèmes.

La chaîne de fabrication a été financée à hauteur de 6 M£ par le BIS. S'ajoutent à cela 4 M£ pour financer les 10 chercheurs qui y travailleront pendant au moins 30 mois et 4 M£ de la part de l'industrie.

3.2.3.5 Les centres de recherche en Écosse

L'Écosse représente 10% de l'énergie totale consommée du Royaume-Uni (équivalent à 12,5 mégatonnes de pétrole) avec seulement 8,3% de sa population, ce qui implique un effort supplémentaire à fournir par l'Ecosse pour atteindre ses engagements en matière de transition énergétique. L'objectif d'utiliser 30% d'énergie issue de source renouvelable d'ici 2020 est donc une réelle opportunité de redynamiser le pays puisque celle-ci pourrait générer 30 Mds£ d'investissement et 40 000 emplois. Pour ce faire, aujourd'hui l'Écosse porte ses efforts sur le développement des batteries et des installations de stockage sur parcs éoliens on- et offshores, ainsi que sur le stockage hydroélectrique.

Ces recherches sont effectuées par 4 centres universitaires que sont : EASTCHEM, GLASGOW-GRP, NORTHERN-NRP et EDINBURGH-ERP constituant le Scottish Research Partnership (SRP) (Figure 7).

Récemment le Research Council UK (RCUK), l'industrie et le gouvernement ont financé un partenariat de 250 M£ entre l'Energy Scottish Research Partnership (SRPe) et le Energy Technology Partnership (ETP). Au sein de ce partenariat, la recherche dans le domaine du stockage d'énergie est effectuée au **Strathclyde Institute for Energy and Environment** (InstEE), le plus important centre de recherche sur



Figure 7 : Regional Centres of Pooled Energy Research - Key Research Capabilities.

Crédit et Source : Scottish Research Partnership.

l'énergie en Europe. En 2005, l'EPSRC Science & Innovation award a récompensé le Strathclyde de l'Integrated Energy Initiative pour sa position de meneur en ingénierie de puissance électrique et de technologie demand-side. Cette récompense a permis de lever un fond de 5,5 M£, auquel s'est ajoutée une participation du BRE Trust Chair et du British Energy Lectureship. Strathclyde joue un rôle clef au sein du EPSRC SUPERGEN, mais l'université fait aussi partie aujourd'hui d'un programme de recherche sur les énergies financées à hauteur de 40 M£ par l'EPSRC, 12 M£ par l'industrie et 18 M£ par l'UE et le gouvernement britannique. Durant les cinq dernières années, c'est 20 M£ qui ont été investis dans des programmes d'excellence pour la RD&D dans le domaine de l'énergie via le SRIF (Science Research Investment Fund), EPSRC, DTI (Department of Trade and Industry), et les initiatives de financement industriels. Ce sont huit programmes en partenariat avec 15 UK-HEI et 25 entreprises du domaine de l'énergie qui ont été créés, afin de travailler sur les domaines clefs (éolienne, marémotrice/marine, réseaux, stockage, efficacité, économie d'énergie et la technologie demand-side).

De son coté le Scottish Energy Laboratory (SEL), en partenariat avec l'Energie Technology Partnership (ETP), a lancé un vaste projet de financement de la RD&D à hauteur de 250 M£. Ce financement permet aux universités écossaises de conduire des recherches dans le domaine du stockage (batteries, éolien, hydrogène, etc...).

L'Écosse a aujourd'hui au moins 5 grands projets applicables à la vie quotidienne en ce qui concerne le stockage de l'hydrogène généré à partir d'énergie renouvelable :

- Berwickshire Housing Association qui génère l'hydrogène par électrolyse (4,5 kW) fonctionnant avec de l'énergie éolienne et solaire; celle-ci est ensuite reconvertie en électricité avec une pile à combustible (5 kW);
- The PURE Energy Centre génère l'hydrogène par énergie éolienne qui est ensuite utilisé dans les transports (pile à combustible ou batterie pour véhicule hybride) ou reconverti en électricité (pile à combustible);
- The Hydrogen Office génère l'hydrogène d'énergie éolienne qui est stocké par unité de 30 kg sous pression.

Cet hydrogène est ensuite reconverti en électricité par pile à combustible ;

- H2SEED où l'hydrogène est produit par électrolyse de l'eau pour laquelle l'électricité est fournie par la digestion anaérobique des déchets domestiques. L'hydrogène est ensuite stocké en cylindre puis utilisé pour le transport. Financement: 250 000 £;
- Lews Castle College, l'hydrogène est généré par énergie éolienne puis stocké en cylindre.

Transition énergétique en Écosse.

L'Écosse a établi ses propres objectifs en ce qui concerne la réduction de gaz à effet de serre. D'ici 2020 et 2050 ce sera respectivement 42% et 80% de réduction par rapport à 1990.

En ce qui concerne le secteur de l'énergie, l'Écosse

- 30% d'énergie provenant de sources renouvelables d'ici 2020;
- réduire de 20% la demande énergétique d'ici 2020, et ce dans tous les secteurs;
- que 11% de la demande en chauffage et 10% de l'énergie des transports soient de source renouvelable d'ici 2020;
- fournir aux localités et communautés au moins 500 MW d'énergie renouvelable d'ici 2020;
- introduire la capture et stockage du CO₂ (CCS) commerciale d'ici 2020 et sa réutilisation dans les circuits conventionnels en 2025-30;
- renouveler et améliorer ses réseaux pour supporter l'augmentation de la demande en énergie renouvelable;
- connecter 40 000 foyers au chauffage central et ainsi fournir 1,5 TWh d'ici 2020.

Le Bright Green Hydrogen, avec la Levenmouth Community Energy Project, à Fife, ont initié un projet collaboratif encouragé par plusieurs partenariats (le Fife council, Toshiba, Leven Valley Development Trust, Fife College, BOC, Green Business Fife, Community Energy Scotland, Scottish Hydrogen and Fuel Cell Association). Cette initiative montre une application réelle du stockage d'énergie au quotidien, en l'occurrence l'hydrogène. Ce projet a reçu un financement initial du gouvernement écossais de 4 M£, puis de 1,5 M£ par le Fife council (2016).

Un autre domaine important du développement énergétique écossais est le stockage par batteries avec le projet Gigha Battery. Ce projet est situé sur l'île de Gigha (150 habitants) et consiste en un parc éolien d'une capacité de 900 kW, opérant à un facteur de puissance de 0,85, ce qui signifie une perte sèche de 3 GWh sur 25 ans, estimée à 300 k£, d'où l'intérêt réel du stockage.

3.3 Organismes de gestion du réseau

Au Royaume-Uni, la distribution du réseau est gérée par sept opérateurs (six anglais et un irlandais) qui selon leur localisation géographique appliquent une politique de stockage différente.

3.3.1 Energy Networks Association

L'Energy Network Association (ENA) est un organisme qui vise à représenter l'ensemble des acteurs du réseau britannique. Il s'agit d'un réseau d'expertise et de partage de connaissances du domaine de la politique de gestion des problèmes techniques du réseau. Le but de cette association est donc à la fois de partager les savoir-faire entre les membres et de faire office de représentant pour les intérêts des membres du groupe auprès des organes politiques que ce soit à l'échelle nationale ou européenne.

Afin de coordonner offre et demande en énergie, les distributeurs cherchent à rendre les réseaux plus intelligents. Pour ce faire, ils travaillent sur l'ensemble des objets du réseau, des générateurs à l'électroménager des consommateurs. En coopération avec Ofgem et le DECC, l'ENA a, en 2010, établi une feuille de route pour l'intégration des nouvelles technologies dans le réseau.

L'ENA va également se concentrer sur les véhicules électriques et les enjeux que leur diffusion va avoir sur le réseau. Dans ce cadre, l'ENA va travailler de concert avec plusieurs acteurs dans le domaine des véhicules électriques comme la Society of Motor Manufacturers and Traders (SMMT), l'Office for Low Emission Vehicles en plus de l'Ofgem et du DECC déjà évoqués.

Dans l'optique de rendre l'empreinte carbone du réseau plus faible et de favoriser l'innovation, l'ENA aide l'Ofgem dans l'attribution des fonds pour la recherche et le développement. Il s'agit de quatre fonds : l'Innovation Funding Incentive (IFI), Low Carbon Networks (LCN), Network Innovation Allowance (NIA) et Network Innovation Competition (NIC).

3.3.2 Acteurs industriels du réseau électrique en Grande Bretagne

En ce qui concerne les infrastructures de stockage d'énergie, **UKPN**, qui est en charge de la distribution de l'électricité dans le Sud-est de l'Angleterre, incluant Londres et sa banlieue, a mis en place une installation de batteries de 6 MW à Leighton Buzzard (Nord-ouest de Londres) sous le nom de Smarter Network Storage. Cette installation est actuellement raccordée au réseau et testée afin de servir de base dans la gestion des modèles de stockage d'énergie.

Sur la même technologie de stockage par batteries, **Northern Power Grid** a achevé la mise en place de six unités à Darlington au Sud de Newcastle. Ces batteries ont une puissance totale de 2,9 MW pour une capacité de 5,7 MWh. La particularité de ce projet est la différence de dimensionnement des unités de batteries et leur dispersion, contrairement à Leighton où tout est regroupé et où les trois unités de batteries font chacune 2 MW.

Dans le Centre et l'Ouest de l'Angleterre, le réseau est géré par Western Power Distribution (WPD). Là encore,

l'innovation sur le réseau prend plusieurs formes avec les mêmes objectifs de sécurisation de l'offre et de gestion de la demande que pour UKPN. Un des projets de stockage est expérimenté sur une trentaine de logements avec un couplage entre installations photovoltaïques et batteries de 2 KW ainsi que cinq écoles possédant des batteries de 8 kW.

Le grand projet mené par WPD en partenariat avec Isentropic® concerne le stockage d'électricité par pompes à chaleur. Ce projet, après avoir testé un prototype de 120 kW, doit mettre en place en 2020 une unité de stockage de 1,4 MW dans un lieu à déterminer.

Le **Scottish and Southern Energy** (SSE) gère le réseau en Écosse mais aussi dans le Sud de l'Angleterre. L'innovation dans le domaine du stockage d'énergie s'illustre depuis 2010 avec le projet d'unité de stockage d'énergie par cryogénie de 2,5 MWh, géré en collaboration avec l'entreprise Highview Power Storage, à Slough à l'Ouest de Londres. Highview Power Storage a pour ambition de construire d'autres unités de stockage, de l'ordre de la dizaine voire de la centaine de MW, mais le SSE ne serait pas forcément associé.

3.3.3 Structures Industrielles en Ecosse

Tout comme l'Angleterre, l'Écosse possède un développement industriel autour du stockage d'énergie. L'essor industriel de celui-ci est surtout lié à la situation géographique et géologique de l'Écosse avec un stockage qui est essentiellement porté vers les centrales hydroélectriques. On en dénombre quatre principales qui sont :

- la station Ben Cruachan (400 MW), établie en 1965 ;
- la station de Foyers (305 MW);
- la station de Lochaber (84 MW), établie avant 1939 ;
- la station de **Sloy** (160 MW), établie après 1945.

Même si l'Écosse a un réseau de stations hydroélectriques intéressant, sa capacité est néanmoins limitée (949 MW); ceci fut mis en lumière dans un rapport (2013) de l'université de Strathclyde qui identifiait un besoin en stockage de 1750 MW en 2015 et de 3086 MW en 2020 ce qui nécessiterait, en équivalent en air liquide (unité de 100 MW) de mettre à disposition 32 unités en 2020. Ces projets de stockage hydroélectrique continuent de se développer avec notamment un projet énergie de 800 M£ par le SSE qui totaliseraient 1,3 GW de capacité (à Balmacaan et Coire Glas).

Même si les systèmes hydroélectriques semblent être la solution, leur développement reste limité aux contraintes géographiques. Les entreprises se sont donc tournées vers des alternatives comme le stockage par batteries. C'est le cas de l'entreprise **Axeon** (acquise par **Johnson Matthey** en 2012) à Dundee, qui produit des batteries lithium pour application dans les transports.

Dans le même ordre d'esprit, aux îles Shetland à Rova Head, le SSE a reçu l'autorisation d'installer un parc éolien d'une capacité de 6,9 MW auquel est adossé un parc de batteries sodium-sulfure de 1 MW pour un investissement de 3,3 M£.

Le stockage d'énergie sous forme d'hydrogène est aussi un axe industriel exploré. Le ITM power a développé un électrolyseur fonctionnant avec le surplus d'énergie généré par les turbines marine Tidal installées à Eday (Orkney) sur le site test de l'European Marine Energy Centre (EMEC). Cet électrolyseur d'une capacité de 0,5 MW comprime l'hydrogène et stocke des quantités de 500 kg avec une production de 220 kg/24h, pressurisation à 20 bars, réponse de disponibilité rapide, pure en qualité (ISO 14687) et en accord avec la règlementation européenne.

3.3.4 Acteurs dans l'industrie

La pression des autorités est telle que des efforts important en recherche dans le domaine du stockage électrique et plus particulièrement les batteries, doivent être faits. Dans ce contexte de concurrence internationale, les principaux constructeurs britanniques travaillant sur le stockage d'énergie (Jaguar/Land-Rover, McLaren, Lotus, Rolls-Royce-Motors...) ont créé des collaborations étroites avec des entreprises œuvrant au développement et la commercialisation des batteries (Johnson Matthey, Yuasa Battery UK, etc...).

3.4 Autres acteurs

Certaines autres organisations, sans qu'elles fassent partie du gouvernement, se sont intéressées aux problématiques de stockage d'énergie et ont publié des rapports à ce sujet. Ces rapports ont des angles d'approche variés et permettent de saisir de nombreuses problématiques autour du stockage d'énergie.

3.4.1 Institution of Mechanical Engineers

En avril 2014, l'Institution of Mechanical Engineers a publié un rapport sur le stockage d'énergie intitulé : « Energy Storage, the missing link in the UK's Energy commitment ». L'IMechE, comme son nom l'indique, est une institution d'ingénierie formée il y a plus de 160 ans, regroupant aujourd'hui plus de 100 000 membres dans plus de 140 pays. Son but est de regrouper les connaissances dans un domaine donné des sciences de l'ingénieur et d'en informer les acteurs publics et privés. L'institution se focalise sur cinq grands thèmes que sont l'énergie, le transport, l'environnement, l'ingénierie et la formation.



Figure 8 : Turbine tidal. Credit et Source : ITM power.

3.4.2 UK Energy Research Centre

L'UKERC est une instance financée par le Research Councils UK à hauteur de 14 M£. Elle finance des programmes de 5 ans s'inscrivant dans l'optique de la transition énergétique. En novembre 2014, l'UK Energy Research Centre a publié un rapport centré sur le stockage de chaleur et intitulé « The Future Role of Thermal Energy Storage in the UK Energy System ».

3.4.3 Energy Research Partnership

L'institution a été créée en 2005 par le ministère de l'économie. Elle a pour but de rapprocher les principaux acteurs dans la recherche, le développement, le test et le déploiement de l'énergie. Ces acteurs sont à la fois issus du gouvernement, de l'industrie et des secteurs académiques. L'ERP est financé par ses membres selon des cycles de trois ans qui dictent la politique à suivre. Elle intervient ensuite pour stimuler la création de partenariats, informer les instances décisionnelles et promouvoir le rôle des sciences humaines pour comprendre les besoins des consommateurs. En juin 2011, l'Energy Research Partnership a publié un rapport sur l'ensemble du stockage d'énergie au Royaume-Uni intitulé : « The future Role for Energy Storage in the UK ».

3.4.4 Institution of Engineering Technology

Il s'agit d'une autre société savante, au même titre que l'IMechE, qui regroupe une centaine de milliers de membres. Dans un but similaire à celui de l'IMechE, l'IET cherche à rassembler les savoir-faire de tous ses membres répartis à travers le monde. L'IET s'intéresse à plusieurs problématiques sur le stockage d'énergie, notamment sur la mise en place (technologies, barrières, etc...) et ses effets (aide apportée par le stockage au réseau, effets secondaires bénéfiques, etc...). En 2012, l'institution of Engineering and Technology a publié une note sur le stockage de l'énergie.

4. Politiques publiques et financements

4.1 À court et moyen termes

4.1.1 Les « Eight Great Technologies »

En 2013, le gouvernement du Royaume-Uni a ciblé huit technologies dans le cadre de sa stratégie industrielle pour lesquelles il voulait faire du pays un leader mondial. Parmi ces « Eight Great Technologies », le stockage d'énergie fait figure d'élément clef pour répondre aux enjeux énergétiques du Royaume-Uni ainsi qu'aux taux d'émissions de gaz à effet de serre fixés par Bruxelles.

L'EPSRC a financé les projets de recherche universitaire du secteur du stockage d'énergie à hauteur de 55 M£, ce qui représente 5 fois plus qu'il y a 10 ans. Aujourd'hui l'IPO (l'Intellectual Property Office) dénombre ainsi 45 projets en cours de financement pour des budgets allant de 47 k£ à 6,7 M£.

4.1.2 « Le Green Deal »

Le Green Deal est un programme de rénovation de l'habitat lancé en janvier 2013 par le DECC. Il s'intéresse aux particuliers et vise à leur permettre d'effectuer des travaux de modernisation de



leur habitation au travers de financements éligibles sur 45 méthodes favorisant la sobriété énergétique. L'objectif est à la fois de réduire la facture, et donc la précarité énergétique, mais également la consommation, toujours dans le but de diminuer les émissions de gaz à effet de serre.

Dans le domaine du stockage d'énergie, le Green Deal s'intéresse principalement aux réservoirs d'eau chaude et aux dispositifs de récupération et de stockage de chaleur fatale. Des fonds sont ainsi mis à disposition pour faciliter leur rénovation les rendant ainsi plus efficaces. Plus que le stockage d'électricité, c'est donc le stockage de chaleur qui est mis en avant par ce plan, même s'il ne s'agit pas de l'objectif phare de la mesure, cela montre l'intérêt du gouvernement pour ce secteur.

4.1.3 Contraintes de l'Union Européenne

Les premières échéances des objectifs fixés par Bruxelles à l'ensemble des pays membres vont arriver en 2020. Pour aider les pays à atteindre ces objectifs, l'Union Européenne a créé des outils de financement pour les projets participant à l'atteinte de ces ob- crédit et Source : CCO jectifs, notamment ceux d'Horizon 2020.



Dans le cadre des engagements des pays de l'Union Européenne, la Grande Bretagne devra avoir, au même titre que ses homologues, 10% de l'énergie utilisée dans le transport issue de procédés renouvelables, ceci devant inciter à développer les carburants alternatifs à l'essence, accroître la part des véhicules électriques tout en veillant à ce que la production d'électricité soit suffisamment issue d'énergies renouvelables.

Il n'existe pas de collaboration à l'échelle de l'Europe concernant le domaine du stockage d'énergie. L'ensemble des pays de l'UE représente un peu moins de 10% des brevets dans le secteur et une part similaire pour la distribution d'énergie issue du stockage dans le monde, d'après l'IPO. Néanmoins, une volonté, emmenée par KTN, émerge afin de créer un réseau de travail trilatéral entre le Royaume-Uni, la France et l'Allemagne.

Par ailleurs, les domaines du stockage pour le transport et de la chaleur permettent d'initier de nombreuses collaborations européennes, notamment en ce qui concerne le travail sur les batteries. Par exemple, WMG travaille avec Dassault, Siemens, Airbus, etc...

4.1.4 Le cas de l'Écosse

Grâce à sa géographie et sa longueur de côte, l'Écosse est la région du Royaume-Uni avec le plus grand potentiel en énergies renouvelables. Depuis quelques années, le gouvernement écossais cherche de plus en plus à développer ces sources. C'est notamment le cas de l'éolien on- et



Crédit et Source : CCO domaine public

off-shore ou des centrales marémotrices. Les objectifs de l'Écosse à l'horizon 2020 se veulent plus ambitieux que ceux du Royaume-Uni en général avec des émissions de gaz à effet de serre qui devront être moitié moindres qu'elles ne l'étaient en 1990.

Le gouvernement écossais propose une étude des conséquences de trois scenarii de la situation énergétique écossaise aux horizons 2020 et 2030. Ces trois scenarii travaillent chacun avec une hypothèse différente concernant la part des énergies renouvelables dans le paysage énergétique de la région. Le premier étant celui que le gouvernement pense actuellement le plus probable pour respecter les objectifs (70% en 2020, 83% en 2030), le deuxième et le troisième étant respectivement au-dessous (61% en 2020, 76% en 2030) et au-dessus (74% en 2020, 85% en 2030) de ces prévisions.

Dans le deuxième scénario, la part en énergies renouvelables est donc plus faible que prévue, ce qui impliquerait un ajustement à 70% du réseau par des énergies fossiles dont les gestionnaires savent gérer la qualité et la quantité d'énergie produite.

En ce qui concerne le scénario 1, la production d'énergie en Écosse est susceptible de dépasser trop souvent au cours de l'année la demande locale pour que la connexion avec le reste du Royaume-Uni suffise à absorber ce trop-plein. En pic de production, ce pourrait être au moins 1,5 GW en 2020 et 5,0 GW en 2030 qui ne pourraient être absorbés par la demande, un scenario qui se produira respectivement 10 et 28% de l'année. Les technologies considérées pour stocker l'énergie seraient alors des techniques de stockage stationnaire et Edinburgh se focaliserait sur le stockage de l'électricité autour de cinq des technologies existantes : l'énergie potentielle, l'air comprimé, l'hydrogène, les batteries et les volants d'inertie. Le stockage via barrage hydraulique semble le plus prometteur ; la croissance de la production électrique requerrait alors la construction d'au moins cinq réservoirs supplémentaires. Cette solution offrirait à l'Écosse une opportunité abordable financièrement pour résoudre ses problèmes énergétiques.

4.2 À moyen et long termes

4.2.1 Formation doctorale

Pour préparer l'avenir du stockage d'énergie, il est important que le Royaume-Uni se dote d'une force de recherche importante. Dans un cadre général, l'EPSRC a déjà créé des centres de formation doctorale (CDTs, Centre for Doctoral Training), des par-



tenariats de formation doctorale (DTP, Doctoral Training Partnership), des accords coopératifs dans la science et la technologie (CASE, Cooperative Awards in Science&Technology) et des centres de doctorat industriel (IDC, Industrial Doctoral Centre).

Plus particulièrement et afin de favoriser les collaborations et la formation des chercheurs spécialisés dans le domaine de l'énergie et de la transition énergétique, l'EPSRC a financé la création en 2014, en collaboration avec les universités de Sheffield et de Southampton, d'un centre spécialement dédié au stockage d'énergie et à ses applications, financé à hauteur de 4 M£ (EPSRC). Lui sont associés de nombreux partenaires industriels comme Scottish Power, Scottish and Southern Energy, Johnson Matthey, etc...

4.2.2 Tendances et objectifs à long terme

Dans ce contexte, les organes politiques ont aussi des objectifs au-delà de 2030, voire avant l'horizon 2050. Cependant, comme pour la définition des objectifs à court terme, la feuille de route de ces organes est vague. Elle concerne l'ensemble du paysage énergétique en général et en dehors de la volonté de passer à zéro émission de gaz à effet de serre pour le parc routier en 2050, il n'y a rien concernant le stockage d'énergie.

L'Écosse, dans une étude sur la gestion et le déploiement du stockage d'énergie, prend néanmoins en compte des scenarii allant jusqu'à 2050, avec des efforts notamment sur la création d'infrastructures. Les écossais pensent également à quelques rares projets de stockage à forte capacité et puissance de l'ordre du GW, comme l'envisage Highview Power avec une station de stockage par cryogénie, cependant difficile à développer en raison des contraintes d'espace et de sols. La tendance sera également à la promotion des unités de stockage de grande puissance mais à faible capacités (condensateurs, volants d'inertie, supraconducteurs).

4.2.3 Financements des projets

Le BIS et l'EPSRC gèrent presque exclusivement le financement public de la recherche; en ce qui concerne les projets de stockage sur le réseau, ils sont financés par l'OLEV, Ofgem avec UKPN (SNS à Leighton Buzzard), et Highview Power avec le DECC (Slough).



domaine public

Les industriels voulant créer des infrastructures de stockage peuvent également bénéficier de fonds privés. C'est par exemple le cas d'Isentropic qui a bénéficié d'une aide de l'Energy Technology Institute dans le cadre de la réalisation d'un prototype de stockage d'électricité par énergie thermique. Enfin, l'UE finance en particulier la recherche sur les batteries via Horizon 2020.

Outils de financement Européen, les enveloppes dont disposent les différents organes publics pour le domaine de l'énergie sont importantes. Pour le BIS, il s'agit de 800 M£/an qui sont directement versés à l'EPSRC qui en 2015 a financé des projets sur le stockage d'énergie pour un montant an-

nuel total de 71,5 M£. Ofgem, quant à lui, a financé le projet d'UKPN à hauteur de 14 M£, et le DECC a versé 8 M£ pour le projet de Highview Power.

Ces programmes ont une durée variable, par exemple Energy Catalyst (l'appel financé par le DECC à hauteur de 25 M£), se déroule sur trois cycles d'un an chacun. À l'inverse, les appels issus de Horizon 2020 sont, eux, étalés sur 2 périodes de 5 ans.

5. Techniques, recherches et projets pilotes

5.1 Stockage d'énergie thermique

Pour ce qui est du stockage de l'énergie thermique, certains procédés sont connus de longue date et sont déjà utilisés à l'échelle du réseau.



Crédit et Source : SST-Londres

Ainsi, il est possible de stocker la chaleur sous différentes forme et origine :

- chaleur sensible (ballon d'eau chaude, chaleur fatale);
- chaleur latente (changement d'état de matériaux e.g. sulfate de sodium décahydraté, ou l'acétate trihydrate de sodium);
- énergie chimique.

Néanmoins, au Royaume-Uni, un nombre faible de projets concernent le stockage de chaleur. Cela peut s'expliquer par plusieurs facteurs. Premièrement, il existe déjà une technologie viable commercialement et diffusée à l'échelle des pays : les réservoirs d'eau. Ensuite, s'il y a une volonté politique sur le stockage d'énergie en général, quelques rapports, notamment celui de l'IME, pointent les problématiques de stockage de chaleur, et privilégient celui de l'électricité.

De plus, les volontés tendent plus à vouloir renforcer la sobriété énergétique avec des travaux sur l'isolation que sur le stockage de chaleur en lui-même. Enfin, il est pressenti que de nombreuses pompes à chaleur vont alimenter les foyers dans les années à venir. Le problème de stockage de chaleur deviendrait alors un problème de stockage d'électricité.

5.1.1 Stockage de l'énergie électrique par procédé « physique »

Toujours dans une optique de réduction de l'impact environnemental et des coûts tout en s'adaptant à la fluctuation de la demande, l'excédent d'énergie électrique peut être stocké par différents moyens physiques. Même si le stockage de l'énergie électrique reste un défi, il apparaît être comme l'un des plus efficaces. Cette énergie peut être stockée sous différentes formes par procédé physique, par exemple :

- énergie potentielle de pesanteur (utilisation de deux réservoirs à différente hauteur, puis d'une pompe ; les rendements observés sont généralement de 80%, e.g. Dinorwig au Pays de Galles);
- air comprimé (CAES, Compressed Air Energy Storage, rendements >70%, uniquement deux centrales (US et Allemagne));
- cryogénie/air liquide ((CES, Cryogenic Energy Storage ;

ou LAES, Liquid Air Energy Storage) rendement moyen de 70%. Un prototype de stockage par cryogénie, en université, se trouve à Birmingham (plusieurs centaines de kWh) et est supervisé par l'Energy Institute en collaboration avec Highview Power Plant qui possède une installation similaire, quoique plus grande, à Slough;

- énergie thermique (Système de pompe à chaleur, rendement moyen de 80%. Isentropic, entreprise pionnière dans le domaine, a reçu 14 M£ de l'Energy Technologies Institute. L'EPSRC finance aussi (quelques centaine de milliers de £) des projets initiés par les universités de Cambridge, Durham, Imperial College;
- supraconducteurs (Financement de l'université de Southampton par l'EPSRC, ainsi que de 100 k£ à l'Université de Bath par l'EPSRC);
- énergie cinétique (Volant d'inertie; Flybrid a reçu 3,3 M£ du Technology Strategy Board. Projet irlandais (2017) d'un volant d'inertie de 20 MW de capacité, faisant passer les énergies renouvelables de 50 à 75%).

5.1.2 Stockage de l'énergie électrique par procédé « chimique »

5.1.2.1 Batteries

Lorsqu'il est question de stockage d'énergie dans le cadre de la vie courante, les premières technologies auxquelles le grand public peut penser sont les batteries. Nous avons vu que l'énergie excédentaire produite pouvait être stockée par procédés physiques ; des procédés



Crédit et Source : CCC

chimiques sont aussi envisageables et possèdent un fort potentiel de développement. Ce secteur clef du stockage d'énergie compte de nombreux projets de recherche qui représentent environ 25% du budget de l'EPSRC (de nombreuses universités sont financées comme Oxford, UCL, Warwick, etc...).

Les batteries développées s'éloignent de plus en plus de la batterie standard au lithium avec des recherches axées sur l'utilisation d'autres métaux :

- batteries Li-ion (Création du site de Leighton Buzzard avec un budget de 18 M£ (2013-2016) financé en partie par Ofgem (13 M£), UKPN (4 M£) ainsi que d'autres partenaires comme les universités de Newcastle et Imperial College). Le projet rassemble 60 000 batteries (6 MW) fournies par Samsung;
- batteries Na-ion;
- batteries Ni-ion (longue durée de vie qui leur permet une application dans les parcs éoliens);
- batteries Redox (Redox Flow Battery) ((Couple Zinc/ Brome et Vanadium), longue durée de vie, stockage de quelques kW/unité, ne convient pas aux véhicules électriques);
- batteries Métal-air (haute densité d'énergie qui permet une application dans les transports, huit fois plus performantes que les batteries Li-ion, la moins chère du marché):
- batteries Pb-Acide (les plus abouties).

5.1.2.2 Supercondensateurs

En parallèle aux batteries, les supercondensateurs sont une autre façon de stocker l'énergie électrique. Cette technologie, à mi-chemin entre la batterie et le condensateur, permet une application urbaine.



Crédit et Source : CCO domaine public

Les supercondensateurs possèdent une grande densité de puissance mais une faible densité énergétique, ce qui va les rendre efficaces pour gérer les petites fluctuations dans la production d'électricité. C'est surtout dans le domaine du transport que se trouvent les applications de ces composants ; des constructeurs comme Alstom en France équipent des trams et des bus pour stocker l'énergie au freinage dans des villes comme Mannheim, Heidelberg (Allemagne), Paris, Lyon, Genève, Hong-Kong, etc... Au Royaume-Uni, et plus précisément au Pays de Galles (université de Glamorgan), un bus hybride est équipé de supercondensateurs. Cependant, cette solution ne répond qu'à une petite partie des enjeux sur le stockage d'énergie car ces supercondensateurs ne peuvent pas stocker de l'énergie sur une longue durée. Enfin, les coûts de production de ces unités sont élevés et ne facilitent pas leur diffusion. Pour remédier à ces défauts, le graphène semble être un matériau intéressant (voir notre dossier N°67).

5.1.2.3 Hydrogène

Aujourd'hui la production d'hydrogène est réalisée à 95% à partir d'énergie d'origine fossile ; il devient donc nécessaire de développer la production par électrolyse de l'eau. L'électrolyse alcaline et l'usage de membranes de transfert de protons (noyaux d'hydrogène) permettent la production d'hydrogène avec des rendements de l'ordre de 70%. La recherche développe actuellement des techniques à hautes température qui permettent des rendements de 90%. Ainsi, la production d'hydrogène par électrolyse en utilisant la surproduction d'électricité permet de stocker l'énergie.

Pour son utilisation, deux méthodes sont alors possibles. La première est d'utiliser l'hydrogène comme combustible dans une usine ou un moteur thermique avec un rendement moyen de 60%. Une deuxième solution est d'utiliser l'hydrogène dans une pile à combustible ; si le rendement actuel est de 30 à 40%, il pourrait, selon les experts, atteindre 50%.

Cette technologie de stockage d'énergie par production d'hydrogène permettrait ainsi au Royaume-Uni de rester en accord avec ses objectifs de réduction de gaz à effet de serre.

5.2 Stockage d'énergie pour le transport

De toute évidence le stockage d'énergie permet de répondre à la contrainte des fluctuations de production des énergies renouvelables ainsi qu'à la fluctuation de la consommation, mais surtout il permet le développement des transports dit propres. Le stockage d'énergie pour le



Crédit et Source : CCO

transport s'articule autour de quatre axes, comme suit :

- **biocarburants** (produits à partir de végétaux. La recherche sur cette thématique est menée notamment dans les universités d'Edinburgh et de Durham);
- hydrogène (Utilisé sous forme liquide, sa production devrait s'adapter à une forte expansion selon l'IMechE.
 En octobre 2014, 11 M£ ont été investis par le gouvernement (7,5) et l'industrie (3,5) pour la mise en service de 15 stations de recharge);
- air/azote liquide (l'azote liquide peut être issu du stockage d'électricité par cryogénie. L'autonomie des véhicules est similaire au transport par batterie. Nécessité d'utiliser un moteur Dearman);
- électricité (autonomie des véhicules de 100 km avec un temps de recharge d'environ 10 heures. Le Committee for Climate Change encourage le développement de ce secteur pour permettre au Royaume-Uni d'atteindre ses objectifs en termes de réduction de gaz à effet de serre. Jaguar-Land Rover, TATA Motors, Lexus et d'autres travaillent sur cette alternative).

6. Intégration au réseau

Le principal objectif du stockage d'énergie au Royaume-Uni est de permettre au pays de réussir à la fois sa transition énergétique et de réduire ses émissions de gaz à effet de serre. Pour cela le stockage d'énergie doit permettre de réduire la consommation, notamment de chaleur, et de stabiliser l'emploi des énergies renouvelables.

Pour pouvoir atteindre l'objectif fixé par le gouvernement qui est de devenir un des leaders mondiaux, de nombreux obstacles doivent encore être surmontés. Ces obstacles touchent alors plusieurs catégories d'acteurs : ceux travaillant sur les politiques autour du réseau et ceux travaillant sur l'intégration des technologies de stockage dans celui-ci. Les solutions apportées peuvent alors découler aussi bien d'avancés politiques, qu'économiques ou technologiques.

6.1 Architecture du réseau

Une grande partie des financements de la recherche et du développement est consacrée au thème de l'intégration des équipements de stockage d'énergie et par extension au futur du réseau électrique et thermique au Royaume-Uni, ce qui fait l'objet de nombreuses collaborations. Les domaines couverts par la recherche sur le réseau concernent l'emplacement et les connexions physiques à créer entre les infrastructures et le reste du réseau notamment les postes de consommation.

6.1.1 Placement des unités de stockage

Comme nous l'avons vu, il n'existe pas, à l'heure actuelle de solution de stockage universelle (peu coûteuse, bénigne pour l'environnement, ayant une grande densité de puissance et d'énergie, une longue durée de vie en cycle et en résistance aux contraintes extérieures). Pour répondre à l'ensemble des contraintes du réseau, il va falloir une combinaison de techniques énergétiques alliant les avantages de toutes les méthodes de stockage. Pour satisfaire au mieux la demande, il faudra donc procéder à un jonglage entre tech-

nologies (grande échelle vs petite échelle) selon l'emplacement et l'utilisation des installations.

Le stockage de l'énergie sous toutes ses formes n'aura pas qu'un effet stabilisateur sur le réseau de distribution, il va aussi et malgré lui, participer au stress de celui-ci, chose qu'il faudra prévoir.

6.1.2 Le stockage d'énergie à plusieurs échelles

Pour mieux connaître le potentiel et les attentes à avoir sur le marché du stockage d'énergie, Energy Futures Lab a réalisé une étude sur la valeur des systèmes de stockage d'énergie. Selon l'étude, cette valeur mesurée en £/kW/an augmente avec la part des énergies renouvelable d'un facteur 10 entre 2020 et 2050. Ceci indique qu'il sera, comme on peut l'attendre, dix fois plus rentable de stocker de l'énergie en 2050 qu'en 2020. Cette étude montre aussi que le Royaume-Uni pourra économiser, à terme, 10 Md£/an.

La situation géographique particulière du Royaume-Uni ne lui permet pas de partager efficacement ses infrastructures électriques et de développer des partenariats de stockage avec ses voisins ; aujourd'hui, il n'y a qu'une ligne sous-marine de 2 GW vers la France et une autre d'1GW vers les Pays-Bas. Des travaux sont en cours pour la construction d'une ligne qui empruntera le tunnel sous la Manche et pourra délivrer 1 GW entre le poste de Sellinde (Royaume-Uni) et celui des Mandarins (France). La mise en service devrait s'effectuer en 2016 pour un coût de 400 M€.

Dans son rapport de 2011, l'Energy Research Partnership envisage la création de connexions sous la Mer du Nord afin de créer un réseau entre les différents pays du littoral avec un nœud de communication au centre. Pour le Royaume-Uni cela consisterait à être relié à la Norvège (fort potentiel hydroélectrique) et à ce nœud. En profitant du cadre de ce projet, National Grid (entreprise internationnale de gaz et d'électricité) suggérait la construction de connexions permettant d'augmenter la capacité d'export du Royaume-Uni de 8 GW d'ici 2025.

L'Union Européenne veut également connecter au mieux les différents réseaux d'Europe, notamment via plusieurs projets sur terre ou en mer (comme celui évoqué par l'ERP). Dans ce sens, 10 pays européens dont la France, le Royaume-Uni et la Norvège ont signé une déclaration d'intention à ce sujet. La commission a également validé en 2012 le projet e-Highway 2050 qui devra développer le réseau européen sur la période 2020-50.

6.2 Situation et évolution du réseau

6.2.1 Obstacles et évolution du marché du stockage d'énergie

On l'a évoqué précédemment, le marché du stockage d'énergie comporte de nombreuses incertitudes qui entravent son développement. Viennent s'ajouter à cela des problématiques de natures diverses que les différents acteurs devront résoudre pour atteindre un déploiement

suffisamment efficace permettant au gouvernement de rester dans les objectifs européens ; celles-ci sont d'ordre :

- **technique**: pour certaines technologies, la recherche a atteint ses limites avec des conséquences sur la stratégie de financement de la recherche;
- **économique**: inégalité des infrastructures sur le réseau au niveau national.

Toujours à l'échelle du réseau, la pluralité des acteurs contrôlant les infrastructures pose le problème du financement et de la gestion des installations.

- Qui va payer pour l'infrastructure ?
- Pour les câbles reliant au reste du réseau ?
- Qui est propriétaire de l'énergie stockée ?
- Qui est responsable en cas de problèmes ?
- À qui les consommateurs doivent payer l'énergie qu'ils utilisent ?
- Comment sont décomptées les émissions de CO₂ liées à l'utilisation de l'énergie ?

Les acteurs déplorent également le manque de moyens débloqués pour faciliter l'intégration des unités de stockage sur le marché. Il n'existe en effet pas de mécanisme favorisant ces structures par rapport à des systèmes conventionnels. Il faudra donc que les professionnels du secteurs émettent des recommandations pour qu'un compromis soit trouvé.

6.2.2 Recommandations des acteurs

Les recommandations annoncées par les différents acteurs sont néanmoins concordantes ; en effet pour :

 l'IMechE: il ne faut pas se focaliser uniquement sur le stockage d'électricité stationnaire; il faut prendre en compte les domaines du stockage de chaleur



et celui pour le transport ; il faut créer un nouveau statut pour le déploiement des unités de stockage ; il faut reconnaître qu'un déploiement efficace des unités ne sera pas possible dans un marché conventionnel ; et il faut garder les prix d'énergie faibles ;

- l'ERP: il faut financer la recherche qui permettra d'évaluer le potentiel du stockage d'énergie avec modélisation de l'ensemble du réseau;
- le Centre for Low Carbone Futures (CLCF) : il faut permettre au déploiement de se faire suffisamment proche des lieux de consommation pour une efficacité optimale ; il faut prendre en compte deux types de déploiement nécessitant des aides différentes pour leur succès (installations capacitaires vs petites capacités et temps de réponse rapide) et il faut favoriser les collaborations internationales ;
- le KTN : il faut faciliter les collaborations internationales, notamment une collabora-



tion trilatérale (Fr-UK-Allemagne).

Enfin, si la transition énergétique et la lutte contre le changement climatique sont présentes dans les médias généralistes, le réel défi sera d'éduquer le grand public au stockage d'énergie local, en expliquant les tenants et les aboutissants de celui-ci.

7. Conclusion

Le gouvernement du Royaume-Uni a donc identifié le stockage d'énergie comme une des huit technologies clefs pour l'avenir. Le paysage énergétique du pays étant encore fortement émetteur en gaz à effet de serre, Londres voit le stockage d'énergie comme un moyen d'atteindre les objectifs fixés par l'Union Européenne à long terme. Le gouvernement cherche à mettre à disposition différents fonds, via une multitude d'organes financeurs pour aider la recherche et le développement de projets à ce sujet.

La plupart des acteurs sur le sujet sont d'accord : il n'existera pas de solution miracle, de technologie unique, qui offrira un stockage avec une forte densité énergétique, de puissance, avec un temps de réponse rapide, une durée de stockage illimitée, des matériaux nécessaires à la construction abondants, un coût faible et une possibilité de production à grande échelle. En conséquence, le Royaume-Uni tend à promouvoir un mélange énergétique avec cinq grandes catégories de stockage :

- le stockage de **chaleur** assuré par les réservoirs d'eau chaude et les matériaux à changement de phase ;
- le stockage capacitaire de longue durée assuré par les réservoirs hydrauliques et les cavernes à air comprimé;
- le stockage sur réseau local assuré par des rassemblements de batteries pouvant être épaulées par des installations de stockage par cryogénie ou énergie thermique;
- le stockage à faible capacité mais avec grande puissance, assuré par supercondensateurs et volants d'inerties;
- le stockage dans le **transport** avec les batteries, épaulées par les biocarburants, la cryogénie et l'hydrogène.

Malgré le manque d'une politique claire de la part du gouvernement, le secteur connaît une croissance importante, avec notamment l'augmentation des fonds délivrés par l'EPSRC à la recherche, qui permettent d'explorer les potentiels d'une plus grande variété de techniques. Les projets sur le réseau augmentent et la recherche sur les batteries continue de progresser. De nombreux centres travaillent sur le sujet comme Oxford Energy, l'Energy Institute de l'université de Birmingham, Energy Futures Lab à Imperial College, et ce sont 24 universités qui reçoivent actuellement des fonds dans le cadre de la conduite de projets sur le stockage d'énergie. Les distributeurs travaillent également sur le réseau, d'une part pour développer des solutions plus abordables pour répondre à leurs difficultés en attendant que le prix des unités de stockage baisse, mais aussi pour accompagner ces unités lors de leur installation pour augmenter leur efficacité et enfin pour gérer le stress du réseau.

Enfin on rappelle que le réseau électrique britannique est particulier et ses problématiques ne sont pas les mêmes que celles de ses voisins européens. Le rôle du stockage au Royaume-Uni est bien plus important puisque la Grande Bretagne dispose de connexions avec le continent n'ayant une capacité que de 2 GW et donc pas de possibilité de distribuer l'énergie en cas de surproduction comme le fait par exemple l'Allemagne avec la Suisse.

Cette différence de problématiques va alors avoir deux effets. Elle n'encouragera pas les coopérations avec le reste du continent et elle va même priver Albion de sources de financement puisque les priorités de Bruxelles seront dans un premier temps axées sur l'Europe continentale. On assiste néanmoins à l'augmentation de la volonté de partenariat de part et d'autre de la mer du Nord et si les problématiques sont différentes sur le réseau, elles restent identiques pour la chaleur et le transport.

Participation collégiale de **Dr M. Beija**, **E. Carrot**, **Dr L. Drouin**

Sources:



Entretiens

Pr **M Titirici**, School of Engineering and Materials Science, Queen Mary, University London

Benoît Ronez, Service Économique Régional, Ambassade de France à Londres

Pr **D Brett**, Department of Chemical Engineering, University College London

Pr **ZX Guo**, Department of Chemistry, University College London

Pr **P McMillan**, Department of Chemistry, University College London

Dr NJ Teh, Energy System lead, Knowledge Transfer Network

Jordi Ros, Smarter Network Storage, UK Power Network

Paul Blackmore, WMG Centre, High Value Manufacturing Catapult

Dr **N Mallinson**, WMG Centre, High Value Manufacturing Catapult

Dr **R Bhagat**, WMG Centre, High Value Manufacturing Catapult

Dr J Radcliffe, Energy Institute, University of Birmingham

Pr M Freer, Energy Institute, University of Birmingham

Pr P Bruce, Department of Materials, University of Oxford

Dr **P Grünewald**, Environmental Change Institute, University of Oxford

Dr V Yufit, Faculty of Engineering, Imperial College London

Dr **F Tariq**, Faculty of Engineering, Imperial College London.

Rapports

Institution of Mechanical Engineers: Energy storage, the missing link in the UK's energy commitment, 2014, http://bit.ly/1StHcUA

Knowledge Transfer Network: Germany-France-UK Trilateral Energy Storage 2014 Workshop Report, 2015, http://bit.ly/1TjifeH

The Institution of Engineering and Technology: Electricity Storage, 2012, http://bit.ly/1STWeA8

Intellectual Property Office: Eight Great Technologies: Energy Storage, 2014, http://bit.ly/1LSjNWG

UK Energy Research Centre: The Future Role of Thermal Energy Storage in the UK Energy System, 2014, http://bit.ly/1Vk0Nui

House of Parliament: POST Note 492, April 2015, http://bit.ly/1Vk0Nui

Energy Research Partnership: The future role for energy storage in the UK, 2011, http://bit.ly/1SZzoaS

Service Science et Technologie : Fiche Curie Royaume-Uni, 2014, http://www.ambafrance-uk.org/La-Recherche-au-Royaume-Uni-13433

Low Carbon Futures: Pathways for Energy Storage in the UK, 2012, http://bit.ly/1WFDBWN

Scottish Government: Energy Storage and Management Study, 2010, http://www.gov.scot/resource/doc/328702/0106252.pdf

Library House of Commons: Energy Storage Research and Development, 2014, http://bit.ly/1rkzZhj

European Commission: The Future Role and Challenges of Energy Storage, https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/energy_storage.pdf

Sites internet

EPSRC: Support by research area in energy storage, 2015, http://bit.ly/1STWe3j

ECIU: Energy Storage: can the UK be a world leader?, 2015, http://bit.ly/1qE4I80

The Guardian: Can flywheel technology drive out the battery from car hybrids?, 2014, http://bit.ly/1lhc5On

UCL: Tracking exploding Lithium-ion batteries in real-

time, 2015, http://bit.ly/1XIQD40

The Engineer: Grid-connected energy storage, a new piece in the UK energy puzzle, 2012, http://bit.ly/1STWjE4

Énergie pour demain : Le couplage au réseau : le problème de la fréquence, http://bit.ly/1pjT5lB

BIS: Business Plan 2012-2015, 2012, http://bit.ly/1o5IXq6

ISIS: Supercapacitors for Flexible Energy Storage and Ultrafast Superpower, 2015, http://bit.ly/1Nm56Cr

SRP: Scottish Research Partnership, 2015, http://www.researchscotland.ac.uk/pst-energy.php

ETP: Energy Technology Partnership, 2015, http://bit.ly/1phiTPa

CES: Community Energy Scotland, 2015, http://www.communityenergyscotland.org.uk/gigha-battery-project.asp

The Shetland Time: Giant battery at Gremista will remain dormant-and may have to go, 2012, http://bit.ly/1rkE9FK

ClimateXechange: Literature Review: Electrical Energy Storage for Scotland, 2015, http://bit.ly/1SkSybk

ClimateXechange: Thermal energy storage in Scotland, 2015, http://bit.ly/1SZBkjD

Ecoconnect: The Future of the Energy Storage industry in Scotland, 2014, http://bit.ly/1qE5d1Y

ITM Power: Tidal Energy Storage, 2015, http://www.itm-power.com/project/tidal-energy-storage

Localenergyscotland: Levenmouth Community Energy Project, 2015, http://bit.ly/1Vk3s6Y

brightenergyhydrogen: Levenmouth Community Energy Project, 2015, http://bit.ly/1MluzpM

ORedT energy storage: REDT wins £3.6M DECC Award for Energy Storage, 2014, http://bit.ly/243nzbo

SSE: New Pumped Storage Proposals, 2015, http://bit.ly/1TjkKOc

www.ambascience.co.uk



AmbascienceUK





Les articles de Science et Technologie au Royaume-Uni publiés par le service Science et Technologie de l'Ambassade de France au Royaume-Uni sont diffusés selon les termes de la licence Creative Common Paternité-Pas d'utilisation commerciale-Partage des Conditions Initiales à l'Identique 2.0 France. Les autorisations au-delà du champ de cette licence peuvent être obtenues via une demande par courriel à info@ambascience.co.uk

