



**ROYAUME DU MAROC**

**Académie Hassan II des Sciences et Techniques**

**ACTES DE LA SESSION PLÉNIÈRE SOLENNELLE**  
**Année 2014**

**Thème**

**Sources d'énergie renouvelables et transition énergétique :  
faits, défis et opportunités pour le Maroc**

**Rabat, 19 - 21 février 2014**





**Sa Majesté le Roi Mohammed VI, que Dieu Le garde,  
Protecteur de l'Académie Hassan II  
des Sciences et Techniques**





**ROYAUME DU MAROC**  
**Académie Hassan II des Sciences et Techniques**

**ACTES DE LA SESSION PLÉNIÈRE SOLENNELLE**  
**Année 2014**

**Thème**

**Sources d'énergie renouvelables et transition énergétique :  
faits, défis et opportunités pour le Maroc**

**Rabat, 19 - 21 février 2014**

© Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Rabat  
Km 4, Avenue Mohammed VI (ex Route des Zaers)  
Rabat, Royaume du Maroc

Dépôt légal : 2015 MO 0593  
ISBN : 978-9954-520-12-3

Réalisation : **AGRI-BYS S.A.R.L.** (A.U)

Achevé d'imprimer :  
Imprimerie Lawne : 11, rue Dakar, Océan, 10040-Rabat, Maroc

# SOMMAIRE

<b>Avant-propos</b> .....	7
<b>Forword</b> .....	9
<b>CÉRÉMONIE D'OUVERTURE</b> .....	11
<b>Discours d'ouverture du Secrétaire Perpétuel et présentation du thème général de la session</b>	
Omar Fassi-Fehri .....	13
<b>Allocution du Ministre de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement</b> ....	19
<b>Allocution du Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences de France</b>	
Catherine Bréchnignac.....	27
<b>Allocution du Vice-Président de l'Académie des Sciences Leopoldina, Allemagne</b>	
Detlev Ganten .....	29
<b>Questions énergétiques et environnementales : efficacité énergétique</b>	
Didier Roux.....	33
<b>Transforming the energy system – From dream to reality</b>	
Philippe Tanguy .....	43
<b>Désignation du nouveau Directeur des Séances</b> .....	45
<b>SÉANCE I : PRODUCTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE CENTRALISÉE</b> ..	47
<b>Avancées et problématiques des technologies solaires thermodynamiques</b>	
Valeriano Ruiz-Hernandez .....	49
<b>Avancées et problématiques des technologies solaires photovoltaïques</b>	
Ahmed Ennaoui .....	77
<b>Stockage des énergies renouvelables</b>	
Christoph Richter.....	83
<b>SÉANCE II : TENDANCES DE LA R&amp;D EN ENERGIES RENOUVELABLES</b> ...	85
<b>Les réseaux électriques intelligents les (Smart Grids)</b>	
Didier Laffaille.....	87

<b>Réseaux intelligents : Quelques problèmes et approches pour la modélisation et la gestion distribuée et efficace de l'énergie électrique</b>	
Malik Ghallab .....	109

<b>Programme solaire de la Malaisie</b>	
Ahmad Hadri Haris .....	113

<b>Systèmes hybrides à énergies renouvelables</b>	
Abdelkader Outzourhit .....	115

***Panel 1 : Recherche et formation en énergies renouvelables ..... 127***

**Intervenants :** Badr Ikken (IRESEN), Driss Ouazar (ENIM), Abdellatif El Marjani (EMI), Rachid El Mrabet (OCP), Didier Roux (France), Amal Bouamama (ONEE)

***Panel 2 : Développement et intégration industrielle en énergies renouvelables ..... 137***

**Intervenants :** Ahmed Baroudi (SIE), Ahmad Hadri Haris (Malaisie), Ryad Mezzour (CGEM), Saïd Mouline (ADEREE), Abderrahim El Hafidi (Ministère EMEE), Noureddine El Aoufi (AHIIST), Mauro Pedretti (Airlight Energy)

**SÉANCE III : OPPORTUNITÉS ET APPLICATIONS DES ÉNERGIES NOUVELABLES ..... 157**

<b>Couplage du CSP au dessalement</b>	
Julian Blanco.....	159

<b>Système solaire de rafraîchissement/chauffage dans les bâtiments résidentiels à Marrakech et région</b>	
Brahim Benhamou .....	179

<b>Technologies des fours solaires et leur utilisation dans la production des vecteurs énergétiques dans l'industrie</b>	
Gilles Flamant.....	191

<b>Restitution des conclusions et recommandations .....</b>	<b>205</b>
---	------------

***Session interne de l'Académie***

<b>Rapport d'Activité de l'Académie pour l'année 2013 et discussion</b>	
Omar Fassi-Fehri .....	211

<b>Compte rendu de la session plénière 2014 (en français) .....</b>	<b>241</b>
---	------------

<b>Compte rendu de la session plénière 2014 (en arabe) .....</b>	<b>.....</b>
--	--------------

<b>Discours d'ouverture du Secrétaire Perpétuel (en arabe).....</b>	<b>.....</b>
---	--------------

<b>Message adressé à Sa Majesté le Roi Mohammed VI (en arabe).....</b>	<b>.....</b>
--	--------------

<b>Avant-propos (en arabe) .....</b>	<b>.....</b>
--------------------------------------	--------------

## AVANT-PROPOS

L'énergie solaire est essentielle dans les processus de photosynthèse et du cycle de l'eau. Virtuellement inépuisable, non polluante et gratuite, elle est la première à avoir été efficacement exploitée puisque les Egyptiens utilisaient l'effet de serre bien avant sa découverte en 1780 par H. B. de Saussure. Le Soleil fournit à la Terre en une heure l'équivalent de la consommation énergétique annuelle de la population mondiale. Cependant, cette énergie est diffuse, intermittente et son intensité ne représente en moyenne que 300 watts par mètre carré. Sa récupération est donc difficile et fait en plus appel à des technologies relativement onéreuses et non encore suffisamment optimisées. Ces énergies malgré leur durabilité n'ont bénéficié d'investissements et d'efforts de R&D que tardivement. C'est dans ce contexte que le Maroc a volontairement décidé d'intégrer les énergies renouvelables dans son mix énergétique. Les motivations de ce choix sont principalement d'ordre socioéconomique mais elles impliquent forcément une vision écologique du développement. Elles sont en plus confortées par une situation géographique du pays qui offre des gisements de sources d'énergie renouvelables diversifiés.

La consommation énergétique est souvent considérée comme un indicateur et un paramètre essentiel dans les processus de développement. Au Maroc, la demande en électricité s'est accrue, ces dernières années, d'environ 8% par an. Cette augmentation, bien qu'elle soit synonyme d'un développement socioéconomique pénalise fortement les finances publiques car les combustibles fossiles utilisés sont presque tous importés. La croissance économique pour être viable doit être accompagnée d'une sécurité et d'une indépendance énergétique au moins partielle et durable.

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, de par ses missions statutaires, est appelée à réfléchir sur ce grand chantier qu'est le plan de développement national des énergies renouvelables. Elle est censée "émettre des recommandations sur les priorités et les moyens susceptibles d'assurer la réalisation des objectifs nationaux en matière de recherche" ainsi qu'à "suivre en permanence, au profit de la communauté nationale, les progrès de la technologie". Dans cette perspective la session solennelle de février 2014 ambitionne d'apporter un éclairage sur les technologies actuellement utilisées au Maroc tout en accordant une place importante à la formation d'une expertise nationale et au développement d'une recherche utile dans ce domaine.

Les sources d'énergie renouvelables se répartissent en cinq grandes familles: - l'énergie solaire, celle de l'eau, du vent, des végétaux et l'énergie interne de la Terre. Le Maroc a déjà opté pour une stratégie et un plan énergétique déclinés dans les Discours Royaux et en particulier celui du 30 juillet 2010 "... il importe de poursuivre l'exploitation optimale de l'énergie éolienne et de généraliser l'implantation de stations y afférentes dans toutes les

régions appropriées sur le Royaume. ... De même qu'il est nécessaire de donner une forte impulsion au décollage de notre grand projet de production d'énergie solaire, pour lequel nous avons institué une agence spécialisée et affecté des investissements colossaux".

La session plénière solennelle des 19-21 février 2014 dressera l'état de l'art des technologies de production d'énergie à partir de sources d'énergie renouvelables installées ou en cours d'installation au Maroc. Il s'agit essentiellement de l'énergie solaire à concentration, de l'énergie photovoltaïque et de l'énergie éolienne. Certaines applications telles que celles relatives au séchage et à l'utilisation des fours solaires dans l'industrie et la production de vecteurs énergétiques seront aussi couvertes.

Deux panels respectivement dédiés à la recherche et à la formation ainsi qu'au développement et à l'intégration industrielle des énergies renouvelables seront également organisés. En effet, le déficit en ressources humaines confirmées et en entreprises en mesure de soutenir et contribuer à la mise en place d'une industrie autour des énergies renouvelables est un handicap qu'il faut nécessairement dépasser. La recherche et la formation de cadres de haut niveau sont sans doute les éléments qui conditionnent la réussite de cette magnifique avancée que le Maroc est en train de réaliser dans le domaine des énergies renouvelables.

---

## FOREWORD

Solar energy is crucial in both of photosynthesis and the cycle of water. Virtually everlasting, clean and free, it is the first one to be effectively used by the Egyptians to warm water well before the discovery of the greenhouse effect in 1780 by H. B. de Saussure. The 'Sun' supplies the Earth the equivalent of the annual energy consumption of the world population, in one hour. However, this energy is diffuse, occasional and its intensity does not exceed on average 300 watts per square meter. Therefore, its recovery is not easy and requires expensive technologies which for the most part have not as yet reached optimal performance. Moreover, renewable energies in spite of their durability have not benefited until lately of investments and R&D efforts. Despite these circumstances Morocco voluntarily decided to integrate renewable energies into its energy mix. The motivations of this choice are twofold. The first is mainly of socioeconomic order and it necessarily implies an understanding of ecological development. In addition, they are consolidated by the exceptional geographical situation of the Morocco which includes diversified fields of renewable energy sources.

Energy consumption is often considered as an indicator and critical parameter in the processes of development. In Morocco, the demand for electricity increased these last years, at a rate of about 8% a year. This increase, although it is synonymic of a socioeconomic development, it nevertheless strongly penalizes the public finances since almost all the consumed fossil fuels are imported. For economic growth to be viable, it must be accompanied by secured and sustainable energy independence.

The Hassan II academy of Sciences and Techniques, due to its statutory missions, is called to lead a reflection on this important development plan for the renewable energies. It is supposed to "give out recommendations on the priorities and the means susceptible to insure the achievement of the national objectives as pertaining to the research" as well as "to permanently pursue, for the benefit of the national community, the progress of the technology". The solemn session of February, 2014 aspires to give the state of art on the currently used technologies in Morocco. It aims also to attract attention on the need to build up a national expertise capable to sustain the industrial development and the growth of useful research in this domain. The renewable energy sources can be divided into five major families: the solar energy, water energy, wind energy, biomass energy and the internal energy of the Earth. Morocco has already opted for a strategy and an energy plan has been given in the Royal Speeches, particularly in that of July 30th, 2010 '... it is important to pursue the optimal exploitation of the wind energy and to generalize the setting-up of stations in all the regions suited on the Kingdom. ... It is also necessary to give a strong boost to the take-off of our big project of solar power production, for which we established a specialized agency and allocated the colossal investments'.

The solemn plenary session of February 19-21<sup>st</sup>, 2014 will be devoted to the state of the art in the technologies used in Morocco to produce and store up renewable energies. This particularly focuses on the concentrating solar power, the photovoltaic energy and the wind power. Commercial usages such as food drying and high temperature industrial solar ovens and energy production vectors will also be covered.

Two panels dedicated to research and to human resources training as well as to the industrial integration of renewable energies will also be respectively held. As a matter of fact, the actual lack of specialized human resources and companies that are able to support and contribute to the implementation of an innovative industry around the renewable energies is a handicap that has to be circumvented. The research and education of high-efficiency engineers are the basic elements that will insure the success of this wonderful advance which Morocco is realizing in the field of the renewable energies.

## **CÉRÉMONIE D'OUVERTURE**



## DISCOURS D'OUVERTURE DU SECRÉTAIRE PERPÉTUEL

*Pr. Omar FASSI-FEHRI*

*Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II  
des Sciences et Techniques*



**Messieurs les Ministres,  
Excellences,  
Honorables invités,  
Mesdames & Messieurs les Académiciens,  
Mesdames & Messieurs,**

La tenue de la session plénière solennelle de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques est toujours pour l'ensemble de ses membres un moment privilégié de se retrouver pour s'acquitter d'une des activités majeures de leur Institution, celle, comme précisée dans la Loi de sa création, de réunir de façon régulière tous ses membres dans l'objectif d'apporter un éclairage renouvelé sur le progrès incessant des sciences dans le monde, et de débattre sur les conditions et les voies appropriées qui permettent à celles-ci de contribuer au développement de notre pays.

Avec la Haute Bénédiction de Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu le Garde –, le thème scientifique général de notre actuelle session plénière solennelle porte sur «Sources d'énergie renouvelables et transition énergétique : faits, défis et opportunités pour le Maroc». Nous voulons à cette occasion renouveler notre profonde gratitude et nos remerciements déférents à Sa Majesté Le Roi – que Dieu Le protège – pour Sa bienveillante sollicitude, Ses précieux encouragements et Sa Protection Tutélaire dont s'enorgueillit notre Académie.

**Excellences,  
Honorables invités,  
Mesdames & Messieurs,**

Nous sommes, ce matin, particulièrement honorés de la présence parmi nous à cette cérémonie d'ouverture de toutes les personnalités qui ont bien voulu répondre à notre invitation. Je leur présente mes vifs remerciements et leur souhaite la bienvenue.

A cette session plénière solennelle participent plusieurs éminentes personnalités scientifiques venant du Maroc et de l'étranger (France, Allemagne, Espagne, Suisse, Etats Unis, Malaisie) et qui ont bien voulu accepter de donner des conférences à l'occasion de cette session permettant ainsi d'animer la discussion et le débat sur la thématique adoptée, je les remercie tous très sincèrement.

Nous sommes aussi particulièrement honorés de la présence parmi nous de Mme Catherine Bréchignac, Secrétaire Perpétuelle de l'Académie des Sciences de l'Institut de France, et Ambassadeur déléguée pour la science, la technologie et l'innovation et du Pr. Detlev Ganten, Vice-président de l'Académie des Sciences Leopoldina d'Allemagne ; je les remercie chaleureusement pour avoir bien voulu répondre à notre invitation; comme je souhaite la bienvenue à nos collègues représentant les Académies des Sciences Africaines, Pr. Sommy Choumbrow Beban et Pr. Mansourou Moudachirou, respectivement Vice - Président de l'Académie des Sciences du Cameroun, et Secrétaire perpétuel de l'Académie Nationale des Sciences, Arts et Lettres du Bénin.

Nous sommes particulièrement heureux de retrouver à cette occasion nos collègues associés présents avec nous et qui contribuent à nos activités de manière active et particulièrement riche; merci chers collègues.

Nos remerciements s'adressent également aux différentes Institutions nationales qui ont répondu à notre invitation et plus particulièrement IRESEN, MASEN et l'ONEE.

**Excellences,  
Mesdames, Messieurs,**

L'énergie solaire est à l'origine de la plupart des énergies primaires utilisées, en fait toutes, à l'exception de l'énergie nucléaire et de la géothermie profonde. Et parmi les énergies provenant indirectement de l'énergie solaire, certaines sont dites renouvelables (hydraulique, biomasse, marémotrice, éolien) et d'autres non renouvelables (c'est le cas des énergies fossiles provenant des matières organiques créées par photosynthèse); cette distinction est une question d'échelle de temps : une source énergétique est considérée comme renouvelable si quelques années au maximum suffisent pour que ses stocks soient renouvelés en quantité équivalente à la consommation. L'une des principales formes d'énergies renouvelables reste l'énergie produite par l'homme en captant le rayonnement émis par le soleil.

La Terre reçoit en permanence une puissance de  $170 \times 10^{15}$  Watt dont  $122 \times 10^{15}$  sont absorbés et le reste réfléchi. L'énergie solaire totale absorbée par l'atmosphère terrestre,

les océans et les continents est de 3.850.000 exajoules (exa =  $10^{18}$ ) par an; c'est plus d'énergie reçue en une heure que l'humanité n'en utilise pendant une année.

L'utilisation directe de l'énergie solaire remonte à l'antiquité; les grecs allumaient déjà la flamme olympique à partir des rayons solaires grâce à un système de miroirs; à la fin du 18<sup>ème</sup> siècle, grâce à une lentille à liquide qui concentre les rayons solaires, Antoine Laurent de Lavoisier, fondateur de la chimie moderne, construit un four solaire qui atteint la température de 1800° C. En 1839, Edward Becquerel, dont le petit fils Henri Becquerel allait découvrir la radioactivité, réalise la conversion de la lumière en électricité, c'est l'effet photovoltaïque.

La problématique d'énergie est large et concerne plusieurs aspects, les sources de production, les vecteurs énergétiques, le stockage, la distribution, l'efficacité énergétique tant sur le plan thermodynamique que sur le plan économique ; à ce propos, la première lampe électrique à filament incandescent mise au point par Thomas Edison (en 1879), après des centaines d'essais fonctionna pendant 45 heures avec un rendement lumineux de 1,5 lumen par watt ; un siècle plus tard les ampoules modernes présentent un rendement de 15 lumens par watt. Ainsi, si le rendement des ampoules n'avait pas été amélioré il aurait fallu beaucoup plus de centrales électriques dans le paysage pour éclairer nos nuits. L'efficacité énergétique est une composante essentielle de la maîtrise de l'énergie, il va de soi que ce qui prime pour l'homme et nos sociétés ce n'est pas tant l'énergie en tant que telle mais le service rendu grâce à l'énergie : force motrice, le froid, le chaud, la mobilité, la communication...

Et notre pays ne peut être en reste par rapport à ces préoccupations.

En matière des énergies renouvelables, le Maroc possède des atouts considérables; il recèle d'importantes ressources qui peuvent pallier son manque en ressources énergétiques fossiles notamment dans le cadre de la production de l'énergie électrique, devenue de nos jours, vecteur principal de tout développement économique et social. Avec un potentiel éolien estimé à 25000 MW sur l'ensemble du territoire, un potentiel solaire avec plus de 3000h/an d'ensoleillement soit une irradiation d'environ 5 kwh/m<sup>2</sup>/jour, le Maroc ambitionne d'atteindre 42% de sa puissance électrique d'origine renouvelable à l'horizon 2020 (14% d'origine solaire, 14% éolien et 14% hydraulique).

En 2010, le Maroc s'est lancé dans la construction d'une des plus grandes centrales solaires à concentration à Ouarzazate d'une puissance de 500 MW sur 3040 Ha, l'objectif étant d'installer 2000 MW sur 5 sites dans les prochaines années.

La nouvelle stratégie énergétique nationale constitue donc une feuille de route qui vise à doter le Maroc des moyens nécessaires pour assurer la disponibilité pérenne de l'énergie, préalable nécessaire à son développement durable; et comme l'a si bien souligné Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu Le protège – dans Son message adressé aux participants aux premières assises nationales, le 6 mars 2009 à Rabat « Cette stratégie rigoureuse et prometteuse ne peut être mise en œuvre avec succès que par la mise à niveau des ressources humaines et l'encouragement de la recherche scientifique. »

**Excellences,  
Mesdames, Messieurs,**

La session plénière solennelle de cette année ambitionne d'apporter une contribution et un éclairage sur les sciences et technologies actuellement utilisées dans le domaine de promotion des énergies renouvelables et du renforcement de l'efficacité énergétique.

Au cours de cette session sera dressé l'état de l'art des sciences et technologies dans le domaine de la production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables notamment l'énergie solaire photovoltaïque et éolienne. Les exposés, les communications, les panels et les débats seront focalisés surtout sur la transition énergétique, les technologies solaires thermodynamiques et photovoltaïques ainsi que sur la problématique de stockage des énergies renouvelables. Seront également discutées les thématiques en rapport avec les tendances de la recherche-développement dans ces domaines, la formation des compétences et l'intégration industrielle, considérées comme essentielles pour la pérennisation du développement des énergies renouvelables dans notre pays.

Les travaux de cette session, pensons-nous, permettront de mieux appréhender le nouvel ordre économique et énergétique mondial dans lequel se place la vision globale du développement économique et social du Maroc, qui met d'emblée au diapason les impératifs du développement durable intégré et la préservation de l'environnement.

**Excellences,  
Mesdames, Messieurs,**

Depuis la dernière session plénière solennelle, tenue en février 2013, l'Académie a encore davantage renforcé ses activités dans le cadre des missions qui lui sont dévolues par la Loi – Le rapport de ces activités menées durant l'année écoulée fera l'objet d'une présentation que nous aurons l'occasion d'examiner en détail au cours de cette session. Je voudrais ici rappeler seulement quelques unes des actions phares réalisées :

1. la promotion de la recherche scientifique par le financement de projets de recherche sur des thématiques considérées comme prioritaires au niveau national, pour un budget de quelques 70 millions de DH (dont 40 ont déjà été versés) sur 8 ans (2007-2015),
2. l'organisation de quatre séminaires sur des thèmes liés au développement socio-économique du pays avec la participation d'experts et de chercheur étrangers et marocains : recherche biomédicale et en santé au Maroc, gestion des déchets urbains, économie verte : quel agenda de recherche pour le Maroc, industrie aéronautique : évolution au niveau mondial quelles ambitions et quels défis pour le Maroc, (organisé avec la collaboration du GIMAS),
3. la diffusion de la culture scientifique et technique à travers la création de clubs scientifiques dans certains lycées et l'organisation des journées «les jeunes et la science au service du développement» tenues cette année sous la thématique de l'eau,
4. l'encouragement de l'excellence, en octroyant en particulier aux lauréats du Concours général des Sciences et Techniques, organisé par le Ministère de l'Education Nationale, des allocations d'excellence,

5. la poursuite des études sur l'état de la science au Maroc par champ disciplinaire, après avoir diffusé le document sur la recherche scientifique au Maroc «développer la recherche scientifique et l'innovation pour gagner la bataille de la compétitivité», dans les trois langues arabe, français et anglais,
6. la diffusion régulière des publications de l'Académie; les actes des sessions, le bulletin d'information de l'Académie, la lettre de l'Académie et le journal scientifique «Frontiers in Science and Engineering»,
7. le renforcement de la présence de l'Académie sur le plan international notamment en Afrique par la présidence du Réseau Africain des Académies des Sciences (NASAC) en la personne de notre collègue Pr. Mostapha Bousmina qui en était déjà Vice-Président depuis 2010, également par l'élection de l'Académie comme membre du Conseil de l'Inter Academy IAC, aux côtés des Académies des sciences les plus prestigieuses (France, Royaume Uni, USA, Allemagne, Inde Chine, Japon...), par la participation aux activités du GID et celles du réseau méditerranéen dédié au développement de l'enseignement des sciences.

### **Mesdames, Messieurs,**

A l'occasion de la commémoration du 8<sup>ème</sup> anniversaire de son installation par Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu Le garde – le 18 mai 2006, un bilan d'étape sera présenté qui va nous permettre de mener une réflexion sur la travail réalisé par l'Académie depuis son installation et d'aborder les perspectives concernant les actions majeures menées telles que l'appui aux projets de recherche, l'actualisation et le suivi des données scientifiques et technologiques, la diffusion de la culture scientifique, l'encouragement de l'excellence, l'enseignement des sciences et le renforcement de la coopération notamment avec le Département en charge de la Recherche en l'occurrence le Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche Scientifique et de la Formation des Cadres et le Ministère de l'Education Nationale et de la Formation Professionnelle.

La recherche scientifique est aujourd'hui inscrite dans la Constitution du pays votée par le peuple marocain le 1<sup>er</sup> juillet 2011. Dans son préambule, le Dahir de création de l'Académie stipule que la maîtrise des sciences et techniques est considérée comme un complément essentiel à la souveraineté nationale. La même Loi stipule que la science et la recherche scientifique doivent occuper une place majeure dans l'échelle des valeurs nationales ; le développement du pays est directement tributaire du développement de son système éducatif, mais aussi de la reconnaissance du rôle de la recherche scientifique et de l'innovation dans la croissance de son économie et pour le bien être de sa population.

### **Excellences,**

### **Mesdames, Messieurs,**

Je voudrais, à la fin de cette allocution remercier tout particulièrement mon ami le Professeur Abdellatif Berbich, Secrétaire Perpétuel de l'Académie du Royaume et l'ensemble de son personnel pour l'aide qu'ils nous apportent, comme à l'accoutumée, dans l'organisation matérielle de notre session plénière.

Mes remerciements vont également aux membres du Conseil d'Académie, de la Commission des Travaux, des Collèges scientifiques, à tous les membres de l'Académie associés, résidents et correspondants, et à son équipe administrative pour leur contribution à la préparation de cette session; souhaitons lui tout le succès qu'elle mérite et à notre Académie d'être à la hauteur de l'objectif qui lui a été fixé par son Protecteur Sa Majesté Le Roi Mohammed VI – que Dieu Le protège – «servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale».

**Je vous remercie pour votre attention.**

---

- **Pr. Driss OUAZAR** (Directeur des Séances)

Merci Monsieur le Secrétaire Perpétuel. La parole maintenant est à Madame Catherine Bréchignac, Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences de France et Ambassadeur délégué pour la Science, la Technologie et l'Innovation.

## ALLOCUTION DU MINISTRE DE L'ENERGIE, DES MINES, DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT

*M. Abderrahim EL HAFIDI*

*Secrétaire Général du Ministère de l'Energie,  
des Mines, de l'Eau et de l'Environnement*



**Monsieur le Président,  
Monsieur le Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques,  
Messieurs les Ministres, Excellences, Mesdames et Messieurs.  
Mes Chers collègues,**

C'est avec un réel plaisir et un grand intérêt que je participe aujourd'hui au nom du Dr. Abdelkader AMARA, Ministre de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, à cette session plénière solennelle annuelle de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, portant cette année sur le thème «Sources d'énergies renouvelables et transition énergétique : faits, défis et opportunités pour le Maroc», pour partager avec vous les derniers développements que connaît la transition énergétique nationale. Je voudrais tout d'abord saisir cette occasion pour féliciter l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques pour l'organisation de cette importante rencontre.

Cette manifestation revêt sans aucun doute une importance et un intérêt particuliers en raison de la richesse et de la diversité des sujets programmés qui seront présentés et animés par des professionnels, des experts et des professeurs de renommée.

**Mesdames et Messieurs,**

La transition énergétique n'est pas un choix de circonstances, n'est pas un compromis, n'est pas une négociation. La transition énergétique, c'est une décision stratégique.

Notre pays a fait de sa transition énergétique un choix stratégique majeur pour répondre à de nombreux enjeux. Un enjeu social pour lutter contre la précarité énergétique et la maîtrise du coût de l'énergie. L'enjeu est aussi économique pour inscrire la sobriété au cœur de notre modèle de croissance et c'est aussi pour pouvoir maîtriser nos émissions.

**Mesdames et Messieurs,**

Le contexte énergétique national est confronté à des défis importants. La demande en énergie primaire a augmenté en moyenne de près de 5% alors que la croissance de la consommation électrique a augmenté en moyenne de 6,5% en raison de la quasi généralisation de l'électrification rurale et du dynamisme que connaît notre économie nationale avec le lancement des grands chantiers en infrastructures, industrie, agriculture, tourisme et logement social, etc.

En tenant compte de ce dynamisme sans précédent et l'économie nationale et également de la progression démographique couplée à l'amélioration du niveau de vie de la population, nous prévoyons, sur la base des analyses prospectives du Ministère, le triplement de la demande en énergie primaire et le quadruplement de la demande électrique à l'horizon 2030.

De ce fait, notre transition énergétique nationale prévoit de construire un mix énergétique diversifié et équilibré, où les énergies renouvelables occupent une place de premier choix pour à la fois satisfaire cette demande croissante, préserver l'environnement et réduire notre dépendance énergétique de l'extérieur et des combustibles fossiles.

Le Royaume du Maroc dispose en effet, d'atouts considérables dans le domaine des énergies renouvelables. Notre potentiel éolien est estimé à 25 000 MW dont près de 6 000 MW réalisables d'ici 2030 dans des régions on-shore identifiées et où la vitesse du vent varie de 9 à 11 m/s à une hauteur de 40 mètres du sol. Le potentiel solaire est illustré par 3000 heures d'ensoleillement par an équivalent à plus de 6,5 KWh/m<sup>2</sup>/jour d'irradiation.

Notre objectif est de porter la part des énergies renouvelables à 42% de la puissance électrique installée en 2020, en développant trois projets intégrés portant sur 2000 MW solaire, 2000 MW éolien et 2000 MW hydraulique.

Le processus de réalisation de ces projets est déjà lancé. En effet, la réalisation du Projet Marocain d'Énergie Éolienne, se poursuit convenablement, dans la mesure où l'ensemble des unités prévues est déjà réalisé, engagées ou en cours de lancement. Les coûts de production atteints ou envisagés confèrent déjà à cette filière un haut degré de compétitivité en comparaison aux centrales consommant des combustibles fossiles.

Actuellement, en plus de 380 MW déjà opérationnels, dont 100 MW ont été réalisés par des entreprises privées dans le cadre de la loi 13-09, environ 550 MW sont en cours de construction, 250 MW en cours de développement et un appel d'offres pour la réalisation de 850 MW est en cours de lancement.

Quant au Projet Marocain intégré de l'Énergie Solaire, dont l'objectif est de valoriser notre grand potentiel solaire, les étapes franchies par l'Agence Marocaine de l'Énergie Solaire «MASEN» en matière de développement et l'intérêt suscité à travers le monde par ce programme, en particulier la 1ère tranche de la centrale d'Ouarzazate 160 MW tant auprès des développeurs, de renommée internationale, qu'auprès des institutions financières internationales, sont prometteurs.

Quant à la filière hydraulique, le Maroc ambitionne d'accompagner le développement de la capacité de production de l'électricité de sources éoliennes par la réalisation de capacités additionnelles de production d'électricité de sources hydrauliques à travers le développement de 550 MW sous forme de Station de Transfert d'Énergie par Pompage (STEP). L'objectif de ce couplage est de réduire l'impact des intermittences générées par les parcs éoliens sur le système électrique national.

Une autre priorité de la transition énergétique marocaine réside en l'intensification des politiques et la promotion de l'efficacité énergétique. Certes, nous consommons, de plus en plus, mais il est indispensable de se préoccuper de la maîtrise de la demande et de mieux consommer. Nous commençons progressivement la mise en place des règles visant l'utilisation rationnelle de l'énergie. Une stratégie appropriée en matière d'efficacité énergétique est en cours de préparation autour d'un débat national à grande échelle, participatif inclusif et transparent. Certains secteurs clés, gros consommateurs d'énergie, sont directement concernés : les transports, l'industrie et le bâtiment. Nous ferons en sorte d'atteindre les objectifs fixés qui sont d'économiser 12% de notre consommation d'énergie en 2020 et 15% en 2030.

Dans un autre volet, l'intégration du Maroc dans le système énergétique régional constitue un autre axe majeur de notre stratégie énergétique. Dans ce cadre, notre pays vise à jouer un rôle important dans la coopération énergétique régionale, notamment par un développement stratégique des infrastructures nationales de transit et de stockage des ressources énergétiques, et nous continuons également à renforcer cette coopération régionale en énergies renouvelables, notamment le solaire, qui s'intègre dans le Plan Solaire Méditerranéen et l'initiative industrielle DESERTEC. Notre Statut Avancé avec l'Union Européenne nous permettrait aussi une insertion plus rapide dans le marché énergétique euro-méditerranéen.

Pour accompagner la transition énergétique nationale, des réformes importantes et nécessaires ont été entreprises aux niveaux législatif, réglementaire et institutionnel dans le but d'asseoir un cadre propice au développement accéléré des énergies renouvelables et son inscription dans la dynamique de développement de la coopération régionale et internationale et d'intégration des marchés régionaux de l'énergie.

La libéralisation de la production et la commercialisation des énergies renouvelables en vertu de la loi 13-09, promulguée en 2010, a permis d'initier plusieurs projets de production privée.

Aujourd'hui, nous nous apprêtons à lancer deux chantiers importants qui feront suite à l'ouverture à la concurrence de la production de l'électricité produite à partir de sources d'énergies renouvelables pour les clients Très Haute Tension (THT) en Haute Tension (HT) et le libre accès au réseau de transport et aux interconnexions.

En effet, en réponse à la demande des industriels installés au Maroc raccordés au réseau Moyenne Tension et des développeurs des centrales de sources renouvelables et de notre engagement à l'ouverture progressive et partielle de notre réseau et de notre marché de l'électricité, nous avons lancé une étude relative à la définition des conditions et des

modalités de l'ouverture du marché électrique de sources renouvelables de la moyenne tension à la concurrence et de l'accès au réseau électrique MT. Cette étude qui sera bouclée en mai 2014 permettra la proposition d'une feuille de route pour la mise en œuvre de cette ouverture.

Le second chantier vise la mise en place des bases juridiques et réglementaires pour l'utilisation à grande échelle de photovoltaïque connectée au réseau BT. Il faut préciser, sur ce point, que nous avons mené une consultation qui a démontré l'impact positif de l'utilisation du photovoltaïque résidentiel à grande échelle au Maroc tant au niveau énergétique, économique qu'environnemental.

Ces deux chantiers donneront, sans conteste, une impulsion aux PMI-PME intéressées par le développement au Maroc de projets de petites et moyennes capacités en PV.

Parallèlement, il est prévu la création d'une autorité nationale de régulation indépendante de l'énergie pour veiller au respect des règles en vigueur, pour maintenir la viabilité concurrentielle des opérateurs sur les marchés électrique et gazier et définir les tarifs et les conditions d'accès au réseau de transport et aux interconnexions.

### **Mesdames et Messieurs**

Au-delà de leur contribution à satisfaire nos besoins énergétique futurs, le Maroc vise, à travers ces projets intégrés et volontaristes, à assurer une intégration industrielle progressive, permettant d'accélérer l'appropriation des technologies prometteuses de valorisation des ressources énergétiques renouvelables, le développement d'un tissu industriel national en mesure d'accompagner les projets de développement des énergies renouvelables et d'assurer la compétitivité requise à l'export.

C'est l'objectif de l'offre industrielle marocaine incitative qui a été mise en œuvre afin de promouvoir la fabrication locale des équipements de production d'énergie à partir de sources renouvelables et ceux qui assurent une utilisation plus rationnelle de l'énergie, grâce à une aide financière du Fonds de Développement Énergétique, en plus des avantages déjà accordés par l'État en matière d'incitation à l'investissement, notamment pour les projets d'investissement situés dans la zone Clean-Tech du technopôle d'Oujda.

Par ailleurs, notre pays entreprend des actions concrètes en matière de Recherche-Développement dans le domaine des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, qui gagnera progressivement en maturité dans ses universités, ses instituts de recherche et certaines agences en vue de donner une impulsion forte et ciblée à la recherche, au développement et à l'innovation technologique, orientés vers le développement durable.

Dans ce sens, les structures de recherche nationales ont été enrichies par la création d'un Institut de Recherche en Energie Solaire et en Energies Nouvelle (IRESEN), qui permettra de consolider et de mettre en réseau nos capacités de recherche et de développement sur des thèmes ciblés, notamment liés au développement et à l'industrialisation de solutions et de filières technologiques innovantes, en accompagnement à nos projets intégrés dans ces domaines.

**Mesdames et Messieurs,**

Conscient du rôle capital des Ressources Humaines qualifiées, en mesure de porter les projets de sa stratégie énergétique nationale, le Maroc ambitionne de bâtir une politique cohérente de formation des compétences nationales.

Dans ce sens, une étude sectorielle a été réalisée par le Ministère, pour spécifier les besoins potentiels en ressources humaines dans le domaine des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. Cette étude a permis d'identifier les tendances évolutives du marché du travail dans ces secteurs, de définir les fonctions de travail spécifiques aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique, les besoins en main-d'œuvre y afférents, de diagnostiquer l'offre de formation existante et sa correspondance aux exigences des fonctions de travail ainsi que les projections des besoins en formation à l'horizon 2020.

Les résultats de cette étude nous ont révélé qu'à l'horizon 2020, la mise en œuvre de la transition énergétique nationale contribuera à la création de près de 50 000 emplois dont 36 800 liés à l'efficacité énergétique et 13 200 aux énergies renouvelables.

Parmi les axes du plan d'actions arrêté au regard des constats et des écarts importants établis par l'analyse des aspects de l'offre et de la demande en formation dans le domaine des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, ainsi que par rapport aux projections d'évolution initiées lors des différentes phases de l'étude, on peut citer notamment la mise en place de trois Instituts de Formation aux Métiers des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique (IFMERE). Ces instituts dont la gestion sera déléguée aux professionnels, seront des centres de formation de référence à même de répondre aux besoins en compétences dans le secteur des énergies renouvelables et tout secteur impacté par l'efficacité énergétique.

**Mesdames et Messieurs**

En félicitant encore une fois les organisateurs de cette session plénière, je suis persuadé que nous aurons l'occasion, au cours de cette rencontre, de profiter de votre expertise sur un sujet de grande importance pour l'avenir énergétique de la planète. Je ne doute pas que nous aurons autant de plaisir et d'intérêt à suivre les différentes interventions qui se succéderont lors de cette journée.

Je vous souhaite plein succès dans vos travaux et je vous remercie.

- **Pr. Driss OUAZAR** (Directeur des Séances)

Merci Monsieur Abderrahim El Hafidi, Secrétaire Général du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement et représentant de Monsieur le Ministre le Dr. Abdelkader Amara.

Malheureusement, en raison de la gestion du temps, nous n'aurons pas de questions. Avant de clôturer cette séance, il sera procédé à la signature d'une convention de coopération entre le Ministère de l'Education Nationale et de la Formation Professionnelle et l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, respectivement par notre confrère et Ministre de l'Education Nationale et de la Formation Professionnelle M. Rachid Benmokhtar-Benabdallah et par le Secrétaire Perpétuel de l'Académie le Professeur Omar Fassi-Fehri.

**Signature d'une convention de coopération  
entre le Ministère de l'Education Nationale et de la Formation Professionnelle  
et l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques**



**- M. Rachid Benmokhtar Benabdallah** (Ministre de l'Education Nationale et de la Formation Professionnelle)

Chers collègues, je suis là aujourd'hui en tant que membre de notre Académie, mais en même temps en tant que Ministre de l'Education Nationale et de la Formation Professionnelle. Je voudrais vous dire combien je me réjouis aujourd'hui à la signature de cet accord pour plusieurs raisons. Tout d'abord parce que la coopération entre l'Académie et le Ministère a commencé bien avant mon arrivée à ce département et je dois dire que l'ensemble des responsables et aussi les élèves qui ont eu la chance de profiter de ce que l'Académie apporte à notre système, notamment à travers les bourses d'excellence, les campagnes de sensibilisation et l'enseignement des sciences. Tout cela contribue à mieux préparer nos jeunes à la recherche et aux métiers du futur, mais aussi à relever leur curiosité naturelle, à améliorer leurs capacités linguistiques et leur capacité au raisonnement. Et c'est pour cela que nous avons besoin de l'Académie.

Je pense que le travail qui a été fait jusqu'à présent devrait être renforcé et je compte beaucoup sur l'Académie pour qu'elle investisse les corps de l'Education Nationale.

**- Pr. Omar FASSI-FEHRI** (Secrétaire Perpétuel)

Monsieur le Ministre et Cher Collègue,

Je vais être très bref parce que tu aurais pu parler à la fois en tant que ministre et en tant que membre de l'Académie. C'est pourquoi j'adhère totalement à ce que tu viens de dire et merci pour cette confiance que vous placez en notre Académie. Merci.



## ALLOCUTION DU SECRÉTAIRE PERPÉTUEL DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE FRANCE

*Pr. Catherine BRÉCHIGNAC*  
*Secrétaire Perpétuel,*  
*Académie des Sciences de France*  
*Ambassadeur délégué en Science,*  
*Innovation et Technologie*



**Monsieur et Madame les ministres,  
Messieurs les ambassadeurs,  
Monsieur le Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques,  
Monsieur le Chancelier de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques,  
Chers confrères, chers collègues, bonjour,**

C'est toujours un véritable plaisir de se retrouver ici pour cette séance plénière solennelle de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques du Maroc. Le choix des thèmes est toujours pertinent mais le choix des orateurs l'est aussi, nous en repartons toujours enrichis par leurs propos. L'année dernière, nous avons parlé de la physique avec :

- Serge Haroche qui nous a montré la rupture qui a eu lieu au début du 20<sup>ème</sup> siècle pour la physique quantique que nous utilisons tous les jours dans nos téléphones portables et nos GPS et ceci dans les coins les plus reculés du monde.
- Cédric Villani (Médaille Field) qui nous a parlé du mouvement brownien vu par les mathématiciens mais aussi de Boltzmann. Celui-ci est un scientifique auquel il faut penser et on n'y pense pas suffisamment; il avait montré quand même que l'entropie était croissante mais surtout qu'elle représentait l'exploration de tous les possibles et, avec la quantité énorme de données que nous avons actuellement, cette entropie est toujours extrêmement croissante. Cette idée avait été mise en équation par Boltzmann et personne à l'époque ne le comprenait; il s'en est suicidé et sur sa tombe on pouvait lire :  $S = k \log W$ . Cela fait réfléchir parce que les sciences et les techniques que nous discutons aujourd'hui dans cette enceinte avec un langage qui nous est propre à nous

tous, ce langage est très peu compréhensible par nos sociétés et l'écart se creuse de plus en plus entre ce que nous comprenons, ce dont nous parlons et les sociétés auxquelles nous nous adressons. La compréhension conduit d'abord à la peur et ensuite à la violence et c'est un peu la raison pour laquelle réfléchir aujourd'hui pour cette séance solennelle sur «les sources d'énergie renouvelables et la transition énergétique : faits, défis et opportunités pour le Maroc» doit essayer de se placer aussi dans un cadre en phase avec la société et accessible à tous sachant qu'évidemment derrière les sources d'énergie on ne peut pas oublier Boltzmann.

Je vous remercie.

---

- **Pr. Driss OUAZAR** (Directeur des Séances)

Merci Madame le Secrétaire Perpétuel. La parole maintenant est à Monsieur Detlev Ganten, Vice-président de l'Académie des Sciences Leopoldina (Allemagne).

## ALLOCUTION DU VICE-PRÉSIDENT DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES LEOPOLDINA, ALLEMAGNE

*Pr. Detlev GANTEN*

*Vice-Président de l'Académie  
des Sciences Leopoldina, Allemagne*



**Monsieur et Madame les ministres,  
Monsieur le Président de Séance,  
Excellences, Chers collègues,**

Permettez-moi tout d'abord de vous remercier très vivement pour votre aimable invitation à participer à cette excellente conférence si intéressante de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques sur les énergies renouvelables. Une telle invitation est un grand privilège me permettant de vous transmettre les salutations de l'Académie Nationale Allemande des Sciences «la Leopoldina».

Nous avons une grande admiration pour le peuple du Maroc, sa grande tradition, ses prouesses scientifiques et son avenir prometteur.

Notre Académie, Leopoldina, a été fondée il y a plus de 300 ans. C'est une des académies des sciences les plus anciennes et en même temps il s'agit d'une académie très jeune car ce n'est qu'en 2008, presque 20 ans après la réunification de l'Allemagne que la Leopoldina est redevenue l'Académie Nationale des Sciences de l'Allemagne.

Aujourd'hui la Leopoldina se consacre à beaucoup de choses, entre autres, à organiser des ateliers et conférences de haut niveau sur les sujets scientifiques d'actualité ou sur les thèmes sociétaux comme cette conférence ici à Rabat, et à promouvoir de jeunes scientifiques y compris dans des pays arabes, Maroc inclus.

Le sujet de cette séance plénière d'aujourd'hui est d'une importance cruciale tant pour le Maroc que pour l'Allemagne et pour le monde entier. Vous savez peut-être que notre gouvernement a décidé d'abandonner l'énergie nucléaire et il est prévu qu'en 2022 toutes les centrales nucléaires seront arrêtées. Le pourcentage de l'énergie renouvelable en provenance du soleil, du vent ou de la biomasse est censé couvrir 80% de la production électrique d'ici 30 ans. La science se doit de concentrer ses efforts sans relâche dans le développement d'innovations technologiques pour assurer un approvisionnement énergétique durable en Afrique du nord tout comme en Europe et dans le reste du monde. Le Maroc joue un rôle essentiel dans ces discussions et ces programmes au point de vue scientifique, technologique, économique, géographique et politique. Votre symposium les deux prochains jours contribuera à atteindre cet objectif.

J'ai vu avec grand plaisir qu'il y a sur le programme deux interventions de mon pays qui contribueront à cette conférence.

Permettez-moi mesdames et messieurs, dans une conclusion toute personnelle, vous confier que le Maroc est mon pays favori sans même évoquer l'importance scientifique et politique de votre admirable pays. Il y a une cinquantaine d'années, j'ai eu le privilège en 1973 et 1974 de travailler dans un service chirurgical dans l'un des meilleurs hôpitaux de Marrakech. Cinq années plus tard, je suis revenu au Maroc avec ma femme pour notre voyage de noces tout comme l'a fait également mon fils avec son épouse. Le Maroc est un merveilleux pays avec une grande tradition et un avenir prometteur, et je serai plus qu'heureux de pouvoir contribuer à intensifier les collaborations scientifiques entre nos deux pays qu'il s'agisse du domaine de l'énergie, de la médecine, de la recherche fondamentale, de la technologie ou bien le soutien à apporter aux jeunes chercheurs au sein des jeunes académies comme «Arab-German Young Academy».

Je me plais à rappeler les contributions du Maroc l'an passé au «World Arab Summit» que j'organise ont été remarquables.

Nous suivons avec un grand intérêt vos efforts en santé publique et en santé globale ainsi que la collaboration avec l'Inter-Academy Medical Panel, qui regroupe toutes les académies de médecine et les académies des sciences du monde, dont j'ai l'honneur d'être le Co-Chair.

Si vous me permettez, je vais dire un mot en anglais.

Because we follow with quite interest the recent visit of your King Mohammed VI in some African countries. The importance of Morocco in sub-Saharan Africa, in Africa and in the Mediterranean area cannot be overestimated. If we look at the health of the population new public health is much more as you all know than medicine. It complies of course with social determinants, living conditions and also the climate and climate change. In the next Climate Summit in Berlin climate change will be one topic. We feel that we can both contribute to the climate community and to the health community worldwide. We have to get our work together and I am sure that you are aware of the fact that the next Climate Summit will be held in Paris in 2015 and this has to be a success, otherwise we will have major problems in this world. It will cover a series of meetings; the first one

will be the World Health Organization in September followed by the United Nations and followed by the World Health Summit in October 2014. And if we work together, we will achieve success for the next Climate Summit. We do have to work together. The initiative of The King of Morocco to travel to African countries and to get a common feeling of our future together including energy, including climate and including health as comprehensive topics will be extremely important.

Chers collègues, je vous remercie une nouvelle fois de votre invitation au Maroc et de votre excellente conférence organisée par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques. Je vous souhaite un agréable et très intéressant congrès et j'espère que ce sera le commencement d'un renouvellement de la collaboration entre la Leopoldina et votre Académie.

Merci beaucoup.

---

- **Pr. Driss OUAZAR** (Directeur des Séances)

Danke schön monsieur le Vice-président. La parole maintenant est à M. Didier Roux, membre de l'Académie des Sciences et de l'Académie des Technologies de France.



## QUESTIONS ÉNERGÉTIQUES ET ENVIRONNEMENTALES : EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

*Pr. Didier ROUX*

*Membre de l'Académie des Sciences  
et de l'Académie des Technologies, France*

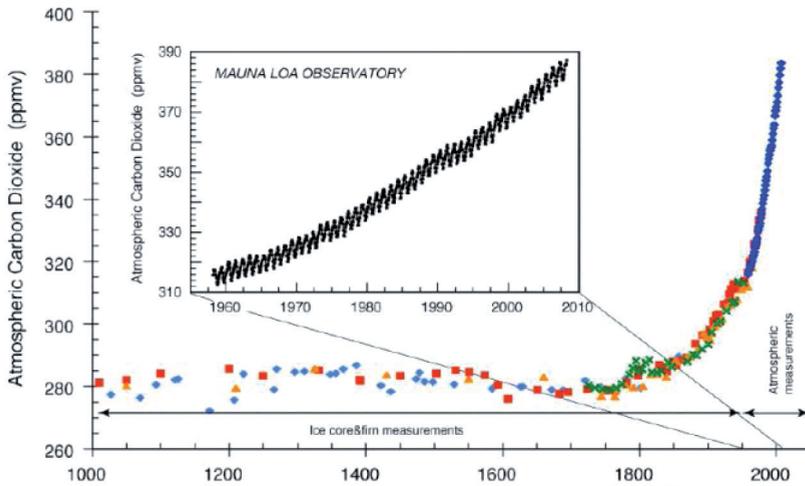


Je voudrais d'abord exprimer le fait que je suis très honoré de donner cette première conférence dans un endroit qui est magnifique et prestigieux et en face de vous tous, et je suis extrêmement heureux de le faire au Maroc qui est un pays absolument merveilleux.

Ma conférence va d'abord tourner autour plutôt des économies d'énergie qui est probablement la première façon de préparer l'avenir. Je parlerai aussi un peu d'énergies renouvelables mais surtout d'efficacité énergétique dans les bâtiments. J'essaierai à la fin de la conférence de faire le lien en le bâtiment du futur et le bâtiment du passé et vous verrez qu'il y a là aussi des points communs et au niveau de la science.

Alors, pour poser les éléments du débat, le monde est entrain de changer et je dirai de façon violente, que probablement pour la première fois dans l'histoire de l'humanité nous nous rendons compte nous les humains que nous vivons sur une planète de taille finie, et qu'effectivement des ressources que nous croyons n'avoir aucune limite se sont révélées comme étant un véritable problème si on se projette dans l'avenir. C'est un des points probablement les plus importants. Nous faisons face aussi à quelque chose qui est la problématique liée à l'éventuel changement climatique, illustrée par la courbe d'émission de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère qui a considérablement augmenté depuis l'utilisation des énergies fossiles ainsi que quelques unes des ses conséquences de cette augmentation : acidification des océans, évolution de la température moyenne de la planète et élévation du niveau global des océans de quelques millimètres par an.

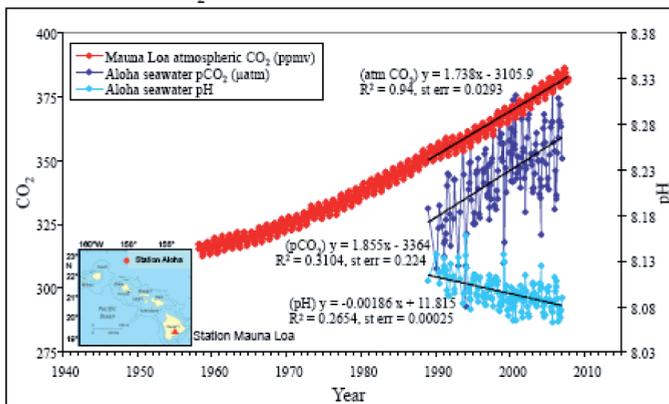
## Recent measurements of CO<sub>2</sub> in the atmosphere



Emissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

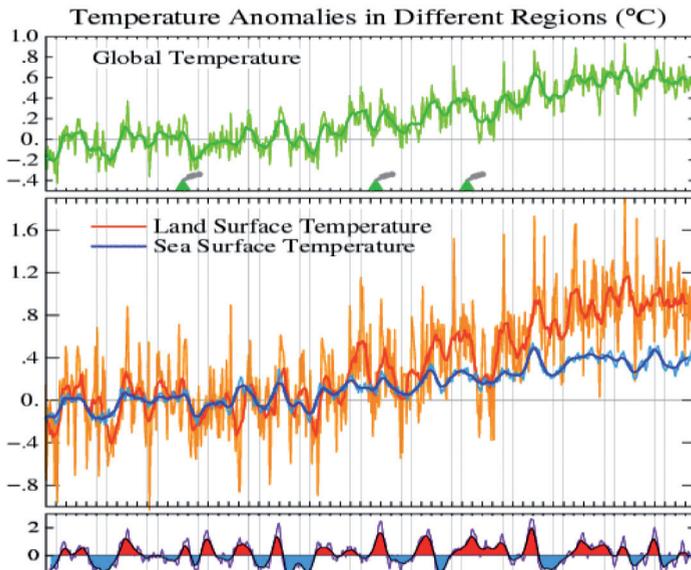
## A consequence : ocean acidification

CO<sub>2</sub> Time Series in the North Pacific Ocean



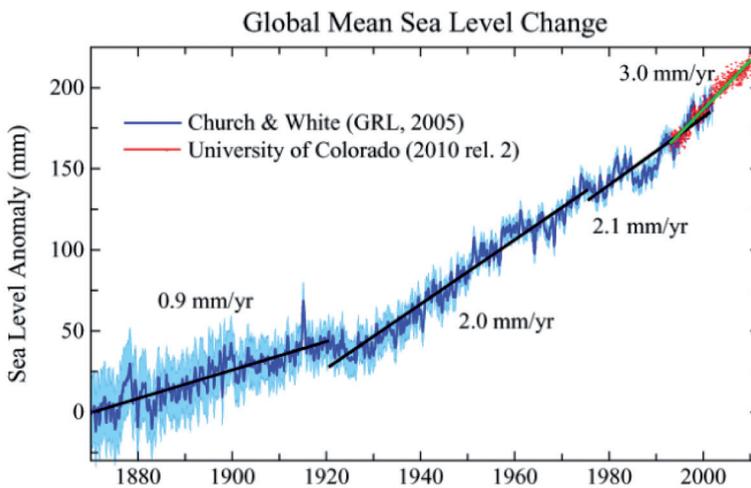
Mesures de l'acidité dans l'Océan Pacifique Nord.

## Temperature evolution



Evolution de la température.

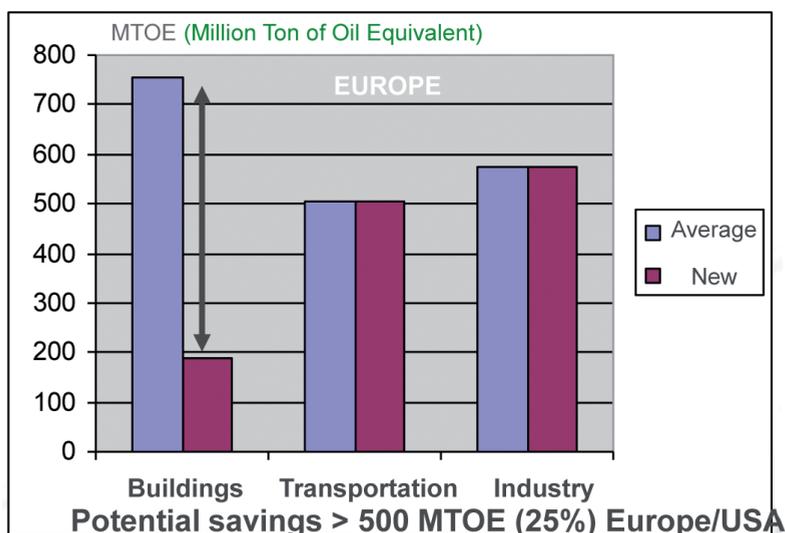
## Global sea level



Variation du niveau global moyen des océans.

Ces deux événements : la limitation d'accès à des ressources naturelles et peut être pour la première fois dans l'histoire de l'humanité le fait que l'on puisse avoir un effet sur l'ensemble de la planète, il y a un changement du dérèglement du climat. On peut dire qu'il y a deux choses à faire, et on les a entendus ce matin, la première c'est évidemment d'économiser l'énergie et la seconde consiste à penser à des énergies renouvelables. De ce point de vue là, de ces deux événements, il y a un élément majeur dans le monde de la construction. Pour l'Europe, l'économie d'énergie est liée aux bâtiments, au transport et à l'industrie. En gros, et à parts égales, nous utilisons cette énergie dans le bâtiment, pour se transporter et pour fabriquer des biens manufacturés. En fait, dans les pays européens ainsi qu'aux Etats-Unis d'Amérique, la partie liée au bâtiment est à peu près importante (de l'ordre de 40-45%). Si on pouvait transformer tous nos bâtiments construits au siècle dernier en bâtiments équivalents à ce qu'on construit aujourd'hui (2005-2010) en termes d'efficacité énergétique, la quantité d'énergie qui serait économisée en faisant cela est équivalente à ce qui est utilisé soit pour le transport soit pour l'industrie.

### The potential for innovation is huge :



Potentiel d'innovation dans les domaines des bâtiments, transport et industrie.

Ceci représente ce que nous gaspillons nous pour nous mettre nous à l'abri d'un climat rigoureux à l'extérieur. A titre d'exemple, en France, la plus grande part de cette consommation d'énergie au niveau d'une maison est liée au chauffage en comparaison avec l'éclairage, l'électroménager et le chauffage sanitaire. Aujourd'hui, on est capable de construire des bâtiments qui ne consomment quasiment pas d'énergie pour être chauffés. Cet objectif est totalement donc accessible et cela correspond à des réserves énergétiques énormes, environ 30% de la consommation d'énergie d'un pays en Europe.

## Qu'en est-il des pays chauds et des pays chauds et humides?

Nous avons fait une étude pour essayer de comprendre quels étaient les mécanismes dans ces pays là qui conduisaient à une augmentation des consommations électriques. Pour faire le parallèle entre chauffer des habitats dans des pays froids ou à climat tempéré mais froids en hiver avec des pays chauds ou chauds et humides où il est question d'air conditionné, on voit aujourd'hui dans les pays chauds une augmentation de la consommation électrique liée à l'air conditionné et en particulier dans les bâtiments de travail ou publics, moins dans les habitats résidentiels. Cette augmentation est d'autant plus spectaculaire qu'elle est généralement associée à des infrastructures électriques qui ne sont pas toujours capables de répondre à la demande de consommation électrique. De plus, et quelques fois de façon étonnante, des gouvernements qui soutiennent le prix de l'électricité vers le bas pour favoriser la pénétration de l'électricité dans leurs pays et l'accès au plus pauvre à cette électricité. Mais ceci enclenche bien évidemment un effet pervers qui est : le prix bas de l'électricité encourage l'utilisation de l'air conditionné qui lui-même consomme plus d'énergie et par conséquent toutes les subventions qu'il faut donner.

On est donc dans les pays chauds et humides dans une situation un peu analogue à la situation de l'Europe à la veille du choc pétrolier dans les années 1970-80, c'est-à-dire une consommation dans les bâtiments qui augmente énormément avec des bâtiments qui ne sont pas adaptés à l'acceptation de l'air conditionné. Ce parallèle veut dire qu'aujourd'hui dans des pays, et le Maroc en fait partie, on peut diviser par un facteur 2 ou 3 la quantité d'énergie consommée grâce à une bonne isolation des bâtiments.

## Que peut-on faire en termes d'innovations?

- 1- Isolation des parois des bâtiments en empêchant le flux thermique : prendre de l'air et le rendre immobile puisque l'air a une conductivité assez basse et permet en l'immobilisant d'éviter le phénomène de convection. Ceci peut être obtenu par des matériaux poreux classiques (mousses légères comme la laine de verre, la laine de roche ou autres déclinaisons de matériaux). Il y a des matériaux encore plus intéressants parce que plus efficaces dont l'aérogène qui permet de réduire d'un facteur 3 ou 4 la conductivité thermique. Un matériau qui a des pores en dessous du micron permet baisser fortement la conductivité thermique même à pression atmosphérique, c'est le cas des aérogels. Malheureusement, le prix de ces aérogels reste pour le moment trop cher et pas vraiment encore utilisables dans les bâtiments même si on voit émerger quelques premiers produits.

Une autre façon d'isoler les bâtiments c'est le vide qui empêche tout transport de la chaleur thermique. Il existe des isolants sous vide avec des feuilles d'aluminium pour empêcher la radiation et obtenir des valeurs tout à fait impressionnantes. Mais là encore il est difficile de les mettre en œuvre en raison de leur coût trop élevé pour le monde du bâtiment.



Exemples de solutions d'isolation des bâtiments.

Nous avons également le vitrage moderne qui est un interféromètre. Il y a sur le vitrage des multicouches (jusqu'à 25 couches différentes de quelques nanomètres) qui exercent un effet d'interférométrie c'est-à-dire un filtre laissant passer la lumière visible et empêchant les UV ou/et les infrarouges de passer à travers la fenêtre et ceci est très intéressant dans pays comme le Maroc. Dans un pays froid par contre on essaiera de garder une température de l'ordre de 20°C à l'intérieur et empêcher l'infrarouge de sortir du bâtiment, ce qui permet à la fois de réaliser une économie d'énergie et donner une impression de confort.

## 2- Une meilleure utilisation de l'énergie par de nouveaux matériaux :

- Les premiers sont des matériaux à transition de phase qui passent d'un état de la matière à un autre et cette transition requière de l'énergie. Inversement quand ce matériau revient à son état primitif à une température en dessous de 20°C, il va redonner cette énergie qu'il a stockée lors de la transition de phase. Ce sont des matériaux que l'on appelle des parafilms mais aussi des mélanges d'eau et de sel qui permettent de régler la transition de phase autour de 20-25°C.
- Un autre matériau intéressant que l'on peut utiliser c'est un verre que l'on est capable de changer la luminosité ou la transmission lumineuse par un signal électrique, c'est ce qu'on appelle un verre électro-chrome qui commence à se développer dans le monde du bâtiment. Ce type de verre permet, sans que l'on utilise des rideaux ou de pare soleil, de régler la quantité lumineuse qui pénètre dans le bâtiment de façon à contrôler l'énergie.



Utilisation de verres électrochromes.

- Autres moyens : Le puits canadien consiste à utiliser l'inertie du sol pour pouvoir amener de l'air à une température plus confortable à l'intérieur d'un bâtiment. En hiver, on va réchauffer l'air extérieur et en été on va le refroidir.

### 3- Utilisation des sources d'énergies renouvelables :

Je vais très rapidement citer deux exemples que nous utilisons. Le premier c'est la biomasse, nous fabriquons au Brésil des tuyaux de fonte avec du charbon de bois à partir de plantations d'eucalyptus. L'autre exemple c'est d'utiliser du biogaz à partir de la biomasse.

Bien évidemment, il y a la photovoltaïque qui représente une source merveilleuse d'énergie renouvelable dont nous ne consommons qu'une fraction de pourcent par rapport à tout ce que nous consommons comme énergie à partir d'autres sources.

#### ■ A few figures

- 1m<sup>2</sup> in Morocco receives 1,8 MWh solar energy/year (1800 kWh)
- Needs : 30 TWh of electricity/year
- Equivalent to : 20 km<sup>2</sup> (a ~ 3 km radius circle) would meet needs



Données sur le rayonnement solaire au Maroc.

Malheureusement, on ne sait pas stocker de l'énergie solaire sous forme d'électricité, c'est là l'un des grands défis de l'énergie et de l'électricité. Depuis 25 ans les prix des modules photovoltaïques diminuent fortement et particulièrement durant les 3 ou 4 dernières années. Ce qui fait que même si l'électricité photovoltaïque n'est pas toujours rentable, elle commence à devenir accessible, sur le plan de la rentabilité par rapport aux autres sources d'énergie dans bon nombre de pays, quoique cela ait abouti à une situation paradoxale qui fait que tous les industriels qui fabriquent ces modules, y compris les chinois qui fabriquent 90% des modules commercialisés sur le marché, perdent de l'argent.

L'éclairage est en train de subir une transformation importante. D'abord et avant tout il faut œuvrer pour une meilleure utilisation de l'éclairage naturel. Mais la véritable révolution réside dans l'éclairage électronique : la lampe d'Addison remplacée par la lampe fluorescente qui sera remplacée davantage demain par les LEDs (Light Emitting Diodes, faits avec des cristaux et procurent un éclairage puissant) ou les OLEDs (Organic Light Emitting Diodes, faits avec des molécules organiques, probablement moins chers et sont faits pour éclairer des surfaces plutôt que d'éclairer des points).

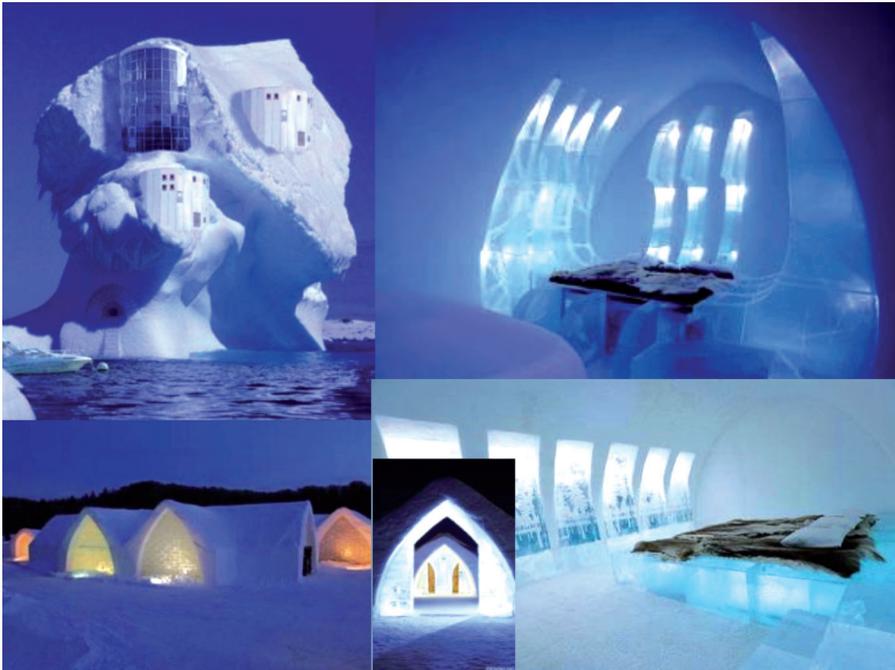
Le rapport avec l'habitat du passé est un rapport évident puisque dans le futur nous voulons des bâtiments qui ne consomment pas d'énergie et dans le passé nous avons des bâtiments qui ne consommaient pas d'énergie. La raison c'est que dans le passé nous n'avions pas d'énergie et dans le futur nous voulons l'économiser et la protéger. Les bâtiments que l'on trouve dans des endroits continentaux à fortes variations climatiques (très froids en hiver, très chauds en été) correspondent à des habitats utilisant une inertie de la terre. L'utilisation de cette inertie permet de rendre l'utilisation de ces habitats plus confortable.

Les habitats faits en argile sont de très bons exemples de l'utilisation des matériaux à transition de phase. Pendant la nuit cette argile récupère un peu de l'eau de condensation et cette eau s'évapore le lendemain sous l'effet du soleil, passe de l'état liquide à l'état gazeux, consomme de l'énergie et maintient de façon un peu prolongée une température fraîche à l'intérieur de ces habitats. C'est un exemple naturel de l'utilisation des transitions de phases.



Modèles de bâtiments utilisant des matériaux à transition de phase.

L'iglou est un très bon exemple d'habitat passif où l'on n'emmène pas d'énergie à l'intérieur pour des raisons évidentes. Les iglous sont faits par un matériel isolant que sont les blocs de neige qui permettent d'isoler l'intérieur de l'extérieur par de l'air immobile. Mais ça ne suffit pas pour empêcher le déplacement de l'air par le vent. Lorsque vous rentrez dans l'iglou, vous dégagez de la chaleur qui fait fondre une mince pellicule d'eau sur la face de la neige qui tapisse l'iglou et cette pellicule d'eau se regèle sous forme d'une mince pellicule de glace. En fait, cette mince pellicule de glace joue le rôle d'une membrane qui empêche le vent de circuler à travers cette neige poreuse et de déplacer cet air immobile.



Exemple moderne d'iglou.

En général, le sentiment de chaleur que l'on a à l'intérieur d'un iglou se situe autour de 10 à 15°C en moyenne alors que ce n'est pas la température réelle sinon l'iglou fondrait. Ce qui rend l'iglou habitable c'est le fait que l'habitant est lui-même un objet qui émet des infrarouges. Cette émission d'infrarouges, qui correspond à la température de la peau qui est d'environ 35°C, va vers les parois de l'iglou qui diffuse des rayonnements renvoyés vers l'habitant et le réchauffe. En fait, ce sont ces rayonnements infrarouges qui procurent le sentiment de confort à l'intérieur de l'iglou.

Je vous remercie pour votre attention.

---

- **Pr. Driss OUAZAR** (Directeur des Séances)

Merci M. Didier Roux. La parole maintenant est à notre confrère M. Philippe Tanguy, membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.



## TRANSFORMING THE ENERGY SYSTEM – FROM DREAM TO REALITY

*Pr. Philippe A. Tanguy*

*Membre associé, Académie Hassan II  
des Sciences et Techniques*



The energy transition is the shift to transform the present energy system mainly based on depletable commodities into a more sustainable mix by means of the use of renewable energy sources, an increase of the energy efficiency and the decrease of the energy intensity. In our daily life, energy is present under three main forms: electricity for lighting, heating and powering appliances; fuels for mobility and large industrial equipment; and molecules for the ubiquitous chemical compounds making our modern life possible. The development of technological innovation in these fields is central to the success of the energy paradigm shift. However, depending on the energy applications considered, the degree of technological maturity varies significantly, as well as the capacity for practical deployment. Several hurdles, many of them non-technological, must be overcome to build a sustainable new energy system.

- For electricity, the main obstacles are the extra costs incurred by most renewable energy technologies, the economical model to support their deployment, the transport and storage infrastructure especially in the context of production intermittency, and the grid management better addressing the demand side.
- For mobility, the main hurdles are the existing vehicle fleet based on internal combustion engines that will require fuels for decades to come, the relative present weakness of powertrain technology alternatives (batteries or hydrogen-based), and the infrastructure (and therefore the economical model) that would have to be developed to deal with any new fuel system (production, transport infrastructure, logistics, etc.).
- For molecules, the switch from naphtha to gas and/or biomass feedstock requires a completely new approach to sourcing and must be accompanied with a real industrial ecology thinking (lifecycle analysis) where recycling and reuse allow to optimize the resources.

The energy transition trajectory is country-specific as it depends on the locally available resources, the existing system (energy mix, infrastructure, typology of consumption) and the political context. Clearly, to embark on this journey, there is not a single approach or a universal model that can be readily applied. A solution is devised in each case with proposed objectives at 20 and 40 years, and financial scenarios.

The presentation will provide a comparison of the strategy followed by several leading countries to make their energy system more sustainable and a glimpse of some key challenges to address to make the energy transition a success.

## Désignation du nouveau Directeur des Séances

- **Pr. Driss OUAZAR** (Directeur des Séances sortant)

Mon mandat de Directeur des Séances arrive à terme aujourd'hui. Je voudrais, si vous n'avez pas d'objection, vous proposer le Professeur Mahfoud Ziyad pour accomplir cette mission tout au long de l'année prochaine.



(Applaudissements d'approbation)

- **Pr. Omar FASSI-FEHRI** (Secrétaire Perpétuel)

Si vous permettez chers collègues, et avant que notre collègue Pr. Mahfoud Ziyad n'assume ses responsabilités de Directeur des Séances, je voudrais au nom de vous tous remercier le Professeur Driss Ouazar pour sa direction des séances durant l'année écoulée. Au nom de vous tous je voudrais le remercier et le féliciter.



- **Pr. Mahfoud ZIYAD** (Nouveau Directeur des Séances)

Je voudrais vous remercier tous pour cette marque de confiance ainsi que notre collègue Driss Ouazar qui a dirigé nos séances avec beaucoup de maîtrise et de diplomatie. Merci beaucoup.



- **Pr. Mahfoud ZIYAD** (Directeur des Séances)

Nous allons entamer la séance consacrée à la production de l'énergie électrique centralisée et sans plus tarder je vais donner la parole au Pr. Valeriano Ruiz-Hernandez qui va nous parler des avancées et de la problématique des technologies solaires thermodynamiques.

**SÉANCE I :**

**PRODUCTION DE L'ÉNERGIE  
ÉLECTRIQUE CENTRALISÉE**



# A EL ESTADO DEL ARTE DE LA I+D+I EN LAS TECNOLOGÍAS TERMOSOLARES NO SIEMPRE SE IMPONE LA RAZÓN CIENTÍFICA

*Pr. Valeriano RUIZ HERNÁNDEZ*

*Academia de Ciencias y Técnicas Hassan II, Marruecos.  
Centro Tecnológico Avanzado de Energías Renovables  
(CTAER). Almería (España)*



1. Introducción
2. Historia y breve repaso a las tecnologías
3. Tendencias de las tecnologías termosolares de concentración
4. Principales líneas de investigación en el mundo
5. Conclusiones

## 1. INTRODUCCION

Los seres humanos actuales estamos repartidos por el planeta de forma aleatoria, y no precisamente en función de las condiciones climáticas. Hay más seres humanos en las zonas frías del planeta que en las cálidas, y los modos de abastecimiento energético de los países se han desarrollado en la búsqueda de una primacía sin medida de la satisfacción de las necesidades de sus habitantes, dando lugar a una situación como la actual verdaderamente absurda desde el punto de vista energético y ambiental por lo injusta e irresponsable. Por ejemplo, un noruego medio consume 23174 kWh de electricidad al año mientras que un keniano medio solo consume 157 kWh/año (casi 150 veces menos). Los países situados en zonas climáticas intermedias (Mediterráneo, cinturón tropical, Marruecos, España, etc.) tienen condiciones muy adecuadas para llegar a un sistema energético racional y menos derrochador gracias a sus condiciones climáticas.

Otra cuestión que condiciona fuertemente el futuro de los seres vivos es el cambio climático – acelerado por las emisiones de gases de efecto invernadero – al que está sometido el planeta y sus habitantes (no solo los seres humanos). Ya es indiscutible y los efectos negativos se van notando de manera continua y progresiva. El V informe del IPCC (Panel Intergubernamental del Cambio Climático) de las Naciones Unidas y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) refuerza y acentúa lo que ya se sabe por informes anteriores. Lo más preocupante – según mi criterio – es que el indicador básico del proceso, el forzamiento radiativo (figura 1) sigue creciendo de forma contundente (2,3 W/m<sup>2</sup> en el 2011, cuando en el año 2005 su valor se estimaba en 1,6 W/m<sup>2</sup>). Es obvio que un noruego ha contribuido más que un keniano a estos preocupantes valores de ese indicador consecuencia de la inconsciencia e irresponsabilidad humana.

1- Diferencia entre la radiación solar entrante en el planeta y la infrarroja saliente.

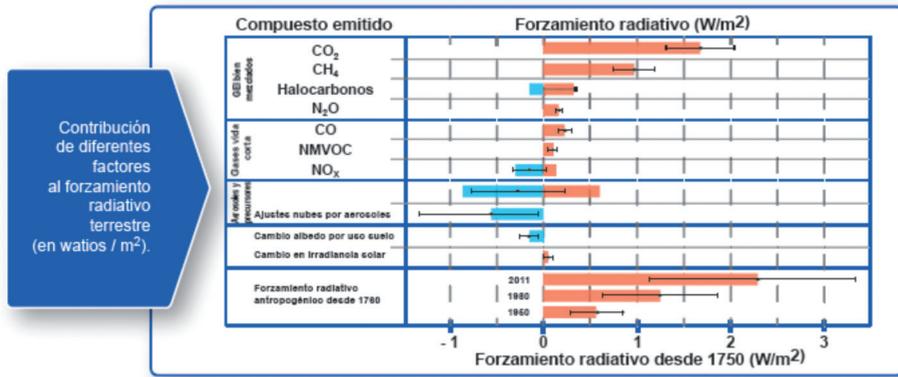


Figura 1. Forzamiento radiativo (V informe IPCC)

En lo que se considera que es el sistema energético parece que solo existen las energías artificiales (sobre todo electricidad y combustibles fósiles) y no se valoran las energías naturales, probablemente porque no son – por ahora – objeto de negocio ya que no tienen valor económico en su origen. El barril de petróleo marca la economía del mundo mientras que la radiación solar o el viento no cuestan nada.

En todo caso, los recursos energéticos, tantos los naturales como los artificiales están repartidos de manera muy irregular y el sistema económico al que hemos llegado los valora de manera más irregular aun. Pero eso no va a ser siempre así por las circunstancias que todos conocemos: los gases de efecto invernadero y cambio climático, agotamiento de los recursos no renovables, sobre todo.

A título de ejemplo y como curiosidad, un módulo fotovoltaico, hoy, cuesta del orden de 0,6 euros el watio pico un coste impensable hace tan solo tres o cuatro años cuando se situaba por encima de los 3 euros/Wp. Con ese módulo puesto al sol se puede obtener electricidad a un precio muy asequible (1,15 céntimos de euro/kWh) en comparación con el precio en un sistema eléctrico “normal” (más de 22 céntimos de euro por kWh en España). Como curiosidad adicional resulta llamativo lo que pagamos por un kWh de electricidad de una pila electroquímica que alimenta muchos de los aparatos habituales en todo el mundo, incluso en aquellos lugares del planeta donde no tienen sistema eléctrico. Del orden de 1500 €/kWh (7000 veces más que la electricidad de la red general).

Por otro lado hay más de 1000 millones de seres humanos que no disponen de electricidad, a ningún precio. ¿Cuánto pagarían por tenerla?

Los avances tecnológicos han permitido producir la electricidad a precios muy asequibles, pero la situación jurídico-legal de los sistemas en los países “acomodados” no permite el cambio que sería necesario para que los consumidores puedan modificar su status eléctrico y producir por sí mismos la electricidad que necesitan. Los dueños de los sistemas siguen manejándolo para su propio beneficio siempre creciente y no permiten que entren en él otros actores.

¿Cuánto vale un barril de petróleo? Parece que al día de hoy (6 de Febrero de 2014), 106,6 dólares ó (al cambio del día), 78,383 euros.

¿Qué cantidad de energía acumula? El poder calorífico inferior es 1583,9 kWh. Es decir, 1 kWh de energía del petróleo crudo costaría 4,95 céntimos de euro.

¿Cuánto tiempo dura esa energía? ¿Cuánto tiempo fue necesario para producirla?

Evidentemente, el tiempo que nos dura es el de quemar ese barril de petróleo. Después de quemarlo en una central eléctrica o en un coche, desaparece como forma energética para siempre originando, además, graves efectos negativos en nuestro entorno natural (sobre todo GEIs).

Por el contrario, en el suelo que va a ocupar la central termosolar de Quetzaltenango se va a producir electricidad de manera continuada durante muchos años (más de 50) sin que se agote el recurso que no cuesta nada; solo ha costado dinero el suelo y las instalaciones con mucho tiempo por delante para amortizarse.

Un aspecto fundamental de la cuestión es cuánta energía y de que tipo necesitamos los seres humanos. Es fundamental conocer bien el consumo, el actual y el futuro. No solo la cantidad, también de qué tipo (electricidad, calor, frío, luz, desplazamientos de personas y mercancías, etc.) y su distribución en el tiempo (noche, día, invierno, verano, etc.). En definitiva es elemental pensar en la demanda antes que en la oferta.

Otra componente esencial es la disponibilidad de tecnologías energéticas y la capacidad industrial que se corresponda. No voy a desarrollar aquí y ahora la historia de la energía pero está en la mente de todos que el proceso ha sido complejo yendo de instalaciones de pequeño tamaño y muy distribuidas a un sistema como el predominante actualmente, altamente centralizado y con muy grandes instalaciones derrochadoras por esa misma circunstancia.

El caso de la termosolar queda muy bien reflejada por la frase de Juan Temboury en el video que acompaña al libro “La electricidad termosolar. Historia de éxito de la investigación”: “Hay que hacer algo porque no vamos a estar toda la vida “chupando rueda” e imitando; hay que hacer algo nuestro. Se empezó a pensar que había que ir sustituyendo las energías consumibles por energías renovables. Del panorama de energías renovables enfocamos directamente a la solar como primera fuente de aportación energética al mundo”. Gracias a que se hizo en aquellos momentos lo que dice Juan, España tiene hoy una importante industria y las empresas que están haciendo realidad aquel sueño de finales de la década de los setenta del siglo pasado. Lo mejor de todo es que ese sueño se está reproduciendo en muchos otros lugares de la Tierra, incluido Marruecos. Lamentablemente las autoridades españolas actuales se han olvidado de aquel sueño.

Pero lo que me gustaría, hoy aquí, es que se entendiera la reflexión principal que quiero transmitirles :

No siempre se impone la razón científica. Más bien prevalece el interés económico o de poder.

Ni siquiera la necesidad de preservar el entorno natural tiene suficiente fuerza de influir en las actuaciones de los seres humanos actuales.

En el ámbito de la energía la razón científica está representada por las leyes de la Termodinámica que son bien conocidas por todos. Y no solo la primera que es la única que se aplica habitualmente. La que se olvida siempre es la segunda que es igual de incontrovertible que la primera.

2 - Director General del Centro de Estudios de la Energía en el año 1977 que fue el iniciador de los proyectos de I+D+i de electricidad termosolar en el desierto de Tabernas, en Almería (España)

En cualquier proceso energético hay pérdidas en cantidad de energía útil obtenida y eso lo tiene bien en cuenta la primera ley pero, sobre todo, hay siempre pérdidas de calidad de las formas energéticas que intervienen en el proceso y eso casi siempre se olvida.

Creo que se entenderá mejor con un ejemplo concreto muy sencillo :

Una central térmica convencional de 500 MW consume aproximadamente 1500 MW en forma de combustible en un lugar normalmente alejado de los centros de consumo por lo cual tiene que tirar al ambiente 1000 MW, causando el impacto correspondiente y consumiendo una cierta cantidad de agua en muchos de los casos (3,5 litros por cada kWh generado). Amén de que la electricidad generada hay que transportarla a los lugares de consumo con unas pérdidas del orden del 10%. En resumen, que por cada kWh que ha utilizado un consumidor en su casa o en su industria, hemos consumido (aquí si es cierto utilizar el verbo consumir) 3,33 kWh en forma de calor procedente de la combustión de aproximadamente 410 gramos de carbón. En definitiva, por cada kWh útil hemos perdido 2,33 como consecuencia de las irreversibilidades de los procesos.

Veamos cómo se podría haber hecho si hubiéramos tenido en cuenta criterios de racionalidad termodinámica. Hagamos una hipótesis sencilla: un hospital que tiene consumos de electricidad y de calor (en el invierno) y frío (en el verano). Supongamos que el consumo de electricidad es del orden de 1 MW en un momento dado y que en ese momento hay que abastecer la calefacción, calentar el agua de la lavandería, de los baños, duchas, etc. Si ese MW lo produjéramos en una instalación de cogeneración (ahora se haría con gas natural o con gasóleo) pero para mí ejemplo voy a suponer que se hace con carbón del mismo tipo que el de la central de los 500 MW. Para generar ese MW eléctrico se utilizarán 3 MW en forma de carbón y se producirán – además del MW eléctrico – aproximadamente 1,4 MW en forma de calor que se emplearía en el propio hospital disminuyendo otros consumos energéticos.

Si los 500 MW se emplearan en 500 instalaciones como las citadas hubiéramos ahorrado 700 MW de otras formas energéticas. Con solo considerar un concepto termodinámico tan antiguo como la cogeneración.

Aplicado al sistema energético de cualquier país ¿se imaginan las consecuencias positivas? Como esta circunstancia tecnológica elemental hay muchas otras similares en cualquier sistema energético. Simplemente, tengámoslas en cuenta.

Toda la energía derrochada y degradada por los consumidores y por el sistema tiene sus manifestaciones múltiples en el planeta y sus habitantes: forzamiento radiativo, cambio climático, guerras y dependencia energética, contaminación, pobreza, etc., que frena el desarrollo sano y armónico del planeta y sus habitantes, como comentaba más arriba.

España tiene una dependencia energética del exterior muy elevada (superior al 80%) por lo que su factura energética condiciona fuertemente su economía (62000 millones de euros en el año 2012); eso sí, vende electricidad a sus vecinos (Francia, Portugal y Marruecos) y gasolina por lo que ingresó el mismo año 2012, unos 14000 millones de euros. Sin embargo, en los últimos tiempos y, a pesar de las trabas de las grandes empresas eléctricas – que, por otra parte, también sacan beneficios de la situación – el sistema eléctrico español se está modificando en sentido positivo hacia la generación de electricidad con energías renovables y cogeneración. En concreto, en el año 2013, la participación de estas

formas racionales de generar electricidad fue del 53,3% (fuente REE, Avance del informe del Sistema Eléctrico español 2013). Por lo que se refiere a las tecnologías solares, ya se tienen 4681 MW de FV y 2300 de termosolar que han generado 12951 GWh (4,73% del total neto). Habría que haber seguido este camino pero los intereses de las grandes empresas del sector han obligado al gobierno (con un pretexto muy discutible, el llamado “deficit de tarifa”) a frenar el desarrollo de las energías renovables.

En cuanto a Marruecos las perspectivas son bastante parecidas, circunstancia por otra parte lógica dada nuestras situaciones geográficas respectivas. Su dependencia energética del exterior es incluso superior a la de España y en una situación de crecimiento económico y, por tanto, de aumento del consumo de energía, muy diferente del nuestro que está en clara recesión. Por eso a mí me parece evidente la política energética de Marruecos plasmada en su ley nº13-09 de Energías Renovables que prevé un 14% para cada una de las formas energéticas renovables (eólica, solar FV y solar termoeléctrica; 42% en total) para el año 2020. Así pues, dentro de este panorama la termosolar juega un papel importante con unas perspectivas de desarrollo significativas, que ha empezado a manifestarse con la central en construcción en Quarzazate. La apuesta marroquí por la termosolar tiene todo el sentido, además de por el alto nivel del recurso (del orden de 2600 kWh/(m<sup>2</sup>.año, frente a los 2000 en el sur de España), por la oportunidad de desarrollar una industria local en este sector y la capacidad de gestionabilidad de estas tecnologías energéticas.

## 1. HISTORIA Y BREVE REPASO A LAS TECNOLOGÍAS

El sistema energético mundial se encuentra inmerso en un proceso de rápida evolución. La necesidad es evidente, ya que el sistema energético actual se caracteriza, muy visiblemente, por su insostenibilidad, derivada del abuso de recursos agotables y que entre otras manifestaciones tiene una incidencia de primer nivel en uno de los principales problemas de la Humanidad: el calentamiento global, como consecuencia, en gran medida de la emisión de gases de efecto invernadero, producidos en su mayor parte por el sistema energético actual y pasado.

El proceso de sustitución gradual de las fuentes de energías agotables y contaminantes, en particular los combustibles fósiles, por otras renovables parece imparable en el sector eléctrico; no tanto en el de combustibles en los que la sustitución por carburantes de origen biológico va demasiado lenta.

Hemos asistido a un espectacular proceso de crecimiento del parque de generación con energías renovables en los últimos años: 0,031 GW entre eólica, fotovoltaica y termosolar en el año 1980 a 19,215 GW en el año 2000 (se ha multiplicado por 620 en esos 20 años); y 429,608 GW en el año 2013 (se ha multiplicado por 22 en los últimos 13 años). Si incluimos las hidráulicas y la electricidad geotérmica los números se elevan a 469,331 GW en el 1980, 741,715 en el 2000 y 1452,008 en el 2013. Es decir, la capacidad de generar electricidad con fuentes y tecnologías renovables “nuevas” (eólica, solar y biomasa) está creciendo a un buen ritmo en los últimos años. A estas cantidades habría que añadir la electricidad producida a partir de la biomasa (350 GWh en el 2012) e incluso la cogeneración para darnos cuenta de lo que se ha avanzado en la búsqueda de un sistema eléctrico sostenible. También habría que considerar la generación de calor con energía solar (equivalente a 255 GWt), con biomasa y con otros combustibles renovables que

participaron tanto en el sistema eléctrico como en la generación de calor de proceso, con cantidades bastante significativas y crecientes en todos los casos.

El proceso de desarrollo de las tecnologías termosolares – en esta época histórica – se inició a finales de la década de los setenta del siglo pasado, como consecuencia de la búsqueda de nuevas fuentes energéticas, y resultado del embargo de petróleo originado a raíz de la guerra árabe-israelí del Yom Kippur en el año 1973.

La segunda crisis del petróleo comenzó en 1979 y estuvo relacionada con la Revolución Iraní. Como puede verse en la Figura 2, una consecuencia bien conocida de dichas crisis fue que el precio del petróleo se multiplicó por cinco en menos de diez años.



Figura 2. Evolución de los precios del petróleo en relación a conflictos internacionales y el desarrollo de las tecnologías solares termoeléctricas.

Los países más desarrollados tecnológicamente decidieron entonces dar un gran impulso a la búsqueda de alternativas energéticas al petróleo, y se inició una época dorada para la investigación en energías renovables y otras fuentes de energías alternativas.

Como consecuencia, al final de la década de 1970 y principios de 1980 se construyeron y entraron en operación en diversos lugares del mundo importantes proyectos de demostración e instalaciones de ensayo de sistemas eléctricos termosolares, que sirvieron para demostrar la viabilidad técnica y comercial de estas tecnologías.

Tuvieron éxito en casi todos los casos; es decir, se consiguió generar electricidad a partir de la radiación solar vía térmica. Desde luego, en España se concretó con la conexión a la red eléctrica general de las centrales experimentales de Tabernas con lo que se

logró cumplir el objetivo principal: tanto el CRS (Central Receiver System) y el DCS (Distributed Collector System) de las centrales de la Agencia Internacional de la Energía, como el CESA 1 (Central Electro Solar de Almería) culminaron su meta de manera brillante. Eso ocurrió allá por los primeros años (entre 1982 y 1983) de la década de los ochenta del siglo XX.

Tras el éxito de los ensayos, lo lógico era construir centrales para su comercialización, pero ocurrió todo lo contrario, la mayoría de las instalaciones experimentales fueron desmanteladas. ¿Por qué ocurrió esto?

La razón principal por la que se perdió interés en estas tecnologías energéticas es bien conocida: el precio del petróleo empezó a bajar con lo cual desapareció el principal “leitmotiv” para seguir buscando alternativas a las plantas de generación de electricidad con combustibles fósiles.

Si observamos la evolución de los precios del petróleo desde principios de la década de 1970 hasta la actualidad se ve claramente la influencia que han ejercido sus altibajos en la historia del desarrollo de estas tecnologías:

Por suerte, por la parte de la investigación, las centrales experimentales en Tabernas (PSA) y las de los laboratorios Sandía en Albuquerque (EE.UU) se salvaron de ser cerradas y continuaron su andadura hasta el momento presente con los resultados positivos conocidos.



Figura 3. Plataforma Solar de Almería en el municipio de Tabernas (Almería).  
Cortesía del CIEMAT y torre del Sandia National Laboratory (Albuquerque, USA)

En cuanto a la comercialización de estas tecnologías también hubo una excepción muy importante y con consecuencias muy positivas: las centrales SEGS (Solar Electricity Generating Systems), que iniciaron su andadura allá por el año 1985 en California, y concluyendo la serie de centrales proyectadas en el año 1991, cuando se inauguró la última, la SEG IX. Aquellas centrales siguen funcionando correctamente al día de hoy, casi treinta años después.

Salvo el caso aislado de las SEGS, desde principios de 1980 no se construyeron más centrales termosolares en el mundo hasta que en Febrero de 2007 se puso en funcionamiento la central PS10, en Sanlúcar la Mayor (Sevilla), que inició una nueva etapa de florecimiento por diversos lugares del mundo. En el momento en que estoy escribiendo, ya hay en el mundo 3600 MW instalados, de los cuales 2300 en España y 802 (revisar el dato) en Estados Unidos con otros repartidos por todo el mundo y una gran cantidad en construcción, incluidos los 160 de Quarzazate en Marruecos.



Figura 4. PS10, PS20 y Solnovas 1, 3 y 4. Plataforma Solúcar  
Abengoa Solar (Sanlúcar la Mayor, Sevilla).

La mayor parte (94% de toda la potencia instalada) de las centrales termosolares de España son de tecnología de canal parabólico. Una parte importante de éstas (el 62%) cuentan con una capacidad de almacenamiento del orden de 7,5 horas lo que permite que esta tecnología sea gestionable en la práctica; es decir, que cuando el regulador del sistema eléctrico le pide que no genere pueden almacenar la energía térmica conseguida y generar en otro momento aunque ya sea de noche o no haya suficiente nivel de radiación directa.

#### Breve repaso a las tecnologías.

Siempre se dice que son cuatro las tecnologías termosolares en litigio en este momento. Y así es. Pero hay otras aunque parecen olvidadas. Recuerdo – aunque sea de pasada – una que pusieron en experimentación unos buenos científicos franceses con los que mantuve muy buena relación en el pasado. Se trata de sistemas, tanto con geometría lineal como puntual, que mantienen fijos los espejos y es el absorbedor el que se mueve para recibir la radiación concentrada según se va moviendo el sol en su movimiento aparente. Con sus siglas en inglés son los SRTA (Stationary Reflector, Tracking Absorber; Reflector estacionario, absorbedor móvil).

Entremos ya en la descripción somera de las tecnologías más extendidas. En primer lugar me parece necesario dejar claro el concepto de central energética termosolar que entiendo como óptimo, cuyo esquema represento en la figura 5.

Esta central hipotética tendría un aporte de radiación solar concentrada que se transformaría en energía térmica en un receptor-absorbedor. Se compondría también de un aporte de energía térmica procedente de una sustancia (biomasa o combustible fósil almacenado) que se quema en una caldera más o menos convencional o en el mismo receptor solar antes citado (receptores híbridos). Esta energía térmica se transforma en energía mecánica en la correspondiente máquina termodinámica (de gas (ciclo Brayton o Stirling) y/o de vapor (ciclo Rankine)) y finalmente el trabajo obtenido se transforma en electricidad mediante el correspondiente alternador.

El calor que la máquina tiene que ceder a un foco frío se podría emplear en un proceso consumidor bien de una industria o de un servicio que lo necesite; cogeneración en definitiva. En simultáneo o alternativamente y mediante la correspondiente máquina de absorción se podría producir también frío para cualquier uso (en particular para climatización).

En el esquema se observa que también se contempla la posibilidad de almacenamiento de calor para permitir el desfase entre el aporte y la energía final requerida. Esta característica, junto con la hibridación con una sustancia almacenable permite una completa gestionabilidad. Esta máquina ideal no existe todavía aunque ha habido algunos intentos parciales (proyecto SOL GAS) que no han culminado en la correspondiente instalación.

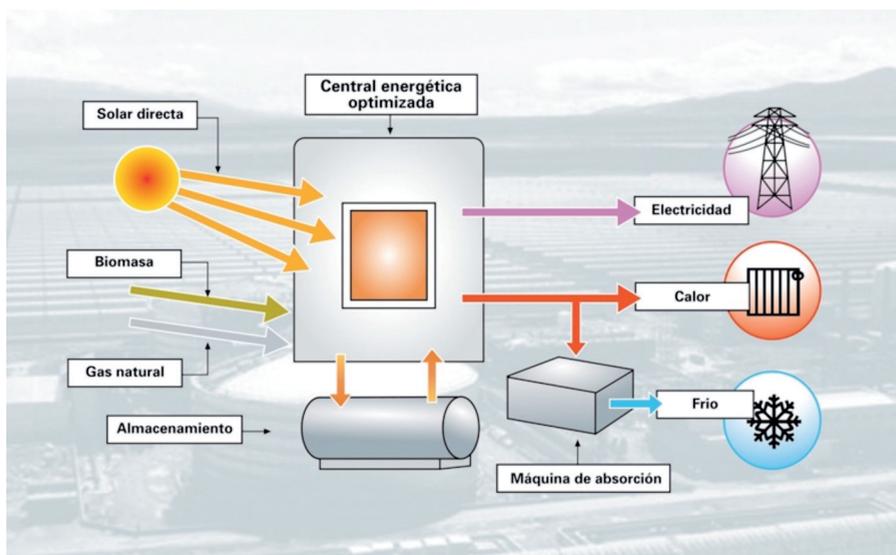


Figura 5. Central energética de hibridación solar-combustible con cogeneración y almacenamiento.

En la práctica, sin embargo, se están imponiendo centrales cada vez de mayor tamaño que siguen el esquema que se representa en la figura 6.

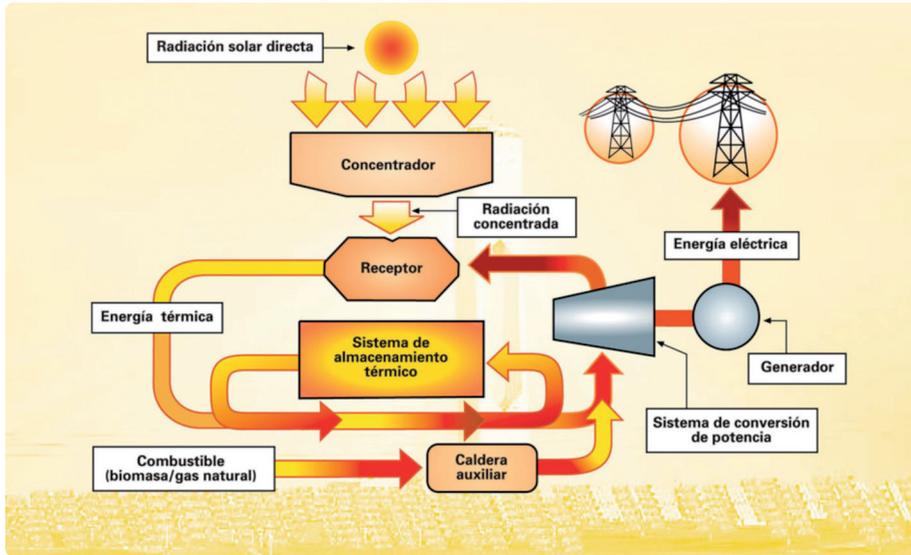


Figura 6. Esquema de una central eléctrica termosolar actual

Una central de este tipo consta de una “parte solar” compuesta por una superficie de espejos que concentran la radiación solar directa incidente sobre el receptor-absorbedor donde se produce la energía térmica que acciona el ciclo termodinámico correspondiente. Como ya se ha indicado, estas centrales pueden incorporar un sistema de almacenamiento térmico y una caldera auxiliar alimentada por biomasa o por gas natural.

Este tipo de centrales – ya bien extendida por todo el mundo – se concreta en cuatro tipologías que se muestran en esquema en la figura 7. Y que describiremos a continuación.

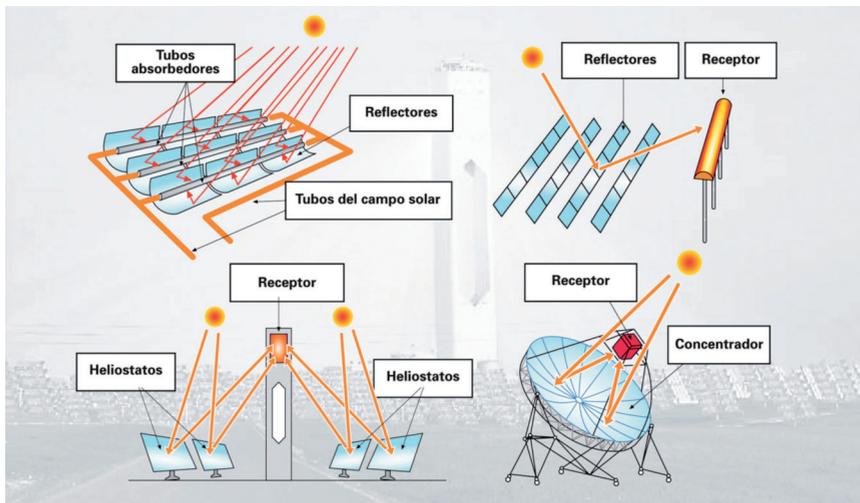


Figura 7. Esquema de las cuatro tipologías más frecuentes en las instalaciones termosolares

## Principales características de cada tecnología

### 1. Canales parabólicos:

Las CETs (Central eléctrica termosolar) de tipología canal parabólico (CP) son centrales eléctricas de turbina de vapor en las que el aporte de calor para generar y sobrecalentar el vapor se produce a partir de radiación solar directa.

La captación y concentración de la radiación solar directa tiene lugar en espejos con forma de canales parabólicos que siguen al sol con movimiento en un solo eje horizontal, alineado normalmente en dirección norte-sur; aunque también puede orientarse en el sentido Este-Oeste. (esquema superior izquierda de la figura 7).

Cada unidad de canal parabólico, a la que se suele llamar captador, consta de un conjunto de espejos de sección recta parabólica y geometría lineal que, bien alineados y distribuidos, concentran la componente directa de la radiación solar hasta unas 80 veces (relación de concentración, RC) en un tubo receptor-absorbedor situado en el eje óptico del dispositivo. Mediante el sistema de seguimiento en un eje, cada captador sigue la trayectoria del sol en su movimiento aparente de este a oeste a lo largo del día, variando el ángulo de incidencia sobre el plano del captador según se desplaza el sol a lo largo de cada y dependiendo del día del año.

La transformación de la radiación solar en energía térmica tiene lugar en los tubos absorbedores, ya mencionados, sobre los que incide la radiación solar concentrada y donde se producen los efectos de absorción selectiva y se limita la salida de radiación infrarroja también por la cualidad selectiva transmisiva que tiene el vidrio del absorbedor. Por el interior del tubo circula un fluido de trabajo que actualmente es, en la mayoría de los casos, un aceite térmico, que recibe el calor que proviene del tubo absorbedor calentándose hasta temperaturas del orden de 400°C, aumentando así su entalpía. El límite de temperatura del fluido viene condicionado por las características de los aceites sintéticos que se vienen usando hasta la fecha mayoritariamente.

La transformación de energía térmica a mecánica se produce en un subsistema de potencia de vapor que sigue un ciclo Rankine convencional. El elemento básico de este bloque de potencia -una turbina de vapor- acciona un alternador que genera la corriente eléctrica que se pretende. Un aspecto a destacar del ciclo de potencia es la necesidad de refrigeración del condensador que condiciona la viabilidad de algunas centrales dada la escasez de agua para refrigeración en lugares de alta radiación directa (fundamentalmente, desiertos). La transferencia de calor del fluido de trabajo que circula por el campo solar al agua del ciclo de vapor se produce por medio de una serie de intercambiadores aceite-agua.

La naturaleza intermitente de la disponibilidad de radiación solar hace que, por ejemplo, en España una central eléctrica termosolar (CET) de canal parabólico sin almacenamiento no supere las 2400 horas anuales de operación a plena carga. Para incrementar las horas de operación y, por tanto, de producción de electricidad, existen dos posibilidades que se pueden implementar de forma alternativa o simultánea :

1. Hibridación con calderas de combustible fósil/biomasa y,
2. Almacenamiento térmico.

Gracias al almacenamiento, las CETs son capaces de producir electricidad tanto en periodos de baja radiación como tras la puesta del sol y en total más electricidad de la que generan las centrales sin almacenamiento; a costa, claro está, de sobredimensionar el campo solar.

La tecnología actual de almacenamiento térmico más madura y que ya es una realidad en las centrales comerciales es la de tanques aislados térmicamente de sales fundidas, en los que el aumento de temperatura implica una variación positiva de energía interna, sin cambio de fase (calor sensible). Es evidente que sería deseable realizar el almacenamiento en sustancias con cambio de fase en las temperaturas deseables. Ese deseo está siendo investigado y todavía no hay resultados operativos.

La tecnología de almacenamiento térmico actual se concreta en dos tanques con sales fundidas (líquido siempre), uno caliente y otro frío, conectados al fluido de trabajo del campo solar a través de intercambiadores de calor diseñados y construidos al efecto. Cuando el campo solar puede proporcionar más energía térmica al sistema de potencia de la necesaria, se emplea el exceso para cargar el tanque caliente (aumentar su temperatura y su energía interna). Como es lógico, para poder utilizar el SAT (Sistema de Almacenamiento Térmico) es necesario que el campo esté sobredimensionado respecto del de una central sin almacenamiento, y que en condiciones de diseño proporcione más energía de la necesaria para el funcionamiento del bloque de potencia. De esta forma, se puede contar con capacidades de almacenamiento que pueden superar las 12 horas de trabajo del bloque con potencia a plena carga. El valor estándar en las centrales españolas es de 7,5 horas.

La segunda de las opciones que existen actualmente para ampliar las horas de producción de una CET a lo largo del año es, como se ha comentado, la hibridación. La hibridación consiste, básicamente, en la combinación de la generación térmica mediante energía solar con otras formas de generación, mediante el uso de calderas alimentadas con cualquier combustible, desde gas natural hasta biomasa. Aunque no hay que descartar en un futuro, más o menos próximo, el desarrollo de receptores híbridos en los que, en horas de baja o nula radiación, se puede quemar un combustible adecuado.



Figura 8. Lazo de captadores en una central de canal parabólico.



Figura 9. Central híbrida sol-biomasa de Borgos Blanques (Lérida, España).  
Cortesía de ABANTIA

## 2. Concentradores lineales de Fresnel

Aunque desde los años sesenta se han venido estudiando grandes sistemas de concentradores lineales de Fresnel (CLF) [Francia, 1968], esta tecnología se encuentra todavía en un nivel de desarrollo relativamente incipiente; sobre todo desde el punto de vista comercial.

La tecnología consiste en la utilización de espejos planos (o muy ligeramente curvados) dispuestos en láminas paralelas, sobre un terreno horizontal, que pueden rotar alrededor de su eje para dirigir los rayos reflejados hacia un receptor tubular fijo situado a una altura superior (ver imagen superior derecha de la Figura 7)).

Este tipo de concentradores lineales de Fresnel permiten obtener relaciones de concentración de entre 25 y 40.

En general, esta tipología se está proponiendo para generación directa de vapor de media temperatura, acoplados directamente a turbinas de vapor. La temperatura de operación ronda habitualmente los 270 °C, lo que permite utilizar receptores eficaces y fiables, aunque algunos promotores de esta tecnología pretenden trabajar, a medio plazo, a temperaturas próximas a los 500 °C, con el fin de poder acoplar estos sistemas a turbinas de alto rendimiento.

De forma semejante a otras tecnologías, los campos CLF pueden ser utilizados en plantas 100% solares o integrados en centrales térmicas de combustibles en hibridación.

A diferencia de los captadores lineales de Fresnel clásicos, cuyos espejos apuntan a un único receptor lineal, los espejos en la tecnología CCLF tienen la opción de reflejar la radiación solar directa hacia uno u otro de varios tubos receptores, en función de la posición del sol [Mills, 2000], lo que permite minimizar fenómenos de sombras y bloqueos y diseñar campos de captadores muy compactos y con los receptores colocados a menor altura (inferior a 10 m). De esta forma, se limitan los costes de inversión del terreno (el ratio de cobertura del terreno es de un 66%, frente al 33% de los campos CP [Burbidge, 2000] y se reducen las estructuras de los receptores y la longitud de las tuberías de distribución.

A diferencia de los CP, un régimen de flujo bifásico estratificado es perfectamente aceptable en el caso de los CCLF, ya que la parte superior del tubo nunca está directamente iluminada.



Figura 10. Central de concentradores de Fresnel. Cortesía de NOVATEC

Una comparación de las dos tecnologías CLF clásica y CCLF concluyó que la madurez técnica y comercial de los CCLF era más avanzada, aunque estableció también que el receptor con tubo único y reflector secundario (tipo Solarmundo) tenía un rendimiento potencial un 10 % más alto [Morin, 2006].

### 3. Sistemas de receptor central o de torre

A diferencia de las dos tipologías anteriores en las que la concentración de la radiación solar directa se produce sobre una línea en las dos que siguen la concentración se produce sobre un punto.

En la tipología de receptor central o de torre (esquema inferior izquierdo de la figura 7), el sistema de reflexión y concentración de la radiación solar consiste en un campo de espejos prácticamente planos (helióstatos) que, mediante seguimiento en dos ejes, son capaces de proyectar la imagen del Sol sobre la superficie de apertura de un receptor situado, normalmente, en la parte alta de una torre, de donde esta tecnología deriva su nombre más empleado. En el receptor central tiene lugar la transformación de la radiación solar concentrada en energía térmica, mediante el incremento de entalpía de un fluido de trabajo que circula por el interior de los tubos que conforman el receptor.

Los helióstatos están formados por una superficie reflectante, una estructura que le da soporte y los mecanismos que permiten su movimiento en azimut y elevación para orientarlo adecuadamente.

Las superficies reflectantes más empleadas actualmente son de tipo vidrio-metal, con diferentes variantes. El campo de helióstatos en su conjunto es un sistema óptico de foco puntual capaz de alcanzar relaciones de concentración elevadas (500 a 1000) e incluso muy elevadas (3000).

El receptor es el elemento que recibe la radiación solar concentrada y la transforma en energía térmica de un fluido de trabajo (que puede ser agua, sales fundidas, aire, etc.) para ser usada en procesos posteriores. Existen numerosas propuestas de receptores solares con diferentes configuraciones y adaptados a distintos fluidos de transferencia térmica. El receptor se coloca a cierta altura sobre el campo de helióstatos, sobre una torre, con el fin de evitar, o al menos reducir, las sombras y los bloqueos entre los helióstatos. El receptor solar representa la parte más crítica de una central de torre desde el punto de vista técnico, al centralizar todo el intercambio de energía radiante de la planta.



Figura 11. PS10 en operación

Debido a los altos flujos de radiación solar que se alcanzan en el receptor, éste puede trabajar a altas temperaturas, sin excesivas pérdidas térmicas –por su reducida superficie–, lo que posibilita su integración en ciclos termodinámicos eficientes. En este sentido, la tecnología de torre permite aspirar a rendimientos de transformación de la energía solar a electricidad elevados (superiores al 25 % anual), aunque hasta la fecha los rendimientos demostrados son inferiores.

Estas centrales admiten fácilmente el funcionamiento híbrido en una gran variedad de opciones y tienen, también, el potencial de generar electricidad con altos factores de capacidad mediante el uso de almacenamiento térmico; de hecho, el record en este sentido lo tiene la central Gemasolar con 15 horas de almacenamiento en sales fundidas. A partir de este almacenamiento, el sistema puede proporcionar energía incluso en condiciones de nubosidad o durante la noche. Actualmente, la solución más utilizada en esta tipología son tanques de almacenamiento de agua/vapor (PS10 y PS20) o de sales fundidas (Gemasolar).



Figura 12. Central Gemasolar

En lo que respecta al fluido de trabajo que circula por el receptor central, en los diversos proyectos de demostración que se han llevado a cabo hasta la fecha se han utilizado principalmente cuatro sistemas :

3- Definición de sombras y bloqueos

1. Agua-vapor (sobrecalentado o saturado).
2. Sodio líquido.
3. Sales fundidas.
4. Aire.

En el caso de las centrales de torre comerciales empleadas para generación eléctrica, además de los subsistemas específicos de la tecnología solar, esto es, campo de helióstatos, receptor y almacenamiento térmico, hay que tener muy en cuenta la parte convencional de una central eléctrica, cuyos elementos principales son el generador de vapor, el bloque de potencia y el condensador.

El sistema de control es más complejo que el de una central térmica convencional, ya que además debe integrar todos los subsistemas solares de la central, cuya interacción se complica, sobre todo, en los momentos de arranques, paradas y transitorios, que son los más críticos.

El conjunto de centrales ya en funcionamiento, aunque limitadas en número por ahora, han servido, no obstante, para demostrar la viabilidad técnica de las CETs de torre, cuya tecnología está suficientemente madura para pasar a la etapa comercial de forma masiva. Es decir que si todas las perspectivas de construcción de centrales en los próximos años se cumplen las instalaciones de la tipología de torre se aproximará mucho a la de canal parabólico.

La central comercial más novedosa por el momento es Gemasolar, de 17 MW de potencia eléctrica nominal, con 15 horas de capacidad de almacenamiento térmico en sales fundidas. Esta central constituye un hito en este sentido, pues opera con sales fundidas en el receptor y en el sistema de almacenamiento a temperaturas en torno a 565°C, lo que permite, en comparación con las actuales centrales de canal parabólico, reducir considerablemente el volumen de sales requerido en el sistema de almacenamiento.

#### **4. Discos parabólicos con motor Stirling**

La tipología de disco parabólico con motor Stirling consta, básicamente, de una superficie reflectora, una estructura soporte, un mecanismo de seguimiento en dos ejes (acimut y elevación), un sistema de control y un elemento de transformación de potencia que es el motor Stirling (esquema inferior izquierda de la figura 7). El disco concentrador es una superficie reflectante de revolución, de sección parabólica, que concentra, en un punto situado en su foco, los rayos solares que inciden perpendiculares al plano de apertura del paraboloide. En dicho foco se coloca el bloque de potencia, cuya entrada es un receptor de cavidad, que absorbe la energía solar y la transforma en energía térmica del fluido interno de un motor Stirling.

El movimiento del motor Stirling lo utiliza un generador eléctrico para obtener energía eléctrica. Dicha electricidad puede, o bien inyectarse a la red eléctrica general, o bien destinarse a consumo directo en alguna aplicación próxima al lugar del emplazamiento. Lógicamente, tanto el disco parabólico, como el bloque de potencia, necesitan de una estructura que, a la vez de sustentarlos en su posición adecuada, permita el movimiento en dos ejes del disco, de forma que la incidencia de los rayos solares sea siempre normal a la superficie de apertura del paraboloide.



Figura 13. Disco parabólico y central

Los discos parabólicos se perfilan como una alternativa interesante para sistemas descentralizados de producción energética. Usualmente, se prefiere el motor de ciclo Stirling por encima de las turbinas de gas tipo Brayton, debido sobre todo a la capacidad del motor Stirling para operar durante largos periodos de tiempo con bajo mantenimiento y a su carácter modular, que permite producciones eléctricas que van desde los pocos kilovatios de un solo disco hasta los megavatios por suma de un número determinado de unidades. En general, los sistemas de discos parabólicos alcanzan una relación de concentración media superior a 2000, unas temperaturas de operación de hasta 800°C y unos rendimientos anuales (solar a eléctrico) en torno al 25%.

Los sistemas de disco Stirling requieren seguimiento de alta precisión y normalmente alto coste. Por lo general, se tiende a maximizar el tamaño por unidad de sistema de seguimiento, con objeto de reducir el coste por unidad de superficie. En sentido contrario a esta tendencia, la empresa Infinia ha desarrollado un motor de pistón libre de sólo 3 kW, al considerarla una alternativa más barata y competitiva.

Pero, sin duda, la ventaja competitiva con las otras tipologías solares de concentración es la no necesidad de agua de refrigeración toda vez que el foco frío del motor Stirling se refrigera con aire ambiente mediante un ventilador similar al de los motores de combustión interna. Es una ventaja nada despreciable.

Los sistemas concentradores de disco parabólico son muy sugerentes por su capacidad de alcanzar altas relaciones de concentración y por su modularidad, que los hace fácilmente integrables, tanto en los tradicionales esquemas de generación centralizada, como en los más novedosos de generación distribuida. Hasta ahora, su desarrollo comercial ha estado lastrado por el elevado coste de sus componentes principales, concentrador y motor. A su vez, parte de estos problemas derivan del reducido número de unidades producidas hasta la fecha, siguiendo procedimientos cuasi-artesanales. El círculo vicioso a que eso da lugar, habría que transformarlo en un círculo virtuoso, desarrollando las condiciones que faciliten la construcción de un número suficiente de unidades, que justifique un desarrollo industrial de fabricación en serie.

### 3. TENDENCIAS DE LAS TECNOLOGÍAS TERMOSOLARES DE CONCENTRACIÓN

El proceso de sustitución de fuentes de energías agotables por fuentes de energías renovables se ha visto impulsado y favorecido por una serie de medidas cuyo éxito, en términos generales, es indiscutible. En unos países con más acierto que en otros pero, en conjunto, de forma muy positiva.

En particular, y centrándonos en la termosolar, el crecimiento está siendo espectacular y las perspectivas en todo el mundo son claras aunque hay muchos matices que destacar. Es eso lo que haremos en lo que sigue.

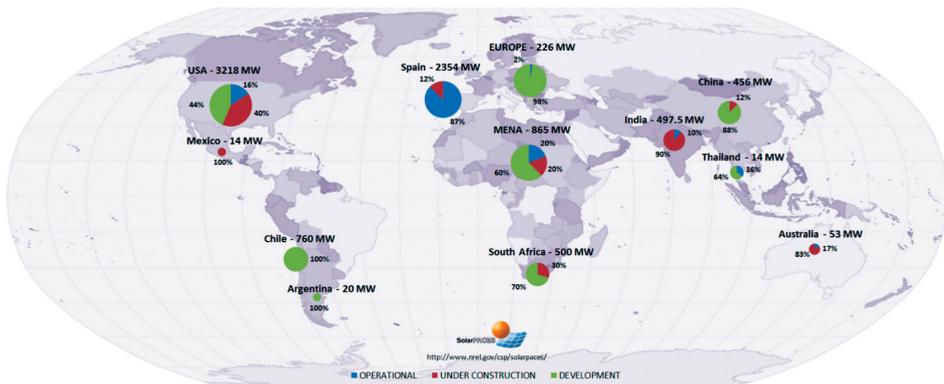


Figura 14. Estado de las centrales termosolares en el mundo.  
Fuente SOLARPACES y NREL

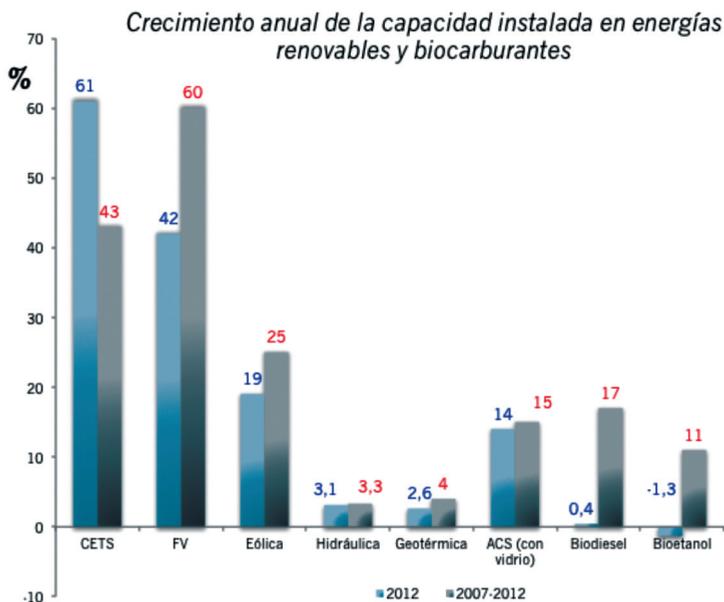


Figura 14. Crecimiento de la capacidad instalada de energías renovables en el año 2012 y en el periodo 2007-2012. Fuente : REN21

Los hechos más destacados:

- La investigación masiva en todo el mundo empezó en los años 1977-1980
- En cuanto a construcción de centrales comerciales el impulso inicial se produjo en Estados Unidos con las centrales SEGS en California (350 MW) entre los años 1985 y 1991
- Le siguió España con los 2300 MW instalados entre 2007 y 2013
- En construcción tenemos ya una mayor diversificación geográfica con el nuevo impulso en Estados Unidos, India y Norte de Africa (en particular Marruecos)
- En cuanto a proyectos, más o menos asegurados, de en nuevo Estados Unidos, América del Sur (Chile), Africa con el añadido de Sudáfrica a los proyectos ya ratificados en Marruecos y en otros países del mundo árabe, China y algo en Europa.

Analizando críticamente las instalaciones que están razonablemente documentadas (SOLAR PACES y NREL) entre construidas y en funcionamiento, en fase de construcción y proyectos más o menos firmes pero definidos llego a las siguientes conclusiones parciales, más o menos aproximadas (hay una cierta confusión en las informaciones y cada día aparecen nuevas propuestas que no siempre son fiables):

- 111 Centrales entre todas las tipologías:
  - 81 de canal parabólico con 4804 MW;
  - 19 de torre con 2435 MW;
  - 9 de Fresnel con 211,4 MW y
  - 2 de disco parabólico con motor Stirling con 3 MW.
- De las 111,
  - 75 están ya en funcionamiento,
  - 22 en construcción y,
  - 14 con proyecto definido.
- Las 111 centrales referenciadas suman una potencia instalada de 7868 MW.  
Distribuidas de la siguiente manera :
  - 3613 MW de las 75 centrales en funcionamiento;
  - 1617 MW de las 22 en construcción y
  - 2637 MW de las 14 con proyecto.
- En cuanto al sistema de refrigeración,
  - 14 centrales (2014,5 MW) (la mayor parte todavía en proyecto) con refrigeración seca (aire ambiente) y
  - 83 (3853,5 MW) con refrigeración húmeda (torre de refrigeración).
- Tienen almacenamiento o está previsto en 37 centrales y en el resto, no.

En conclusión, de esta información, incluso con sus imprecisiones, se puede observar que la tipología de canal parabólico es la preponderante aunque la torre empieza a ser considerada seriamente y la de Fresnel parece que despega tímidamente. La tipología de disco parabólico con motor Stirling no sale de la experimentación y no consigue un puesto significativo en el aspecto comercial. El almacenamiento es un concepto importante que se está aplicando de manera significativa aunque no hay unanimidad en todos los promotores en cuanto a dimensión (tiempo a potencia nominal) pero si empieza a concretarse el uso de sales fundidas como fluido. Finalmente la hibridación no acaba de ser considerada masivamente aunque en la mayor parte de los casos hay un cierto nivel de participación de combustibles fósiles como apoyo a la operación.

4- Con la notable diferencia de la inclusión en muchos proyectos de sistemas de almacenamiento térmico en sales fundidas, lo que supone una innovación muy significativa con respecto a las tecnologías SEGS

La situación de hegemonía actual de la tipología de canal parabólico se debe, principalmente, a dos razones:

1. La mayor madurez comercial de la tecnología, desarrollada en los años 80 y que cuenta como referencia principal con las nueve plantas SEGS (Solar Electric Generating Systems) de California que llevan funcionando entre 23 y 29 años con gran fiabilidad.
2. La mayor facilidad de financiación de los proyectos basados en esta tecnología, en parte como consecuencia del hecho anterior y del marco de incentivos vigente en España a partir de 2008.

A estas circunstancias hay que añadir una negativa: la falta de visión de futuro de los responsables de energía de todos los países que no han incentivado otros desarrollos más novedosos.

Pero si miramos a Estados Unidos, donde se está gestando un proceso de gran potencial, observamos una diversidad mucho mayor que en España en las tecnologías propuestas para los diversos proyectos que allí se están planteando, con una presencia muy importante de los sistemas de receptor central (2237 MW), solo una de concentradores lineales de Fresnel (5 MW), dos de discos parabólicos con motor Stirling (3 MW), frente a 1352 MW en canal parabólico.

Así pues, se puede decir que, en el sentido de las tecnologías, la situación actual es bastante indefinida aunque haya algunas indicaciones que pueden ilustrarnos sobre el futuro que no nos permiten tener clara cuál es la tendencia de futuro..

Es evidente que, siendo la tecnología de canal parabólico la que actualmente se está implantando en España, básicamente, la misma que la empleada en las plantas SEGS, España corre el riesgo de disponer en el futuro de un parque termosolar obsoleto en términos tecnológicos. Urge, pues, la adopción de medidas que propicien el desarrollo de una mayor innovación tecnológica que no parecen inmediatas.

La segunda característica negativa de las centrales españolas es consecuencia directa de las condiciones impuestas por la legislación: casi todas las instalaciones que se han realizado en España tienen una potencia eléctrica nominal de 50 MW, que es la máxima permitida por la legislación. De hecho, es más que probable que, si el marco regulatorio español lo hubiera permitido, la industria hubiera tendido a incrementar sustancialmente la potencia nominal de las instalaciones, persiguiendo la optimización económica de cada proyecto en particular y no la del sistema energético en su conjunto, dado que, para una central concreta, un mayor tamaño del bloque de potencia suele implicar una mayor eficiencia individual y unos menores costes unitarios, tanto de inversión como de operación.

No obstante, la optimización parcial e independiente de los subsistemas no garantiza la optimización del sistema en su conjunto, por lo que, desde una perspectiva más global, no está tan claro si lo conveniente es promover legislación que incentive la implantación de centrales de mayor potencia, o el impulso de centrales incluso de menor tamaño que las actuales, pero que incorporen cogeneración e hibridación con otras tecnologías renovables y sean más congruentes con el sistema energético del futuro, hacia el que

se desea evolucionar y que se presiente mucho más distribuido, integrado, eficiente e inteligente que el actual.

Finalmente, no podemos dejar de mencionar otro hecho significativo del modelo de despliegue de las centrales eléctricas termosolares en España que nos puede servir de referencia conceptual para otros lugares :

La práctica totalidad de las instalaciones son híbridas. Aunque de forma no demasiado consciente, ni suficientemente útil: hacen uso de la posibilidad legal de emplear, hasta ciertos límites, un combustible auxiliar. Aunque las razones económicas para hacer uso de esta opción son evidentes, no lo son menos las de tipo tecnológico, pues la hibridación facilita la operación estable y previsible de las instalaciones termosolares. A día de hoy, este combustible auxiliar es gas natural en todos los casos hasta un 15%, aunque el RD 661 abrió la posibilidad del empleo de biomasa, ampliando el rango de hibridación hasta un 50%, posibilidad que está siendo explorada por algunas empresas de cara a proyectos futuros que deberían ser potenciados por la Administración. De hecho, ya funciona una central de este tipo, en Borges Blanques (Lérida) de 22 MW de potencia instalada (figura 9).

De nuevo se constata, en el tema de hibridación, como anteriormente se hizo en el tema del tamaño de las centrales, una reproducción por parte de la industria de los patrones de comportamiento tradicionales.

Hoy por hoy, es claro que el proceso de desarrollo del sector termosolar se está basando en la reproducción de los esquemas del pasado: generación centralizada en instalaciones de gran capacidad. Para corregir esto, parece conveniente un replanteo del marco regulatorio para tratar de primar y potenciar los conceptos de planta avanzados con tamaños ajustados a los consumos próximos con la componente de cogeneración, hibridación y almacenamiento, anteriormente apuntados.

Justamente la reflexión sobre estos asuntos es el fondo de mi tesis personal en esta ponencia y es la que vengo defendiendo desde hace ya treinta años con propuestas diversas a lo largo del tiempo (SOL GAS, Colón Solar, CESA 2).

La información sobre la evolución de la industria solar termoelectrica en el mundo puede consultarse de forma actualizada en [www.estelasolar.eu](http://www.estelasolar.eu) Y las de España en [www.protermsolar.com](http://www.protermsolar.com)

#### **4. PRINCIPALES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN EL MUNDO.**

A partir de esta situación actual y el grado de avance de las tecnologías termosolares en el ámbito internacional a la que se ha llegado con tanto esfuerzo y tanta dedicación de muchas personas y entidades de muchos países hemos de reflexionar a fondo para no perderla porque tenemos que ser conscientes de que los sistemas energéticos son de los negocios más sustanciosos en este momento y las empresas de los sectores convencionales (carbón, gas natural, nuclear) ven a las energías renovables como competidores para el negocio que han tenido en exclusiva tantos años. Son muy potentes económica y políticamente y no van a dejarse arrebatar su posición de privilegio con facilidad. En España ya tenemos evidencia clara de esto que digo.

Otra conclusión inicial evidente y fundamental de ese ejercicio de reflexión es que hay que proseguir las labores de investigación para las que seguimos bien situados con la magnífica infraestructura que se mantiene en la Plataforma Solar de Almería y el Sandia National Laboratories en Estados Unidos a la que se van sumando nuevas iniciativas de centros experimentales (ya construidos o en vías de serlo) en todo el mundo (China, Chile, Marruecos, etc.) y la que yo mismo dirijo, el Centro Tecnológico Avanzado de Energías Renovables (CTAER), justo al lado de la PSA en el desierto de Tabernas (Almería)

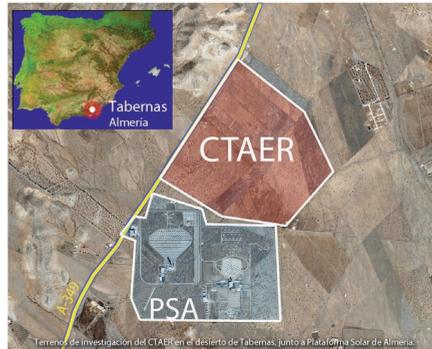


Figura 15. Foto aérea del Llano de los Retamares donde se encuentra la PSA y el recinto del CTAER y en la que se empiezan a construir nuevas instalaciones de I+D+i.

Los detalles de estas nuevas instalaciones de investigación pueden obtenerse en la URL [www.ctaer.com](http://www.ctaer.com).

En definitiva, que continuamos en todo el mundo con las labores de investigación en el campo de la concentración de la radiación solar que tan buen resultado están dando. Demos, para terminar, un breve repaso a las líneas de investigación que se están proponiendo en diferentes foros. No puedo dejar de decir que hay una fuerte coincidencia en los temas, sobre todo después de diferentes debates entre los especialistas.

Lineas de investigación concretas:

En la plataforma tecnológica SOLAR CONCENTRA hemos elaborado un documento titulado “Identificación de las principales líneas de investigación en el sector solar termoeléctrico” entre el CIEMAT (Dr. Eduardo Zarza), el CENER (Dr. Marcelino Sánchez) y el CTAER (Dr. Manuel Silva y yo mismo) en el que se ha hecho una reflexión a fondo sobre la I+D+i termosolar y que resume la propuesta que hemos hecho en España sobre el tema que nos ocupa.

En primer lugar establecimos tres tipos de objetivos :

1. Reducción de costes de generación, operación y mantenimiento
2. Mejora de flexibilidad operacional y gestionabilidad de la energía y
3. Mejora del perfil medioambiental

Y se relacionaron los temas concretos por grupos de interés :

**- Recurso solar**

- Desarrollo de un sistema de predicción de DNI (radiación directa) cubriendo los diferentes horizontes y que satisfaga las necesidades de los operadores de las centrales.
- Desarrollo de herramientas para predicción a muy corto plazo (nowcasting)
- Generación de años meteorológicos tipo más precisos y que recojan con mayor fiabilidad las características a largo plazo del recurso solar.
- Análisis de la incertidumbre de la metodología de generación de años tipo.
- Generación de mapas de recurso fiables y que incluyan información de variabilidad e incertidumbre.

**- Sistemas**

- **Optimización** de la configuración de las centrales con el objetivo de alcanzar reducciones de coste e incrementos de eficiencia
- Nuevos conceptos que permitan **reducir el coste de la energía producida**, simplificar la O&M (operación y mantenimiento) y obtener centrales más eficientes (multitorres, ciclos combinados, nuevos almacenamientos térmicos, nuevos fluidos de trabajo y nuevas maneras de gestionar la energía)
- Diseño y optimización de nuevos modelos de distribución de helióstatos en un

**- campo solar**

- **Nuevos conceptos basados en sistemas de alta concentración**
- Nuevos conceptos de **hibridación** con otras fuentes renovables
- Desarrollo y mejora del equipamiento para la medida de caudal de fluidos térmicos en centrales comerciales (fiabilidad, precisión, durabilidad y procedimientos de calibración)
- Desarrollo de equipamiento y metodologías para:
  - La medida de la **atenuación atmosférica** en campos de heliostatos
  - la **monitorización del vacío** y **propiedades ópticas** en tubos receptores de captadores canal parabólicos
  - la medida de la radiación solar concentrada en condiciones de operación de una central comercial
- Sistemas de almacenamiento competitivos para **temperaturas más altas**
- Análisis de **diferentes conceptos de centrales solares**, sus necesidades de desarrollo tecnológico y sus nichos de mercado (generación distribuida, cogeneración, centrales de tamaño reducido <10 MW) así como impulso de los desarrollos tecnológicos concretos.
- Aplicación de la tecnología termosolar a **nuevos ciclos termodinámicos** (Ciclos Brayton, ORC, Ciclos combinados, Cogeneración, etc.)
- Análisis de los **beneficios específicos que pueden aportar las centrales termosolares** al sistema eléctrico y a la inclusión y desarrollo de las energías renovables, en diferentes escenarios

**- Componentes. Receptores**

- **Receptores fotónicos** térmicamente más eficientes
- Receptores que permitan trabajar a **mayores temperaturas** aumentando el rendimiento del ciclo termodinámico

- Receptores que **maximicen el uso de la energía** solar disponible en días de nubes y claros.
  - Receptores que **minimicen** las labores y el costes de **O&M**
  - **Receptores híbridos** para sistemas de foco puntual (especialmente discos parabólicos)
- **Componentes. Concentradores**
- Superficies reflectantes con una mejor relación calidad/precio y buena durabilidad, sin mermar su reflectividad
  - Superficies reflectantes que reduzcan los costes de limpieza incluyendo economías en el **consumo de agua**
  - Desarrollo y optimización de configuraciones de alta concentración
  - Estructuras **de bajo coste y duraderas**
  - Estructuras **de montaje fácil rápido y preciso encaminadas** a reducir los costes de instalación y montaje, sin necesidad de mano de obra cualificada
  - Sistemas de seguimiento y mecanismos de **menor coste y elevada precisión**
  - Sistemas de seguimiento y mecanismos que reduzcan los **costes de mantenimiento** y alarguen la vida de la central
- **Simulación**
- Desarrollo de **algoritmos** y software de optimización de layout de sistemas de receptor central y configuraciones de alta concentración
  - Simulación de componentes para **diseño y optimización** de las centrales solares de concentración: receptores para sistemas de foco puntual, receptores para sistemas de foco lineal, concentradores de foco lineal, etc.
  - Desarrollo de herramientas de simulación para sistemas de almacenamiento térmico acoplados a sistemas termosolares.
  - Desarrollo de software de simulación para el comportamiento detallado de sistemas en régimen **transitorio**.
  - Desarrollo de software de simulación para el análisis dinámico global de la central, incluyendo cada una de las tecnologías termosolares disponibles en la actualidad, para la realización detallada de **estudios de producción**.
- **Operación y Mantenimiento**
- Sistemas de **limpieza** que reduzcan el consumo de agua, y que pueden ser automáticos o semi-automáticos.
  - Sistemas que permitan la **caracterización óptica** de manera rápida precisa y sin interferencias en el funcionamiento de la planta (de los captadores solares: heliostatos, cilindro parabólicos, Fresnel, discos) “in situ”, para diagnosticar si existe una necesidad de mantenimiento y cuál debe ser la actuación a realizar (mejora de canteo, reemplazo de facetas, limpieza de espejos (y/o receptores etc.).
  - Sistemas que permitan la **caracterización térmica** de receptores de manera rápida precisa y sin interferencias en el funcionamiento de la planta
- **Otras aplicaciones**
- Análisis de **diferentes conceptos de central solar**, sus necesidades de desarrollo tecnológico y sus nichos de mercado (generación distribuida, cogeneración, plantas de tamaño reducido <10 MW) así como impulso de los desarrollos tecnológicos concretos.

- Aplicación de la tecnología termosolar a **nuevos ciclos termodinámicos** (Ciclos Brayton, ORC, Ciclos combinados, Cogeneración, etc.).
- Análisis de los **beneficios específicos que pueden aportar las centrales termosolares** al sistema eléctrico y a la inclusión y desarrollo de las energías renovables, en diferentes escenarios.
- **Aplicaciones termoquímicas**
- **Aplicaciones a Calor de Proceso**

En resumen que no falta trabajo a los investigadores y a los centros de investigación. Hay trabajo para todos.



Figura 16. “lo último”: Ivanpah y Nevada

## 5. CONCLUSIONES

1. El sistema energético tiene que cambiar y está cambiando. En unos países más que en otros.
2. Los países que apuesten decididamente por las energías renovables y el ahorro y eficiencia energética tendrán grandes ventajas para el futuro.
3. Dentro de ese cambio, la energía termosolar debe conseguir una posición ventajosa dadas todas sus ventajas para el país que la desarrolle.
4. La I+D+i en termosolar tiene un recorrido amplio y profundo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AICIA: Valeriano Ruiz, Manuel Silva, Isidoro Lillo, Sara Moreno, José Domínguez; CENER: Manuel Blanco, Lourdes Ramírez, Marcelino Sánchez, Javier García-Barberena; Edurne Pascal; IDOM: Agustín Maraver, Beatriz Cárdenas, Artemi Regidor, Joaquín Muñoz, Iñigo Pallardo, Silvia Luna. Evaluación del potencial de energía solar termoeléctrica. Estudio Técnico PER 2011-2020. IDEA. Madrid, 2010
2. Direction de l'Observation et de la Programmation. Ministère de l'énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement. Analyse des indicateurs énergétiques. Rabat (Maroc), abril, 2013

3. Auma. Impactos ambientales de la producción eléctrica. Análisis de ciclo de vida de ocho tecnologías de generación eléctrica. IDAE. 2000
4. Manuel Blanco, José G. Martín y Valeriano Ruiz. Complexe énergétique solaire d'Ouarzazate. Mission I – Livrables 1, 2 y 3. Document de synthèse sur les différentes options de projets CSP adaptés au site d'Ouarzazate. July 9, 2011
5. Carnot, Sadi. Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance. Paris, 1824
6. CE. Una política energética para la Unión Europea. Libro blanco. Enero 1996
7. CE. New era for electricity in Europe. Distributed generation: Key issues, challenges and proposed solutions. Directorate General for Research. EUR20901. 2003
8. Haywood, R.W. Equilibrium Thermodynamics for Engineers and scientists. John Wiley and Sons. 1980
9. Office national d'Électricité et l'eau potable. Développement des énergies renouvelables et efficacité énergétique 2011. Rabat (Morocco)
10. Office national d'Électricité et l'eau potable. Exposé ONE. Plan integral de producción de electricidad solar. Rabat (Morocco)
11. Ministerio de Energía, minas, agua y medio ambiente. Stratégie énergétique. Bilan d'étape. Rabat (Maroc), Mai 2011.
12. Ministerio de Energía, minas, agua y medio ambiente. Statistiques énergétiques. Rabat (Maroc) Avril 2012
13. Ministerio de Energía, minas, agua y medio ambiente. Statistiques énergétiques. Rabat (Maroc) Mars 2013.
14. Ministerio de Energía, minas, agua y medio ambiente. Les caractéristiques du secteur énergétiques marocain en 2011. Rabat (Maroc)
15. Mohamed Taoufik Adyel. La stratégie énergétique pour un développement durable au Maroc. Ministère des énergies, des mines, de l'eau et l'environnement. Rome, Octobre 2011
16. UN. World Energy Assessment: energy and the challenge of sustainability. 2000
17. IDAE. Estrategia de ahorro y eficiencia energética en España 2004-2012. E4. Plan de Accion 2005-2007, 6 de Julio 2005
18. Meadows, D. L. Et alii, The limits of the grow. 1972
19. MASEN. Plan Solaire Marocain. Semaine Nationale de la Science «Energies Renouvelables & Développement Durable» 2011
20. stratégie énergétique 9ème édition de la Semaine Nationale de la Science
21. « Energies Renouvelables & Développement Durable »
22. REN 21. Renewable Energy Policy Network. Renewable 2013, global status report. Washington, DC; Worldwatch Institute, 2013

23. Ruiz Hernández, Valeriano. El Reto Energético. 2<sup>a</sup> edición. Editorial Almuzara. Cordoba 2013
24. Ruiz Hernández, Valeriano et alii. Electricidad Termosolar. Historia de éxito de la investigación. Ed. Protermosolar. Sevilla, 2010
25. Ruiz Hernández, Valeriano et alii. La electricidad solar térmica, tan lejos, tan cerca. Fundación Gas Natural, 2009
26. Tesanmani, Ouda. Informe sobre la evolución del sector energético en marruecos, el sistema eléctrico nacional y la situación actual de las energías renovables. CTAER, Mayo 2013
27. UE. Green Paper, "towards a European strategy for the security of energy supply". COM (2000), 769 Algunas páginas webs de interés :
  - [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
  - [www.ctaer.com](http://www.ctaer.com)
  - [www.psa.es](http://www.psa.es)
  - [www.mineco.gob.es](http://www.mineco.gob.es)
  - [www.idae.es](http://www.idae.es)
  - [www.ree.es](http://www.ree.es)
  - [www.cne.es](http://www.cne.es)
  - [www.aderee.ma](http://www.aderee.ma)
  - [www.iresen.org](http://www.iresen.org)
  - [www.masen.ma](http://www.masen.ma)
  - [www.iea.org](http://www.iea.org)
  - [www.Protermosolar.com](http://www.Protermosolar.com)
  - [www.estelasolar.eu](http://www.estelasolar.eu)

---

- **Pr. Mahfoud ZIYAD** (Directeur des Séances)

Merci beaucoup Pr. Ruiz-Hernandez pour cet exposé agréable qui a fait un tour d'horizon sur le thermo-solaire. Vu le retard pris ce matin, je voudrais annoncer le report à la séance de l'après-midi de l'exposé du Pr. Christopher Richter. Maintenant, nous allons écouter Mr. Ahmed Ennaoui qui va nous parler des problématiques et des avancées des technologies photovoltaïques.



## PHOTOVOLTAIC (PV)-TECHNOLOGIES: STATE OF THE ART, CHALLENGES, THE COMING DECADE OF OPPORTUNITIES

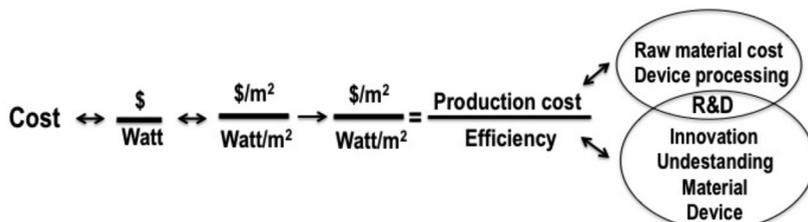
*Pr. Ahmed ENNAOUI*

*Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien  
und Energie, Germany  
Serving as Chairman of the Scientific  
Council at IRESEN, Rabat, Morocco  
Contact : ennaoui@helmholtz-berlin.de*



Actually PV-technology are the third most important renewable energy source in terms of globally installed capacity after hydro and wind power. In 2012, the European Photovoltaic Industry Association (EPIA) reported the addition of 31.1 GW of new PV capacity, up from 30.4 GW in 2011, which brings the cumulative global solar PV installed capacity above 100 GW [1]. For reference purposes, one power plant reactor produces about 1.3 GW of electricity per year (1 GW = 1 billion watts).

For photovoltaics, in the last 30 years the learning curve shows a cost reduction of 15 to 20% for each doubling of the cumulative sales figure. Does Moore's law apply to photovoltaics? Gordon Moore's visionary prediction [2], has provided the engine for innovation and continued exponential miniaturisation of semiconductor components and continually increasing power and resources while decreasing costs provided by technology.



The cost predictions for PV systems have to take into account the laws of physics and market conditions. The penetration of PV into global energy market requires, efficient

energy conversion, efficient manufacturing methods and efficient use of materials. The costs in  $\$/W_p$ , as well as  $\$/m^2$  of product and power availability (kWh/ $W_p$ /annum) are issues that obviously involve R&D on basic materials and the technical and environmental profile of each newly introduced technology.

This talk will cover the status of PV technology and the high technology deployment as a part of the solution to the growing energy challenge and an essential component of future global energy production. Thin Film technologies under development are proposed as a solution of the problem, but one has to explore and quantify the potential for innovation and technological developments in term of efficiency increase, reduction of absorber material, material utilization during deposition process. We discuss a variety of emerging materials and technologies. A new concept of miniaturization of solar cells with only few tens of micrometer in size operating under concentrated sun light will be introduced. There are three basic generations of solar cells, they are designated as first, second, and third, and differ according to their cost and efficiency [3].

- Wafer-based, silicon PV: monocrystalline and multicrystalline technologies (called 1st generation) is the most mature PV technology. Silicon modules are the predominant commercial product available today with 80% of the market. The efficiency of standard c-Si PV modules are about 16%–22% [4]. However, a silicon solar cell is a single band gap p-n junction device and the efficiency is limited to 34%, by the famous fundamental physics limit known as Shockley-Queisser limit (Q-limit) [5]. The two most important power loss mechanisms in single-band gap photovoltaic cells are (a) the inability to absorb photons with energy less than the band gap and (b) thermalisation of photon energy exceeding the gap. A photon with longer wavelength is not absorbed by the solar cell material. A photon with shorter wavelength generates an electron-hole pair with energy greater than the band gap of the p-n junction material. The excess of energy is lost as heat because the electron (hole) relaxes to the conduction (valence) band edges. Other losses are junction loss, contact loss and the recombination loss. Innovation on cell architectures and processing has the potential to increase the efficiency. For example, the Passivated Emitter and Rear Locally diffused (PERL) cell uses the inverted-pyramid structures of the top surface as well as double-layer anti-reflection coating (ARC) including the use of photolithography technology to obtain fine metal fingers. This decrease the optical losses, contributes to higher current for the solar cell, reaching laboratory scale efficiencies up to 25% [6].
- Inorganic thin film (ITF) (known as 2<sup>nd</sup> generation), is the main alternative to c-Si. The market share is accounting for about 17% of the global cell production. ITF are made from amorphous silicon or non silicon materials such as cadmium telluride or copper indium gallium Di-Selenide  $Cu(In,Ga)Se_2$ , (CIGSe). The main advantage of ITF-technology is the high absorption coefficient of the semiconductor layer allowing the use of few microns ( $\mu m$ ) thick film, which is about 100 times thinner than current c-Si cells and can be manufactured with dramatically less material, shorter supply chains and cheaper, faster processes such as high-speed technology such as roll-to-roll. Another technical advantage of thin-films is the monolithic integration of circuits and the capability of deposition on flexible lightweight metals and plastics substrate. This can allow the integration into building materials (BIPV). One of the promising

thin film solar cells is made of CIGS(Se) materials. The heterojunction is following the glass/molybdenum/absorber/Buffer/window concept. The window consists of three wide-band gap layers, each dedicated to fulfill a specific requirement. After junction formation by the buffer layer, the undoped ZnO (intrinsic-layer) reduces the influence of inhomogeneities and pin holes, whereas the highly doped ZnO transports the generated photo current laterally to the grid finger or module interconnect. This concept of the substrate-based device with one layer per function has resulted in robust processes for high-efficiency small area cells as well as large-scale module production. Recently a German team (ZSW) reported a laboratory size cell ( $0.5\text{cm}^2$ ) having record efficiency (confirmed on October 2013) of 20.8% [7]. Solar Frontier (Japan) has also achieved standing world record conversion efficiencies (confirmed on January 2013) of 19.7% for lab. (Scale non-cadmium CIGSS solar cell) [8]. Another type of heterojunction that have received significant R&D attention and have achieved the highest performance is the superstrate concept, such as Ohm-contact/CdTe/CdS/TCO solar cell structures. First Solar announced a new world record for cadmium-telluride (CdTe) -based solar cell, achieving recently 18.7% efficiency (confirmed on February 2013) [9]. The CdTe technology is currently the least expensive to manufacture, with module production cost of  $< 0.76\$/\text{Wp}$ . The potential barrier to further market expansion and reduction in cost is the relative scarcity of some key component materials and the key question: how the expansion of the market for thin-film CdTe and CIGS technologies will depend on the total amount of indium and tellurium globally available? The World reserves of tellurium were estimated by the USGS at around 22,000 tonnes [10]. First Solar uses around 100 tonnes of tellurium to make 1GWp of solar capacity, with production ramping to 1.8GW per year by 2012 [11]. The situation is not much better for CIGS because of dramatic increase of indium demand resulting from the large introduction (More than 50% of globally refined indium is used in LCDs). CIGS(Se) PV manufacturing use only 2% of the total indium demand. The key question: How the expansion of the market for thin-film CdTe and CIGS technologies will depend on the total amount of indium and tellurium globally available? Assuming that module production costs are the major cost in  $\$/\text{m}^2$  that can be converted in  $\$/\text{Wp}$  depending on module efficiency, we conclude that the potential future expansion of CdTe and CIGS technologies will depend on innovative deposition techniques, targeting the reduction of absorber layer thickness (below mm) while maintaining efficiency. Also reducing wastage and recycling of indium and tellurium from several end uses can help the expansion of CdTe and CIGS thin film technologies. Indium can be recovered from Indium Tin Oxide (ITO) in Liquid Crystal Displays (LCD) manufacturing which could reach 92% based on existing research. Average recovery rates of around 90-95% are possible for Te from CdTe end-of-life cells. Recycling of Indium from CIGS module is less well developed and the rates from end of life CIGS modules is still unclear. Another possibility to avoid supply-constrained situation caused by the tellurium and indium metals, the development of alternative light absorbing material to CIGS and CdTe such as Copper Zinc Tin Sulfide ( $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ ), or CZTS, where the rare elements (Indium) are replaced with more available and cheaper elements (Zinc and Tin). Significant progress was made for this material, following the work of IBM team on CZTSSe with conversion efficiency exceeding 10% [12]. However, efforts are needed to achieve similar device performance of current ITF PV and compatibility with low-cost, large-scale manufacturing.

- Third generation solar cells are mostly at the research stage and the devices are relatively far from commercialization. The main goal is to significantly decrease costs further below the level of first and second-generation, by significantly increasing efficiencies keeping in mind large-scale implementation of PVs. Indeed, the Carnot limit on the conversion of sunlight to electricity is 95% compared to the theoretical upper limit of about 30% for a standard solar cell (Shockley-Queisser limit). This intrinsic thermodynamic limit can be exceeded by new technologies. Up today multi-junction tandem solar cells which originally came from space technology using III-V compounds provide the best-known example exceeding Shockley-Queisser limit.

The concept of tandem solar cells is based on the use several absorbing materials of different bandgaps which all have the same lattice parameter stacked on top of each other. Each material absorbs and converts efficiently the sun light, allowing the rest passing through to underlying lower bandgap cells. Such tandem cells are based on monolithic integration by means of rather expensive technologies of fabrication such as molecular beam epitaxy (MBE) or metal-organic chemical vapor deposition (MOCVD).

Recently, the Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Soitec, CEA-Leti and the Helmholtz Center Berlin jointly announced a new record efficiency of 44.7% at a concentration of 297 suns (concentrator photovoltaics, CPV [13]). The use of CPV needs optical and thermal control elements. The cost of multi-junction solar cells still remains too high and the use of abundant low-cost materials and non-toxic materials remains challenging. The third-generation PV technologies include approaches such as dye-sensitized solar cells, nanomodified materials and organic OPV solar cells based on polymers or small molecules. The use of quantum dots with physical properties similar to both bulk semiconductors and discrete molecules is an option to achieve higher efficiencies beyond the Shockley-Queisser limit through multiple exciton generation.

Last but not least, a variety of low cost materials as light harvesters in a variety of photovoltaic architectures are emerging, as example: organic-inorganic halide Perovskite materials  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  (conversion efficiency already above 15% [14]) or the cheapest material iron pyrite  $\text{FeS}_2$  with estimated material extraction cost of 0.000002 €/W [15]). We demonstrated a conversion efficiency of 2.8% using a (photo)electrochemical concept [16]. Printable solar cell approaches for producing thin film solar cells based on CZTS, CIGS, or  $\text{FeS}_2$  nanoparticle Inks; with extremely competitive production costs are very promising.

The key aspect of printing solar cells technology is the synthesis of suitable inks. This needs the foundational materials science necessary to develop scalable ink-based technology that produces high-quality photovoltaic ink materials. The whole process from the feedstock to the product can be performed as roll-to-roll (R2R) using flexible foil onto which the solar cell is built layer-by-layer. The new production line paves the way towards solution processing, low cost, low energy budget, and flexible solar cells.

## References

- [1] <http://www.epia.org/home/>
- [2] Gordon E. Moore, Cramming more components onto integrated circuits Electronics, Volume 38, Number 8, April 19, 1965.
- [3] Martin A. Green, Third Generation Photovoltaics: Ultra-high Conversion Efficiency at Low Cost. Prog. Photovolt: Res. Appl. 9 (2001) pp. 123-135.
- [4] <http://www.greentechmedia.com/articles/read/efficiency-leaders-in-crystalline-silicon-pv>
- [5] W. Shockley and H.J. Queisser. Detailed Balance Limit of Efficiency of p-n junction solar cell, J. Appl. Phys. 32 (1961) pp. 510.
- [6] Martin A. Green, The Path to 25% Silicon Solar Cell Efficiency: History of Silicon Cell Evolution, Prog. Photovolt: Res. Appl. 17(2009) pp.183-189 /and J. Zhao, A. Wang, and M. A. Green. 24.5% efficiency silicon PERT cells on MCZ substrates and 24.7% efficiency PERL cells on FZ substrates. Prog. Photovolt., Res. and Appl., 7(6) (1999) pp.471-474.
- [7] <http://www.zsw-bw.de/uploads/media/pi18-2013-ZSW-WorldrecordCIGS.pdf>
- [8] <http://www.solar-frontier.com/eng/news/2013/C014763.html>
- [9] <http://investor.firstsolar.com/>
- [10] Mineral commodity summaries. 2010 January 2011.  
<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/>
- [11] Shon-Roy, L. Are Your PV Materials Costs Out of Control? 2010 Available from:  
<http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2009/12/are-your-pv-materials-costs-out-of-control>
- [12] Special issue: Thin film and nanostructured solar cells, Edited by Ahmed Ennaoui, David B. Mitzi et al. The path towards a high-performance solution-processed kesterite solar cell, Volume 95, Issue 6, (2011) 1419-1582
- [13] <http://www.soitec.com/en/news/press-releases/world-record-solar-cell-1373>.
- [14] J. Burschka, et al. , Nature, 499 (2013) 316-320.
- [15] C. Wadia, A.P. Alivisatos, D.M. Kammen, Materials availability expands the opportunity for large-scale photovoltaics deployment. Environ. Sci. Technol. (2009), 43 (6), 2072-2077.
- [16] A. Ennaoui, et al. Iron Disulfide for Solar energy conversion, Review Chapter in Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 29 (4), (1993) 289-370.

---

- **Pr. Mahfoud ZIYAD** (Directeur des Séances)

Merci beaucoup Dr. Ennaoui pour cet exposé et surtout pour les voies de recherche que vous ouvrez.

La parole maintenant est au Dr. Christoph Richter pour nous parler de la problématique de stockage des énergies renouvelables.



## STORAGE OF RENEWABLE ENERGIES

*Pr. Christoph RICHTER*

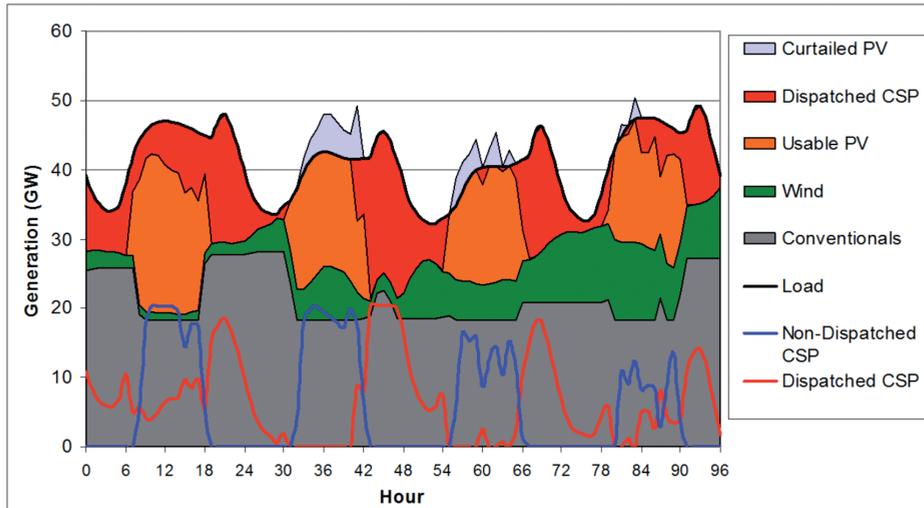
*Executive Secretary, Solar Power and Chemical Energy  
Systems - SolarPACES, Deutsches Zentrum für Luft-  
und Raumfahrt V, Institute of Solar Research  
Germany*



Currently the major supply of renewable electricity (apart from hydropower) comes from Wind (>200 GW installed worldwide) and Photovoltaic (PV, >100 GW installed worldwide). In some electric grid there annual share is already about 20%, and strong cost reductions have been achieved. However the supply of electricity from wind or PV plants is intermittent and not necessarily matching demand, it is not dispatchable. This increases the need for electricity storage technologies and growing R&D activities are dedicated to improve current electricity storage technologies, to increase total capacity and decrease cost.

Concentrating solar power plants that convert solar energy to electricity via thermal conversion offer the option to include low cost thermal storage systems to shift electricity generation to hours of higher demand and/or lack of sunshine. This dispatchability makes them a very important part in electric grids with high shares of fluctuating renewable energies. CSP thus can help enabling a higher share of fluctuating over renewable energies (see figure below).

This contribution will focus on the current state of art of thermal storage technologies for concentrating solar power (CSP) Plants and include an overview on other current electricity storage technologies.



Simulated system dispatch (April 7-10) with 15% contribution from PV and 10% from dispatchable CSP reduces total curtailment of solar energy to 2% annually, compared to 5% annual curtailment if a system with 20% PV and no CSP is considered.

(Source: NREL/TP-6A20-52978, Nov. 2011).

**- Pr. Mahfoud ZIYAD** (Directeur des Séances)

Thank you very much Dr. Richter. I appreciate your contribution to saving speech time.

Maintenant nous allons entamer la séance consacrée aux Tendances de la R&D en énergies renouvelables et on va commencer par la présentation de M. Didier Lafaille intitulée : les réseaux électriques intelligents ou Smart Grids.

**SÉANCE II :**  
**TENDANCES DE LA R&D EN**  
**ENERGIES RENOUVELABLES**



## LES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES INTELLIGENTS LES «SMART GRIDS»

*Pr. Didier LAFFAILLE*

*Chef du Département Technique, Commission  
de Régulation de l'Énergie, France*



### Synthèse

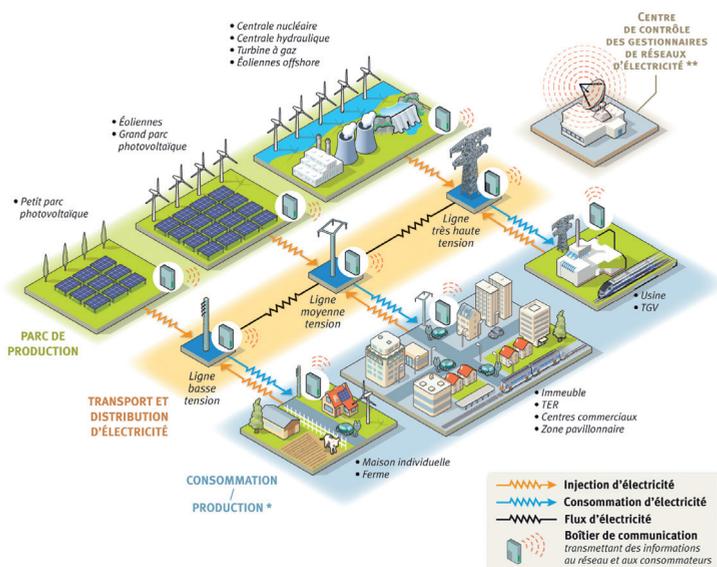
Pour faire face aux mutations du paysage énergétique, il est nécessaire de moderniser le système électrique. Le contexte français et européen, dans lequel se sont développés les réseaux électriques, conduit à privilégier le déploiement des technologies de *Smart grids* plutôt que le remplacement et le renforcement massif des réseaux.

L'intégration des Nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) aux réseaux les rendra communicants et permettra de prendre en compte les actions de l'ensemble des acteurs du système électrique, tout en assurant une livraison d'électricité plus efficace, économiquement viable et sûre.

Le système électrique sera ainsi piloté de manière plus flexible pour gérer les contraintes telles que l'intermittence des énergies renouvelables et le développement de nouveaux usages et appareils tels que la pompe à chaleur, le véhicule électrique et les équipements dits de haute technologie (écran plat, ordinateur portable, téléphone portable ou *Smartphone*, tablette multimédia, console de jeux, lecteur de musique, caméra, appareil photographique, etc.). Ces contraintes auront, également, pour effet de faire évoluer le système actuel, où l'équilibre en temps réel est assuré en adaptant la production à la consommation, vers un système où l'ajustement se fera davantage par la demande, faisant ainsi du consommateur un véritable acteur.

## 1. Les *Smart grids*, les réseaux électriques de demain

La transition énergétique implique la réduction de la consommation d'énergie, l'évolution du mix énergétique avec l'essor des énergies renouvelables et le développement des nouveaux usages de l'électricité (véhicules électriques et pompes à chaleur notamment). Pour s'adapter à ces évolutions, les réseaux d'énergie devront se moderniser, grâce au déploiement des technologies de l'information et de la communication. Les *Smart grids* sont, donc, un levier pour accompagner la mise en œuvre de la transition énergétique tout en répondant aux objectifs fondamentaux assignés aux réseaux : sécurité, stabilité, fiabilité et qualité d'alimentation et de service.



### 1.1. L'émergence de nouveaux objectifs environnementaux

La réflexion et les objectifs fixés dans le cadre du protocole de Kyoto ont été relayés au niveau européen par la Commission européenne qui a lancé en 2007 une nouvelle politique énergétique axée sur la création du marché unique compétitif, le développement des énergies de sources renouvelables, la réduction des dépenses induites par l'importation de combustibles fossiles et l'amélioration de l'efficacité énergétique. Cette politique vise à réduire la dépendance énergétique et à décarboner l'économie européenne.

La Commission européenne s'est fixé dans le paquet climat-énergie un triple objectif pour 2020 (l'année de référence étant 1990), dits objectifs «trois fois vint» :

- faire passer à 20% la part des énergies de sources renouvelables dans le mix énergétique européen;
- réduire de 20% les émissions de CO<sub>2</sub> des pays de l'Union européenne par rapport à 1990, voire de 30% en cas d'accord international;
- accroître l'efficacité énergétique de 20%.

Dans le prolongement de cette politique européenne, la France a adopté, par les lois issues du Grenelle de l'environnement, des mesures visant, notamment, à maîtriser la demande en énergie. Elle s'est, également, engagée à diviser par 4 ses émissions de gaz à effet de serre et à porter à 23% la part des énergies de sources renouvelables dans sa consommation énergétique finale.

Ces objectifs politiques modifieront en profondeur l'utilisation de l'énergie et la gestion du système électrique.

### **1.2. Le développement des énergies renouvelables et des nouveaux usages de l'électricité imposent de revoir le pilotage du système électrique**

Parallèlement au développement des énergies renouvelables, les usages de l'électricité connaissent de profondes évolutions. Certains usages déjà existants ont pris une ampleur considérable (climatisation, chauffage électrique). D'autres, comme le véhicule électrique et la pompe à chaleur, se développent et augmenteront la consommation d'électricité déjà en forte hausse.

Ces changements contraignent le pilotage des réseaux électriques car :

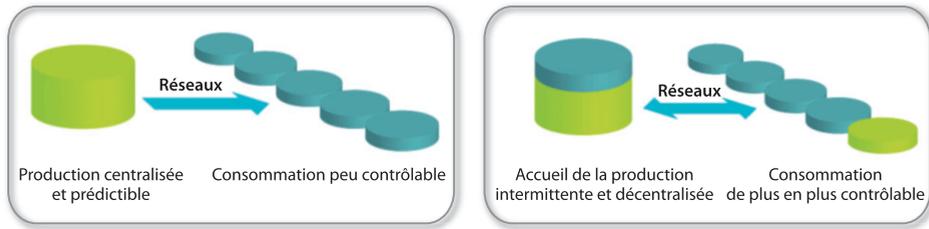
- la consommation d'électricité connaît de fortes variations horo-saisonniers. La consommation d'électricité est plus importante en hiver qu'en été. Elle fait l'objet de pointes et de creux journaliers;
- les moyens de production d'électricité sont de plus en plus variables, du fait de l'intermittence de certaines sources renouvelables;
- le développement de la production décentralisée conduit à multiplier de manière très importante les sites de production et à injecter de l'énergie sur des réseaux de distribution conçus pour l'acheminer et non la collecter.

Ces contraintes imposent de revoir les règles habituelles d'exploitation des réseaux et exige des adaptations en termes d'observabilité et de conduite des réseaux électriques.

### **1.3. Ces mutations modifient la gestion de l'équilibre du système électrique**

Jusqu'à présent, l'équilibre du système électrique était obtenu en pilotant principalement l'offre d'énergie en fonction de la demande, aux meilleures conditions d'approvisionnement et de coûts.

Aujourd'hui, la nouvelle donne énergétique ne permet plus de gérer le système électrique de cette façon. Du fait du caractère difficilement pilotable de l'offre, l'ajustement qui permet d'équilibrer le système électrique ne se fait non seulement par l'offre mais aussi par la demande. C'est la raison pour laquelle la demande doit être gérée de façon active, notamment en incitant les consommateurs à s'effacer lors des pics de consommation, mais, également, à consommer lorsque les installations de production d'énergie de sources renouvelables produisent.



#### 1.4. Le système électrique doit être modernisé

La gestion des réseaux électriques, jusqu'à présent centralisée et unidirectionnelle allant de la production à la consommation, sera demain répartie et bidirectionnelle. Cela constitue un changement sans précédent dans la façon de concevoir et de piloter le réseau et nécessite de l'adapter.

La solution qui consisterait à ne faire que du renforcement de réseaux est sous-optimale et difficilement réalisable, eu égard à la démographie croissante en ville, à la difficile acceptabilité sociale des nouvelles infrastructures et aux coûts importants des investissements à consentir.

Cette adaptation du système électrique doit, donc, passer par l'intégration des nouvelles technologies de l'information et de la communication aux réseaux.

#### 1.5. Rendre les réseaux électriques intelligents

Les réseaux électriques intelligents, ou *Smart grids*, sont communicants car ils intègrent des fonctionnalités issues des technologies de l'information et de la communication. Cette communication entre les différents points des réseaux permet de prendre en compte les actions des différents acteurs du système électrique et, notamment, des consommateurs. L'objectif est d'assurer l'équilibre entre l'offre et la demande à tout instant avec une réactivité et une fiabilité accrues et d'optimiser le fonctionnement des réseaux. Le système électrique passe d'une chaîne qui fonctionne linéairement à un système où l'ensemble des acteurs est en interaction.

Rendre les réseaux électriques intelligents consiste, donc, en grande partie à les instrumenter pour les rendre communicants. Actuellement, les réseaux de transport sont déjà instrumentés, notamment pour des raisons de sécurité d'approvisionnement. En revanche, les réseaux de distribution sont faiblement dotés en technologies de la communication, en raison du nombre très important d'ouvrages (postes de distribution publique, lignes, etc.) et de consommateurs raccordés à ces réseaux. L'enjeu des *Smart grids* se situe, donc, principalement au niveau des réseaux de distribution.

Caractéristiques des réseaux électriques actuels	Caractéristiques des réseaux électriques intelligents
Analogiques	Numériques
Unidirectionnels	Bidirectionnels
Production centralisée	Production décentralisée
Communiquant sur une partie des réseaux	Communiquant sur l'ensemble du réseau
Gestion de l'équilibre du système électrique par l'offre/production	Gestion de l'équilibre du système électrique par la demande/consommation
Consommateur	Consomm'acteur

### 1.6. L'architecture du système électrique intelligent

L'architecture des réseaux intelligents se compose de trois niveaux :

- le premier sert à acheminer l'électricité par une infrastructure classique d'ouvrages électriques (lignes, transformateurs, *etc.*);
- le deuxième niveau est formé par une architecture de communication fondée sur différents supports et technologies de communication (fibre optique, GPRS, CPL, *etc.*) servant à collecter les données issues des capteurs installés sur les réseaux électriques;
- le troisième niveau est constitué d'applications et de services, tels que des systèmes de dépannage à distance ou des programmes automatiques de réponse à la demande d'électricité utilisant une information en temps réel.

## 2. La régulation et le financement des *Smart grids*

Le développement des *Smart grids* fait émerger de nouveaux défis en termes de régulation. En effet, l'importance des coûts de Recherche et Développement (R&D), des coûts de déploiement et l'évolution des activités des gestionnaires de réseaux sont porteurs de nouveaux enjeux tarifaires majeurs. Pour mieux les anticiper, plusieurs questions doivent être posées :

- la R&D étant une étape préliminaire fondamentale au développement des *Smart grids*, le régulateur doit s'interroger pour savoir quelles incitations spécifiques sont nécessaires;
- dans un contexte d'incertitude technologique, le régulateur doit analyser les dispositifs permettant d'encourager des investissements prudents, tout en limitant la dérive des coûts de déploiement;
- l'évolution des activités des gestionnaires de réseaux pose la question de la part de ces investissements qui doit être supportée par les tarifs d'acheminement.

Les réponses à ces questions sont autant de clés pour définir le futur modèle économique des réseaux intelligents.

## 2.1. Les dépenses de R&D doivent-elles être soumises à un mécanisme incitatif?

Dans le contexte français, la Commission de régulation de l'énergie dispose aujourd'hui d'un levier : les Tarifs d'utilisation des réseaux publics d'électricité (TURPE). Ce cadre tarifaire couvre les dépenses de R&D des gestionnaires de réseaux, ainsi que le coût d'expérimentation du compteur évolué *Linky*. Cependant, la R&D étant une étape préliminaire fondamentale au développement des *Smart grids*, le régulateur doit s'interroger pour savoir si des incitations supplémentaires sont nécessaires. L'Angleterre a, par exemple, mis en place un fond d'investissement dédié aux projets innovants visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES).

En parallèle, le régulateur doit s'interroger sur la création de mécanismes garantissant que les investissements réalisés concourent à l'intérêt général. De tels mécanismes de contrôle pourraient reposer sur :

- des principes de régulation des résultats quand cela est possible, via des indicateurs de performance;
- ou bien encore, des principes de régulation des moyens dès lors que les résultats des investissements sont difficilement contrôlables ou mesurables.

Aujourd'hui, le régulateur cherche, également, à maîtriser les risques technologiques et économiques associés aux investissements dans les réseaux électriques intelligents en encadrant les expérimentations. Ainsi, dans le cadre de l'expérimentation du compteur évolué *Linky*, la Commission de régulation de l'énergie, en concertation avec les parties prenantes (gestionnaires de réseaux, fournisseurs, associations de consommateurs, autorités concédantes, etc.), a défini les fonctionnalités indispensables pour que les coûts du déploiement du compteur évolué soient couverts par les tarifs d'acheminement. De plus, suite au calcul de la valeur nette globale, le déploiement est conditionné à l'aval de la Commission de régulation de l'énergie et à l'approbation finale du ministre chargé de l'énergie.

Les leçons des démonstrateurs en cours et à venir, en France et à l'étranger, permettront d'affiner les analyses coûts-bénéfices déterminantes pour le déploiement des technologies intelligentes.

## 2.2. Comment faire face aux coûts de déploiement des *Smart grids*?

Aujourd'hui, l'essentiel des projets en matière de réseaux intelligents sont des projets de R&D, avec peu d'exemples de déploiement massif. Cependant, même si les incertitudes techniques empêchent d'anticiper les coûts futurs, le consensus est que les besoins de financement seront considérables (certains acteurs estiment qu'il faudra plus d'investissements pour les 10 prochaines années qu'il n'y en a eu dans les 10 dernières).

Dans ce contexte d'incertitude technologique, le régulateur est amené à s'interroger sur les mécanismes permettant d'encourager des investissements prudents. L'intégration des risques technologiques dans les analyses coûts-bénéfices permettrait de mieux refléter la réalité. Par ailleurs, la fonction du régulateur est de prévenir la dérive des coûts lors

du déploiement. Il semblerait que les déploiements progressifs permettent de mieux maîtriser les coûts et de capitaliser des effets d'apprentissage, comparativement à des plans de déploiements massifs.

Plus généralement, le régulateur dispose d'une position privilégiée dans les systèmes énergétiques pour favoriser la circulation d'information et la coordination efficace entre les parties prenantes, contribuant ainsi à réduire l'incertitude.

### **2.3. Quels sont les investissements devant être supportés par les tarifs de réseau et dans quelle mesure ?**

Les réseaux intelligents vont faire évoluer l'activité des gestionnaires de réseaux, voire la révolutionner à terme. Ces derniers seront amenés à interagir avec des partenaires économiques nouveaux (notamment issus du monde des technologies de l'information et de la communication). Ils pourraient, également, valoriser leur expertise pour offrir de nouveaux services. Dès lors, l'identification des activités régulées et non régulées sera impérative pour déterminer la part des investissements dans les réseaux que devront supporter les tarifs d'acheminement.

Une fois les investissements supportés par les tarifs d'acheminement identifiés, resteront à allouer de façon optimale les autres coûts entre les consommateurs et les producteurs. Cette réflexion devra tenir compte des engagements de la France en matière environnementale et ne pas freiner l'intégration des marchés.

### **2.4. Une coopération à mettre en place?**

Ces questions ne trouveront pas de réponses «*universelles*», tant elles dépendent des spécificités, des cadres nationaux de régulation et des priorités identifiées dans chaque pays. Aussi, une coopération de l'ensemble des acteurs est indispensable, et à plusieurs niveaux :

- une coopération entre les acteurs du secteur est nécessaire pour accompagner l'émergence de nouvelles activités et l'intégration d'acteurs jusque-là étrangers au monde de l'énergie, telles que les entreprises du secteur des télécommunications ou de l'automobile;
- une coopération entre les régulateurs, au-delà même de l'Europe, afin de bénéficier d'un retour d'expériences indispensable à la gestion de l'incertitude;
- enfin, l'ensemble des acteurs publics et privés doit être mobilisé pour mener des efforts communs de didactique vis-à-vis des consommateurs et en impliquant ces derniers dans le cercle de la coopération.

### **2.5. La régulation et les modèles économiques**

Si le déploiement des nouvelles technologies de l'information et de la communication au sein des réseaux électriques permet de moderniser ces réseaux pour gagner en efficacité, ces nouvelles technologies sont, également, un moyen privilégié d'atteindre les objectifs de réductions des émissions de CO<sub>2</sub>.

Pour atteindre ces objectifs, le système électrique dans son ensemble doit gagner en flexibilité :

- au niveau de la production, les réseaux intelligents permettront d'accueillir plus largement la production d'origine renouvelable en compensant son intermittence grâce au développement des moyens de stockage et de la maîtrise de la demande;
- au niveau de la consommation d'électricité, les réseaux intelligents devront permettre une meilleure maîtrise de la demande en énergie afin de ne pas aggraver la pointe de consommation et participer à la compensation de l'intermittence des moyens de production renouvelable. Cela sera possible grâce au développement de la maîtrise de la demande, comme par exemple le pilotage à distance d'équipements ménagers, et de nouveaux usages associés au progrès de la domotique et au développement des véhicules électriques;
- les réseaux électriques devront assurer l'interface entre une production et une consommation d'électricité de plus en plus flexibles. L'introduction des nouvelles technologies de l'information et de la communication permettra de passer d'une gestion centralisée et unidirectionnelle de l'énergie allant de la production à la consommation à une gestion répartie et bidirectionnelle de l'énergie, de la production à la consommation et inversement. Les conditions d'exploitation des réseaux en seront améliorées, grâce au caractère auto-cicatrisant et résilient de ceux-ci, avec une réduction des coûts d'exploitation liés à une diminution des pertes techniques et des bénéfices induits par une plus grande stabilité dans la qualité d'alimentation et de service;
- les réseaux intelligents faciliteront, également, le développement de nouveaux usages, tels que le véhicule électrique (VE) et le véhicule hybride rechargeable (VHR) ou la maison intelligente (Smart home);
- enfin, au niveau de la fourniture d'électricité, le comptage évolué (Smart metering), pierre angulaire des réseaux intelligents, renforcera la concurrence du fait d'une meilleure connaissance de l'énergie consommée et le développement d'offres tarifaires variées.

À terme, tous ces éléments combinés réduiront soit les émissions de CO<sub>2</sub> directement (par des gains d'efficacité), soit indirectement (par l'intégration d'énergies de sources renouvelables et le développement de nouveaux usages).

En dépit des bénéfices potentiels qu'ils offrent, les réseaux intelligents sont aussi porteurs de risques à la fois pour les gestionnaires de réseaux et les industriels en quête de nouveaux marchés créés par l'émergence des réseaux intelligents :

- certains facteurs d'incertitude sont de nature technologique. Le succès des réseaux intelligents repose en partie sur la capacité des réseaux à intégrer efficacement les technologies de l'information et de la télécommunication;
- les bénéfices liés aux nouveaux usages seront, largement, dépendants de variables telles que les prix futurs des énergies fossiles ou du CO<sub>2</sub> dont l'évolution est largement indéterminée;
- la rapidité d'adoption par les consommateurs de pratiques d'effacement et leur disposition à payer des biens d'équipement énergétiquement performants sont inconnues;

- enfin, les montants d'investissements initiaux sont importants, ce qui conduit à s'interroger sur les modes de financement des projets.

Dans cette situation de risques, et alors que l'essentiel des projets en matière de réseaux intelligents en est encore au stade de la R&D ou du démonstrateur, il est encore trop tôt pour identifier le modèle économique des réseaux électriques intelligents. Traduite de l'anglais *business models*, la notion de modèles économiques recouvre à la fois une dimension macro-économique (*top-down*), dans laquelle la puissance publique met en place un cadre propice au développement des réseaux intelligents, et une dimension micro-économique (*bottum-up*), où les entreprises créent des modèles d'affaires propres à leurs activités.

Ainsi, après avoir identifié les incertitudes auxquelles font face les industriels du secteur énergétique et des télécommunications, il conviendra, dans une démarche prospective et exploratoire, de chercher à définir le cadre politique et de régulation propice à l'émergence d'un modèle économique des réseaux intelligents, puisque c'est un des paramètres clés qui conditionne l'évolution des réseaux électriques vers davantage d'intelligence et d'efficacité.

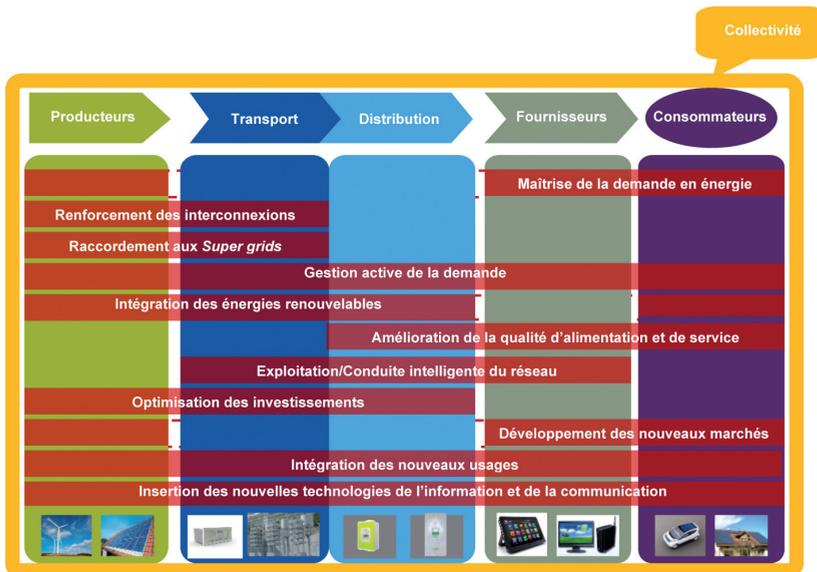
## 2.6. L'évolution de la chaîne de valeur

Une chaîne de valeur est un ensemble d'activités interdépendantes dont la mise en œuvre permet de créer de la valeur identifiable et, si possible, mesurable. Elle intègre, donc, toutes les étapes, de l'approvisionnement en matières premières à la consommation finale. Son efficacité repose essentiellement sur la coordination des différents acteurs impliqués et leur capacité à former un réseau cohérent et collaboratif. Les technologies de l'information et de la communication favorisent un échange de données propice à une organisation efficiente de l'ensemble de la chaîne.

Dans le cas de l'électricité, la chaîne de valeur traditionnelle supposait une progression linéaire de la production à la consommation d'électricité. Le développement des réseaux électriques intelligents implique l'intégration sur la chaîne de valeur des NTIC, ainsi que le développement de nouveaux usages.

Ces nouveaux usages et les NTIC ont profondément fait évoluer la chaîne de valeur du secteur électrique dans le sens où, d'une part, ils modifient les métiers et les activités des acteurs traditionnels et, d'autre part, ils font intervenir des acteurs qui traditionnellement ne travaillaient pas dans le domaine de l'énergie. Ils font, donc, apparaître de nouveaux acteurs et de nouvelles activités et placent l'utilisateur final au centre du système électrique.

Ils impliquent des interactions bien plus fortes et une communication beaucoup plus avancée entre les différents acteurs.



Les acteurs traditionnels (producteurs, gestionnaires de réseaux, fournisseurs et équipementiers) risquent de voir leur rôle, leur métier et leurs activités profondément modifiés par l'apparition de nombreuses évolutions (systèmes de comptage évolués, stockage d'énergie et nouveaux usages). Alors que les producteurs et gestionnaires de réseaux considèrent ces évolutions comme une possible optimisation de leur métier, les fournisseurs d'électricité et les équipementiers y voient plus un relais de croissance.

Par ailleurs, des acteurs issus d'autres domaines pénètrent la chaîne de valeur : il s'agit principalement des acteurs du monde des télécommunications (Microsoft, Cisco, IBM, Alcatel-Lucent, Accenture, Atos ou encore Google).

Enfin, de nouveaux acteurs (agrégateurs, gestionnaires d'effacement, fournisseurs de services en aval du compteur, gestionnaire de charge du véhicule électrique, etc.), de nouveaux services (effacement, gestion de la demande, etc.) et de nouvelles technologies (interfaces évoluées de soutien à la décision, applications à destination des utilisateurs, compteurs évolués, afficheurs déportés, gestionnaires d'énergie, etc.) apparaissent.

### 3. L'exemple du compteur évolué *Linky*

La Commission de régulation de l'énergie a été impliquée depuis le début dans le déploiement des compteurs évolués en électricité et en gaz.

#### 3.1. La présentation d'un modèle de système de comptage évolué

Un système de comptage évolué implique, d'une part, la mise en place de compteurs communicants capables de stocker les informations résultant des mesures et, d'autre part, l'établissement de systèmes de transmission de données permettant la circulation

rapide et fiable des informations contenues dans les compteurs entre les utilisateurs, les gestionnaires de réseaux et les fournisseurs.

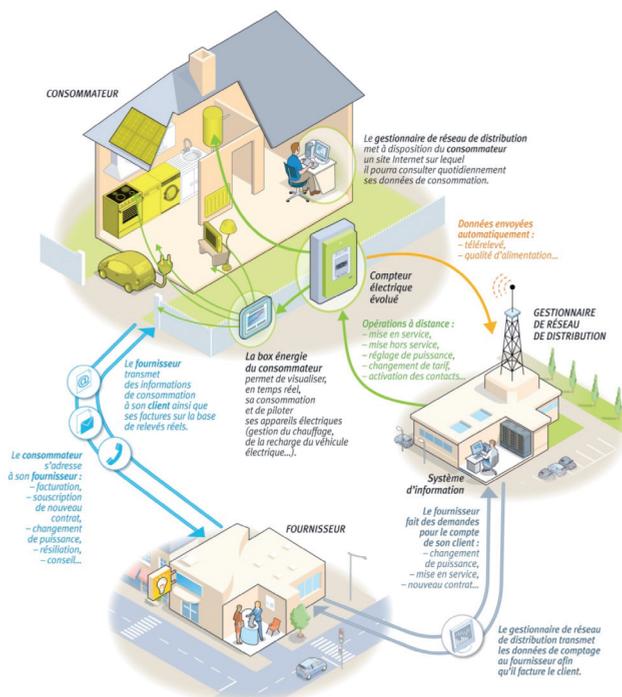
Dans les faits, le compteur est doté de capacités de communication bidirectionnelle (transmission et réception des informations) et permet la relève à distance ainsi que le pilotage de la fourniture d'énergie.

La communication s'effectue entre un ensemble de compteurs installés chez les utilisateurs et un concentrateur localisé à proximité dans le poste de distribution, via, par exemple, la technologie du Courant porteur en ligne (CPL), qui rassemble ces données pour les transmettre au gestionnaire de réseaux. À chaque compteur et concentrateur est associé un modem CPL qui code et décode les données en un signal électrique et les superpose au courant électrique à 50 Hertz.

Ensuite, au niveau des concentrateurs, les données sont codées sous format numérique, puis transmises au système informatique du gestionnaire de réseau par l'intermédiaire du réseau de téléphonie GPRS.

Le système informatique du gestionnaire de réseaux est accessible par les fournisseurs d'énergie qui reçoivent régulièrement les données de comptage de leurs clients pour la facturation de l'énergie.

Le schéma, ci-dessous, représente les relations entre le consommateur, le fournisseur et le gestionnaire de réseaux.



### 3.2. Les principales fonctionnalités des systèmes de comptage évolués

Afin de répondre aux exigences européennes, les compteurs évolués doivent être capables d'assurer :

- la relève des données du compteur à intervalle régulier;
- la télé-relève;
- la gestion de compteurs à distance (réduction de la puissance, coupure, gestion de la demande) par le gestionnaire de réseau de distribution;
- la mesure de la consommation et, le cas échéant, de la production décentralisée;
- la gestion à distance des paramètres du compteur, tels que les structures tarifaires, la puissance contractuelle, les intervalles de relève du compteur par les fournisseurs;
- le transfert des messages à distance des acteurs du marché pour le client (consommateur/producteur) comme, par exemple, les signaux tarifaires;
- l'affichage des informations sur le compteur et/ou un télé-report à partir de la TIC (télé-information client) installée;
- un port de communication principal permettant le transfert d'informations via le GPRS, le GSM ou le CPL;
- la mesure de la qualité (y compris la continuité de l'approvisionnement et la qualité de tension).

#### Fonctionnalités du compteur Linky



### 3.3. Les besoins et les objectifs visés

L'ouverture effective à la concurrence de la fourniture d'électricité à tous les consommateurs nécessite que chaque fournisseur puisse proposer des offres différenciées permettant de mieux satisfaire des besoins diversifiés. Elle implique, également, que les consommateurs puissent être mieux informés pour choisir librement entre les offres qui leur sont proposées sur la base d'une meilleure connaissance de leur consommation d'électricité. À cet effet, il est nécessaire que les consommateurs puissent obtenir des informations plus fréquentes et plus détaillées sur les caractéristiques de leur consommation d'électricité.

Compte tenu du volume d'information à traiter par les gestionnaires de réseaux et par les fournisseurs d'énergie sur le marché de masse, seul le recours généralisé à des compteurs évolués peut permettre une circulation efficace et fiable des données.

En France, cette généralisation implique, d'une part, la mise en place, sur les 35 millions de sites raccordés aux réseaux publics de distribution d'électricité, de compteurs évolués capables de stocker les informations résultant des mesures et, d'autre part, l'établissement de systèmes de transmission de données permettant la circulation rapide et fiable des informations contenues dans les compteurs entre les consommateurs, les gestionnaires de réseaux et les fournisseurs, sans discrimination.

Cette opération ne peut être efficace que si les matériels et systèmes mis en place sur tout le territoire national respectent des conditions minimales de compatibilité.

Compte tenu de son coût et de sa complexité, le déploiement d'un système de comptage évolué ne peut se justifier que s'il permet de concilier les deux objectifs généraux suivants :

- l'amélioration des conditions de fonctionnement du marché de l'électricité, en particulier dans l'intérêt des consommateurs :
  - l'amélioration de l'information des consommateurs sur leur consommation, notamment en termes de fréquence de facturation et de qualité des données ;
  - la mise en place d'un cadre favorable à l'apparition de nouvelles offres de fourniture et de services, compatible avec le maintien des offres historiques ;
  - l'accès aux données du comptage plus facile pour les acteurs autorisés ;
  - l'amélioration de la fiabilité, de la rapidité et de la fluidité des différents processus du marché.
- la minimisation des coûts des gestionnaires de réseaux, à niveau égal ou supérieur de la qualité du service rendu par les réseaux :
  - la participation au suivi de la qualité de la fourniture électrique;
  - la réduction du volume des pertes non techniques (PNT);
  - la minimisation des coûts des opérations périodiques et non périodiques.

### 3.4. Quels sont les avantages pour les parties prenantes?

Les systèmes de comptage évolués stockent des données (index, courbe de charge, etc.), enregistrent des informations (coupures, puissance maximale, etc.) et peuvent être

paramétrés et interrogés à distance. Ces fonctionnalités utilisées intelligemment peuvent apporter beaucoup à chacun des acteurs du marché de l'électricité.



### 3.5. L'analyse technico-économique montre que le projet *Linky* est neutre du point de vue financier pour le distributeur

Dans le cadre du projet de compteur évolué *Linky*, la Commission de régulation de l'énergie a réalisé une étude technico-économique pour analyser les coûts et les bénéfices de ce projet *Linky* au périmètre du principal distributeur français, ERDF. Cette étude a été conduite à partir des résultats de l'expérimentation menée par ERDF auprès de plus de 250 000 clients et sur la période 2011 à 2038, cette dernière année correspondant à la fin de vie des derniers compteurs évolués posés lors de la phase de déploiement massif.

La Valeur actuelle nette (VAN) du projet *Linky* est évaluée par différence entre les coûts et les bénéfices associés à la réalisation de ce projet et ceux associés à sa non réalisation (dit «*business as usual*»). Les gains estimés sont des coûts d'investissement ou de fonctionnement évités, tandis que les surcoûts sont des coûts supplémentaires induits par le projet.

Les prix de l'électricité étant un paramètre important de l'analyse, deux scénarios de prix ont été construits :

- un scénario 1, avec une augmentation annuelle moyenne de 2,3% par an sur 2010 à 2020, 1,8% au-delà;
- un scénario 2, avec une augmentation annuelle moyenne de 5,75% par an sur 2010 à 2020, 1,8% au-delà.

Sur la base des hypothèses retenues, la VAN du projet de comptage évolué *Linky* pour l'activité de distribution est quasiment à l'équilibre dans le scénario 1 (+ 0,1 Md€) et positive dans le scénario 2 (+ 0,7 Md€). Le tableau, ci-dessous, présente la décomposition de ces VAN.

	VAN 2011-2038 (en Md€)	
	Scénario 1	Scénario 2
Investissements bruts	- 3,8	- 3,8
<i>Compteurs (matériel et pose)</i>	- 3,0	- 3,0
<i>Concentrateurs (matériel et pose)</i>	- 0,5	- 0,5
<i>Systèmes d'informations (SI)</i>	- 0,3	- 0,3
Gains sur les dépenses d'investissement liées au renouvellement des compteurs existants	+ 1,5	+ 1,5
Gains sur les dépenses d'investissement «réseaux»	+ 0,1	+ 0,1
Gains sur les dépenses d'exploitation liées aux pertes	+ 1,2	+ 1,8
Gains sur les dépenses d'exploitation liées aux interventions techniques	+ 1,0	+ 1,0
Gains sur les dépenses d'exploitation liées à la relève	+ 0,7	+ 0,7
Autres gains sur les dépenses d'exploitation	+ 0,1	+ 0,1
Surcoûts d'exploitation du système de comptage évolué	- 0,7	- 0,7
<b>Total distributeur</b>	<b>+ 0,1</b>	<b>+ 0,7</b>

En prenant des hypothèses légèrement différentes (taux d'actualisation, taux d'évolutions des salaires, changement de périmètre, augmentation des coûts, etc.), ERDF évalue, aujourd'hui, le montant de ce projet à 5,0 Md€ (soit environ 143 €/utilisateur).

L'analyse montre, en définitive et contrairement à celle menée en 2007, que le financement du projet de comptage évolué *Linky* est équilibré au périmètre du distributeur et ne devrait, donc, pas engendrer de surcoût pour le consommateur.

Toujours, sur la base des hypothèses retenues par l'étude, la VAN du projet de comptage évolué *Linky* pour la chaîne de valeur est plus que positive. Le tableau, ci-dessous, présente la décomposition de ces VAN sur l'ensemble de la chaîne de valeur.

	VAN 2011-2038 (en Md€)	
	Scénario 1	Scénario 2
<b>Production</b>	+ 1,3	+ 1,5
<i>Émission CO<sub>2</sub> évitées</i>	+ 0,2	+ 0,4
<i>Investissements évités grâce à la maîtrise de la pointe (MDP)</i>	+ 1,1	+ 1,1
<b>Distribution</b>	+ 0,1	+ 0,7
<i>Investissements bruts</i>	- 3,8	- 3,8
<i>Gains sur les dépenses d'investissement et d'exploitation</i>	+ 3,9	+ 4,5
<b>Commercialisation</b>	+ 0,8	+ 1,1
<i>Surcoûts du système d'informations (SI)</i>	- 0,1	- 0,1
<i>Gains sur les coûts liés au «service client»</i>	+ 0,1	+ 0,1
<i>Gains sur les coûts d'approvisionnement grâce à la MDP</i>	+ 0,8	+ 1,1
<b>Consommation</b>	+ 9,3	+ 12,8
<i>Diminution du temps de coupure</i>	+ 0,2	+ 0,2
<i>Amélioration de la concurrence</i>	+ 5,2	+ 7,0
<i>Présence du client non requise pour les opérations simples (relève, mise en service, résiliation, modification de puissance, etc.)</i>	+ 2,3	+ 2,3
<i>Maîtrise de la demande en énergie (MDE) nette des coûts de Smart home</i>	+ 1,6	+ 3,3

#### 4. Les Smart gas grids, les réseaux de gaz intelligents

L'intelligence se développe, aujourd'hui, sur l'ensemble des réseaux d'énergie : réseaux d'électricité, réseaux d'eau mais aussi dans les infrastructures de gaz. La nouveauté réside dans la complémentarité de ces réseaux énergétiques : au cœur des villes se construisent aujourd'hui de véritables Smart networks, donnant la possibilité aux collectivités territoriales d'optimiser leur approvisionnement en énergie.

##### 4.1. Le gaz, une énergie essentielle dans le cadre de la transition énergétique actuelle

Énergie abondante, moins polluante que d'autres énergies fossiles comme le charbon ou le pétrole, le gaz a l'avantage d'être facilement stockable. Dans la production d'électricité, il est en outre la solution la plus adaptée, en termes de bilan carbone et de rapidité de réponse, notamment pour pallier l'intermittence des énergies renouvelables qui occuperont une place croissante dans le mix électrique européen et français.

Représentant aujourd'hui près d'un quart de la consommation d'énergie primaire en Europe, le gaz est appelé à prendre une place de plus en plus importante dans la

production d'électricité de l'Union européenne, notamment en raison du choix de certains États européens d'évoluer vers un mix électrique dont la part du nucléaire serait plus faible, voire nulle. La Commission européenne a d'ailleurs souligné le rôle crucial du gaz dans la transformation du système énergétique européen dans sa Feuille de route pour l'énergie à l'horizon 2050.

#### **4.2. Réseaux électriques et réseaux de gaz, des problématiques d'évolution similaires ?**

Pour s'adapter à cette évolution du paysage énergétique, les réseaux de gaz, comme les réseaux électriques, doivent évoluer.

Ils doivent notamment tenir compte de l'apparition de nouvelles ressources, comme le bio-méthane, véritable «*gaz vert*» produit à partir des déchets grâce à la méthanisation. La première injection de bio-méthane dans le réseau de distribution français a été réalisée à Lille en 2011. La recherche et le développement se poursuivent, également, pour valoriser la capacité des infrastructures gazières à véhiculer et stocker de l'énergie renouvelable : électricité (hydrogène) ou gaz (production de gaz synthétique).

De même, les usages du gaz évoluent et de nouvelles technologies voient le jour. La production décentralisée d'énergie dans les bâtiments se développe avec la cogénération, la micro-cogénération mais aussi les pompes à chaleur gaz. Les villes développent des modes de mobilité durable avec le gaz naturel pour véhicule et le bio-méthane carburant.

Tout comme pour les réseaux électriques, ces nouvelles sources de production et ces nouveaux usages nécessite des évolutions et parfois un changement de paradigme sur les infrastructures de gaz. La production d'électricité à partir de gaz (centrales à cycle combiné gaz et turbines à combustion) nécessite un pilotage des réseaux de transport de gaz à une maille plus fine, horaire au lieu de journalière, et l'injection de bio-méthane dans les réseaux de distribution pose la question de la disponibilité d'une zone de consommation suffisante à proximité pour absorber ce gaz, notamment en été et dans les zones rurales.

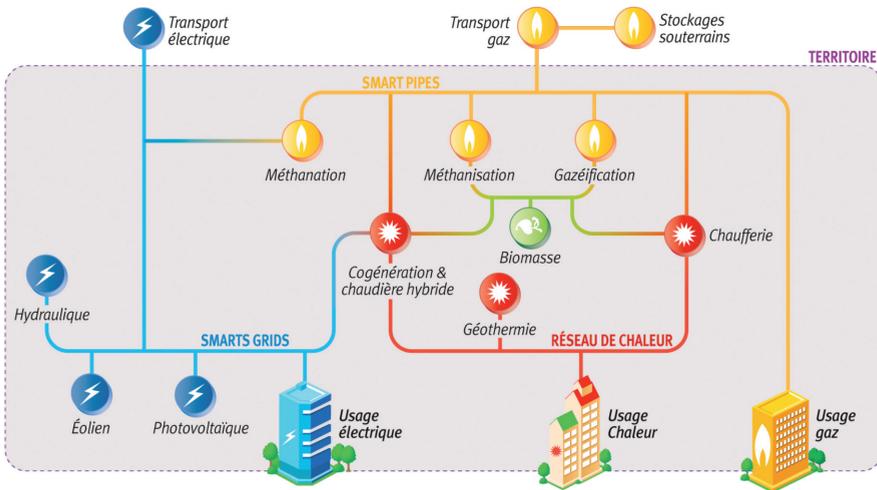
Toutefois, les réseaux disposent d'atouts permettant de mieux gérer cette intégration. En effet, les réseaux de gaz sont dimensionnés pour assurer une consommation de pointe au risque 2% dans un contexte de baisse de la consommation de gaz. En outre, la gestion temps réel de l'équilibre offre/demande est un enjeu moins crucial en gaz qu'en électricité en raison de la capacité inhérente des réseaux de gaz à stocker de l'énergie.

Et comme en électricité, le déploiement sur les réseaux de gaz des technologies de l'information et de la communication permettra d'améliorer l'efficacité de ces réseaux et de rendre autonomes les consommateurs. Les nouvelles infrastructures intégreront des fonctionnalités de modélisation dynamique des réseaux et des systèmes d'information géographiques, permettant de cartographier, mesurer et surveiller le réseau. Le compteur évolué *Gazpar*, comme le compteur *Linky* en électricité, est une des briques des *Smart gas grids*.

### 4.3. Profiter des opportunités que le réseau de gaz peut offrir

Aujourd'hui, un des nouveaux enjeux réside dans la complémentarité des réseaux de gaz et des réseaux électriques. Les réseaux de gaz se diversifient par rapport à leur fonction traditionnelle d'acheminement du gaz jusqu'aux consommateurs finals : ils interviennent désormais en soutien des réseaux de distribution d'électricité grâce à la production décentralisée des micro-cogénérations ou à l'effacement électrique par les pompes à chaleur hybrides.

Dans l'avenir, les réseaux d'électricité, de gaz, de chaleur et de froid seront interconnectés, permettant ainsi leur optimisation et une meilleure gestion des pics de consommation. Ainsi chaudières hybrides et cogénérations gaz décentralisées pourront soutenir le réseau électrique dont la capacité de stockage restera durablement limitée et, donc, sensible aux pointes de consommation. Les gestionnaires de ces réseaux et les différents porteurs de projets (collectivités locales, villes, promoteurs immobiliers, etc.) auront un rôle majeur à jouer pour la réalisation de ces transformations.



### 4.4. Zoom sur le compte évolué Gazpar

*Gazpar* est le nom du futur compteur de gaz communicant du gestionnaire de réseaux de distribution de gaz, GrDF, qui permettra aux 11 millions de clients en France de bénéficier de données de consommation quotidiennes pour une meilleure qualité de leur facturation et une meilleure maîtrise de l'énergie.

Le compteur évolué *Gazpar* est un projet industriel, co-construit depuis 2009 sous l'égide de la Commission de régulation de l'énergie avec les autorités concédantes, les fournisseurs, les associations de consommateurs et l'ensemble des parties prenantes. Cette démarche de concertation, appuyée par des expérimentations techniques et des tests clients, a permis de converger vers une solution économiquement viable, simple et répondant aux attentes de l'ensemble des acteurs.

Grâce à la mise en place d'un réseau fixe de communication radio entre le compteur et le système d'information de GrDF, différentes informations de consommation (mensuelles, quotidiennes, horaires) seront mises à disposition des fournisseurs puis des clients, permettant aux consommateurs d'agir sur leur consommation d'énergie.

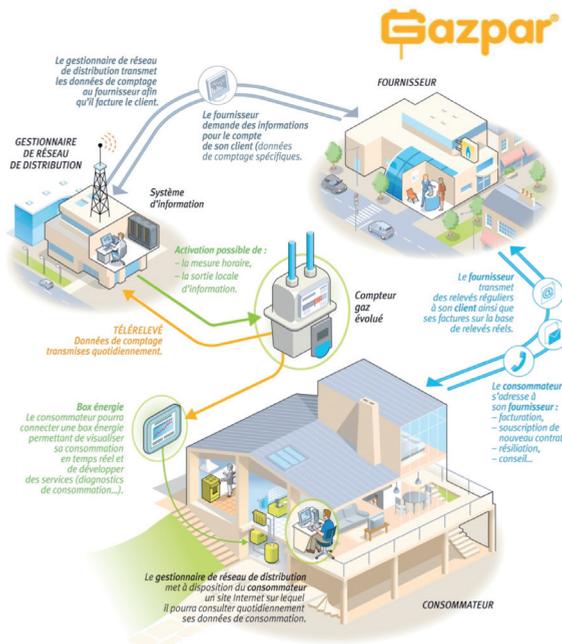
Ce projet est porteur de bénéfices pour la collectivité :

- les clients, grâce à l'amélioration de la qualité de service et à la maîtrise des consommations;
- les acteurs de la filière, par le développement de services innovants;
- les collectivités, pour cibler et vérifier les politiques énergétiques;
- les nombreuses entreprises mobilisées, qui développent un réel savoir-faire français, potentiellement exportable.

Les réseaux de distribution de gaz naturel connaissent une triple évolution :

- en aval, chez le client, avec l'émergence de nouveaux usages comme le gaz naturel pour véhicules (GNV) et de nouveaux équipements (chaudières hybrides, mini et micro cogénération, pompe à chaleur gaz, etc.);
- en amont, avec l'injection locale de nouveaux gaz (biogaz voire hydrogène);
- et sur les réseaux eux-mêmes avec le développement de la télésurveillance et de la télé-exploitation.

Le compteur *Gazpar* est une des briques de cette évolution vers les *Smart gas grids* permettant une optimisation locale des politiques énergétiques en complémentarité avec les autres réseaux.



## 5. Le site Internet [www.smartgrids-cre.fr](http://www.smartgrids-cre.fr) de la Commission de régulation de l'énergie

Aujourd'hui les réseaux électriques se modernisent. De nouvelles technologies se mettent en place. C'est pourquoi la Commission de régulation de l'énergie anime un site Internet [www.smartgrids-cre.fr](http://www.smartgrids-cre.fr), outil de diffusion et de promotion des travaux et expérimentations menés en France et dans le monde et organise des forums bimestriels, rendez-vous d'information et de débat des thématiques liées aux *Smart grids*. La Commission de régulation de l'énergie souhaite poursuivre ses actions et renforcer son travail dans le domaine des réseaux électriques intelligents dans le cadre des missions qui lui sont confiées, à savoir veiller au bon fonctionnement et au bon développement des réseaux d'électricité et de gaz.

**SMART GRIDS - CRE**

Présentation   Consommateurs   Acteurs & innovations   Dossiers   Parole d'experts   Territoires et projets   Evénements   Médiathèque

Spécial « Territoires et projets »  
De nouveaux projets à découvrir !  
Découvrez les projets Smart grids en France...

**Les forums de la CRE**



La CRE organise des forums, associés à chaque nouveau dossier, pour donner la parole aux experts des Smart grids.  
[Se tenir informé des prochains forums](#)

**Actualités du site**



**Spécial « Territoires et projets » : De nouveaux projets à découvrir !**  
Jeudi 19 décembre 2013

Plus d'une vingtaine de nouveaux projets sont en ligne sur le site dans la rubrique « Territoires et projets ». Véhicules électriques, intégration des énergies renouvelables, stockage, gestion de la demande.



**Dossier Compteurs évolués : Retour d'expérience sur l'expérimentation du système de comptage évolué Linky**  
Vendredi 06 décembre 2013

Le Premier ministre a annoncé le lancement d'un appel d'offres pour le déploiement de 3 millions de compteurs Linky. Ce déploiement de grande ampleur fait suite à l'expérimentation réussie du système de comptage évolué d'ERDF.

**Rechercher**

Google Recherche

**Se tenir informé**

Abonnez-vous à notre liste de diffusion pour être informé régulièrement des mises à jour du site.

S'abonner

**Participer au site**

### 5.1. L'objectif du site *Smart grids* de la Commission de régulation de l'énergie

Le site Internet de la Commission de régulation de l'énergie dédié aux réseaux électriques intelligents est un site collaboratif. Base de connaissances dynamiques, outil de diffusion et de promotion des travaux et expérimentations menés dans le monde sur les *Smart grids*, le site Internet de la Commission de régulation de l'énergie se veut un carrefour des idées, support fédérateur de l'ensemble des initiatives du *think tank*. Ce site vise à :

- susciter la réflexion en regroupant tous les acteurs concernés par les Smart grids et en organisant des mini-forums bimensuels sur des thèmes qui intéressent un large public;
- partager l'expertise en suscitant des échanges entre les parties prenantes. En présentant les diverses expérimentations et les projets menés de Smart grids dans le monde, ce site a vocation à être prospectif;

- mieux informer sur l'état de la réflexion et d'avancement des projets en matière de Smart grids proposant des dossiers thématiques sur lesquels les contributeurs sont invités à participer.

Le site Internet attire en moyenne 700 visiteurs par jour et 12 000 visiteurs par mois. Environ 2 000 personnes sont inscrites à la newsletter.

### **5.2. Les forums de la Commission de régulation de l'énergie : des rendez-vous réguliers pour parler des *Smart grids***

Depuis octobre 2010, la Commission de régulation de l'énergie a initié des forums sur les réseaux électriques intelligents, rendez-vous d'information et de partage des connaissances entre acteurs des Smart grids, lieu de débat de nombreuses thématiques.

Vous retrouverez l'intégralité des dossiers consacrés aux thèmes des forums sur le site [www.smartgrids-cre.fr](http://www.smartgrids-cre.fr) dans la rubrique «Dossiers».

### **5.3. Les rubriques clés du site Internet de la Commission de régulation de l'énergie**

#### ***Rubrique : Consommateurs***

Donne aux consommateurs les clés de compréhension sur les aspects des *Smart grids* qui les concernent.

#### ***Rubrique : Acteurs & innovations***

Identifie les acteurs du développement des *Smart grids* et aborde les questions de régulation, de financement, de technologies et de normalisation que pose nécessairement le changement.

#### ***Rubrique : Dossiers***

Traite des sujets clés en rassemblant les contenus d'experts enrichis des comptes rendus des forums organisés par la Commission de régulation de l'énergie :

- les compteurs évolués;
- les véhicules électriques;
- le bâtiment intelligent;
- les modèles économiques;
- les *Super grids*;
- l'intégration des EnR;
- les zones insulaires;
- les NTIC;
- les *Smart cities*;
- le consomm'acteur;
- le stockage ;
- l'Allemagne et les *Smart grids*;
- les *Smart gas grids*;
- l'éclairage public et le mobilier urbain intelligents.

***Rubrique : Paroles d'experts***

Donne la parole à des experts et à des personnalités marquantes du monde des *Smart grids* pour éclairer l'actualité du moment.

***Rubrique : Territoires et projets***

Dresse un panorama des projets développés dans le monde et en France en matière de *Smart grids* et de *Smart metering*.

***Rubrique : Évènements***

Répertorie les événements (colloques, conférences, etc.) qui traitent les différents aspects des *Smart grids*.

***Rubrique : Médiathèque***

Propose une sélection d'articles marquants, une base documentaire, une bibliographie et une vidéothèque consacrées aux *Smart grids*.

---

**- Pr. Mahfoud ZIYAD (Directeur des Séances)**

Merci M. Lafaille pour le respect du temps et la qualité de l'exposé. On gardera les questions pour la fin de la séance.

Je donne la parole à présent à notre collègue Malik Ghallab qui va nous parler de la modélisation des Smart Grids.

## **RESEAUX INTELLIGENTS : QUELQUES PROBLEMES ET APPROCHES POUR LA MODELISATION ET LA GESTION DISTRIBUEE ET EFFICACE DE L'ENERGIE ELECTRIQUE**

*Pr. Malik GHALLAB*

*Membre résident, Académie Hassan II  
des Sciences et Techniques*

*LAAS-CNRS, Toulouse, France*



Le réseau électrique est une des réalisations technologiques majeures des 19<sup>e</sup>-20<sup>e</sup> siècles. Jusqu'à récemment ce réseau a relativement peu évolué : un système conçu avant l'âge de la micro-électronique et d'internet, contrôlé de façon centralisé, sans optimisation explicite de l'efficacité énergétique, de l'impact environnemental, de la flexibilité de la demande et de la fiabilité.

Ce réseau fait face aujourd'hui aux défis et enjeux de la demande mondiale croissante, du coût considérable des infrastructures mobilisées (et parfois peu amorties), de l'urgence des contraintes environnementales et de la nécessité d'intégrer des énergies renouvelables intermittentes, ainsi que des exigences de sûreté, de sécurité et de résilience d'un système devenu fragile par sa complexité.

Les recherches sur les "réseaux intelligents" visent à répondre à ces défis en prenant appui en particulier sur les possibilités de modélisation, de communication et de traitement distribué dues aux progrès numériques. Il s'agit de passer d'un réseau centralisé, contrôlé manuellement par un producteur, à des réseaux interconnectés où interviennent de nombreux "prosumers", optimisés, gérés de façon distribuée et largement automatisés. Ces objectifs donnent lieu à des programmes prioritaires de R&D très actifs dans la plupart des pays de l'OCDE.

Ce bref exposé apportera une introduction aux problématiques des réseaux intelligents. Il illustrera les apports ponctuels à ces problématiques de quelques techniques numériques de satisfaction de contraintes, de planification, d'optimisation et de diagnostic distribuées.

**Références :**

- [1] The smart grid : an introduction, DOE, Office of Electricity Delivery and Energy Reliability, 2008.
- [2] A. Ipakchi and F. Albuyeh, Grid of the future, IEEE Power Energy Magazine, 7(2):52–62, 2009.
- [3] S.D. Ramchurn et al., Agent-based control for decentralized demand side management in the smart grid, Proc. AAMAS, 5-12, 2011.
- [4] P. Reddy and M. Veloso, Factored models for multiscale decision-making in smart grid customers, Proc. AAAI, 2012.
- [5] M. van den Briel, P. Scott, S. Thiébaux, Randomized Load Control: A Simple Distributed Approach for Scheduling Smart Appliances, Proc. IJCAI 2013.
- [6] S. Thiebaux, C. Coffrin, H. Hijazi, J. Slaney, Planning with MIP for Supply Restoration in Power Distribution Systems, Proc. IJCAI 2013.
- [7] V. C. Gungor et al., A Survey on Smart Grid Potential Applications and Communication Requirements, IEEE Trans. Industrial Informatics, 9(1): 28-42, 2013.
- [8] J. Gaoa et al., A survey of communication/networking in Smart Grids, Future Generation Computer Systems, 28:391-404, 2012.

---

**- Pr. Mahfoud ZIYAD** (Directeur des Séances)

Merci beaucoup Pr. Ghallab pour cet exposé qui nous projette un peu dans le futur.

Si vous le voulez bien, on va réserver une dizaine de minutes pour prendre des questions relatives aux derniers exposés.

## DISCUSSION

### - **Nabil SAIMI** (Moroccan Agency for Solar Energy)

Je commence par remercier l'ensemble des orateurs pour leurs excellentes présentations. Ma question s'adresse à M. Lafaille : comment la France appréhende la question de la transition énergétique ou de l'évolution du mix pour que tous les intervenants trouvent leurs intérêts?

### - **Didier Lafaille** (Commission de Régulation de l'Energie, France)

Il y a un problème de définition du mix en France par rapport à l'intégration du nucléaire. Je peux vous répondre à titre personnel. C'est vrai que, jusqu'à présent, on a suivi les directives européennes. Aujourd'hui, nous avons un débat en France sur la transition énergétique où on ne parle pas assez des aspects coûts. Nos politiciens sont très inquiets de la hausse du coût d'intégration des énergies renouvelables et donc du coût de la transition énergétique.

### - **Membre de l'audience :**

Ma première question s'adresse au Pr. Malik Ghallab pour le remercier pour son exposé très court et lui demander si cette question de modélisation de la distribution électrique est toujours au stade de simulation ou bien il y a un potentiel pour des réalisations pratiques? Ma deuxième question : quel est le coût de réalisation d'un tel projet?

### - **Pr. Malik Ghallab** (SMI)

Les exemples que j'ai mentionnés relèvent tous à ma connaissance de prototypes de recherche qui sont quelquefois testés à une échelle significative (1000 foyers) et qui sont relativement probants. Je n'ai pas vraiment connaissance de déploiement en temps réel aussi bien pour les aspects de contrôle que pour les aspects de fiabilité.

La notion de coût va être associée à l'évolution de la grille numérique, en particulier par l'instrumentation de la grille au sens de l'observation constante et le déploiement de compteurs intelligents. M. Lafaille a montré que l'amortissement de ces coûts est largement accessible. Si on amortit ces équipements sur deux générations (25 à 50 ans), ça va dans le sens des économies d'énergie et d'un déploiement plus sûr et efficace de la grille. Il y a plus à gagner qu'à y investir. Donc pour le moment on est au stade de développement prototypes expérimentaux et des coûts qui vont être liés à l'évolution de la grille.

### - **Member from the audience**

I have a question for M. Ennaoui. Thank you very much for your presentation.

Ultimately you have to package the system successfully to withstand the effects of UV light and the effects of humidity and this means the development of successful polymeric material to package and seal the system since the layers are very susceptible to corrosion. What is the current status of the reliability of the system over the course of 20-25 years?

- **M. Ahmed Ennaoui** (Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie, Germany)

Thank you very much. I put in the recommendations regarding this problem at the end of my slide presentation. Silicon is used for packaging and the company gives 25 years time. However for the CIGS or for zinc oxide there is a problem I guess and you have to have a very good encapsulation. Otherwise there are other polymers actually in progress. It is a big challenge for research.

- **Pr. Daoud Ait Kadi** (SMI)

Question pour M. Malik Ghallab concernant la fiabilité du réseau. C'est l'incertitude qui fait en sorte qu'on est obligé d'avoir des stocks. Est-ce que vous avez testé l'interférence du réseau ou est-ce que ce type d'approche a été utilisé dans la littérature que vous avez consultée.

- **Pr. Malik Ghallab** (SMI)

Je n'ai pas rencontré cette approche mais plutôt des processus de Markoff où le temps est explicite. Le plus souvent les processus semi-Markoff sont largement satisfaisants. Pour ce qui est des aspects de planification, on prend en compte bien sûr l'évolution de la demande et donc ce sont des boucles de second ordre qui ne sont pris en compte.

- **Pr. Daoud Ait Kadi** (SMI)

On parle de réseaux intelligents. A quel niveau cette intelligence entre en jeu? Est-ce que le compteur intelligent fait des suggestions à l'utilisateur ou bien restreint sa liberté?

- **Pr. Malik Ghallab** (SMI)

J'essaie d'éviter le terme qui peut être polémique, c'est pour ça que j'ai parlé de grille numérique. Tout est une affaire de modèles qui font que dans certains cas la demande n'est pas flexible et dans la majorité des cas elle est flexible. C'est le profil de l'utilisateur qui fait que le modèle va prendre en compte parce qu'il est paramétré en fonction de chaque utilisateur et ce modèle là permet de faire des prédictions, de faire de la planification et d'optimiser.

- **Représentante de la Société Marocaine de Développement des Energies Renouvelables**

Ma question a trait à la dernière intervention. Est-ce qu'il ne s'agit pas d'une révolution dans la façon de gérer ce réseau dans la mesure où peut-être le voir avec une vision décentralisée par régions plutôt que d'avoir une vision territoriale qui ne permet pas de traiter de façon beaucoup plus précise chaque région?

- **Pr. Malik Ghallab** (SMI)

Je suis certainement d'accord avec vous que c'est une révolution que de passer d'un réseau radial à une grille dense. C'est pour cela qu'il va falloir s'y préparer ne serait que le fait de passer d'un réseau arborescent à un réseau maillé. Je peux vous dire qu'il y a déjà un certain nombre de moyens qui existent sur le marché notamment pour des micro-grilles à l'échelle d'un quartier, d'un campus, etc...

## MALAYSIAN SOLAR ENERGY PROGRAMME

*Ahmad Hadri HARIS*

*Malaysian Green Technology Corporation  
(GreenTech Malaysia)*

*No. 2, Jalan 9/10, Persiaran Usahawan, Seksyen 9,  
43650 Bandar Baru Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia*

Email: hadri@greentechmalaysia.my



### ABSTRACT :

Malaysia introduced Renewable Energy Act in 2011 with the ambition to catalyse renewable energy development in the country. Special feed-in tariff rates were stipulated in the Act for solar photovoltaic, biogas, biomass and small hydro technologies, ranging from USD/kWh 0.08 (for small hydro) to USD/kWh 0.58 (for solar PV). Since the introduction of the Renewable Energy Act, solar PV applications have soared from 2.5 MW in 2010 to 418 MW at the end of 2013, a growth of 167% over the 3 years period. This is a unique achievement for an oil producing country, and against the focus on natural gas and coal as the key resources for electricity power generation.

Prior to 2011, solar energy has never received any public interest. Nonetheless, this ray of change was accomplished when Malaysia implemented a 5-year coordinated efforts, from 2006 to 2011, to popularise solar PV application in buildings. Within this period, solar PV applications in Malaysia grew steadily by 439%, the technology unit cost reduced by 39%, 26 approved local solar PV service providers were established from nothing initially, public's interest in solar PV increased from 38% to 63%, access to grid-interconnection was established that provide the platform for priority access to the grid in the Renewable Energy Act, the Renewable Energy Fund was conceptualised which provided the foundation to the feed-in tariff implementation, and Malaysia becomes a world hub of solar PV manufacturing with about 4.5 GW of annual solar manufacturing capacities.

- **Pr. Mahfoud ZIYAD** (Directeur des Séances)

Thank you very much Dr Ahmad Haris for this overview of the Malaysian program on solar energy. The next speaker Mr. Abdelkader Outzourhit will talk about “Hybrid power plants with renewable energies”.

## HYBRID RENEWABLE ENERGY SYSTEMS

*Pr. Abdelkader OUTZOURHIT*

*LPSCM, Department of Physics,  
Faculty of Sciences Semlalia,  
Cadi Ayyad University-Marrakech, Morocco*



### ABSTRACT :

Traditionally, single power systems using renewable energy (RE) sources like wind and solar can be utilized to provide electricity for remote locations where grid extension is not feasible and/or uneconomical. The combination of two or more RE sources and/or energy storage systems (hybrid systems) will increase the reliability of the supply by taking advantage of the complementary availability of the sources. The architecture of these hybrid systems has evolved in the recent years to modularly ac-coupled systems where the loads (consumers for example) and generators are coupled on the ac-bus. Such modular systems offer significant advantages over centralized generation because they are expandable; they can run either in islanding mode or be connected to the grid. This coupling scheme also offers the possibility of placing the DC and/or AC generators in different locations (Distributed Generation).

The perspectives of such decentralized energy production in the Moroccan context will be discussed. In particular, a detailed description of a standalone hybrid PV-Wind power plant installed in the remote rural village Elkaria (Province of Essaouira, Morocco) will be presented. This plant, shown in Figure 1, is composed of a 7.2 kWp PV array and the associated inverters, a 5 kW wind turbine and the associated power conditioning and inverters, 1100 Ah battery bank and 2 bidirectional inverters. The plant supplies 16 households with electricity through a local grid that was installed for this purpose over a length of about 2 km. The coupling scheme, the energy management as well as the results of monitoring will be presented. Special attention will be given the performance parameters of the photovoltaic plant (yields, performance ratio, capacity factor). These parameters were extracted from the monitored daily irradiance and PV-inverter power output (Figure 2).

The performance ratio of the plant varied between 48% and 70% depending on the energy demand and climatic conditions. The low values of this parameter are observed when the demand is low and the state of charge of the battery bank is high. The effect of the energy management scheme on the performance ratio of the plant will be analyzed.

## 1. Introduction

Traditionally, isolated power systems using renewable energy sources like wind, solar, etc. can be utilized to provide electricity for remote locations where grid extension is not feasible and/or economical. These alternative energy sources could be utilized even where grid connectivity exists, provided they are cost effective and economically viable [1-6].

On the other hand, in the off-grid autonomous systems, the intermittence of the renewable sources calls for a storage system, the size of which depends on the load and the required autonomy. The combination of two or more alternative energy sources (solar, wind, bio-energy...) will lead to a reliable power source and will reduce the size of the storage system.

In general, hybrid renewable energy (RE) systems combine two or more different energy sources (DC and AC), different types of loads (AC and DC), various energy storage elements (batteries, hydrogen, super-capacitors ...) and several forms of energy (electrical, thermal). This power generation scheme can take advantage of the complementary availability of the RE sources (eg. solar and wind) thus increasing overall reliability without having to resort to other conventional back-up sources (eg. Diesel generators).

## 2. Topologies of Hybrid RE systems

The topology of hybrid RE systems in stand-alone and island renewable energy systems has evolved in the recent years to parallel architectures with either DC, AC or hybrid (AC-DC) coupling [1-5]. In DC-coupling (figure 1) all the sources (AC and DC) and storage devices connected to DC Bus through appropriate converters (AC/DC, DC/DC). The battery bank and other storage devices (eg. Hydrogen subsystem) are connected to the DC-bus through appropriate “charge controllers”. The AC loads are supplied through a centralized inverter (DC/AC converter), synchronized inverters and/or the grid if available.

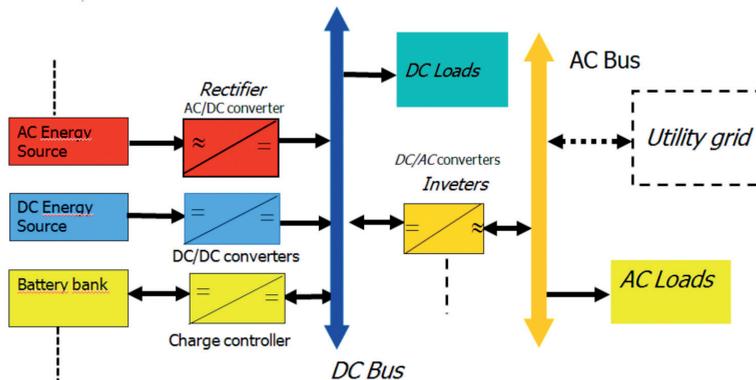


Figure 1. Parallel DC-coupling architecture of hybrid systems

In the AC coupling configuration (Figure 2) the AC generators, the DC generators, the storage devices and loads are coupled on the AC site of the bus through synchronized inverters.

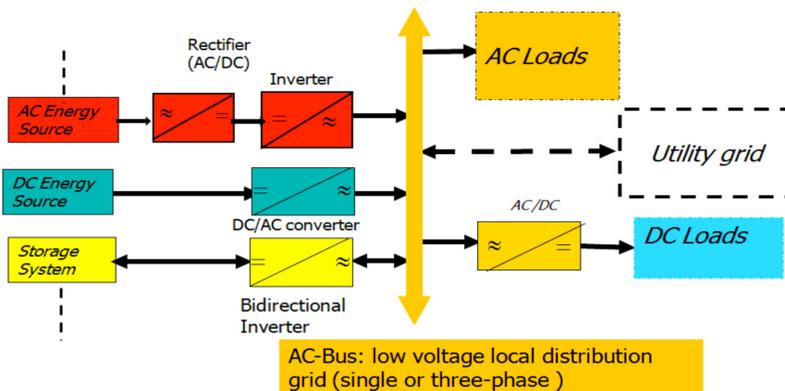


Figure 2. Parallel AC-coupling architecture of hybrid systems

In hybrid DC-AC coupling, the DC sources are connected to the DC bus while the AC sources and AC loads are connected to AC bus. The DC and AC bus are connected through appropriate inverters and AC/DC converters. All these architectures require a grid management unit which in the case of the AC-coupling can be performed by the battery inverter (bidirectional inverter). The hybrid systems can also be connected to the grid.

### 3. Advantages of hybrid systems with parallel AC-coupling

These systems offer significant advantages over AC systems based on a centralized inverter, because they are expandable, they can run either in islanding mode or be connected to a larger grid while also offering higher reliability and lower power cost for the consumers. The coupling of generation technologies on the AC side through appropriate inverters/converters, also offers the possibility of placing the generators (DC and/or AC) and the storage elements in different locations (Distributed Generation technologies). On the other hand micro-power plants based hybrid systems may provide an alternative solution to match the power demand of remote villages, to decrease the variability of the system and to reduce the energy storage requirements.

The advantages of parallel AC-coupling also include, simplicity in the design, modularity and expandability, reliability of power source, standard market available appliances and acceptability of RE by the rural populations.

The Applications of Hybrid Systems include the supply of isolated villages with electricity (off-grid mini-grids), water Resource Management (desalination & water pumping systems...) in isolated and rural areas, distributed generation in a conventional utility network and isolated or special purpose electrical loads (Communication relays, military installations...).

Several types of hybrid systems have been developed and used: PV-diesel-genset-battery; Wind-diesel genset-battery, PV-wind-battery, PV-wind-diesel-battery, PV-fuel cell and PV-wind fuel cell...

## 4. Case study: The Hybrid PV-Wind power plant of Elkaria (Essaouira region)

### 4.1 Description of the hybrid Power plant

An outdoor view of the plant is shown in figure 3 where the wind turbine, the PV panels and the local grid can be clearly seen. This hybrid plant was designed to supply the 16 households of Elkaria village (Essaouira Province, Morocco) with electricity through the local grid.



Figure 3. Photograph showing the PV-Wind hybrid power plant of Elkaria village

A layout of the hybrid PV-Wind power plant is shown in Figure 4. The modular parallel AC coupling was used in this case. A description of the main components is given below.

#### a. The grid forming unit

The grid forming unit (figure 4) consists of two Sunny Island SI5040 bidirectional inverters (Master and a Slave) and a battery bank. The rated input voltage of the SI5040 is 48V and the rated power is 5 kW. The DC side of the inverters is connected to a battery bank consisting of series connection of 24 batteries (2V each) and a nominal C100 capacity of 1100 Ah. The bidirectional inverters provide the local grid with the AC voltage (220 V) which is required by the PV and Wind inverters. They also provide the required power for the loads in the absence of the solar and wind energies.

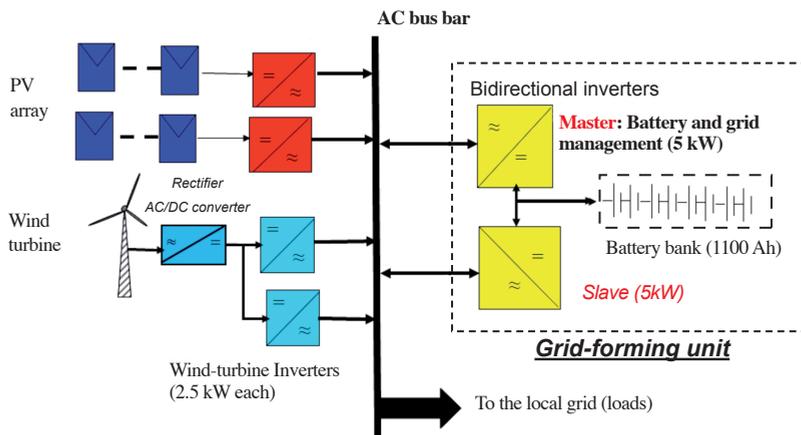


Figure 4. Layout of the Hybrid power plant of Elkaria Village

### ***b. The PV-plant***

The 7.2 kWp PV plant consists of 32 PV panels (Sunpower SPR-225-WHT). Each panel consists of 72 single crystalline silicon cells with back contact technology. The basic parameters of the panel are : efficiency of 18,1%, peak power of 225Wp, open-circuit voltage of 48.5V, short-circuit current of 5.87 A,  $V_{mp}=41V$  and  $I_{mp}=5.49A$ . The panels are arranged in four strings of 8 panels in series in each. Two strings are connected in parallel to each of the SMA Sunny Boy 3800 inverters. The voltage and power compatibility was checked using the Sunny Design software of SMA. The two inverters are connected to the local grid formed by the grid forming unit described later. The rated power of SB3800 is 3.8 kW. The panels were mounted on galvanized grounded steel supports with an optimum inclination of  $35^\circ$  for this location.

### ***c. The wind turbine***

The wind energy plant consists of a 5 kW wind turbine (nominal wind speed of 10m/s) mounted on 12 m guyed tower. The 3 phase AC output of the turbine is rectified and then fed to two wind turbine inverters (SMA, Windy Boy 2500 inverter) which then feeds the AC power in the local grid. The controller of the wind turbine is equipped with a 10 kW dump-load that dissipates excess produced energy.

### ***d. Grid-control***

The grid Control is performed by the battery Inverter (BI) using the Droop Mode control. The BI varies the grid frequency depending on its active power P and the grid voltage depending on its reactive power Q. The BI increases the grid frequency if more renewable energy is available than load and the batteries are fully charged. The PV and wind inverters reduce their output power in response to this increased frequency. The BI decreases the grid frequency if less renewable energy is available than the load and the batteries are not fully charged, then the PV and wind inverters raise their output power in response to this decrease in frequency. No communication cable between the inverters is necessary.

### ***e. Monitoring***

The Monitoring provides information on power levels, operating conditions (currents, voltages, frequency) of the different inverters as well as faults. All these parameters are recorded using the Sunny Boy Control Plus data logger (SMA) which communicates with the various inverters, which provide their operating parameters, and the sunny sensor box which provides metrological data (wind speed, insolation, ambient and panel temperatures,...). The data are recorded with a one minute time step and saved on a daily basis.

## **4.2. Results of the monitoring of the hybrid PV-Wind power plant**

### ***a. Irradiance and inverter outputs***

The PV inverter power output fed to the local grid) and in plane irradiance for the four specific days are displayed in figure 5 for a sunny two different days D1 and D2, and two different cloudy day D3 and D4. The behavior of the power output of the PV-inverters differs in each case. For D1 and D3, the power output follows the irradiance level while for D2 and D4 a sharp drop in the output power can be clearly seen and which doesn't follow the irradiance after noon for D2 and 14:00 for D4. As will be discussed later, this

is due the energy management algorithm of the grid, which, when the battery is charged and the demand is low, instructs the PV-inverters to reduce the power fed to the grid.

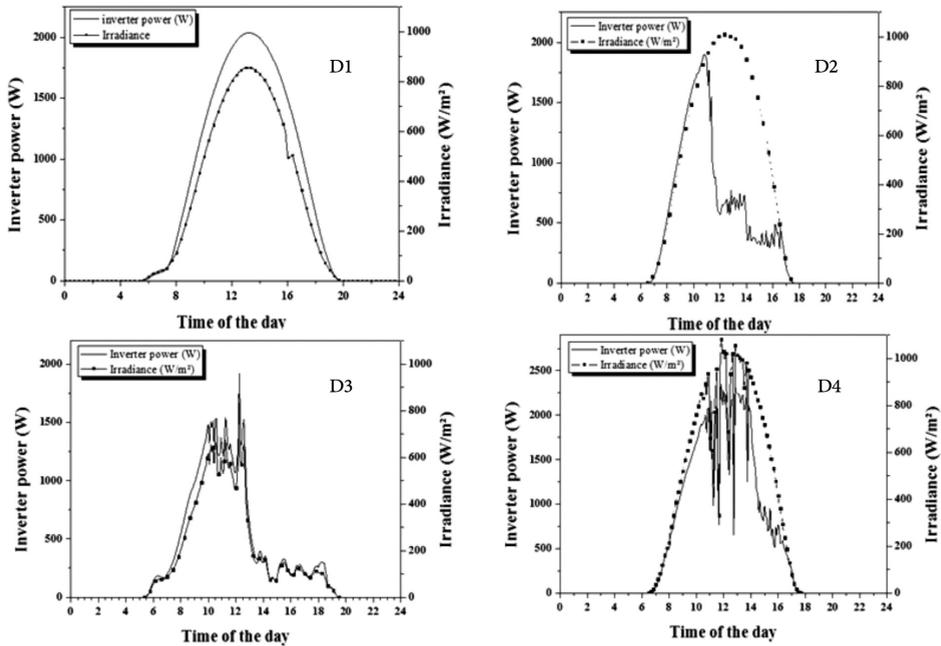


Figure 5. Irradiation and PV-inverter output for typical days (D1, D2, D3 and D4)

**b. Wind speed and wind turbine inverter output**

Figure 6 shows the wind speed at 4 m height and the power output of one of the wind turbine inverters. It can be seen that there are some fluctuations in the power output of the wind turbine inverter (injected in the local grid) as a result of fluctuations in the wind speed. In addition a drop is also absorbed in the output power after noon as in the case of the output power of the PV inverters. For this particular day, the Total wind energy fed to the grid is 19 kWh (2 inverters).

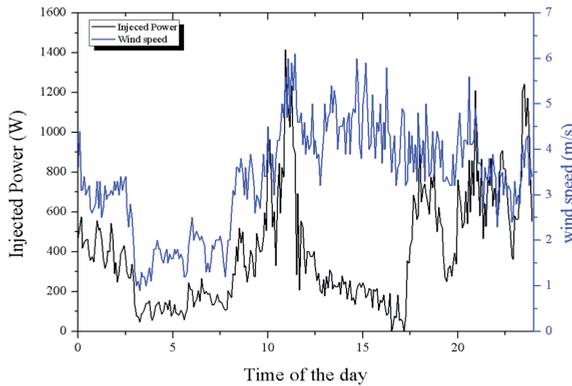


Figure 6. Wind speed and Wind turbine inverter output.

### c. Power flow from the battery inverter

Figure 7 shows the power flow in and out of the battery inverter (bidirectional inverter) and the frequency of the AC voltage (local grid frequency). During the day, the power flow is negative indication that the inverter is charging the battery using the energy produced by the PV plant and the wind turbine. The power flow is positive at night (battery is discharging) between 6 pm and 11:30 pm where the demand is high. It can also be observed in this figure that the frequency of the AC voltage (set by the Battery inverter) increases when the battery is charged (battery voltage and SOC at its maximum). This is inherent to the control algorithm of the battery inverter. If generated power ( $P_g$ ) greater than demand ( $P_c$ ), the frequency is increased beyond 50 Hz while if  $P_g < P_c$ , the frequency drops below 50Hz.

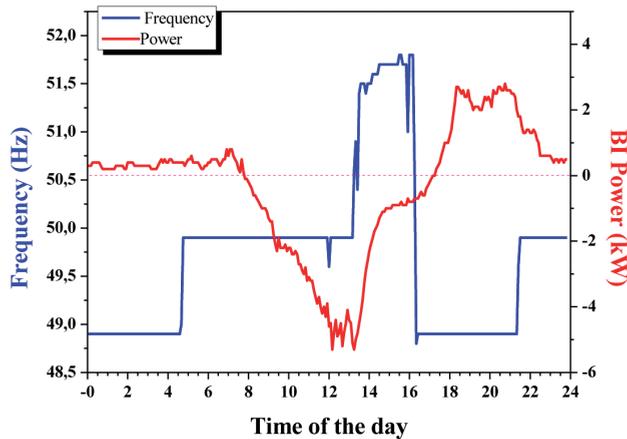


Figure 7. Battery inverter power flow and AC voltage frequency

### d. Energy management

The energy management of the plant is performed by the Sunny Island battery inverter (BI) using the droop mode control as illustrated in figure 8 which presents the power fed to the grid by one of the PV-inverters, the village load curve, the battery bank state of charge (SOC) and the voltage frequency for the same day. As it can be seen in this Figure, the battery inverter increases the grid frequency if more renewable energy is available than the load and the batteries are fully charged. This occurred between 13h and 16h for this day. As a consequence, the PV inverters reduce their output power in response to this increased frequency. The bidirectional inverter decreases the grid frequency if less renewable energy is available than the load and the batteries are not fully charged. In response to this situation the inverter raise their output power as can be clearly in this figure after 14h.

The observed drop in the PV-inverter output power (Day D2 and D4) , despite the high levels of irradiance, is therefore due to the way the battery inverter manages the local grid.

### e. Performance Parameters of the PV Plant

From the recorded data, the performance parameters of the PV plant can be evaluated. The reference yield (YR) is defined as the total in-plane solar irradiance  $H_t$  (kWh/m<sup>2</sup>)

drops sharply and can highly affect the PR of the plant especially in cloudy days and low irradiance levels.

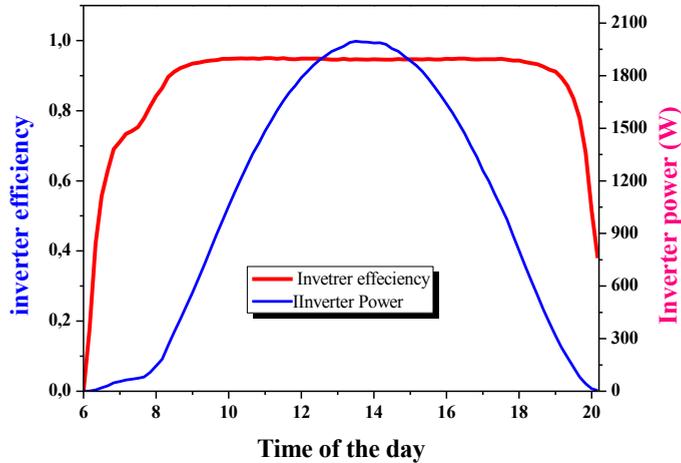


Figure 10. Evolution of the inverter power output and efficiency as a function of the time of the day.

## 6. Conclusions

Hybrid renewable energy systems can offer a reliable power source to remote rural areas where grid extension is not economically feasible. The most widely used architecture of these systems is the parallel AC-coupling where the generators, the loads are all coupled in the AC bus.

We have described a particular hybrid system consisting of PV/wind/battery plant that is designed to supply a rural village by electricity through a local isolated grid. The performance ratio of the PV plant is affected by the energy management algorithm that is used by the battery inverter. A maximum of 70.2 was recorded when the energy demand is high, while a minimum of 20% is observed when the energy demand is low and the battery state of charge is high. However, regardless of these performances, this hybrid plant supplies 16 households with electricity in a reliable manner.

## Acknowledgements

This work was partially supported by the EU-financed HYRESS project. Special thanks to CNRST-Morocco and the Cadi Ayyad University for their Contribution. Special thank the PhD student Amine Elfathi who is in charge of the monitoring and the modeling the hybrid plant.

divided by the array reference irradiance of 1 kW/m<sup>2</sup>. This parameter corresponds to the average number of peak sun hours and defines then the solar radiation resource available for the PV plant. The array yield YA (kWh/kW<sub>p</sub> or in hours), on the other hand, is defined as the daily, monthly or annual energy output of the PV array divided by the peak power of the installed PV. This parameter represents the number of hours that the PV array would need to operate at its rated power to provide the same (DC) energy. The final yield YF (kWh/kW<sub>p</sub> or in hours) is defined as the net annual, monthly or daily net energy output of the system (ac in our case) divided by the peak power of the installed PV array at standard test conditions (STC). The array yield and the final yield are convenient to compare the energy produced by PV arrays and PV systems of different sizes since they normalize the energy produced with respect to the system size.

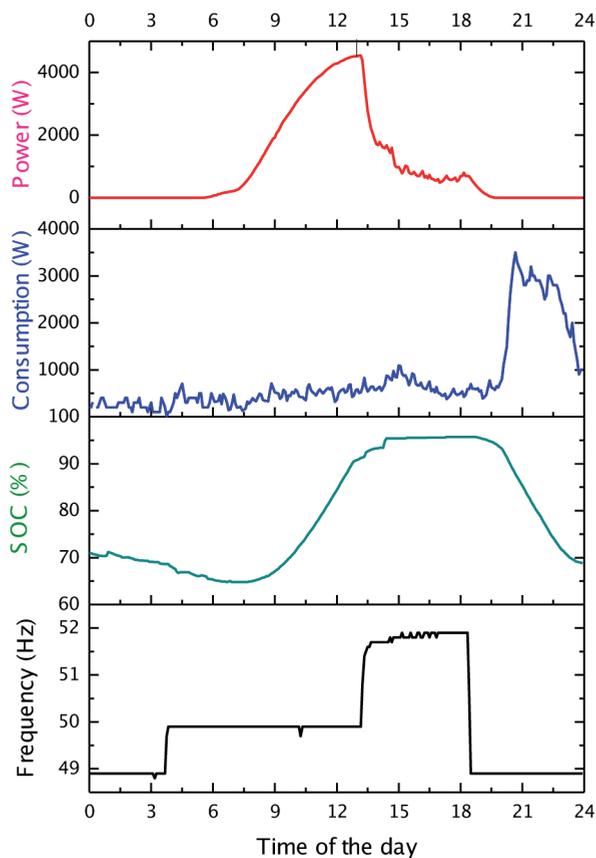


Figure 8. Evolution of the AC voltage Frequency, battery state of charge, load curve and PV-invert output

Finally, the performance ratio (PR) is the ratio of the final yield and the reference yield. It can be interpreted as the actual produced (used in our case) PV energy divided by the expected theoretical production. This parameter can inform on the overall losses in the system. Based on the definitions given above, the parameters for the specific days presented above are summarized in tables 1.

Table 1. Performance Parameters for typical days

	E (kWh)	YR(h)	YA (h)	YF (h)	PR (%)
D1	30.3	6.0	5.0	4.2	70.2
D2	16.3	3.4	5.6	2.27	66.7
D3	15.9	6.6	11.0	2.2	33.5
D4	24.9	6.0	10.4	3.4	55.4

The values of the reference yield are in good agreement with the widely accepted values for the Essaouira region for these specific days. The total energy fed to the local grid is the highest for day D1 for which all the produced power is used to charge the batteries and to supply the households. The maximum performance ratio (PR), which is on the order of 70.2%, is obtained for day D1, for which the injected energy and the final yield are the highest, despite the fact that the reference yield of this day is lower than that of the sunny day (D3). The minimum PR of about 33.5% is observed for the sunny day D3, despite the fact that the reference yield for this day is the highest compared with the other specific three days. This is because the energy injected into the grid and consequently the final yield is the lowest for this day. The lower values of the PR for days D3 and D4 are mainly due to the sharp drop in the power fed to the grid as a result of the way the energy flow from the various inverters is managed by the bidirectional inverter.

The evolution of the Performance Ratio for several days is shown in figure 9. A minimum of about 20% is recorded and can be attributed to the low energy demand and high state of charge of the battery.

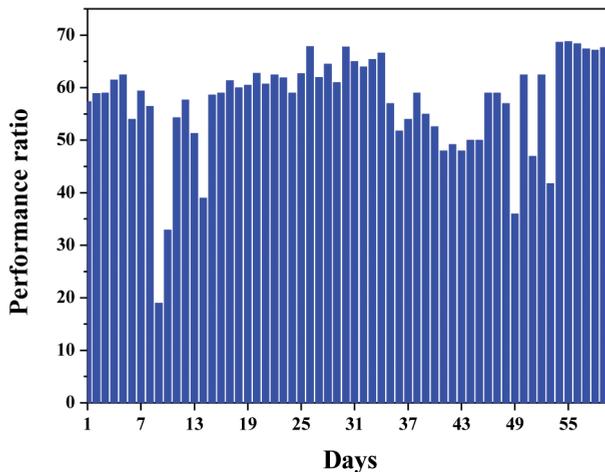


Figure 9. Evolution of the performance ratio of the PV plant for several days.

The efficiency of one of the PV inverters as a function of the inverter power is depicted in figure 10 which shows that a maximum efficiency of 95% is achieved when the output power is greater than 400 W. If the inverters operate below this value, the efficiency

## References

1. Panahandeh Bahram, Bard Jochen, Outzourhit Abdelkader, Zejli Driss, "Simulation of PV-Wind-hybrid systems combined with hydrogen storage for rural electrification", International Journal of hydrogen energy, 36, pp 4185-4197, 2011
2. R. Luna-Rubio, M. Trejo-Perea, D. Vargas-Vazquez, G.J. Rios-Moreno, "Optimal sizing of renewable hybrids energy systems: A review of methodologies", Solar Energy 86, pp 1077-1088, 2012.
3. Andreas Poullikkas, George Kourtis, Ioannis Hadjipaschalis, "A hybrid model for the optimum integration of renewable technologie in power generation systems", Energy Policy 39, pp 926-935, 2011.
4. L.C.M. Blasques, J.T. Pinho, "Metering systems and demand-side management models applied to hybrid renewable energy systems in micro-grid configuration", Energy Policy 45, pp 721-729, 2012.
5. O. Erdinc, M. Uzunoglu, "The importance of detailed data utilization on the performance evaluation of a grid-independent hybrid renewable energy system" international journal of hydrogen energy 36, pp 12664-2677, 2011.
6. Sonia Leva, Dario Zaninelli "Hybrid renewable energy-fuel cell system : Design and performance evaluation", Electric Power Systems Research 79, pp 316-324, 2009.

---

### - Pr. Mahfoud ZIYAD (Directeur des Séances)

Merci Pr. Outzourhit pour cet exposé qui montre bien qu'on peut allier des études universitaires pour rendre service à des populations en les désenclavant électriquement.

On peut prendre peut-être 2 ou 3 questions mais pas plus.

### - Pr. Mostapha BOUSMINA (Chancelier de l'Académie)

Je remercie l'ensemble des orateurs de cette journée. J'aimerais saluer Pr. Outzourhit et rappeler qu'il fait des recherches de très haut niveau sur les matériaux avec des applications diverses et notamment pour la fabrication des cellules photovoltaïques. Je salue ce type de recherche qui a un impact direct sur les populations (l'intégration de différents éléments, l'optimisation, les mesures, ...). Bravo.

### - Member from the audience

I have two questions. The first is for Dr. Ahmad Haris. You mentioned that you have companies making photovoltaic material in Malaysia. Do you have problems with Chinese dumping?

The second question is directed to my colleague from Marrakech : did you or you are going to address the problem of power loss at noon time?

### - Dr. Ahmad HADRI HARIS (Malaysian Green Technology Corporation)

Until today we have no issues. Mostly multinational companies are investing in Malaysia and are still operating without any problems to date.

- **Pr. Abdelkader OUTZOURHIT** (Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc)

La batterie est vraiment bien protégée par l'onduleur chargé. On a réglé le problème de seuil de sorte à ce que la décharge ne dépasse pas 20%. Cette chute de puissance de puissance injectée dans le réseau local est due au fait que lorsque la batterie a atteint son niveau de charge et si la demande n'est pas grande, il n'y a pas besoin d'injecter de puissance dans le réseau. Les onduleurs PV ou éoliens ne vont injecter dans le réseau et il en résulte cette chute là.

- **Membre de l'audience**

Ma question s'adresse au Pr. Outzourhit en ce qui concerne la qualité du signal généré, et particulièrement la tension, il y a des fluctuations de fréquence et d'amplitude. Peut-être que pour le milieu rural les exigences ne sont pas très importantes, il s'agit essentiellement d'éclairage et au mieux une télévision et un frigidaire. En milieu urbain les charges sont plus exigeantes en qualité de tension. Est-ce que ces performances seraient acceptables pour une communauté urbaine, sinon quelles sont les améliorations à apporter pour que cette application puisse être transposée à une communauté urbaine? Dans quelles mesures vous vous-êtes préoccupées de transposer cette application au milieu urbain, à un quartier isolé? Merci

- **Pr. Abdelkader OUTZOURHIT** (Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc)

En ce qui concerne les fluctuations de fréquence, il n'y a pas en fait de variation importante autour de 50Hz. Pour les variations de tension, il n'y a pas de charge inductive. Pour transposer cela en milieu urbain, les onduleurs sont conçus selon les normes du pays et en principe ça ne devrait pas poser de problème.

- **Pr. Mahfoud ZIYAD** (Directeur des Séances)

Merci beaucoup. La séance est levée.

---

- **Pr. Mahfoud ZIYAD** (Directeur des Séances)

Bonjour tout le monde. Ce matin, nous avons deux panels, le premier abordera le thème sur «la recherche et la formation en énergies renouvelables». Il sera modéré par M. Amrane (MASSEN) et le Pr. Tijani Bounahmidi (Académie Hassan II des Sciences et Techniques) en tant que rapporteur.

***Panel 1 :***

***Recherche et formation  
en énergies renouvelables***

**Modérateur : Mr. Badr Aamrane**



**Rapporteur : Pr. Tijani Bounahmidi**





## Panel 1 : Recherche et formation en énergies renouvelables

### Intervenants :

Badr Ikken (IRESEN)



Driss Ouazar (ENIM)



Abdellatif El Marjani (EMI)



Rachid El Mrabet (OCP)



Didier Roux (France)



Amal Bouamama (ONEE)





## Note de synthèse du panel

Ce panel a été modéré par Monsieur Ahmed Nakkouch, président directeur général de NAREVA holding.

L'intégration industrielle dans le secteur des sources d'énergie renouvelables consisterait pour le Maroc à mettre en place une stratégie de maîtrise du savoir-faire technique et commercial afin d'accroître sa productivité et son indépendance technologique. Elle consisterait aussi à avoir les ressources humaines nécessaires, les PME et PMI porteuses d'un savoir faire qu'elles maîtrisent et qu'elles développent selon les besoins.

On attribue souvent, et à juste titre, le développement socioéconomique à l'existence d'un secteur industriel moderne, dynamique et performant. Dans les pays émergents, les principales entraves qui s'opposent à cette expansion du secteur industriel sont :

- la résistance de groupes fortement liés à de vieilles structures, souvent familiales, qui par ignorance ou inertie refusent le changement,
- à une insuffisance du marché intérieur et à une faiblesse des ressources financières nécessaires à l'investissement dans l'innovation, qui seule peut conduire à une croissance viable du tissu industriel,
- à des difficultés d'assimilation et d'appropriation de la technologie moderne. C'est dans ce sens qu'il est indispensable de développer la formation et la recherche afin d'espérer un changement des habitudes et inculquer aux jeunes générations l'esprit entrepreneurial et innovateur.

Cette problématique de «développement et d'intégration industrielle» a fait l'objet du second panel de la session. Les exposés et les discussions qui ont eu lieu ont abouti aux remarques et aux recommandations suivantes :

- L'intégration industrielle (ou mieux encore «l'intégration locale») dans le domaine des sources d'énergie renouvelables qui englobe aussi le service se développe correctement au Maroc. Elle atteint environ 40 à 45% dans certains secteurs et pourrait être plus importante si les industriels marocains investissaient davantage dans le secteur. Dans l'éolien, par exemple, à part les grands transformateurs que les développeurs sont obligés d'importer toutes les parties métalliques peuvent être confectionnées par des sociétés marocaines,

Il est aussi à signaler que l'augmentation de co-localisations d'opérateurs étrangers s'accompagnerait forcément d'un accroissement de ce taux d'intégration et du transfert d'un savoir faire qui profiterait aux sociétés et à l'ingénierie marocaine.

- L'intégration industrielle dans ce secteur est un exercice complexe qui doit obligatoirement passer par une compensation. On pourrait, dans un premier temps

s'inspirer de ce qui a été fait dans le secteur de l'hydraulique. Au fur et à mesure de la construction des barrages, une expérience a été acquise et a fait qu'aujourd'hui le Maroc construit avec l'aide de son ingénierie ces propres barrages. Cependant, pour réussir une opération de transfert des connaissances et de technicité de ce genre, il faut disposer de ressources humaines susceptibles d'assimiler et de s'approprier les technologies et le savoir faire du domaine.

- Dans cette perspective les énergies renouvelables pourraient constituer «un nouveau métier mondial du Maroc» à l'image de ce qui se fait dans l'aéronautique, l'informatique et le câblage des véhicules. Cette intégration industrielle est un choix stratégique qui s'accompagnera forcément d'une création d'emplois nouveaux et de richesses.
- L'économie verte est une chance et une opportunité sans précédent pour le Maroc. C'est aussi un relai de croissance puissant qui par la même occasion permettra de répondre positivement aux inquiétudes croissantes sur le devenir de l'environnement dans lequel vont vivre les générations futures.
- L'énergie solaire reste pour l'instant chère à cause du prix des équipements et de leur entretien. Cependant, avec l'amélioration des rendements, l'augmentation des prix et la rareté des combustibles fossiles, cette énergie propre, gratuite et abondante deviendra plus attrayante d'autant plus que le Maroc dispose d'importants atouts dans ce domaine.
- L'efficacité énergétique et les économies d'énergie doivent être considérées comme des domaines prioritaires. Des efforts ont été faits au niveau de l'éclairage public, mais il reste le bâtiment et en particulier les bâtiments publics tels que les hôpitaux, les écoles et les administrations qui pourraient devenir, car l'opération est déjà lancée, des bâtiments intelligents et des modèles à suivre. Il y a aussi toutes les recherches qui pourraient être menées pour améliorer les rendements, la qualité des équipements et des matériaux utilisés dans ce secteur. Il n'en reste cependant pas moins vrai que «le kilowatt heure le moins cher, le moins polluant et le plus efficace c'est celui qui n'a pas été consommé».
- Une logique de résultat doit être suivie dans la promotion de l'industrie nationale dans les sources d'énergie renouvelables. Le Maroc doit avoir ses propres projets et les moyens de fabriquer l'équipement dont il a besoin. Il doit aussi avoir des sociétés de service capables d'intervenir quand c'est nécessaire. Ce créneau est vital parce qu'on ne peut pas continuer à être uniquement des consommateurs qui importe tout. Il faut accroître le secteur productif.
- La valorisation des déchets urbains et agricoles (économie verte) pourrait mener à une exploitation rationnelle de la biomasse pour produire du méthane, du composte et des engrais. Ce secteur négligé jusqu'à présent permettrait de créer des emplois et d'améliorer l'environnement au niveau des villes. Le recyclage des déchets doit être repensé et considéré comme une niche productrice de bien et d'emplois.
- Il a été recommandé d'accorder une attention particulière pour les petits projets parce que c'est eux qui créent le plus de valeur ajoutée. Si on remplaçait par exemple toutes les pompes diesel par des pompes solaires on ferait des économies en énergie équivalentes à ce que va fournir la centrale en construction à Ouarzazate.

- *C'est l'innovation qui crée la puissance* en améliorant la compétitivité. Il faut par conséquent s'approprier le plus rapidement possible les technologies de production des énergies renouvelables et les intégrer dans la stratégie de développement. Le Portugal, à titre d'exemple, possède un marché de l'éolien parce que ce pays a développé l'éolien depuis un bout de temps et a décidé d'installer d'un tenant 1000 MW. Les énergies renouvelables représentent une opportunité pour le Maroc car il reste encore beaucoup à faire dans ce domaine et puis c'est l'avenir des générations futures qui est enjeu. Sans évoquer les dommages que les énergies fossiles causent à l'environnement. Le développement et la création de richesses nécessitent une disponibilité de l'énergie.
- Les usines de production de ciment sont des unités très énergivores. Les cimentiers qui sont très sensibles au problème énergétique ont commencé à produire leur propre énergie en utilisant comme source l'éolien. C'est un exemple réussi et un nouveau modèle qu'il conviendrait d'imiter dans d'autres industries. La loi l'encourage et les excédents d'énergie pourraient être injectés dans le réseau national.
- Il faut étendre notre réseau électrique à la moyenne et basse tension parce que c'est là où il y a le plus de consommation par les projets de petite taille. Ce sont ces types de projets qui créent le plus d'emploi. L'exemple du chauffe eau solaire suffit pour illustrer l'importance des petits projets qui en s'accumulant produisent de grands effets. Pour encourager ces filières, il faut que l'Etat accorde des subventions et que les professionnels du bâtiment (les architectes en premier) soient sensibilisés par des formations adéquates.
- L'intégration industrielle ne pourra pas se faire correctement si on ne forme pas plus d'ingénieurs de haut niveau et de main d'œuvre qualifiée. Construire des usines et mettre en place des plates-formes performantes n'est pas une fin en soit. Il faut former les ressources humaines capables de faire marcher ces usines, de les entretenir et d'innover chaque fois que c'est nécessaire.
- Par ailleurs, comme décrit par J. Rifkin dans son ouvrage «la troisième révolution industrielle» que nous vivons au XXI<sup>ème</sup> siècle est basée sur la combinaison des énergies renouvelables et des réseaux de communication dématérialisés. Beaucoup d'être humains vont produire leur propre énergie verte dans leur domicile et la partager entre eux via des réseaux intelligents. Il est important que le Maroc soit partie prenante de cette révolution qui est en train de se mettre en place et de modifier l'économie mondiale et les habitudes des populations.
- La transition énergétique est évidemment un choix et elle a un prix.
- L'industrialisation au niveau des sources d'énergie renouvelables va créer un besoin croissant en Recherche, Développement et Innovation (RDI). C'est ce besoin de développement qui est à la base de la créativité, sans omettre que les principaux secteurs dans lesquels ce besoin va devenir de plus en plus pressant au fur et à mesure que les installations de production d'énergie deviennent importantes sont :
- la recherche sur les procédés et les moyens de stockage de l'énergie. Les avancées dans ce domaine sont déjà remarquables mais il reste encore beaucoup à faire pour réellement satisfaire les besoins qui feraient baisser les prix de revient. Les températures atteintes

dans le solaire à concentrations sont de plus en plus élevées et les matériaux et les fluides utilisés doivent être les plus performants possibles.

- La recherche sur l'énergie photovoltaïque est à la portée des potentialités du Maroc. On ne peut pas évoquer la production d'électricité par les panneaux solaires PV sans parler des technologies de stockage de l'énergie produite et des réseaux électriques du futur. Ce domaine est en pleine mutation car les cellules au silicium classiquement utilisées ont des rendements bas et des prix élevés. Les domaines de recherche sont vastes et prometteurs. L'émergence de matériaux alternatifs (tel que la pérovskite) avec des rendements dépassant 15% est aussi un vaste champ d'investigation en raison des rendements et de la simplicité des méthodes de préparation que les universitaires marocains savent synthétiser. Il y a également toute la série de matériaux et de technologies émergentes à base de sélénium de cuivre indium gallium.
- Dans ce domaine du photovoltaïque la RDI sur le PV-organique avec de petites molécules pourrait permettre au Maroc de développer son propre know-how et aux universitaires de créer des spin-off qui pourraient fabriquer à bas coût des produits PV et peut-être même exporter vers d'autres pays.
- Les batteries au lithium qui sont actuellement utilisées sont chères. C'est un domaine de recherche qu'il conviendrait de développer car sans batteries la voiture électrique et les autres moyens de mobilité resteront des produits d'utilité limitée. Il y a aussi les recherches sur les piles à combustible qui sont aussi un moyen de production d'énergie important.
- Dans le secteur de l'énergie éolienne, il y a des propositions de recherche sur la conception et la construction des pales dont la nature et la taille ne cessent de changer et croître. A lui seul cet élément peut amener des améliorations significatives de rendement.
- Dans la construction mécanique, les supports de miroirs des centrales solaires par exemple, peuvent être fabriqués dans d'autres matériaux que l'acier. De même les miroirs au lieu d'être en verre, on peut les déposer sous forme parabolique de film de mylar (polyéthylène téréphtalate) sur des supports en béton. La Société Suisse Airlight, est en voie de construction, sur ce modèle, un site de production d'énergie renouvelable à Aït Baha. Elle utilise avec succès le béton comme socle de miroirs et pour le stockage du gravier chauffé avec de l'air à 600°C. L'air a été utilisé comme vecteur thermique car il est gratuit et non polluant. Il y a évidemment là aussi de la R&D qu'il faut développer.
- Le choix des niches où il conviendrait impérativement d'investir pour accroître notre intégration industrielle doit faire l'objet d'un examen minutieux. Comme preuve de cette précaution on peut citer le secteur de l'automobile dans lequel le Maroc avait décidé d'investir mais dans lequel le taux d'intégration n'a jamais à ce jour dépassé 40%. Dans les projets industriels il faut avoir un timing et des leviers précis sur lesquels on peut agir pour atteindre les objectifs fixés.

- **M. Amrane** (Modérateur)

J'invite M. Badr Ikken et le Professeur Omar Fassi-Fehri pour procéder à la signature de la convention de coopération entre l'IRESEN et l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

**Signature de convention de coopération  
entre  
Institut de Recherche en Energie Solaire et Energies Nouvelles (IRESEN)  
et  
l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques**



- **Pr. Mahfoud ZIYAD** (Directeur des Séances)

Nous allons entamer le deuxième panel qui porte sur le développement et l'intégration industrielle des énergies renouvelables et qui sera modéré par M. Ahmed Nekkouche, Président Directeur-Général de NAREVA Holding.

***Panel 2 :***

***Développement et intégration industrielle  
en énergies renouvelables***

**Modérateur : Mr. Ahmed Nakkouch**



**Rapporteur : Pr. Mahfoud Ziyad**





## Panel 2 : Développement et intégration industrielle en énergies renouvelables

### Intervenants :

Ahmed Baroudi (SIE)



Ahmad Hadri Haris (Malaisie)



Mezzour Ryad (CGEM)



Saïd Mouline (ADEREE)



Abderrahim El Hafidi (Ministère EMEE)



Noureddine El Aoufi (AHIIST)



Mauro Pedretti (Airlight Energy)





## LES CONDITIONS DE LA TRANSITION ENERGETIQUE AU MAROC VERS UNE SECONDE GRANDE TRANSFORMATION?

*Pr. Noureddine El Aoufi*



### 1. Nouveaux choix énergétiques

#### 1. 1. Une dépendance énergétique...

La situation énergétique nationale est caractérisée par les traits structurels suivants :

- Une forte dépendance des approvisionnements étrangers : 94,6% en 2009.
- La facture énergétique s'est élevée à plus de 54 milliards de dirhams en 2009.
- Les importations de ressources énergétiques représentent plus de 20% des importations totales du Maroc, soit le deuxième plus important poste après les demi-produits.
- La contribution du secteur énergétique à l'économie marocaine représente 7% du PIB.
- La consommation augmente de façon constant : 15,1 Millions Tep.

Une telle dépendance implique une rupture, en termes stratégiques, de la politique énergétique fondée sur :

- Une diversification des sources d'énergie (entamée depuis le second choc pétrolier) : l'hydraulique, l'éolien ou le gaz naturel (le pétrole et le charbon demeurant les principales sources d'énergie utilisées).
- Une action sur la norme de consommation nationale d'énergie. De fait, la part du pétrole et du charbon dans la consommation d'énergie primaire tend à baisser depuis plusieurs années (respectivement, moins de 60% depuis 2006 et 27.5% en 2007),

contre une augmentation de la part de l'énergie éolienne et du gaz naturel (4.7% et 1.8% en 2007, respectivement).

- Une prise en compte du modèle de consommation et des ménages : le gasoil, le propane, le butane et le gaz de pétrole liquéfié sont des biens de consommation finale et sont utilisés dans les transports, l'agriculture, la pêche ou le secteur résidentiel. Le charbon, le gaz naturel, le fuel ou l'énergie hydraulique et éolienne sont considérés comme des biens de consommation intermédiaire et sont utilisés dans la production d'électricité. Le carburéacteur est un bien de consommation final utilisé dans le secteur du trafic aérien.

## **1.2. ... Pouvant être atténuée par le choix des énergies renouvelables**

Voici à grands traits les éléments constitutifs de la nouvelle stratégie énergétique nationale :

### ***Objectifs :***

- renforcer la sécurité d'approvisionnement,
- assurer la disponibilité de l'énergie,
- généraliser l'accessibilité à des coûts raisonnables,
- économiser en 2020 plus de 15% (dont 19% pour l'habitat).

### ***Moyens :***

- diversification des sources,
- développement du potentiel national en ressources énergétiques notamment renouvelables,
- promotion de l'efficacité énergétique,
- intégration plus étroite au système énergétique régional.

### ***Mise en œuvre :***

- rénovation du dispositif législatif et réglementaire,
- mise en place d'une nouvelle gouvernance à travers sa réorganisation et l'instauration de règles de transparence et de concurrence pour assurer une meilleure visibilité aux opérateurs et aux consommateurs.
- pilotage de cette réelle mutation du paysage énergétique national nécessite le renforcement des capacités de gestion, la mise à niveau des ressources humaines et matérielles des différents acteurs et leur sensibilisation aux impératifs de ce changement aussi bien au niveau technologique que sociétal.

Dans la même perspective, le Maroc a lancé :

- le Plan solaire (2 novembre 2009 à Ouarzazate),
- le Programme intégré de l'énergie éolienne (28 juin 2010 à Tanger).

## 2. Les conditions nationales de la transition énergétique

### 2.1. Une seconde transformation ?

(i) Les modèles énergétiques classiques ont été, selon Jean-Marie Chevalier et al. (2014), “pensés et conçus autour de la production et de réseaux centralisés acheminant des énergies programmables et pilotables (hydraulique, thermique, nucléaire?) vers des consommateurs “passifs”. Le modèle économique associé était simple : fournir de l’énergie au plus grand nombre, aux prix les plus compétitifs possibles, dans un cadre national ou régional bien défini.” Le défi de demain est de passer à une autre ère, celle de “l’intelligence des réseaux”.

La révolution énergétique “consistera à injecter encore plus d’intelligence, c’est-à-dire une plus grande capacité d’adaptation et de souplesse à tous les niveaux des systèmes énergétiques, de l’amont à l’aval du cycle de production-consommation.”

En amont, côté offre, un nouveau modèle de production, plus complexe et varié, verra le jour. Un “mix” diversifié, associant des énergies traditionnelles et renouvelables, se combinera et transitera sur les grands réseaux électriques transnationaux qui permettront, plus que jamais, de tirer parti des complémentarités entre les différents moyens de production. Ces réseaux énergétiques de demain permettront d’anticiper et d’accueillir les énergies intermittentes (éolien, solaire, géothermique) et participeront ainsi activement à une économie “low carbone”.

En aval, côté demande, “la révolution énergétique passera aussi par une meilleure anticipation de la demande. Le consommateur-citoyen deviendra, demain, cogestionnaire des réseaux énergétiques et, bien au-delà de la télé relève ou de l’effacement de puissance, participera activement à un réseau électrique 2.0 qui concentrera plus que jamais l’ensemble des nouvelles technologies de l’information et de la communication”. “Le consommateur devient acteur du système électrique qui l’environne.”

(ii) Au niveau strictement économique, on est en présence de ce que J. Rifkin (2012) appelle la «troisième révolution industrielle» (TRI), qui aurait démarré au milieu du XXe siècle avec le développement des nouvelles technologies de l’information et de la communication. Le passage de l’économie fondée sur le pétrole à «l’économie décarbonée» (produisant moins de gaz à effet de serre) implique, dans la même perspective, un modèle de production d’énergie non plus «centralisée», mais «distribuée», c’est-à-dire inscrite dans un «réseau intelligent» (comme la circulation de l’information dans l’Internet).

(iii) Au plan socio-économique et culturel, la nouvelle stratégie de développement nationale centrée sur les énergies renouvelables correspond à ce qu’on pourrait appeler une “Seconde Grande transformation” (K. Polanyi, 1944) impliquant une double intégration :

- Intégration de l’ensemble des stratégies sectorielles (Emergence, Maroc vert, Halieutis, Azur, Maroc Numeric, etc.).
- Intégration au sens d’“encastrement” (Polanyi, 1944 ; Granovetter, 1985), c’est-à-dire une appropriation par la population des enjeux de la transition énergétique et son adhésion, voire sa participation à la mise en œuvre du processus de la nouvelle stratégie.

Rappelons que pour Polanyi, la Grande Transformation fut à l'origine d'un processus de «désencastrement» de l'économie vis-à-vis de la société, traduisant une extension du marché à la société tout entière. Dans le même sens, selon M. Granovetter, toute action économique, aussi rationnelle soit-elle, ne peut atteindre ses objectifs que si elle est "encastrée" dans la société.

## **2.2. Savoir/Agir**

Par rapport à toute politique publique, il est deux attitudes différentes : une attitude plus ou moins optimiste et volontariste versus une attitude pessimiste plus ou moins radicale. La première est celle du décideur politique, la seconde procède d'une logique du soupçon. Entre les deux, il y a place pour une attitude médiane, combinant une double éthique de conviction et de responsabilité (Weber, 1919) et mobilisant les ressources du savoir scientifique : une attitude positive mais critique et/ou critique mais positive.

On peut partir du discours relatif à la nouvelle stratégie nationale (ce qui a été dit et, probablement, fait en partie) : les études techniques, l'expertise, le portefeuille de projets, le principe d'incitations aux investissements, le dispositif institutionnel, etc. Il serait, à ce stade, tout à fait légitime de s'interroger sur la contribution des universités nationales à l'élaboration de ce que j'appellerai le «savoir commun» devant sous-tendre cette stratégie, comme toutes les autres stratégies sectorielles en cours de mise en œuvre. Mais ce n'est pas le sujet.

### **2.2.1. A questions pratiques, réponses théoriques**

En revanche, deux questions méritent d'être soulignées : la question du financement requis par la conduite de la transition énergétique et celle de l'impact espéré de la mise en œuvre de la stratégie des énergies renouvelables.

(i) Concernant la première question, l'optimisation de la chaîne de valeur (production, distribution, consommation, contrôle, etc.) a un coût qu'il faut calculer en rapport avec les coûts d'opportunité, les rendements d'échelle, etc. Le coût total de la stratégie doit être correctement estimé et pris en compte dans l'arbitrage entre les différentes options qui peuvent se présenter. Bien que, en l'occurrence, les objectifs justifient largement les moyens, le choix stratégique l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables n'étant pas sujet à caution, il peut exister une pluralité de coût qu'il faut estimer et dont il faut trouver le financement. Comme pour la rénovation énergétique qui exige des plans financiers et organisationnels complexes devant se déployer à la fois au niveau central et des collectivités locales. A titre d'exemple, les USA ont mobilisé autour de cet enjeu 4,5 milliards de dollars, les bénéfices ayant été estimés entre 46 et 117 milliards de dollars d'ici à 2023.

On pourrait faire trois observations :

- La transition énergétique renvoie à un changement du modèle de développement au niveau mondial. Elle s'inscrit dans le prolongement de ce que les économistes (Jeremy Rifkin notamment) ont appelé la «Troisième Révolution industrielle» (TRI)

et correspond à une forte inflexion de trajectoire avec le passage d'une économie «centralisée» à une économie «distribuée». Première question : Est-ce qu'on pris la mesure exacte de cette inflexion ? Est-ce qu'on a bien saisi ses implications en termes politique, social, culturel?

- Il n'existe pas de modèle standard. La transition énergétique au Maroc ne peut être qu'une transition spécifique, une expérience qui doit frayer sa propre trajectoire, forger une application dédiée à partir du modèle générique.
- La transition n'est pas un processus spontané, mais un choix politique, stratégique, sociétal. Un choix qui, par conséquent, a un coût : d'une part, l'efficacité énergétique génère certes des gains, mais elle comporte un coût, celui de la rénovation des infrastructures classiques, et celui lié à la création des nouvelles infrastructures. D'autre part, les coûts liés à la mise en place des réseaux électriques intelligents. A titre d'exemple, les USA ont mobilisé autour de cet enjeu 4,5 milliards de dollars, les bénéfices ayant été estimés entre 46 et 117 milliards de dollars d'ici à 2023.

Bref, en termes de politique publique, la nouvelle stratégie nationale met en évidence un certain nombre de paramètres quantitatifs (les coûts d'opportunité, les rendements d'échelle, les externalités, les effets pervers, etc.) dont il convient de chercher un contenu explicatif au sein de la théorie économique, notamment en économie industrielle.

(ii) La seconde question a trait à l'impact de la stratégie des énergies renouvelables. Il s'agit d'un impact systémique, l'énergie étant transversale à la chaîne de valeur, elle tend à produire des effets de l'amont vers l'aval, de la production à la consommation, y compris les effets induits, les externalités, les effets pervers, au-delà de la sphère économique, sur l'ensemble de la société. L'impact systémique est d'autant plus complexe que la transition énergétique implique des modalités d'hybridation entre les infrastructures liées aux énergies classiques et celles dédiées aux énergies renouvelables.

Voici, schématiquement, ce qui est dit sur les «actions à entreprendre pour assurer l'intégration industrielle» :

- Accélérer le développement d'un tissu industriel national en mesure d'accompagner les projets de développement des énergies renouvelables et d'assurer la compétitivité requise à l'export.
- Promouvoir un tissu industriel dédié aux équipements énergétiquement performants et à l'appui des projets de promotion de l'efficacité énergétique.
- Transférer les compétences et les technologies des acteurs internationaux vers les industriels marocains, notamment à travers la conclusion de partenariats ou l'implantation des principaux acteurs du secteur.
- Offrir des incitations à l'investissement industriel dans la filière des énergies renouvelables et dans le domaine de l'efficacité énergétique (aide financière du Fonds de Développement énergétique., avantages accordés par l'Etat en matière d'incitation à l'investissement, incitations prévues pour les projets d'investissement situés au Clean Tech du technopôle d'Oujda).

### 2.1.2. *Intégration industrielle et développement*

La problématique de l'intégration industrielle (question centrale de ce panel) peut prendre appui sur trois perspectives théoriques complémentaires :

- D'abord, le Tableau des échanges inter sectoriels (TEI) comme processus de résolution effective des problèmes particuliers liés à la transition énergétique. Elaboré par l'économiste américain d'origine russe, Wassily Leontief (prix Noble d'économie en 1973) en 1941 et considéré comme une première application du modèle d'équilibre général, le TEI prend en compte l'interdépendance existant entre les secteurs de l'économie nationale et permet de calculer les inputs nécessaires à la réalisation d'un volume donné de la production nationale.
- Les modèles de l'économie comportementale et expérimentale, ensuite, peuvent offrir une meilleure connaissance des comportements des investisseurs, des préférences des consommateurs, des choix individuels, etc.
- Dans la même optique, enfin, pour anticiper et agir sur les comportements rationnels et obtenir l'adhésion des agents et, au-delà, des citoyens aux objectifs de la nouvelle stratégie, il y a lieu de mettre à profit les travaux de Richard Thaler et Cass Sunstein sur le Nudge («paternalisme bienveillant» ou «méthodes douces») permettant de fonder les «bonnes décisions» (l'administration Obama et le gouvernement de David Cameron s'inspirent du Nudge dans des domaines aussi variés que la santé, la fiscalité, le bien-être, notamment).

(iii) Les deux questions renvoient à la relation entre les choix publics et la production du savoir. L'action des pouvoirs publics est indécidable sans le savoir, le savoir économique en l'occurrence. Michel Foucault (2004) a montré que la gouvernamentalité commence avec la science économique, notamment les statistiques. L'économie offre aujourd'hui des instruments incontournables pour mieux définir les politiques publiques, préciser leurs objectifs, calculer leur impact, anticiper les comportements, évaluer leurs résultats, etc. Des modèles économétriques très sophistiqués permettent aujourd'hui de faire des simulations appropriées sur des réalités économiques complexes et instables. Mais les modèles ne sont pertinents que dès lors qu'ils sont justifiés dans le cadre de la théorie économique. C'est cette dernière qui octroie validité et pertinence au choix instrumental, au travail d'expertise.

Comme il a été souligné, la stratégie des énergies renouvelables a fait l'objet d'une expertise, notamment technique. Les données sont disponibles, mais on peut s'interroger, à bon escient, sur les hypothèses, les justifications théoriques, les options méthodologiques, les logiques ayant dicté les choix opérés. A-t-on pris en compte l'objectif de «complémentarité» avec les autres stratégies sectorielles (Emergence, Maroc, vert, Halieutis, Numeric, etc.) et le principe de «convergence» consubstantiel à toute stratégie nationale de développement économique et social? Qu'en est-il de l'impératif de mise en synergie des territoires et de renforcement des capacités du local à gérer la transition vers des formes de gouvernance décentralisée et «distribuée» que requiert le projet de «régionalisation avancée»?

Est-ce qu'on a pu estimer l'intensité escomptée des échanges inter sectoriels et la contribution des énergies renouvelables au noircissement de la matrice Leontief ? La transition énergétique ne manquera pas de produire des effets sur la «démographie des entreprises» en général, et en termes de destruction et de création d'emplois en particulier. Le contenu en emplois doit constituer, toutes choses égales d'ailleurs, le critère déterminant dans l'arbitrage entre les options. Il importe, par ailleurs, d'anticiper les changements au niveau de la société tout entière. Si le choix stratégique fait l'unanimité, le débat public s'avère indispensable pour éclairer les arbitrages à faire entre des options concurrentielles en matière de processus de mise en œuvre. Il constitue la «voie douce» (une modalité pratique de type Nudge est à élaborer par les pouvoirs publics) vers l'adhésion de la société aux enjeux holistiques de la transition énergétique.

### **Encadré 1: La nouvelle stratégie énergétique nationale**

Le Maroc a mis en place une politique énergétique nationale favorable au développement des énergies renouvelables, pour sécuriser son approvisionnement énergétique dans un contexte de forte croissance de la demande énergétique, pour maîtriser les coûts futurs des services énergétiques par rapport à la tendance haussière des cours des produits pétroliers et enfin pour préserver l'environnement en atténuant les émissions de gaz à effet de serre.

L'une des priorités majeures de la nouvelle stratégie énergétique élaborée par le gouvernement conformément aux Hautes Directives Royales est de porter à 42% la contribution des énergies renouvelables dans la production électrique en 2020.

Une volonté politique chiffrée et concrète :

- Mise en place d'un nouveau cadre législatif, notamment la loi n°13-09 relative aux énergies renouvelables, et la loi n°16-09 relative à la création d'une Agence dédiée aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique.
- Création d'un fonds de développement énergétique doté de 1 Md USD et de la SIE (Société d'Investissements Énergétiques) dotée de 1 Md MAD dont le but est d'investir dans des projets EnR.
- Planification d'une série d'investissements comme le programme d'amélioration du réseau national à l'horizon 2015, d'un montant de 21 milliards de dirhams. L'interconnexion avec l'Espagne sera renforcée avec une troisième ligne électrique qui augmentera la capacité d'échange à 2.100 MW.
- Création d'une Agence Nationale de l'Energie Solaire – MASEN pour gérer le programme Solaire de 2.000 MW à l'horizon 2020.
- Lancement par l'ONE du Programme intégré éolien de 1.000 MW à l'horizon 2020.
- Plan national de la biomasse énergie, dans lequel, il est prévu de produire, à court terme, 1.160 GWh thermique/an à l'horizon 2012 (puissance installée 45 MW) et à moyen terme, 3.778 GWh thermique/an à l'horizon 2020 (puissance installée 144 MW).

**Encadré 2 : Tableau input-output (Leontief, 1966)**

Branches	Agriculture	Industrie	Demande finale	Production totale
<b>Industrie</b>	25	20	55	100
<b>Agriculture</b>	14	6	30	50
<b>Travail</b>	80	180	-	260

Travail : input primaire

**Coefficients techniques (hypothèse de rendements d'échelle constants)**

Branches	Agriculture	Industrie
<b>Agriculture</b>	0.25 (25/100)	0.40 (20/50)
<b>Industrie</b>	0.14 (14/100)	0.12 (6/50)
<b>Travail</b>	0.80 (80/100)	3.60 (180/50)

**Références :**

- [1] Chevalier Jean-Marie (2011), Les nouveaux défis de l'énergie (climat-économie-géopolitique), Economica, Paris.
- [2] Chevalier Jean-Marie (2004), Les grandes batailles de l'énergie, Gallimard, Paris.
- [3] Chevalier Jean-Marie, Cruciani Michel, Geoffron Patrice (2014), Transition énergétique : les vrais choix, Odile Jacob, Paris.
- [4] Chevalier Jean-Marie, Derdevet Michel et Geoffron Patrice (2012), L'avenir énergétique : cartes sur table, Folio Actuel, Paris.
- [5] Foucault Michel (2004), Sécurité, Territoire, Population. Cours au Collège de France 1977-1978, Editions Gallimard/Hautes Etudes, Paris.
- [6] Granovetter M. (1985), «Economic Action and Social Structure : The Problem of Embeddedness», The American Journal of Sociology, Vol. 91, No. 3 (Nov., 1985), University of Chicago Press, pp. 481-510.
- [7] Leontief Wassily (1966), Input-Output Economics, Oxford University Press, Oxford, 1966.
- [8] Leontief W. et al. (1953), Studies in the Structure of the American Economy, International Arts and Sciences Press, White Plains, 1953.
- [9] Polanyi Karl (1944), The Great Transformation. The Political and Economic Origins of Our Time, Bacon Press, Boston.
- [10] Rifkin Jeremy (2012), La troisième révolution industrielle. Comment le pouvoir latéral va transformer l'énergie, l'économie et le monde, Éditions Les Liens qui libèrent, Paris.
- [11] Thaler Richard et Sunstein Cass, (2008), Nudge. Improving Decisions about Health, Wealth, and Happiness, New Haven, Yale University Press. Traduction française, Nudge, La méthode douce pour inspirer la bonne décision, Vuibert 2010.
- [12] Weber Max (1919), Le savant et le politique, Plon, 10/18, Paris, 1995.

**Webographie :**

www.mem.gov.ma

## Note de synthèse du panel

Ce Panel a été modéré par Monsieur Obaid Amrane de Moroccan Agency for Solar Energy (MASEN).

Le modérateur a ouvert les travaux du Panel par une présentation de la thématique de ce dernier. Il a décrit le contexte dans lequel s'inscrit la stratégie nationale de l'énergie conçue pour répondre à deux objectifs essentiels : une réduction substantielle de la dépendance énergétique du Maroc par rapport aux importations et un approvisionnement en sources d'énergie durables à même de transformer les contraintes liées à l'énergie en opportunités.

Cette stratégie qui se base sur l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, solaire, éolienne et hydraulique, nécessite des ressources humaines pour sa mise en œuvre ainsi que des activités de R&D et d'innovation pour rendre plus compétitives les technologies utilisées. Les animateurs du panel sont ensuite successivement intervenus pour présenter des recommandations susceptibles d'assurer un meilleur accompagnement à la stratégie nationale en matière de formation et de Recherche-Développement-Innovation en sources d'énergie renouvelables.

Le premier intervenant après avoir défini le champ d'application des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, et évoqué le caractère multidisciplinaire de ces concepts, a énuméré les mécanismes susceptibles d'être mis en place pour assurer une meilleure collaboration entre le monde académique et le monde socioéconomique dans le domaine des énergies renouvelables, dont notamment :

- la mise en place d'un système de formation par alternance,
- l'autorisation de mobilité des enseignants-chercheurs et des cadres d'entreprises entre les établissements d'enseignement supérieur et ces dernières,
- l'encouragement de la réalisation de thèses de doctorat sur des sujets industriels réalisés au sein des entreprises (bourses CIFRE, par exemple),
- l'organisation de formations alternées,
- la contribution des professionnels à la conception des cursus et à l'enseignement,
- la mise en place d'un fonds de recherche pour assurer le recrutement de jeunes talents et des post-doctorants,
- la création d'incitatifs fiscaux au développement de la R&D dans les entreprises,
- le développement de l'offre de formation continue au profit des cadres d'entreprises,
- le développement des activités de R&D collaboratives et d'expertise par les établissements d'enseignement supérieur et de recherche au service des entreprises et la motivation des enseignants-chercheurs pour s'impliquer dans de telles activités.

Le second intervenant a énuméré aussi quelques thématiques prioritaires en matière des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique dont notamment le stockage de l'énergie, la séquestration du CO<sub>2</sub>, l'efficacité énergétique dans le bâtiment et dans l'industrie.

Le représentant de l'ONEE, après une brève présentation de l'office a décrit la Direction chargée de la Formation continue à l'ONEE ainsi que les activités menées par cette direction en relation avec les universités en générale et les écoles d'ingénieur en particulier. L'ONEE réalise une importante activité d'études dans le cadre de travaux de fin d'études réalisés par les élèves-ingénieurs des écoles d'ingénieurs nationales. Il a aussi mentionné l'implication de sa direction dans la mise en place par l'OFPPT d'un institut de formation des techniciens dans le domaine des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique.

Le représentant de l'OCP après avoir évoqué la place occupée par l'office dans l'économie nationale a mis en exergue la consommation importante de l'OCP en énergie (6%) et en eau (4%), et la volonté de ce groupe de rationaliser l'utilisation de ces dernières notamment en créant une filiale dédiée à la gestion des utilités (OCP-Utilities), il a énuméré les différents projets programmés par l'OCP en relation avec l'énergie et l'eau :

- assurer l'intégration énergétique des sites industriels et des sites miniers en exportant l'énergie électrique des premiers vers les seconds;
- réaliser le projet 'Slurry Pipeline' de transport des phosphates de Khouribga à Jorf Lasfar qui va permettre une réduction substantielle de la consommation d'énergie par une réduction importante des quantités de phosphates devant être séchés;
- développer l'utilisation de l'eau de dessalement et de recyclage des eaux traitées de lavage des phosphates des sites miniers;
- réaliser la ville verte Mohammed VI et la mine verte de Khouribga;
- assurer la valorisation énergétique des déchets domestiques dans les villes minières et industrielles;
- développer des projets de l'énergie verte en collaboration avec l'IRESEN;
- aider à l'incubation des projets en matière d'énergie.

Le quatrième intervenant a évoqué l'orientation des thématiques de recherche dans le domaine des cellules photovoltaïques. Il a distingué quatre générations de développements technologiques dans ce domaine :

- la première génération de cellules au silicium qui constituent l'approvisionnement principal du marché actuel des cellules photovoltaïques. Cette génération technologique a atteint sa maturité commerciale à 90% et présente donc peu d'intérêt pour la recherche;
- la deuxième génération des cellules à couches mince qui sont elles aussi bien introduites sur le marché et qui présente un faible intérêt pour les activités de recherche;
- la troisième génération des cellules organiques et aux nanomatériaux qui présente un fort potentiel en matière de recherche pour améliorer le rendement de ces cellules qui est encore relativement faible;

- la quatrième génération des cellules multi-jonctions susceptibles d'améliorer nettement les coûts de production de l'énergie photovoltaïque présentant donc un fort potentiel de développement est encore à ses débuts. La recherche sur cette génération de cellule est donc très recommandée.

Le directeur de l'IRESSEN a ensuite indiqué que cet institut a été créé en 2011 dans le cadre de la mise en œuvre de la stratégie nationale sur l'énergie, en tant qu'agence de moyens, qui soutient les activités de R&D dans le domaine de l'énergie solaire et des énergies nouvelles au Maroc. On peut noter que l'IRESSEN a lancé les principales activités suivantes :

- lancement de trois appels à projets ayant débouché sur 24 projets ayant bénéficié d'un financement total de 75 millions de DH et impliquant 106 consortiums, 48 partenaires scientifiques et 21 partenaires industriels;
- la mise en place de plateformes de R&D sur le site de la ville verte de Benguerir pour un montant total de 110 MDH. Ces plateformes seront mises à disposition des chercheurs en provenance de différents établissements d'enseignement supérieur et de recherche travaillant sur les thématiques couvertes par ces plateformes.

En prenant en compte l'expérience de l'IRESSEN en matière de gestion des projets de R&D, il a été formulé les recommandations suivantes en vue d'améliorer l'efficacité de la gestion des projets de R&D :

- assurer une meilleure coordination et concertation entre les membres de chaque consortium,
- permettre la gestion des budgets des projets de recherche aux responsables des projets,
- améliorer la gestion financière dans les universités,
- développer les compétences linguistiques et entrepreneuriales des étudiants.

Le dernier intervenant a commencé par situer l'importance des énergies marines au monde et au niveau national en les classant en cinq catégories: l'énergie des vagues, l'énergie des marées, l'énergie des courants océaniques, l'énergie des gradients thermiques et l'énergie des gradients de salinité.

Après avoir précisé l'importance de l'énergie des vagues qui constitue la thématique prioritaire de son équipe de recherche (90 GW sur la côte de l'océan atlantique et 2,5 GW sur la côte méditerranéenne), il a présenté son projet de recherche qu'il mène à l'EMI sur cette forme d'énergie, dans le cadre de la coopération avec une université espagnole. Ce projet consiste à développer une double turbine réversible pour l'exploitation de l'énergie des vagues. Il a débouché sur la réalisation d'un banc d'essais au Maroc grâce au financement de l'Action intégrée maroco-espagnole qui a permis de recruter un ingénieur pour le projet via une entreprise marocaine, ce qui constitue une bonne pratique permettant de contourner les difficultés de gestion des projets de recherche vécues actuellement par les universités publiques marocaines.

Mis à part les recommandations sur le choix des thématiques de recherche dans le domaine de l'énergie solaire photovoltaïque, les travaux du Panel ont permis de poser des problématiques d'ordre général sans spécificités particulières aux énergies renouvelables. Toutefois, il y a lieu de signaler les deux précisions suivantes d'une grande importance :

- l'existence d'une étude sur les besoins en formation du plan solaire marocains,
- les activités de soutien à la R&D dans le domaine de l'énergie solaire et des énergies nouvelles menées par IRESEN.

Cependant, les efforts d'IRESEN ne suffisent pas pour mener une bonne activité de R&D. En effet, ces activités étant réalisées essentiellement par les universités publiques, si les problématiques d'ordre général mentionnées ci-dessus en relation avec la gestion des projets ne sont pas résolues, on ne devrait pas s'attendre à une efficacité meilleure des activités de R&D dans le domaine des énergies renouvelables.

---

**- Pr. Mahfoud ZIYAD** (Directeur des Séances)

Compte tenu du retard que nous avons accumulé, nous allons tout simplement shunter la pause-café pour enchaîner avec les 3 présentations restantes. Avant cela, nous avons parmi nous des collègues d'académies africaines qui voudraient saluer la compagnie. La parole est à Monsieur Mansourou Modachirou (Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences, des Arts et des Lettres du Bénin).

**Allocution du Pr. Mansourou MOUDACHIROU****Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences,  
des Arts et des Lettres du Bénin****Monsieur le Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques,  
Monsieur le Chancelier,  
Mesdames et Messieurs les académiciens,  
Mesdames et Messieurs les chercheurs et enseignants-chercheurs,**

Je voudrais d'abord partager avec vous le plaisir et le bonheur que j'éprouve en participant à cette session plénière de votre Académie et en séjournant pour la première fois dans votre beau pays le Maroc.

Monsieur le Secrétaire Perpétuel, soyez remercié pour cette opportunité que vous me donnez d'être ici ce jour. Je voudrais aussi m'acquitter d'un devoir très important, celui de vous transmettre de la part de notre assemblée plénière, réunie le 15 février dernier, qui vous présente toute sa gratitude pour avoir participé à notre rentrée solennelle du 12 avril 2013. Vous avez en effet envoyé une délégation de haut niveau conduite par le Chancelier lui-même qui a présenté une communication sur le thème de cette rentrée solennelle pendant les deux jours de l'atelier préparatoire dont le thème était : la problématique de l'énergie.

Monsieur le Secrétaire Perpétuel, tous les participants à notre assemblée plénière et notre président le Professeur Eusèbe Alihonou, m'ont instruit de vous présenter tous nos remerciements. Je profite de cette tribune pour remercier les académies des sciences et les réseaux d'académies qui ont participé à cette rentrée solennelle. Je veux citer l'Académie des Sciences de France, le Groupe Inter-Académique pour le Développement (GID), le NASAC et l'Académie Nationale des Sciences et Techniques du Sénégal qui nous accompagnent depuis la naissance de notre académie il y a 3 ans.

Deux périodes m'ont intéressé pendant cette session : la première, c'est la partie scientifique qui se déroule depuis hier dont le thème sur l'énergie nous intéresse puisque tous nos pays sont confrontés au problème de l'énergie. Nous savons que sans énergie il n'y a pas de développement. La deuxième, c'est les relations que nous pouvons nouer avec les autres académies en particulier avec l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et toutes les structures d'enseignement et de recherche du Maroc pour nous aider à former nos jeunes et à leur permettre de participer au développement de nos pays. Nous avons déjà commencé puisque, grâce à vous Monsieur le Chancelier, nous avons déjà permis à l'Institut Supérieur des Sciences et Techniques du Bénin, que j'ai l'honneur de diriger, de signer une convention avec l'Université Mohammed V – Agdal de Rabat que j'aurai l'occasion de visiter.

Monsieur le Secrétaire Perpétuel, j'admire votre humilité lorsque vous avez dit hier qu'après huit ans vous étiez encore à faire des petits pas, une paraphrase peut-être, mais c'est des grands pas pour nous et comme on dit chez nous : les chevaux galopent en regardant les chevaux qui sont devant. Nous vous suivrons, Monsieur le Secrétaire Perpétuel, pour l'évolution positive de notre académie et pour le développement de notre pays.

Voilà ce que j'ai à vous transmettre et j'espère que pendant mon séjour nous pourrions discuter et échanger sur tout ce qui peut permettre à nos deux académies de rentrer dans des relations bilatérales qui nous permettent d'évoluer comme vous.

Je vous remercie.

---

- **Pr. Mahfoud ZIYAD** (Directeur des Séances)

Je vais donner la parole à Monsieur Sammy Chumbow, Vice-président de l'Académie des Sciences du Cameroun.

## **Allocution du Pr. Sammy CHUMBOW**

**Vice-président de l'Académie des Sciences  
du Cameroun**



**Monsieur le Secrétaire Perpétuel,  
Monsieur le Chancelier,  
Monsieur le Directeur des Séances,  
Messieurs les membres de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques,  
Chers collègues,**

C'est un réel plaisir pour moi de prendre la parole devant vous cet après-midi pour dire quelques mots. Permettez-moi de remercier tout d'abord le Pr. Omar Fassi-Fehri, Secrétaire Perpétuel, et le Pr. Mostapha Bousmina, Chancelier, pour l'invitation de l'Académie des Sciences du Cameroun à prendre part à votre session plénière. Notre académie, fondée en 1990, entretient de très bonnes relations avec l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques. Nos académies travaillent ensemble pour réaliser l'objectif commun : la science au service de la nation, la science au service de la science; et surtout nous travaillons ensemble pour la mise en œuvre du plan stratégique du NASAC (Network of African Science Academies) dont le président actuel est le Chancelier Mostapha Bousmina élu à la session de novembre 2013.

Chers collègues, l'élection du Chancelier Mostapha Bousmina par une majorité considérable devant des candidats de taille, tel que le Nigéria avec son poids démographique, constitue un honneur pour l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, un honneur dans la mesure où nous avons tenu compte non seulement des mérites personnels et avérés de l'enseignant-chercheur de renommée internationale du Chancelier Mostapha Bousmina mais surtout aussi parce que nous avons tenu compte du travail abattu par votre académie ces dernières années avec le soutien de l'Etat. Nous vous souhaitons une bonne marche à la recherche des solutions au service de la nation comme vous le faites si bien et au service de la science tout court. Le thème de cette session plénière : les sources d'énergies renouvelables et transition énergétique – Faits, défis et opportunités pour le Maroc se trouve être un sujet d'importance capitale pour la nation et surtout pour l'Afrique dans la mesure où, comme l'a dit mon collègue tout à l'heure : sans énergie, il n'y a point de développement.

Ce thème revêt aussi pour nous au Cameroun un intérêt spécial et particulier. En effet, nos collègues des universités au Cameroun ont des équipes de recherche dans le domaine d'énergies renouvelables, mais ces équipes ne sont pas financées par l'Etat. Pour cause, le Cameroun se trouve être le deuxième pays en Afrique, après le Congo-Kinshasa, en matière de ressources hydriques avec une pléthore de fleuves et de montagnes. Donc le gouvernement pense que les énergies renouvelables ne sont pas une priorité. Cependant, notre Académie a eu l'occasion de faire savoir à l'Etat que dans la perspective de sa stratégie de l'émergence en 2035, l'Etat a non seulement la responsabilité mais aussi le

devoir de diversifier les ressources et ses sources d'énergies devant les intempéries et les catastrophes naturelles et surtout devant l'effet néfaste des changements climatiques. En effet, nous constatons au Cameroun et presque partout en Afrique que les changements climatiques ont un effet dévastateur. Le grand lac Tchad par exemple, limitrophe de quatre grands pays humides (Niger, Nigeria, Tchad et Cameroun) n'a que 25% du volume d'eau qu'il avait il y a 50 ans dans les années 60. La désertification et la sécheresse nous ont joué un mauvais tour et cela s'étend même aux fleuves et aux rivières. Donc le thème de cette session plénière : les faits, défis et opportunités des sources d'énergies renouvelables devient indispensable pour nous. Quand je dirai aux collègues, au retour, au Maroc même le potentiel énergétique des vagues océaniques est mis à contribution dans la recherche des sources et ressources d'énergie, beaucoup vont sourire et même rire parce qu'au Cameroun les vagues ne sont bonnes que pour la contemplation des touristes. Comme quoi, comme disent les anglo-saxons : necessity is the mother of invention.

**Monsieur le Secrétaire Perpétuel,  
Monsieur le Chancelier,**

Vos chercheurs font preuve d'ingéniosité pour trouver des solutions aux problèmes épineux dans les domaines des énergies renouvelables. Nous venons de le constater au cours de ces séances, je vous en félicite.

Pour conclure, nous avons été très sensibles et très attentifs aux présentations et j'ai pris bonne note de tout ce que j'ai trouvé d'intéressant. Je peux vous assurer qu'au retour, ce que j'ai appris ici sera l'objet d'un effet multiplicateur dans les ateliers que nous organisons à l'intention de nos chercheurs et collègues des universités.

Au nom du Président de l'Académie des Sciences du Cameroun et au nom de nos collègues de l'Académie, nous vous souhaitons une bonne et fructueuse année 2014. Merci pour votre aimable attention.

---

**- Pr. Mahfoud ZIYAD** (Directeur des Séances)

Merci beaucoup pour ce témoignage.

**- Pr. Omar Fassi-Fehri** (Secrétaire Perpétuel)

Chers collègues,

Je voudrais, au nom de vous tous, encore une fois souhaiter la bienvenue à nos collègues du Cameroun et du Bénin et encore une fois les remercier pour leur participation à notre session plénière solennelle et les remercier pour les paroles qu'ils viennent de prononcer à l'encontre de notre Académie. Nous sommes décidés à développer encore davantage les relations de coopération sur le plan scientifique entre nos académies et au service de nos peuples et nos pays. Merci.

---

**- Pr. Mahfoud ZIYAD** (Directeur des Séances)

Nous allons entamer la dernière ligne droite, la troisième séance qui s'intitule : **opportunités et applications des énergies renouvelables**. Nous avons 3 exposés et je vais appeler tout de suite M. Julian Blanco (CIEMAT, Plataforma solar de Almería, Espagne).

**SÉANCE III :**  
**OPPORTUNITÉS ET APPLICATIONS**  
**DES ÉNERGIES NOUVELABLES**



## SUSTAINABLE WATER SUPPLY IN THE MENA REGION BY CONCENTRATING SOLAR POWER AND DESALINATION

*Julian BLANCO, Diego-Cesar ALARCON  
and Guillermo ZARAGOZA  
CIEMAT-Plataforma Solar Almeria, Espagne  
julian.blanco@psa.es*



### Abstract

The typical geographical coincidence of water shortage and other water problems and high solar radiation is widely recognized, so the use of solar energy to simultaneously address water and power production is one of their most sustainable solutions. Therefore, solar desalination technologies by either combining photovoltaics and reverse osmosis facilities or by the integration of water desalination technologies in concentrating solar power plants is a very relevant area of Solar Energy research which, if successful, will certainly accelerate the large-scale implementation of solar energy, especially in regions where fresh water is scarce. One of these regions is Middle East and North Africa (MENA), where the combination of significant population growth and high water demand anticipates problematic feasible scenarios in the coming years/decades due to the very limited renewable water sources and the current nearly complete dependence of fossil fuels. Considering the previous context in the specific case of MENA countries, it is difficult to imagine any adequate solution without a significant contribution of renewable energies, being solar energy the first obvious candidate to be introduced due to its very high potential in the region. Also, among different solar energy technologies, concentrating solar power has the highest potential, being this the reason why large solar development plans and projects, such as the Desertec Initiative and Mediterranean Solar Plan, are currently underway in the MENA region. If today's solar thermal technology to power production is available and market ready, the next logical step to make solar technologies even more attractive at regions such as MENA would be the integration of power and desalination facilities making use of solar energy as its primary energy source. This integration could be a very good solution because it could provide significant

attractive benefits to the concept. However, in addition to all the potential benefits of combined power and water production, desalination integration into concentrating solar power plants is not a straightforward issue yet, as there are several unsolved technological issues, which still need specific research, development and demonstration initiatives to define the best concepts and systems.

## **INTRODUCTION: THE WATER PROBLEM**

The 20th century brought unprecedented development in the history of mankind with extraordinary advances in every discipline of science and technology. However, we are now realizing that the associated evolution of human society has not always been the best, and the overall price “paid” may be considered excessive from certain points of view. The key concept which appeared late in the last century, and which nobody doubts will be of capital importance within the present one, is “sustainability”. Indeed, the cost associated with that impressive past development and (so-called) progress, if “business continues as usual”, is placing the future of mankind at severe risk.

The main factor behind this unsustainable path is undoubtedly global population growth, which is also the main factor behind all the major problems mankind will face in the 21st century. It took 1200 years for the population to double from 500 million to 1 billion people (in 1800), but just 130 years to double again (to 2 billion, in 1930), and another 46 years to double once again (to 4 billion people, in 1976). There were already 6 billion people in 1999 (the United Nations gave this honour to a child born in Sarajevo, in October 12th 1999), officially arriving to 7 billion people in November 2011. This dramatic population increase has many current serious implications and consequences, as the pressure on natural resources, negligible in previous centuries, is now on the verge of reaching the limit (if not yet surpassed) of the planet’s sustainability. This pressure is the main reason for the most serious problems we now face, being water clearly the most serious one.

Even though access to water is essential to life and a fundamental human right, today more than 1 billion people are denied clean water and 2.6 billion people lack access to adequate sanitation, and these figures capture only one dimension of the problem. At the start of the 21st century, unclean water is the world’s second largest killer of children, as every year some 1.8 million children die as a result of diarrhea and other diseases caused by poor water quality and lack of sanitation. Every day, millions of women and young girls spend many hours collecting water for their families, a ritual that reinforces gender inequalities in employment and education. In addition to all this, the ill health associated with deficits in water and sanitation undermines productivity and economic growth, reinforcing the strong inequalities that characterize current patterns of globalization and trapping vulnerable households in cycles of poverty.

The United Nations has therefore posted an alert for an unprecedented crisis in the coming years as the consequence of the growing scarcity of fresh water per inhabitant, especially in developing countries. By 2025 the per capita water availability, in developed countries, is expected to have been reduced to less than 60 percent of the 1950 level. Where developing countries are humid, this figure will be reduced to about 25 percent and, in the

worst case, to about 15 percent in arid or semiarid developing countries [1-]. In the next twenty years, the average world water supply per inhabitant will drop a third. The main reasons for this severe problem are the growth of the world population, environmental pollution, inappropriate management policies and, very probably, climate change. The forecast for the second half of this century is even more worrisome; depending on factors such as the world population growth rate and the implementation of appropriate corrective policies, from 48 (best case scenario) to 60 countries (worst case scenario) are expected to face serious water shortages and scarcity, affecting a significantly high percentage of the population.

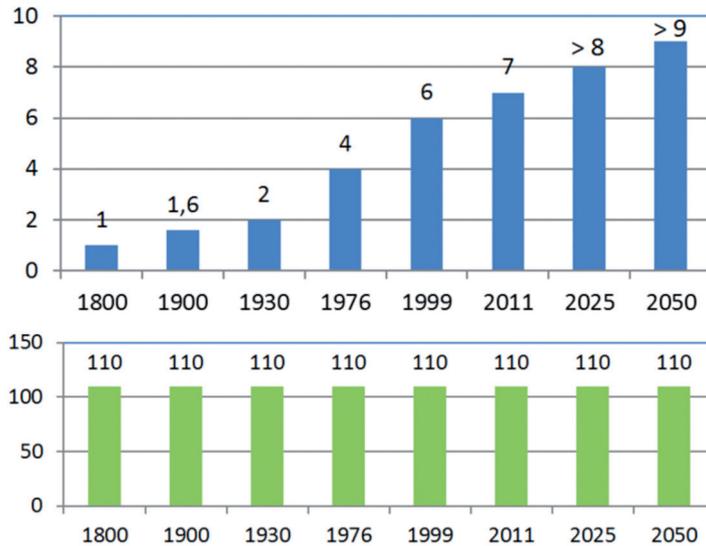


Figure 1: Human population evolution in billion people (top blue chart) and total fresh water available to Mankind in thousand cubic kilometres (bottom green chart), against time.

The world is not running out of water, but nevertheless many millions of its most vulnerable people live in areas subject to mounting water stress. Some 1.4 billion people live in river basins in which water use clearly exceeds recharge rates. Around the globe, nearly all running surface water is already being used and, as many water stress indicators point out, groundwater aquifers are heavily overexploited in many regions of the world. Global water extraction has significantly increased since 1970 (from 2500 to nearly 4000 km<sup>3</sup> per year) to irrigate also increasing areas (from 170 to 280 million hectares worldwide) for food production. Consequently, groundwater tables are falling in many regions, in some cases, by 1 to 3 meters a year, a trend that, due to the absence of alternatives, will probably continue in the coming years, leaving two out of three people on Earth living in water-stressed areas by 2025. Clearly this path cannot be sustained in the medium to long term, as the very negative examples of the disappearance of the Aral Sea and Lake Chad shows. Therefore, competition for water will intensify in the decades ahead, as the world population will certainly keep increasing and the amount of fresh water available to mankind would be just the same as the existing millions years ago: 110 cubic kilometres [2-] (see Fig. 1).

If there is an area where this situation will be clearly reflected in the short-to-medium term, it is in the MENA region (Middle East and North Africa), which is also a very high-potential area for solar technologies development and implementation. Figure 2 shows the expected evolution of human population and water availability in all these countries, where the forecast per capita water reduction in just 30 years is remarkable. Therefore, considering that the only possible resource for additional water production is seawater desalination, its relevance for water supply will certainly increase in all these countries, also affecting future power structures and facilities, as all conventional water desalination and treatment technology requirements are typically very energy intensive. It is therefore very difficult to anticipate any sustainable solution without the strong involvement of solar energy, by far the most abundant renewable energy resource.

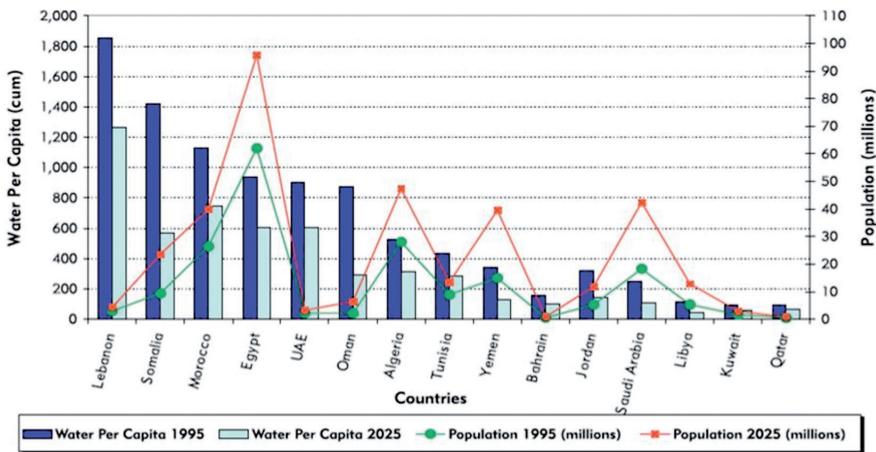


Figure 2: Population size and renewable freshwater availability in MENA countries (1995 data and forecast for 2025) [3-]

The typical geographical coincidence of water shortage and other water problems and high solar radiation is widely recognized [14], so the use of solar energy to simultaneously address water and power production is one of their most logical and sustainable solutions. One of these regions is Middle East and North Africa (MENA), where the combination of significant population growth, expected to increase from 500 million people in 2000 to about 700 million in 2025 [5], strong energy demand, expected to increase from 1300 TWh/year in 2000 to about 2500 TWh/year in 2025 [5], and also high water demand, expected to increase from 300 billion m<sup>3</sup>/year in 2000 to about 450 billion m<sup>3</sup>/year in 2025 [5], anticipate problematic feasible scenarios in the coming years/decades due to the very limited renewable water sources and the current nearly complete dependence of fossil fuels [1].

Considering the previous context in the specific case of MENA countries, it is difficult to imagine any adequate solution without a significant contribution of renewable energies, being solar energy the first obvious candidate to be introduced due to its very high potential in the region. Also, among different solar energy technologies, concentrating solar power has the highest potential [6], being this the reason why large solar development plans and projects, such as the Desertec Initiative [7] and Mediterranean Solar Plan [8], are currently underway in the MENA region. Specific CSP projects are already been

developed, such as the ones in countries like Morocco (Ain Beni Mathar), Algeria (Hassi-R'mel) or Egypt (Kuraymat), or are under development (Abu Dhabi) also existing plans for large development of solar energy at defined countries, such as Algeria and Saudi Arabia. Technology to make possible these developments is ready being financing the main problem today [9].

### DESALINATION AND SOLAR ENERGY TECHNOLOGIES COMBINATION

When Renewable Energies are considered to drive Desalination processes the suitable combination possibilities, from the theoretical point of view, are quite large as described within the Fig. 3.

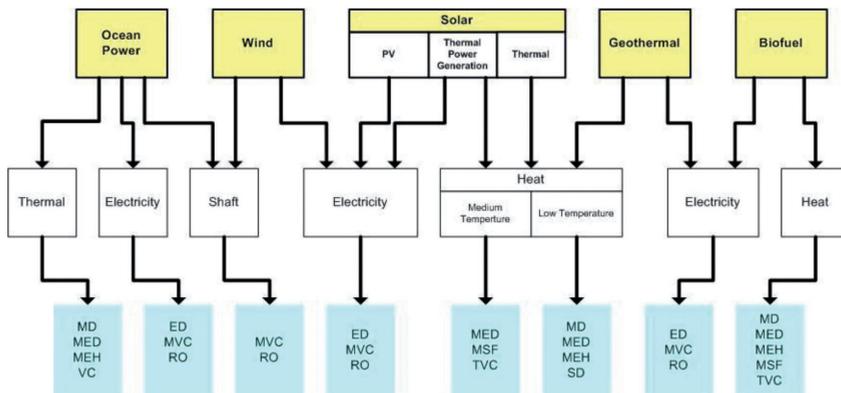


Figure 3: Possible combinations of renewable energy systems with desalination technologies (MD: Membrane Distillation; MED: Multi-Effect Distillation; MEH: Multiple-Effect Humidification; VC: Vapour Compression; ED: Electro-Dialysis; MVC: Mechanical Vapour Compression; RO: Reverse Osmosis; MSF: Multi-Stage Flash; SD: Solar Distillation) [10-]

Nevertheless, when the current development of different suitable technological combinations is analysed, it can be appreciated that solar energy has a clear dominance (Fig. 4)

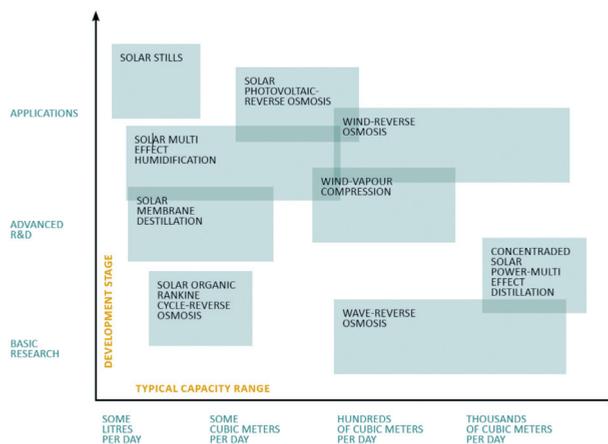


Figure 4 : Development stage and capacity range of the main RE-desalination technologies [11-]

This preference of solar energy used to drive renewable desalination process is also supported by the fact of a majority of experimental and demonstrative solar desalination installations against other renewable energy sources. Some years ago (2005), in the context of the ADU-RES project (Autonomous Desalination Units based on Renewable Energy Systems), a review of autonomous RE-desalination plants with capacities below 50 m<sup>3</sup>/day was made.

A total of 91 plants were identified and reviewed and Figure 5 shows the technology combinations used in the installations identified within the research, being Reverse Osmosis coupled to Photovoltaic the preferred combination, followed by wind – RO and solar distillation technologies like solar multi effect distillation (MED). Meanwhile a number of additional RE-desalination units have been installed, for example the ten Solar thermally driven Membrane Distillation Units and the nine Solar PV-Driven Reverse Osmosis systems [12-]

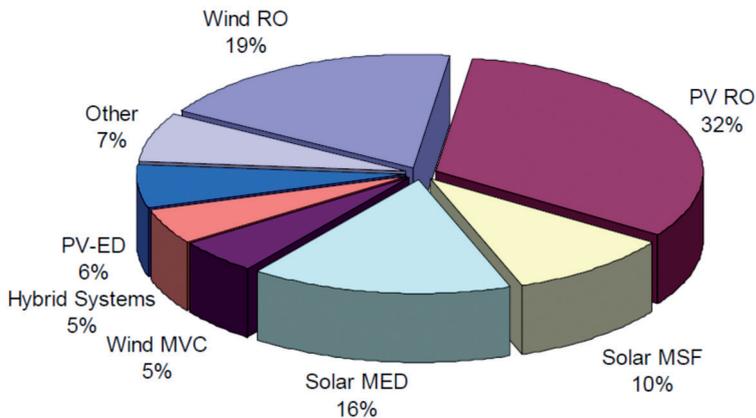


Figure 5: Technology combinations of 91 RE-desalination plants reviewed in 2005 [12-]

With regard to the solar technologies, depending on the primary conversion of solar radiation, two types of energy can be considered: electricity (photovoltaic technology) and heat (solar thermal technology). In the first case, direct conversion of solar radiation into electricity, there are two technologies direct photovoltaic (PV), and concentrating photovoltaic (CPV), which uses the concentrating devices also used by heat conversion technologies. Among other differences, PV uses global solar radiation and CPV only the direct component. In the second case, conversion of solar radiation into thermal energy, the classification can be made by target temperature (Fig. 13).

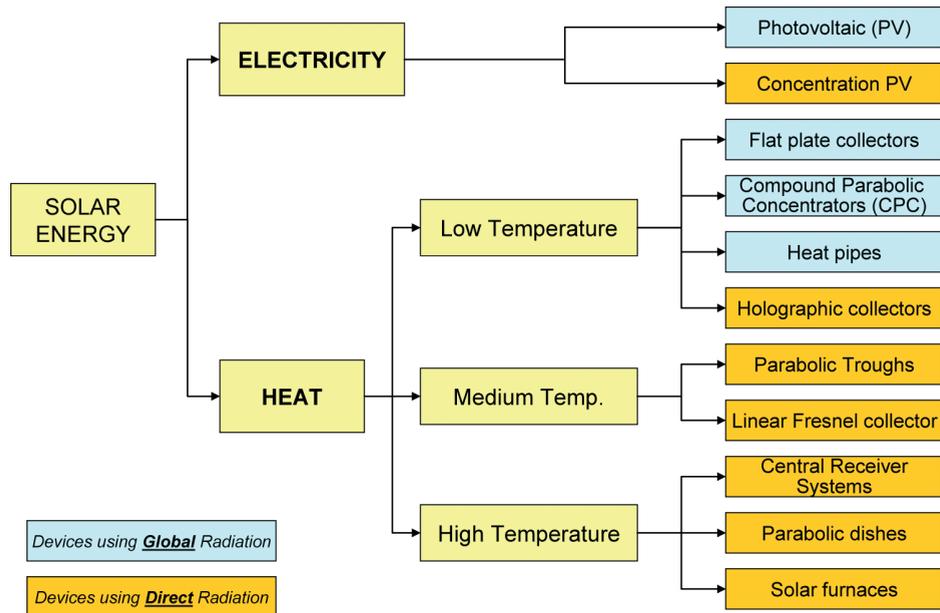


Figure 6: Classification of the most conventional technological devices for transforming sunlight into energy [13-]

## SOLAR PHOTOVOLTAIC AND REVERSE OSMOSIS DESALINATION

Photovoltaic technology is today the most well-known and commonly installed solar technology in the world. It is based on the Photoelectric Effect, discovered by Edmond Becquerel in 1839, which produces electricity in a semiconductor material (PV cell) using absorbed sunlight. The absorbed light is transferred to the electrons of the PV cell atoms, exciting them and producing electrical current with the help of a “built-in electrical field”, which provides the voltage, and is created by two layers of semiconductor material, n-type with excess negative electrons and p-type with excess positive holes.

The most commonly used semiconductor material is silicon and, when n and p-type silicon come into contact, excess electrons move from the n-type side to the p-type side at the p/n junction, resulting in a positive charge on the n-type side of the interface and a build-up of negative charge on the p-type side. The two types of semiconductors (n and p) are created by doping the silicon with an external element that has either extra electrons or lack of electrons respectively.

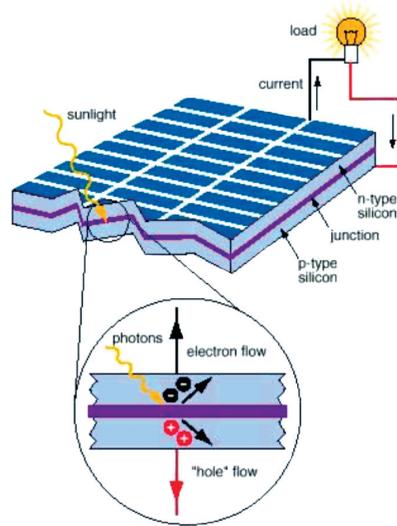


Figure 7: Simplified photovoltaic process representation

Currently, the following four families of PV technologies are available, all of them also under strong research and development process:

1. Wafer-based crystalline Silicon. With more than 50 years of manufacturing history, commercially, have the highest total area module efficiency. Here, there are also two different types: mono-crystalline silicon, with typical commercial efficiencies from 15 to 20 percent (solar to electricity conversion), and poly-crystalline silicon, with commercial efficiencies around 15-17 percent.
2. Thin-film technologies, having the common characteristic of being manufactured by standardization and high-throughput production equipment and therefore achieving lower production costs, but with lower efficiencies than crystalline silicon. Here, there are three main differentiated families:
  - a. Thin film silicon, also named amorphous silicon, with typical commercial efficiencies around 6-9 percent,
  - b. Cadmium telluride (CdTe), with typical commercial efficiencies around 9-11 percent,
  - c. Copper-indium/gallium-selenide/sulphide (CIS/CIGS), with typical commercial efficiencies around 10-12 percent.
3. Multi-junction cells. Have a high efficiency using optical systems to concentrate the light (CPV, 300 to 1000 suns). Very promising in the medium-term but with cost still high. Research laboratory achieved efficiencies has surpassed the value of 40% [14-] but very few commercial products are still available.
4. Novel and emerging PV technologies, including a wide variety of new conversion principles and device concepts (advanced thin-films, organic cells, dye solar cells, etc.). Efficiencies here are very low (4 to 6 percent) but with the prospect of very low cost achievement in the medium to long term.

Propelled by advances in technology and increases in manufacturing scale and sophistication, the cost of photovoltaic is continuously dropping, especially during the last years with the irruption of Chinese companies into the market of PV cells and forcing competitors to follow (see Fig. 8) on cost reduction or exit from the market (the famous case of US Solyndra company is just an example). Also, net metering and financial incentives, such as specific feed-in tariffs for solar-generated electricity, are currently the main force driving development of solar PV installations in many countries.

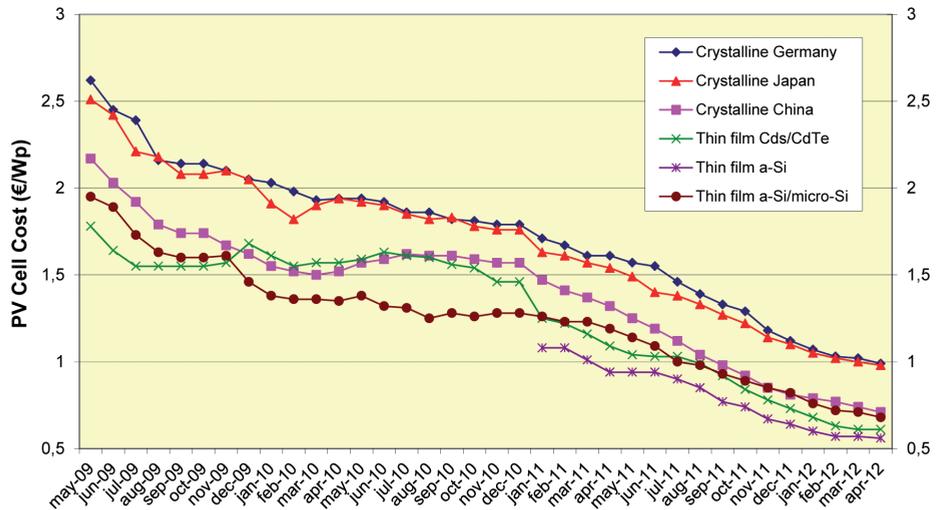


Figure 8: Cost reduction of PV cells manufacturing (Euro per watt peak) during the last two years [15-]

Worldwide photovoltaic development is showing impressive figures: 29.7 GW of PV systems were connected to the grid in 2011 (21.9 GW just in Europe), up from 16.8 GW in 2010, totalizing a cumulative worldwide installed power of 67.4 GW at the end of 2011 [16-]. More than 95 percent of this generating capacity consists of grid-tied electrical systems and PV is now, after hydro and wind power, the third most important renewable energy source in terms of globally installed capacity (see Fig. 9). Such installations may be ground-mounted or built into the roof or walls of a building, in which case it is known as Building-Integrated Photovoltaics. Solar PV power stations today have capacities ranging from 10-100 MW and some currently on-going projects have an even higher capacity.

Reverse Osmosis (RO) is currently the leading desalination technology. It consists on the use of high pressure (6.9 to 18.6 bar for brackish water against 38 to 83 bar for seawater applications) and RO membranes to force the separation of water from the solutes of a saline solution. Today’s membrane designs are capable of removing salts up to 99.8% salt rejection. Typical pressure drop across the RO membranes is only about 0.5 to 1 bar depending on the number of elements per pressure vessel and, as consequence, the RO reject stream is released at high pressure. Also, typical TDS concentrations in RO desalinated water are lower than 500 mg/l (lower quality than thermal processes), although strongly depends on sea or brackish water TDS concentrations. Additional stages of treatment (second-pass membrane treatment) may be required to produce water

suitable for some specific needs. Typical water recovery is in the range of 35% to 60% of the influent seawater (better than thermal processes), being also strongly dependent on influent seawater quality. Finally, RO systems have smaller footprint than typical thermal desalination processes, which reduces installation costs but, on the other hand, more pre-treatment of seawater is necessary to prevent membrane fouling.

When solar desalination installations are considered, the coupling of two mature technologies such as PV-RO is the most commonly installed autonomous system (Fig. 5). It consists of a PV field that supplies electricity to the desalination unit through a DC/AC converter; the autonomous system can be complemented by a set of batteries, which allows storing electricity and increasing the number of daily operation hours. This system has been tested and installed to supply water in rural areas of several MENA countries, such as Tunisia and Morocco [12-]. Alternatively a diesel or fossil fuel back up power generation system can also be used to increase both the operatively and reliability of the RO desalination system.

Up to now, the limitation of this combination is the size, as the realized installations hardly were higher than 100 m<sup>3</sup>/day and with investment costs relatively high: around 4,000 € per daily cubic meter of nominal produced water for the case of brackish raw waters, which means that specific cost of water were in the range of 3.5-7 €/m<sup>3</sup> [12-]. In the case of seawater RO units, the achieved costs were in the range of 9-12 €/m<sup>3</sup> [12-]. It should be noticed that all these installations were addressed at remote locations where, despite the elevated values, the PV-RO solution was still economically feasible considering the water is normally supplied by trucks in these locations.

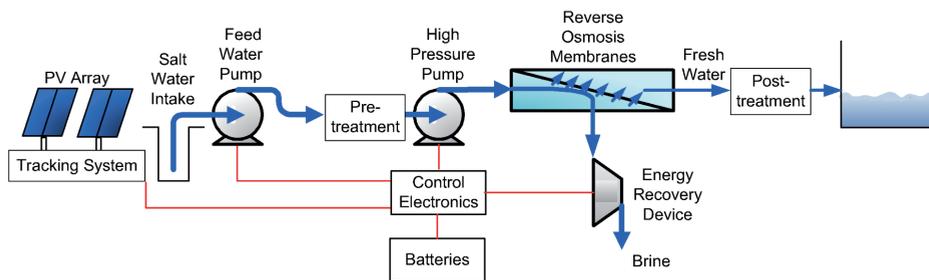


Figure 9: General conceptual scheme of PV-RO plant (Courtesy of Instituto Tecnológico de Canarias – ITC)

The experience and specific technology developments achieved with these small and limited size PV-RO plants are making possible the big step forward that means the construction of large seawater reverse osmosis photovoltaic plants (SWRO-PV). The very first of these plants has been recently announced [17-] but certainly many others will follow into the coming years.

This first plant will be constructed in Al-Khafji, located in the Eastern province of Saudi Arabia at about 3.5 km distance of Kuwait border, and will have an initial nominal water production capacity of 1250 m<sup>3</sup>/h with all the power available (equivalent to 30000 m<sup>3</sup>/24 hours). The SWRO plant is scheduled to be expanded to 2500 m<sup>3</sup>/h (equivalent to 60000 m<sup>3</sup>/24 hours) in a second phase, over a total land surface allocated to the project of

67500 m<sup>2</sup>. The associated solar farm will have a nominal installed power of 8MW peak to first phase power feeding and with regard to SWRO plant operation philosophy, it is not scheduled a conventional 24 h/day operation. During night period (off-peak hours) installation should be powered from the grid (around 10 hours per day) but during peak hours, grid would not be available and power resources should depend on solar farm power availability and own storage and/or generation system.

## **SOLAR THERMAL ENERGY AND DESALINATION PROCESSES**

When solar thermal energy is considered, the number of different existing technologies and devices is very broad (see Fig. 6). This paper is focused onto the large suitable solar desalination concepts, a number of low to medium temperature solar collectors and promising technologies, such as Membrane Distillation (MD) or Multi-Effect Humidification (MEH) are neither discussed nor addressed here. When large solar thermal desalination systems are considered, Concentrating Solar Power (CSP) appears as the natural and most feasible option.

CSP power plants produce electricity by converting concentrated direct solar irradiation into energy. Unlike photovoltaic cells or flat plate solar thermal collectors, CSP power plants cannot use the diffuse part of solar irradiation which results from scattering of the direct sunlight by clouds, particles, or molecules in the air, because it cannot be concentrated. The process of energy conversion consists, firstly, on the concentration of solar energy and converting it into usable thermal energy and, secondly, on the conversion of heat into electricity normally using a conventional steam turbine (Rankine cycle). Concentrating solar collectors are usually subdivided into two types, with respect to the concentration principle:

- Line-focusing systems, such as the parabolic trough collector (PTC) and linear Fresnel collector. These systems track the sun position in one dimension (one-axis-tracking).
- Point-focusing systems, such as solar towers or solar dishes. These systems realize higher concentration ratios than line focusing systems as their mirrors track the sun position in two dimensions (two axis-tracking).

Parabolic Trough Collector. The parabolic trough is considered the most proven CSP technology. Since the 1980s, more than 2 GW of capacity are currently in operation using this technology worldwide. It consists of a receiver, mirrors, a metal support structure, pylons, and foundations. The parabolic shaped and faceted mirrors concentrate the sunlight onto the receiver tube. The parabolic shape is usually implemented by four mirror facets, consisting of glass sheets (4 mm thick) which are thermally bent and coated with a reflective silver layer, with additional protective layers on the back side of the silver. The absorber inside the receiver is realized in the form of a coated steel tube. The coating is spectrally selective in the sense that it absorbs the solar (short wave) irradiation well and emits almost no infrared (long wave) radiation, which reduces heat loss [18-]. The absorber tube is surrounded by an evacuated glass tube which is highly transmissive for the sunlight due to an anti-reflective coating. The absorber tube and the encasing glass tube together are called the receiver. In today's commercial trough systems the entire collector -including the receiver- is tracked according to the moving sun position. There

are several innovations in PTC technology under development or in prototype status. The current developments focus on cost reductions in the assembly and production process, lighter collector structures, new materials for collector structures (such as aluminum), and new heat-transfer fluids (e.g., molten salt and direct steam instead of classic thermal oil).

Linear Fresnel collectors (LFCs) are a variation of parabolic trough collectors. Their main difference from parabolic trough collectors is that LFCs use several parallel flat mirrors instead of parabolic bent mirrors to concentrate the sunlight onto one receiver, which is located several meters above the primary mirror field. The horizontally aligned reflectors use flat glass mirrors that are slightly curved through elastic bending. Each mirror line is individually tracked according to the position of the sun. The receiver also consists of a long, selectively coated absorber tube, without any need for the flexible hoses or rotating connectors required by a parabolic trough.

Due to the optical principles of Fresnel collectors, the focal line is distorted by astigmatism [19-]. This requires a secondary mirror above the tube to refocus the rays missing the tube in a secondary reflection onto the tube. Another concept is based on several parallel tubes forming a multi-tube receiver, thereby increasing the width instead of using a secondary reflector. Compared to trough plants, commercial LFC technology is relatively novel. Several prototype collectors and prototype power plants have been installed in the past few years, but no fully commercial LFC power plants are yet in operation.

In principle, the Fresnel system offers several advantages, including: i) Direct generation of steam without the use of an intermediate HTF; ii) Less stringent requirements for optical accuracy; iii) The design allows more factory assembly; iv) Use of conventional off-the-shelf materials; v) Structural design less subject to wind impact. However, several disadvantages also exist, such as: i) Technology not as mature as trough, with only recent, relatively small-scale commercial development taking place; ii) Lower power cycle efficiency due to lower steam temperature; iii) Lower optical efficiency and increased heat losses due to absence of insulation around the receiver tubes.

Solar Tower Plants: In this concept, a solar receiver located on top of a tall tower receives concentrated solar radiation from a field of heliostats, which are two-axis tracking mirrors. Today's receiver types use water/steam, air, or molten salt to transport the heat. Depending on the receiver concept and the working fluid, the upper working temperatures range from 250°C to 1000°C. In the more conventional arrangement, the working fluid is water. Typical receiver temperature (550 to 650 °C) is higher than in line-focus systems. The power tower can be connected to molten salt storage, thus allowing the system to extend operating hours or increase capacity during periods when power is most valuable. The main advantage of this technology is its ability to provide high-temperature superheated steam. The design requires accurate aiming and control capabilities for the solar field heliostats to maximize efficiency and avoid potential damage to the receiver on top of the tower.

Solar Dishes use a parabolic dish concentrator made of reflector facets to concentrate direct solar irradiation onto a quasi-punctual thermal receiver. Usually, a Stirling engine in combination with a generator unit, located at the focus of the dish, transforms the

thermal power to electricity. The size of a single Dish engine typically ranges from 5 to 50 kW<sub>el</sub> [20-]. Dish Stirling technology presents the highest efficiency (Direct Normal Irradiance [DNI] on reflector area to power generation) among CSP systems as solar-to-grid system conversion of 31.25 percent has been achieved [21-]. A benefit of Dish Stirling technology over other CSP models is the use of dry cooling in most constructions, enabling electrical supply in arid regions. Another advantage over parabolic trough and linear Fresnel technologies is adaptability to slopes. However, as this technology cannot be associated with thermal storage systems, it directly competes with photovoltaics and, therefore, its development has been strongly affected by the acute cost reduction of PV (see Fig. 8).

Today, the majority of CSP plants are based on Parabolic Trough Collectors with molten salts thermal storage, feature which implies a major advantage over other renewable power technologies, such as photovoltaic and wind energy converters, is the option of energy storage. Unlike the storage of electric energy, thermal energy storage is practically and economically feasible already today, even in large-scale applications. Solar thermal power plants can be equipped with thermal energy storage with a full-load storage capacity in the range of several hours. Usually, the storage is filled during the day, and emptied again after sunset, so that electricity is still produced even after sunset. This allows for plant operation in concordance with load requirements from the grid, because in many countries there is an electricity demand peak after sunset. During such demand peaks, electricity prices are usually far higher than base-load prices, creating a very important added value of CSP and storage.

Various thermal storage technologies are in principle feasible for solar thermal power plants, based on different physical mechanisms (such as sensible heat storage, latent heat storage, and chemical energy storage), and by applying different types of storage materials (such as molten salt, oil, sand, and concrete) [22-, 23]. It should also be noted that different heat transfer fluids (HTFs) used in the solar field require and allow different storage options.

In the current context of concentrating solar power (CSP) technology development, CSP and water cogeneration (CSP+D) is a very attractive concept, as that combination could potentially solve power and water problems in many of the world's arid and semi-arid areas [25-]. Moreover, power and water production in an integrated system is of interest for reducing the cost of solar generation by making better use of a common infrastructure and the economics of scale of the steam turbine [4-]. Several different basic integrated power and desalination plants (IPDP) configurations are possible for generating electricity and producing fresh water from seawater [26-]: (i) multi-stage flash (MSF) units operating with steam extracted from turbines, or supplied directly from boilers; (ii) multi-effect distillation (MED) units, using steam extracted from a turbine or supplied directly from boilers and; (iii) reverse osmosis (RO) systems supplied with electricity from a steam power plant or from a combined gas/steam power cycle. In Gulf countries, most power plants are IPDP that integrate the three conventional (MSF, MED and RO) desalination technologies at different levels. The preference of one scheme over another depends on many factors, such as the required power to water ratio, cost of fuel energy charged to the desalting process, electricity sales, capital costs, and local requirements [27-].

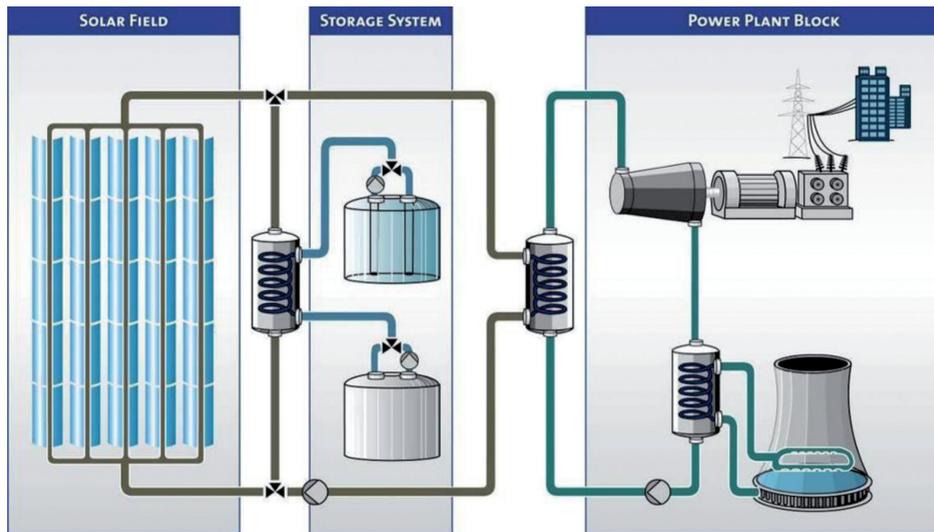


Figure 10: General conceptual scheme of Parabolic Through – CSP plant with molten salt thermal storage [24-]

Different cogeneration plants reviews have been published describing cogeneration plants to produce water from an integrated power plant into low-temperature MED (LT-MED) desalination plants [28-] and also analyzing thermal vapor compression MED (TVC-MED) units [29-]. In addition, some authors have made thermo-economic analysis of cogeneration plants [30-, 31-] and others have evaluated the benefits of integrating RO units with existing power/desalination plants in the Middle East [32-].

Focusing more on the coupling issue different configurations for combined electricity and fresh water production by an IPDP in the Middle East and North Africa have been proposed, considering RO, MED and a combination of both as the most adequate desalination systems [33-], and also including thermal and environmental analysis for different CSP+D schemes [34-].

The first configuration consisted of a CSP plant where parabolic-trough solar collectors were used, coupled with a RO/LT-MED hybrid system.

The second one is the same but integrating a gas turbine unit with the solar power plant. The results showed the effectiveness of the proposed schemes and especially the latter, which seemed the most effective in terms of technical, economic and environmental sustainability.

Finally, computer models describing the basic features of the integrated plant simulation considering small-scale decentralized water and power cogeneration systems have been developed also considering hybrid renewable and fossil power [35-].

## SUITABLE CONFIGURATIONS OF SOLAR POWER AND WATER THERMAL CO-GENERATION PLANTS

As previously indicated, when the possible options to combine power production and desalination in dual-purpose plants are analyzed, MED and RO are considered as the most suitable ones. This is due to the fact that both options are, respectively, the most efficient thermal and electrical desalination technologies. In the case of RO the integration is a straightforward issue by simply using the produced electricity to feed the desalination unit. In addition, the power and desalination plants do not need to be physically close to each other, a fact that could impart a significant advantage due to the previously mentioned inconvenience that DNI is normally lower at the areas close to the sea. Thus, the solar power plant can be placed at better inland locations and the RO desalination plant can be just by the sea, minimizing seawater pumping requirements.

The second option, CSP and MED facilities, is based on the use of low grade steam from the power

cycle (typically a Rankine one) to provide the thermal energy needed by the desalination process. This means that the MED unit needs to be physically located close to the steam turbine. The first, immediate inconvenience is that distance to the sea must be carefully analyzed to optimize and balance the global power and water production output (direct function of DNI potential), the pumping energy requirements, and the initial capital investment. On the other hand, this combination provides additional advantages such as reducing or eliminating the cooling requirements of the power cycle by using the desalination MED process to partially (or completely) replace the conventional cooler associated to the power block. In addition, challenging ambient conditions in specific regions, such as Middle East/Persian Gulf with seasonal high seawater temperatures and saline concentrations, imply the necessity to increase temperature level at turbine exhaust steam output to make cooling feasible. In these conditions, the penalty to power production that results from using steam to drive a MED process is substantially reduced; and it is, from a thermodynamic point of view, very attractive against the RO option, which is normally heavily penalized when high salinity water is used, from both the energy and maintenance points of view.

When integration of CSP and MED technologies is analyzed different types of configurations can be considered: using the exhausted steam from the CSP plant as the source of the heat (LT-MED), and a novel system consisting of a low temperature multi-effect distillation plant powered by the steam produced from a thermal vapor compressor (TVC). In this case, unlike typical TVC-MED process, the vapor to be used in the steam ejector comes from the exhausted steam of the CSP plant instead of an intermediate effect of the desalination unit. This concept (LT-MED-TVC) has a strong potential since it is useful for the coupling of any thermal desalination process to a CSP plant, as different schemes can be considered depending on the quality (pressure) of the steam extracted from the low pressure turbine, to be used as the motive steam in the ejector. Following figures show the proposed systems:

- Configuration 1: LT-MED unit integrated into a PT-CSP plant (Fig. 11).
- Configuration 2: LT-MED-TVC unit integrated into a PT-CSP plant with steam extractions in the low pressure (LP) turbine (Fig. 12).
- Configuration 3: RO unit connected to a PT-CSP plant (Fig. 13).

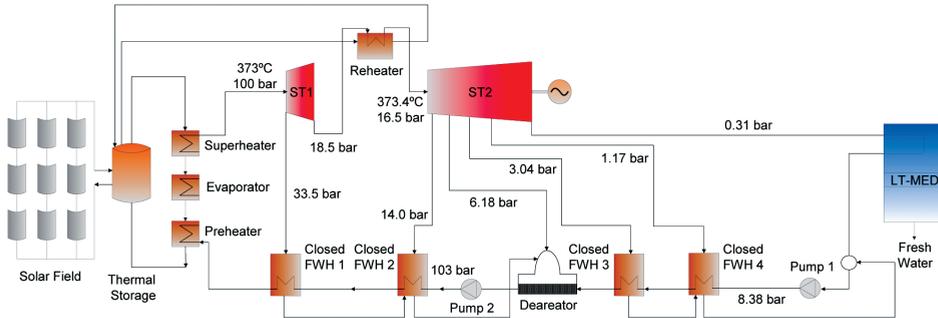


Figure 11: Diagram of the LT-MED unit integration into a PT-CSP plant [36-]

The CSP plant consists of a parabolic trough (LS3 type) concentrating solar power (PT-CSP) plant based on a reheat Rankine cycle with water as the working fluid. In all configurations, the thermal energy from the solar field is transferred to a power conversion system consisting of a pre-heater, an evaporator and a superheater. The resulting steam at 373°C is sent to a high pressure (HP) turbine where after suffering an expansion process is extracted at 18.5 bar in order to reheat it. The reheated steam is left to its expansion through a low pressure (LP) turbine up to 70°C in the first configuration and up to 58°C in the others, producing electrical power. Due to the serious lack of fresh water in MENA regions, a dry cooling system may be the most suitable options in many locations. The configuration showed in Fig. 11 consists of an LT-MED unit integrated into a PT-CSP plant. In this option, the desalination plant is directly fed by the low temperature steam from the turbine outlet, with the MED unit acting as the cooler of the power plant.

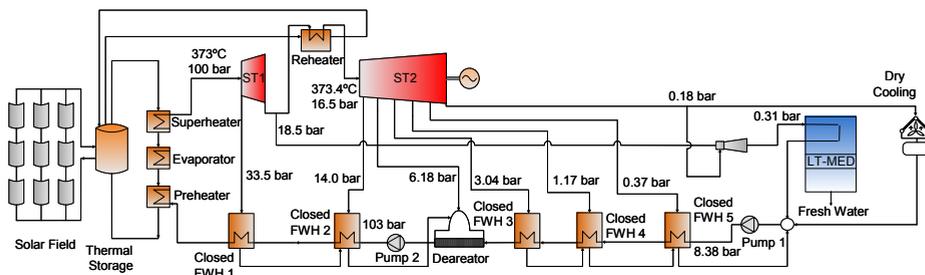


Figure 12: Diagram of the LT-MED-TVC unit integration into a PT-CSP plant (one of the several possible configurations) [36-]

In the second configuration (Fig. 12), a steam ejector is used to apply part of the exhaust steam from the turbine to provide the energy needed by the MED unit. With this scheme, different possible configurations can be achieved, depending on the enthalpy of the steam extracted to be used as motive flow in the ejector. The resulting compressed vapor is injected into the first effect of the distillation unit. A dry cooling system is considered for

condensing the remaining exhaust steam from the turbine. This cooling option is usually the one selected in arid areas, since typical wet cooling towers consume between 2 and 3 metric tons of water per MWh of produced electricity [37-]. The use of seawater as cooling option (sensible heat) would imply a higher (than dry cooling) energy consumption, due to the large amount of water that would need to be pumped and the distance from the sea that the whole facility is likely to be located (from about 2 to 5 km). Finally, in the third configuration (Fig. 13), the RO plant is driven by the power output from the PT-CSP plant. Operating conditions of the solar power plants shown in the previous configurations were taken from the power cycle of Andasol-1 plant [38-], which was the first CSP commercial plant to introduce a molten salt thermal storage system.

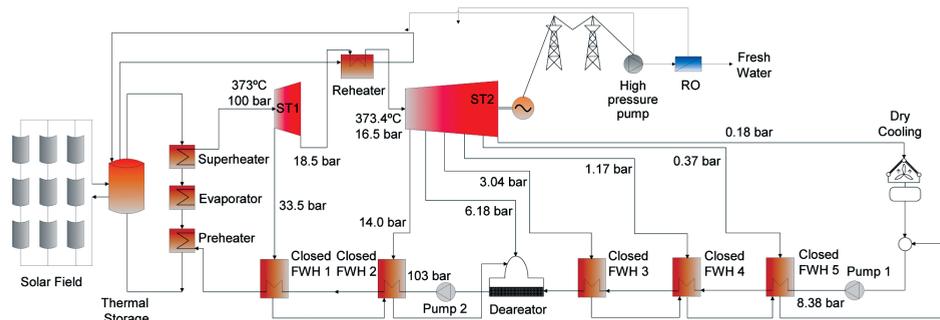


Figure 13: Diagram of the RO unit integration into a PT-CSP plant [36-]

These kind of thermodynamic characterizations have been used to analyse different possible configurations in different MENA locations with the objective to identify and determine the optimum and most adequate technological integration of power and desalination technologies [39-]. In order to carry out this kind of assessment, firstly, a steady-state model of each power cycle were implemented in the Engineering Equation Solver (EES) software to perform different simulations varying parameters of the system (specific electric consumption, exhaust steam temperature, etc); in parallel, solar field size assessment has been determined by a computer model developed in MATLAB environment. On the other hand, the economic analysis of considered configurations was carried out determining both the Levelized Electricity Cost (LEC) and the Levelized Water Cost (LWC) [39-].

## CONCLUSIONS

Solar thermal coproduction of water and electricity can only be made at large PV or CSP plants, being RO and MED the two most reasonable options for desalination technology. The RO option is the only one suitable to couple with solar PV technology and, also, would be the most efficient in most cases, having also the advantage of not constraining the geographical location of the solar plant, potentially avoiding typical problems of land availability and lower DNI levels close to seashore. However, when ambient temperatures drastically limit the expansion at steam turbines and the only reasonable solution to exhaust steam condensing is dry cooling, there is some room for a more energy efficient, and maybe even more economical, MED option. Some preliminary results have shown that, at 0.18 bars in the turbine outlet conditions, the configuration that involves LT-

MED is more efficient thermodynamically than the coupling of the CSP plant with a RO desalination plant and needs a smaller solar field for the same production of electricity. Moreover, this configuration has the advantage of not requiring any power plant cooling. The results obtained are valid for arid regions, where RO has higher specific electric consumption and dry cooling is used in CSP plants; and, coincidentally, nearly all locations in which thermal desalination technologies have an important market (Middle East and Persian Gulf region) have these constraints. In any case, the prospect of solar energy driving desalination plants is considered not only as a very promise alternative into the near future but, in addition, the only real alternative to achieve, at the same time, sustainability, guarantee of fresh water availability and economic development and prosperity in the whole MENA region.

## References

- 1- UNDP, (2006), "Human development report 2006. "Beyond scarcity: power, poverty and the global water crisis", United Nations Development Program.
- 2- Shiklomanov, I.A., Rodda, J.C. (2003), "World water resources at the beginning of 21st century". International Hydrology Series. Cambridge University Press, UNESCO.
- 3- Arab Water Council, (2009). Water Status MENA Countries, 5th World Water Forum, Istanbul.
- 4- Blanco J., Malato S., Fernandez-Ibañez P., Alarcon D., Gernjak W., Maldonado MI., (2009), "Review of feasible solar energy applications to water processes", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 13, No 6-7, pp. 1437-1445.
- 5- MED-CSP, (2005). "Concentrating Solar Power to the Mediterranean Region". Final Report. DLR – Institute of Technical Thermodynamics. [http://www.dlr.de/tt/en/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/projects/MED-CSP\\_Full\\_report\\_final.pdf](http://www.dlr.de/tt/en/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/projects/MED-CSP_Full_report_final.pdf); retrieved July 6, 2012.
- 6- Olz S., 2009, "The Global Energy Outlook – The Key Role of Renewables", Alter Energy Convention 09, Dubai, 27-29 October 2009.
- 7- Desertec Foundation, 2011. "Red Paper: An Overview of the Desertec Concept". [http://www.desertec.org/fileadmin/downloads/desertec-foundation\\_redpaper\\_3rd-edition\\_english.pdf](http://www.desertec.org/fileadmin/downloads/desertec-foundation_redpaper_3rd-edition_english.pdf); retrieved July 6, 2012.
- 8- Hoyer-Klick C., (2008). "The Union for the Mediterranean and the Mediterranean Solar Plan". Mediterranean Solar Plan Workshop. Berlin, Germany, 28 October 2008.
- 9- GEF, 2006, "Assessment of World Bank/GEF Strategy for the Market Development of Concentrating Solar Power", Global Environmental Facility Program, World Bank.
- 10- García, Lourdes. "Seawater desalination driven by renewable energies: a review". Desalination 143 (2002) 103-113.
- 11- Papapetrou, M.; Wieghaus, M. (2010). "Roadmap for the Development of Desalination Powered by Renewable Energy". PRODES Project Deliverable 2.2. Fraunhofer Verlag (Stuttgart).
- 12- Papapetrou, M.; Epp, C.; Tzen, E. (2007). "Autonomous desalination units based on renewable energy systems - A review of representative installations worldwide», Solar Desalination for the 21st Century (ISBN 978-1-4020-5506-5), Springer Netherlands, pp. 343-353.

- 13- Blanco, J.; Malato, S., (2007), Solar Energy, in Solar Energy Conversion and Photochemical Energy Systems, edited by J. Blanco and S. Malato, in Encyclopaedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford , UK, [<http://www.eolss.net>]
- 14- NREL. Research Cell Efficiency Records. [http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency\\_chart.jpg](http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg); retrieved July 16th, 2012.
- 15- PVX spot market price index solar PV modules. <http://www.solarserver.com/service/pvx-spot-market-price-index-solar-pv-modules.html>. Retrieved May 15, 2012.
- 16- Masson, G.; Latour, M.; Biancardi, D. 2012. “Global Market Outlook for Photovoltaics until 2016”. European Photovoltaic Industry Association. Brussels, Belgium.
- 17- Omar Al-Harbi, O.; Lehnert, K. 2011. Al-Khafji Solar Water Desalination. King Abdullah Initiative for Solar Water Desalination . The Saudi International Water Technology Conference 2011. November 2011, Riyadh, Saudi Arabia.
- 18- Hidelbrandt, C. (2009). “Hochtemperaturstabile Absorberschichten für linear konzentrierende solarthermische Kraftwerke”. PhD thesis at Stuttgart University and Fraunhofer ISE.
- 19- Mertins, M. (2009). Dissertation Technische und wirtschaftliche Analyse von horizontalen Fresnel-Kollektoren, Fakultät für Maschinenbau der Universität Karlsruhe (TH).
- 20- Laing, D., Schiel, W., Heller, P. (2002). Dish-Stirling-Systeme – Eine Technologie zur dezentralen Stromerzeugung, FVS Themen 2002.
- 21- Taggart, S. (2008). “CSP: dish projects inch forward”, article in Renewable Energy Focus July/August 2008, Part IV (fourth article in a series of articles looking at the different aspects of concentrating solar power CSP technology)
- 22- Gil, A., Medrano, M., Martorell, I., Lázaro, A., Dolado, P., Zalba, B., Cabeza, K. (2010). State of the art on high temperature thermal energy storage for power generation. Part 1 - Concepts, materials and modellization. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010) 31–55.
- 23- Medrano, M., Gil, A., Martorell, I., Potau, X., Cabeza, L. (2010). State of the art on high-temperature thermal energy storage for power generation. Part 2 – Case studies, Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010) 56–72.
- 24- Gazzo, A.; Gousseland, P.; Verdier, J.; Kost, C.; Morin, G.; Engelken, M.; Schrof, J.; Nitz, P.; Selt, J.; Platzer, W.; Ragwitz, M.; Boie, I.; Hauptstock, D.; Eichhammer, W. (2011). Middle East and North Africa Region Assessment of the Local Manufacturing Potential for Concentrated Solar Power (CSP) Projects. The World Bank, Washington, DC, USA.
- 25- Aybar, H.S., 2004. Desalination system using waste heat of power plant. Desalination 166, 167-170.
- 26- Darwish, M.A., 2007. Desalting fuel energy cost in Kuwait in view of \$75/barrel oil price. Desalination 208, 306-320.
- 27- Mussati, S. et al., 2003. Dual-purpose desalination plants. Part II. Optimal configuration, Desalination 153, 185-189.
- 28- Kronenberg, G., Lokiec, F., 2001. Low-temperature distillation processes in single- and dual-purpose plants. Desalination 136, 189-197.

- 29- Yang, L., Shen, S., 2007. Assessment of energy requirement for water production at dual-purpose plants in China. *Desalination* 205, 214-223.
- 30- Bouzayani, N. et al., 2009. Thermodynamic analysis of combined electric power generation and water desalination plants. *Applied Thermal Engineering* 29, 624-633.
- 31- Uche, J. et al., 2001. Thermo-economic optimization of a dual-purpose power and desalination plant. *Desalination* 136, 147-158.
- 32- Kamal, I., 2005. Integration of seawater desalination with power generation. *Desalination* 180, 217-229.
- 33- Trieb, F., Müller-Steinhagen, H., 2008. Concentrating solar power for seawater desalination in the Middle East and North Africa. *Desalination* 220, 165-183.
- 34- Alrobaei, H., 2008. Novel integrated gas turbine solar cogeneration power plant. *Desalination* 220, 574-587.
- 35- Perz, E.W., Bergmann, S., 2007. A simulation environment for the techno-economic performance prediction of water and power cogeneration systems using renewable and fossil energy sources. *Desalination* 203, 337-345.
- 36- J. Blanco, P. Palenzuela, D. Alarcón-Padilla, G. Zaragoza & M. Ibarra (2012): Preliminary thermo-economic analysis of combined parabolic trough solar power and desalination plant in port Safaga (Egypt), *Desalination and Water Treatment*, DOI:10.1080/19443994.2012.703388
- 37- C. Richter and J. Dersch, "Methods for reducing Cooling Water Consumption in Solar Thermal Power Plants". Proceedings of 15th SolarPaces CSP Symposium, Berlin, Germany, September, 15-18, 2009.
- 38- A.M. Blanco-Marigorta, M.V. Sanchez-Henriquez and J.A. Pena-Quintana, Exergetic comparison of two different cooling technologies for the power cycle of a thermal power plant, *Energy*, Vol. 36, pp. 1966-1972, 2011.
- 39- J. Blanco, D. Alarcon, P. Palenzuela, G. Zaragoza, C. Sattler, R. Olwig, K. Hennecke, R. El Navrawy, B. Rashed, 2011. "Assessment of CSP+D potential in the Mena Area", SolarPACES Task VI Report, <http://www.solarpaces.org/Library/library.htm>. Retrieved July 16th, 2012.

---

- **Pr. Mahfoud ZIYAD** (Directeur des Séances)

Thank you very much Dr. Blanco. I know your presentation deserves more time.

Le prochain orateur Pr. Benhamou va aborder les systèmes solaires de rafraîchissement et de chauffage dans les bâtiments résidentiels à Marrakech et sa région.

## PASSIVE SOLAR SYSTEMS FOR BUILDINGS AIR REFRESHMENT IN MARRAKECH

*Pr. Brahim BENHAMOU*

*LMFE, Faculty of Science Semlalia & EnR2E CNEREE  
Cadi Ayyad University, Marrakech  
B.Benhamou@uca.ma*



### **Abstract**

The project aims to study the use of passive solar systems in buildings for natural refreshment and heating. The project also focuses on the building envelope in order to point out the synergy between an adapted envelope and the use of the passive/hybrid systems for cooling/heating. Specifically, two passive solar systems will be developed in the presentation. The first one is a solar air tour which acts as air heater during winter and solar chimney during summer. The second one is an Earth-to-Air Heat Exchanger (EAHX). These two systems are integrated in two existing buildings, which are designed as passive ones.

The solar air tour is integrated to a villa type house in the M6P University campus at the Green Town of Bengrir (70km from Marrakech). This air tour is coupled with a pebble bed for inter-season heat/cold storage. By the end of autumn season, the air tour is used as a solar air heater to store heat in the pebble bed buried under the house. In winter heat is extracted from the pebble bed and blown inside the house. By the end of spring season, cold air is stored in the pebble bed and extracted during summer to cool the house. The air tour may also be used as a solar chimney for natural cooling of the house during hot nights. This system is going to be monitored in order to assess its energy performance and contribution to the energy efficiency of the building.

The solar air tour is integrated to a villa type house in the M6P University campus at the Green Town of Bengrir (70 km from Marrakech). This air tour is coupled with a pebble bed for inter-season heat/cold storage. By the end of autumn season, the air tour is used as a solar air heater to store heat in the pebble bed buried under the house. In winter heat is extracted from the pebble bed and blown inside the house. By the end of spring season, cold air is stored in the pebble bed and extracted during summer to cool the house. The air tour may also be used as a solar chimney for natural cooling of the house during hot nights. This system is going to be monitored in order to assess its energy performance and contribution to the energy efficiency of the building.

The EAHX system is integrated to a country house in Marrakech suburbs. It uses the soil inertia to cool air in summer and blow it into the building. It consists of 3 PVC pipes of 70m-length buried at 2-3m. A monitoring of this system during Summer 2013 shows that it stabilize blown air temperature at around 25°C while ambient air temperature oscillates between 20°C and 40°C.

Project Acronym : **RafriBAT**

**Funded by:** Hassan II Academy of Sciences and Techniques, Program PARS 2010

Financial support : **3M MAD**

Running Period: **2012-2015**

### **Partners :**

- Energy Process Team, LMFE, FS Semlalia, UCA Marrakech, Project Leader
- Lab. EnR2E, CNEREE, UCA Marrakech
- Lab LP2M2E, FST Gueliz, UCA Marrakech
- Heat Transfer Group, FSAC UH2AC Casablanca
- Elie Mouyal Architect,
- Private Companies: GMTA for Thermal Systems, ISTICHAR design office.

## 1. Introduction

In Morocco, the operating power cost of air conditioning systems for buildings may account for more than 40% of the total power bill. Furthermore, the impact of air conditioners usage on electricity demand is an important problem as peak electricity load increases continuously, forcing the National Electricity Authority ([www.one.org.ma](http://www.one.org.ma)) to build additional plants. In parallel, serious environmental problems are associated with the use of air conditioning [1].

In the Moroccan traditional way of life, people developed empirical solutions (architectural, but also behavioral) to reach a minimal level of thermal comfort. However the rapid growth of income induces higher comfort requirements, which is mostly achieved through the use of electric air-conditioning equipment. This leads to a significant increase in energy consumption and in greenhouse gas emission. However, it is often possible to fulfill thermal comfort requirements at low energy cost, taking advantage of the particular climate features by an appropriate design of the building [2]. Some of the design features that are desirable for energy savings are the same for cold and hot seasons. However, this is not the case for other features like openings, shading devices, etc. The problem of taking advantage of winter solar radiation, while keeping the cooling load to a reduced value, is thus a key issue for Mediterranean buildings [3]. It is evident for example that an insulated building envelope helps in reducing heating load. Nevertheless, the outdoor night temperature in summer is often lower than the required indoor temperature. Thus, un-insulated walls allow for the evacuation of the heat stored in the building during the day, leading to the reduction of air-conditioning need [4-5].

For the Mediterranean climate, an efficient solar protection should allow for minimizing cooling and heating loads. This means that the shadowed portion of the glazed area should be as large as possible in summer and as low as possible in winter.

Breesch et al. [6] conducted an experimental and theoretical study for the evaluation of the overall thermal comfort of a two floors office building in Kortrijk (Belgium) equipped with two passive cooling techniques: natural night ventilation and Earth-to-Air-Heat-Exchanger (EAHX). These two systems are automatically controlled to meet comfort requirements at different climatic loads. Moreover, the cooling load of the building is reduced by other passive techniques (concrete ceiling with a high thermal capacity, controllable external sunblind on the glazed South-facing facade, presence detection and daylight control). By daytime, the EAHX pre-cools supplied airflow and by night, cool outside air enters the office floors through bottom hung windows located near the ceiling in the offices on the North side. TRNSYS [7] simulations were used by the authors to evaluate the relative performance of these techniques. The authors concluded that night ventilation is the most efficient technique. Indeed, night natural ventilation is one of the interesting passive techniques in hot and moderate climates with large diurnal temperature difference over the summer, which is the case of Marrakech climate [6,8]. Soutullo et al. [9] conducted an experimental and theoretical study on many passive systems implemented in four buildings in different climatic zones in Spain (continental, desertic, ocean and extreme continental). The systems include thermal insulation, shading of the roof, natural ventilation induced by solar chimneys, ventilated shadowed roofs, double

glazing, thermal bridge breaking, shading porch (overhang) at south façade. The buildings are office ones and some of them are new constructions; while others are refurbished. The design of the buildings was conducted by means of the «Givoni Chart» tool [10-11]. Moreover, the buildings are monitored to evaluate experimentally the savings in energy induced by the integrated passive systems. A TRNSYS modelling was also conducted and the authors calculate the savings due to bioclimatic strategies by comparing the final building energy demands from the simulation, to the reference values from experience. Raeissi et al. [12] conducted a transient mono-zone numerical simulation to evaluate the reduction in the cooling load of a house by three different roof options: shaded roof, pond (layer of water on the roof) and shaded pond in Shiraz, Iran. The authors claimed that these options achieve a reduction of 43%, 58% and 79% respectively.

The motivation of the present study is to evaluate the performance of the considered passive techniques in Marrakech climate, by means of a transient multi-zone simulation [7] and on site experimental measurements (monitoring).

The main objective of RafriBAT project is the introduction, or re-introduction, of passive systems in buildings in order to optimize its cooling/heating needs in Marrakech region (Z5 climatic zone).

Specific objectives are :

- Monitoring & dynamic simulation analyze of typical buildings in Marrakech region: especially 2 passives houses (AMYS, ZITOUNE).
- Construction of «test-cells» for the experimental assessment of thermal performances of some passive and hybrid systems for air cooling and heating: demonstrate the Energy Efficiency of these techniques, in Marrakech climate.

## 2. Passive techniques for air refreshment

There are three type of passive techniques [1] :

- Solar and Heat Protection Techniques: building form and orientation, solar protections, thermal insulation,
- Heat Modulation Techniques : This modulation involves the thermal capacity storage of the building structure (thermal inertia). These techniques reduce the Peak Electricity Demand and provide modulation of internal temperature with heat discharge at a later time. These techniques are efficient for large outdoor temperature swings. The cycle of heat storage and discharge must be combined with means of heat dissipation, like night ventilation, so that the discharge phase does not lead to overheating,
- Heat Dissipation Techniques: These techniques deal with the potential for disposal of excess heat of the building to an environmental sink of lower temperature. Dissipation of the excess heat depends on two main conditions: the availability of an appropriate environmental heat sink and the establishment of an appropriate thermal coupling between the building and the sink as well as sufficient temperature differences for the transfer of heat. The main processes of heat dissipation techniques are: ground cooling (sink = soil), radiative cooling (sink = sky), convective and evaporative cooling (sink = air & water),

### 3. AMYS Building description

The building, located in the suburb of Marrakech, Morocco (31.37°N; 8.2°E and 440m of altitude), is a villa type one with a floor area of 167m<sup>2</sup> and 117m<sup>2</sup> respectively for the 1st and the 2nd floor. The external walls as well as the roof are insulated. The composition of these walls and the roof is given in Tables 1-2. The 1st floor slab composition is similar to that of the roof without insulation. The South facing walls present a significant glazed area, especially in the 1st roof (Table 3).

Standard values for thermal properties were considered [7]. This yields to thermal resistances of 2.67m<sup>2</sup>.K.W-1 for the roof, 2.37m<sup>2</sup>.K.W-1 for the 1st floor slab and 2.55m<sup>2</sup>.K.W-1 for the external walls. A 1.20m shading device overhangs the South facade of the 2nd floor. This device was designed to completely shadow the glazed French windows in the summer solstice while these glazed areas are completely sunlit in the winter solstice. There are neither other buildings nor trees in the near surroundings of the building which may shade it.

Table 1: External walls constituents and properties

Material	Plaster	Concrete block	Glass wool	Earthenware brick	Cement mortar
Thickness (cm)	1	15	10	15	1.5
Thermal capacity (kJ.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	0.88	0.51	0.84	0.9	89
Thermal conductivity (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	0.097	0.18	0.039	0.319	0.32
Density (kg.m <sup>-3</sup> )	800	1300	12	1900	200

Table 2: Roof constituents and properties

Material	Ceramic tile	Cement mortar	Polystyrene	Pre-stressed concrete	Hourdi	Plaster
Thickness (cm)	2	6	6	5	16	1
Thermal capacity (kJ.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	0.7	89	0.48	0.92	0.65	0.88
Thermal conductivity (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	1.702	0.32	0.03	1.755	1.23	0.097
Density (kg.m <sup>-3</sup> )	2300	200	35	2300	1300	800

Table 3: Glazed surfaces.

Walls	1 <sup>st</sup> floor				2 <sup>nd</sup> floor			
	West	East	South	North	West	East	South	North
Glazed surface (GS) m <sup>2</sup>	2.94	3.48	26.52	7.62	0.72	2.04	10.43	5.04
Total surface of the facade (SF) m <sup>2</sup>	45.22	45.22	72.90	72.90	32.13	32.13	56.03	56.03
% of glazed surface (GS/SF)	7%	8%	36%	10%	2%	6%	19%	9%

#### 4. ZITOUNE Building description

ZITOUNE building is a villa type one with a floor area of 184m<sup>2</sup>, located in Bengrir (70 km from Marrakech to the north). It consists of two floors, with four façades. External walls as well as internal ones have great inertia. Composition of the walls and roofs is given in Table 4. The South facing walls present a significant glazed area, especially in the 1st roof.

Many passive systems are integrated to ZITOUNE building :

- Solar chimney and air tour: it consists of a tour equipped with a solar water heater and solar air heater.
- Pebble bed thermal storage: the pebble bed is located underneath the building and has the same volume.
- Ventilated hollow core slab.
- Hemp insulation of the walls.

The considered system consists of two layers of pebbles, separated and wrapped by polyane film and surrounded by two beds of sand. The depth of each layer is 50cm. pebbles have diameter of 40 to 60mm in the upper layer while on the lower one the size is 60 to 80 mm. Both layers are connected directly to the air tower, and are interconnected by rectangular openings as shown in figure 1.

Table 4: ZITOUNE Villa walls constitution (from inside to outside)

External walls	Internal walls	Roof 1st Floor	Roof 2nd Floor
Mortar 2cm	Mortar 2cm	Plaster 1cm	Plaster 1cm
Bouskoura	Bouskoura	Hourdis slab 16cm	Hourdis slab 16cm
Rock 40cm	Rock 40cm	Reinforced concrete 4cm	Reinforced concrete 4cm
Hemp insulation 10cm	Mortar 2cm	Cement Mortar 10cm	Hollow core slab 5cm
Porphyry layer 10cm		Ceramic 1cm	Hourdis slab 16cm
			Reinforced concrete 4cm
			Cement Mortar 10cm
			Ceramic 1cm

In light of the need for thermal energy in term of storing heat/cold for heating/cooling uses, the objective here is to determine the feasibility of using pebbles bed in order to achieve a storage that corresponds to the heat absorbed by the pebble following the elevation of the temperature. The high effusivity and low diffusivity that pebbles have are valorized for thermal storage. Diffusivity of rocks used is around  $1.3 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$  where the effusivity is about  $3'000 \text{ uSI}$ .

In designing the pebbles bed, one of most important aspect to consider is the size of pebbles used. The larger the size of the pebble the larger is the air-pebbles exchange surface is lower but the pressure losses will get higher therefore trade-off is needed. The most important factor is that the size of pebbles must be as uniform as possible to avoid significant pressure losses. Different sizes were used in experiments described in literature.

Kreider [12] and Temple & Adams [13], based on the achievements and experimental analysis they have completed, recommended an average diameter of pebbles 25 to 38mm. Other sizes are used worldwide, within a range of 30 to 80mm. Choudhury et al. [14] made a study about different diameters, according to the cost-benefit, recommended 10-50mm. Duffie and Beckman [15] mentioned that pressure drop might be reduced by installing large size storage elements, however thermal performance may decrease.

Regarding the pebbles bed volume, Sunliang [16] and Hasnain [17] recommended 300 to 500 kg of pebbles per m<sup>2</sup> of solar collector, which corresponds to 0.15 to 0.25m<sup>3</sup> of pebbles per m<sup>2</sup> of solar collector. The proportion of pebbles volume, for the storage day-night, according to the solar capture surface should be 0.3 to 0.4 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> of the solar collector [12, 13].

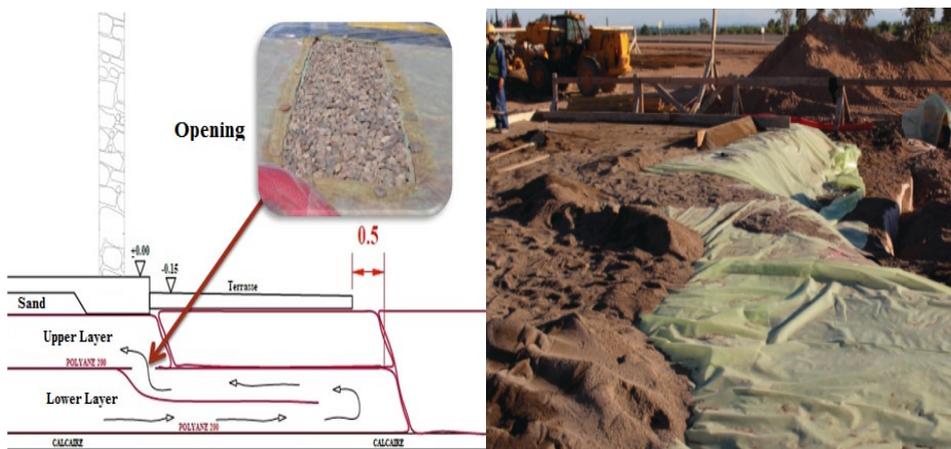


Figure 1: Schematic diagram of the pebbles bed operation (on the left) and photo of pebbles bed installed (on the right).

The pebbles bed are closed from one side by gluing the polyane film but open from the across side connected to the air tower, while it contains multifunction units for blowing air to pebbles as well as for extracting this air to be blown into the rooms and home facilities.

The system will operate to store heat to be used for cold season, and to store cold to be used during hot season. Thus the bed will be charged by hot air till it reach certain temperature set to 48°C, to be used during winter (November to March). The same procedure is used for charging the pebbles with cold air provided by air tower until we get the storing temperature that is 22°C to be used during summer (April to September).

## 5. Results

TRNSYS [18] Multizone modelling of AMYS building has been conducted for different configurations depicted in Table 5. Results (Fig 2) show that, roof insulation has a great beneficial effect around all the year. The overhang along the South wall of the 2nd floor

prevents against overheating and thus has a net beneficial effect in summer in the 1st floor, although it slightly increase heating load. The beneficial effect of external walls insulation around the year is not clear and has to be more clarified.

Table 5: Studied configurations of the building

Passive technique	Overhang	Roof insulation	External walls insulation
#1 (real house)	Yes	Yes	Yes
#2	No	Yes	Yes
#3	Yes	No	Yes
#4	Yes	Yes	No
#5 (standard house)	No	No	No

Numerical simulation of the EAHX was carried out using thermal modeling of the EAHX evaluated within the TRNSYS software.

The EAHX is modeled using the finite difference numerical model developed by Hollmuller and Lachal [19] adapted to TRNSYS (type 460). In this model the transient 3D heat diffusion in soil, is considered. The air temperature and velocity are assumed to be uniform within a pipe section. The frictional losses are taken into account by means of a friction factor obtained from the Moody's diagram. Mass transfer corresponding to phase change (condensation/evaporation) is calculated by the Lewis analogy. Air heat exchange between soil and the pipe is treated by means of an overall convective coefficient which depends only on velocity.

Figure 3 presents the ambient and exit air temperature for the hottest day in 2009 (29th July). This figure shows that the air temperature at the exit of the EAHX varies between 26.3 °C (7:00 AM) and 28.17 °C (5:00 PM), while the ambient air temperature oscillates between 21.5 °C and 44 °C. Thus, the amplitude of the outlet EAHX air temperature during this day is 2.6 °C; while the corresponding amplitude for the ambient air temperature is 22.4 °C.

It is clear that the reduction in air temperature during this day is excellent. One interesting result is that the EAHX provides a higher temperature than the ambient air during the night and the beginning of the day (0:00-8:30 AM). Obviously, the EAHX does not procure any air refreshment during these hours. Therefore, it may be advised that the EAHX has to be run starting from 8:30 AM.

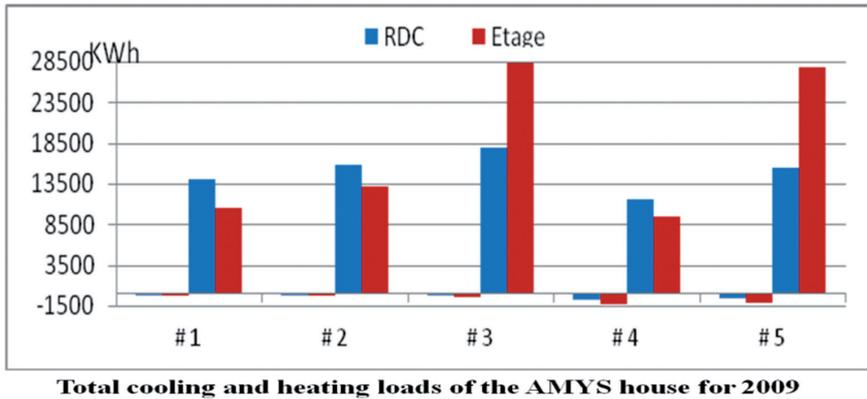


Figure 2 : Total thermal loads of AMYS house for 2009.

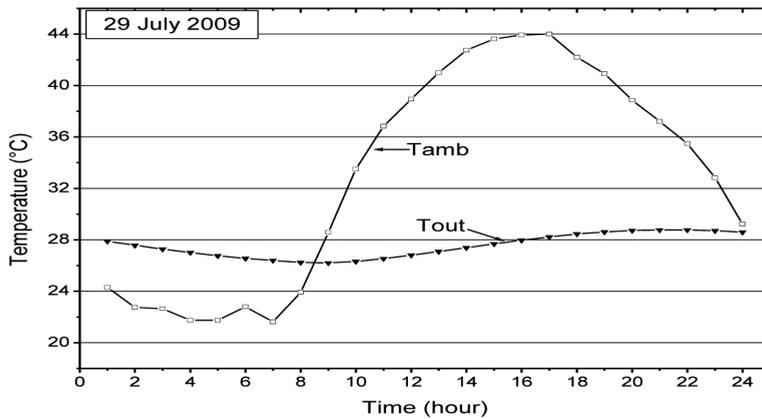


Figure 3 : Total thermal loads of AMYS house for 2009.

## 6. Conclusion

Two buildings located in Marrakech and its region and equipped with solar passive systems were studied. The first one, the so-called AMYS, was simulated and the effect of each passive/hybrid system was assessed by a transient multi-zone thermal modelling. The second building is still under construction. TRNSYS dynamic simulations of its solar passive systems are running. The benefit of these systems will be pointed out regarding the cooling and heating loads of the buildings. Both of the buildings are going to be monitored in terms of continuous measurement of inside air temperature and humidity as well as inside operative temperature.

## Acknowledgement

This study is a part of the RafriBAT project financially supported by a grant from the Hassan II Academy of Sciences and Techniques, Morocco.

## References

1. Santamouris M., *Passive Cooling of Buildings*, Chapter in 'Advances of Solar Energy', ISES, James and James Science Publishers, London, 2005
2. Givoni, B., *Man, Climate and Architecture*, 2nd Edition. Harvard University Press, Cambridge, MA, USA, 1976
3. N. Ghrab-Morcous, CHEOPS: a simplified tool for thermal assessment of Mediterranean buildings in both hot and cold seasons, *Energy and Buildings* 2005; 37:651–662.
4. Manoj Kumar Singh, Sadhan Mahapatra, S.K. Atreya, Development of bio-climatic zones in north-east India, *Energy and Buildings*, 2007; 39: 1250–1257
5. Essia Znouda, Nadia Ghrab-Morcous, Atidel Hadj-Alouane, Optimization of Mediterranean Building Design Using Genetic Algorithms, *Energy and Buildings*, 2007; 39: 148-153
6. H. Breesch, A. Bossaer, A. Janssens, Passive cooling in a low-energy office building, *Solar Energy*, 2005; 79: 682-696.
7. S. Klein, et al., *A Transient System Simulation Program*, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, Madison, WI, USA, 2000
8. Kolokotroni, M., Aronis, A., Cooling-energy reduction in air-conditioned offices by using night ventilation, *Applied Energy*, 1999; 63 : 241-253.
9. Soutullo, Silvia; Enriquez, Ricardo; San Juan, Cristina; Ferrer, Jose Antonio; Heras, M<sup>a</sup> Rosario. Energy balances of four office buildings in different locations in Spain. Proceedings of the IBPSA-Canada's Biennial Conference. Winnipeg, Manitoba (Canada), 19-22 May 2010.
10. Givoni, B., *Passive and Low Energy Cooling of Buildings*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1994.
11. Givoni, B., Effectiveness of mass and night ventilation in lowering the indoor daytime temperatures. Part I: 1993 experimental periods. *Energy and Buildings*; 1998; 28 : 25–32.
12. Ræissi, S. and Tahri M., Cooling Load Reduction of Buildings using Passive Roof Options, *Renewable Energy*, 1996; 2 : 301-313.
13. Kreider J. F., *Solar Heating Design Process*, Mc Graw Hill, 1982.
14. Temple Peter L. & Adams Jennifer A., "Model-TEA Solar Heating System, Construction Manual", Chapter 4: "Sizing and Engineering", Total Environmental Action, Inc. Harrisville, New Hampshire, USA, 1980
15. Choudhury C., Chauhan P.M. and Garg H.P. "Economic Design of Rock Bed Storage Device for Storing Solar Thermal Energy" *Solar Energy* Vol.55, No.1, pp. 29-37, 1995.
16. Duffie J. A. & Beackman W. A., *Solar Engineering of Thermal Processes*, 3d edition, Wiley & Sons, 2006.

17. Cao Sunliang, State of the Art of Thermal Energy Storage Solutions for High Performance Buildings, Master's Thesis University of Jyväskylä, Malaysia Department of Physics, 3.6.2010.
18. S. M. Hasnain, "Review on sustainable thermal energy storage technologies, part I: Heat storage materials and techniques," Energy Conversion and Management, Vol. 39, pp. 1127-1138, 1998.
19. TRNSYS17, Transient System Simulation Programme, Solar Energy Laboratory, Univ. of Wisconsin-Madison, WI, USA, March 2012 (<http://sel.me.wisc.edu/trnsys>).
20. Brahim Benhamou, Amin Bennouna, Energy Performances of a Passive Building in Marrakech: Parametric Study, Energy Procedia, Volume 42, 2013, Pages 624-632
21. H. Mastouri, B. Benhamou, H. Hamdi, Pebbles Bed Thermal Storage for Heating and Cooling of Buildings, Energy Procedia, Volume 42, 2013, Pages 761-764
22. TRNSYS 17, 2010. A Transient System Simulation Programme. University of Wisconsin, Madison, USA.
23. Hollmuller, P., Lachal, B. 2005. Buried pipe systems with sensible and latent heat exchange: validation of numerical simulation against analytical solution and long-term monitoring. IBPSA.

---

- **Pr. Mahfoud ZIYAD** (Directeur des Séances)

Merci beaucoup Pr. Benhamou. La présentation suivante sera délivrée par le Pr. Gilles Flamant (CNRS, France). Il va nous parler des technologies des fours solaires et leur utilisation dans la production des vecteurs énergétiques dans l'industrie.



## CONCENTRATED SOLAR TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION OF HIGH TEMPERATURE PROCESS HEAT AND ENERGY VECTORS

*Gilles FLAMANT*

*Directeur, Laboratoire Procédés Matériaux  
et Energie Solaire, PROMES-CNRS  
7, rue du Four solaire, 66120 Font Romeu - France  
Gilles.flamant@promes.cnrs.fr*



### Abstract

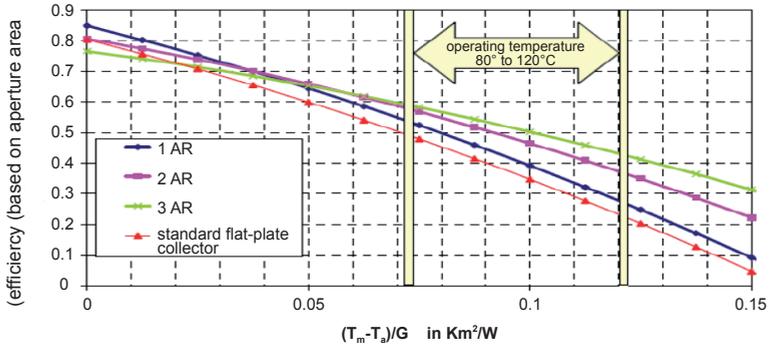
Concentrating solar technologies may produce heat with at least 50% efficiency at operation temperature ranging from 100°C to 2000°C that covers mainly all the temperature range of industrial processes (process heat) from food industry to energy vector production. This presentation examines (1) the various uses of process heat in industry with respect to operating temperature and activity sector (2) the routes for solar fuel production using either carbonaceous or water and carbon dioxide. In both domains a case study is developed to illustrate the high potential of concentrating solar technologies in the field.

### Introduction

Concentrated solar systems provide primarily heat at various temperature that depends of the concentration optics (linear or point). The limit is about 500°C for linear concentrators (parabolic troughs and Linear Fresnel) and about 2000°C for point focusing concentrators (central receiver system – or tower – and parabolic dish). Thus possible operation temperature range is about 100°C - 2000°C that covers mainly all the temperature range of industrial processes (process heat).

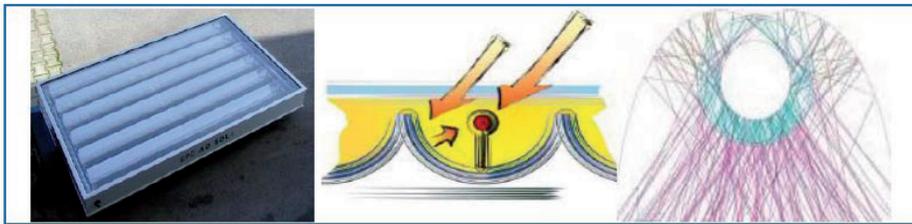
Concerning solar energy conversion efficiency, process heat may be produced with an efficiency of 50% and more, while solar energy-to-electricity conversion is limited to about 20% (except for dish-Stirling convertor). This figure is based on a 65% mean efficiency for the solar concentrating system and 80% solar receiver efficiency (resulting in a 52% solar energy-to-process heat efficiency).

At low and medium temperatures, highly efficient flat-plate solar collectors may produce heat at about 100°C with 50% efficiency as shown in Figure 1. Evacuated tubes are necessary to attain 130°C with the same efficiency; then CPC collectors mainly produce heat at around 200°C [1], but CPC collectors (Figure 2) are already solar concentrating systems.



Source : M. Rommed, Fraunhofer ISE

Figure 1. Influence of anti-reflective coating on flat-plate collector efficiency, after [1].



Source : AO Sol Portugal (left), Solarfocus (center), IEA, SHC Task 33/IV (right)

Figure 2. Principle and example of CPC collectors, after [1]

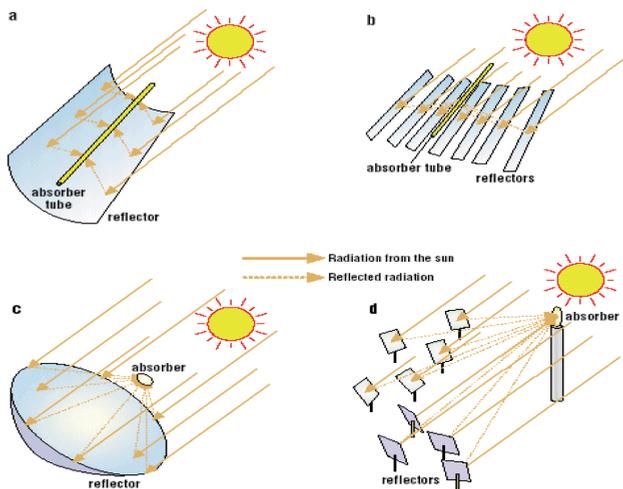


Figure 3. Solar concentrating technologies: (a) parabolic trough, (b) linear Fresnel, (c) dish, (d) tower (heliostat field collector).

Finally, Table 1 summarizes the temperature ranges of applications for the various solar technologies. Contrarily with this table, we think that parabolic dish may produce heat at higher temperature than 500°C because concentration factor as high as 10,000 have been measured with such systems.

Table 1. Range of application of solar collectors, after [1].

Motion	Collector type	Absorber type	Concentration	Indicative temperature range (°C)
Stationary	Flat plate collector (FPC)	Flat	No	30-80
	Evacuated tube collector (ETC)	Flat	No	50-130
	Compound Parabolic Concentrator (CPC) collectors	Tubular	Yes	80-200
Single axis tracking	Lineat Fresnel Reflector (LFR)	Tubular	Yes	60-400
	Parabolic trough collector (PTC)	Tubular	Yes	100-450
Two axes-tracking	Parabolic dish reflector (PDR)	Point	Yes	100-500
	Heliostats field collector (HFC)	Point	Yes	150-2000

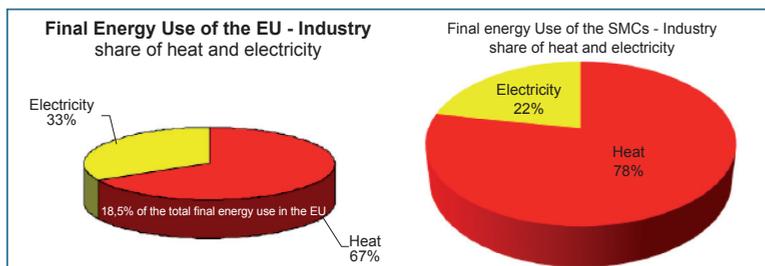
Source : S.A. Kalogirou, 2004; T.A. Reddy et al., 2007; IEA-SHC Task 33/IV, 2008

Solar heat at medium and high temperature may be stored to operate the process after sunset or may be transformed into chemicals, it is solar thermochemistry. If the chemicals are hydrogen, syngas (H<sub>2</sub> + CO mixture) or liquid hydrocarbons, solar process heat is transformed in a transportable fuel also named an energy vector (or carriers) as electricity. In the presentation both applications are presented but separately. The first part is devoted to high temperature process heat and the second part to energy vectors. After analysis of the needs and typical pathways, case studies are presented and analyzed. Solar decarbonation of calcite in cement industry is presented as an example of process heat application and syngas production as an example of solar fuel application.

## High temperature process heat for industry

### Process heat in industry

An analysis of process heat needs as a function of temperature and activity sector is an important data for the definition of future development of solar energy applications. First of all it is very interesting to see in Figure 4 that heat represents 2/3 and 3/4 of total energy consumption in industry in Europe and in South Mediterranean Countries (SMCs). Even if the data are dated 2001, it is clear that the major part of energy consumed by industry is heat.



Source : Green Paper - Towards A European Strategy For The Security Of Energy Supply, Brussels, 2001 (left); OME (right)

Figure 4. Final energy use in industry, after [1].

The share of industrial heat demand by temperature level is illustrated in Figure 5.

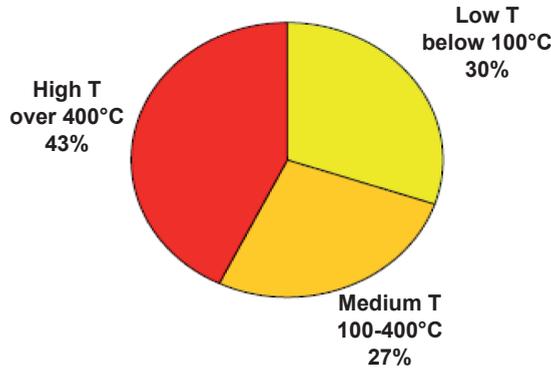


Figure 5. Share of industrial heat demand by temperature range in Europe, after [1].

Figure 5 indicates that 70% of heat demand is at temperature higher than 100°C (i.e. needed solar concentrating systems).

Data for SMCs are illustrated in Figure 6. The largest part of process heat (about 50%) is consumed at temperature larger than 400°C.

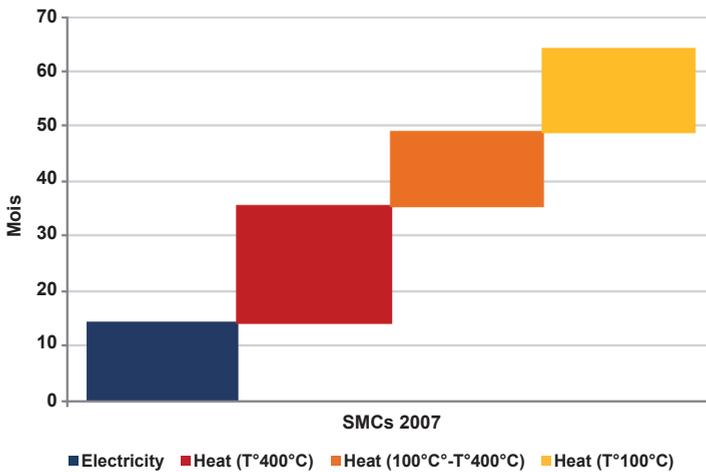


Figure 6. Distribution of heat and electricity (in Mtoe) in final energy consumption in South Mediterranean countries, after [1].

Figure 7 indicates the temperature range of consumed heat as a function of industrial sectors. It appears clearly that high temperature heat (above 400°C) is consumed in pulp and paper industry, chemistry and metals and mineral processing (a share of about 90% in these two last activity sectors). This diagram is useful to interpret the data of Figure 6. In SMCs the activity in metals and mineral processing is important that results in a high share of thermal energy consumption at temperature higher than 400°C.

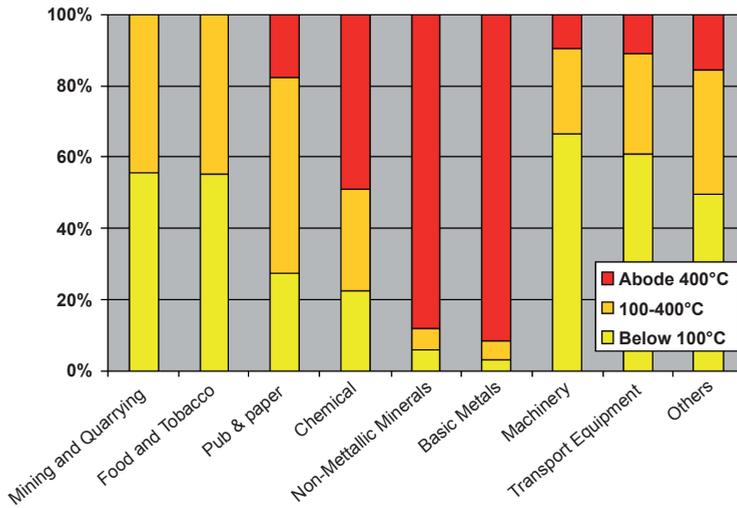


Figure 7. Temperature level of consumed heat in industry as a function of industrial sector in Europe (2003), after [1].

This characteristic is emphasized in Figure 8 showing that the location of many mines in emerging markets are in desert areas with low population levels and great solar resources [2].

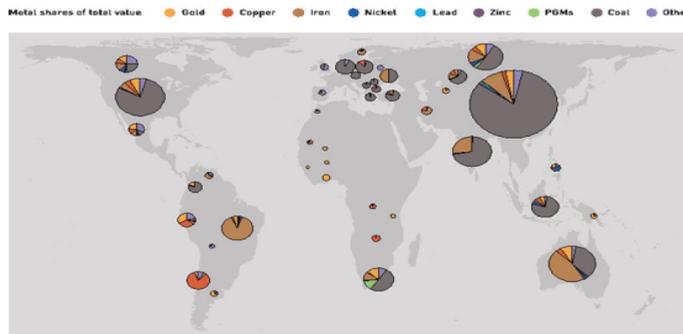


Figure 8a. Main locations of mine industry, after [2]



Figure 8b. Location of CSP project (Best solar resources); after [2]

Some examples of systems in operation will be given in the presentation.

Applications of solar heat at high temperature have not been still developed. In order to evaluate the feasibility of such applications we have carried on a study on calcite decarbonation at 900°C in cement industry [3].

### Case study: decarbonation at 900°C

In a recent study [3] we have shown that by using concentrating solar technologies (CST) in the calcination process in the cement production line, CO<sub>2</sub> emissions can be reduced by 40%.

For the selected plant the solar resource allows operation during 12 hours daily on average annual basis. From these 12 hours, 9 hours are the useful hours while the other 3 hours are used for the heating up and cool down of the system. The most suitable way of applying CST in the conventional cement plant is using the central tower technology with a solar reactor (multitube-rotary kiln for example) at the top of the tower (Figure 9). This approach does not imply radical changes in the conventional process and allows fuel substitution as much as required if the efficiency of the solar reactor is higher than 55%.

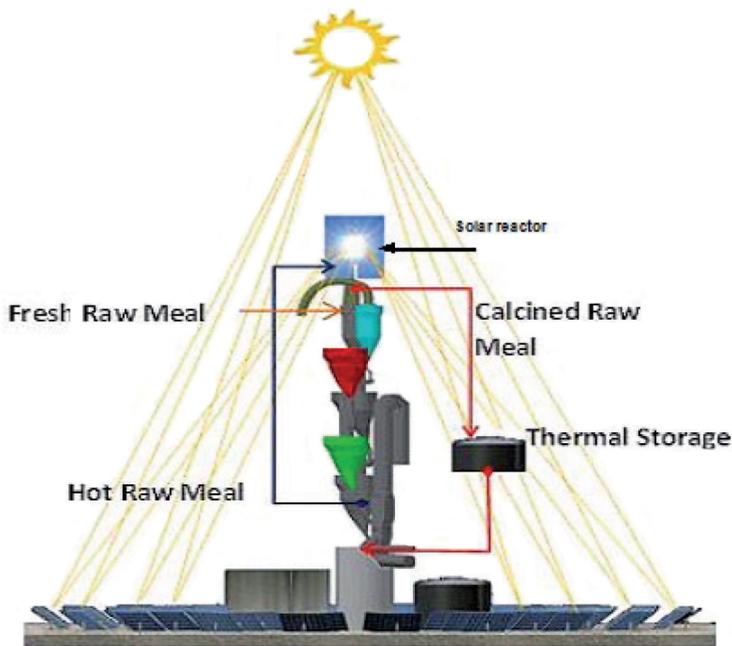


Figure 9. Schematic representation for the integration of CST in cement production with raw meal fed to the solar receiver, after [3].

The main characteristics of the solar plant are summarized in Table 2. The thermal power of the solar reactor ranges from 30 to 75 MW as a function of the share of classical energy substituted by solar energy that is fully compatible with actual tower technology.

Table 2. Thermal Energy and Land Requirement's when Raw Meal is fed to the Solar Reactor [3]

Component	Thermal losses %	Energy Substitution				Units
		100%	80%	60%	40%	
		<i>Solar Reactor</i>				
Power required by the reaction		75	60	45	30	MW
Thermal Storage		125	100	75	50	MW
		<i>Solar Field</i>				
Solar power out from the solar reactor depending on power losses	15 30 45	235 285 363	188 228 291	141 171 218	94 114 145	MW MW MW
Mirror surface depending on Thermal losses	15 30 45	41 50 64	33 40 51	25 30 38	17 20 26	ha ha ha
Number of Heliostat depending on Thermal Losses <sup>4</sup>	15 30 45	2763 3355 4271	2211 2684 3416	1658 2013 2562	1105 1342 1708	
Land surface depending On Thermal Losses	15 30 45	207 252 320	166 201 256	124 151 192	83 101 128	ha ha ha
Solar incident power on the heliostat field depending on power losses	15 30 45	291 354 450	233 283 360	175 212 270	117 142 180	MW MW MW
Net conversion solar/chemical efficiency dep. on power losses	15 30 45	69 56 44	69 56 44	69 56 44	69 56 44	% % %

From the economic point of view it is possible to apply the CST technology under the economic conditions assumed. The payback times obtained, from 6 years to 10 years, are much lower than those obtained normally for CSP projects (around 20 years). The aforementioned together with the obtained values for IRR, from 8.77% to 11.36%, for all the scenarios excepting those in which the thermal losses are 45% can encourage an investor to take part in such a project. These results can be obtained provided there exist grants and subsidies and the coal price being at least US\$115.

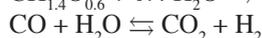
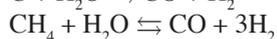
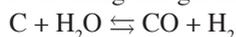
## Energy vectors, hydrogen and syngas

### Reaction routes and solar added value

High-temperature thermochemical processes efficiently convert concentrated solar energy into storable and transportable fuels. In the long term,  $H_2O/CO_2$ -splitting thermochemical cycles mainly based on metal oxide redox reactions are developed to produce  $H_2$  and CO (syngas), which can be further processed to synthetic liquid fuels (e.g., diesel, jet fuel). In the shorter term, carbonaceous feedstock (fossil fuels, biomass, C-containing wastes) may be solar-upgraded and transformed into valuable fuels via gasification and reforming processes.

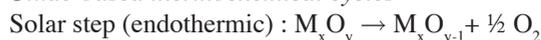
The main chemical reactions involved are :

Reforming and gasification (coal, methane and biomass – or wastes –)

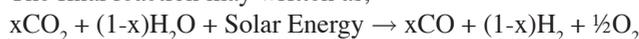


The result is syngas a mixture of H<sub>2</sub> and CO with various H<sub>2</sub>/CO ratios. The reactions are performed in the temperature range 850°C - 1000°C.

#### *Oxide-based thermochemical cycles*

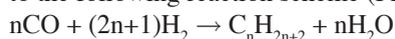


The final reaction may be written as,



ZnO/Zn, SnO<sub>2</sub>/SnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO, CeO<sub>2</sub>/CeO<sub>2-x</sub> have been (and are) studied as possible redox couples. Typical reaction temperature for the solar step is 1300°C - 1600°C.

(H<sub>2</sub> + CO) mixtures may be converted in liquid fuels (methanol or synthetic oil) according to the following reaction scheme (Fischer Tropsch process for synthetic oil),



#### *Solar share of solar fuel production*

For thermochemical cycles it is clear that solar share is 100% because all the energy content of the products is coming from solar energy. The situation is different for gasification because syngas may be produced by combustion of a fraction of the feedstock that provides energy for the endothermic reaction. Consequently, one may define a upgrade factor that correspond to the added energy to the products coming from the solar processing,

$$Up = m_{\text{syngas}} \cdot LHV_{\text{syngas}} / m_{\text{feedstock}} \cdot LHV_{\text{feedstock}}$$

Where m is the mole flow rate and LHV is the low heating value per mole. For pure carbon and biomass the Up factor is 1.33 and 1.19 respectively [4]. These values represent the minimum energy added in the products by solar processing or the energy saves with respect to current processes using combustion of a part of the feedstock as heat source for performing the reaction.

## **Technologies**

The study [5] presents information on heliostat layout design suitable for high temperature processing. The optical system incorporates a secondary reflector located at the top of the tower to re-transmit radiation from the heliostat field to the receiver (figure 10). This increases the concentration ratio and decreases losses. Overall solar to solar-to-chemical energy conversion efficiencies are derived; they include optical efficiencies (heliostat field efficiency, intercept factor and secondary efficiencies) and receiver-reactor efficiency. For coal gasification and thermochemical cycles (ZnO/Zn cycle), it was estimated that a 100 MW solar plant operating at 1300 K and 1900 K may reach 40% and 30% solar-to-chemical energy conversion efficiency respectively (Figure 11).

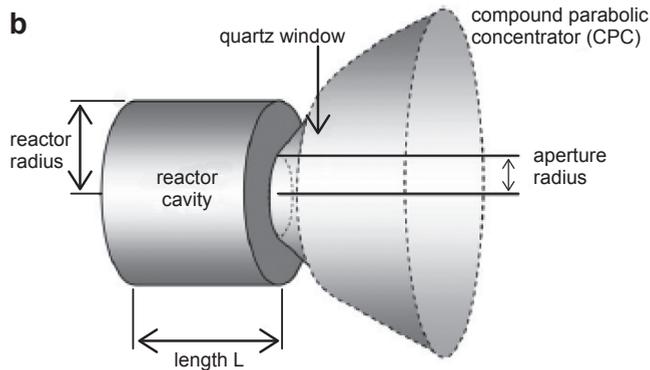


Figure 10. Solar receiver/reactor with a secondary concentrator (CPC), after [5].

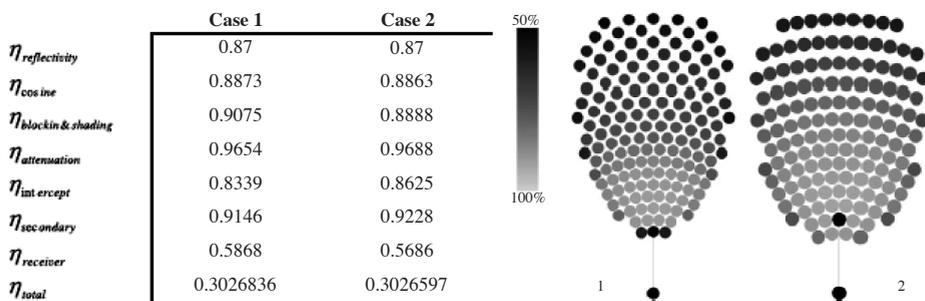


Figure 11. Heliostat layout and associated efficiency for ZnO/Zn thermochemical cycle, after [5].

Apart examples given in the presentation, one case study is emphasized, methane cracking for the production of hydrogen and carbon nanomaterials. It should be noted that none of the previous chemical options for solar fuels processing have been developed at scale larger than pilot scale (typically 100 kW).

### Case study: methane cracking at pilot scale

A 50 kW pilot-scale solar reactor was tested at PROMES-CNRS (France) to turn methane into hydrogen and carbon nanoparticles ( $CH_4 \rightarrow C + H_2$ ) [6]. For the investigated experimental conditions,  $CH_4$  conversions between 72% and 100% and  $H_2$  yields in the range 57%-88% were reached. Anyway, the carbon yield never exceeded 63%. Thermochemical and thermal efficiencies up to 13.5% and 15.2% were achieved, respectively. The solar reactor was operated up to about 1900K at the focus of the 1 MW CNRS solar furnace (Figure 12).

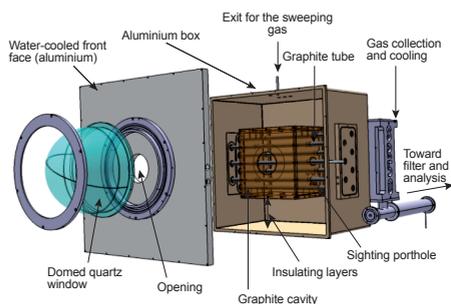


Figure 12a. Drawing of the 50 kW solar reactor for solar methane cracking, after [6].

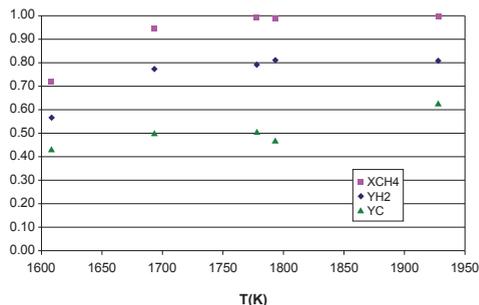


Figure 12b.  $\text{CH}_4$  conversion,  $\text{H}_2$  yield, and C yield versus temperature for the first experimental series (Ar: 31.5 NL/min,  $\text{CH}_4$ : 10.5 NL/min), after [6].

In spite of a relatively low carbon yield due to the production of significant amounts of  $\text{C}_2\text{H}_2$ , representative quantities of carbon black were recovered for characterisation. The carbon black samples have been analysed in order to bring into light correlations between experimental conditions and carbon black properties. The comparison with a commercial conductive carbon black shows that the sample obtained at the highest temperature (1928K) has a structure and a conductivity approaching this reference. According to the obtained specific surface area, applications of the solar-synthesized carbon black in the tyre industry are possible.

## Conclusion

Efficient uses of concentrated solar energy may be developed in industry to provide process heat and synthetic fuels. With respect to power production this domain suffers of a lack of demonstrations at a power level in the range 1 MW - 10 MW that should confirm the feasibility of this field of applications of concentrated solar technology.

## Bibliography

- [1] Cottret N., E. Menichetti (2010) "Solar heat for industrial processes" Technical Report, OME, Ref SSFA/2010/GFL 5070-4A54-2647-2101.
- [2] [www.csptoday.com](http://www.csptoday.com)
- [3] Gonzales R, Flamant G (2014) "Technical and Economic Feasibility Analysis of Using Concentrated Solar Thermal Technology in the Cement Production Process: Hybrid approach – A case study" ASME Journal of Solar Energy Engineering, in Press.
- [4] Nzihou A., Flamant G., Stanmore B. (2012) "Synthetic fuels from biomass using concentrated solar energy – A review". Energy, vol. 42, issue 1, pp. 121-131.
- [5] Pitz-Paal, R., Bolero, N.B., Steinfeld, (2011) "A. Heliostat field layout optimization for high temperature solar thermochemical processing". Solar Energy, 85, 334-343.
- [6] Rodat S., Abanades S., Sans J-L, Flamant G. (2010) "A pilot-scale solar reactor for the production of hydrogen and carbon black from methane splitting". International Journal of Hydrogen Energy, 35 (15), pp. 7748-7758.

## DISCUSSION

- **Pr. Mahfoud ZIYAD** (Directeur des Séances)

Merci Dr. Flamant. Alors si vous permettez nous allons réserver 5 à 10 minutes pour prendre quelques questions.

- **Pr. Ali BOUKHARI** (CITIT)

Merci M. le directeur des séances. D'abord je tiens à remercier tous les orateurs qui ont pris la parole durant cette dernière séance portant sur les opportunités et les applications des énergies renouvelables. C'est une partie importante de cette session plénière. J'ai une question à poser à M. Gilles Flamant concernant le clinker produit par le rayonnement solaire concentré. Nous savons que le clinker produit dans les cimenteries, dans les fours à ciment, est un matériau amorphe obtenu à plus de 4450°C et nous savons que tout le processus technique est maîtrisé au niveau du four à ciment.

Ma question concernant le rayonnement solaire : qu'est-ce qu'il en est exactement du débit obtenu par cette méthode? S'agit-il d'un procédé industriel qui est utilisé maintenant ou est-ce encore à l'échelle de l'étude? Aussi qu'en est-il de la qualité de ce clinker? Est-ce qu'il est réactif? Est-ce qu'il est vraiment bien amorphe? Ce sont des questions techniques sur la caractérisation du clinker parce que les ciments hydrauliques doivent avoir une bonne réactivité vis-à-vis de l'eau. Merci.

- **Pr. Gilles Flamant** (CNRS, France)

Le procédé que nous avons étudié consiste à faire de la décarbonatation à 900°C, c'est-à-dire si la chaux produite est de bonne qualité pour faire un clinker par le procédé classique ensuite. La décarbonatation se fait à l'extérieur du four de clinkerisation. Le cimentier a validé le concept d'injection de la chaleur à ce niveau là.

- **Pr. Yves BONNET** (CSPC)

J'ai une question pour M. Flamant concernant le traitement d'oxydes métalliques, l'objectif était-il d'obtenir des nanoparticules d'oxydes réduits? Si oui, est-ce que vous pouvez jouer sur la température pour avoir une morphologie déterminée et pas une très grosse dispersion dans la taille des nanoparticules?

- **Pr. Gilles Flamant** (CNRS, France)

La distribution de taille et la taille dépendent essentiellement du procédé de trompe parce qu'en fait dans ce système là on est obligé de faire une trompe. Lorsque vous imaginez le processus réactif, vous avez en fait un mélange de l'oxygène avec le métal sous forme de vapeur ou le sous-oxyde sous forme de vapeur. Donc vous avez des molécules extrêmement réactives et donc il faut faire une étape de trompe qui va permettre de les rendre inactifs et réagir avec l'oxygène. C'est cette étape de trompe qui est la plus importante dans la réaction et qui va gouverner toute la morphologie des particules (de l'ordre de 30 nanomètres) qui sont extrêmement réactives.

- **Dr. Ahmed ENNAOUI** (Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie, Germany)

Je vous remercie pour votre présentation qui est très intéressante. Vous avez projeté des réactions chimiques tout à l'heure; ces réactions ont une enthalpie libre. Est-ce qu'on

peut trouver par exemple le potentiel Redox en se basant sur le delta-G et le Faraday et envisager de la photo-catalyse à température ambiante au lieu de haute température au moins pour certaines réactions? Parce qu'il y a un autre domaine où on peut envisager les mêmes réactions à température ambiante en cherchant sur une électrode semi-conductrice par exemple en utilisant l'effet photovoltaïque.

**- Pr. Gilles Flamant (CNRS, France)**

Effectivement, c'est un domaine très intéressant. Le vrai problème de la photo-catalyse c'est que la partie du rayonnement solaire qu'on utilise est très faible. On n'a pas trouvé aujourd'hui encore de matériaux qui soient actifs en photo-catalyse (400-500 nanomètres). Le vrai problème dans la photo-catalyse c'est l'efficacité photonique.

**- Pr. Mohamed SMANI (CITIT)**

Ma question est pour M. Gilles Flamant. Merci pour cette perspective concernant l'énergie solaire concentrée. Elle permet d'envisager des solutions pour un certain nombre de secteurs industriels, pour les industries de procédés essentiellement dont certains sont très consommateurs d'énergie. Dans ce sens, est-ce que vous avez des expériences ou des essais sur la décomposition des phosphates pour la production du phosphore élémentaire?

**- Pr. Gilles Flamant (CNRS, France)**

Il y a eu des essais ça fait très longtemps pas sur des phosphates élémentaires mais sur des oxydes de phosphates libres. C'est des travaux qui datent d'il y a 30 ans et donc j'avoue que je n'ai plus la mémoire des résultats, mais je sais qu'il y a eu des essais de chimie fondamentale. Dans ce domaine il y a certainement des choses à faire sur les voies chimiques sur la ballonnisation des phosphates à la lumière des progrès qu'il y a eu entre temps.

**- Pr. Tijani BOUNAHMIDI (CITIT)**

Merci M. le Directeur des Séances. Hier nous avons les travaux sur la production de l'énergie à partir du solaire thermique. Aujourd'hui, nous avons vu deux applications : une sur la production de l'énergie thermique pour les besoins industriels et l'autre sur l'utilisation de l'énergie solaire pour le dessalement. Donc, en fait, nous avons vu les problèmes de production de l'énergie solaire à partir du thermique, c'est surtout question de rendement, un tiers qui est exploité en énergie électrique et le reste part dans la nature sous forme de refroidissement. Quand on fait de la cogénération, on arrive justement à améliorer ces rendements, et c'est là donc l'avenir de la CSP pour sa compétitivité par rapport au photovoltaïque.

Ma première question s'adresse à M. Julian Blanco. Vous avez exposé les différents systèmes de cogénération. Est-ce que vous ne pensez pas que l'osmose directe qui est encore au stade de la recherche pourrait donner des possibilités beaucoup plus importantes surtout quand on la couple aux besoins de dessalement en matière de pompage à une machine osmotique qui est encore aussi au stade de la recherche?

Une autre question pour M. Flamant : vous avez montré qu'il y a possibilité d'utiliser de l'énergie thermique pour différentes applications industrielles. Quand vous avez donné l'exemple de la cimenterie, vous avez pris la pré-calcination et on sait que l'utilisation la plus importante au niveau de la cimenterie c'est surtout le broyage et sous forme d'énergie électrique. Ne pourrait-on pas justement utiliser là encore de la cogénération pour faire de la pré-calcination avec la partie thermique et produire de l'énergie électrique qui va servir au broyage.

On sait que si on veut atteindre les objectifs fixés pour l'efficacité énergétique (au Maroc par exemple 40% de l'énergie industrielle est consommée au niveau de la cimenterie). Le bâtiment consomme 18% de l'énergie, l'industrie 22% et le transport 32%. Pourrait-on combiner les différentes applications pour avoir des solutions plus compétitives et permettre de donner un avenir meilleur à l'utilisation de l'énergie solaire que ce soit pour la production de l'énergie électrique ou pour l'utilisation thermique? Ce qu'on peut faire avec le thermique classique on peut le faire avec du solaire peu importe l'origine. Ce qui est primordial c'est le rendement et pour améliorer ce rendement il faut nécessairement recourir à la cogénération. C'est là où réside l'avenir et pour le dessalement il faut coupler avec l'osmose directe. Merci.

- **Julian BLANCO** (CIEMAT, Plataforma solar de Almería, España)

You are addressing a very interesting topic and you are right. The future of many applications is in the cogeneration or more generally speaking in the polygeneration. There are plenty of applications of solar energy in which we can produce electricity and then having a temperature allowing addressing a cascade of applications. We can start with electricity, then cooling, produce water and even heating houses and buildings. The problem is that most of the technologies are not yet developed to fit the conditions and the range provided by solar energy. This is a full line of research that many people are looking into.

- **Pr. Gilles Flamant** (CNRS, France)

Concernant votre question, on ne l'a pas étudiée, mais une des voies possibles c'est d'imaginer qu'on va utiliser la partie du rayonnement qui est la moins bien concentrée pour produire de la vapeur et entraîner une turbine. Pour avoir 900°C, il faut concentrer à des températures relativement élevées (1000-2000°C). C'est un peu près ce que l'on peut imaginer, mais il doit y avoir 2 ou 3 schémas possibles.

- **Pr. Mostapha BOUSMINA** (Chancelier de l'Académie)

J'ai juste un petit commentaire sur l'osmose inverse. Elle est très énergivore. Si vous voulez dessaler une très quantité d'eau, avec des membranes planes de cellophane, vous allez appliquer une force et comme la surface est très grande la pression s'en trouve très élevée et la consommation d'énergie est trop importante. L'avenir c'est de dessaler pas à travers une membrane plane mais à travers une membrane tubulaire. Comme la section des microtubules est très petite, cela nécessiterait une petite force pour atteindre une forte pression en vue du dessalement. A mon avis l'osmose inverse classique, très énergivore, est appelée à disparaître.

- **Pr. Mahfoud ZIYAD** (Directeur des Séances)

Et bien nous arrivons au terme de nos discussions. Je voudrais remercier tous les conférenciers et intervenants et évidemment tous les auditeurs, notamment ceux qui sont restés jusqu'à maintenant. Je voudrais aussi remercier toute l'équipe qui s'est occupée de la traduction tout au long des travaux de la session. Merci.



## Restitution des conclusions et recommandations

La session plénière solennelle de 2014 a été une contribution et un éclairage scientifique et technologique sur les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique. Elle a été une opportunité pour établir l'état de l'art sur les différents types de sources d'énergie renouvelables particulièrement le solaire et l'éolien et dégager des thématiques de recherche et de formation utiles pour le Maroc.

Des conférenciers de renom international, des représentants des Académies des Sciences de l'Afrique (Cameroun et Benin), de l'Europe (Allemagne et France) ainsi que des institutions nationales, IRESEN, MASEN, l'ONEE, la CGEM, SIE, NAREVA... ont contribué aux travaux de cette manifestation scientifique. Le programme s'est étendu sur trois séances plénières, deux panels, ouverts au public, et une séance interne réservée aux académiciens. La séance I a traité de la «Production de l'énergie électrique centralisée», la séance II a développé les «Tendances de la R&D en énergies renouvelables» et la séance III a été dédiée aux «Opportunités et applications des énergies renouvelables». Ces différentes séances ont été animées par dix conférenciers, nationaux et internationaux, spécialistes des domaines traités. Les deux panels, composés de professionnels du domaine des sources d'énergie renouvelables, ont respectivement été consacrés à la «Recherche et formation en sources d'énergie renouvelables», et au «Développement et intégration industrielle en énergies renouvelables». Ils ont permis de dégager les principales conclusions et recommandations dans les domaines de la RDI, de la formation, du développement et de l'intégration industrielle des sources d'énergie renouvelables dans notre pays.

Le présent rapport résume succinctement le contenu des conférences, les conclusions des deux panels ainsi qu'une synthèse des principales recommandations émises durant les travaux.

### 1. Travaux en conférence

#### 1.1 Stratégie du Maroc en matière de sources d'énergie renouvelables

La stratégie du Maroc en matière d'énergie a été déclinée dans le plan solaire, lancé à Ouarzazate le 02/11/2009 par Sa Majesté Le Roi Mohammed VI, que Dieu Le protège. Le Maroc a volontairement choisi d'intégrer, dans son mix énergétique, les énergies renouvelables pour répondre à des enjeux sociaux, économiques et environnementaux. Ce choix a été dicté par la demande accrue en l'énergie due au dynamisme de l'économie nationale et découlant des grands chantiers nationaux de développement ainsi que par la ferme volonté de généraliser l'accès à l'énergie à toutes les couches sociales.

Le Maroc possède d'énormes gisements éoliens, environ 25000 MW, dont 6000 MW seront réalisés d'ici 2020. Le solaire représente 3000 heures d'ensoleillement par an. La stratégie adoptée prévoit, d'ici 2020, de porter la part des énergies renouvelables à 42% de la puissance électrique avec 14% pour l'éolien (2000 MW), 14% pour le solaire (2000 MW), et 14% pour l'hydraulique (2000 MW).

L'investissement dans l'efficacité énergétique est aussi une voie importante dans le choix politique délibéré du Maroc. Il est prévu, une économie d'énergie de l'ordre de 12% en 2020 et de 15% en 2030. Pour ce faire, une stratégie d'efficacité énergétique est en cours d'achèvement.

Des actions concrètes sont en cours pour le développement d'une industrie nationale et d'une recherche scientifique de haut niveau dans le domaine. Une étude menée par le ministère de tutelle, a évalué les besoins en ressources humaines à 50.000 emplois à l'horizon 2020, soit 38.000 pour l'efficacité énergétique et 13.200 pour les énergies renouvelables. Il est également prévu la création de trois instituts de formation de référence, dédiés à l'efficacité énergétique et aux sources d'énergie renouvelables.

## **1.2 Situation actuelle, transition énergétique et perspectives**

La Terre est de taille finie et les ressources en énergie qu'elle recèle sont limitées. Ceci pose un réel problème pour le futur de l'humanité. L'augmentation de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, des particules fines et autres gaz nocifs dans l'atmosphère dérègle le climat et dégrade l'environnement. Les effets du changement climatique sont divers et se manifestent au niveau de l'augmentation de la température des océans, de leur salinité et la migration des espèces. Il est aujourd'hui difficile de mesurer l'impact de ces modifications sur notre avenir et, à plus long terme, sur celui de notre planète. C'est cette problématique complexe qui oblige les décideurs en politiques énergétiques à se tourner vers des sources d'énergie durables.

La consommation d'énergie en 2011, dans le monde, provenait essentiellement du pétrole (32%), du gaz (22%) ou du charbon (27%). L'énergie solaire, la biomasse, le nucléaire et autres, ne dépassaient pas les 18%. Les prévisions de la consommation en 2035 montrent qu'il y aura une diminution de la part du pétrole et du charbon au détriment de celle du gaz avec cependant un manque qui avoisinera les 31% de la consommation mondiale. Ce manque devra impérativement être comblé par un apport provenant des sources d'énergie renouvelables.

Nous assistons actuellement à travers le monde à un accroissement, dans les mix énergétiques, de la proportion des énergies renouvelables. Parallèlement, les grandes entreprises qui sentent leurs intérêts menacés deviennent réticentes. L'économie conditionne encore le système actuel et influence les décisions dans le domaine. La flambée du prix du pétrole, en 1973, a encouragé le développement des centrales thermosolaires et la création de centres de recherche à travers le monde. Cependant, avec la diminution du prix du pétrole qui a suivi, cette recherche a perdu de son élan, excepté en Espagne. Entre 1985 et 1991, des centrales solaires ont commencé à voir le jour et elles continuent à fonctionner en Espagne (Séville, Almeria), aux USA (Californie). Les technologies dans ce secteur se perfectionnent et rendent accessible l'utilisation des sources d'énergie renouvelables.

Dans le photovoltaïque, les panneaux à base de silicium ont fait et font encore l'objet de recherches pour réduire les prix de revient et accroître les rendements. La plupart de ces recherches est orientée vers l'amélioration des performances des matériaux de base.

## **1.3 Stockage des énergies renouvelables**

Le soleil étant intermittent et la vitesse du vent n'est pas régulière, il faut trouver des solutions fiables pour produire et stocker l'électricité afin de l'utiliser quand il y a un

besoin. Ce stockage peut être envisagé dans des batteries, des piles à combustible (fuel cells) ou des super-condensateurs. Le stockage thermique est souvent envisagé dans le cas du solaire à concentration (CSP). Dans le commerce, on trouve des accumulateurs de vapeur et des réservoirs de sels de nitrate.

D'autres matériaux alternatifs sont testés en laboratoire et à l'échelle pilote. Le développement des systèmes de stockage performants permettra de diminuer le coût de production de ces énergies. La recherche sur les sels fondus pour le stockage étudie des composés ayant une faible température de fusion ( $\leq 140^\circ\text{C}$ ) et une stabilité thermique à des températures supérieures à  $700^\circ\text{C}$ .

Les systèmes ternaires  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ - $\text{KNO}_3$ - $\text{NaNO}_3$  et quaternaires Li, Na, K/ $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ , font l'objet de nombreuses investigations. Le réservoir choisi doit être adapté au type de fluide caloporteur utilisé et à sa pression et température de fonctionnement.

Des essais pilotes de stockage d'énergie dans du béton qui a une capacité d'emmagasinage de  $0.65 \text{ kWh/m}^3\cdot\text{K}$  sont prometteurs. Le béton utilisé n'a présenté aucun signe de fatigue ni de dégradation après plus de 10.000 heures de fonctionnement. Les matériaux à changement de phase (les nitrates par exemple), représentent aussi une possibilité de stockage pour des applications au-delà de  $100^\circ\text{C}$ .

Les Stations de Transfert d'Energie par Pompage (STEP) sont des technologies de stockage d'énergie matures. Elles sont surtout limitées par les contraintes géographiques. D'autres modes de stockage, tels que l'hydrogène, les volants d'inertie à durée de vie élevée, les batteries et les aimants supraconducteurs sont encore à l'étude.

#### 1.4 Efficacité énergétique

C'est probablement la première étape qu'il conviendrait, dans tout projet, de mettre en œuvre avant tout autre engagement. Les économies d'énergie sont possibles partout et sont souvent plus importantes qu'on ne l'imagine. Le projet de coopération entre Total et la Régie Peugeot pour la fabrication d'une voiture à faible taux d'émission de  $\text{CO}_2$ , a permis de concevoir la 208GTI hybride qui consomme 1,9 l d'essence au 100 km, en rejetant uniquement 46g  $\text{CO}_2/\text{km}$ . Cette performance résulte de la diminution du poids du véhicule, de sa motorisation et lubrification. Des économies aussi importantes de carburants ont été obtenues dans l'aéronautique par les deux grandes firmes européenne et américaine de l'aviation civile, Airbus et Boeing.

La transition énergétique, dans la mobilité, est appelée à se développer grâce au perfectionnement des batteries, à la maîtrise de la production et de stockage d'hydrogène, du gaz comprimé, et des infrastructures et réseaux... En 2025-2030, 5% de véhicules seront électriques. Les voitures au biofuel représenteront jusqu'à 15% dans les pays développés.

Des économies d'énergie énormes sont possibles dans le bâtiment. Elles sont estimées à plus de 500 MTEp. La nouvelle réglementation française sur l'isolation des bâtiments RT2005 et BBC (Bâtiment de basse consommation) ont permis de minimiser la climatisation des bâtiments. Une étude technique réalisée sur une maison climatisée à Dubaï a montré qu'il est possible, tout en maintenant une température de  $26^\circ\text{C}$ , d'économiser 2 à 3 parts de l'énergie consommée, en isolant thermiquement le bâtiment.

Dans le bâtiment, Il est nécessaire d'innover pour mettre au point des isolants à bas coût. Des matériaux poreux, des aérogels, des vitrages multicouches et des matériaux à transition de phase sont en voie de conception.

### 1.5 Réseaux intelligents (smart grid)

La production décentralisée d'énergies renouvelables, l'intermittence et le stockage de ces énergies, rendent imprévisible le pilotage des réseaux de distribution classiques par leurs gestionnaires. Le maillage des réseaux de distribution, à l'échelle nationale et régionale, suppose une bonne maîtrise de la consommation et son pilotage en temps réel. Les réseaux intelligents sont supposés apporter une réponse à cette problématique en équilibrant les tensions tout en diminuant les pertes techniques.

L'architecture d'un réseau intelligent comprend des capteurs, des équipements de mesures, un système de communication et de traitement des données. Une grande analogie est à faire avec le maillage des réseaux de télécommunications. La gestion de l'intermittence se fait de manière intelligente en gérant la consommation des utilisateurs et en renforçant les interconnexions à l'échelle régionale.

Des expérimentations, à grande échelle, se développent actuellement et mettent en commun des groupes d'entreprises, des fabricants de matériel qui insèrent des équipements nouveaux dans les réseaux de distribution.

La nouvelle grille numérique ou «Smart Grid», contrairement à la grille actuelle, doit être efficace et présenter une fiabilité, une bonne flexibilité/adaptabilité, tout en prenant en compte les préoccupations environnementales. De nombreux défis scientifiques et techniques sont à relever pour une optimisation proactive et un contrôle automatique du réseau.

Les problèmes de la RDI dans ce domaine des réseaux évolués sont: l'électronique de puissance, le stockage, les appareils intelligents, les bâtiments intelligents et les micro-réseaux.

La planification se fait à l'aide de modèles mathématiques de simulation plus ou moins complexes, qui prennent en considération la topologie du réseau et sa charge, l'écart entre la valeur moyenne d'utilisation et la valeur crête chez l'utilisateur. Il faut réduire l'écart entre ces deux valeurs tout en jouant sur ce qui est consommation fixe et le contrôle des parties flexibles de cette consommation.

### 1.6 Recherche et innovation dans le photovoltaïque

Dans le photovoltaïque, il existe beaucoup de possibilités de recherche dans le domaine des matériaux et des technologies utilisées. Les matériaux employés dans la fabrication des cellules photovoltaïques sont soit le silicium dopé n ou p, ou d'autres composés tels que les binaires (III, V): InP, GaAs, ... ou (II, VI): CdTe, ZnS, ou ternaires (II, IV, V<sub>2</sub>): Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Se<sub>2</sub> ou (I, III, VI<sub>2</sub>): Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> de type chalcopyrite... Les matériaux de départ sont relativement chers mais on peut néanmoins développer cette recherche sur des matériaux moins coûteux. Récemment, des matériaux hybrides, avec de bons rendements, ont été découverts dans la famille des pérovskites et des composés organiques dont le rendement est supérieur à 15%.

La recherche scientifique doit également s'orienter vers les cellules photovoltaïques à multi-jonctions où on met en commun des matériaux à petit gap avec d'autres à grand gap (silicium amorphe et silicium cristallisé). Ces matériaux sont très prometteurs. Des rendements de l'ordre de 44,47% ont été obtenus (mai 2013) avec les composés (III, V).

Le prix des cellules photovoltaïques connaît actuellement une nette baisse. L'éclairage aussi connaît un certain bouleversement avec la fabrication de nouvelles lampes à faible consommation d'énergie comme les LED (Led-Emitting Diode) et les OLED (Organic Led-Emitting Diode).

**De cette brève synthèse il ressort que :**

- \* la recherche scientifique (au sens RDI) doit se mobiliser fortement pour répondre aux besoins des plans de développement que le Maroc a mis en chantier,*
- \* la formation des ressources humaines est un investissement rentable et un levier important dans les processus de développement,*
- \* c'est sur ces deux piliers fondamentaux, que sont la formation et la RDI, que doit reposer l'intégration industrielle.*



*A. Boukhari, T. Bounahmidi, M. Ziyad*  
*Membres du Collège ITIT*



**RAPPORT D'ACTIVITÉ**  
**2013 - 2014**



## RAPPORT D'ACTIVITÉS 2013-2014

*Pr. Omar FASSI-FEHRI*

*Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II  
des Sciences et Techniques*



**Royaume du Maroc**

**Académie Hassan II des Sciences et Techniques**



**Session plénière solennelle 2014  
Rapport d'activité  
2013-2014**

## **Introduction**

**Au cours de l'année 2013-2014, l'Académie a poursuivi la mise en œuvre de ses différentes missions telles que stipulées par le Dahir de sa création, en tendant toujours vers l'objectif qui lui a été défini par Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu Le Glorifie – le 18 mai 2006**

**«*Servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale*».**

**Les actions phares réalisées durant l'année écoulée concernent les missions suivantes :**

2

## **Mission I- Promotion et développement de la recherche scientifique et technologique et financement des programmes de recherche**

**En matière de promotion et de développement de la recherche scientifique et technique, l'Académie a pour mission de:**  
**donner à la science et à la recherche scientifique et technique une place majeure dans l'échelle des valeurs nationales;**  
**proposer aux autorités concernées les voies et les moyens capables de développer l'esprit scientifique au sein de la société marocaine;**

**Offrir aux chercheurs scientifiques nationaux une tribune scientifique particulière d'expression et de communication; assurer une communication de haut niveau entre la communauté scientifique nationale et l'élite scientifique mondiale...» (Loi, Art. 2)**

3

**Activité I.1 : Réunions des organes directeurs**

<b>Organe directeur</b>	<b>Nombre de réunions</b>
<b>Conseil d'Académie</b>	<b>6</b>
<b>Commission des travaux</b>	<b>6</b>
<b>Collèges Scientifiques</b>	<b>31</b>

4

**Activité I.2 : Organisation des sessions ordinaires thématiques**

<b>Thème de la session ordinaire</b>	<b>Date</b>
<b>Gestion des déchets au Maroc : état des lieux et perspectives.</b>	<b>23 octobre 2013</b>
<b>Evolution et perspectives de la recherche biomédicale et en santé au Maroc.</b>	<b>28 octobre 2013</b>
<b>Economie verte : quel agenda de recherche pour le Maroc ?</b>	<b>30 octobre 2013</b>
<b>Industrie aérospatiale : ambitions et défis pour le Maroc.</b>	<b>16 janvier 2014</b>

5

### Activité 1.3 : Préparation de la session plénière solennelle 2014

- Thème général de la session plénière 2014 : **Sources d'énergie renouvelables et transition énergétique : faits, défis et opportunités**



6

### Activité 1.4 : Projets de recherche soutenus dans le cadre de l'appel d'offres 2010-2011

Projet	Institution responsable	2011	2012	2013	2014
1- Systèmes solaires passifs de rafraîchissement des bâtiments	U. Cadi Ayad	800 000,00	1040000,00	820000,00	340000,00
2- Contribution au développement et à la réalisation de cellules photovoltaïques organiques	Univ. Ibn Tofail	782 000,00	822000,00	702000,00	482000,00
3- Combustion des schistes bitumineux en lit fluidisés	U. Cadi Ayad	680 700,00	654500,00	222500,00	51000,00
4- Extraction par solvant de la matière organique des schistes bitumineux - Etude et valorisation des huiles produites	U. Hassan II - Mohammadia	800 000,00	799000,00	800000,00	600000,00
5- Impact des Changements globaux sur les vertébrés semi-aquatiques le long d'un gradient méditerranéen - pré saharien	U. Cadi Ayad	800 000,00	527650,00	569650,00	395900,00
6- Recherche pluridisciplinaire sur les géomatériaux et les géosites volcaniques du Maroc	U. Moham. V - Agdal	890 000,00	800000,00	500000,00	400000,00
7- Le patrimoine géologique des provinces sahariennes et régions limitrophes (Bas Dra, Ifni)	U. Hassan II - Casablanca	668 700,00	625 000,00	285900,00	119800,00
8- Méthodes mathématiques et modélisation et simulation pour cancer	U. Cadi Ayad	525 500,00	577500	396500,00	00
9- Étude épidémiologique et génétique des leucémies myéloïdes aiguës	U. Hassan II - Casablanca	734 500,00	263500,00	60000,00	00
10- Valorisation et gestion intelligente de l'eau d'irrigation	IAV	800 000,00	791 800,00	812600,00	595400,00
9- Approximation et sous espaces invariants	U. Moham. V - Agdal	59 000,00	402000,00	424000,00	448000,00
10- Made in Morocco : Industrialisation et Développement	U. Moham. V - Agdal	448 500,00	427000,00	377000,00	334500,00
<b>Totaux</b>		<b>8 188 618,00</b>	<b>8460219,00</b>	<b>6930159,00</b>	<b>4246543,00</b>
<b>Total général sur 4 ans</b>		<b>27 825 500,00 DH</b>			

7

### Activité 1.4 : Retombées de l'ensemble des projets de recherche soutenus dans le cadre de l'appel d'offres 2010-2011

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations	
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants	Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés	Conférences et communications	Brevet		
169	02	Doctorants	84	7	1	Directement associés aux projets	21	34 Internationales	0	63 Manifestations scientifiques
		Étudiants ingénieurs	6							
		Master	31							
		Licence	4							
		Total	125							
					Associés aux projets	2	21 Nationales		10 Collaborations internationales	
					Total	23	55		4 Partenariats avec le secteur privé	

8

### Livrables par projet

#### Projet : Systèmes solaires passifs de rafraîchissement des bâtiments

Responsables : **Brahim BENHAMOU**, Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayad, Marrakech  
**Hassan CHEHOUANI**, Faculté des Sciences et Techniques-Guéliz, Université Cadi Ayad, Marrakech  
**Laila Mandi**, Centre National d'Études et de Recherches sur l'Eau et l'Énergie, Université Cadi Ayad, Marrakech  
**Mustapha EL ALAMI**, Faculté des Sciences, Université Hassan II-Ain Chock, Casablanca

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations	
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants	Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés	Conférences et communications	Brevet		
11	0	Doctorants	10	2	0	Directement associés aux projets	0	2 Internationales	0	2 Collaborations internationales
		Master	4							
		Total	14							
					Total	0	5			

9

**Projet : Contribution au développement et à la réalisation des cellules photovoltaïques organiques**  
 Mohammed ADDOU, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail, Kenitra  
 Mimoun ZAZOUI, Faculté des Sciences et Techniques, Université Hassan II - Mohammadia

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations		
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants		Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés		Conférences et communications	Brevet	
		Doctorants	10				Directement associés aux projets	5			
14	0	Master	3	0	0	3	Associés aux projets	0	2 Nationales	0	4 Manifestations scientifiques
		Total	13				Total	5	23		8 Collaborations internationales

10

**Projet : Combustion des schistes bitumineux en lit fluidisé**

Abdelmounaim BOUHAFID, Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations		
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants		Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés		Conférences et communications	Brevet	
		Doctorants	10				Directement associés aux projets	0			
4	0	Licence	2	0	0	2	Associés aux projets	0	0 Nationales	0	0 Manifestations scientifiques
		Total	6				Total	0	0		0 Collaborations internationales

11

**Projet : Extraction par solvant de la matière organique des schistes bitumineux  
Etude et valorisation des huiles produites**

Responsables : Hassan HANNACHE, Faculté des Sciences Ben M'Sik, Université Hassan II-Mohammedia, Casablanca  
Ahmed SOIABI, Faculté des Sciences, Université Mohammed V-Agdal, Rabat

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations			
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants		Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés		Conférences et communications	Brevet		
		Doctorants	Master				Directement associés aux projets	Associés aux projets				
15	0	Doctorants	7	0	0	1	3	4 Internationales	0	0	0 Manifestations scientifiques	
		Master	3								7 Nationales	0 Collaborations avec le secteur privé
		Total	10									Total

12

**Projet : Impact des changements globaux sur les vertébrés semi-aquatiques le long d'un gradient méditerranéen à pré-Saharien**

Responsable : Tahar SLIMANI, Université Cadi Ayad, Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations			
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants		Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés		Conférences et communications	Brevet		
		Doctorants	Master				Directement associés aux projets	Associés aux projets				
19	0	Doctorants	5	0	0	3	0	2 Internationales	0	0	0 Manifestations scientifiques	
		Master	3								1 Nationales	0 Collaborations internationales
		Total	8									Total

13

**Projet : Recherche pluridisciplinaire sur les géomatériaux et les géosites volcaniques du Maroc : nécessité de leur valorisation et de leur exploitation dans les perspectives d'un développement durable**

**Responsable : Iz-Eddine EL AMRANI EL HASSAN, Institut scientifique, Université Mohammed V-Agdal, Rabat  
Toufik REMMAL, Faculté des Sciences, Université Hassan II-Ain Chock, Casablanca  
Abderrahman ALBIZANE, Faculté des Sciences et Techniques, Université Hassan II-Mohammedia**

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations		
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants		Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés		Conférences et communications	Brevet	
		Doctorants	Master				Directement associés aux projets	Associés aux projets			
20	0	Doctorants	8	0	0	3	1	3 Internationales	0	0	1 Manifestations scientifiques
		Master	5								3 Collaborations avec le secteur privé
		Total	13								
							Total	1	3		

14

**Projet : Le patrimoine géologique des provinces sahariennes et régions limitrophes (Bas Draa, Ifni), inventaire, SIG et bases de données et valorisation des géomatériaux**

**Responsables : Omar SADDIQI, Ecole Faculté des Sciences, Université Hassan II-Ain Chock, Casablanca  
Moha IKENNE, Faculté poly disciplinaire de Taroudant, Université Ibn Zohr, Agadir  
Nasreddine YOUBI, Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayad, Marrakech**

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations		
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants		Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés		Conférences et communications	Brevet	
		Doctorants	Master				Directement associés aux projets	Associés aux projets			
29	0	Doctorants	7	0	0	1	3	6 Internationales	0	0	0 Manifestations scientifiques
		Master	1								0 Collaborations avec le secteur privé
		Total	8								
							Total	3	6		

15

**Projet : Méthodes mathématiques et outils de modélisation et simulation pour le cancer**

**Responsable : Abdelghani BELLOUQUID**  
Ecole Nationale des Sciences Appliquées (ENSA), Université Cadi Ayyad, Safi

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations		
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants		Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés	Conférences et communications	Brevet		
		Doctorants	Master								
14	0	Doctorants	2	1	0	1	Directement associés aux projets	5	3 Internationales	0	1 Manifestations scientifiques
		Master	2								0 Collaborations avec le secteur privé
		Total	4								
							Associés aux projets	2	1 Nationales		
							Total	7	4		

16

**Projet : Etude épidémiologique et génétique des leucémies myéloïdes aiguës**

**Responsable : Sellama NADIFI, Faculté de Médecine, Université Hassan II – Ain Chock, Casablanca**

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations		
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants		Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés	Conférences et communications	Brevet		
		Doctorants	Master								
13	0	Doctorants	2	2	1	1	Directement associés aux projets	1	0 Internationales	0	0 Manifestations scientifiques
		Master	3								0 Collaborations avec le secteur privé
		Total	5								
							Associés aux projets	0	2 Nationales		
							Total	1	2		

17

**Projet : Valorisation et gestion économique intégrée de l'eau d'irrigation au niveau du bassin versant**

Responsable : **Mohammed Rachid DOUKKALI, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat**

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations					
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants		Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés	Conférences et communications	Brevet					
6	0	Doctorants	2	0	0	0	Directement associés aux projets	1	0	Internationales	0	0	Manifestations scientifiques	
		Master	6											
		Total	8											
							Associés aux projets	0	0	Nationales			0	Collaborations avec le secteur privé
							Total	1	0					

18

**Projet : Approximation et sous espaces invariants**

Responsable : **Omar El-FELLAH, Faculté des Sciences, Université Mohammed V, Rabat**

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations					
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants		Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés	Conférences et communications	Brevet					
8	0	Doctorants	11	0	0	5	Directement associés aux projets	2	2	Internationales	0	0	33	Manifestations scientifiques
		Master	5											
		Total	16											
							Associés aux projets	0	5	Nationales			0	Collaborations avec le secteur privé
							Total	2	7					

19

**Projet : Made in Morocco : industrialisation et développement**

Responsable : **Noureddine EL AOUI**, Faculté des Sciences Juridiques, Economiques et Sociales, Université Mohammed V, Rabat

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations		
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants		Autre personnel		Articles publiés		Conférences et communications	Brevet		
16	2	Doctorants	18	2	1	0	Directement associés aux projets	0	0 Internationales	0	0 Manifestations scientifiques
		Master	0								0 Collaborations avec le secteur privé
		Total	18								0 Nationales
						Total	0	0			

**Activité 1.5 : Projets de recherche soutenus dans le cadre de la coopération internationale**  
**Bilan - Livrables des projets**

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations			
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants		Autre personnel		Articles publiés		Conférences et communications	Brevet			
36	1	Doctorants	20	2	0	7	Directement associés aux projets	6	7 Internationales	0	1 Manifestations scientifiques	
		Master	7									
		Licence	1									0 Nationales
		Total	28									Total

**Projet : Nanocomposites écologiques à partir de ressources naturelles espagnoles et marocaines**

Responsables : **Mohammed LAHCINI**, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cadi Ayad, Marrakech  
**Khalid DRAOUI**, Faculté des Sciences, Université Abdelmalek Essâdi, Tétouan

Partenaire étranger : CSIC

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations		
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants		Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés		Conférences et communications	Brevet	
		Doctorants	Master				Directement associés aux projets	Associés aux projets			
8	1	Doctorants	9	0	0	4	2	5 Internationales	0	0	1 Manifestations scientifiques
		Master	4								
		Total	13								
							Total	2	0		

22

**Projet : Mise au point et production de biofertilisants bactériens pour l'inoculation de la productivité des légumineuses alimentaires au Maroc**

Responsables : **Jamal AURAG**, Faculté des Sciences, Université Mohammed V-Agdal, Rabat  
**Imane THAMI ALAMI**, Institut National de la Recherche Agronomique

Partenaire étranger : EMBRAPA

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations		
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants		Autre personnel	Doctorat	Master	Articles publiés		Conférences et communications	Brevet	
		Doctorants	Master				Directement associés aux projets	Associés aux projets			
12	10	Doctorants	4	2	0	2	0	2 Internationales	0	0	
		Master	2								
		Total	6								
							Total	0	2		

23

**Projet : Sélection et utilisation de microorganismes rhizosphériques pour l'optimisation de la mycorhization de l'olivier au Maroc**

Responsables : **Abdelkrim FILALI-MALTOUF**, Faculté des Sciences, Université Mohammed V-Agdal, Rabat  
**Cherkaoui El Moudafar**, Université Cadi Ayad, Marrakech  
**Allal Douira**, Université Ibn Toufail, Kenitra  
**Ahmed Oukabli**, Centre Régional de la Recherche Agronomique (CRR), Meknès  
**Ahmed Moukhli**; CRR, Marrakech

Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations
Chercheurs	Post doctorants	Étudiants		Autre personnel		Articles publiés		Conférences et communications	Brevet
16	0	Doctorants	7	0	0	Directement associés aux projets	4	0 Internationales	0
		Master	1						
		Licence	1						
		Total	9						
						Associés aux projets	0	0 Nationales	
						Total	4	0	

24

**Activité I.6 : Soutien aux manifestations scientifiques en 2013-2014**

Nombre de manifestations soutenues	Nombre de doctorants soutenus	Nombre d'actions de soutiens financiers	Budget alloué
31	96	9	249 367,19 DH

25

### Activités I.6 : Soutien aux manifestations scientifiques

Thème de la manifestation	Date et lieu	Nombre de doctorants soutenus
18 <sup>me</sup> édition de la semaine scientifique et culturelle de l'étudiant	20-23 mars, Marrakech	Contribution financière
8 <sup>me</sup> édition du projet culture scientifique "Va Savoir"	26-30 mars, Marrakech	Contribution financière
Rencontre des Sciences Géomatiques	08-09 avril 2013, Rabat	Contribution financière
Ecole de recherche CIMPA sur Méthodes statistiques et applications en actuariat et finance	08-13 avril 2013, Marrakech	Contribution financière
4 <sup>me</sup> édition de l'école de printemps sur le thème réseaux sans fil et technologies émergentes	24-26 avril 2013, Oujda	Contribution financière
Ecole internationale d'astrophysique de l'Oukaimeden	28 avril - 05 mai 2013, Marrakech	2
First international workshop on vehicular networks and telematic	02-04 mai 2013, Marrakech	2
8 <sup>me</sup> Colloque international sur Magmatisme, Métamorphisme et Minéralisation	08-13 mai 2013, Marrakech	6
Conférence Internationale sur le Génie Industriel et le Management des Systèmes	20-22 mai 2013, Rabat	5
1 <sup>er</sup> Congrès Méditerranéen sur les envenimations scorpioniques et ophidiennes	20-23 mai 2013, Marrakech	2

26

### Activités I.7 : Soutien aux manifestations scientifiques (2/3)

Thème de la manifestation	Date et lieu	Nombre de doctorants soutenus
1 <sup>re</sup> édition du colloque national sur la cybercriminalité	29-30 mai 2013	1
4 <sup>me</sup> Rencontre internationale sur les matériaux diélectriques	29-31 mai 2013, Marrakech	2
11 <sup>me</sup> Conférence internationale de la Société Africaine des Neurosciences	13-17 juin 2013, Rabat	Contribution financière
13 <sup>me</sup> Conférence internationale sur les antioxydants	26-28 juin 2013, Marrakech	2
21 <sup>me</sup> édition du Congrès international sur l'European Signal Processing Conference	09-13 septembre 2013, Marrakech	3
39 <sup>me</sup> Colloque de la Société Nationale de Neuroendocrinologie	25-27 septembre 2013, Fès	1
5 <sup>mes</sup> Journées de la Société Marocaine d'Immunologie	02-08 octobre 2013, Rabat	10
Colloque International sur la Technologie Spatiale	30-31 octobre 2013, Rabat	4
Sciences en fête	07 mai 2013, Kenitra	Contribution financière
12 <sup>me</sup> Conférence internationale sur la matière condensée et la physique statistique	30 octobre-01 novembre 2013, Errachidia	2

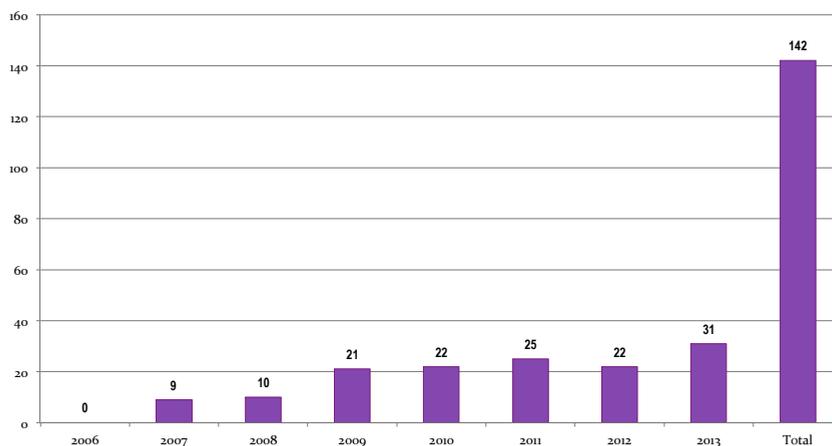
27

### Activités I.7: Soutien aux manifestations scientifiques (3/3)

Thème de la manifestation	Date et lieu	Nombre de doctorants soutenus
Journées d'analyse numérique et d'optimisation pour les applications des mathématiques	30 octobre-01 novembre 2013, Essaouira	10
3 <sup>me</sup> Workshop sur les applications des modèles stochastiques en finance et gestion des risques	01-02 novembre 2013, Rabat	Contribution financière
16 <sup>me</sup> édition des Journées Internationales de Thermique	13-15 novembre 2013, Marrakech	6
7 <sup>me</sup> Congrès TRAMECH - Hétérocyclique	27-30 novembre 2013, Rabat	6
3 <sup>me</sup> édition du Symposium International sur "Security and safety of complex systems"	29-30 novembre 2013, Agadir	3
3 <sup>me</sup> Congrès de l'Association du Moyen-Orient de recherche sur le cancer	05-07 décembre 2013, Rabat	5
8 <sup>th</sup> IEEE The International Design and Symposium	16-18 décembre 2013, Marrakech	2
Conférence Internationale de Probabilités et Statistiques	17-20 décembre 2013, Marrakech	5
2 <sup>mes</sup> Journées "jeunes chercheurs de la Société Marocaine des chimistes thérapeutiques"	20-21 décembre 2013, Kenitra	10
6 <sup>me</sup> Festival des Sciences de Tanger	23-27 décembre 2013, Tanger	Contribution financière
26 <sup>me</sup> Colloque Scientifique sur "Cultures et politiques d'évaluation en éducation et formation"	15-17 janvier 2014 - Marrakech	5

28

### Évolution du nombre de manifestations scientifiques soutenues par l'Académie depuis son installation



29

### Activité 1.8 : Autres actions de promotion de la recherche scientifique

Action	Résultat
Concours général des sciences et techniques (Allocations d'excellence)	Pour la quatrième année consécutive, des allocations d'excellence (édition 2013) attribuées aux lauréats du concours général en sciences et techniques, organisées pour les meilleurs bacheliers des disciplines scientifiques et techniques, dans le cadre de la convention de partenariat signée avec le Ministère de l'Éducation Nationale.
Concours national de l'innovation, de la recherche-développement et de la technologie	Contribution par un montant de 75 000 DH pour le coût des prix à attribuer et la prise en charge des déplacements des jeunes nominés participant à ce concours.
Prix de thèse aux jeunes diplômés en sciences économiques	L'Académie apporte son appui à l'Association marocaine de sciences économiques et accorde des prix de thèse aux jeunes diplômés en sciences économiques. Résultat : éditions d'ouvrages sur l'économie marocaine

30

## Mission II. Contribution à la définition des politiques de la recherche scientifique et technologique

«En matière de politique nationale de recherche scientifique et technique : l'Académie a pour mission d'émettre des recommandations sur les priorités et sur les moyens susceptibles d'assurer la réalisation des objectifs nationaux en matière de recherche.» (Loi, Art. 2)

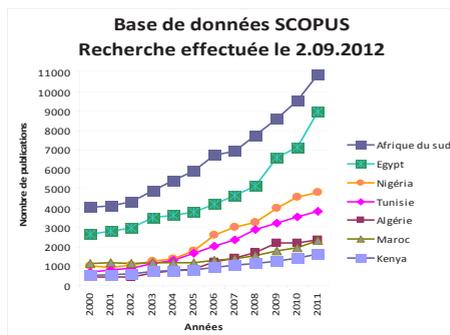
31

### Activité II.1 : Actualisation des indicateurs de sciences et technologies

En matière d'évaluation et de financement des programmes de recherche scientifique : « l'Académie est chargée de réaliser des études, des analyses et des enquêtes sur le secteur de la recherche » (Loi, art. 2)

Suite à la publication par l'Académie, en novembre 2012, du document intitulé « Développer la recherche scientifique et l'innovation pour gagner la bataille de la compétitivité » ; l'Académie envisage d'éditer des rapports sur chaque champ disciplinaire.

Le premier document que l'Académie va éditer concerne « la recherche biomédicale et en santé ».



### Activité II.2 : Participation de l'Académie aux travaux d'instances nationales

- Commission Nationale de Coordination de l'Enseignement Supérieur (CNACES)
- Conseil d'Administration du CNRST



### **Mission III. Développement de l'enseignement des sciences et promotion de la culture scientifique**

«L'Académie est chargée de :

- proposer aux autorités concernées les voies et les moyens capables de développer l'esprit scientifique au sein de la société marocaine,
- entreprendre des actions de diffusion de la science par des colloques, des manifestations scientifiques, des publications et par la création des bibliothèques scientifiques» (Loi, art. 2)

34

#### **Activité III.1 : Développement de l'enseignement des sciences**

##### **Activités**

Réunion de coordination organisée avec les services du Ministère de l'Éducation Nationale (27 mars 2013) en présence des représentants des 16 Académies Régionales de l'Éducation et de la Formation ainsi que du Centre National d'Innovation Pédagogique et d'Expérimentation (CNIPE) de ce même ministère.

Suite à la participation de l'Académie à la réunion préparatoire du programme de formation des formateurs en rédaction et communication scientifiques organisée à Paris à l'Académie Nationale de Médecine de France,

Participation de l'Académie à l'atelier «microsciences» consacré à l'enseignement des sciences, organisé par l'Académie Africaine des Sciences à Nairobi.

Participation de l'Académie à l'atelier de formation musicale consacré à la gestion des collections patrimoniales et médiation sciences et société, organisé à Rabat par OCIM-CNRST-CNIPE.

35

### Activité III.2 : 8<sup>me</sup> édition des journées «les jeunes et la science au service du développement» (1/3)

- L'Académie a organisé du 26 novembre au 02 décembre 2013, la 8<sup>me</sup> édition des journées «les jeunes et la science au service du développement» en partenariat avec le Ministère de l'Éducation Nationale. La thématique principale retenue pour cette édition est «l'eau». Cette thématique s'inscrit dans le cadre de la décision prise par l'ONU et l'UNESCO de faire de l'Année 2013 «Année internationale de la coopération dans le domaine de l'eau».



36

### Activité III.2 : 8<sup>me</sup> édition des journées «les jeunes et la science au service du développement» (2/3)

- Pour illustrer cette thématique et sensibiliser les jeunes à l'importance de l'eau, comme pour les conditions précipitantes, des conférences, des ateliers, des visites de laboratoires, des sorties sur le terrain, des projections de films et de documentaires ainsi que des rencontres avec des élèves ont été programmés à travers les différentes régions du Royaume,
  - Cette année, particulièrement, il y eu une forte implication des AREF qui ont animé leurs propres manifestations en parallèle des activités programmées par les collèges scientifiques de l'AH2ST.
  - La 8<sup>me</sup> édition de ces journées a été organisée aussi avec le concours des Universités, de la Direction Nationale de la Métrologie et de l'ONEE .
- **Sans compter le nombre d'élèves ayant participé aux activités organisées par les AREF, environ 5150 élèves ont participé aux activités animées par les collèges scientifiques de l'AH2ST.**

37

### Activité III.2 : 8<sup>me</sup> édition des journées des jeunes et la science au service du développement (3/3)

Conférences, rencontres, ateliers etc. ...animés par les collèges scientifiques de l'AH2ST

Collège scientifique	Activité
Sciences physiques et chimiques	11 conférences, 4 rencontres avec des élèves, 5 ateliers, 2 expositions, 1 pièce théâtrale et 1 visite à Matis Aerospace.
Ingénierie, Transfert & Innovation Technologique	13 conférences, 1 exposition et 1 projection de film.
Sciences et techniques de l'environnement, de la terre et de la mer	3 conférences, 1 rencontre, 2 ateliers, 2 sorties de terrain et 2 expositions de film.

38

### Activité III.3 : Organisation du cycle de conférences

« L'Académie est chargée d'assurer une communication de haut niveau entre la communauté scientifique nationale et l'élite scientifique mondiale » (Loi, art.2)

Conférence	Présenté par	Date	
« Plastics Packaging Research Trends Case Studies : Functionality in Multilayer Films »	Pr. Abdellah AJJI	26 septembre 2013	
« Novel Breakwater « Biplane » Technology Dissipating Tsunami Energy »	Pr. Hiroshi OKUMURA	09 octobre 2013	
« Le savoir économique face aux défis contemporains »	Pr. Roger GUESNERIE	28 octobre 2013	
« Conception et synthèse de nouveaux composés organiques et organométalliques hautement conjugués en vue d'application dans des dispositifs optoélectronique »	Pr. Bouchta SAHRAOUI	24 décembre 2013	
« Y a-t-il une signification de l'Homme? »	Pr. Yves QUERE	14 février 2014	

### Activité III.4 : Formation en muséologie

- Formation OCIM - CNRST - CNIPE avec le soutien de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques sur « La gestion des collections patrimoniales et médiation sciences et société »
- Assurée par l'OCIM à Rabat les 22, 23, 24 octobre 2013
- Formation organisée dans le cadre du partenariat franco-marocain.

40

### Activité III.5 : Publications de l'Académie durant 2012-2013

- Actes de la session plénière 2013
- Bulletin d'information de l'Académie (N°13)
- Lettres de l'Académie (N°19, 20 et 21)
- Volume 3 du Journal scientifique de l'Académie « Frontiers in Science and Engineering »



41

### Activité III.6 : Bibliothèque de l'Académie



- Acquisition et traitement de plus de 200 titres (ouvrages couvrant les disciplines de sciences physiques et chimiques, sciences biologiques, sciences de l'ingénieur, sciences de la terre et de la mer, histoire des sciences É)
- Réunions du Comité d'orientation et de suivi de la Bibliothèque (politique d'acquisition, règlement intérieur, charte d'utilisation É.)
- Mise en œuvre du catalogue numérisé des collections de la bibliothèque (élaboration d'un guide d'utilisation destiné aux usagers)
- Dons de documents offerts par des académiciens, des institutions nationales et internationales.

42

## IV- Coopération, partenariat et présence de l'Académie à l'échelle internationale



Coopération de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et l'Académie des Sciences de l'Inde



Coopération de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et l'Académie Nationale des Sciences du Sénégal

43

## Activité IV.1 : Coopération bilatérale

- Dans le cadre de renforcement des liens de coopération bilatérale, l'Académie procède de visites et à la signature de conventions de coopération

### Coopération bilatérale

Signature d'une convention cadre de coopération et de partenariat avec le Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM - France)



Visite de quelques membres du Collège des Sciences et Techniques de la Mer, de la Terre, de l'Eau et de l'Environnement de l'Académie des Sciences de l'Institut de France



Signature d'une convention cadre avec l'Entreprise suisse Eléphant Vert Maroc



44

## Activité IV.2 : Coopération multilatérale

Manifestation	Date	Lieu	Participant
Réunion du Comité exécutif du NASAC	17-18 mai 2013	Rabat - Maroc	Pr. Omar Fassi-Fehri, Secrétaire perpétuel et Pr. Mostapha Bousmina, Chancelier de l'Académie
Atelier organisé par l'Académie Africaine des Sciences consacré à l'enseignement des sciences	15-16 mai 2013	Nairobi-Kenya	Pr. Mostapha Bousmina, Chancelier de l'Académie
4 <sup>me</sup> Conférence scientifique de l'Inter-academy medical panel sur le Futur rôle of Academies in global health	13-16 août 2013	Johannesburg - Afrique du Sud	Pr. Rajae El Aouad, Membre résident de l'Académie
Assemblée générale du NASAC où le Pr. Mostapha Bousmina, Chancelier de l'Académie a été élu Président du NASAC.	15 novembre 2013	Addis-Abeba - Ethiopie	Pr. Mostapha Bousmina, Chancelier de l'Académie

45

### Activité IV.3 : Participation de l'Académie aux rencontres et manifestations scientifiques nationales et internationales

Manifestation scientifique	Lieu	Date
Première rentrée solennelle de l'Académie Nationale des Sciences, Arts et Lettres du Bénin	Cotonou - Bénin	10-13 avril 2013
Table ronde sur la science et diplomatie en Europe centrale et méditerranée méditerranéenne	Budapest - Bulgarie	7-8 avril 2013
Colloque sur "la recherche scientifique au service du développement régional"	Marrakech-Maroc	19 avril 2013
Rencontre sur la lutte contre la désertification	Rabat-Maroc	7 juin 2013
Premier Colloque de Fès sur l'histoire de la médecine	Fès - Maroc	19 septembre 2013
Les 2èmes Rencontres de l'Observatoire de Patrimoine et de la Culture Scientifique et Technique	Dijon-France	26-27 novembre 2013
Forum sur "L'investissement dans l'éducation, le savoir et la recherche scientifique : l'enjeu pour le monde arabe"	Fès-Maroc	22 novembre 2013
Session plénière solennelle de l'Académie Nationale des Sciences et Techniques du Sénégal	Dakar-Sénégal	6-7 février 2013

46

### Activité IV.3 : Visites à l'Académie

- Dans le cadre de renforcement des liens de coopération entre l'Académie et les différents partenaires et institutions scientifiques, l'Académie reçoit la visite de responsables, de personnalités et des délégations scientifiques, appartenant à différentes institutions nationales ou étrangères. Au cours de l'année 2013-2014, l'Académie a reçu la visite de :

Délégation	Date	
Visite de la Secrétaire d'Etat Espagnole à la Recherche, au Développement et à l'Innovation	06 juin 2013	
Délégation du Parlement de Finlande	15 janvier 2013	
Délégation de l'Office de Coopération et d'Information Muséales (OCIM – France)	21 janvier 2013	

47

## V- Organisation administrative de l'Académie



48

### V.1.- Les ressources humaines

- *Le nombre du personnel de l'Académie n'a pas changé. Il s'élève aujourd'hui à 33 personnes dont 16 cadres supérieurs (docteurs d'Etat ou ingénieurs). Il est composé du personnel statutaire, du personnel détaché, du personnel mis à disposition et de contractuels. Ce personnel est chargé de différentes tâches et activités de l'Académie au sein des différents organes directeurs et administratifs de l'Académie.*
- *Achèvement de l'équipement et de l'aménagement du siège de l'Académie (informatique, bureautique, mobilier, ouvrages)*

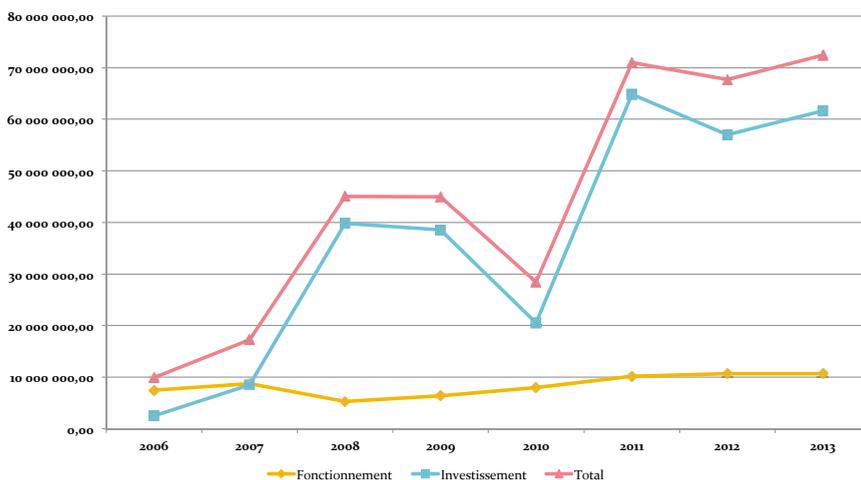
49

### Activité V.2. Le budget de l'Académie en DH

Dépenses	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Fonctionnement	8 775 000,00	5 294 222,05	6 374 613,60	7 949 527,04	10 149 426,29	10 700 000,00	10 700 000,00
Equipement	8 500 500,00	39 789 068,75	38 562 434,96	20 526 429,31	64 829 628,31	56 961 159,13	61 672 166,02
<b>TOTAL</b>	<b>17 275 500,00</b>	<b>45 083 068,75</b>	<b>44 937 048,56</b>	<b>28 475 956,35</b>	<b>70 979 090,60</b>	<b>67 661 159,13</b>	<b>72 372 166,02</b>
Coût Session plénière	1 810 000,00	1 705 969,00	1 062 229,86	1 260 354,35	1 263 087,48	1 880 388,36	2 483 090,31
Coût Journée d'étude		58 808,00	13 800,60	-	-	195 572,00	30 000,00
Coût Sessions ordinaires	510 000,00	216 421,00	58 403,00	132 808,44	31 680,00	132 462,00	99 385,00
Conventions de recherche	1 384 000,00	7 481 649,00	7 359 290,00	3 474 828,37	15 929 237,99	2 409 500,00	990 400,00
Soutien aux manifestations scientifiques	143 000,00	186 625,00	271 051,91	99 000,00	457 501,40	111 047,40	249 367,19

50

### Activité V.2. Evolution du budget de l'Académie depuis son installation



51

## Conclusion

Avant de nous féliciter de toutes les réalisations et des points positifs, nous nous devons de reconnaître que pour certaines des décisions nous avons certes convenu de les appliquer mais nous n'avons pas encore achevé toute leur mise en œuvre; il s'agit de la décision concernant la visite d'une commission de l'Académie à tous les sites où sont réalisés les projets de recherche financés par l'Académie. Comme nous n'avons pas encore commencé la réflexion sur notre expérience de jouer le rôle d'agence de moyens; et l'évaluation de cette expérience.

C'est aussi la décision concernant la visite de clubs scientifiques créés avec l'aide de l'Académie; ce travail a commencé et nous disposons de rapports particulièrement riches concernant certains clubs scientifiques.

Sur la question de l'enseignement des sciences nous nous devons commencer l'élaboration des contenus des formations.

52

## Conclusion

La décision d'organiser un séminaire par collège scientifique : non complètement appliquée.

L'idée de concevoir une exposition muséale au sein de notre siège n'avance pas.

Nous devons au cours de l'année prochaine avancer sur tous ces dossiers.

Je vous invite à réfléchir sur l'organisation temporelle de la session plénière solennelle annuelle.

L'Académie Hassan II des Sciences et Technique essaye donc inlassablement de s'acquitter de sa mission en insistant sur l'importance du rôle que devront jouer nos scientifiques en général, et les membres de l'Académie en particulier, afin de contribuer à relever les défis du développement et principalement ceux du développement humain et en tendant toujours vers l'objectif qui lui a été défini par Sa Majesté le Roi Mohammed VI « que Dieu Le Glorifie », le 18 mai 2006, **celui de «servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale»** dont elle a fait sa devise.

*Merci pour votre attention*

53



## COMPTE RENDU DE LA SESSION PLÉNIÈRE SOLENNELLE 2014

La session plénière solennelle 2014 de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, s'est tenue à Rabat, les 19, 20 et 21 février 2014, sous le thème scientifique général «**Sources d'énergie renouvelables et transition énergétique : faits, défis et opportunités pour le Maroc**». Le présent compte rendu synthétise les travaux et activités de cette session.

**Mercredi 19 février 2014 (matin)**

**Cérémonie d'ouverture**

**Séance plénière I : «Production de l'énergie électrique centralisée»**

Le mercredi 19 février 2014, à 09h, dans la salle de Conférences de l'Académie du Royaume à Rabat, s'est tenue la cérémonie d'ouverture solennelle de la session plénière solennelle 2014 de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, en présence de plusieurs personnalités invitées.

Dans son Discours d'ouverture, le Secrétaire perpétuel de l'Académie, le Pr. Omar Fassi-Fehri, après avoir souhaité de bienvenue aux participants, a rappelé que la tenue de la session plénière solennelle de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques est toujours pour l'ensemble de ses membres un moment privilégié de se retrouver pour s'acquitter d'une des activités majeures de l'Académie, celle, comme précisée dans la loi de sa création, de réunir de façon régulière l'ensemble de ses membres dans l'objectif d'apporter un éclairage renouvelé sur le progrès incessant des sciences dans le monde, et de débattre sur les conditions et les voies appropriées qui permettent à celles-ci de contribuer au développement de notre pays.

Il a rappelé que le thème scientifique général de cette session plénière solennelle sur «**Sources d'énergie renouvelables et transition énergétique : faits, défis et opportunités pour le Maroc**» bénéficie de la Haute Bénédiction de Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu le Garde –; et il a renouvelé à cette occasion sa profonde gratitude et ses remerciements déferents à Sa Majesté Le Roi – que Dieu Le protège – pour Sa bienveillante Sollicitude, pour Ses précieux encouragements et pour la Protection Tutélaire Royale dont s'enorgueillit l'Académie.

Il a aussi rappelé que cette session est marquée par la présence de plusieurs éminentes personnalités scientifiques venant du Maroc et de l'étranger (France, Allemagne, Espagne, Suisse, Etats Unis, Malaisie). Parmi les personnalités invitées on trouve notamment Mme Catherine Bréchnac, Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences de l'Institut de France, et Ambassadeur déléguée pour la science, la technologie et l'innovation et du Pr. Detlev Ganten, Vice-président de l'Académie des Sciences Leopoldina d'Allemagne. Ont été présents également à cette session des collègues représentant les Académies des Sciences Africaines, Pr. Sammy Choumbrow Beban et Pr. Mansourou Moudachirou,

respectivement Vice-Président de l'Académie des Sciences du Cameroun, et Secrétaire perpétuel de l'Académie Nationale des Sciences, Arts et Lettres du Bénin.

Concernant le déroulement des travaux de cette session, le Pr. Omar Fassi-Fehri a indiqué que la session plénière solennelle de cette année ambitionne d'apporter une contribution et un éclairage sur les sciences et technologies actuellement utilisées dans le domaine de promotion des énergies renouvelables et du renforcement de l'efficacité énergétique. Au cours de la session, Il sera dressé l'état de l'art des sciences et technologies dans le domaine de production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables notamment l'énergie solaire photovoltaïque et l'énergie éolienne. Les exposés, les communications, les panels et les débats seront focalisés essentiellement sur la transition énergétique, les technologies solaires thermodynamiques et photovoltaïques ainsi que sur la problématique de stockage des énergies renouvelables. Seront également discutés les thématiques en rapport avec les tendances de la recherche-développement dans ces domaines, la formation des compétences et l'intégration industrielle, considérées comme essentielles pour la pérennisation du développement des énergies renouvelables dans notre pays.

Dans son allocution, le Secrétaire perpétuel a passé aussi en revue les principales activités menées durant l'année écoulée par l'Académie. Ainsi quelques-unes des actions phares menées par l'Académie ont été rappelées, comme :

1. la promotion de la recherche scientifique par le financement de projets de recherche sur des thématiques considérées comme prioritaires au niveau national, pour un budget de quelques 70 millions de DH (dont 40 ont déjà été versés) dans le cadre de deux appels d'offres, en 2007-2008 et 2010-2011.
2. l'organisation de quatre séminaires sur des thèmes liés au développement socio-économique du pays avec la participation d'experts et de chercheurs étrangers et marocains: «recherche biomédicale et en santé», «la gestion des déchets urbains», «économie verte : quel agenda de recherche pour le Maroc», «l'industrie aéronautique : ambitions et défis pour le Maroc»,
3. la diffusion de la culture scientifique et technique à travers la création de nouveaux clubs scientifiques dans certains lycées et l'organisation de la 8ème édition des journées «les jeunes et la science au service du développement» tenues cette année sous la thématique de «l'eau»,
4. l'encouragement de l'excellence, en octroyant en particulier aux lauréats du Concours général des Sciences et Techniques, organisé par le Ministère de l'Education Nationale, des allocations d'excellence accordées jusqu'à l'obtention du Doctorat,
5. la poursuite des études sur l'état de la science au Maroc par champ disciplinaire, après avoir réalisé le document sur l'état de la recherche scientifique au Maroc «développer la recherche scientifique et l'innovation pour gagner la bataille de la compétitivité»,
6. la diffusion régulière des publications de l'Académie; les actes des sessions, le bulletin d'information de l'Académie semestriel, la lettre de l'Académie trimestrielle et le journal scientifique «Frontiers in Science and Engineering» annuel,

7. le renforcement de la présence de l'Académie sur le plan international notamment en Afrique par la présidence par l'Académie du Réseau Africain des Académies des Sciences (NASAC) et également par l'élection de l'Académie comme membre du Conseil de l'Inter Academy IAC, aux côtés des Académies des sciences les plus prestigieuses (France, Royaume Uni, USA, Allemagne, Inde Chine, Japon...), et enfin par la participation aux activités du GID (Groupement inter-académique pour le Développement) et du réseau méditerranéen dédié au développement de l'enseignement des sciences.

Après l'allocution du Secrétaire perpétuel, la parole est donnée à Mme Catherine Bréchnignac, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences de l'Institut de France et Ambassadeur déléguée pour la science, la technologie et l'innovation, et au Pr. Detlev Ganten, Vice-président de l'Académie des Sciences Leopoldina d'Allemagne.

Dans le cadre de cette cérémonie d'ouverture, un premier exposé introductif a été présenté par Pr. Didier Roux, membre de l'Académie des Sciences et de l'Académie des Technologies Françaises, sur le thème «*Questions énergétiques et environnementales : efficacité énergétique*».

Un deuxième exposé a été présenté par Mr. Philippe Tanguy, membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques sur le thème «*Transition énergétique – du rêve à la réalité*».

A l'issue de la cérémonie d'ouverture, une convention de partenariat entre l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et le Ministère de l'Education Nationale et de la Formation Professionnelle a été signée par le Pr. Omar Fassi-Fehri, Secrétaire perpétuel de l'Académie et Mr. Rachid Benmokhtar, Ministre de l'Education Nationale et de la Formation Professionnelle.

Après la pause-café, l'Académie a procédé à l'élection du Pr. Mahfoud Ziad comme Directeur des séances, en remplacement du Pr. Driss Ouazar dont le mandat est venu à expiration. Par la suite, l'Académie a poursuivi ses travaux par une première séance plénière sur «**Production de l'énergie électrique centralisée**», au cours de laquelle trois exposés furent présentés :

- Pr. Valeriano Ruiz-Hernandez, membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Président du Centre Tecnologico Avanzado de Energias, Espagne, sur le thème «*Avancées et problématiques des technologies solaires thermodynamiques*»;
- Pr. Ahmed Ennaoui, Directeur de recherche à l'Institut des Systèmes des Matériaux Hétérogènes, Centre Helmholtz, Berlin, sur «*Avancées et problématiques des technologies solaires photo-voltaïques*»;
- Dr. Christoph Richter, Executive Secretary, Solar Power and Chemical Energy Systems, Deutsches Zentrum für Luft – und Raumfahrt V, Institute of Solar Research, sur «*Problématique de stockage des énergies renouvelables*».

Une discussion a suivi ces exposés, animée principalement par Mr. Mahfoud Ziad, Directeur des séances.

**Mercredi 19 février 2014 (après midi)****Séance plénière II : Tendances de la R&D en énergies renouvelables**

Le mercredi après midi, l'Académie a poursuivi ses travaux par une deuxième séance plénière sur le thème «**Tendances de la Recherche-Développement en énergies renouvelables**», au cours de laquelle quatre communications furent présentées respectivement par :

- Mr. Didier Laffaille, Chef du Département Technique, Commission de Régulation de l'Énergie, France, sur «*Réseaux électriques intelligents (Smart Grids)*»;
- Pr. Malik Ghallab, membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques sur le thème «*Modélisation et optimisation des réseaux électriques intelligents*».
- Mr. Ahmad Hadri Haris, Chief Executive Officer, Malaysian Green Technology Corporation, sur "Programme solaire de la Malaisie".
- Pr. Abdelkader Outzourhit, Université Cadi Ayad, Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech, Maroc, sur «*Systèmes hybrides à énergies renouvelables*».

Une discussion a suivi ces exposés.

**Jeudi 20 février 2014 (matin)****Séance plénière III : Opportunités et applications des énergies renouvelables**

La matinée du jeudi 20 février 2014 fut consacrée à deux panels; le premier sur «**Recherche et formation en énergies renouvelables**», avec sept interventions présentées par Badr Ikken (IRESEN), Driss Ouazar (ENIM), Abdellatif El Marjani (EMI), Rachid El Mrabet (OCP), Didier Roux (Académie des Sciences, France), Amal Bouamama (ONEE).

Une discussion a suivi ces exposés, animée principalement par le Représentant de MASEN, modérateur de ce panel.

A l'issue de ce premier panel, une seconde convention de partenariat a été signée entre l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et l'Institut de Recherche en Énergie Solaire et Énergies Nouvelles (IRESEN) par le Pr. Omar Fassi-Fehri, Secrétaire perpétuel de l'Académie et Mr. Badr Ikken, Directeur général d'IRESEN.

Le panel n°2 sur le thème «**Développement et intégration industrielle en énergie renouvelables**» a été animé et modéré par Mr. Ahmed Nakkouch, Président Directeur Général de NAREVA et Président de R&D Maroc. Sept interventions furent présentées au cours de ce panel par MM : Ahmed Baroudi (SIE), Ahmad Hadri Haris (Malaisie), Mezzour Riad (CGEM), Saïd Mouline (ADEREE), Abderrahim El Hafidi (Ministère EMEE), Noureddine El Aoufi (AHIIST), Mauro Pedretti (Airlight Energy).

**Jeudi 20 février 2014 (après-midi)****Séance plénière III : Opportunités et applications des énergies renouvelables**

L'après-midi du jeudi 20 février 2014 fut consacré à la séance plénière III sur le thème «**Opportunités et applications des énergies renouvelables**», au cours de laquelle trois exposés furent présentés, respectivement, par :

- Mr. Julian Blanco, Plata forma Solar de Almeria, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, CIEMAT, Espagne, sur «*Couplage du CSP au dessalement*».
- Pr. Brahim Ben Hamou, Faculté des Sciences Semlalia, Université de Marrakech, sur «*Système solaire de rafraîchissement/chauffage dans les bâtiments résidentiels à Marrakech et région*».
- Dr. Gilles Flamant, directeur du laboratoire PROMES, CNRS, France, sur «*Technologies des fours solaires et leur utilisation dans la production des vecteurs énergétiques dans l'industrie*».

Une discussion a suivi ces exposés, dirigée par le Pr. Mahfoud Zyad, Directeur des séances. A la fin, il a été décidé que la séance de la restitution de conclusions et recommandations sera reportée au lendemain vendredi matin.

**Vendredi 21 février 2014 (matin)****Séance de restitution de conclusions et recommandations des deux panels  
&  
Présentation du rapport d'activité 2013-2014**

La première partie de la séance du vendredi matin 21 février 2014 fut consacrée à la discussion des conclusions et recommandations des deux panels sur «**Recherche et formation en énergies renouvelables**» et sur le «**Développement et intégration industrielle en énergie renouvelables**». Après une large discussion, il a été convenu que les rapporteurs des deux panels rédigent un document de synthèse indiquant l'avis de l'Académie concernant les voies appropriées permettant d'accompagner la nouvelle stratégie énergétique nationale sur le plan de la formation et de la recherche ainsi que sur les moyens nécessaires à la pérennisation de cette stratégie. Le texte de ce rapport est joint aux Actes à la suite de ce compte rendu.

La deuxième partie de la séance du vendredi matin 21 février 2014 a été consacrée à la présentation et à la discussion du rapport d'activité de l'Académie durant l'année 2013-2014.

Dans ce rapport, le Secrétaire Perpétuel a présenté les actions mises en œuvre par l'Académie au cours de l'année écoulée selon les différentes missions que le Dahir de sa création lui confère. Les actions phares réalisées durant l'année 2013/2014 concernent :

- *la promotion, le développement et le financement de la recherche scientifique et technologique par :*

- l'organisation des réunions des organes directeurs de l'Académie;
  - l'organisation des sessions ordinaires thématiques;
  - la préparation de la session plénière 2014;
  - le suivi de financement des projets dans le cadre de l'appel d'offres 2010-2011;
  - le suivi de financement des projets dans le cadre de coopérations internationales;
  - le soutien aux manifestations scientifiques; jusqu'à fin février 2014, l'Académie a soutenu 31 manifestations scientifiques;
  - l'attribution des allocations d'excellence (édition 2013) aux lauréats du concours général en sciences et techniques;
  - la contribution au concours national de l'innovation, de la recherche-développement et de la technologie organisé par l'Association R&D Maroc;
  - l'appui à l'Association marocaine de sciences économiques par l'organisation d'une école académique ouverte aux étudiants doctorants en sciences économiques et par l'octroi des prix de thèse aux jeunes diplômés en sciences économiques;
  - la participation à 5 manifestations scientifiques au Maroc et à 7 manifestations à l'étranger.
- *la contribution à la définition des politiques nationales de la recherche scientifique et technologique par :*
    - la réalisation des études et enquêtes sur le secteur de la recherche scientifique et édition d'un document sur «la recherche biomédicale et en santé»;
    - la participation de l'Académie aux travaux d'instances nationales (CNACES, CA du CNRST...).
  - *le développement de l'enseignement des sciences et la promotion de la culture scientifique par :*
    - la réunion de coordination organisée avec les services du Ministère de l'Education Nationale (27 mars 2013) en présence des représentants des 16 Académies Régionales de la l'Education et de la Formation ainsi que du Centre National d'Innovation Pédagogique et d'Expérimentation (CNIPE) de ce même ministère;
    - l'organisation d'un atelier sur la formation en rédaction et communication scientifiques visant le développement des publications scientifiques;
    - l'organisation de la 8ème édition des journées «les jeunes et la science au service de développement», sous la thématique principale «l'eau». Cette année, particulièrement, il y eu une forte implication des AREF qui ont animé leurs propres manifestations en parallèle des activités programmées par les collègues scientifiques de l'AH2ST;
    - la participation à la formation muséale sur le thème «La gestion des collections patrimoniales et médiation sciences et société»;

- l'organisation d'un cycle de conférences (Pr. Abdellah Ajji, Pr. Hiroschi Okumura, Pr. Roger Guenserie, Pr. Bouchta Sahraoui, Pr. Yves Quéré);
  - la contribution à l'organisation de séminaires, ateliers, journées d'étude;
  - la diffusion des publications de l'Académie (Actes de la session plénière 2013, Bulletin d'information de l'Académie (N°13), Lettre de l'Académie (N°19, 120 et 21) et Volume 3 du Journal de l'Académie «Frontiers in Science and Engineering».
- *la promotion de la coopération scientifique et du renforcement de la présence de l'Académie sur le plan international par :*
    - la signature d'une convention cadre de coopération et de partenariat avec le Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM – France);
    - la signature d'une convention cadre avec l'Entreprise suisse «Eléphant Vert Maroc»;
    - la visite de quelques membres du Collège des Sciences et Techniques de l'environnement, de la Terre et de la Mer à l'Académie des Sciences de l'Institut de France;
    - l'organisation à Rabat de la réunion du Comité exécutif du NASAC;
    - la participation à l'atelier organisé par l'Académie Africaine des Sciences consacré à l'enseignement des sciences;
    - la participation à la 4ème Conférence scientifique de l'Inter-academy medical panel;
    - la participation à l'Assemblée générale du NASAC où le Pr. Mostapha Bousmina, Chancelier de l'Académie a été élu Président du NASAC;
    - la participation de l'Académie à plusieurs manifestations scientifiques internationales au Maroc et à l'étranger.

Après cette présentation, les académiciens purent entamer une large discussion qui a permis de dégager un certain nombre de recommandations telles que :

- Trouver les meilleures formules pour la gestion financière des projets de recherche soutenus par l'Académie;
- Apporter un soutien financier à des projets de recherche prioritaires qui nécessitent la fédération des compétences sans passer par l'appel d'offre;
- Privilégier les projets qui bénéficient d'un financement multiple (soutien de l'Académie ainsi que celui d'autres institutions);
- Effectuer des visites aux sites où sont domiciliés les projets de recherche soutenus par l'Académie;
- Faire des propositions pour renforcer l'enseignement des sciences en ligne en suscitant la pédagogie qui consiste d'apprendre à apprendre en utilisant des simulations sur ordinateurs;

- Revoir la programmation de la session plénière en proposant par exemple que les réunions des collèges scientifiques se tiennent avant la cérémonie d'ouverture;
- Augmenter substantiellement le soutien aux manifestations scientifiques;
- Informer les académiciens à temps des visites effectuées à l'Académie par des délégations étrangères;
- Permettre aux académiciens associés et aux résidents installés à l'étranger d'assister aux réunions des collèges par le biais des vidéoconférences et visioconférences;
- considérer l'année 2014 comme année charnière pour faire l'évaluation des activités de l'Académie et du travail effectué et adopter des critères choisis ainsi que celles des résultats obtenus dans le cadre des projets soutenus par l'Académie;
- Renforcer davantage les liens de coopération scientifique et technique avec les pays d'Afrique;
- Considérer 2014 comme une année de coopération par excellence avec l'Afrique.

Suite à cette discussion, le Secrétaire perpétuel a pris la parole pour apporter les informations et les précisions supplémentaires suivantes :

- le bilan des résultats obtenus dans le cadre des projets soutenus par l'Académie dans le cadre de l'appel d'offres 2010-2011 reste encore provisoire tant que ces projets sont en cours d'exécution;
- réfléchir à une meilleure formule de programmation de la session plénière solennelle, en organisant l'ouverture officielle par exemple l'après-midi;
- l'objectif de l'appui aux manifestations scientifiques est d'essayer d'encourager les étudiants doctorants à participer aux travaux de ces manifestations;
- A chaque visite d'une délégation étrangère scientifique à l'Académie, assurer la présence au moins d'un membre du collège concerné;
- Aujourd'hui la référence sur les indicateurs de sciences et de technologies au Maroc c'est le document édité par l'Académie en 2012;
- Vu la réussite des sessions ordinaires thématiques organisées en 2013, les collèges sont vivement invités à réfléchir sur les sessions ordinaires thématiques au cours de cette année (au moins une session par collège);
- la réalisation des études et enquêtes sur le secteur de la recherche scientifique doit se poursuivre et l'état des lieux par discipline est vivement recommandé;
- Enfin, se féliciter de la réussite de la session plénière solennelle 2014.

Après la présentation et la discussion du rapport d'activité, l'Académie a poursuivi ses travaux par la réunion de chaque collège scientifique pour discuter du bilan des activités de l'année 2013 et du bilan des activités de l'année 2014, et pour procéder à l'élection du directeur et co-directeur de chaque collège.

**Vendredi 21 février 2014 (après-midi)**  
**Réunions des collèges scientifiques**  
**&**  
**Séance de clôture**

Après le déjeuner et suite à la réunion des collèges scientifiques, chaque directeur des collèges a passé en revue le bilan des activités de l'année 2013, le plan d'action 2014 et les résultats de l'élection du directeur et du co-directeur suivants :

- ***Collège des Sciences et techniques du vivant***
  - *Directeur* : Albert Sasson (reconduit)
  - *co-directeur* : Rajae El Ouad (reconduite)
  
- ***Collège des Sciences et Techniques de l'environnement, de la terre et de la mer***
  - *Directeur* : Ahmed El Hassani (reconduit)
  - *co-directeur* : Driss Ouazar (reconduit)
  
- ***Collège des Sciences physiques et chimiques***
  - *Directeur* : Mostapha Bousmina (reconduit)
  - *co-directeur* : Abdelilah Benyoussef (reconduit)
  
- ***Collège des Sciences de la modélisation et de l'information***
  - *Directeur* : Abdelhak El Jai (élu)
  - *co-directeur* : Abdelmalek Azizi (reconduit)
  
- ***Collège des Ingénierie, Transfert et Innovation technologiques***
  - *Directeur* : Ali Boukhari (élu)
  - *co-directeur* : Tijani Bounahmedi (élu)
  
- ***Collège des Etudes stratégiques et Développement économique***
  - *Directeur* : Noureddine El Aoufi (élu)
  - *co-directeur* : Khalid Sekkat (reconduit)

Après, la parole a été donnée au Secrétaire perpétuel qui a fait lecture de la reconduction des membres du Conseil de l'Académie et des membres de la Commission des travaux :

Membres du Conseil d'Académie :

- Omar Fassi-Fehri, Secrétaire perpétuel
- Mostapha Bousmina, Chancelier,
- Albert Sasson
- Ahmed El Hassani
- Abdelhak El Jai

Membres de la Commission des travaux :

- Omar Fassi-Fehri, Secrétaire perpétuel,
- Mostapha Bousmina, Chancelier,
- Moammed Ait Kadi,
- Noureddine El Aoufi,
- Youssef Ouknine,
- Ali Boukhari,
- Taïeb Chkili,
- Driss Ouazar,
- Philippe Tanguy.

A la fin de cette séance, Monsieur le Secrétaire perpétuel a pris la parole et dégagé les principales conclusions que l'on peut tirer de la session, en insistant sur l'importance du thème générale qui a porté sur les énergies renouvelables et sur l'efficacité énergétique, sur sa richesse scientifique et sur la qualité des invités, des interventions et débats; il a également exprimé ses vifs remerciements à ses confrères et consœurs et à tout le personnel de l'Académie ainsi que ses félicitations pour la réussite de cette session.

La clôture des travaux est intervenue à l'issue de cette séance, au cours de laquelle l'ensemble des académiciens ont adopté un message de loyauté, de gratitude et de déférence adressé à Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu L'assiste et Le protège – pour la Haute Sollicitude dont Il entoure l'ensemble de la communauté scientifique du Maroc, et Ses bienveillants encouragements, que Dieu perpétue les bienfaits de Sa Majesté.

## **LISTE DES PARTICIPANTS**



## LISTE DES PARTICIPANTS à la session plénière (19-21 février 2014)

### Membres de l'Académie

Prénom et NOM	PROFESSION	FONCTION	COLLEGE
Driss ABOUTAJDINE	Professeur STIC Faculté des Sciences, Rabat	Membre résident	SMI
Daoud AIT-KADI	Professeur Productique-génie industriel Université Laval, Canada	Membre résident	SMI
Mohamed AIT-KADI	Professeur Président du Conseil Général du Développement Agricole	Membre résident	STETM
Ismail AKALAY	Directeur Général de l'Hydrométallurgie MANAGEM (ONA)	Membre correspondant	ITIT
Omar ASSOBBHEI	Professeur Sciences de la mer Faculté des Sciences El Jadida	Membre correspondant	STETM
Abdelmalek AZIZI	Professeur Mathématiques Faculté des Sciences, Oujda	Membre correspondant	SMI
Mohammed BELAICHE	Professeur de Physique ENS, Rabat	Membre correspondant	SPC
Abdelghani BELLOUQUID	Professeur Mathématiques (ENSA, Safi) Université Cadi Ayyad	Membre correspondant	SMI
Rachid BENMOKHTAR BENABDELLAH	Président de l'Observatoire National du Développement Humain, Rabat	Membre résident	ESDE

Collèges (abréviations) :

- SPC : Sciences Physique et Chimiques
- STV : Sciences et Techniques du Vivant
- SMI : Sciences de la Modélisation et de l'Information
- ESDE : Etudes Stratégique et Développement Economique
- ITIT : Ingénierie, Transfert et Innovation Technologique
- STETM : Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer

## LISTE DES PARTICIPANTS (suite)

Prénom et NOM	PROFESSION	FONCTION	COLLEGE
Abdelilah BENYOUSSEF	Professeur de Physique Faculté des Sciences, Rabat	Membre résident	SPC
Mohamed BERRIANE	Doyen, Faculté des Lettres	Membre correspondant	ESDE
Mohamed BESRI	Professeur Protection des Plantes	Membre correspondant	STV
Jean-Jacques BONNET (France)	Professeur Université Paul Sabatier Directeur du Laboratoire de Chimie de Coordination	Membre associé	SPC
Badia BOUAB	Professeur Paléontologie Faculté des Sciences de Rabat	Membre correspondant	STETM
Yahia BOUGHALEB	Professeur de Physique Faculté des Sciences, El Jadida	Membre correspondant	SPC
Ali BOUKHARI	Professeur de Chimie Faculté des Sciences, Kénitra	Membre résident	ITIT
Tijani BOUNAHMIDI	Vice-Président Université Mohamed V Agdal - Rabat	Membre correspondant	ITIT
Mostapha BOUSMINA	Professeur Physique des polymères et nanotechnologies	Chancelier Membre résident	SPC
Juan Carlos CASTILLA ZENOBÍ (Chili)	Professeur Facultad des Ciencias Biologicas. Chili	Membre associé	STETM
Mohammed CHERKAOUI	Professeur de Physique Université du Metz - France	Membre correspondant	SPC
Rajaa EL MOURSLI	Professeur de Physique Faculté des sciences de Rabat	Membre correspondant	SPC
Taïeb CHKILI	Professeur de Neurologie Président de l'Université Mohammed V-Souissi	Membre résident	STV

## LISTE DES PARTICIPANTS (suite)

<b>Prénom et NOM</b>	<b>PROFESSION</b>	<b>FONCTION</b>	<b>COLLEGE</b>
Jean DERCOURT (France)	Professeur de Géologie Université Pierre et Marie Curie (Paris) Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences (France)	Membre associé	STETM
Rajae EL AOUAD	Professeur de Génétique Directrice Institut National d'Hygiène	Membre résident	STV
Noureddine EL AOUIFI	Professeur d'économie Faculté de Droit - Rabat	Membre résident	ESTE
Ahmed EL HASSANI	Directeur l'Institut Scientifique Université Mohamed V	Membre résident	STETM
Abdelhaq EL JAI	Professeur - Mathématiques Laboratoire de Théories des Systèmes Université Perpignan, France	Membre résident	SMI
Abdeljabbar EL MANIRA	Professeur de nanoscience Karolinska Institute, Suède	Membre correspondant	STV
El Mokhtar ESSASSI	Professeur - Chimie Faculté des Sciences - Rabat	Membre résident	SPC
Omar FASSI-FEHRI	Professeur de Mécanique Faculté des Sciences de Rabat	Membre résident Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques	SPC
Abdelkrim FILALI MALTOUF	Professeur de Microbiologie, Faculté des Sciences de Rabat Université Mohamed V-Agdal	Membre correspondant	STV
Gerald G. FULLER (USA)	Fellow of the Academy of Engineering Department of Chemical Engineering (Stanford University)	Membre associé	SPC

## LISTE DES PARTICIPANTS (suite)

<b>Prénom et NOM</b>	<b>PROFESSION</b>	<b>FONCTION</b>	<b>COLLEGE</b>
Francisco GARCIA- GARCIA (Mexique)	Director General de Gestión Forestal y Suelos Secretario de Medio Ambiente	Membre associé	STV
Malik GHALLAB	Délégué à la recherche et au Transfert pour l'innovation France	Membre résident	SMI
Nadia GHAZZALI	Professeur Titulaire de la Chaire de recherche CRSNG-Industrielle Alliance sur les femmes en sciences et génie Départ. Maths et de Statistique Université Laval (Québec)	Membre correspondant	SMI
Claude GRISCELLI (France)	Institut Necker Faculté de Médecine - Université René Descartes - France	Membre associé	STV
Moustapha KASS (Sénégal)	Doyen Honoraire Faculté des Sciences Economiques, et de Gestion	Membre associé	ESDE
Abderrahim MAAZOUZ	Professeur – INSA Départ. de Génie Mécanique Conception Lyon - France	Membre résident	ITIT
Carlos MARTINEZ- ALONSO (Espagne)	Professeur d'immunologie Président - Conseil Supérieur de la Recherche Scientifique (CSIC – Madrid)	Membre associé	STV
Abdallah MOKSSIT	Directeur de la Météologie Nationale (Maroc)	Membre correspondant	ITIT
Sellama NADIFI	Professeur de Génétique et immunologie Faculté de Médecine - Casablanca	Membre correspondant	STV
Ahmadou Lamine NDIAYE (Sénégal)	Président de l'Académie des Sciences et Techniques du Sénégal	Membre associé	STV
Driss OUAZAR	Professeur Hydromécanique (EMI) Université Mohamed V Agdal, Rabat	Membre résident	STETM

## LISTE DES PARTICIPANTS (suite)

<b>Prénom et NOM</b>	<b>PROFESSION</b>	<b>FONCTION</b>	<b>COLLEGE</b>
El Maati OUHABAZ	Professeur de Mathématiques Université de Bordeaux, France	Membre correspondant	SMI
Youssef OUKNINE	Professeur Faculté des Sciences Université Cadi Ayyad Marrakech	Membre résident	SMI
Valeriano RUIZ HERNANDEZ (Espagne)	Professeur – escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla	Membre associé	ITIT
El Hassan SAIDI	Professeur - Physique Faculté des Sciences, Rabat	Membre résident	SPC
Albert SASSON	Professeur Sciences biologiques Consultant auprès UNESCO	Membre résident	STV
Abdelaziz SEFIANI	Professeur Faculté de Médecine - Rabat Directeur, Département de Génétique médicale (INH)	Membre correspondant	STV
Khalid SEKKAT	Professeur – Economie Université Libre de Bruxelles	Membre correspondant	ESDE
Zouheir SEKKAT	Professeur Faculté des Sciences Université Mohamed V Agdal, Rabat	Membre correspondant	SPC
Mohamed SMANI	Directeur R&D Maroc	Membre correspondant	ITIT
Jean SWINGS (Belgique)	Professeur, Faculté des Sciences, Université de Gand	Membre correspondant	STV
Philippe A. TANGUY (Canada)	Professeur -Département of Chemical Enginnering Ecole Polytechnique de Montréal	Membre associé	ITIT

**LISTE DES PARTICIPANTS (suite)**

<b>Prénom et NOM</b>	<b>PROFESSION</b>	<b>FONCTION</b>	<b>COLLEGE</b>
Philippe TAQUET (France)	Professeur de Géologie Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris	Membre associé	STETM
André ZAOUÏ (France)	Professeur Micromécanique des Matériaux Ecole Polytechnique	Membre associé	SPC
Mahfoud ZIYAD	Professeur de Chimie Vice Doyen, Faculté des Sciences - Rabat	Membre résident	ITIT

## LISTE DES INVITES ayant présenté une communication

<b>Prénom et NOM</b>	<b>Affiliation</b>
Ahmed BAROUDI	Société d'Investissements Energetiques (SIE), Rabat, Maroc
Brahim BENHAMOU	LMFE, Faculty of Science Semlalia & EnR2E CNEREE Cadi Ayyad University, Marrakech, Maroc
Julian BLANCO	CIEMAT-Plataforma Solar Almeria, España
Amal BOUAMAMA	Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable, Maroc
Catherine BRÉCHIGNAC	Secrétaire Perpétuel, Académie des Sciences de France Ambassadeur délégué en Science, Innovation et Technologie
Abdellatif EL MARJANI	Ecole Mohammadia d'Ingénieurs, Rabat, Maroc
Rachid EL MRABET	Office Chérifien des Phosphates, Maroc
Ahmed Ennaoui	Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie, Germany Serving as Chairman of the Scientific Committee of IRESEN
Gilles FLAMANT	Directeur, Laboratoire Procédés Matériaux et Energie Solaire, PROMES-CNRS, France
Detlev GANTEN	Vice-Président de l'Académie des Sciences Leopoldina, Allemagne
Ahmad HADRI HARIS	Malaysian Green Technology Corporation (GreenTech Malaysia) No. 2, Jalan 9/10, Persiaran Usahawan, Seksyen 9, 43650 Bandar Baru Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia
Badr IKKEN	Institut de Recherche en Energie Solaire et Energies Nouvelles IRESEN, Rabat, Maroc
Didier Laffaille	Chef du Département Technique, Commission de Régulation de l'Energie, France
Saïd MOULINE	Agence Nationale pour le Développement des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique, Maroc
Abdelkader OUTZOURHIT	LPSCM, Department of Physics, Faculty of Sciences Semlalia, Cadi Ayyad University-Marrakech, Morocco
Mauro PEDRETTI	Airlight Energy, Italy

Christoph Richter	Executive Secretary, Solar Power and Chemical Energy Systems - SolarPACES, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt V, Institute of Solar Research, Germany
Didier Roux	Membre de l'Académie des Sciences et de l'Académie des Technologies, France
Ryad Mezzour	La Confédération Générale des Entreprises du Maroc



صورة المشاركين في الدورة العامة الرسمية لسنة 2014  
Photo des participants à la Session Plénière Solennelle 2014



وخلال الجلسة الختامية، تناول الكلمة السيد أمين السر الدائم حيث تطرق لأهم النتائج التي تم استخلاصها من هذه الدورة، وأكد على جودة وغناء المداخلات والمناقشات، كما جدد تشكراته لجميع المساهمين في هذه الدورة وخصوصا للشخصيات التي تقدمت بعروض أو مداخلات في الموضوع العلمي العام لهذه الدورة.

بعد ذلك أعلن مدير الجلسات عن اختتام أشغال هذه الدورة بعد المصادقة على نص برقية ولاء وإخلاص مرفوعة إلى السدة العالية بالله صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله والمشفوعة بمشاعر التقدير والعرفان، وبعبارات الشكر والامتنان.

- **هيئة علوم الفيزياء والكيمياء**

- المدير: مصطفى بوسمينة
- نائب المدير: عبد الإله بن يوسف

- **هيئة علوم التنظير والإعلام**

- المدير: عبد الحق الجاي
- نائب المدير: عبد الملك عزيزي

- **هيئة علوم الهندسة، الإبداع والنقل التكنولوجي**

- المدير: علي البخاري
- نائب المدير: تيجاني بونحميدي

- **هيئة الدراسات الإستراتيجية والتنمية الاقتصادية**

- المدير: نور الدين العوفي
- نائب المدير: خالد السقاط

بعد ذلك، أعطيت الكلمة لأمين السر الدائم لتقديم نتائج انتخاب أعضاء مجلس الأكاديمية، وأعضاء لجنة الأعمال، التي أسفرت على انتخاب:

- **أعضاء مجلس الأكاديمية، السادة:**

- عمر الفاسي الفهري، أمين السر الدائم،
- مصطفى بوسمينة، نائب أمين السر الدائم،
- ألبير ساسون،
- أحمد الحسني،
- عبد الحق الجاي.

- **أعضاء لجنة الأعمال، السادة:**

- عمر الفاسي الفهري، أمين السر الدائم،
- مصطفى بوسمينة، نائب أمين السر الدائم،
- نور الدين العوفي،
- يوسف أكنين،
- علي البوخاري،
- الطيب الشكلي،
- محفوظ زياد،
- محمد آيت قاضي،

- فيليب طانجي Philippe Tanguy

- عند زيارة الأكاديمية من طرف أي وفد أجنبي يحضر ممثل على الأقل من الهيئة العلمية المعنية،
  - تعتبر اليوم المرجعية المتعلقة بالمؤشرات العلمية والتكنولوجية في المغرب هي الوثيقة التي نشرتها الأكاديمية سنة 2012،
  - اعتبارا لنجاح الدورات العادية الموضوعاتية لسنة 2013، نحت الهيئات العلمية للأكاديمية للتفكير في تنظيم الدورات العادية الموضوعاتية خلال سنة 2014 (دورة واحدة على الأقل لكل هيئة)،
  - يجب الاستمرار في إجراء الدراسات والتحليل والتحريرات المتعلقة بقطاع البحث العلمي، كما يجب نشر الوضعية الراهنة في كل مجال علمي،
  - أخيرا نهني أنفسنا على نجاح الدورة الرسمية العامة لسنة 2014.
- بعد هذه الإضافات، رفعت الجلسة للسماح للهيئات العلمية بالاجتماع على حدة لعرض حصيلة الأنشطة خلال سنة 2013، وتقديم برنامج عمل لسنة 2014، وأيضا لانتخاب المدير ونائب المدير لكل هيئة.

**الجمعة 21 ربيع الثاني 1435 الموافق ل 21 فبراير 2014 بعد الزوال**

### **تجديد أجهزة الأكاديمية**

#### **الجلسة الختامية**

بعد زوال يوم الجمعة 21 ربيع الثاني 1435 الموافق ل 21 فبراير 2014، واصلت الأكاديمية أشغالها في جلسة مغلقة، قدم فيها مديرو الهيئات العلمية حصيلة الأنشطة لكل هيئة خلال سنة 2013، وبرنامج عمل لسنة 2014. أما بخصوص انتخاب مدير ونائب مدير كل هيئة، فقد تم إعادة انتخاب جل مديري ونائبي المدير لكل هيئة، حيث كانت النتائج كالتالي:

#### **• هيئة علوم وتقنيات الأحياء**

– المدير: ألبير ساسون

– نائبة المدير: رجاء العواد

#### **• هيئة علوم وتقنيات البيئة والأرض والبحر**

– المدير: أحمد الحسني

– نائب المدير: إدريس وزار.

- تشجيع المشاريع التي تتوفر على تمويل متعدد (بدعم من الأكاديمية ومن مؤسسات أخرى)،
  - القيام بزيارات ميدانية للمواقع التي توجد بها مشاريع البحث المدعمة من طرف الأكاديمية،
  - تقديم مقترحات لتعزيز تدريس العلوم عن طريق الانترنت وتشجيع التجديد التربوي الذي يعتمد على تعلم كيفية التعلم باستخدام المحاكاة الحاسوبية،
  - إعادة النظر في برنامج الدورة العامة الرسمية كاقترح مثلا عقد اجتماعات الهيئات العلمية قبل جلسة الافتتاح،
  - الرفع من قيمة الدعم للتظاهرات العلمية،
  - إبلاغ الأكاديميين في الوقت المناسب بالزيارات للأكاديمية من قبل الوفود الأجنبية،
  - تقديم مشورة أكاديمية بشأن محتوى المناهج الدراسية المتعلقة بتدريس العلوم وليست المساهمة في محتوى هذه المناهج،
  - تمكين الأعضاء المشاركين والأعضاء المقيمين في الخارج من المساهمة في اجتماعات الهيئات العلمية عن طريق وسائل الاتصال السمعية البصرية عبر فيديو محاضرات،
  - اعتبار سنة 2014 سنة محورية لتقييم عمل وأنشطة الأكاديمية وإعداد حصيلة القرارات والمعايير المعتمدة وأيضا النتائج التي تم الحصول عليها في إطار المشاريع التي تدعمها الأكاديمية،
  - مواصلة تعزيز أواصر التعاون العلمي والتقني مع البلدان الإفريقية،
  - اعتبار 2014 سنة التعاون بامتياز مع الدول الأفريقية.
- في ختام هذه المناقشة، تناول الكلمة أمين السر الدائم، لإضافة المعلومات والتوضيحات التالية:
- حصيلة النتائج المحصل عليها في إطار المشاريع المدعمة من طرف الأكاديمية انطلقا من طلب العروض 2010-2011 تضل لحد الساعة مؤقتة طالما أن هذه المشاريع لازالت في طور الإنجاز،
  - العمل على برمجة أفضل للدورة العامة الرسمية مستقبلا بتنظيم مثلا الافتتاح الرسمي زوالا،
  - الهدف من دعم التظاهرات العلمية هو تشجيع الطلبة الدكاترة على المشاركة والمساهمة في أشغال هذه التظاهرات،

- الهيئات العلمية لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات،
- المساهمة في التكوين المتعلق بالمتاحف العلمية والتقنية الذي نظم تحت عنوان «تدبير مجموعات التراث والوساطة بين العلم والمجتمع»
  - تنظيم حلقة المحاضرات (الأستاذ عبد الله آجي، الأستاذ هيروشي أوكومورا، الأستاذ روجي غينسنوري، الأستاذ بوشة الصحراوي، الأستاذ إيف كيري)،
  - المساهمة في تنظيم الندوات، واللقاءات والأيام الدراسية....
  - نشر منشورات الأكاديمية (وقائع جلسات الدورة الرسمية 2013، النشرة العلمية رقم 13، رسالة الأكاديمية رقم 19، 20 و21، و المجلد 3 من مجلة الأكاديمية «حدود في العلوم والهندسة».
- النهوض بالتعاون العلمي وتعزيز حضور الأكاديمية على مستوى الدولي من خلال:
    - التوقيع على معاهدة الإطار للتعاون والشراكة مع المعهد الوطني للفنون والمهن الفرنسي،
    - التوقيع على معاهدة الإطار مع المؤسسة السويسرية «الفيل الأخضر- المغرب»،
    - زيارة بعض أعضاء هيئة علوم وتقنيات البحر، والأرض والماء والبيئة لأكاديمية العلوم الفرنسية،
    - تنظيم بالرباط اجتماع اللجنة التنفيذية للشبكة الإفريقية لأكاديميات العلوم،
    - المساهمة في الورشة المنظمة من طرف الأكاديمية الإفريقية حول موضوع «تدريس العلوم»،
    - المساهمة في اللقاء العلمي الرابع لأكاديمية الطب الدولية،
    - المشاركة في الجمع العام للشبكة الإفريقية لأكاديميات العلوم الذي تم فيه انتخاب الأستاذ مصطفى بوسمينه نائب أمين السر الدائم للأكاديمية رئيسا للشبكة الإفريقية لأكاديميات العلوم،
    - مشاركة الأكاديمية في التظاهرات العلمية الدولية داخل وخارج الوطن.
- بعد تقديم هذا التقرير، جرت مناقشة واسعة بين الأكاديميين، أسفرت على التوصيات التالية:
- البحث عن أنجع السبل للتدبير المالي لمشاريع البحث المدعمة من طرف الأكاديمية،
  - توفير الدعم المالي لمشاريع البحث ذات الأولوية التي تتطلب تجميع الكفاءات دون المرور عبر طلب العروض،

- إعداد وتهيئة الدورة الرسمية العامة لسنة 2014،
- متابعة تمويل مشاريع البحث التي تم دعمها من طرف الأكاديمية في إطار طلب العروض 2010-2011،
- متابعة تمويل مشاريع البحث في إطار التعاون الدولي،
- دعم التظاهرات العلمية؛ حيث تم دعم 31 تظاهرة علمية إلى غاية نهاية فبراير 2014.
- تقديم منح التميز (مباراة 2013) للفائزين في المباراة الوطنية في العلوم والتقنيات التي شارك فيها المنفوقون الأولون الحاصلين على شهادة البكالوريا لسنة 2013 في المسالك العلمية والتقنية،
- مساهمة في تمويل المباراة الوطنية في الابتكار والبحث التنموية والتكنولوجيا المنظمة من طرف جمعية البحث التنموي بالمغرب،
- دعم الجمعية المغربية للعلوم الاقتصادية لتنظيم المدرسة الأكاديمية حول موضوع «النمذجة ومستقبلية الاقتصاد» مفتوحة لطلاب الدكتوراه في الاقتصاد، ومنح جائزة لأحسن أطروحة الدكتوراه في العلوم الاقتصادية.
- مساهمة الأكاديمية في 5 تظاهرة علمية داخل الوطن و7 تظاهرة خارج الوطن.
- المساهمة في تحديد السياسة الوطنية للبحث العلمي والتقني من خلال:
  - إجراء الدراسات والتحقيقات حول قطاع البحث العلمي والتكنولوجي، ونشر وثيقة جديدة بعنوان «البحث العلمي في مجال العلوم الطبية والصحة»،
  - مساهمة الأكاديمية في أشغال الهيئات الوطنية (اللجنة الوطنية لتنسيق التعليم العالي، المجلس الإداري للمركز الوطني للبحث العلمي والتقني....)
- تطوير تدريس العلوم والنهوض بالثقافة العلمية من خلال :
  - تنظيم اجتماع تنسيقي مع مصالح وزارة التربية الوطنية بحضور ممثلين عن 16 أكاديمية جهوية للتربية والتكوين والمركز الوطني للتجديد التربوي والتجريب التابع لنفس الوزارة،
  - تنظيم ورشة حول التكوين في النشر والتواصل العلمي الهادف إلى تنمية المنشورات العلمية،
  - تنظيم الدورة الثامنة لأيام «الشباب والعلم في خدمة التنمية» تحت الشعار الرئيسي «الماء»، والتي تميزت هذه السنة بالانخراط القوي للأكاديميات الجهوية للتربية والتكوين الذين قاموا بتنظيم أنشطتهم الخاصة موازاة مع الأنشطة المقررة من طرف

- الأستاذ جوليان بلانكو Julian Blanco، مركز الأبحاث CIEMAT بإسبانيا، حول «الترايط بين الطاقة الشمسية المركزة وتحتية المياه»؛
- الأستاذ إبراهيم بن حمو، كلية العلوم السملاية، جامعة القاضي عياض، مراكش ، حول «النظام الشمسي للتهوية والتسخين في عمارات سكنية بمراكش ونواحيها»؛
- الأستاذ جيل فلانان Gilles Flamant، مدير مختبر PROMES، CNRS فرنسا، حول «تكنولوجيات الأفرنة الشمسية واستعمالها في إنتاج الحوامل الطاقية في الصناعة».

**الجمعة 21 ربيع الثاني 1435 الموافق ل 21 فبراير 2014 صباحا**

**جلسة تقديم الخلاصات والتوصيات الناتجة عن الجلستين للحوار والمناقشة (les panels)**

**وجلسة مغلقة لتقديم التقرير السنوي حول أعمال ونشاط الأكاديمية**

**خلال سنة 2014-2013**

**واجتماعات الهيئات العلمية**

خصصت الحلقة الأولى من جلسة يوم الجمعة 21 ربيع الثاني 1435 الموافق ل 21 فبراير 2014 لتقديم الخلاصات والتوصيات الناتجة عن الجلسة الأولى المخصصة للحوار والمناقشة حول موضوع «البحث والتكوين في الطاقات المتجددة»، والجلسة الثانية المخصصة للحوار والمناقشة حول موضوع «التطوير والإدماج الصناعي في الطاقات الجديدة». بعد المناقشة ارتأى المشاركون أن يقوموا المقررين بإعداد وثيقة موجزة تتضمن رأي الأكاديمية بشأن أحسن الطرق لمصاحبة الإستراتيجية الوطنية الجديدة للطاقة على مستوى التكوين والبحث وكذلك على مستوى الوسائل الضرورية لاستدانة هذه الإستراتيجية.

بعد ذلك تابعت الأكاديمية أشغالها في جلسة مغلقة، خصصت لتقديم ومناقشة التقرير السنوي لعمل وأنشطة الأكاديمية خلال سنة 2013-2014. في بداية هذه الجلسة، أعطيت الكلمة لأمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات لتقديم التقرير عن عمل وأنشطة الأكاديمية خلال سنة 2013-2014 وذلك في إطار تفعيل المهام الرئيسية للأكاديمية المنصوص عليها في الظهير الشريف المحدث لها. إن الأنشطة الرئيسية التي تم القيام بها من طرف الأكاديمية خلال سنة 2013-2014 تتعلق بالمجالات التالية:

- النهوض وتنمية وتمويل البحث العلمي والتكنولوجي من خلال:

- تنظيم اجتماعات الأجهزة المشرفة على إدارة أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات،

- تنظيم الدورات العادية الموضوعاتية للأكاديمية،

الخميس 20 ربيع الثاني 1435 الموافق ل 20 فبراير 2014 صباحا

### جلسة الحوار والمناقشة حول موضوع «البحث والتكوين في ميدان الطاقات المتجددة»

خصص يوم الخميس 21 فبراير 2013 صباحا، لجلستين للحوار والمناقشة (panels)، الأولى حول موضوع «البحث والتكوين في الطاقات المتجددة»، تم خلالها الاستماع إلى سبعة مداخلات قدمها كل من السيد بدر إيكن (معهد البحث في الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة)، الأستاذ أدريس وزار (المدرسة الوطنية للصناعة المعدنية)، الأستاذ عبد اللطيف المرجاني (المدرسة المحمدية للمهندسين)، السيد رشيد المرابط (مكتب الشريف للفوسفات)، الأستاذ ديدوي رو Didier Roux، (أكاديمية العلوم وأكاديمية التكنولوجيا الفرنسية)، الأستاذ عبد العزيز ميميت (المدرسة العليا للأساتذة بتطوان)، والسيد أمال بوعمامة (المكتب الوطني للماء والكهرباء).

بعد تقديم هذه المداخلات، جرت مناقشة سَيرها السيد ممثل الوكالة المغربية للطاقة الشمسية.

عند نهاية جلسة الحوار والمناقشة الأولى، تم التوقيع على معاهدة التعاون بين أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات ومعهد البحث في الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة وقعت من طرف لأستاذ عمر الفاسي الفهري، أمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، والسيد بدر إيكن، المدير العام لمعهد البحث في الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة.

بعد ذلك تابعت الأكاديمية أشغالها في جلسة الحوار والمناقشة الثانية (2 panels) حول موضوع «التطوير والإدماج الصناعي في الطاقات الجديدة» حيث قام بتنشيطها السيد أحمد الناقوش الرئيس المدير العام ل NAREVA. تم خلالها الاستماع أيضا إلى سبعة مداخلات قدمها كل من السيد أحمد بارودي (SIE)، الأستاذ أحمد حضري هارس (المجموعة الماليزية للتكنولوجيا الخضراء)، السيد مازور رياض (الكنفدرالية العامة للمقاومات المغرب)، السيد سعيد ملين (وكالة تنمية الطاقات المتجددة والنجاعة الطاقية)، السيد عبد الرحيم الحفيظي (وزارة الطاقة والمعادن والماء والبيئة)، الأستاذ نور الدين العوفي (أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات)، والسيد ماورو بدريتي (Airlight Energy).

الخميس 20 ربيع الثاني 1435 الموافق ل 20 فبراير 2014 زوالا

### الجلسة العامة الثالثة حول «فرص وتطبيقات الطاقات المتجددة»

خصصت الجلسة لزوال يوم الخميس 20 ربيع الثاني 1435 الموافق ل 20 فبراير 2014، لدراسة الموضوع المتعلق ب «فرص وتطبيقات الطاقات المتجددة»، الذي تم خلالها الاستماع إلى ثلاثة عروض، قدمها على التوالي كل من:

بعد الاستراحة، تم انتخاب السيد محفوظ زياد مديراً للجلسات خلفاً للسيد إدريس وازار الذي انتهت ولايته. بعد ذلك تابعت الأكاديمية أشغالها في جلستها العامة الأولى حول موضوع «إنتاج الطاقة الكهربائية المركزة»، والتي تم أثنائها الاستماع إلى ثلاثة عروض قدمها كل من :

- الأستاذ فلريانو رويز هرنانديز، عضو مشارك بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، ورئيس مركز CTAER، إسبانيا، حول «تقدم وإشكاليات التقنيات الشمسية الترموديناميكية»؛
- الأستاذ أحمد الناوي، مدير أبحاث بمركز هلموتز، برلين، حول «تقدم وإشكاليات التقنيات الشمسية الكهروضوئية»؛
- الأستاذ كريستوف ريشتر، المدير التنفيذي لمعهد الأبحاث للطاقة الشمسية، حول «إشكالية تخزين الطاقات المتجددة».

بعد هذه العروض، جرت مناقشة واسعة بين الأكاديميين.

### الأربعاء 19 ربيع الثاني 1435 الموافق ل 19 فبراير 2014 بعد الزوال

#### الجلسة العامة الثانية حول «توجهات البحث - التنمية في ميدان الطاقات المتجددة»

خلال الجلسة العامة المنعقدة يوم الأربعاء 19 فبراير 2014 بعد الزوال، تابعت الأكاديمية أشغالها بدراسة موضوع «توجهات البحث - التنمية في ميدان الطاقات المتجددة»، والتي تم خلالها الاستماع إلى أربعة عروض قدمها كل من :

- الأستاذ ديديي لافاي Didier Lafaille، رئيس الشعبة التقنية، لجنة تقنين الطاقة بفرنسا، حول «الشبكة الكهربائية الذكية»؛
- الأستاذ مالك غلاب، عضو مقيم بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، حول «نمذجة وتحسين أمثل للشبكات الكهربائية الذكية»؛
- الأستاذ أحمد حضري هارس، رئيس المجموعة الماليزية للتكنولوجيا الخضراء، حول «برنامج الطاقة الشمسية بماليزيا»؛
- الأستاذ عبد القادر أتزوغيت، كلية العلوم السملالية، جامعة القاضي عياض، مراكش، حول «النظم الهجينة للطاقات المتجددة».

وتلت هذه العروض مناقشة عامة.

4. تشجيع الامتياز من خلال توزيع منح الامتياز للفائزين في المباراة العامة للعلوم والتقنيات، وذلك حتى الحصول على الدكتوراه.

5. القيام بدراسات حول قطاع البحث العلمي على صعيد التخصصات العلمية. وقد أنجزت الأكاديمية في هذا الصدد وثيقة حول وضعية البحث العلمي في ميدان العلوم الطبية في بلادنا.

6. النشر المنتظم لمطبوعات الأكاديمية : أشغال الدورات، النشرة الإخبارية للأكاديمية، رسالة الأكاديمية، والمجلة العلمية «حدود في العلوم والهندسة».

7. تعزيز حضور الأكاديمية على المستوى الدولي، وخاصة على المستوى الإفريقي، حيث تميزت السنة المنصرمة بانتخاب أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات رئيساً لشبكة الأكاديميات الإفريقية للعلوم في شخص الأستاذ مصطفى بوسمينة نائب أمين السر الدائم، وأيضاً انتخاب الأكاديمية عضواً في المجلس الدولي للأكاديميات بجانب أكاديميات للعلوم مرموقة (فرنسا، المملكة المتحدة، الولايات المتحدة، ألمانيا، اليابان، الهند، الصين....)، وكذلك بالمساهمة في أنشطة GID (مجموعة أكاديميات من أجل التنمية) والشبكة المتوسطة التي تشغل على مسألة تدريس العلوم.

بعد كلمة أمين السر الدائم، أعطيت الكلمة للأستاذة كاترين بريشينييك (Catherine Bréchnignac) أمينة السر الدائمة لأكاديمية العلوم الفرنسية، والسفيرة المنتدبة للعلم والتكنولوجيا والابتكار، وللأستاذ ديلف جانتن Deltev Ganten، نائب رئيس أكاديمية العلوم ليوبولدينا بألمانيا.

وفي إطار نفس الجلسة الافتتاحية، أعطيت بعد ذلك الكلمة إلى الأستاذ ديدي روي Didier Roux، عضو أكاديمية العلوم وأكاديمية التكنولوجيا الفرنسية، الذي قدّم العرض الافتتاحي حول موضوع «قضايا طاقة وبيئية : النجاعة الطاقية».

وخلال نفس الجلسة الافتتاحية قدّم الأستاذ فيليب طانجي Philippe Tanguy، عضو مشارك بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، عرضاً حول موضوع «الانتقال الطاقوي: من الحلم إلى الواقع».

مباشرة بعد الجلسة الافتتاحية، تم التوقيع على اتفاقية الشراكة بين أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات ووزارة التربية الوطنية والتكوين المهني وقعت من طرف السيد رشيد بن المختار وزير التربية الوطنية والتكوين المهني والأستاذ عمر الفاسي الفهري، أمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات.

العلم والتكنولوجيا والابتكار، والأستاذ ديلتف جانتن Deltev Ganten، نائب رئيس أكاديمية العلوم ليوبولدينا بألمانيا. كما حضر أشغال هذه الدورة بعض الزملاء ممثلي بعض أكاديميات العلوم الإفريقية، كالأستاذ سومي شومبرو ببيان Sommy Choumbrow وBeban والأستاذ مانسورو موداشيرو Monsourou Moudachirou، وهما على التوالي نائب رئيس أكاديمية العلوم بالكامرون وأمين السر الدائم لأكاديمية العلوم والفنون والآداب بالبينين.

وبخصوص أشغال الدورة، أشار الأستاذ عمر الفاسي الفهري بأن الدورة العامة الرسمية لهذه السنة تطمح إلى المساهمة في التشاور وتسلط الضوء حول المعارف والتكنولوجيات المستخدمة حاليا في مجال تنمية الطاقات المتجددة وتعزيز النجاعة الطاقية. كما أشار إلى أن خلال هذه الدورة سيتم تقييم الوضعية الحالية للعلوم والتكنولوجيات في مجال إنتاج الكهرباء انطلاقا من مصادر الطاقة المتجددة بما في ذلك الطاقة الشمسية الضوئية والطاقة الريحية. كما أن العروض والمداخلات وكذلك جلسات النقاش (Panels) ستتركز أساسا على المواضيع المتعلقة بمرحلة الانتقال الطاقى، وتكنولوجيات الطاقة الشمسية الحرارية والكهروضوئية وأيضا بخصوص مسألة تخزين الطاقة المتجددة. كما ستتم مناقشة المواضيع المتعلقة باتجاهات البحث والتنمية في هذه الميادين وتعزيز تكوين الكفاءات وإدماج النسيج الصناعي في مختلف المجالات المتعلقة بالطاقات المتجددة، التي تعتبر ضرورية لاستدامة تطوير الطاقات المتجددة في بلادنا.

كما تطرق أمين السر الدائم في كلمته الافتتاحية إلى الأنشطة الرئيسية التي قامت بها الأكاديمية خلال سنة 2013، ومن أهمها :

1. النهوض بالبحث العلمي من خلال تمويل مشاريع البحث حول المواضيع ذات الأولوية على المستوى الوطني في إطار طلبين للعروض وذلك باعتماد موارد مالية بلغت 70 مليون درهم (صرفت منها لحد الآن 40 مليون درهم)،
2. تنظيم أربعة ندوات علمية حول مواضيع ذات علاقة بالتنمية الاقتصادية والاجتماعية بمشاركة خبراء وباحثين أجانب ومغاربة : «البحث العلمي الطبي والصحي في المغرب»، تدبير النفايات في المدن، الاقتصاد الأخضر : أي جدول الأعمال للبحث العلمي في المغرب، صناعة الطيران: تطورها على الصعيد الدولي وما هي الطموح والتحديات بالنسبة للمغرب،
3. تشجيع الثقافة العلمية من خلال خلق أندية علمية داخل المؤسسات التعليمية وتنظيم سنويا أيام «الشباب والعلم في خدمة التنمية» التي نُظمت هذه السنة حول موضوع «الماء»،

انعدت الدورة الرسمية العامة لسنة 2014 لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات بقاعة المحاضرات بمقر أكاديمية المملكة بالرباط أيام 19-20 و21 ربيع الثاني 1435 الموافق ل 19-20 و21 فبراير 2014، حول موضوع «مصادر الطاقة المتجددة والانتقال الطاقوي : واقع، تحديات وفرص بالنسبة للمغرب».

**الأربعاء 19 ربيع الثاني 1435 الموافق ل 19 فبراير 2014 صباحا**

### **الجلسة الافتتاحية**

**والجلسة العامة الأولى حول موضوع «إنتاج الطاقة الكهربائية الممركزة»**

انعدت الجلسة الافتتاحية لأشغال الدورة العامة الرسمية لسنة 2014 لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات بقاعة المحاضرات بمقر أكاديمية المملكة بالرباط يوم الأربعاء 19 ربيع الثاني 1435 الموافق ل 19 فبراير 2014 على الساعة التاسعة صباحا بحضور عدد من الشخصيات المدعوة.

في الكلمة الافتتاحية للأستاذ عمر الفاسي الفهري، أمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، بعد الترحيب بالحاضرين، ذكر أن الدورة العامة الرسمية لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات تعتبر دائما مصدر فخر واعتزاز بالنسبة لجميع أعضاء الأكاديمية، لكونها، كما ينص على ذلك الظهير المحدث لها، من اللحظات المتميزة التي يجتمع خلالها كافة أعضاء الأكاديمية بصفة منتظمة بهدف التشاور والتواصل بين المنظومة العلمية الوطنية وشخصيات علمية أجنبية حول التقدم المتزايد للعلم بأبعاده الكونية، وكذلك فرصة للتداول حول أنجع السبل وأحسن الطرق لإعطاء دفعة جديدة للعلوم والتكنولوجيا في بلادنا وجعل نتائج العلم والبحث العلمي في خدمة التنمية ببلادنا. كما أشاد بالموافقة السامية التي أعطاها صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله لموضوع الدورة العامة والذي هو «مصادر الطاقة المتجددة والانتقال الطاقوي : واقع، تحديات وفرص بالنسبة للمغرب». كما أعرب بهذه المناسبة، عن أخلص مشاعر التقدير والاحترام، وعن أحر عبارات الامتنان والاعتراف لصاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله، على إثر الرعاية الملكية الكريمة والعناية الميمونة والتشجيع الموصول الذي ما فتئ يوليه جلالته للأكاديمية.

وأشار أيضا في كلمته أن هذه الدورة تتميز بحضور عدد من الشخصيات العلمية ذات المستوى الرفيع، التي أتت من المغرب ومن خارجه (فرنسا، ألمانيا، إسبانيا، الولايات المتحدة الأمريكية، السويد، ماليزيا) والتي ستساهم في تنشيط أشغال الدورة بارتباط مع موضوعها. ومن بين أبرز الشخصيات المدعوة نجد الأستاذة كاترين بريشينيكا Catherine Brechignac، أمينة السر الدائمة لأكاديمية العلوم، والسفيرة المنتدبة في



محضر أشغال الدورة الرسمية العامة السنوية لأكاديمية  
الحسن الثاني للعلوم والتقنيات  
لسنة 1435 هجرية الموافق لسنة 2014 ميلادية

حول موضوع :

«مصادر الطاقة المتجددة والانتقال الطاقوي :  
واقع، تحديات وفرص بالنسبة للمغرب»



الذي كان نائبا لرئيس هذه الشبكة منذ سنة 2012، كما تم انتخاب الأكاديمية كعضو في المجلس الدولي للأكاديميات بجانب أكاديميات مرموقة للعلوم (فرنسا، المملكة المتحدة، الولايات المتحدة، ألمانيا، اليابان، الهند، الصين....)، وأيضا بالمساهمة في أنشطة GID والشبكة المتوسطة التي تشغل على مسألة تدريس العلوم.

بمناسبة الاحتفاء بالذكرى الثامنة لتنصيب الأكاديمية من طرف صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله يوم 18 ماي 2006، ستقدم لأكاديمية تقريبا مرحليا يسمح بالتفكير حول العمل الذي تم إنجازه من طرف الأكاديمية ابتداء من تاريخ تنصيبها، كما ستكون فرصة لتقييم نتائج مختلف أنشطتها وأيضا مناسبة لمناقشة الآفاق المتعلقة بالأنشطة البارزة التي تم القيام بها مثل دعم مشاريع البحث، وتحديث وتتبع المعطيات المتعلقة بالعلوم والتكنولوجية، ونشر الثقافة العلمية، وتشجيع الامتياز، وتعزيز التعاون خصوصا مع القطاع الوزاري المكلف بالبحث العلمي المتمثل في وزارة التعليم العالي والبحث العلمي وتكوين الأطر، ومع وزارة التربية الوطنية والتكوين المهني.

أصبح البحث العلمي في بلادنا اليوم منصوصا عليه في الدستور الذي صوت عليه الشعب المغربي يوم 01 يوليوز 2011. كما أن ديباجة الظهير المحدث للأكاديمية أكدت على أن التحكم في العلوم والتقنيات يعتبر تكملة جوهرية للسيادة الوطنية. كما أكدت على ضرورة وضع العلم والبحث العلمي في المكانة اللائقة بهما في سلم القيم الوطنية. تضل تنمية البلاد رهينة بصفة مباشرة بتطوير المنظومة الوطنية للتربية والتكوين، وبالرفع من دور البحث العلمي والابتكار في نمو اقتصادها ورفاهية سكانها.

**أصحاب السعادة، سيداتي سادتي،**

أريد في نهاية هذه الكلمة أن أقدم بجزيل الشكر لصديقي الأستاذ عبد اللطيف بربيش، أمين السر الدائم للأكاديمية الملكية وإلى جميع العاملين معه، على كل المساعدات والتسهيلات اللوجيستكية التي يقدمها كعادته لتنظيم دوراتنا الرسمية.

أريد كذلك أن أقدم بالشكر الحار لنائب أمين السر الدائم ولكل أعضاء مجلس الأكاديمية ولجنة الأعمال والهيئات العلمية وكل أعضاء الأكاديمية مشاركين ومقيمين ومراسلين، وجميع العاملين في إدارتها على ما يقدموه من عطاء لصالح الأكاديمية وخصوصا بالنسبة لتحضير هذه الدورة في أحسن الظروف، التي نتمنى النجاح لأشغالها ولأكاديميتنا أن ترقى إلى ما يطمح لها راعيها صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله وأيده، أن نكون «في خدمة الوطن، وأن نساهم في تنمية العلوم بأبعادها الكونية».

شكرا على حسن إصغائكم واستماعكم.

المتجددة. كما سيتم مناقشة المواضيع المتعلقة باتجاهات البحث والتنمية في هذه الميادين وتكوين الكفاءات وإدماج النسيج الصناعي في مختلف المجالات المتعلقة بالطاقات المتجددة.

وإننا نعتقد أن أشغال هذه الدورة ستمكن من فهم أفضل للنظام الاقتصادي والطاقي العالمي الجديد الذي تتواجد في إطاره الرؤية الشاملة للتنمية الاقتصادية والاجتماعية للمغرب الذي يضع من أهدافه ضرورة انسجام متطلبات التنمية المستدامة المندمجة والمحافظة على البيئة.

**أصحاب السعادة، سيداتي سادتي،**

منذ انعقاد الدورة العامة الرسمية، قبل عام، سعت الأكاديمية إلى تطوير وتعزيز مختلف أنشطتها وفقا لمهامها الموكلة لها بموجب الظهير الشريف المنشئ لها. وسيتم خلال هذه الدورة تقديم التقرير المفصل عن أعمال ونشاط الأكاديمية خلال السنة المنتهية، وستكون مناسبة لتعميق النقاش وتقييم الحصيلة والتداول في كيفية تحسين وتعزيز عملنا. أود خلال هذه الجلسة التذكير فقط ببعض الأنشطة المتميزة التي تم إنجازها:

1. النهوض بالبحث العلمي من خلال تمويل مشاريع البحث حول المواضيع ذات الأولوية على المستوى الوطني وذلك باعتماد موارد مالية بلغت لحد الآن 70 مليون درهم (صرفت منها لحد الآن 40 مليون درهم) على مدى 8 سنوات (2007-2015)،
2. تنظيم أربعة ندوات علمية حول مواضيع ذات علاقة بالتنمية الاقتصادية والاجتماعية بمشاركة خبراء وباحثين أجانب ومغاربة : البحث العلمي الطبي والصحي في المغرب، تدبير النفايات في المدن، الاقتصاد الأخضر : أي جدول الأعمال للبحث العلمي في المغرب ، صناعة الطيران: تطورها على الصعيد الدولي وما هي الطموح والتحديات بالنسبة للمغرب،
3. نشر الثقافة العلمية من خلال خلق أندية علمية داخل المؤسسات التعليمية وتنظيم أيام «الشباب والعلم في خدمة التنمية» التي انعقدت هذه السنة حول موضوع «الماء»،
4. تشجيع الامتياز من خلال توزيع منح الامتياز للفائزين في المباراة العامة للعلوم والتقنيات، التي تنظمها وزارة التربية الوطنية.
5. متابعة إجراء الخبرات والدراسات حول قطاع البحث العلمي في مجال التخصصات العلمية. وقد أنجزت الأكاديمية في هذا الصدد وثيقة حول وضعية البحث العلمي في العلوم الطبية في بلادنا.
6. النشر المنتظم لمنشورات الأكاديمية منذ تنصيبها: أعمال الدورات، النشرة الإخبارية، رسالة الأكاديمية، والمجلة العلمية «حدود في العلوم والهندسة»،
7. تعزيز حضور الأكاديمية على المستوى الدولي، وخاصة على المستوى الإفريقي، حيث تميزت السنة المنصرمة بانتخاب أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات انتخاب كرئيس لشبكة الأكاديميات الإفريقية للعلوم في شخص زميلنا الأستاذ مصطفى بوسمينة نائب إمين السر الدائم

lumen watt بعد تجارب تعد بالمئات. بعد قرن أصبحت المصابيح الحديثة تحقق مردودية ضوئية تساوي 15 لومن وات lumens watt. وإذا لم يتم تحسين المردودية الضوئية للمصابيح فكان يجب علينا استعمال محطات كهربائية بعدد أكبر بكثير في محيطنا حتى تضيء ليالينا.

وبلادنا لا يمكنها أن تضل غائبة عن هذه الانشغالات.

إن المغرب من ناحية الطاقات المتجددة يتوفر على مؤهلات ضخمة. كما يزخر بموارد طبيعية هائلة يمكنها أن تعوضه نسبيا على افتقاره للموارد الطاقية الأحفورية، ولاسيما فيما يتعلق بإنتاج الطاقة الكهربائية التي أصبحت في الوقت الحاضر الرافعة الأساسية للتنمية الاقتصادية والاجتماعية. فبتوفيره على الإمكانيات الطاقية الكامنة في الرياح التي تقدر ب 2500 ميغاوات عبر مجموع التراب الوطني، وفي أشعة الشمس التي تفوق أكثر من 3000 ساعة في السنة أي ما يناهز حوالي 5 كيلوات في الساعة في المتر المربع في اليوم من الإشعاع، يطمح المغرب أن يصل بحلول عام 2020 إلى إنتاج 42% من احتياجاته الكهربائية من مصادر الطاقة المتجددة (14% من الطاقة الشمسية، 14% من الطاقة الريحية و14% من الطاقة الهيدرومائية).

في سنة 2010، شرع المغرب في بناء واحدة من أكبر محطات الطاقة الشمسية في ورزازات بقدرة تعادل 500 ميغاواط على مساحة 3040 هكتار، والهدف من ذلك هو بناء في السنوات القادمة محطات تنتج ما مجموعه 2000 ميغاواط في 5 مواقع.

إن الاستراتيجية الوطنية الجديدة للطاقة التي تعتبر بمثابة خريطة الطريق تهدف إلى تمكين المغرب من الحصول على الوسائل الضرورية الكفيلة بتأمين حاجياته من الطاقة وهو شرط أساسي لتحقيق تنميته المستدامة. وكما جاء في الرسالة السامية لصاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله الموجهة للمشاركين في المناظرة الوطنية الأولى حول الطاقة يوم 06 مارس 2009 بالرباط، حيث أكد جلالته أنه « لن يتأتى التفعيل الناجع لهذه الاستراتيجية المضبوطة والواعدة، إلا بتأهيل الموارد البشرية وتشجيع البحث العلمي.»

**أصحاب السعادة، سيداتي سادتي،**

إن الدورة العامة الرسمية لهذه السنة تطمح إلى المساهمة في التشاور وتبسيط الضوء حول المعارف والتكنولوجيات المستخدمة حاليا في مجال تنمية الطاقات المتجددة وتعزيز النجاعة الطاقية.

خلال هذه الدورة سيتم تقييم الوضعية الحالية للعلوم والتكنولوجيات في مجال إنتاج الكهرباء انطلاقا من مصادر الطاقة المتجددة بما في ذلك الطاقة الشمسية الضوئية والطاقة الريحية. كما أن العروض والمداخلات وكذلك جلسات النقاش ستتركز أساسا على المواضيع المتعلقة بالانتقال الطاقى، وبتكنولوجيات الطاقة الشمسية الحرارية والكهروضوئية وأيضا على مسألة تخزين الطاقة

موداشيرو Monsourou Moudachirou، الأول نائب رئيس أكاديمية العلوم بالكامرون والثاني أمين السر الدائم لأكاديمية العلوم والفنون والآداب بالبينين.

إننا كذلك جد سعداء أن نلتقي بهذه المناسبة مع زملائنا الأعضاء المشاركين في أكاديميتنا الحاضرين معنا والذين يساهمون في مختلف أنشطة الأكاديمية بصيغة فاعلة وغنية. شكرا لزملائنا الأعزاء.

كما أتوجه بالشكر الخالص لمختلف المؤسسات الوطنية التي استجابت لدعوتنا وأخص بالذكر منها معهد البحث في الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة، الوكالة المغربية للطاقة الشمسية، والمكتب الوطني للماء والكهرباء.

**أصحاب السعادة، سيداتي سادتي،**

إن الطاقة الشمسية مصدر كل الطاقات الأولية المستعملة باستثناء الطاقة النووية والطاقة الحرارية الأرضية الموجودة في باطن الأرض. فمن بين الطاقات التي تستمد أصلها من الطاقة الشمسية بصفة غير مباشرة نجد من بينها ما يصطلح عليه بالطاقات المتجددة (مثل الطاقة الهيدرومائية، الطاقة الناتجة عن الكتلة الحيوية، الطاقة البحرية، الطاقة الريحية) وما يصطلح عليه بالطاقات الغير المتجددة (مثل الطاقات الأحفورية الصادرة من المواد العضوية الناتجة عن التخليق الضوئي). إن هذا التمييز هو فقط مسألة تتعلق بالعامل الزمني: يعتبر مصدر مخزون أي طاقة متجددا حينما تكون بعض السنوات كافية لتجديد هذا المخزون بكمية تعادل الاستهلاك. من أهم أشكال الطاقات المتجددة الطاقات التي أنتجها الإنسان باستعمال أشعة الشمس. تتلقى الأرض باستمرار من الشمس قوة طاقية تعادل  $170 \times 10^{15}$  وات منها  $122 \times 10^{15}$  يتم امتصاصها والباقي ينعكس. إن مجموع الطاقة الشمسية التي يمتصها الغلاف الجوي والمحيطات والقارات اليابسة هو 3.850.000 إكسجول exajoules (إكسا =  $10^{18}$ ) في السنة. وهي أكثر من طاقة تتلقى في ساعة واحدة من تلك التي تستخدمها الإنسانية في سنة واحدة.

يعود الاستخدام المباشر للطاقة الشمسية إلى تاريخ العصور القديمة. فالإغريق أضاءوا بالفعل الشعلة الاولمبية عن طريق نظام المرايا من أشعة الشمس. في نهاية القرن 18، تمكن انطوان لوران لافوازييه، مؤسس الكيمياء الحديثة، من صنع فرن شمسي تصل درجة حرارته إلى 1800 درجة مئوية بفضل عدسة السائل التي تركز على أشعة الشمس، في عام 1839، سيتمكن إدوارد بيكريل تحويل ضوء الشمس إلى كهرباء وهو التأثير الكهروضوئي photovoltaïque .

إن إشكالية الطاقة تظل شاسعة وتهم عدة جوانب مثل مصادر الإنتاج وناقلات الطاقة والتخزين والتوزيع والنجاعة الطاقية سواء على مستوى الديناميكية الحرارية أو على المستوى الاقتصادي. في هذا الصدد، أول مصباح كهربائي بخيوط وهاجي الذي تم صنعه من طرف توماس إديسون (Thomas Edison) سنة 1897 لم يشتغل إلا 45 ساعة بمرדودية ضوئية تساوي 1.5 لومن وات

## بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

السادة الوزراء  
أصحاب السعادة،  
السيدات والسادة أعضاء الأكاديمية،  
سيداتي سادتي،

إن انعقاد الدورة العامة الرسمية للأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات تعتبر دائما مصدر فخر واعتزاز بالنسبة لجميع أعضاء الأكاديمية، لكونها، كما ينص على ذلك الظهير المحدث لها، من اللحظات المتميزة التي يجتمع خلالها كافة أعضاء الأكاديمية بصفة منتظمة بهدف التشاور والتواصل بين المنظومة العلمية الوطنية وشخصيات علمية أجنبية حول التقدم المتزايد للعلم بأبعاده الكونية، والتداول حول أنجع السبل وأحسن الطرق لجعل نتائج العلم والبحث العلمي في خدمة التنمية ببلادنا.

إن الموضوع العام، لهذه الدورة العامة الرسمية، الذي حظي بالموافقة السامية لصاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله، هو «مصادر الطاقة المتجددة والانتقال الطاقوي : واقع، تحديات وفرص بالنسبة للمغرب». وبهذه المناسبة نعرب لجلالة الملك عن أصدق مشاعر التقدير والامتنان وعن أسمى عبارات الشكر وعمق جميل العرفان، اعتبارا لما يكنه جلالته للأكاديمية من عطف كريم وتشجيعات غالية، وتقديرا للرعاية السامية التي تستظل بها الأكاديمية.

أصحاب السعادة، سيداتي سادتي،

إنه لشرف عظيم أن يحضر معنا في هذه الجلسة الافتتاحية ثلة من الشخصيات التي استجابت لدعوتنا. أغتتم هذه المناسبة لأتوجه بالشكر الجزيل إلى كل الذين شرفونا بحضورهم، كما أشكر جميع الشخصيات التي أبت إلا أن تشرفنا بحضورها في هذه الجلسة الافتتاحية.

كما أتوجه بالشكر الجزيل، إلى جميع الشخصيات العلمية البارزة، التي أتت من المغرب ومن خارجه (فرنسا، ألمانيا، إسبانيا، الولايات المتحدة، سويسرا، ماليزيا)، على قبولها دعوتنا للمشاركة وتقديم عروض علمية حول موضوع الدورة. فمرحبا بهم معنا.

إنه كذلك لشرف كبير أن تحضر معنا السيدة كاترين بريشنيك Catherine Bréchnac، أمينة السر الدائمة للأكاديمية العلوم بفرنسا، والسفيرة المنتدبة في العلم والتكنولوجيا والابتكار، وأيضا الأستاذ ديلف جانتن Deltev Ganten، نائب رئيس أكاديمية العلوم ليوبولدينا بألمانيا. أود أن أتوجه إليهما بالشكر الجزيل على قبولهما دعوتنا. كما أرحب بالملاء ممثلي بعض أكاديميات العلوم الإفريقية، الأستاذ سومي شومبرو ببيان Sommy Choumbrow Beban والأستاذ مانسورو



كلمة الأستاذ عمر الفاسي الفهري  
أمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات  
في  
الجلسة الافتتاحية الرسمية لأشغال الدورة العامة لسنة 2014  
لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات  
- الرباط، الأربعاء 19 فبراير 2014 -



في أن تصبح أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، التي تستظل برعايتكم السامية، منارا لسمو التفكير ومرجعا في مجالات العلم والتكنولوجيا، مؤكدين لجلالتكم حرصهم التام والتزامهم الراسخ للإسهام في تنمية البحث العلمي والتقني في وطننا العزيز، وفي إقامة حوار دائم بين عالم البحث والمستجدات التكنولوجية وعالم الأنشطة الاقتصادية والاجتماعية.

وفي ختام أشغال هذه الدورة، تم تقديم التقرير السنوي لأنشطة الأكاديمية خلال السنة المنتهية، تلتها مناقشة من طرف أعضاء الأكاديمية الذين أوصوا بأن تقوم الأكاديمية بتعبئة أنجع الوسائل من أجل توسيع مجال إشعاع العلوم والمعرفة حتى تساهم في خدمة هذا الوطن العزيز. وقد حضر أشغال هذه الدورة ممثلون عن عدد من أكاديميات الدول الإفريقية (الكامرون، السينغال، البينين). وأكد أعضاء الأكاديمية بهذه المناسبة على أهمية توسيع وتعزيز العلاقات العلمية مع إخوانهم الباحثين الأفارقة.

حفظكم الله يا مولاي بما حفظ به الذكر الحكيم، وأبقاكم ذخرا وملانا للعلم وسندا للعلماء ومنبعا للفكر والابتكار، وأقر عينكم بولي عهدكم المحبوب صاحب السمو الملكي الأمير الجليل مولاي الحسن، وبشقيقته السعيدة صاحبة السمو الملكي الأميرة للا خديجة، وشد أزركم بشقيقكم الأسعد صاحب السمو الملكي الأمير مولاي رشيد، وباقي أفراد الأسرة الملكية الشريفة.

**والسلام على المقام العالي بالله. الله يبارك في عمر سيدي.**

خديم الأعتاب الشريفة  
عمر الفاسي الفهري

حرر بالرباط في يوم الجمعة 21 ربيع الثاني 1435 هجرية،

موافق ل 21 فبراير 2014 ميلادية

بسم الله الرحمن الرحيم، والصلاة والسلام على أشرف المرسلين

نعم سيدي أعزك الله

مولاي صاحب الجلالة

بعد تقديم ما يليق بمقام صاحب الجلالة الملك محمد السادس أعز الله أمره من أسمى فروض الطاعة والولاء، وأزكى مشاعر الصدق والوفاء، يتشرف محب وخدام الأعتاب الشريفة، أمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، أصالة عن نفسه ونيابة عن أعضاء الأكاديمية، أن يتقدم إلى سيدنا المنصور بالله بأصدق مشاعر التقدير والاحترام، معبرا للسدة العالية بالله عما يغمر أعضاء الأكاديمية من موفور السعادة وعظيم الاعتزاز، بمناسبة انتهاء أشغال الدورة العامة الرسمية لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات لسنة 2014، المنعقدة بمقر أكاديمية المملكة، بعاصمة المملكة المغربية الشريفة، أيام الأربعاء والخميس والجمعة 19 و20 و21 ربيع الثاني 1435 هجرية، الموافق ل 19 و20 و21 فبراير 2014 ميلادية، راجين من الله جلت قدرته أن يعين جلالتم على السير قدما بهذا البلد الأمين نحو مزيد من التحديث والتطوير والرقي، حتى يظل منعما بالسلام والرخاء والاستقرار وتتواصل مسيرة نهضته المباركة في ظل عهدكم الزاهر.

مولاي صاحب الجلالة

إن هذه الدورة العامة الرسمية التي انعقدت بموافقتكم الغالية حول الموضوع العلمي العام «مصادر الطاقة المتجددة والانتقال الطاقوي : واقع، تحديات وفرص بالنسبة للمغرب»، تمحورت أشغالها حول دراسة ومناقشة التحديات والفرص العلمية والتكنولوجية المرتبطة بمصادر الطاقة المتجددة عموما وبمصادر الطاقة الشمسية والكهروضوئية خصوصا. حيث انكب المشاركون على دراسة إشكالية الانتقال الطاقوي، وتقييم تقنيات إنتاج الطاقة المتجددة في المغرب والتطبيقات المتعلقة بها. كما تمت معالجة المواضيع المتعلقة بالبحث العلمي والتكوين في ميدان الطاقات الجديدة بالإضافة إلى تطوير الإدماج الصناعي للطاقات المتجددة. وقد تم خلال هذه الدورة تقديم عدة محاضرات وعروض ذات قيمة علمية رفيعة، قدمت من طرف عدد من أعضاء الأكاديمية وأقرانهم في العالم، وعلماء باحثين، وشخصيات علمية مرموقة مدعوة من المغرب وخارجه.

وقد تميزت هذه الدورة بصفة خاصة بتحديد محاور البحث من أجل التنمية في ميدان الطاقة الشمسية والريحية، وبمناقشة موضوع التنمية بارتباط مع اندماج النسيج الصناعي في ميدان الطاقات المتجددة.

كما استحضر أعضاء الأكاديمية المشاركون في هذه الدورة، بكل فخر واعتزاز، توجيهاتكم السديدة، وعطفكم الغالي، التي ما فتئتم، أعز الله أمركم، تولونهم للنهوض بالبحث العلمي والابتكار التكنولوجي في وطننا العزيز، وهي إرادة ملكية ميمونة تعبر عن رغبة جلالتم الصادقة

**نص البرقية المرفوعة  
إلى السدة العالفة بالله  
صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله**

على إثر اختتام أشغال الدورة العامة الرسمية لسنة 2014

تنقسم مصادر الطاقات المتجددة إلى خمس مجموعات كبيرة هي : الطاقة الشمسية، الهيدروليكية، الريحية، النباتية، والجيوحرارية... وقد سبق أن اختار المغرب بالفعل وضع استراتيجية ومخطط للطاقة كما جاء في خطاب صاحب الجلالة الملك محمد السادس ليوم 30 يوليوز 2010 «... ينبغي الانخراط القوي في تنفيذ استراتيجية النجاعة الطاقية، لاسيما الطاقات المتجددة والنظيفة؛ وذلك بمواصلة الاستغلال الأمثل للطاقة الريحية، وتعميم محطاتها على كل المناطق الملائمة ببلادنا. وفي نفس السياق، يتعين الإقلاع القوي بمشروعنا الكبير، لإنتاج الطاقة الشمسية، الذي رصدنا له وكالة مختصة، واستثمارات ضخمة».

إن الدورة العامة الرسمية التي ستعقد أيام 19-20-21 فبراير ستعمل على تقييم تقنيات إنتاج الطاقة من مصادر الطاقة المتجددة الموجودة بالمغرب أو في طور الإنجاز. ويتعلق الأمر أساسا بالطاقة الشمسية الحرارية والكهروضوئية وطاقة الرياح. كما سيتم تغطية بعض التطبيقات المتعلقة مثلا بالتجفيف واستخدام الأفران الشمسية في صناعة وإنتاج حوامل الطاقة.

وستعرف هذه الدورة كذلك تنظيم جلستين مخصصتين للبحث والتكوين بالإضافة الى التطوير والإدماج الصناعي للطاقات المتجددة. علما أن بلادنا مطالبة بالتغلب على معضلة الخصائص في الموارد البشرية المؤهلة وكذا في وجود المقاولات القادرة على الدعم والمساهمة في خلق صناعة حول الطاقات المتجددة. إن البحث العلمي وتكوين الأطر ذات المستوى العالي يشكلان لا محالة العنصرين الضروريين لنجاح هذا التقدم الرائع الذي يحاول المغرب تحقيقه في مجال الطاقات المتجددة.

## مقدمة

تعتبر الطاقة الشمسية ضرورية في عمليات التمثيل الضوئي ودورة المياه، كما أن مصدرها لا ينضب افتراضيا، وأنها غير ملوثة ومجانية، وتعتبر الطاقة الأولى التي تم استغلالها بشكل فعال من طرف المصريين القدماء في عملية الاحتباس الحراري قبل اكتشافها عام 1780 من طرف ه. ب. دوسوسور (H. B. de Saussure).

توفر الشمس للأرض في ساعة واحدة ما يعادل الاستهلاك السنوي لمجموع سكان العالم من الطاقة. إلا أن هذه الطاقة تظل مسهبة ومتقطعة، حيث أن شدتها لا تتجاوز في المعدل 300 واط لكل متر مربع، مما يؤدي إلى صعوبة إحتوائها وجعلها تحتاج إلى استخدام تكنولوجيات مكلفة نسبيا وغير مستوعبة بما فيه الكفاية. كما أن هذا النوع من الطاقات المتجددة رغم إستدامتها لم تستفد من الإستثمارات والدعم المالي في ميدان البحث والتنمية إلا مؤخرا. في ظل هذا السياق، قرر المغرب عن طواعية، دمج الطاقات المتجددة ضمن مزيج مصادره الطاقية. وإذا كانت دوافع هذا الاختيار تبقى أساسا سوسيو-اقتصادية، فإنها تنطوي بالضرورة، على رؤية إيكولوجية للتنمية. كما يعزز هذا الإختيار الموقع الجغرافي للمغرب الذي يوفر خزاننا متنوعا لمصادر الطاقة المتجددة.

يعتبر استهلاك الطاقة، عادة، كمؤشر وعامل أساسي في عملية التنمية. ولقد عرف الطلب على إستهلاك الطاقة الكهربائية في المغرب ارتفاعا في السنين الأخيرة بحوالي 8% في السنة. هذا الإرتفاع، رغم كونه يدل على نمو سوسيو-اقتصادي، فإنه يؤثر سلبا، وبحدة، على المالية العمومية نظرا لكون المحروقات الأحفورية المستعملة مستوردة من الخارج في مجملها. ولضمان نمو اقتصادي حيوي يجب مواكبته بالحفاظ على الأمن والإستقلال الطاقوي، ولو جزئيا، وبصفة مستدامة.

إن أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، بحكم مهامها، مطالبة بالتفكير في هذا الورش الكبير الذي هو مخطط التنمية الوطنية للطاقات المتجددة. ومن المفترض أنها تعمل على «إبداء التوصيات فيما يتعلق بالقضايا التي تحظى بالأولوية في مجال البحث العلمي والتقني وتحديد الوسائل الكفيلة ببلوغ الغايات المتوخاة على الصعيد الوطني في هذا الباب».

في هذا الأفق، فإن الدورة الرسمية لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات لفبراير 2014، تروم تسليط الضوء على التقنيات المستعملة حاليا بالمغرب مع إيلاء مكانة مهمة لتكوين خبرة وطنية وتطوير البحوث المفيدة في هذا الميدان.





المملكة المغربية  
أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات

أشغال الدورة العامة الرسمية لسنة 2014

الموضوع

مصادر الطاقة المتجددة والانتقال الطاقوي :  
واقع، تحديات وفرص بالنسبة للمغرب

الرباط، 19 - 21 فبراير 2014





صاحب الجلالة الملك محمد السادس - نصره الله -  
راعي أكاديمية الحسن الثاني  
للعلوم والتقنيات





المملكة المغربية  
أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات

أشغال الدورة العامة الرسمية لسنة 2014

الموضوع

مصادر الطاقة المتجددة والانتقال الطاقي :  
واقع، تحديات وفرص بالنسبة للمغرب

الرباط، 19 - 21 فبراير 2014