



**AMBASSADE DE FRANCE EN ALLEMAGNE**  
**SERVICE POUR LA SCIENCE ET LA TECHNOLOGIE**

Le Conseiller pour la Science et la Technologie

Berlin, décembre 2009

**DESERTEC**

**Etat des lieux décembre 2009**  
**Rôle de l'Allemagne**

## Sommaire

Sommaire .....	2
I. L'origine du projet DESERTEC .....	3
1. <i>L'idée fondatrice – les trois études de la DLR</i> .....	3
2. <i>Coïncidence des intérêts – naissance du projet DESERTEC</i> .....	3
II. Le consortium DESERTEC Industrial Initiative (DII) .....	4
1. <i>Le lancement du projet DESERTEC le 13 juillet 2009</i> .....	4
2. <i>Les entreprises partenaires – membres initiaux de l'initiative DII</i> .....	4
3. <i>Fondation de la société DII - DESERTEC Industrial Initiative - le 30 octobre 2009</i> .....	4
4. <i>Rôle de la DII</i> .....	4
5. <i>Prévisions de départ d'investissements</i> .....	5
III. Les Technologies de DESERTEC.....	6
1. <i>Les centrales thermiques solaires à concentration – CSP</i> .....	6
2. <i>Les lignes de transmission Courant Continu Haute Tension (CCHT)</i> .....	7
IV. Mesures nécessaires pour réaliser le concept DESERTEC.....	10
1. <i>Projets en cours, lancements</i> .....	10
2. <i>Investissements</i> : .....	10
3. <i>Politiques énergétiques</i> .....	10
4. <i>Deux projets du TREC</i> .....	10
V. Les contraintes et les défis de DESERTEC.....	12
1. <i>Contraintes organisationnelles, liées au consortium DII</i> :.....	15
2. <i>Contraintes et défis politiques</i> :.....	12
3. <i>Contraintes et défis techniques et scientifiques : (solaire, réseau, environnement)</i> .....	13
4. <i>Contraintes et défis économiques</i> : .....	14
VI. Les atouts de DESERTEC .....	16
VII. Bibliographie : .....	19

# I. L'origine du projet DESERTEC

## 1. L'idée fondatrice – les trois études de la DLR

L'idée du projet DESERTEC est née au sein d'un réseau mondial de scientifiques, de responsables et d'entrepreneurs, le **TREC**<sup>1</sup>, qui l'a développée en collaboration avec la branche allemande du **Club de Rome**<sup>2</sup>. TREC a participé à la réalisation de 3 études qui ont permis d'évaluer le **potentiel des énergies renouvelables** (EnR) dans les pays du Moyen-Orient et Afrique du Nord (MENA), les besoins attendus pour 2050 en **eau et en énergie** de ces pays, et la faisabilité d'une construction d'un **réseau de transport électrique** entre l'UE et le MENA. Le **Centre allemand de recherche aérospatiale** (DLR) a mené les trois études techniques, financées par le Ministère allemand fédéral de l'Environnement (BMU). Les études 'MED-CSP'<sup>3</sup> et 'TRANS-CSP' ont été conduites entre 2004 et 2006. L'étude 'AQUA-CSP' couvrant les aspects relatifs au dessalement solaire de l'eau de mer a été achevée fin 2007.

L'étude MED-CSP a permis de conclure qu'**en moins de 6 heures, les zones désertiques du globe reçoivent du soleil la quantité d'énergie que l'humanité consomme en une année**. Des études satellites réalisées par la DLR ont aussi démontré qu'il suffirait d'installer des champs de collecteurs solaires sur moins **de 0,3% des surfaces désertiques de la région MENA** (ce qui représente **quelque 20 km<sup>2</sup> par être humain**) pour produire suffisamment d'électricité et d'eau douce pour répondre à **l'augmentation des besoins de ces pays et de l'Europe**. La production d'électricité à partir de **l'énergie éolienne** est particulièrement intéressante au Maroc et dans les régions autour de la Mer Rouge.

L'électricité d'origine solaire et éolienne pourrait être distribuée en MENA au moyen de **lignes CCHT** (Courant Continu à Haute Tension<sup>4</sup>) et acheminée vers l'Europe. La nouvelle **Union pour la Méditerranée**, qui regroupe de nombreux pays du MENA, est intéressée par ce type de coopération.

## 2. Coïncidence des intérêts – naissance du projet DESERTEC

La fondation DESERTEC s'est ainsi lancé le défi d'exploiter cette énergie inépuisable à un coût raisonnable. Indépendamment de sa faisabilité, il s'agit d'un projet très prometteur dans le cadre international critique de **raréfaction des réserves énergétiques fossiles, d'accroissement de la demande énergétique** et de **réchauffement climatique**.

Pour l'Union Européenne, DESERTEC pourrait apporter un complément aux ressources européennes en **énergies renouvelables** ainsi qu'un moyen d'accélérer le processus de **réduction des émissions européennes de CO<sub>2</sub>**<sup>5</sup> et d'augmenter la **sécurité d'approvisionnement énergétique** européenne.

Pour les populations du MENA, ce projet apporterait une fourniture importante d'**énergie propre**, des **emplois**, des sources de **revenus économiques**, une amélioration des **infrastructures** et des possibilités de **dessalement d'eau de mer**, ainsi que des bénéfices potentiels, par exemple pour l'agriculture, apportés par l'ombre des collecteurs solaires.

<sup>1</sup> **TREC** : Trans-Mediterranean renewable Energy Cooperation, fondée en 2003 par le Club de Rome, la Fondation Hambourgeoise pour la Protection du Climat et le National Energy Research Center de Jordanie (NERC), dans le but de fournir de l'énergie propre et bon marché pour l'EU-MENA en se basant sur une coopération entre les pays de ces régions.

<sup>2</sup> **Club de Rome** : association non gouvernementale, groupe de réflexion réunissant des scientifiques, des économistes, des fonctionnaires nationaux et internationaux, à l'initiative d'industriels de 53 pays qui financent leurs travaux. Le but est de proposer des solutions ayant trait à la "gouvernance" mondiale dans son aspect environnemental et énergétique.

<sup>3</sup> Etude intitulée "Concentrating Solar Power for the Mediterranean Region" (MED-CSP) (version anglaise) : [http://www.dlr.de/tt/desktopdefault.aspx/tabid-2885/4422\\_read-6575/](http://www.dlr.de/tt/desktopdefault.aspx/tabid-2885/4422_read-6575/)

<sup>4</sup> Ou **HVDC** (anglais - High Voltage Direct Current), ou **HGÜ** (allemand - Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung)

<sup>5</sup> Objectifs exprimés dans le Paquet climat-énergie

## II. Le consortium DESERTEC Industrial Initiative (DII)

### **1. Le lancement du projet DESERTEC le 13 juillet 2009**

Douze entreprises se sont pour le moment réunies au sein du consortium DESERTEC pour exploiter l'infini potentiel d'énergie solaire que recèle le désert du MENA. Le projet prévoit la construction de **vastes centrales solaires thermiques à concentration (CSP<sup>6</sup>)** en divers points d'Afrique du Nord. En complément, il est prévu d'exploiter l'**énergie éolienne** le long de la côte marocaine et en Mer Rouge, et d'utiliser d'autres techniques solaires telles que le **photovoltaïque concentré**.

Ces centrales produisant de l'électricité durable seront reliées aux **réseaux électriques de plusieurs pays d'Europe et du Bassin Méditerranéen par un réseau CCHT** afin de les **approvisionner en électricité**. Il est aussi prévu de produire de l'**eau dessalée**.

Il s'agit d'un projet énergétique transnational qui devrait coûter **400 milliards d'euros**, selon les estimations du DLR.

Une réunion de lancement du consortium a été effectuée le **13 juillet 2009**, sous la direction de l'assureur bavarois Munich Ré, à la tête du projet, lors de laquelle un protocole a été signé pour la création du consortium industriel **DESERTEC Industrial Initiative (DII)**.

### **2. Les membres initiaux de l'initiative DII – un leadership allemand**

Le consortium DII réunit pour le moment 12 entreprises, dont 9 allemandes. Les entreprises partenaires sont l'assureur **Münchener Rück** (Munich Ré), les banques **Deutsche Bank** et **HSH Nordbank**, les groupes énergétiques **E.ON** et **RWE**, le groupe industriel **Siemens**, la société d'ingénierie et construction industrielle **M+W Zander**, les entreprises solaires **Schott Solar** et **MAN Solar Millenium**, mais également une entreprise solaire espagnole **Abengoa Solar**, une entreprise de techniques de transmission électrique suisse **ABB AG** et un groupe agro-alimentaire algérien **Cevital**.

La liste des candidats internationaux candidats à une participation à DESERTEC s'allonge en permanence. Selon ses fondateurs, le caractère de DESERTEC devrait se transformer radicalement dans les prochaines années et **s'internationaliser** : à long terme la majorité des sociétés membres du projet ne devraient plus être allemande. Les coordinateurs du projet visent un nombre d'entreprises partenaires compris entre 20 et 30<sup>7</sup>, dont un nombre significatif en provenance de pays du pourtour méditerranéen. D'autres partenaires sans droit de vote devraient aussi être associés, dont le nombre ne serait pas limité et pourrait dépasser la centaine. Des Etats comme le **Maroc, la Tunisie, l'Italie et la France** seraient des Etats stratégiques qui ne sont pas encore représentés. Torsten Jeworrek, président du conseil de surveillance de Munich Ré, s'il se montre très optimiste quant à la participation de **l'Italie** et des pays **d'Afrique du Nord**, doute en revanche d'une éventuelle participation **française**, car la France continue de miser très fort sur l'énergie nucléaire.

### **3. Fondation de la société DII - DESERTEC Industrial Initiative - le 30 octobre 2009**

Les 12 entreprises fondatrices de DESERTEC ont créé le 30 octobre 2009 la société de planification "DESERTEC Industrial Initiative" (DII).

Le néerlandais **Paul van Son** a été nommé à la tête de ce nouveau consortium DII. Il a occupé de multiples postes dans le secteur de l'énergie : ancien PDG de la branche allemande du groupe d'approvisionnement énergétique néerlandais Essent entre 2003 et 2008, il a aussi dirigé l'entreprise d'énergies renouvelables Econcern, avant sa mise en faillite en mai 2009. Il est aussi président de la Fédération européenne des négociants d'énergie EFET, qu'il a fondée en 1999, et de la fondation Energy4All, chargée de développer l'accès à internet en Afrique par l'utilisation de sources d'énergie décentralisées.

Le siège de la société devrait se situer à **Munich**, mais il est prévu de monter des succursales locales, notamment dans les pays d'Afrique du Nord.

### **4. Rôle de la DII**

La société de planification DII commencera par clarifier les questions **économiques, techniques et juridiques** pour la construction de centrales dans le désert et des réseaux électriques nécessaires. Un **plan d'investissement** doit être réalisé au cours des trois années à venir, dont devrait émerger un concept présentant

<sup>6</sup> CSP : concentrated solar power

<sup>7</sup> Parlements actuelles notamment avec ENEL (Italie), EdF (France), Red Electrica (Espagne) et des entreprises du Maroc, de Tunisie et d'Egypte.

les sites potentiels, les sommes d'investissements nécessaires ainsi que des plans de construction. Les premiers **projets pilotes** doivent prouver à court terme la faisabilité du projet, avant de débiter une nouvelle phase avec la réalisation à grande échelle.

Selon les prévisions, les premiers foyers allemands devraient être approvisionnés en électricité africaine d'ici **dix ans**. Selon Torsten Jeworrek, président du conseil de surveillance de Munich Re, le projet DESERTEC serait en mesure de produire **15% de l'énergie consommée en Europe d'ici à quinze ans (soit 100GW de puissance électrique)**.

### **5. Prévisions de départ d'investissements**

Les experts estiment à **400 milliards d'euros**<sup>8</sup> le montant des investissements nécessaires sur une période de quarante ans (d'ici 2050). A elles seules, les méga-installations solaires coûteraient quelque **350 milliards d'euros**. Les **50 milliards d'euros** restants devraient être utilisés pour construire le **réseau CCHT** afin de transporter l'énergie produite en Afrique vers le continent européen, le tout en minimisant les pertes en ligne, qui augmentent avec la distance et la faible qualité du réseau électrique.

La nouvelle société doit ainsi trouver des partenaires prêts à investir un total de 400 milliards d'euros dans le projet. Pour le moment, chacun des douze partenaires industriels doit investir annuellement **150.000 euros** comme contribution à l'activité de la société DII. D'après Thomas Rüschen, responsable du projet DESERTEC à la Deutsche Bank, il faudra attendre vraisemblablement entre 5 et 10 ans avant que les investissements importants ne leur parviennent. En attendant, ils ont besoin d'un **cercle robuste d'investisseurs**. La Deutsche Bank, dont le rôle consiste pour le moment à la coordination des questions de financement, demeure, malgré la crise financière, optimiste quant à l'obtention du capital nécessaire.

Des signaux forts de la part du monde politique ont été envoyés, signe que des moyens publics pourraient être débloqués. **L'Union européenne** soutient les nouvelles technologies, et le **Gouvernement fédéral allemand** souhaiterait aussi accompagner le projet : la nouvelle coalition "noir-jaune" (CDU/CSU-FDP) s'est ainsi prononcée en faveur du projet DESERTEC dans son rapport de coalition.

---

<sup>8</sup> Soit l'équivalent d'une centaine de centrales nucléaires de nouvelle génération

### III. Les Technologies de DESERTEC

#### 1. Les centrales thermiques solaires à concentration – CSP

##### a. Principe de fonctionnement

Les centrales thermiques solaires à concentration (appelées aussi Concentrating Solar Power - CSP) utilisent des miroirs de section parabolique pour **concentrer le rayonnement du soleil** vers une structure cylindrique et créer suffisamment de chaleur pour échauffer un fluide jusqu'à 400°C. Sa chaleur est transmise à un circuit d'eau, transformée en **vapeur** qui sert à actionner des **turbines** et des alternateurs produisant de **l'électricité**.

Des réservoirs de chaleur (**réservoirs de sels fondus**) peuvent être utilisés pour stocker de la chaleur durant la journée afin d'actionner les turbines pendant la nuit, par mauvais temps ou bien lors de pics de consommation. L'accumulateur à sel de nitrate est constitué de plusieurs couches de graphite et de matériaux caractérisés par un changement de phase qui permettent un stockage thermique par chaleur latente.

Afin de garantir une production électrique ininterrompue en cas de longues périodes de mauvais temps, les turbines peuvent aussi être alimentées avec du pétrole, du gaz ou des biocarburants.

La **chaleur résiduelle** du cycle de production d'électricité peut permettre par **cogénération** de **dessaler l'eau de mer** ou de **produire du froid**.

##### b. Avantages sur les autres énergies renouvelables

Le solaire thermique présente des avantages certains par rapport aux autres énergies renouvelables (EnR) : comme l'énergie solaire est transformée en électricité grâce à de la **vapeur et des turbines classiques**, elle a recours à des composants éprouvés et optimisés. Selon une étude comparative menée par le BMU, le coût d'une centrale solaire thermique au Maroc est **amorti au niveau énergétique** après 5 mois d'exploitation seulement, ce qui signifie qu'elle a produit l'équivalent de l'énergie nécessaire pour sa construction, sa mise en activité et l'élimination de ses déchets. Pour une installation éolienne, cette durée d'amortissement énergétique atteint entre 4 à 7 mois, pour les cellules photovoltaïques en silicium, une durée de 3 à 5 ans. Parmi tous les scénarios concernant les EnR, le solaire thermique connaît le **plus grand potentiel d'expansion**.

En particulier, la raison première qui pousse à favoriser les centrales CSP par rapport à la technologie photovoltaïque est sa **capacité à fournir de l'électricité sans interruption** (24h sur 24). La technologie photovoltaïque a un **coût plus élevé** et requiert des systèmes de **stockage d'électricité** relativement coûteux, comme le stockage par pompage hydraulique. Pour stocker l'énergie dans des stations de turbinage pompage en Europe à partir de nombreuses sources intermittentes comme le photovoltaïque ou l'énergie éolienne depuis le MENA, un grand nombre de lignes de transmission électrique, utilisées seulement quelques heures par jour à pleine puissance, seraient nécessaires.

##### c. Le CSP : une technologie déjà éprouvée

La technique des **centrales thermiques solaires** est déjà éprouvée. Voici les principales exploitations qui impliquent des acteurs allemands :

- Des centrales thermiques solaires sont exploitées commercialement à **Kramer Junction** en **Californie** depuis 1985. 5 SEG<sup>9</sup> de 30 MW, soit **150 MW** de capacité électrique solaire, sont raccordés au réseau californien. Les collecteurs ont été fournis par **RWE Schott Solar**. Même si la centrale est conçue pour fonctionner avec l'énergie solaire uniquement, un appoint gaz est utilisé pendant les périodes nuageuses ou en fin de journée afin d'assurer une production contractuelle. Les centrales thermiques solaires en Californie ont une puissance totale de 354 MW.
- Près de **Boulder City (Nevada)**, une centrale solaire de **64 MW** a été raccordée au réseau électrique en juin 2007, alimentant environ 40.000 foyers. Les tubes sous vide au foyer des 19.300 capteurs cylindro-paraboliques ont également été fabriqués par l'entreprise **RWE Schott Solar**.
- La centrale **Andasol**<sup>10</sup> en **Andalousie** est reliée depuis fin 2008 au réseau, accompagnée par les acteurs allemands **Solar millenium** et **DLR**. D'un coût de 260 millions d'euros, Andasol 1 occupe une surface de 51 hectares dans une zone qui reçoit annuellement 2,2 MWh/m<sup>2</sup> de rayonnement solaire. Le système de stockage de l'énergie par sels fondus permet d'emmagasiner 1 GWh d'énergie thermique qui autorise un fonctionnement nocturne à plein rendement pendant 7h30. Compte tenu des 3.644 h de fonctionnement à

<sup>9</sup> **Solar electric generating systems** : Ce système utilise des capteurs cylindro-paraboliques réfléchissants, suivant le mouvement apparent du soleil dans le sens de la hauteur et concentrant de 30 à 100 fois ses rayons au point focal du miroir parabolique. L'énergie thermique reçue au point focal est absorbée par un tuyau métallique à l'intérieur d'un tube en verre sous vide. Le fluide qui circule à l'intérieur du tuyau, est chauffé à 400°C, puis pompé à travers des échangeurs conventionnels afin de produire une vapeur surchauffée faisant fonctionner une turbine.

<sup>10</sup> Informations supplémentaires <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/058/58801.htm>

plein régime espérées, la puissance de **50 MW** de la centrale devrait permettre de générer 182 GWh d'énergie électrique par an, soit un rendement de conversion radiation solaire/électricité de 16% sur une année, ce qui permet d'approvisionner en électricité 45.000 foyers. Andasol 1 constitue la première phase du projet, qui devrait être complété d'ici 2010 par la construction d'une seconde centrale de 50 MW, Andasol 2. Une troisième structure (Andasol 3) présentant les mêmes caractéristiques est également en prévision d'ici 2011, fruit d'une collaboration entre **SWM, RWE Innogy, MAN Ferrostaal, RheinEnergie et Solar Millennium**.

- Par ailleurs, une **tour solaire expérimentale** a été construite à **Jülich<sup>11</sup>** (sud-ouest de Düsseldorf, **Allemagne**), dont le récepteur solaire a été développé et breveté par le **DLR**. La tour a été mise en période d'essai pour six mois en janvier 2009, et la mise en service régulière s'est effectuée mi-2009, qui sera suivie de deux ans de fonctionnement expérimental. A l'issue du projet, la tour continuera à être exploitée pour la production d'électricité solaire. Au total, **1.000 MWh** devraient être produits chaque année et injectés dans le réseau électrique.

Des centrales de 280 MW pourraient être construites de façon rentable. De nouvelles centrales de ce type, d'une capacité totale de plus de **2.000 MW** sont aujourd'hui en projet, en construction, ou déjà opérationnelles dans le monde.

#### d. Stockage de l'énergie par réservoirs de sel fondu

Le **stockage de l'énergie** est aussi résolu au niveau technique. Du **sel fondu** sert de réservoir de chaleur. Ainsi, un accumulateur de chaleur développé par l'Institut de thermodynamique technique du **DLR** peut stocker, sous forme de chaleur latente, une partie de l'énergie solaire produite par une centrale thermoélectrique solaire. Installé sur la plateforme de recherche solaire d'**Almeria** en Espagne, l'appareil délivre une puissance de 100 kW avec des températures de vapeur d'eau dépassant les 200 °C. Il est capable de stocker la chaleur pendant 10 heures et d'en restituer jusqu'à 90 %. Les chercheurs du DLR souhaitent appliquer leur concept de stockage à une installation de 1 MW et atteindre des températures de stockage de plus de 300 °C.

#### e. Les coûts

Le gouvernement espagnol a mis en place les conditions économiques favorables au développement du CSP par des **mesures incitatives** garantissant le rachat de l'électricité à environ **26 centimes d'euro/kWh** sur une durée de 25 ans. Dans les régions plus ensoleillées, comme par exemple dans certaines régions favorables en **Afrique, Amérique, Chine, Inde, Australie ou MENA**, il est possible de diminuer ces tarifs garantis.

D'après les estimations du DLR, si les centrales thermiques solaires étaient construites en grand nombre dans la décennie à venir, les coûts pourraient être abaissés jusqu'à **4-5 centimes d'euro le kWh**. Etant donné que les coûts des matières premières nécessaires à la construction des centrales solaires augmentent moins vite que les prix des énergies fossiles, la technologie CSP devrait même devenir compétitive plus rapidement que prévu. Pour l'instant, de **faibles capacités de production des éléments des centrales et une forte demande maintiennent des prix très élevés**.

## **2. Les lignes de transmission Courant Continu Haute Tension (CCHT)**

#### a. Principe de fonctionnement

Un **CCHT** (ou HVDC - High Voltage Direct Current) est un équipement d'électronique de puissance utilisé pour la transmission de l'électricité en courant continu haute tension. Une liaison CCHT est, la plupart du temps, insérée dans un système de transmission en courant alternatif. Elle est donc constituée de trois éléments : un **redresseur<sup>12</sup>**, **une ligne de transmission**, un **onduleur<sup>13</sup>**. Généralement, le redresseur et l'onduleur sont symétriques et réversibles.

#### b. Inconvénients du CCHT par rapport aux lignes de transmission en courant alternatif

<sup>11</sup> Informations supplémentaires sur la tour solaire pilote de Jülich : <http://www.solarturm-juelich.de>

<sup>12</sup> Ou convertisseur alternatif - continu

<sup>13</sup> Dispositif d'électronique de puissance permettant de délivrer des tensions et courants alternatifs à partir d'une source électrique continue.

Jusqu'à présent, la majorité des circuits de distribution d'énergie se font en courant alternatif (HVAC – High Voltage Alternative Current). Les inconvénients du CCHT par rapport aux lignes de transmission HVAC reposent dans la **conversion, la commutation électronique, le contrôle, la disponibilité et la maintenance**.

- Les **convertisseurs statiques** sont chers et ont des capacités de surcharge limitées. A de **courtes distances de transmission**, les pertes dans les convertisseurs statiques sont supérieures à celles des lignes de transmission en courant alternatif, le coût des convertisseurs pouvant ainsi ne pas être compensé par les réductions de coûts de construction des lignes et les pertes de charge plus faibles.
- Contrairement aux systèmes de courant alternatif, la **réalisation de systèmes multi-terminaux** en CCHT est complexe, ainsi que l'expansion de systèmes existants en systèmes multi-terminaux. Le contrôle de la circulation de l'énergie dans un système en courant continu multi-terminal exige une bonne communication entre les terminaux (régulation active du flux d'énergie par le système de contrôle des convertisseurs).
- Le CCHT est **moins fiable** et a une **disponibilité plus faible** que les systèmes en courant alternatif, en particulier à cause de l'équipement de conversion supplémentaire<sup>14</sup> nécessaire.
- Les **disjoncteurs** de CCHT sont difficiles à fabriquer car un mécanisme doit être inclus dans le disjoncteur pour réduire le courant à zéro, sinon l'amorçage d'arcs et l'usure du contact seraient trop grands pour permettre une commutation électronique fiable.
- Les **coûts d'opération et de maintenance** en CCHT sont élevés : en effet, l'usage d'un système HVDC exige de conserver de nombreuses pièces de rechange, car les systèmes en courant continu sont moins standardisés que les systèmes en courant alternatif, optimisés, et la technologie change plus rapidement.

### c. Avantages du CCHT sur les lignes de transmission en courant alternatif

La technologie en courant alternatif s'est avérée très efficace dans la production et la distribution d'énergie électrique. Néanmoins, elle atteint ses limites économiques et techniques pour certaines tâches, notamment le **transit de puissance sur de très longues distances** ou le **transit de puissance entre réseaux asynchrones ou opérant à différentes fréquences**, tâches pour lesquelles le CCHT ne représente pas seulement une alternative technique et économique réaliste au courant alternatif, mais la seule méthode de transmission possible.

#### *Grande distance*

Pour transporter sur de longues distances des puissances très importantes, souvent supérieures à 1.000 MW, il est préférable pour des raisons technico-économiques d'adopter une liaison à courant continu au détriment d'une liaison alternative classique. Si le coût de l'électronique de puissance est élevé<sup>15</sup>, elle apporte néanmoins des avantages décisifs :

- **Deux conducteurs** sont nécessaires en CCHT au lieu de trois en tension alternative<sup>16</sup>, ce qui peut compenser le surcoût pour des liaisons longues, grâce à une réduction de coûts de matériel et de câblage ; en effet, il n'est pas nécessaire de résister à des phases multiples. Par ailleurs, des conducteurs plus fins peuvent être utilisés car le CCHT ne souffre pas d'effet de peau.
- Au delà d'une certaine distance<sup>17</sup>, les **chutes de tension** le long d'une liaison alimentée en courant alternatif sont trop importantes pour permettre la transmission. Ainsi, en CCHT, seule 3% de l'énergie est perdue sur 1.000 km, alors que la transmission par courant alternatif s'accompagne de pertes de 30%.
- La réalisation de **liaisons sous-marines** par câble sur de longues distances (plus de 50 km) en courant alternatif impose de **compenser l'effet capacitif des câbles**, afin de maintenir un contrôle suffisant de la tension de ce câble. À cet effet, sont installées dans les liaisons classiques des **réactances de compensation à des points intermédiaires** (postes électriques) de la liaison. Or dans une liaison sous-marine, l'installation d'un poste électrique à un point intermédiaire (sous la mer) n'est pas envisageable. En courant continu, cet effet capacitif n'existe pas, et justifie l'utilisation des CCHT pour ce type de liaison.

#### *Changement de fréquence*

Interconnecter des réseaux électriques **non synchrones ou présentant des fréquences différentes**<sup>18</sup> nécessite un dispositif spécifique, et un CCHT est la réponse la plus courante.

#### *Contrôle du transit de puissance*

Le troisième intérêt des CCHT est le **contrôle du transit de puissance** entre deux parties d'un réseau électrique. Les équipements CCHT destinés à cette application ne comportent généralement pas de ligne de transmission, et

<sup>14</sup> Les systèmes unipolaires ont une disponibilité d'environ 98,5%, avec environ un tiers du temps d'arrêt imprévu à cause des défauts. Les systèmes bipolaires à défauts excédentaires procurent une haute disponibilité pour 50% de leur capacité de liaison, mais la disponibilité de la capacité complète est comprise entre 97 et 98%.

<sup>15</sup> Informations supplémentaires, voir site de Siemens [https://www.energy-portal.siemens.com/static/de/de/products\\_solutions/9096\\_69966\\_dc%20vs%20ac%20transmission.html](https://www.energy-portal.siemens.com/static/de/de/products_solutions/9096_69966_dc%20vs%20ac%20transmission.html)

<sup>16</sup> Soit un seul, si l'on utilise la terre ou l'eau de mer comme deuxième conducteur

<sup>17</sup> 50 à 100 km environ pour des liaisons sous-marines, 500 à 1.000 km pour les lignes électriques aériennes

<sup>18</sup> 50 Hz ou 60 Hz dans la presque totalité des cas

les deux extrémités sont sur le même site : on parle de **CCHT dos à dos** (en anglais : *back to back*). Dans certains cas ces équipements peuvent être en parallèle avec une liaison alternative.

#### Coûts de terrain

La surface de terrain nécessaire pour une ligne en courant alternatif (pour porter 2.000 MW) est plus de 70% plus large que celle requise pour une ligne en courant continu d'une capacité équivalente, ce qui est particulièrement important dans les zones où le terrain est cher ou les permis difficiles à obtenir.

Le courant CCHT est aussi transmissible par des **câbles souterrains**, ce qui peut permettre de réduire les coûts de terrain et environnementaux, mais ce système est plus cher par km que les lignes aériennes.

#### d. Avantages sur les lignes de transmission par hydrogène

La transmission électrique par ligne CCHT semble beaucoup plus performante que l'utilisation d'hydrogène comme vecteur énergétique dans des pipelines de gaz : en utilisant des lignes de transmission CCHT, les **pertes en ligne** peuvent être limitées à environ **3% tous les 1.000 km**. Or le transport d'hydrogène fait encore face à des problèmes techniques et économiques : coût de transport du gaz<sup>19</sup>, fragilisation des aciers par l'hydrogène, fortes pertes de charge générées par les forces de frottement sur les parois<sup>20</sup>.

De plus, les **coûts variables** d'un circuit CCHT sont moindres que ceux d'un pipeline de gaz : les coûts pour des pipelines de gaz de 1.000–5.000 MW sur 5.000 km sont environ 1,2 à 1,9 fois plus élevés que pour une transmission CCHT<sup>21</sup>. Les prix relatifs dépendent des coûts du terrain et du prix du gaz entre autres facteurs.

Le gaz naturel liquéfié entre aussi en compétition avec le CCHT pour l'exploitation de certaines réserves gazières.

#### e. Une technologie déjà éprouvée

Le transport de l'énergie sur de longues distances n'est plus un problème technique depuis longtemps. Les premiers réseaux de courant continu ont été construits en 1950. Récemment, **ABB et Siemens** ont déjà employé la technique de transmission CCHT sur de longues distances. Durant le World Energy Dialogue 2006 à Hanovre, des représentants des 2 compagnies ont confirmé la parfaite faisabilité technique d'une Euro-Supergrid et d'une Connexion EU-MENA.

En **Chine**, l'utilisation de ces liaisons CCHT se généralise pour transporter sur 2.000 km l'électricité produite à l'intérieur du pays (par exemple barrage des Trois-Gorges), vers les régions côtières, centres industriels et principales zones de consommation du pays. En Juillet 2007, **Siemens** a remporté un appel d'offre visant la construction d'un système CCHT de **5 GW** en Chine.

La plus longue liaison CCHT du monde, Cahora Bassa (1 420 km), se trouve en **Afrique**, entre le Mozambique et l'Afrique du Sud.

Le **projet d'interconnexion des pays du golfe Persique**, majoritairement en 50 Hz, prévoit une liaison CCHT de **1.800 MW** avec ce pays. C'est aussi le cas de la **France et du Royaume-Uni**, qui bien que tous deux à 50 Hz, ne sont pas considérés comme synchrones.

#### f. Les coûts

Les exploitants comme AREVA, Siemens et ABB ne donnent pas d'informations spécifiques sur les coûts d'un projet particulier car il s'agit d'une question commerciale entre le producteur et le client. Les coûts varient profondément en fonction des spécificités d'un projet : données en puissance, longueur du réseau, trajet au fond des mers ou en surface, coûts de terrain, améliorations du réseau en courant continu requises à chaque terminal.

Cependant, certains professionnels ont donné des informations sur un projet particulier. Par exemple, pour une liaison de 8 GW sur 40 km sous la Manche, les coûts d'équipement primaire approximatifs pour un réseau CCHT bipolaire conventionnel de 2.000 MW et 500 kV (en excluant les changements de route, les travaux de renforcement offshore, les consentements, les expertises, les assurances, etc) seraient les suivants<sup>22</sup> : stations de convertisseurs : environ £110M ; câbles souterrains et installation : environ £1M/km. Ainsi, pour une capacité de 8 GW entre l'Angleterre et la France par quatre liaisons, environ **£750M**<sup>23</sup> suffisent pour les ouvrages installés, auxquels il faudrait ajouter **£200–300M**<sup>24</sup> pour les autres travaux requis en onshore.

<sup>19</sup> Une solution consiste à augmenter la pression de service des pipelines, en utilisant des aciers à haute résistance élastique.

<sup>20</sup> Un des moyens de réduire ces forces de frottement est d'appliquer un revêtement en polymère ultra lisse.

<sup>21</sup> Arrillaga, 1998

<sup>22</sup> Source : [http://www.rpd.tas.gov.au/projects\\_state\\_signif/Basslink](http://www.rpd.tas.gov.au/projects_state_signif/Basslink) - [http://en.wikipedia.org/wiki/High-voltage\\_direct\\_current#Disadvantages](http://en.wikipedia.org/wiki/High-voltage_direct_current#Disadvantages)

<sup>23</sup> Soit environ 824 millions d'euros (base : 1 livre sterling = 1,09887849 Euro)

<sup>24</sup> Soit entre 220 et 330 millions d'euros

## IV. Mesures de réalisation du concept DESERTEC

### 1. Projets en cours, lancements

La construction de nouvelles centrales thermiques solaires a déjà commencé en **Espagne** (Andasol 1 et 2, Solar Tres, PS 10) et aux **Etats-Unis** (Nevada Solar One). Des projets sont en cours en **Algérie**<sup>25</sup>, en **Egypte** et au **Maroc** et d'autres centrales sont prévues en **Jordanie** et en **Libye** (coopérations entre l'Allemagne et les pays du MENA : voir annexe 1). Par ailleurs, le Maroc a créé une **loi incitative de tarif d'achat** pour appuyer les énergies renouvelables et l'énergie éolienne en particulier.

En Europe, des discussions sur la construction d'un réseau CCHT à travers l'Europe (**Euro-Supergrid**) sont en cours et les projets de **fermes éoliennes offshore** couplées à un réseau CCHT sont en train de voir le jour en Europe du Nord.

Le **Plan Solaire Méditerranéen** de l'Union pour la Méditerranée pourrait créer le cadre nécessaire au développement du concept DESERTEC en EU-MENA.

### 2. Investissements :

Un soutien gouvernemental sera nécessaire lors des premières étapes pour rendre la construction de centrales électriques et de lignes de transmission attractive pour les **investisseurs privés**. L'objectif est de construire suffisamment de capacité solaire d'ici à 2050 pour couvrir la demande croissante d'électricité en MENA et disposer de 100 GW de puissance électrique pour l'exportation vers l'Europe<sup>26</sup>. Selon le DLR, moins de **10 milliards d'euros d'aide publique** seraient nécessaires pour rendre la technologie CSP compétitive avec les centrales électriques à combustibles fossiles. Etant donné l'augmentation actuelle des coûts du pétrole et du gaz, cet état pourrait être atteint encore plus rapidement.

Les investissements nécessaires à la construction des réseaux et des centrales électriques pourraient être pris en charge par les **gouvernements**, mais des **banques internationales et des investisseurs privés** sont prêts à financer ces infrastructures une fois que les conditions nécessaires auront été réunies.

Des **tarifs d'achat garantis et des garanties sur les investissements** sont nécessaires pour lancer le projet. Les pays d'Europe du Sud pourraient proposer des **tarifs d'achat** pour l'électricité verte produite en MENA. Il serait également possible que des politiques de tarifs d'achat garantis en MENA soient financées par des «**Crédits Energies Renouvelables**», que les pays européens achèteraient, afin d'atteindre leurs objectifs de lutte contre le changement climatique.

Une attention particulière doit être maintenue pour s'assurer que les **capacités de production d'énergie renouvelable** sur le territoire européen soient développées pour qu'elles représentent la majorité des approvisionnements énergétiques européens à l'horizon 2050<sup>27</sup>.

### 3. Politiques énergétiques

Le choix de la **satisfaction de la demande domestique** ou de **l'export** comme objectif principal de développement des énergies renouvelables en MENA **dépend de chaque pays**. Au Maroc par exemple, où les besoins énergétiques sont considérables, un système de crédit pourrait être proposé au démarrage. A l'inverse, la Tunisie, et l'Algérie en particulier, montrent un grand intérêt pour l'export d'électricité solaire.

Dès que les pays d'Europe du Sud commenceront à importer de l'énergie depuis le MENA, un effet direct sera constatable sur des pays comme l'Allemagne qui **exportent actuellement de l'électricité vers l'Europe du Sud**. Selon l'étude du DLR, une capacité de production plus élevée sera disponible pour l'Allemagne, réduisant ainsi le besoin de construire de nouvelles centrales thermiques fossiles et laissant de ce fait plus de temps et de fonds pour développer d'autres sources **d'énergies renouvelables**.

### 4. Deux projets du TREC

En plus de ces mesures directes de soutien, TREC propose deux projets pour aider à réduire les coûts de la technologie CSP et dans le même temps à alléger certains problèmes sociaux et politiques. Des études de faisabilité ont montré que ces projets sont techniquement possibles mais exigent un soutien financier et politique :

<sup>25</sup> Informations supplémentaires : <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/53037.htm>

<sup>26</sup> Soit l'équivalent d'environ 100 tranches nucléaires

<sup>27</sup> Comme montré dans le Scénario TRANS-CSP.

a. Gaza Solar & Water Project :

Ce projet consiste en la construction de centrales CSP (**1 GW** au total) pour la **cogénération d'électricité et d'eau potable** (par dessalement d'eau de mer). Ces centrales, dans le cadre d'un programme de réhabilitation internationale de **Gaza**, pourraient être situées en Egypte et fournir de l'électricité et de l'eau aux 2 à 3 millions d'habitants de la bande de Gaza. Ce projet a pour objectif d'améliorer les conditions de vie et de réduire les tensions politiques dans la région de Gaza en limitant certaines sources potentielles de conflit liées à des pénuries d'eau et en instaurant une base pour un développement économique sain. L'investissement total nécessaire se chiffre à environ **5 milliards d'euros**.

b. Sana'a Solar Water Project :

Ce projet vise la construction d'une **centrale solaire de dessalement** d'eau de mer au bord de la Mer Rouge ainsi que la construction d'une **canalisation vers la capitale Yéménite Sana'a** qui devra faire face à l'épuisement de ses réserves d'eau potable d'ici 15 ans. Ce projet pourrait éviter un désastre humanitaire et des troubles sociaux au Yémen. Selon le TREC, le déplacement de la population de Sana'a (2 millions de personnes) vers de nouveaux lieux d'habitation coûterait environ 30 milliards d'euros, solution beaucoup plus coûteuse que les **5 milliards d'euros** nécessaires pour ce projet alternatif, permettant à la population de rester sur place en construisant des centrales thermiques solaires et un pipeline pour l'approvisionnement en eau.

## V. Les contraintes et les défis de DESERTEC

Le projet DESERTEC fascine, de part les défis à la fois scientifiques, économiques et politiques qu'il soulève. Néanmoins, les contraintes d'ordre organisationnel, politique ou technique ou économique sont nombreuses, et il est nécessaire de distinguer défi et déraison.

### 1. Contraintes et défis politiques :

#### a. Problèmes de stabilité politique dans les pays "producteurs" du nord de l'Afrique :

L'instabilité politique de certains pays du pourtour méditerranéen peut menacer la coopération à grande échelle et refroidir les investisseurs. En effet, le risque existe que des installations puissent être **déconnectées** du réseau comme moyen de pression, **nationalisées**, voire **détruites** par des attaques terroristes.

#### *Sécurité d'approvisionnement en électricité – dépendance énergétique :*

Si des centrales solaires sont construites dans des pays aux régimes politiques instables, il existe un risque d'entrer dans le même **système de dépendance énergétique qu'avec le pétrole**. La crainte d'une dépendance européenne accrue envers les pays du MENA à long terme est donc légitime. Les centrales devraient par conséquent être installées dans des **pays stables politiquement** pour garantir la **sécurité de l'approvisionnement en électricité**.

#### *Gestion de la sécurité :*

Il est nécessaire de garantir la sécurité dans l'environnement des centrales, notamment pour garantir la **protection contre des attentats**. Il faut aussi garantir la sécurité le long du **réseau**. En effet, avec un réseau de transport de plus de 1.000 km de long, un petit incident ou un acte malveillant pourraient couper l'approvisionnement de régions entières.

Néanmoins les responsables du projet DESERTEC affirment que même en cas de coupure d'approvisionnement de régions européennes pour des raisons techniques ou politiques, selon le mix électrique du scénario TRANS-CSP pour l'Europe en 2050 (**65% d'énergies renouvelables européennes, 17% d'importations d'électricité solaire et 18% de centrales thermiques de substitution et de pointe**), la perte de certaines lignes CCHT en provenance du MENA pourrait être compensée jusqu'à leur réparation ou la mise en place d'une solution politique. De plus, il n'y aurait jamais une seule très grande centrale solaire qui pourrait être endommagée facilement. A la place, il y aura des centaines de centrales solaires au sein d'un réseau d'EnR, réparties sur plusieurs continents.

#### b. Implications des différents acteurs dans le projet – éviter le risque de colonialisme

#### *Risque de colonialisme – un nouvel impérialisme ?*

Les détracteurs du projet DESERTEC n'hésitent pas à évoquer une nouvelle forme de colonisation. Après avoir servi de réservoir d'énergies fossiles pour le développement de l'Occident, l'Afrique risque de devenir l'une des principales sources d'énergies renouvelables pour l'Europe : une partie de l'électricité produite au Sud de la Méditerranée serait destinée à **l'exportation vers l'Europe**, pour couvrir à terme 15% des besoins électriques européens. L'idée de l'utilisation des pays d'Afrique du Nord comme parc solaire pour les besoins énergétiques européens, associée à l'exploitation d'une main d'œuvre bon marché, et entraînant des bouleversements économiques pour ces pays, peut déranger. Certes, on peut évoquer les créations d'emploi, les projets de dessalement de l'eau de mer ou l'apport d'énergie supplémentaire pour le Maghreb, mais cette contribution économique peut sembler faible par rapport au coût global du projet. Il n'y a, à présent, **qu'une société africaine** associée à DESERTEC. On peut également s'étonner de la **faible implication** des institutions sous-régionales comme l'UMA<sup>28</sup> et des gouvernements pour un projet qui risque d'impacter la géopolitique locale et le développement économique de plusieurs pays.

Le fait que le projet DESERTEC soit pour le moment dirigé à majorité par des **entreprises de pays européens** (11 sur 12), en lien en filigrane avec les gouvernements de ces pays, n'aide ni à la **transparence** ni au sentiment de tranquillité des Etats d'Afrique du Nord, qui peuvent se sentir floués par des décisions d'investissement de DESERTEC auxquelles ils n'ont pas part, et qu'ils peuvent considérer comme non équitables. Une **rivalité** peu saine peut ainsi se créer ou s'envenimer entre pays voisins d'Afrique du Nord, en lien à ces décisions d'investissements du projet DESERTEC.

#### *Implication des pays producteurs :*

---

<sup>28</sup> Union du Maghreb Arabe

Les bénéfices que tireront les pays du sud de la méditerranée de cette coopération doivent être pris en compte, notamment la couverture d'une grande part de la **consommation énergétique des pays producteurs**. Il faut aussi réfléchir à l'opportunité d'**impliquer** ou pas tous les pays de la région.

#### *Implication des pays consommateurs :*

L'implication des Etats consommateurs n'est pas non plus évidente, et ce même si la chancelière allemande Angela Merkel et le président de la Commission européenne José Manuel Barroso ont chaudement salué l'initiative DESERTEC. En effet, Angela Merkel a aussi exprimé ses doutes quant à la participation d'autres pays européens que l'Allemagne, car à présent les opinions des 27 divergent sur l'adoption d'une **politique énergétique globale de l'Union**.

#### *Nécessité de régler des problèmes politiques avant de mettre en place DESERTEC ?*

Le projet DESERTEC ne semble pas pouvoir être réalisé avant la mise en marche de **l'Union pour la Méditerranée** et **l'effacement de tous les litiges politiques** qui oppose les européens au reste du monde ensoleillé : le Sahara occidental, la reconnaissance d'Israël par l'entité arabe, la reconnaissance de la souveraineté des pays africains etc. L'Europe doit adopter une position claire envers le monde arabe et africain et traiter les problèmes communs avec équité.

## **2. Contraintes et défis techniques et scientifiques : (solaire, réseau, environnement)**

### a. Contraintes et défis par rapport au réseau électrique

#### *Pertes de charges durant le transport :*

Les **pertes de transmission** augmentent avec la distance (et diminuent avec la qualité) du réseau électrique. En utilisant des lignes de transmission CCHT, les pertes en ligne peuvent être limitées à environ **3% tous les 1.000 km**. Cependant, avec un transport sur 5.000 km, les pertes de transmission devraient environner **15%**, pour autant que soient employés des câbles à section trois fois plus grosse que la section de câble utilisée actuellement en Europe. Avec des sections de câble habituelles (**comme pour courant alternatif ? – trouver chiffres**) ces pertes de transmission s'élèvent à 50%. De plus, ces pertes sont compensées par le fait que les **niveaux de radiation solaire** dans les pays du MENA sont environ deux fois plus élevés que dans le sud de l'Europe. Et les variations saisonnières d'ensoleillement sont beaucoup plus faibles en MENA qu'en Europe.

#### *Mise en application du réseau CCHT :*

Il n'existe pas encore de réseau d'électricité susceptible de transporter ce courant et de l'intégrer au réseau européen. Les réseaux électriques nord-africain et européen sont à remodeler entièrement. Des pays de toute l'Europe peuvent commencer à importer une certaine quantité d'énergie propre depuis les pays du Sud grâce aux câbles existants, mais la **construction de connexions CCHT** à faibles pertes sera nécessaire à court terme. La planification, les autorisations et la construction de lignes transfrontalières nécessitant du temps, de l'argent et de la technique, les études nécessaires doivent être démarrées aussi vite que possible.

#### *Longueur du réseau et sécurité*

Il faut aussi garantir la sécurité le long du **réseau**. En effet, avec un réseau de transport de plus de 1.000 km de long, un petit incident pourrait couper l'approvisionnement de régions entières.

### b. Contraintes et défis environnementaux

#### *Entretien du matériel en environnement désertique :*

Le sable est un corrosif puissant : dans le cadre hostile du désert et notamment en cas de tempête de sable, les **paraboles** pourraient s'émousser, et être rendues rapidement inutilisables. Des études doivent être réalisées dès que possible pour évaluer l'ampleur de ce risque et ses répercussions sur la **maintenance** des centrales.

Néanmoins, des centrales solaires thermiques sont déjà utilisées depuis plus de 20 ans dans le **désert de Moldavie et en Andalousie**, et aucune détérioration ni endommagement notable des paraboles n'aurait été constatée.

#### *Effets sur l'environnement de la concentration du rayonnement solaire sur une zone précise du globe :*

Il est légitime de se demander ce qui se passe lorsque de l'énergie solaire est captée, transformée et évacuée sur une zone de milliers de km carrés. Se crée-t-il un microclimat dans l'environnement des centrales ? La zone à l'ombre des panneaux va-t-elle vivre une transformation de la faune et de la flore ? Des oasis se forment-elles avec un climat local plus froid ? Des tempêtes de sables sont-elles attirées dans la zone, ou au contraire

éloignées? Des études sont nécessaires pour déterminer l'effet sur l'environnement d'un projet d'une telle ampleur.

### 3. Contraintes et défis économiques :

#### a. Des investissements colossaux à mettre en œuvre

*Point crucial : mise en place d'un cadre réglementaire adapté :*

Ce cadre réglementaire doit garantir des **conditions d'investissement fiables** aux constructeurs d'installations d'électricité renouvelable au sud de la Méditerranée (via des tarifs d'achat garantis comme c'est le cas dans la plupart des pays européens) et leur permette d'**exporter** une partie de cette électricité vers l'Europe.

*Mise en œuvre concrète du financement :*

Il faut trouver les moyens de financer des investissements (estimation de 400 milliards d'euros), d'autant que le projet est supposé pouvoir **s'autofinancer à long terme** (DESERTEC devrait être concurrentiel d'ici 10 à 15 ans). Il est donc urgent de trouver des investisseurs.

*Réduction et planification des objectifs :*

Le projet dans son ensemble doit être réalisable par des **étapes réduites**, et plus faciles avec des **investissements de capitaux limités**.

*Viabilité économique, rentabilité de la thermique solaire par rapport aux énergies fossiles :*

La thermique solaire n'a jamais été ignorée, et sa faisabilité technique est garantie, mais l'appât du profit a incité à revenir à l'électricité d'origine charbonnée, pétrolifère ou gazifière. Il faut réfléchir aux raisons et aux moyens de la rendre attractive pour les investisseurs aujourd'hui.

*Participation des Etats dans le financement du projet ?*

Le projet est une **initiative privée**, il doit donc être mis en œuvre par des entreprises privées. Cependant, l'**Europe** propose de mettre à disposition de DESERTEC 2 milliards d'euros d'ici 2020. Et le gouvernement allemand souhaiterait aussi accompagner le projet : la nouvelle coalition "noir-jaune" (CDU/CSU-FDP) s'est ainsi prononcée en faveur du projet DESERTEC dans son rapport de coalition.

*Mais relativisation des coûts économiques :*

Les coûts estimés de 400 milliards d'euros pour couvrir 15% des besoins électriques européens d'ici 2050 sont à mettre en relation avec les 25 milliards d'euros de coûts de production d'électricité pour la production électrique totale en Allemagne pour environ 600 milliards de kWh et les subventions annuelles de 7 milliards d'euros pour le soutien aux énergies renouvelables.

#### b. Coût de l'électricité produite :

*Garantie d'achat de l'électricité solaire*

Le coût de production du kWh thermosolaire oscille entre **15 et 30 centimes d'euros**, contre 3 à 5 centimes d'euros pour le kilowattheure nucléaire ou fossile. Des innovations technologiques (échangeurs thermiques plus performants, miroirs plus simples, augmentation du rendement des réseaux de transport) et une production de masse due à l'augmentation de la demande permettraient d'abaisser les coûts de production. D'après les estimations du DLR, si les centrales thermiques solaires étaient construites en grand nombre dans la décennie à venir, les coûts pourraient être abaissés jusqu'à **4 et 5 centimes d'euro le kWh**. Dans le contexte actuel, DESERTEC ne peut donc pas être économiquement rentable sans une intervention des pouvoirs publics (subventions, tarifs d'achats, etc.). Au départ, le projet aurait ainsi besoin d'une sécurité d'investissements, par exemple une **garantie d'achat à un prix fixé**, pour que l'électricité solaire soit compétitive sur le marché électrique face aux autres sources d'énergie. Mais l'électricité ne doit pas être subventionnée dans la durée. Le projet devra être capable de s'autofinancer.

#### c. Grands groupes énergétiques, monopole et concurrence

*Une centralisation électrique dangereuse :*

La thermique solaire nécessite des **structures centralisées**, ce qui est problématique, car la décentralisation de la production électrique est une préoccupation importante à l'heure actuelle, accompagnée d'une valorisation des productions électriques régionales, pour des raisons **climatiques** (utilisation des énergies renouvelables), mais

aussi pour éviter le **monopole** de quelques groupes électriques géants. Le projet DESERTEC entrainerait donc une accentuation de la **dépendance du consommateur envers les grosses entreprises énergétiques**.

*Concurrence énergétique – acceptation du projet par les grands groupes énergétiques :*

Les grandes entreprises énergétiques renonceraient-elles facilement à 15% de part du marché local ? Jusqu'à présent, la commission européenne exige une meilleure combinaison des réseaux électriques nationaux pour équilibrer les goulets d'étranglement.

#### d. Concurrence avec les énergies renouvelables – retards d'investissements

A cause du projet DESERTEC, des pays qui prévoient aujourd'hui d'investir dans les énergies renouvelables (EnR) ou dans les techniques à haute efficacité énergétique pourraient **différer leur action pour des raisons économiques ou idéologiques**. Or la suprématie de la technique CSP sur les autres EnR n'a jamais été démontrée par des experts sur des critères techniques et économiques. Les considérations politiques priment.

Mais selon les responsables du projet DESERTEC, le solaire thermique ne voudrait couvrir que **15% de la consommation électrique européenne**, ce qui laisse de la place pour le développement des autres EnR : en effet, le mix électrique du scénario TRANS-CSP pour l'Europe en 2050 estime 65% d'énergies renouvelables européennes, 17% d'importations d'électricité solaire et 18% de centrales thermiques de substitution et de pointe.

#### **4. Contraintes organisationnelles, liées au consortium DII :**

*Modération des divergences d'intérêt au sein du consortium :*

Certaines entreprises membres du projet sont en **concurrence directe sur le marché** : par exemple Siemens et ABB pour les techniques de transmission électrique, Schott Solar et Siemens pour les technologies solaires, RWE et Eon pour l'approvisionnement énergétique.

## VI. Les atouts de DESERTEC

### 1. Atouts techniques

#### a. L'infini potentiel d'énergie solaire que recèle le désert du Sahara :

Une surface de **300 kilomètres sur 300 kilomètres** dans le Sahara (soit 1/1000 des surfaces de désert), équipée de miroirs paraboliques, suffirait pour couvrir les besoins en énergie de la Terre entière, selon Siemens. Des études estiment **3.000 heures d'ensoleillement annuel en Afrique du Nord**, contre 1.600 en Allemagne, avec un rayonnement solaire presque trois fois supérieur par mètre carré. La production du soleil dans le désert s'élève à **2.350 kWh**, contre 1.000 en Europe centrale. L'énergie utilisable dans le Sahara est 30% plus élevée que dans l'Espagne du sud.

#### b. La technique CCHT :

Le transport de l'énergie sur de longues distances n'est plus un problème technique depuis longtemps. Les premiers réseaux de courant continu ont été construits en 1950. Lors de la transmission CCHT, le courant alternatif produit est transformé en courant continu, qui ne perd que 3% de l'énergie sur 1.000 km, alors que le courant alternatif s'accompagne de pertes de 30%. De plus, seuls deux câbles sont nécessaires au lieu de 3 en réseau de courant alternatif, ce qui permet une réduction des coûts de matériel et de câblage. De plus, les **pertes de transport** seraient supportables. Les conduites en courant continu garantissent sur 3.000 km la livraison de 85 à 90% de l'électricité. De plus, la surface disponible en Afrique du nord étant infinie et les coûts d'énergie primaire étant nuls, les rendements et pertes en transport seraient secondaires.

#### c. Nouveau réseau électrique interconnecté :

Avec la fin du charbon et des autres énergies fossiles et le développement des énergies renouvelables, l'Allemagne doit avoir recours à une **solution interconnectée**. De plus, la période est adéquate pour développer un nouveau réseau électrique international : l'**Europe** a besoin d'une nouvelle infrastructure de réseau électrique, et compte construire son réseau de courant continu pour d'autres raisons également, notamment **développer la concurrence internationale et transporter l'énergie des parcs éoliens offshore en mer du nord et Baltique vers les centres de consommation**. (→ intérêts politiques aussi)

#### d. Contrôle de la production électrique en fonction de la demande

Les CSP produisent de la chaleur qui est turbinée pour produire de l'électricité. En cas de pics de consommation, ces mêmes turbines peuvent être alimentées avec des **biocarburants ou du gaz**. La CSP peut ainsi **produire de l'électricité en fonction des besoins**, contrairement aux centrales éoliennes et photovoltaïques qui ont besoin de centrales d'appoint à charbon, à gaz ou hydroélectrique pour passer les pics.

### 2. Atouts environnementaux

#### a. Emissions de CO2 :

Selon Greenpeace, les émissions de CO2 pourraient être réduites de **4,7 milliards de tonnes d'ici 2050**, soit six fois la production annuelle de l'Allemagne. Cette réduction des émissions de carbone serait donc une contribution non négligeable pour soutenir les objectifs de protection du climat de l'Union européenne et du Gouvernement allemand.

#### b. Atouts agricoles :

**L'ombre des panneaux solaires** pourrait être utilisée pour des cultures agricoles, dans une région désertique où l'ombre est rare et précieuse.

### 3. Atouts économiques

#### a. Elan pour le développement des énergies renouvelables

Certes le projet DESERTEC aurait tendance à accentuer la dépendance du consommateur envers les grosses entreprises énergétiques, mais il faut être conscient que sans initiative de grosse industrie et les investissements qui l'accompagnent, les technologies d'avenir ne peuvent être développées dans aucun secteur – informatique, mobilité, production énergétique. Une **production énergétique décentralisée et cogénératrice** devrait permettre de compléter la production solaire de masse permise dans le cadre de DESERTEC. Mais sans l'utilisation **d'effets d'échelle** pour les grandes industries, la conversion du mode de production énergétique mondiale en production d'énergie renouvelable et non productrice de CO2 serait inimaginable.

#### b. Soutien de l'industrie énergétique allemande :

Le projet DESERTEC pourrait contribuer à **l'élargissement du marché des entreprises allemandes** positionnées en pointe sur le marché des renouvelables, afin d'accélérer la compétitivité économique du solaire ou de l'éolien, et d'assurer un développement de leur activité.

Avec la raréfaction des ressources fossiles, l'électricité solaire pourrait ainsi être très intéressante et compétitive d'ici 10 ans.

#### c. L'énergie solaire, une source d'énergie de plus en plus rentable

L'énergie solaire est **virtuellement illimitée** et devient plus économique à mesure que les **volumes augmentent**, au lieu de devenir plus chère comme d'autres sources d'énergie. Les progrès technologiques et l'augmentation des coûts des énergies fossiles aidant, elle pourrait devenir compétitive et auto-finançable à terme et le tarif de l'électricité devenir concurrentiel.

### 4. **Atouts politiques**

#### a. Dépendance énergétique fossile ou solaire – sécurité énergétique

A la question de savoir si la dépendance énergétique vis-à-vis des pays d'Afrique du Nord, souvent instables politiquement, serait semblable à la dépendance par rapport au pétrole, les partisans du projet DESERTEC répondent que l'énergie solaire diffère des ressources fossiles (pétrole, gaz, uranium) :

- disponibilité : les ressources fossiles sont des ressources régionales, et sont **stockées sous la terre**, donc constituent la propriété des Etats où elles se trouvent. Au contraire, l'énergie solaire est **présente sur toute la surface terrestre**, même si sa concentration n'est pas la même.

- limitation et sécurité d'approvisionnement : il est impossible de "couper le robinet" de l'énergie solaire, d'arrêter la source. En cas de blocage d'une centrale, l'énergie peut être récupérée avec d'autres centrales. Cela réduit le potentiel de pression des pays "producteurs". Par ailleurs, les pays concernés ne forment pas (pas encore ?) de **bloc politique** : il y aurait des pays arabes, nord-africains et africains.

Ainsi il y aurait moins de compétition ou de conflits possibles pour l'énergie solaire par rapport à des ressources fossiles régionales ou limitées en quantité. La fin du monopole du pétrole pourrait même **stimuler le développement technologique** dans certains pays et ainsi avoir une action stabilisatrice. L'exemple de l'Europe montre que l'interdépendance plutôt que l'autonomie assure la paix et la cohésion.

#### b. Risque d'éco-colonialisme ou opportunité pour le MENA ?

La production d'énergie solaire est liée avec des **perspectives de développement économique** considérables pour les sites des centrales : les promoteurs de DESERTEC prévoient une fourniture importante d'énergie propre, des emplois, des sources de revenus, des infrastructures améliorées, des possibilités de dessalement d'eau de mer et de nombreux bénéfices potentiels (ex : agriculture) apportés par l'ombre des collecteurs solaires. En particulier, les **créations d'emplois** seraient nombreuses pendant la phase de construction (main d'œuvre nécessaire pour l'édification de l'installation, en particulier dans la construction des collecteurs solaires), puis pendant l'activité (maintenance, entretien), ainsi que pendant le démantèlement. Une classe moyenne pourrait être créée, évitant l'émigration des ingénieurs qualifiés.

Les perspectives de **développement technologique** sont également considérables : la région MENA a besoin de manière urgente de développer l'utilisation des énergies renouvelables pour la cogénération d'électricité et d'eau potable, objectif auquel le projet DESERTEC pourrait fortement contribuer. En effet, à l'exception de l'Algérie, de

l'Egypte et de la Libye, qui disposent de ressources fossiles, les pays du sud de la Méditerranée sont eux-mêmes en situation de dépendance énergétique. Selon certains scénarios, leurs besoins vont augmenter de 70% dans les vingt ans à venir. Le transfert technologique et le développement de programmes de formation et d'études sur les énergies renouvelables en MENA sont d'ailleurs clairement soutenus du côté européen dans le cadre de **l'Union pour la Méditerranée**.

Le projet DESERTEC affirme donc soutenir et stimuler le développement technologique des pays du MENA, à condition que ces pays garantissent, à travers un régime **d'économie de marché**, une **justice de distribution**.

Malgré la sous-représentation actuelle des pays producteurs dans le projet DESERTEC, les décideurs politiques africains peuvent tirer profit de l'initiative DII. Les études techniques étant déjà réalisées, l'UMA peut s'appuyer sur le projet DESERTEC, dans le cadre des négociations climatiques, en mettant en valeur **l'apport d'énergies renouvelables et la limitation des émissions de CO2 pour la sous-région**. L'objectif est d'obtenir des **financements** pour préparer l'après pétrole et gaz, notamment en Libye ou en Algérie, de contribuer à l'indépendance énergétique du Maroc ou encore de lutter contre le stress hydrique causé par le changement climatique en Tunisie.

Au-delà de l'UMA, **l'Union africaine** pourrait également se servir de DESERTEC pour obtenir des financements supplémentaires de la communauté internationale, dans l'optique de l'autonomie énergétique du continent, lors du Sommet mondial sur le climat de Copenhague en décembre.

En effet, le budget de DESERTEC serait suffisant pour assurer **l'indépendance énergétique de l'ensemble du continent africain**. En croisant le développement des centrales thermosolaires au Sahara avec des projets ambitieux d'éolien le long des côtes africaines (Maroc, Mauritanie, etc.) et la valorisation du potentiel hydro-électrique africain, l'objectif peut être atteint et le surplus d'énergie serait exporté vers l'Europe.

c. Un projet fédérateur :

DESERTEC peut être considéré comme une utopie, mais les responsables du projet affirment que c'est ce qui fait la force de rayonnement du projet. L'effort de gravir une nouvelle étape dans l'approvisionnement énergétique pourrait être davantage qu'un projet pour techniciens et ingénieurs. DESERTEC fascine car il rend presque palpable le début de la fin de l'ère du pétrole. La dépendance des sources énergétiques fossiles est un problème mondial qui conduit depuis des décennies à **des fortes failles et rejets politiques, économiques et écologiques**. DESERTEC incarne une grande solution transnationale, dépassant les frontières, symbolisant un progrès "actif" plutôt qu'une sortie de la crise économique basée sur la décroissance et le renoncement à la consommation.

d. Elargissement du projet :

D'un point de vue politique, la mise en œuvre du concept DESERTEC dans des pays comme **l'Australie, la Chine, l'Inde et les Etats-Unis**, serait encore plus simple que dans les pays du MENA.

Ainsi, malgré une couverture médiatique très importante en Allemagne et à l'étranger, le projet DESERTEC soulève beaucoup de questions technologiques, économiques et politiques.

La mise en place d'un cadre réglementaire adapté demeure cruciale, afin de garantir des conditions d'investissement fiables aux constructeurs d'installations électriques renouvelables dans les pays du MENA et de permettre l'exportation d'une partie de cette électricité vers l'Europe.

## VII. Annexes

### Annexe 1 : *Coopérations entre l'Allemagne et les pays du MENA*

#### a. Coopérations entre l'Allemagne et l'Algérie – centrales solaires

Un accord de coopération a été signé le 29 janvier 2008 à Bruxelles entre le **DLR** et l'Agence algérienne pour les énergies renouvelables (New Energy Algeria ou **NEAL**) pour la recherche dans le domaine de l'énergie solaire thermodynamique. Une **centrale hybride solaire/gaz naturel** de **150 MW** est en cours de construction en Algérie à 420 km au sud de la capitale (région de Hassi-R'mel - Laghouat). Cette centrale électrique combinera des miroirs paraboliques concentrant la puissance solaire de 25 MW, sur une surface de 180.000 m<sup>2</sup>, en conjonction avec une centrale à turbines à gaz de 130 MW. Dans le cadre de la coopération germano-algérienne, le DLR bénéficiera d'un accès direct à la centrale, installation dont les deux partenaires souhaitent optimiser le fonctionnement. L'objectif commun est la **réduction des coûts** via le développement de nouvelles technologies thermosolaires et de nouvelles manières de tester les composants. Les deux partenaires s'intéressent également à la production d'hydrogène à partir d'énergie solaire, aux piles à combustibles, aux procédés thermiques, à l'analyse des systèmes et à l'évaluation technologique.

Par ailleurs, l'**Institut solaire de Jülich**<sup>29</sup> (**SIJ**) de l'école supérieure spécialisée (FH) d'Aix-la-Chapelle va débiter prochainement une étude de faisabilité pour la construction d'une **tour solaire thermique**<sup>30</sup> en Algérie - dont elle partagera la responsabilité avec la société **IATech**, filiale de la compagnie des centrales de Munich (KAM), et le **DLR**. L'installation devrait être entre deux et cinq fois plus grande que l'installation pilote de Jülich<sup>31</sup> et devrait fonctionner selon le même principe technique. Le SIJ réalise cette étude de faisabilité sur la demande du gouvernement algérien et avec le soutien du **BMU**. Dans le cadre de l'étude, à côté de la production d'électricité, la faisabilité d'intégrer des procédés supplémentaires dans l'environnement de la centrale solaire sera analysée, comme la réfrigération solaire, le traitement de l'eau et le dessalement de l'eau de mer, ainsi que la production de chaleur industrielle solaire. L'étude devrait aussi avoir une influence sur la conception d'un centre de formation professionnelle en énergies renouvelables qui doit être érigé au voisinage de la centrale.

#### b. Coopérations entre l'Allemagne et l'Egypte – parcs éoliens et solaires

##### *Eolien*

Le campus de Künzelsau de l'**Université Reinhold-Würth d'Heilbronn (RWH)**, spécialisé en technique et en économie, a débuté en juillet 2009<sup>32</sup> un projet de recherche avec l'Egypte dans le domaine des éoliennes. Le **parc éolien de Zafarana en mer Rouge en Egypte** produit actuellement une puissance d'environ **322 MW**. Le site est particulièrement adapté au concept de parc éolien de recherche<sup>33</sup>, car il s'agit de la région du monde où le vent souffle en moyenne à la plus grande vitesse (environ 9,5 m/s). En outre, les conditions météorologiques y sont extrêmes (climat désertique remarquablement chaud, tempêtes de sable et air humide et salé par intermittence). Les deux partenaires du projet sont, en Egypte, la **Société de développement de la Science et de la technologie (STDF)** et en Allemagne, le Ministère fédéral de l'enseignement et de la recherche (**BMBF**).

##### *Solaire*

A **Kuraymat**<sup>34</sup>, au sud du Caire, une **centrale thermo-solaire** moderne a été érigée, de capacité électrique **150 MW**, utilisant la chaleur du soleil et le gaz naturel pour approvisionner la capitale égyptienne. Ainsi, des collecteurs solaires avec des anneaux paraboliques sont installés pour capter la lumière du soleil. L'entreprise **Flagsol** de Cologne, filiale de **Solar Millenium AG** d'Erlangen, est associée au projet et à la construction du champ solaire. Les collecteurs couvrent une surface de 130.000 m<sup>2</sup>. Chaque collecteur est large de 6 mètres et long de 150 mètres. Environ 53.000 miroirs sont utilisés, dont la plupart proviennent d'Allemagne, entre autre de **Schott Solar**. Le budget du projet s'est élevé à environ 150 millions d'euros. D'autres appels d'offre sont lancés en Algérie, Maroc, Israël et aux Emirats.

<sup>29</sup> Informations supplémentaires : <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/059/59458.htm>

<sup>30</sup> Une tour solaire est une centrale à énergie renouvelable, construite de manière à canaliser l'air chauffé par le soleil afin d'actionner des turbines pour produire de l'électricité.

<sup>31</sup>

<sup>32</sup> Informations supplémentaires : <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/060/60070.htm>

<sup>33</sup> Les conditions locales d'exploitation, comme les fluctuations météorologiques ou la qualité du réseau d'approvisionnement, exercent une grande influence sur les systèmes énergétiques éoliens : ainsi, les variations de performance qui y sont liées jouent un rôle considérable sur l'efficacité de la production d'énergie.

<sup>34</sup> Informations supplémentaires : [http://www.solarpaces.org/Tasks/Task1/egypt\\_kuraymat.htm](http://www.solarpaces.org/Tasks/Task1/egypt_kuraymat.htm)

#### c. Coopérations entre l'Allemagne et le Maroc – parcs éoliens

Une étude élaborée par le **Centre de Développement des Énergies Renouvelables** (CDER) en collaboration avec la **Société allemande de coopération technique** (GTZ) a démontré l'existence d'un très grand potentiel éolien au Maroc : Potentiel éolien théorique<sup>35</sup> : 7.900 TWh, soit l'équivalent de 2.650 GW environ ; Potentiel éolien technique<sup>36</sup> : 4.900 TWh, soit l'équivalent de 1.600 GW environ. Le potentiel réalisable est estimé à 1.060 MW en 2012 et à 3.200 MW en 2020. Ces puissances ont été estimées en tenant compte de la capacité électrique totale installée de toutes les centrales électriques au Maroc et de la capacité d'intégration du réseau par rapport à l'électricité produite par les parcs éoliens.

Le Maroc investit dans l'énergie éolienne : à côté de Tanger, se dresse depuis octobre 2000 le **premier grand parc éolien d'Afrique du Nord**, comprenant 7 éoliennes de puissance unitaire de **500 kW**. La production moyenne annuelle est estimée à **15 GWh**. Ce parc est réalisé dans le cadre de la coopération financière marocco-allemande : le projet a été ainsi financé par la **banque publique allemande KfW**.

"**Altus et A.M. Wind**", groupe d'investisseurs maroco-allemand<sup>37</sup>, prévoit de réaliser deux parcs éoliens d'une puissance de **672 MW** pour un coût global d'1,3 milliards d'euros dans la localité de Ntireft du nord de la ville de **Dakhla**. Prévu sur une superficie de 15.000 ha, ce projet devrait permettre de créer environ 220 postes.

#### d. Coopérations entre l'Allemagne et l'Arabie Saoudite

Le fournisseur solaire allemand **Coenergy** construit une installation solaire qui produit 2 MW d'électricité sur le toit de l'Université du Roi Abdulhah, à Riad, capitale d'Arabie Saoudite. Ce projet est financé à hauteur de 11,3 millions d'euros par **Saudi Aramco**, l'une des plus grosses entreprises de pétrole du monde.

#### e. Coopérations entre l'Allemagne et la Namibie –centrale à cheminée solaire

A la demande du fournisseur d'énergie namibien **NamPower**<sup>38</sup>, des ingénieurs allemands mènent actuellement un projet de construction d'une **centrale à cheminée solaire**<sup>39</sup>. Culminant à 1000 m d'altitude, la tour devrait voir le jour dans quelques années à **Arandis** (Namibie). Le générateur doit fonctionner jour et nuit et délivrer une puissance de **50 MW**, ce qui représenterait le huitième de la puissance électrique totale consommée en Namibie. Des chercheurs de **l'Université de Bochum (RUB)**, en collaboration avec des collègues de **l'Université de Wuppertal** et des partenaires sud-africains, veulent déterminer la forme optimale des parois, avant de faire subir des essais en soufflerie à un modèle de la centrale, afin d'étudier son comportement dans des écoulements d'air à des altitudes très élevées. Les matériaux entrant dans la composition du rotor devront pouvoir résister à des températures élevées (jusqu'à 100°C). Par ailleurs, la gigantesque surface recouverte par l'enceinte de verre pourrait être exploitée, au moins partiellement, comme une serre pour y cultiver des fruits et légumes. Afin de concrétiser ce projet, le gouvernement de Namibie est actuellement à la recherche d'investisseurs.

<sup>35</sup> Potentiel global du pays y compris les zones où les installations des éoliennes sont impossibles : forêts, régions à côté des aéroports, régions à forte concentration en population, etc.

<sup>36</sup> Potentiel exploitable du pays (puissance totale des machines à installer dans des zones favorables à la production d'électricité à partir de l'énergie éolienne en respectant plusieurs critères liés à l'installation des parcs éoliens)

<sup>37</sup> L'allemand Altus AG et le marocain A.M. Wind

<sup>38</sup> Informations supplémentaires : <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/054/54630.htm>

<sup>39</sup> La tour en béton armé est entourée à sa base par un toit de verre en forme de croix qui s'étend sur environ 20 km<sup>2</sup>. Le soleil chauffe l'air qui se trouve sous le toit de verre. L'air chaud remonte dans la cheminée et aspire derrière lui l'air extérieur plus froid. Ce cycle fournit de l'énergie cinétique à récupérer, en lui faisant actionner d'abord des ventilateurs puis des alternateurs.

## Lexique

**BMBF** : Bundesministerium für Bildung und Forschung (Ministère fédéral de l'enseignement et de la recherche)

**BMELV** : Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Ministère fédéral de l'alimentation, de l'agriculture et de la protection du consommateur)

**BMU** : Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Ministère fédéral de l'environnement, de la protection de la nature et de la sûreté nucléaire)

**CCHT** : courant continu haute tension (ou HVDC, HGÜ)

**CSP** : concentrated solar power (centrales thermiques solaires à concentration)

**DLR** : Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

**HGÜ** : Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (voir CCHT)

**HVDC** : High Voltage Direct Current (voir CCHT)

**MENA** : *Middle East and North Africa*

New Energy Algeria ou **NEAL**

**SEGS** : Solar electric generating systems

**TREC** : Trans-Mediterranean renewable Energy Cooperation

**SIJ** : Solar-Institut Jülich

**KAM** : Kraftanlagen München GmbH

## VIII. Bibliographie :

[http://www.DESERTEC.org/downloads/summary\\_fr.pdf](http://www.DESERTEC.org/downloads/summary_fr.pdf)

[http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/developpement-durable-1/d/DESERTEC-le-projet-colossal-du-solaire-saharien-pour-leurope\\_19889/](http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/developpement-durable-1/d/DESERTEC-le-projet-colossal-du-solaire-saharien-pour-leurope_19889/)

<http://www.econologie.com/l-energie-des-deserts-projet-DESERTEC-telechargement-3814.html>

<http://www.greenunivers.com/2009/11/DESERTEC-25680/>

<http://www.greenunivers.com/2009/07/DESERTEC-solaire-sahar-9478/>

[http://www.lexpansion.com/economie/actualite-economique/DESERTEC-ne-sert-qu-a-defendre-des-monopoles-etablis\\_190381.html](http://www.lexpansion.com/economie/actualite-economique/DESERTEC-ne-sert-qu-a-defendre-des-monopoles-etablis_190381.html)

<http://www.lemoniteur.fr/137-energie/article/actualite/682698-lancement-de-DESERTEC-le-projet-energetique-du-siecle>

<http://fr.euronews.net/2009/07/13/le-projet-DESERTEC-de-developpement-solaire-dans-le-sahara-est-lance/>