

**L'expérience espagnole en termes des énergies renouvelables
Cas de la ville de Sanlúcar La Mayor et de l'île d'El-Hierro**

**The Spanish experience in terms of renewable energy
Case of Sanlúcar La Mayor and of the El Hierro Island**

DAHMANI Souria¹, MOUHOUBI Aïssa²

¹ FSECSG. Laboratoire Economie & Développement (LED). Université de Bejaia, 06000
Bejaia, Algérie. dahmani.souria@gmail.com

² FSECSG. Laboratoire Economie & Développement (LED). Université de Bejaia, 06000
Bejaia, Algérie. aissamouhoubi@gmail.com

Reçu le:30/09/2019

Accepté le:24/11/2019

Publié le:19/12/2019

Résumé

L'objectif de cet article est de passer en revue l'origine de la production de l'électricité en Espagne à partir des années 2000 et le développement des filières renouvelables, visant à assurer la stabilité des réseaux, la réduction de la dépendance extérieure et le coût des importations des produits énergétiques. Le complexe Solúcar a contribué à l'amélioration de l'accès à l'électricité en développant des centrales solaires de différentes technologies. L'électricité produite est destinée à satisfaire la demande locale en énergie. La centrale hydro-éolienne d'El Hierro alimente jusqu'à 100% de la population de l'île. Grâce au système d'hybridation, les potentiels renouvelables existants sont exploités et les coûts d'approvisionnement en combustibles fossiles sont réduits.

Mots clés : énergies renouvelables, électricité, Espagne, El Hierro, Sanlúcar.

JEL Classification Codes: Q2, Q4, Q42

Abstract

The purpose of this article is to review the origin of electricity generation in Spain from the 2000s and the development of renewable energy aiming to guarantee the stability of the grid, the reduction of external dependence and the cost of imports of energy products. The Solúcar complex has contributed to improving access to electricity by developing solar power plants of different technologies. The electricity produced is intended to meet the local demand for energy. The hydro-wind power plant in El Hierro supplies up to 100% of the island's population. Through the hybridization system, existing renewable potentials are exploited and fossil fuel supply costs are reduced.

Keywords: Spain, electricity, renewable energy, El Hierro, Sanlúcar,

JEL Classification Codes : Q2, Q4, Q42

Auteur correspondant: DAHMANI Souria, Email : dahmani.souria@gmail.com

1. Introduction

La consommation de l'énergie mondiale est dominée par les combustibles fossiles. Celle-ci a connu une augmentation de 10 à 15 fois depuis la révolution industrielle (Capellán-Pérez & al, 2018, p. 215) avec un taux d'accroissement de 1% dans les pays industrialisés et 5% dans les pays en développement (Carrión & al, 2008, p. 546).

Afin de réduire la consommation des énergies fossiles, le recours aux énergies renouvelables est une solution viable pour promouvoir la transition énergétique. Le challenge de la transition énergétique est un enjeu auquel les gouvernements de plusieurs

pays sont amenés à définir des politiques nationales et internationales pour la promotion de l'efficacité énergétique par le biais de la production de l'énergie électrique d'origine renouvelable. Qualifiée d'énergie propre, la consommation de l'électricité d'origine renouvelable commence à prendre de l'ampleur dans le monde entier. L'essentiel de l'électricité produite est issu des combustibles fossiles. Néanmoins, des pays à l'exemple de l'Espagne ont exploité leurs potentiels en énergies propres pour la production de l'énergie électrique. En effet, les sources non-conventionnelles apparaissent en tant qu'alternatives aux énergies fossiles, des sources viables à utilisation fiable qui permettent de mettre ces dernières au profit des générations futures.

L'île d'El-Hierro et la ville de Sanlúcar la Mayor ont réussi à exploiter leurs potentiels en ressources renouvelables, ces dernières se sont lancées dans les structures de la production de l'électricité d'origine renouvelable visant à lutter contre la dépendance énergétique, la pollution et les coûts lourds du transport des énergies fossiles.

Dans cet ordre d'idées, la préoccupation de ce papier tourne autour des politiques entreprises par l'Espagne afin de produire de l'électricité d'origine renouvelable à El Hierro et Sanlúcar la Mayor.

En effet, cet article passe en revue l'origine de la production de l'énergie électrique en Espagne et le développement des énergies renouvelables des deux dernières décennies. Il décrit également la contribution des énergies renouvelables à la balance énergétique espagnole, pour finalement définir les objectifs économiques et financiers de la transition énergétique à El-Hierro et Sanlúcar.

2. Les énergies renouvelables en Espagne et la transition énergétique

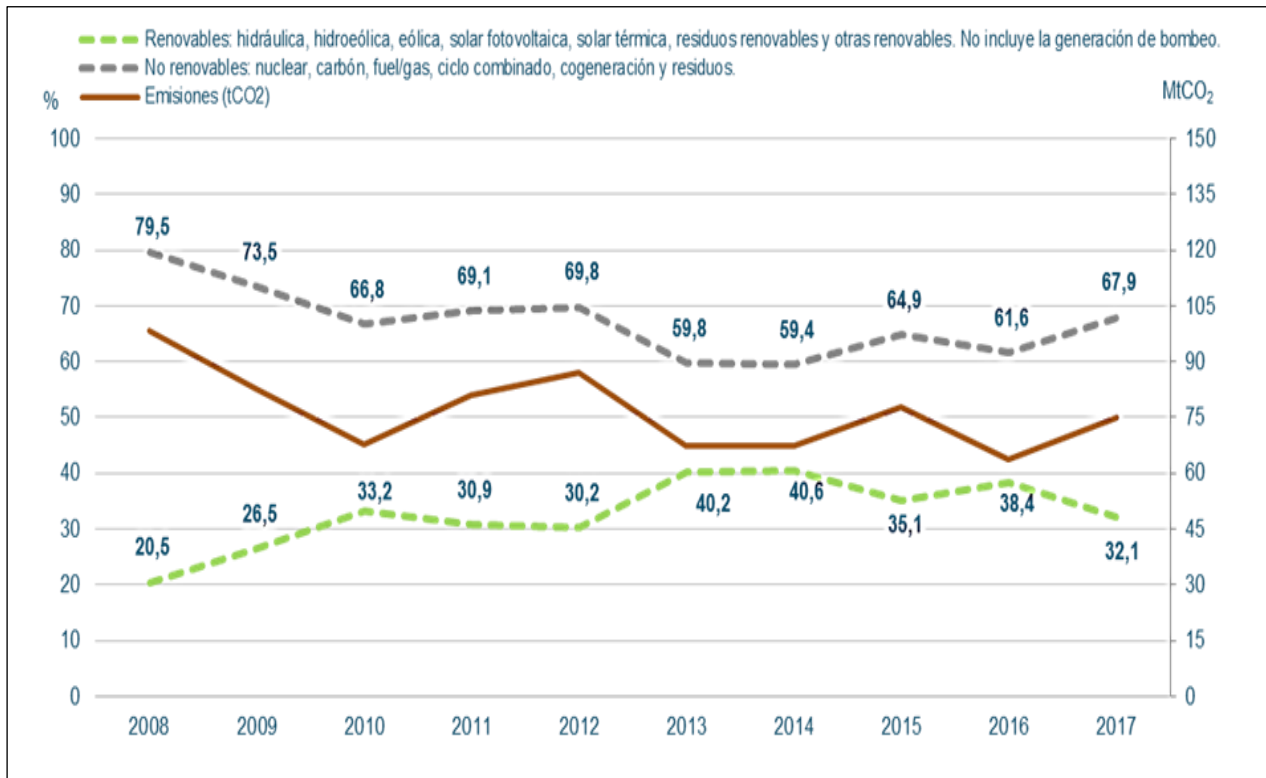
La transition énergétique et le recours aux énergies non-conventionnelles permettent d'inscrire la croissance des filières renouvelables dans une vision ambitieuse. Ces dernières prennent de plus en plus de l'importance dans les politiques énergétiques nationales des pays d'Europe¹, et en particulier en Espagne (Figure 1).

2.1 Le recours aux énergies renouvelables en Espagne

L'accès universel aux services énergétiques modernes est un scénario envisagé par un développement économique responsable. Environ 80% de l'énergie primaire mondiale provient des combustibles fossiles, 80% de l'énergie consommée par les pays de l'union européenne découle du gaz et du pétrole. La dépendance des pays de l'union dont l'Espagne vis-à-vis des ressources conventionnelles importées s'est élevée en 2011 à environ 50% et pourrait passer à 70% d'ici 2030 (Romero & al, 2012, p. 325).

L'exploitation du potentiel renouvelable en Espagne et la réduction de la dépendance énergétique extérieure en utilisant d'avantage les sources d'énergie disponibles ont fait objet de politiques économiques² solides et prévisibles. La pénétration des énergies renouvelables au marché de l'électricité vise une économie d'énergie et cherche à augmenter l'efficacité énergétique.

Figure N° 1 : Evolution des générations des énergies renouvelables, non-renouvelables et les émissions du CO₂ associés à la production de l'électricité.



Source : RedElectricaEspana (2018), renewable energy in the Spanish electricity system 2017, Madrid

Depuis la récession de 2008, la quantité de l'électricité produite en Espagne a diminué de 11% entre 2009 et 2016 (EIA, 2017). Sur cette période, la quantité de CO₂ émise a réduit d'environ 37 millions de tonnes. Sur la période 2009-2016, l'Espagne produit de l'électricité renouvelable plus que l'Europe en produit³ (IDAE, 2017). Soutenu par les subventions gouvernementales⁴, la production de l'énergie électrique d'origine renouvelable a passé de 26.5 % à environ 41% en 2014. En 2015, ce pourcentage baisse à cause des réformes gouvernementales liées aux programmes des subventions. En 2016, l'Espagne enregistre les émissions les plus faibles du CO₂ depuis 2008.

Environ 39% de l'électricité espagnole produite en 2016, est générée par les ressources renouvelables. Malgré cela, les combustibles fossiles et le nucléaire restent majoritairement la première ressource de production de l'électricité avec plus de 61%.

L'été de 2017 était marqué par une vague de chaleur qui a frappé l'Europe. Ceci a eu un impact négatif sur la production de l'électricité éolienne et hydraulique, en occurrence, la hausse de la production à partir du gaz naturel. La part des combustibles fossiles a augmenté de 6,3% par rapport à l'année qui précède.

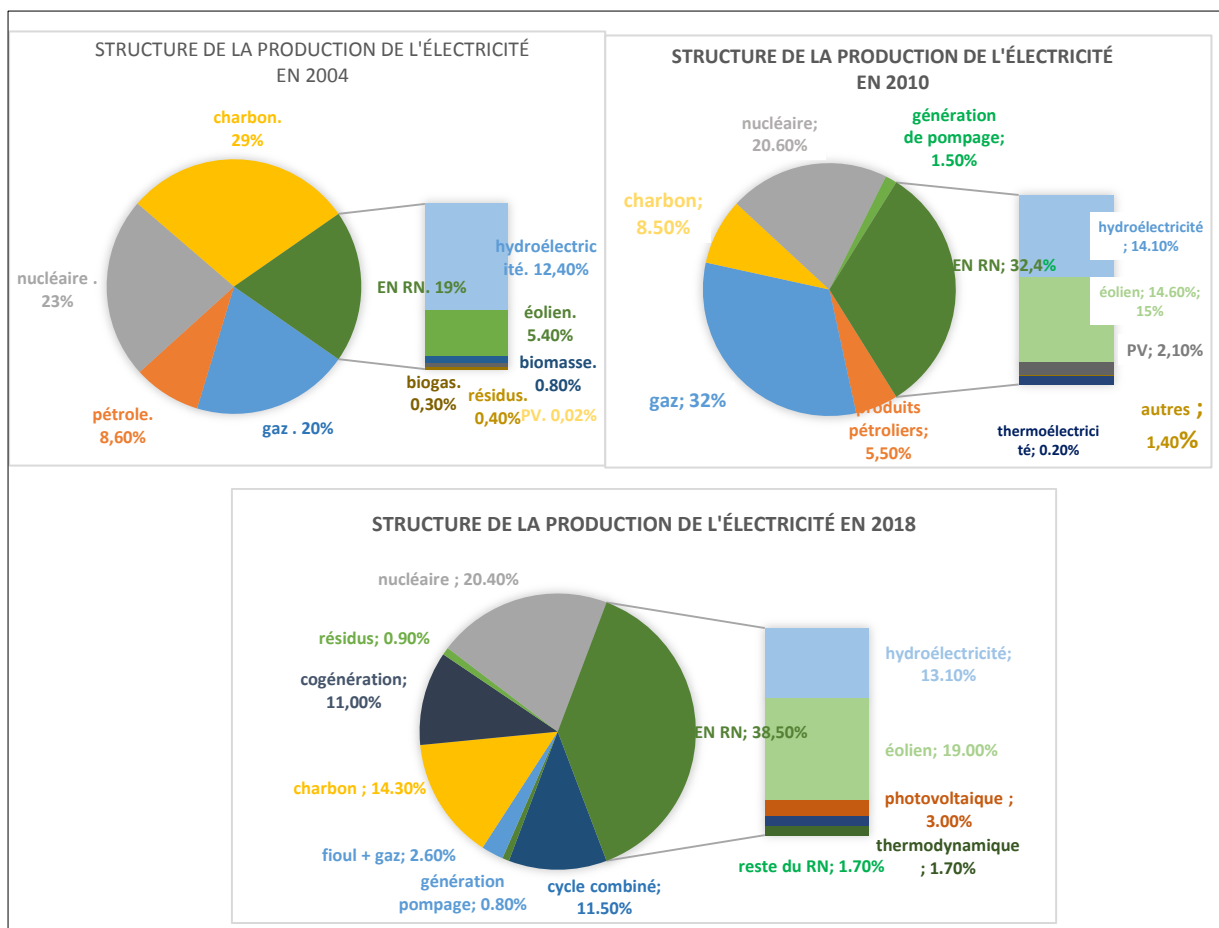
La baisse de la production des énergies renouvelables en 2017 a été compensée par une augmentation de la part de la production thermique (cycles combinés et centrales au charbon) et s'est traduite par une augmentation de 17,9% des émissions de CO₂ par rapport à l'année précédente (RedElectricaEspana, 2018).

2.2 La production de l'électricité renouvelable en Espagne

A partir des années 2000, l'Espagne s'est lancée dans des programmes visant à promouvoir la production de l'électricité d'origine renouvelable. Au milieu des années 2000, les énergies renouvelables étaient déjà développées en se positionnant au rang des premiers avec une contribution allant jusqu'à 19% de la production nationale de l'électricité⁵ (Petit-Pez & Molénat, 2009).

Les objectifs de l'Espagne en termes de promotion des énergies renouvelables ont fait l'objet des deux plans des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique de 2005-2010 et 2011-2020. Le but déclaré est d'orienter la production de l'électricité vers des sources plus viables afin d'assurer une meilleure efficacité énergétique (IDAE, 2011). Par conséquent, les énergies renouvelables recouvrent aujourd'hui un tiers (1/3) de la production nationale de l'électricité (Figure 2).

Figure N° 2 : Les structures de la production de l'électricité en Espagne 2004-2010-2018



Source : établie à partir des données d'IDAE, (2011) et RedElectricaEspaña (2019), Madrid.

En 2004, plus de 19% de l'électricité d'origine renouvelable est produite en Espagne, derrière le charbon, le nucléaire et le pétrole. Ce chiffre est une conséquence directe de l'ouverture des marchés de l'électricité en Europe et ce secteur attirait déjà des investisseurs. La filière hydraulique contribue à plus de 60% du total renouvelable et l'éolien vient derrière avec 27%.

Grâce au programme de promotion des énergies renouvelables 2005-2010 approuvé par le gouvernement espagnol, les ressources renouvelables sont devenues la première source de la production de l'électricité avec un plus d'un tiers (1/3) du total généré⁶, devançant ainsi les combustibles fossiles. Les objectifs du gouvernement liés à la transition énergétique ont fait que l'énergie éolienne connaît un essor et vient en tête avec 45% de l'électricité renouvelable produite.

L'énergie éolienne est la principale source renouvelable de production d'électricité en Espagne en 2018, avec une capacité installée de 23 503 MW (IDAE, 2011). Bien que ce chiffre soit resté relativement stable au cours des années 2012-2018, la technologie représentait 22,58% de la puissance totale installée dans l'ensemble du pays et 19% de la production d'électricité en 2018.

En 2018, 49 526 GWh de l'électricité produite est issue du vent, ce qui représente une augmentation de 0,39% par rapport à 2017, l'énergie éolienne reste la deuxième source de la production d'électricité après le nucléaire, conservant sa part élevée dans la production totale.

3. L'expérience espagnole en matière d'énergies renouvelables

En Espagne, les énergies fossiles dominent largement l'approvisionnement énergétique. La promotion des énergies renouvelables et l'avance prise dans les technologies nouvelles se sont traduit par une large installation des filières renouvelables (éolien, centrales solaire...etc.) pour contrecarrer cette dépendance. A la fin de 2017, les énergies renouvelables en Espagne représentent 46% des capacités électriques installées dans l'ensemble des installations de productions de l'électricité avec 48 185 MW (RedElectricaEspana, 2018).

Dans ce qui suit, deux expériences de production d'énergies renouvelables; le complexe Solúcar à Séville et la centrale hybride hydro-éolienne à l'île d'El Hierro où le déploiement des énergies renouvelables a contribué à réduire le déficit énergétique observé dans ces régions et répondre à la demande locale de la population.

3.1 Le complexe Solúcar a Sanlúcar la Mayor en Andalousie

L'approbation des programmes nationaux pour les énergies renouvelables a contribué au développement large des centrales solaires thermodynamiques en Espagne. La construction a débuté en 2007 et cela par l'appui d'un programme gouvernemental de subventions pour ce type d'installations.

A Sanlúcar la Mayor, à quelques kilomètres de la ville Séville en Andalousie, un projet ambitieux en matière de production de l'électricité à partir des rayons de soleil est inauguré en 2007. Solúcar est un complexe solaire d'une puissance de plus de 300 MW et regroupant trois types de technologies solaires à savoir les tours, les auge paraboliques et les systèmes photovoltaïques.

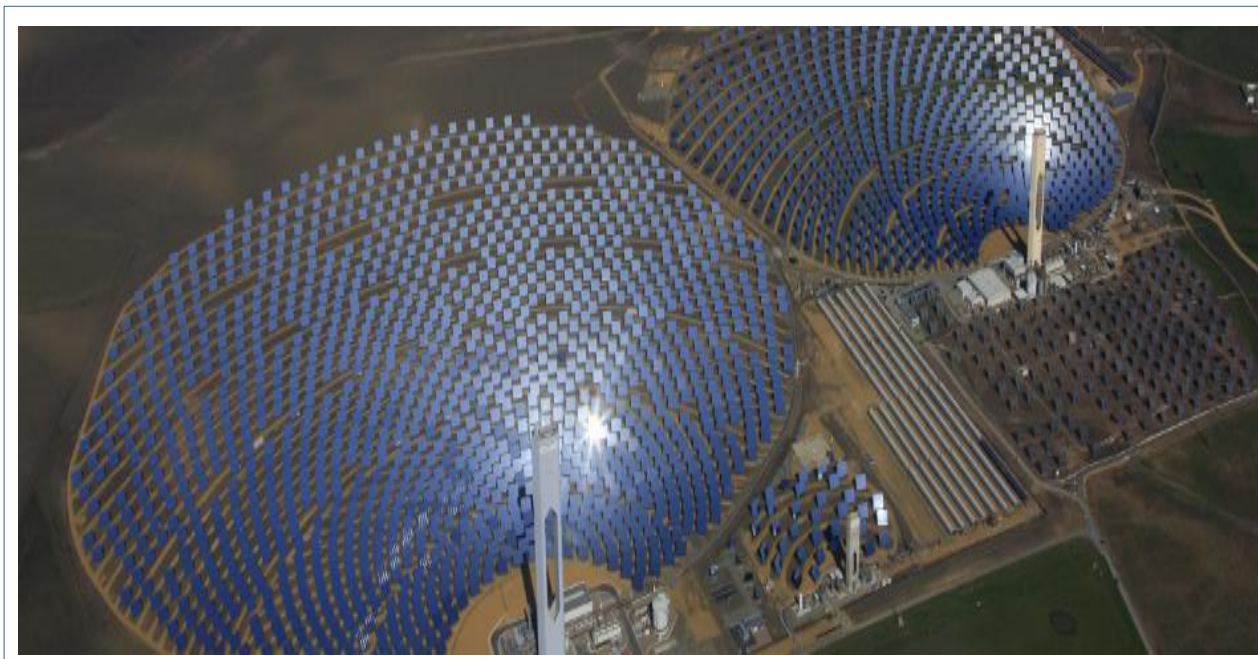
Deux centrales à tours dites PS⁷10 et PS20 (Figure 3) font partie du complexe. Leurs puissances unitaires respectives sont de 11MW et 20MW. Ces centrales mises en service en 2007 et 2009, fonctionnent avec le principe de la technologie de tour et d'héliostat. Cela consiste à concentrer les rayons du soleil sur le sommet d'une tour de plus de 100 mètres de

haut, à l'aide de miroirs mobiles de 120 mètres carrés (624 miroirs pour PS10 et 1 255 pour PS20), dirigés vers le soleil par un système de contrôle.

Le récepteur solaire situé au sommet de la tour produit de la vapeur saturée à 250 °C. Cette dernière est utilisée pour alimenter une turbine à vapeur destinée à la production de l'électricité. La centrale thermo-solaire PS10 produit 23,4 GWh/an avec un facteur de capacité de 24% (San Miguel & Corona , 2018, p. 207). La PS20 produit 40GWh de l'électricité par an.

Les héliostats suivent la rotation du soleil. La tour solaire repose sur le principe de la concentration des rayons solaires en direction d'un récepteur placé au sommet. Les récepteurs pointent un réservoir d'eau situé à la partie supérieure de la tour. Grâce à la chaleur du soleil, l'eau est portée à impulsion et dégage de la vapeur. Cette dernière descend du réservoir jusqu'à la partie inférieure de la tour où se retrouve la turbine, celle-ci tourne et produit de l'électricité.

Figure N° 3 : Les centrales thermodynamiques PS10 et PS20 de Sanlúcar la Mayor



Source : (Abengoa, 2011), Abener recibe el premio Asica por la construcción de PS20.

La centrale PS10 atteint une efficacité totale solaire électrique de 21,7%. Le rendement annuel total de l'énergie électrique solaire est de 15,4% (Zaversky, 2010, p. 46). Grâce à l'expérience acquise en installant la PS10, la PS20 de 20MW a atteint plus d'efficacité solaire électrique, soit 27%.

En plus des deux centrales à tours, Solúcar contient sept centrales commerciales pour une capacité installée totale de 183 MW, trois centrales en auge paraboliques (Solnova01, Solnova03 et Solnova04) de 50 MW chacune et deux centrales photovoltaïques appelées Casaquemada PV et Sevilla PV des puissances respectives de 1,9 MW et 1,2 MW (Tableau 1).

Tableau N°1 : caractéristiques des centrales solaires de Solúcar

	<i>PS10</i>	<i>PS20</i>	<i>Solnova 01, 03 et 04</i>	<i>Sevilla PV</i>	<i>Casaquemada PV</i>
<i>Capacité installée</i>	11MW	20MW	150MW	1,2MW	1,9MW
<i>Type de technologie</i>	Tour électrique		Creux paraboliques	PV à faible concentration	Photovoltaïque
<i>Superficie (acres⁸)</i>	148	210	540	30	30
<i>foyers alimentés</i>	5 500	10 000	77 100	600	720
<i>Quantité de CO₂ évitée (tonnes/an)</i>	6 000	12 000	31 400	800	1 300

Source : établie à partir des données fournies par Abengoa (2011).

Le complexe dont la superficie totale est de 2 471 acres alimente approximativement 94 000 foyers en électricité propres. Solúcar a créé 1 200 emplois au cours de la fabrication, de construction et en période d'exploitation.

Grace à l'énergie solaire et aux plans pour la promotion des énergies renouvelables 2005-2010 et 2011-2020, l'Espagne est devenue l'un des pays leaders dans le développement des technologies de production de l'électricité à partir des énergies renouvelables. Entre 2007 et 2013, l'Espagne s'est distingué de la communauté internationale avec la mise en œuvre de 50 centrales CSP⁹ pour un total de 2304 MW (San Miguel & Corona , 2018, p. 205), à l'exemple de la centrale de PuertoErrado2 (2012) et la centrale Gemasolar9 (2011) des productions unitaires respectives de 50GWh et 110GWh (Ferriere, 2017).

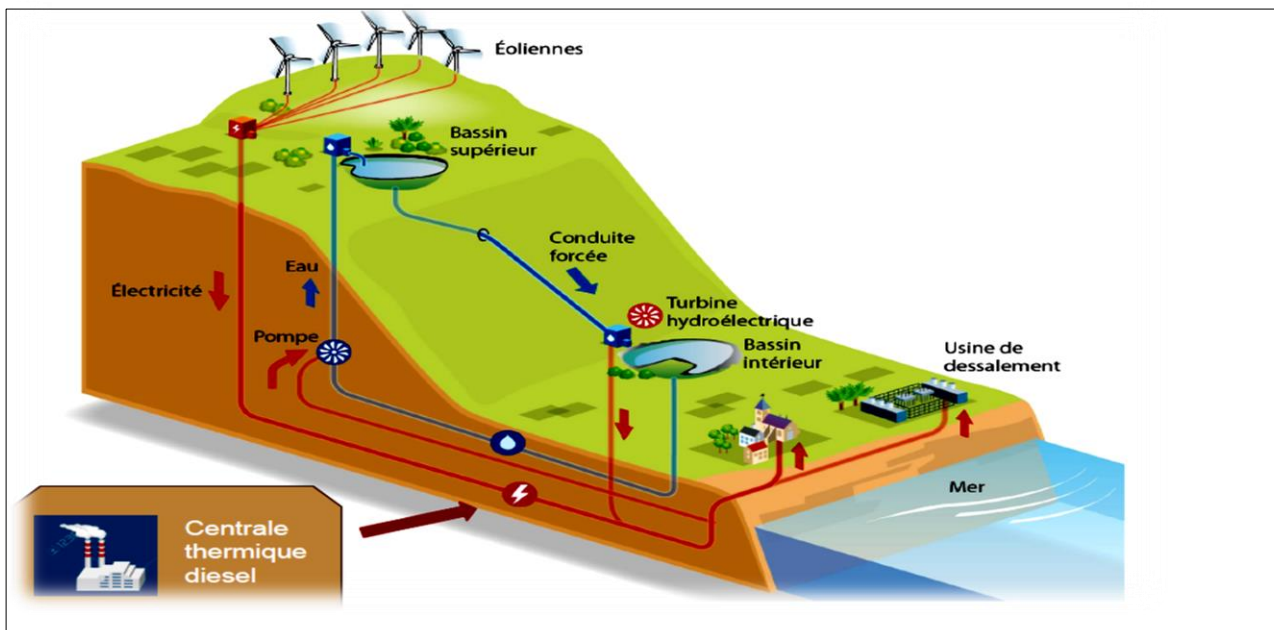
3.2 La centrale hydro-éolienne de l'île d'el-Hierro

Les réseaux électriques dans les îles, au large des côtes conviennent parfaitement à l'installation des centrales d'énergies renouvelables. Leurs potentialités en énergies non-conventionnelles pourraient être exploitées à l'intégration de ces ressources dans leurs systèmes énergétiques¹⁰ (Gioutsos & al, 2018, p. 439). Par conséquent, l'importation des combustibles fossiles sur ces îles ainsi que leur exploitation très coûteuse sur le plan financier sera réduit ou même définitivement compensé.

L'île d'El Hierro, située dans l'océan Atlantique et faisant partie des îles Canaries en Espagne, a développé un système de génération électrique hybride hydro-éolien thermique qui transfère une source d'énergie intermittente en un approvisionnement en électricité contrôlé et continu. La majeure partie de l'énergie dans cette île est générée par la centrale hydraulique et l'énergie éolienne (Figure 4). La centrale diesel n'est utilisée que dans les situations d'urgences ou lorsque le vent est insuffisant.

Environ 77% de l'électricité est générée par la centrale hydro-éolienne¹¹ (Lin & al, 2016, p. 11). En 2017, elle a permis la production de 46,5% de l'électricité renouvelable sur l'île. En mois de juillet de la même année, elle a couvert 80% de la demande et 100% pendant huit jours successifs au mois de juin (RedElectricaEspaña, 2018).

Figure N°4 : la centrale hydro-électrique d'El Hierro



Source : (futura-sciences, 2014), A El Hierro, les 100 % d'énergies renouvelables deviennent réalité.

Depuis juin 2014, la centrale hydro-éolienne est en activité à El-Hierro. Elle associe cinq éoliennes d'une hauteur de 64 mètres chacune, plantées sur une colline, d'une capacité totale de 11,5 MW et deux bassins de rétention d'eau séparés par 650 mètres de dénivelé, munis de turbines hydrauliques d'une puissance totale de 11,32 MW. Quand le vent est réduit, l'eau est relâchée du bassin supérieur vers le bassin inférieur et les turbines prennent le relais. La centrale assure aussi le fonctionnement des usines de dessalement d'eau de mer, vitales sur une île. Cette centrale peut fournir jusqu'à environ 11 MW et alimenter les 11 000 habitants de l'île.

Le projet dont le chantier a débuté en 2007 est l'idée d'un ingénieur¹² en électricité et représentant élu de l'île jusqu'à 2011. L'objectif est de développer les énergies renouvelables comme une source majeure de l'électricité sur l'île et de réduire sa dépendance énergétique liée à la hausse des prix du pétrole.

Les systèmes électriques d'El-Hierro ont changé depuis 2014. La technologie diesel qui produisait la totalité de l'électricité sur l'île n'est maintenant utilisée que pour répondre à la demande lorsque le système de production d'électricité hydro-éolienne est insuffisant.

Les performances en matière de consommation et de coûts de production d'énergie ont placé la centrale éolienne en premier lieu en ce qui concerne la génération de l'électricité (Tableau 2). Le modèle de production actuel n'est plus basé exclusivement sur la combustion de diesel.

Tableau N°2 : comparaison des systèmes d'énergies d'El Hierro, avant et après

<i>Génération conventionnelle</i>	<i>Système énergétique d'El Hierro</i>	
	2011	2015
1- L'énergie thermique		
a) Sortie nominale	13,6 MW	15 MW
b) Production annuelle	44,6 GWh	13,7 GWh
c) Consommation annuelle du carburant (220g/KWh)	9 812 tonnes	3 014 tonnes
d) Coût de production de l'électricité (0,242€/KWh)	10,79 M€	3,24 M€
<i>Production du renouvelables</i>		
1- L'énergie éolienne		
a) Sortie nominale	0 MW	11,5 MW
b) Production annuelle disponible	0 GWh	49,6 GWh
c) Production annuelle maximale	0 GWh	35,9 GWh
- Génération à la demande	0 GWh	25 GWh
- Consommé par la station de pompage	0 GWh	9 GWh
- Destiné à la compensation synchrone	0 GWh	1,8 GWh
d) Coût de production de l'électricité	0 €/KWh	0,072€/KWh
e) Les coûts totaux	0 M €	258 M €
2- Capacité hydroélectrique		
a) Sortie nominale	0 MW	10 MW
b) Production annuelle	0 GWh	6,4GWh
c) Efficacité de la turbine	0 %	69,4%
Production totale	44,6 GWh	56 GWh
Demande annuelle de l'énergie (y compris l'usine de dessalement)	44,6 GWh	45,4 GWh
Peak de la demande	7,56	

Source: (Godina & al, 2015, p. 4), International Conference on Renewable Energies and Power

Quality (ICREPQ'15). Sustainable energy system of El Hierro Island. La Coruña.

En 2011, la production de l'électricité sur l'île est principalement couverte par le diesel. La centrale électrique de White Plains Valverde, capitale de l'île, produit annuellement 44,6GWh (Godina & al, 2015). Cette production était réduite de plus de trois fois en 2015. La consommation annuelle du carburant et le coût de production de l'électricité ont diminué d'environ un tiers.

Avant l'installation de la centrale, l'électricité d'origine renouvelable est inexistante sur l'île. La production totale qui était uniquement générée par la centrale diesel (44,6GWh) a augmenté en 2015 à 56GWh (13.7GWh + 6.4GWh + 39.1GWh) somme des trois unités de production. Soit une augmentation de 25,56% par rapport à 2011.

4. Conclusion

L'Espagne s'est investie dans les énergies renouvelables en produisant de l'électricité d'origine renouvelable dans le but d'assurer la rentabilité de ses réseaux électriques, notamment, les plus isolés. Les programmes visent le développement économique du pays par l'utilisation de ses potentiels de gisements renouvelables afin de contribuer non seulement à la promotion de l'efficacité énergétique en Espagne, mais aussi au transfert des technologies et des modes des recherches appliquées en énergies non-conventionnelles.

Le complexe de Sanlúcar constitue un modèle alternatif de production de l'électricité basé sur des économies d'échelles et une réduction des coûts liés aux ressources conventionnelles. Solúcar a contribué à une amélioration de l'accès à l'énergie électrique et à la couverture des besoins énergétiques de la population.

La rentabilité économique de la centrale hydro-éolienne d'El-Hierro a assuré la transition vers un système énergétique durable autosuffisant à retombées positives sur la balance énergétique de l'île. La production de l'électricité à partir d'énergie propre a réduit le montant de la facture énergétique extérieure liée aux combustibles fossiles.

La pénétration accrue des énergies renouvelables dans les balances énergétiques des pays dont le potentiel renouvelable est abondant réduit la vulnérabilité énergétique de ces derniers et assure une utilisation plus efficace des ressources énergétiques. Ceci dit, L'Algérie peut s'imprégner du modèle espagnol pour la production de l'énergie électrique dans les Réseaux du Grand Sud¹³ (RGS). Eu égard au programme national des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique 2011-2030 déjà lancé, le bilan énergétique de l'Algérie reste tributaire des énergies d'origines fossiles, lesquelles constituent la ressource par excellence de la production de l'électricité, ceci malgré la dotation importante du pays en énergie solaire¹⁴.

5. Bibliographie

- Abengoa. (2011). *Abener recibe el premio Asica por la construcción de PS20*. [www.abengoa.com:http://www.abengoa.com/web/es/noticias_y_publicaciones/noticias/historico/2009/11_noviembre/abe_20091126_1.html?q=PS20](http://www.abengoa.com/web/es/noticias_y_publicaciones/noticias/historico/2009/11_noviembre/abe_20091126_1.html?q=PS20) (consulté le 13/01/2019)
- Capellán-Pérez, I., & al. (2018). Renewable Energy Cooperatives as an instrument towards the energy transition in Spain. *Energy Policy* N°123, pp. 215-229.
- Carrión, J. A., & al. (2008). The electricity production capacity of photovoltaic power plants and the selection of solar energy sites in Andalusia (Spain). *Renewable Energy*, N° 33, pp. 545-552.
- EIA. (2017). *SPAIN Overview*. [www.eia.gov:https://www.eia.gov/beta/international/analysis.php?iso=ESP](https://www.eia.gov/beta/international/analysis.php?iso=ESP) (consulté le 10/10/2018)
- Ferriere, A. (2017). Les Centrales Solaire Thermo dynamiques : Etat de l'Art et Perspectives.
- futura-sciences. (2014). *A El Hierro, les 100 % d'énergies renouvelables deviennent réalité*. [www.futura-sciences.com:https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/energie-](https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/energie-)

renouvelable-100-energies-renouvelables-monde-cest-possible-grace-step-59333/ (consulté le 29/03/2019)

Gioutsos , D., & al. (2018). Cost-optimal electricity systems with increasing renewable energy penetration for islands across the globe. *Applied Energy*, N°226, pp. 437-449.

Godina, R., & al. (2015). International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'15). *Sustainable energy system of El Hierro Island*. La Coruña.

IDAE. (2011). *PER 2011-2020*. Madrid.

IDAE. (2017). *Memoria anual 2016*.

Lin , J. H., & al. (2016). Successful experience of renewable energy development in several offshore islands. *Energy Procedia*, N° 100, pp. 8-13.

Petit-Pez, C., & Molénat, G. (2009). *Energies renouvelables: les atouts espagnols* . Barcelone.

RedElectricaEspana. (2018). *renewable energy in the Spanish electricity system2017*. Madrid.

Romero, S. R., & al. (2012). EU plans for renewable energy. An application to the Spanish case. *Renewable Energy*, N° 43, pp. 322-330.

San Miguel, G., & Corona , B. (2018). Economic viability of concentrated solar power under different regulatory frameworks in Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, N°91, pp. 205-218.

Zaversky, F. (2010). Solar Thermal Power Plants -Modelling of Parabolic Trough Collector Concepts. *Graz*.

6. Notes de fin de page

¹ L'énergie éolienne est la source qui a le plus contribué au développement des énergies renouvelables en Europe, avec une capacité installée totale de 153,7 GW à la fin de 2016, et l'Espagne était la deuxième puissance installée par l'énergie éolienne en Europe, seulement dépassé par l'Allemagne. Avec 23,05GW, l'énergie éolienne représente environ 15% de la capacité totale installée dans les 28 pays de l'Union Européenne.

La puissance nette de la photovoltaïque a augmenté de plus de 8GW en 2015, soit une croissance de 9,3 % par rapport à 2014. L'énergie hydraulique a atteint une puissance nette de 13 994 MW fin 2015, soit 244 MW de plus qu'en 2014. La puissance électrique géothermique de l'ensemble des pays de l'Union européenne est en légère augmentation, avec une puissance installée de 993,6 MW (+ 4 MW). La puissance nette, qui est la puissance maximale présumée exploitable, est estimée à 837,1 MW (+ 2 MW). La production brute d'électricité s'élève à 6 615GWh pour 2015, contre 6 303 GWh en 2014.

² Le décret royal 661/2007 est publié le 25 Mai 2007 et avait pour objectifs de règlementer la production de l'énergie électrique dans le cadre de régimes spéciaux. Le décret vise l'augmentation de l'efficacité énergétique en Espagne. Ce décret n'est pas le premier ni le dernier dans en Espagne car en 1997 la loi n °54/1997 du secteur de l'électricité est promulguée et réglemente les activités visant à fournir de l'énergie électrique, ce dernier comprend le régime spécial, précédemment réglementé dans le décret 2366/94, qui approuve moins de 50 MW de production d'énergie avec des

énergies renouvelables sur une base volontaire pour fournir de l'énergie aux communautés autonomes.

³ En 2009, la part du renouvelable dans la production de l'électricité en Europe est évaluée à 23,6%. Durant la période 2009-2016, l'Espagne produit la moyenne annuelle de 5,47% de l'électricité d'origine renouvelable de plus que l'Europe.

⁴ L'Espagne est un importateur des combustibles fossiles, ce pays figure dans le rang des 10 pays les plus grands importateurs du pétrole et du gaz naturel. La rareté des ressources a mené le gouvernement à subventionner les industries renouvelables afin d'encourager le développement des filières éolienne et solaire et de réduire la dépendance extérieure. Ces filières avaient bénéficié d'aide publique déployée par la mise en place d'un système de subvention favorable aux producteurs indépendants d'énergies renouvelables électrique fondé sur tarifs d'achats garantis assorti de primes pour chaque KWh produit.

⁵ En 2006, 30 % de l'électricité espagnole est générée par le gaz naturel, 23% par le charbon, 20% à partir du nucléaire et 8% provient des produits pétroliers. Uniquement 7% du renouvelables sont produites par les énergies primaires

⁶ 300 241GWh d'électricité sont générés en 2010, dont 97 121GWh proviennent des énergies renouvelables. Un accroissement de 30.6% par rapport à 2009. Entre 2005 et 2010, 55 680GWh de l'électricité en plus est généré par les ressources non conventionnelles.

⁷ Planta Solar, qui veut dire centrale solaire

⁸ Un acre est une superficie de terrain mesurant 4 840 mètres carrés.

⁹ Concentrated Solar Power.

¹⁰ Les îles possèdent d'abondantes ressources en énergies renouvelables, elles constituent un banc d'essai unique et approprié pour la recherche et le développement des technologies les plus avancées de l'énergie éolienne et solaire. Un certain nombre de gouvernements insulaires ont fixé des objectifs ambitieux pour parvenir à une intégration énergétique jusqu'à 100% renouvelable.

¹¹ Le système hybride hydro-éolien couvre 77% de l'électricité demandée sur l'île. L'objectif ciblé est l'exploitation des potentiels renouvelables en tant que source d'énergie majeure et de réduire la sensibilité au risque de la hausse des prix du pétrole. Bien que ce système soit une technologie à forte intensité de capital par rapport à une centrale diesel, l'exploitation de la centrale diesel est environ 4 fois plus chère que celle du système hybride en termes d'exploitation et de maintenance.

¹² Tomas PADRON HERNANDEZ est un ingénieur technique industriel de formation et l'initiateur du projet d'El Hierro 100 % durable et de la centrale hydro-éolienne de l'île.

¹³ Les Réseaux du Grands Sud sont des réseaux autonomes non interconnectés. On dénombre 34 réseaux qui alimentent des populations locales.

¹⁴ L'ensoleillement moyen annuel en Algérie est évalué à 2 000 heures. Le Sahara dispose du potentiel renouvelable le plus important, particulièrement le solaire. Il reçoit 3 500 heures de soleil par ans.