

FLASH N°51 – Octobre 2016

Au sommaire de ce n°

Réseaux de chaleur solaire et stockage thermique (ex. au Danemark).....1
 Syst. de stockage d'énergie pour l'autoconsommation résidentielle – Relais de croissance de la filière photovoltaïque européenne.....3

Réagissez à cet article sur le forum de www.centrale-energie.fr,
 Pôles : « Renouvelables » - « Vecteurs et stockage d'énergie »

Rejoignez-nous sur les réseaux sociaux ! Centrale-Energies dispose d'un groupe sur LinkedIn, Viadeo et Facebook.



Dates à retenir

Merc. 9 novembre 2016

« Droit à polluer ! Bilan du marché européen des quotas carbone »

Le Village by CA
 55 rue de la Boétie,
 75008 Paris
 Métro : Miromesnil

Mercredi 14 décembre 2016

« Deux exemples de démonstrateurs de stockage de l'électricité »

Le Village by CA
 55 rue de la Boétie,
 75008 Paris
 Métro : Miromesnil

L'inscription s'opère à partir des invitations insérées au site de Centrale-Energies :

www.centrale-energie.fr

Prochain Flash (N°52) décembre 2016

Comité de relecture et de mise en page :

Ravinder Manoharan
 Christiane Drevet
 Claude Poirson

Réseaux de chaleur solaire et stockage thermique L'exemple des « Water Pit Storage » au Danemark

Par Cédric Anglade (ECLy 2015)

Le solaire thermique au Danemark



Figure 1 : Champ solaire au Danemark [1]

Partons faire un petit tour au Danemark, pays des réseaux de chaleur où ces derniers couvrent 60% des besoins de chauffage contre 5% en France. Ce taux atteint même 98% à Copenhague ! Dans ce pays, les grands projets de réseaux de chaleur alimentés par des centrales solaires se développent à grande vitesse comme en atteste la carte des projets en construction dans le pays (Figure 2). La production solaire n'étant pas pilotable et non corrélée avec la consommation d'énergie, tout grand projet s'accompagne d'un moyen de stockage thermique [2].

Les Danois ont développé leur propre technologie dans ce domaine : plusieurs hectares de panneaux solaires sont raccordés à un stockage thermique à grande échelle : des « Water pit storage » qui sont des grandes fosses creusées dans le sol et remplies d'eau (Figure 3). Ces mini-lacs, à moitié enterrés et bien isolés, permettent le stockage inter-saisonnier de l'excédent de chaleur produit par les

panneaux solaires en été.

Zoom sur les « Water Pit Storage »

Ces derniers permettent de stocker plusieurs dizaines de milliers de m³ d'eau à un prix relativement faible pouvant descendre jusqu'à 50 €/m³, à comparer aux prix des réservoirs cylindriques de plus de 400 €/m³ [3].

La forme est celle d'un trapèze, forme la plus simple à construire se rapprochant de la forme sphérique qui présente les pertes thermiques les plus faibles en raison d'un faible ratio surface sur volume.

Le lac est creusé à la pelleteuse. La terre extraite est placée sur les bords du réservoir pour augmenter sa hauteur et éviter les coûts d'extraction. Les bords sont inclinés le plus possible tout en garantissant la stabilité lors de la construction, soit une pente d'environ 27° par rapport à l'horizontale. La fosse est en-

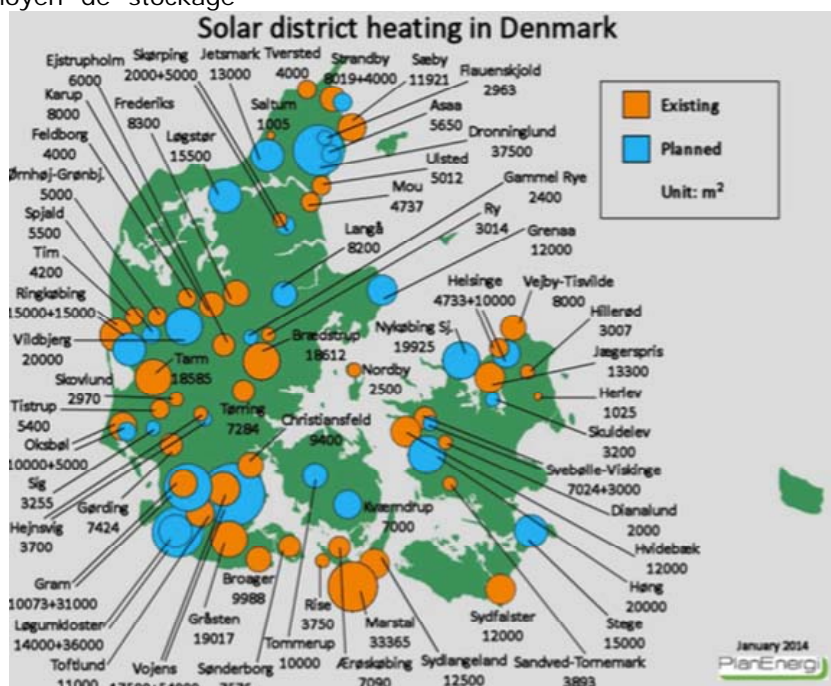


Figure 2 : Projets de réseaux de chaleur solaire au Danemark [1]

suite recouverte d'un « liner » spécial, qui permet de garantir l'étanchéité du réservoir. De nombreuses recherches ont porté sur ces liners pour trouver les plus résistants à haute température tout en empêchant la pénétration de la vapeur d'eau.

L'isolation constitue un des éléments les plus chers. Pour réduire la surface à couvrir, le fond n'est pas isolé. Au fur et à mesure des premières années d'exploitation, le sol aux alentours va se réchauffer et jouer le rôle d'isolant.

La couverture qui vient recouvrir la fosse est un des composants les plus techniques. Pour parer aux phénomènes de dilatation thermique, celle-ci est construite de manière à flotter sur l'eau.

En cours d'exploitation, l'eau va se stratifier en couches de températures croissantes au sein du stockage. L'eau en haut du réservoir peut ainsi atteindre 90°C quand l'eau en bas est à 40°C. Pour ne pas perturber la stratification, l'eau chaude en provenance des panneaux solaires est directement insérée à la bonne hauteur à l'aide d'un stratificateur, tube métallique présent sur la Figure 3.

Les Danois ont pris une grande avance dans ce domaine et développé un savoir-faire unique en Europe en surmontant les problèmes rencontrés lors des toutes premières constructions : fuites, défaut de liners, contraintes géotechniques...

A titre d'exemple, le stockage du réseau de chaleur de 30 GWh de la ville de Marstal a longtemps été le plus grand au niveau mondial : une fosse de 75 000 m³, mesurant 113 m de long, 88 m de large pour une profondeur de 16 mètres [4]. Les deux mois nécessaires à son remplissage reflètent son énorme volume. Les panneaux solaires produisent en moyenne 400 kWh/m²/an. Une surface de 33 000 m² de panneaux solaires produit plus de 50% de la consommation d'énergie du réseau.

En été, les panneaux solaires suffisent à couvrir les besoins du réseau. En hiver, une pompe à chaleur 1,5 MW et une chaufferie bois de 4.0 MW servent de compléments (Figure 4). La pompe à chaleur permet de délivrer de l'eau à 75°C et fonctionne en refroidissant l'eau stockée dans le réservoir, en priorité lorsque les prix de l'électricité sont bas.

En 2015, Marstal a été détrôné par le réseau de Vojens : une surface de 52 491 m² de panneaux solaires d'une puissance de 37 MW sont associés à un stockage de 203 000 m³ [5]. Le système permettra ainsi de couvrir approximativement 50% des besoins du réseau composé de 2 000 maisons. L'investissement s'élève à 16 millions d'euros, dont environ 9 millions pour le champ solaire et 4 millions pour le stockage. La nouvelle tendance semble donc être au plus gros système afin de profiter d'économies d'échelles et obtenir un coût du m³ le plus faible possible.

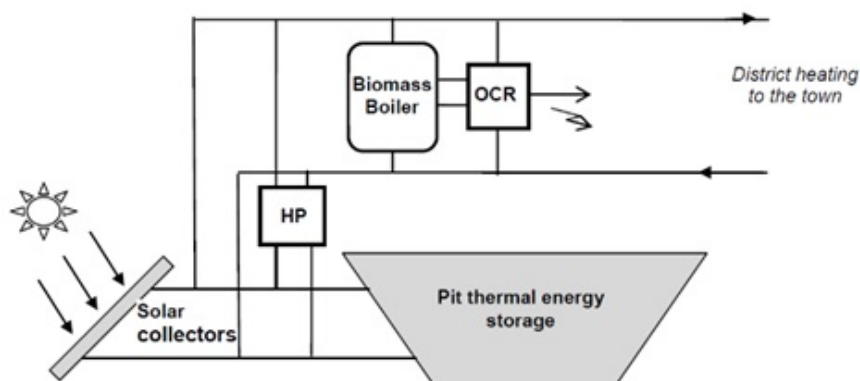


Figure 4 : Schéma simplifié centrale de Marstal



Figure 3 : "Water Pit Storage" en construction [3]

Perspectives d'évolution

Ces grands stockages thermiques pourront servir à l'avenir à lier les réseaux de chaleur avec le réseau électrique (via des pompes à chaleur ou « co-génération », aussi appelée « combined heat and power » ou « CHP plants ») et apporter une plus grande flexibilité au réseau électrique, flexibilité essentielle pour une forte pénétration des énergies renouvelables. La filière Power-to-Heat, concept consistant à valoriser le surplus de production électrique via une transformation en chaleur, apparaît de plus en plus dans de nombreux scénarios de transition énergétique à l'horizon 2050 et des appels d'offres en ce sens (comme celui lancé par le Club Stockage d'Énergies de l'ATEE) commencent à voir le jour.

En France, les réseaux solaires peinent à se développer malgré une volonté certaine de se lancer dans le domaine : appel à projets de l'ADEME, conférence internationale annuelle sur les réseaux de chaleur solaire à Toulouse organisé par SDH (Solar District Heating) [6]. Un des freins au développement de ces derniers réside dans les températures élevées des réseaux de chaleur. Pour l'instant, on peut citer les réseaux de Balma à Toulouse et de Juvignac à Montpellier.

Espérons que de nouveaux projets voient le jour dans un futur proche avec le développement des éco-quartiers, la rénovation des bâtiments, l'extension et la densification de réseaux nécessaires pour répondre aux objectifs de réduction des émissions de CO₂ grâce au développement des réseaux de chaleur.

Sources :

[1] Site de l'entreprise Danoise PlanEnergi. Disponible sur <<http://www.planenergi.eu/>>

[2] PAVLOVL Georgi K, OLESEN Bjarne W, *Seasonal ground solar thermal energy storage – Review of systems and applications*, ICIEE, DTU, Denmark

[3] JENSEN Morten Vang, *Large Systems Seasonal pit heat storages - Guidelines for materials & construction*, Task 45 IEA-SHC, 2014

[4] DANNEMAND Andersen J, BODKER L, *Large Thermal Energy Storage at Marstal District Heating*, 2013

[5] Site de l'entreprise danoise Ramboll : <<http://www.ramboll.com/projects/re/south-jutland-stores-the-suns-heat-in-the-worlds-largest-pit-heat-storage>>

[6] SDH, *National report france, New business opportunities for solar district heating and cooling*. D5.1 Macro Analyses, Thomas DUFFE et al.

Systèmes de stockage d'énergie pour l'autoconsommation résidentielle – Relais de croissance de la filière photovoltaïque européenne

Par François Barsacq (ECP 84)

Les progrès techniques remarquables enregistrés ces dernières années dans le domaine des batteries Lithium-ion associés à une rapide baisse des prix apportent désormais des solutions efficaces et abordables pour mieux gérer l'intermittence des énergies renouvelables.

Parallèlement aux systèmes de stockage de forte puissance permettant d'améliorer la gestion des réseaux de distribution à l'échelle d'une région, les systèmes de stockage domestiques sont en passe de devenir un composant incontournable de toute installation photovoltaïque résidentielle. Pour s'en convaincre, il suffisait de se rendre en juin dernier à Munich sur le salon Intersolar Europe, le plus grand événement professionnel de la filière photovoltaïque où, parmi les 1 000 exposants, 200 présentaient sur près de 15 000 m² leurs nouveautés en matière de stockage d'énergie.

La politique de transition énergétique en Allemagne à l'origine d'un marché d'ampleur mondiale

Historiquement, les batteries ont toujours été associées aux installations photovoltaïques pour assurer la disponibilité d'électricité de jour comme de nuit en l'absence de tout réseau de distribution. Ce cantonnement aux applications hors réseau fut remis en cause au début des années 2000 par la mise en place en Allemagne de l'obligation d'achat de l'électricité photovoltaïque réinjectée dans le réseau de distribution dans le cadre de la loi sur les énergies renouvelables (Erneuerbare-Energien-Gesetz ou EEG) encore en activité aujourd'hui sous une forme amendée.

Par cette décision politique destinée à favoriser le développement des énergies renouvelables, l'énergie photovoltaïque se libérait de la nécessité d'être stockée puisqu'elle pouvait être directement réinjectée dans le réseau, ce qui allait donner le coup d'envoi à une fantastique croissance du marché, passant d'une puissance cumulée installée de 100 MWc en 2000 à près de 40 000 MWc en 2015.

Toujours en Allemagne, une dizaine d'années après les premières lois EEG, les systèmes de stockage d'énergie retrouvaient une nouvelle jeunesse sous une forme modernisée tant technologiquement (batteries Lithium-ion plutôt que batteries au Plomb) qu'en termes d'usage. Il ne s'agissait plus de garantir

l'alimentation électrique 24h/24 mais de maximiser l'autoconsommation plutôt que de réinjecter son électricité solaire dans le réseau (Figure 1).

Un tiers des nouvelles installations photovoltaïques résidentielles allemandes équipé de systèmes de stockage

De fait, l'Allemagne est devenue en quelques années le premier marché mondial pour les systèmes de stockage photovoltaïques résidentiels. Plus de 30 000 maisons en sont déjà équipées et une nouvelle installation photovoltaïque allemande sur trois comporte désormais une batterie, le plus souvent de technologie Lithium-ion, permettant d'utiliser en soirée l'énergie solaire produite en journée et non autoconsommée. Cette évolution n'en est qu'à ses débuts, certains experts estimant que le seuil des 100 000 systèmes de stockage résidentiels installés outre-Rhin pourrait être franchi avant la fin de la décennie avec l'arrivée à leur terme des premiers contrats d'achat d'électricité photovoltaïque à prix garantis.

Une tendance similaire se dessine ailleurs en Europe, à commencer par l'Italie où la part du photovoltaïque dans le panier énergétique national est parmi les plus élevées au monde. La France arrive tard sur ce marché, la revente totale de la production photovoltaïque ayant été la règle jusqu'en 2016. La situation devrait maintenant changer avec l'incitation à l'autoconsommation prévue par la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte et la mise en place de réglementations énergétiques pour le bâtiment de plus en plus exigeantes.

L'Europe, qui représente pour l'instant le premier débouché mondial pour les systèmes de stockage résidentiels, n'est pas la seule région à connaître un tel développement. Soutenue par des politiques publiques volontaristes, une évolution similaire a vu le jour aux Etats-Unis, notamment en Californie toujours à la pointe en matière d'énergies nouvelles, mais aussi au Japon à la suite de l'accident de Fukushima (Figure 2), en Australie, véritable laboratoire à l'échelle d'un pays-continent pour le déploiement des systèmes de stockage... Au niveau mondial, le taux de croissance annuel moyen du marché des systèmes de stockage résidentiels pourrait ainsi atteindre 50% par an sur les 10 prochaines années !

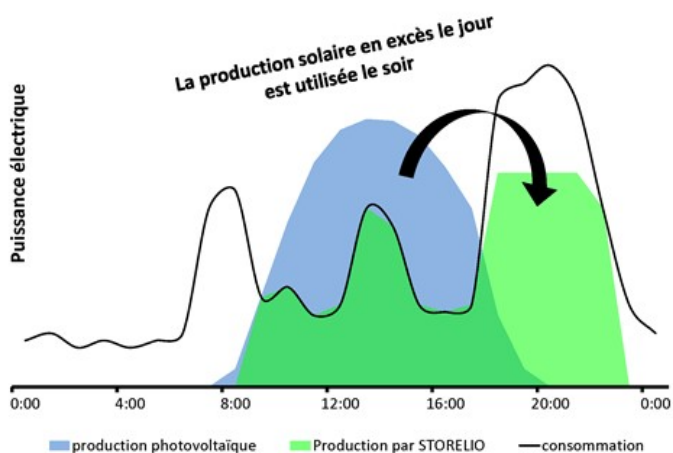


Figure 1 : Auto-consommation de l'énergie solaire



Figure 2 : Fujisawa « Sustainable Smart Town », au Japon

Politiques de soutien et retour sur investissement

Bien que le prix des modules photovoltaïques comme des batteries Lithium-ion soit en baisse rapide, les pouvoirs publics doivent encore apporter leur soutien financier au développement du marché en transférant les subventions accordées par le biais des contrats d'obligation d'achat à prix fixes sur 20 ans vers des aides à l'achat de systèmes de stockage.

Dans les pays les plus avancés comme l'Allemagne ou l'Italie, le kWh réinjecté sur le réseau est ainsi faiblement valorisé (10 à 12 centimes d'euro par kWh, soit deux fois moins qu'en France pour les installations dites intégrées au bâti) alors que les tarifs de l'électricité y sont environ deux fois plus élevés. En contrepartie ont été mises en place des aides à l'achat et à l'installation de systèmes de stockage ramenant leur retour sur investissement à 6/8 ans pour des produits couramment garantis 10 ans et offrant une durée de vie technique de l'ordre de 20 ans.

Ainsi présenté, le bénéfice économique est compréhensible par tous, tout en évitant pour la collectivité le coût récurrent des contrats d'achat accordés sur des durées très longues.

Une nouvelle filière industrielle en émergence, du photovoltaïque à la voiture électrique

Dans ce contexte, l'offre de systèmes de stockage résidentiels s'est rapidement étoffée. Les premiers à s'être intéressés à ce nouveau marché ont été des start-ups d'origine allemande rapidement suivies par les poids lourds du secteur électrotechnique, les fabricants de modules photovoltaïques et fournisseurs d'installations photovoltaïques clés-en-main, les fabricants de batteries Lithium-ion, les producteurs et distributeurs d'électricité...

Plus récemment, les constructeurs de véhicules électriques se sont également positionnés sur ce nouveau marché en s'appuyant sur leurs compétences et technologies développées pour l'automobile. La firme californienne Tesla a perçu rapidement cette opportunité de croissance en proposant au marché son « Powerwall » rapidement rejointe par Mercedes et BMW.

Une offre intégrée permettant de produire sa propre électricité verte pour recharger sa voiture électrique tout en satisfaisant les besoins énergétiques de sa maison à basse consommation d'énergie serait-elle en train de voir le jour ?



Figure 3 : Batteries lithium-ion développées par des constructeurs automobiles