

PRODUCTION DE L'ELECTRICITÉ PAR RAYONNEMENT SOLAIRE FOCALISÉ

Ahmed Khedim* ; Bernhard Hoffschmidt.

Institut Solaire de l'Université des Sciences Appliquées d'Aachen, Faculté de Jülich.

Heinrich-Mußmann-Str. 5. D-52428 Jülich / Allemagne

E-mail khedim@sj.fh-aachen.de

1. RESUMÉ

L'utilisation des Centrales Thermoélectriques Solaires a des avantages diverses, particulièrement dans les territoires des pays du Maghreb. La moyenne de la densité énergétique solaire est environ deux fois plus élevée que celle de la plupart des régions d'Europe et sa conversion en une forme d'énergie utile n'est pas polluante. La technologie de production électrique par concentrateurs paraboliques consiste à focaliser le rayonnement solaire direct et à l'absorber. Cette énergie thermique est transformée en énergie mécanique à l'aide d'une turbine. Dans ce processus, la chaleur obtenue n'est pas de source fossile (charbon, pétrole, gaz naturel), mais elle provient d'un combustible renouvelable : le solaire. A moyen terme, une préparation à 'l'après pétrole' s'impose à nous. Parmi les trois formes de concentration du rayonnement solaire, à savoir les cylindroparaboliques en forme de bassines, les cuvettes paraboliques et la tour solaire, cette communication accorde plus d'attention à cette dernière en raison qu'une Centrale Thermoélectrique Solaire en Tour vient d'être construite à Jülich. (Allemagne) et une deuxième Centrale Solaire, actuellement, en phase d'étude de faisabilité, sera construite au nord de l'Algérie. La nouvelle conception du type de Centrale Solaire en Tour est caractérisée par des éléments innovateurs tels l'absorbeur en céramique résistant aux chaleurs à très hautes températures (800°C), l'air atmosphérique comme fluide caloporteur, des nouvelles générations d'héliostats et un nouveau système de stockage thermique (sable / quartz). Le récepteur est simple ou modulaire. Le système peut être en hybride avec une source fossile.

2. INTRODUCTION

A l'entrée de ce millénaire, la production énergétique à l'échelle mondiale fait face à un défi pour deux raisons majeures: d'une part, les réserves en énergie primaire de sources fossiles sont limitées, d'autre part, la mise en combustion du reste de ces ressources non renouvelables est la cause indéniable et irréversible de la détérioration de notre environnement aussi bien régional que global. Environ 80% des besoins énergétiques mondiaux sont basés, aujourd'hui, sur les combustibles fossiles. La protection du climat et cette consommation d'énergie à outrance, particulièrement par la société des pays industrialisés sont étroitement liées l'une à l'autre. Seule une politique énergétique durable à l'échelle du globe peut freiner le changement climatique qui menace déjà aujourd'hui la vie de millions d'êtres humains. Trois points de départ à cette politique énergétique durable sont à envisager:

- L'économie d'énergie de source fossile en l'utilisant d'une manière rationnelle.
- L'efficacité dans la production énergétique
- Les énergies renouvelables

L'épargne de l'énergie provenant des combustibles fossiles, doit être appliquée conséquemment à tous les secteurs de l'économie mondiale, véhiculaire, comme stationnaire. L'amélioration du rendement des Centrales Thermoélectriques par une utilisation rationnelle et efficace de la technologie qui combine les processus liés à la turbine à gaz à ceux de la

turbine à vapeur. La deuxième solution complémentaire est de donner une priorité à la Recherche et au Développement des Technologies des Energies Renouvelables particulièrement dans le domaine du Solaire. Déjà aujourd'hui, l'énergie primaire de sources renouvelables, quelle soit thermique ou éolienne, est sur le point d'être compétitive à celle provenant des ressources fossiles : charbon, pétrole, gaz, ou nucléaire.

3. LES TECHNOLOGIES DE L'ELECTRICITÉ SOLAIRE.

L'énergie solaire nous parvient sur terre sous forme de rayonnements électromagnétiques de différentes longueurs d'ondes, appelée «Spectre Solaire » suivant que ce spectre solaire est intercepté par une surface blanche, il est réfléchi et cette surface conserve sa température initiale, une preuve que le soleil ne donne pas directement de la chaleur. Par contre, lorsque le même spectre solaire incident est intercepté par une surface ou un corps noir, on assiste à une production de chaleur caractérisée par une augmentation de la température. On dit que la surface (ou le corps) absorbe. La technologie de la science a mis en application cet effet physique pour produire de la chaleur en faisant intervenir les deux paramètres, à savoir, le spectre solaire et le corps noir. On classe les technologies de la production de chaleur en trois catégories comme le montre la figure 1

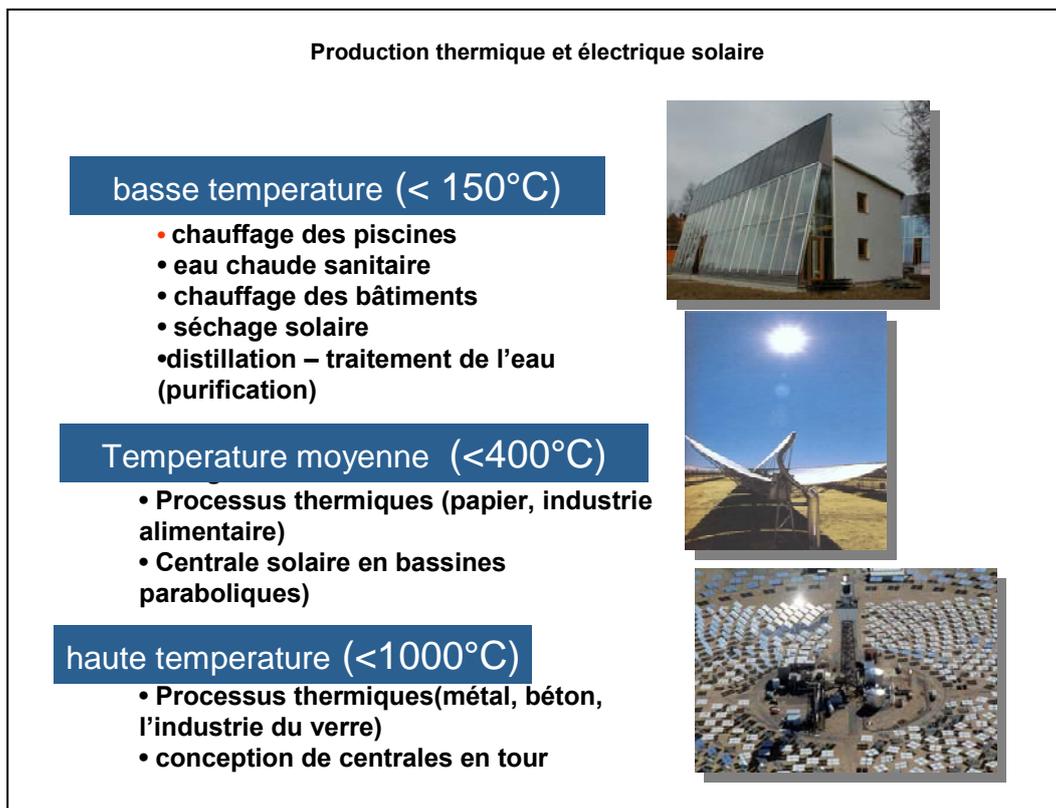


Figure 1 : Applications de l'énergie solaire à différents niveaux de température.

4 LES SYSTÈMES DE CONCENTRATION

On utilise les systèmes de concentration pour réaliser des débits énergétiques très denses atteignant parfois 1MW/m^2 , en comparaison du maximum de l'intensité de la radiation solaire normale qui n'est que d'environ 1kW/m^2 . Le rapport géométrique de concentration $C_{\text{géo}}$ est :

$$C_{\text{géo}} = \frac{\text{Surface aperture}}{\text{Surface de l'image du soleil à l'intérieur de l'aire focalisée}} \quad (1)$$

Le rapport technique de concentration C_{tech} est le rapport entre la surface apertures de l'installation de concentration et la surface de l'image du soleil à l'intérieur de l'aire focalisée.

$$C_{tech} = \frac{\text{Surface apertures}}{\text{Surface de l'absorbeur}} = \frac{A_R}{A_A} \quad (2)$$

On peut montrer que le maximum du rapport théorique de concentration peut être évalué :

$$C_{max} = \frac{4}{\alpha_D^2} = 46211 \quad (3)$$

α_D = divergence de la lumière solaire, définie par l'angle de divergence de la lumière solaire incidente.

La surface de l'absorbeur représente, dans les applications pratiques, l'aire focalisée liée au rapport technique de concentration C_{tech} . En raison des pertes additionnelles dues aux tolérances des éléments fabriqués et en raison d'autres mécanismes qui y interviennent, le maximum du rapport technique faisable est évalué : $C_{max} = 5000-8000$

Les pertes de chaleur dans les systèmes de concentration sont minimales comparées à celles des techniques où la concentration n'est pas appliquée en raison de la surface réduite de focalisation. Ce qui signifie qu'on peut atteindre un bon rendement même à de très hautes températures.

$$\eta_{eff, \text{ solaire}} = \frac{\alpha_{eff} C I_{amb} - \epsilon \sigma T_A^4}{C I_{amb}} \quad (4)$$

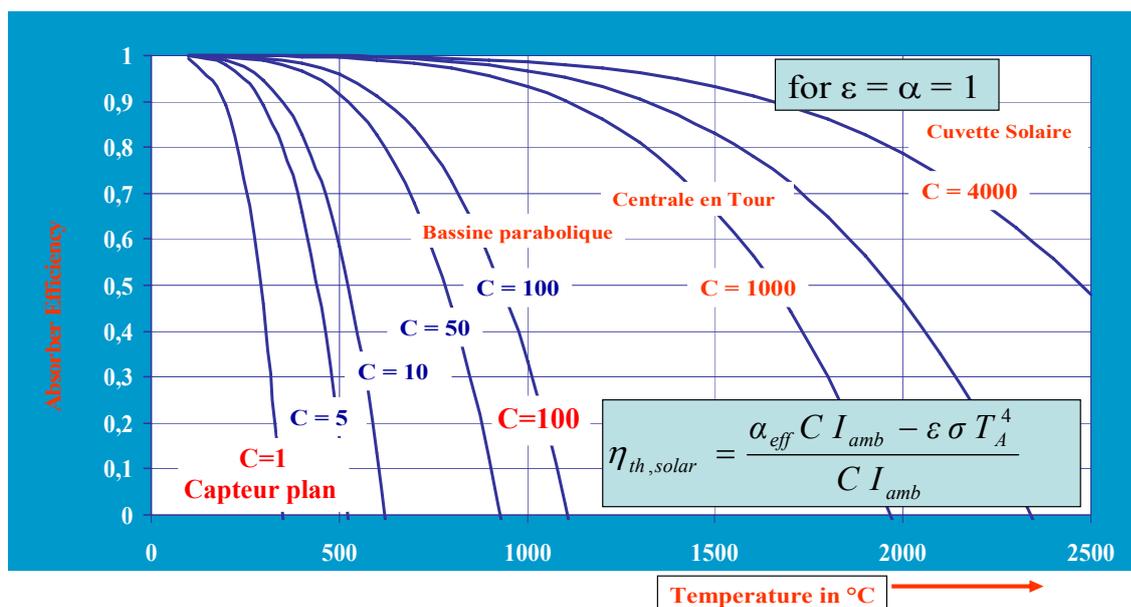


Figure 2
Courbes de rendement des différents degrés de concentration

5 LA TECHNOLOGIE DE LA TOUR SOLAIRE :

La technologie de la tour solaire utilise un champ de capteurs-miroirs presque plats appelés héliostats. Ces miroirs sont positionnés par ordinateur pour poursuivre la trajectoire solaire durant la journée. Les héliostats réfléchissent, focalisent le rayonnement solaire pour amplifier sa densité énergétique à un niveau énergétique comparable à celui des Centrales Thermoélectriques conventionnelles. Ils l'acheminent ensuite en direction de ce qu'on appelle un récepteur, (en anglais receiver) situé au sommet d'une tour d'environ une cinquantaine de mètres de haut. La surface de ce récepteur est très réduite puisqu'elle ne dépasse pas les 6m^2 . Là, la température peut atteindre les 1000°C . L'énergie thermique ainsi obtenue peut, d'une manière efficace, être convertie en énergie mécanique puis électrique. Pour réaliser tout ce processus, on utilise un échangeur de chaleur qui se trouve dans le champ de concentration du rayonnement solaire. A l'intérieur de ce récepteur, l'air en tant que fluide caloporteur traverse toute une structure en céramique où un échange thermique entre cette structure et l'air a lieu. L'air du circuit, en contact avec la structure en céramique de l'absorbeur atteint une température de 800°C et même plus. Cet effet de transfert de chaleur au fluide caloporteur se déroule à l'intérieur de ces structures en céramique poreuses.

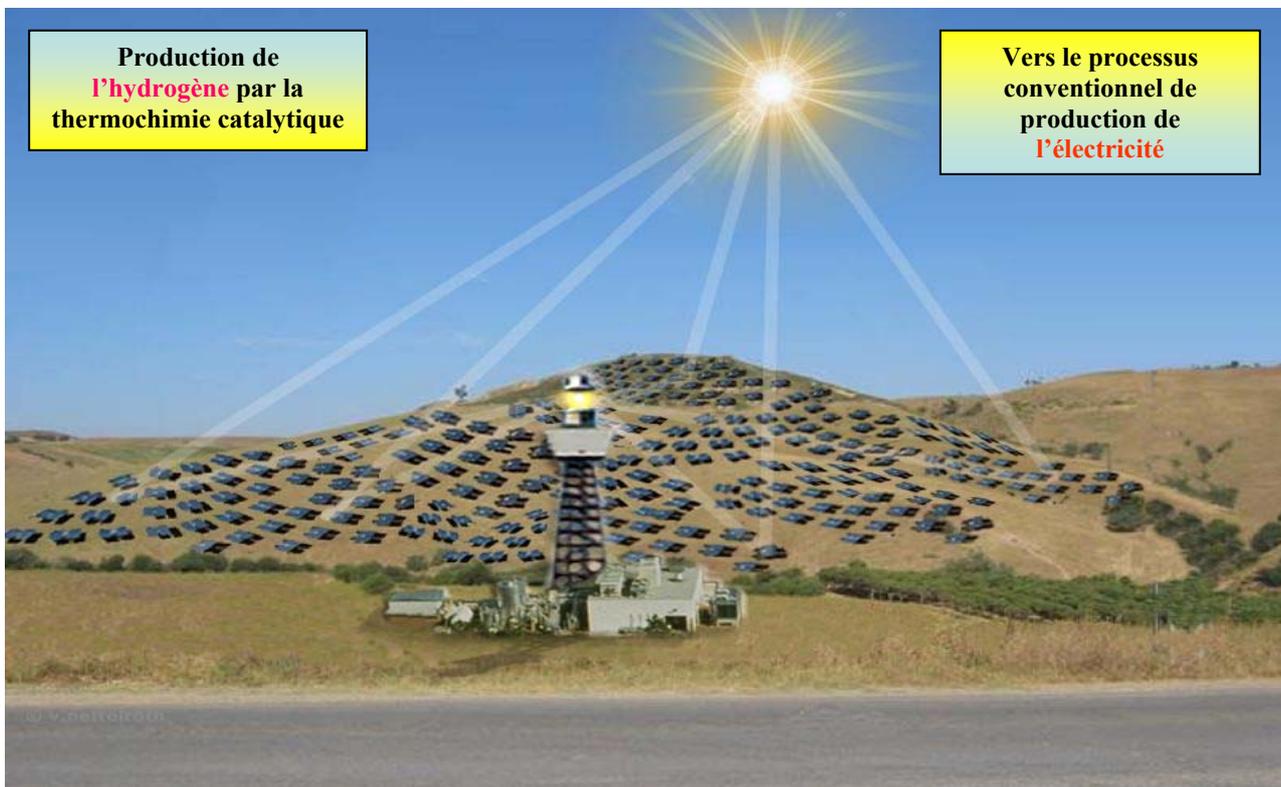


Figure 3 :
Une Centrale Thermoélectrique Solaire en Tour adaptée à la topographie de la région de Sidi Abdallah, près d'Alger (Algérie).

C'est ainsi qu'on parle du récepteur volumétrique. L'air chauffé cède sa chaleur à un autre fluide de travail, l'eau qui change de sa phase liquide initiale à une phase gazeuse et augmente de pression. Ce processus de changement de phase et de haute pression de l'eau a lieu dans une chaudière. La puissance contenue dans la vapeur produite (enthalpie) est transformée par sa détente en énergie mécanique dans une turbine (énergie de rotation) et finalement en énergie électrique à l'aide d'un générateur.

2 LA CENTRALE THERMOÉLECTRIQUE SOLAIRE EN TOUR DE JUELICH

Une nouvelle conception de construction d'une CTST a été établie, suite aux résultats de plusieurs études, avec un nouveau design basé sur un récepteur volumétrique à hautes températures (Koll et Hoffschmidt 2005).

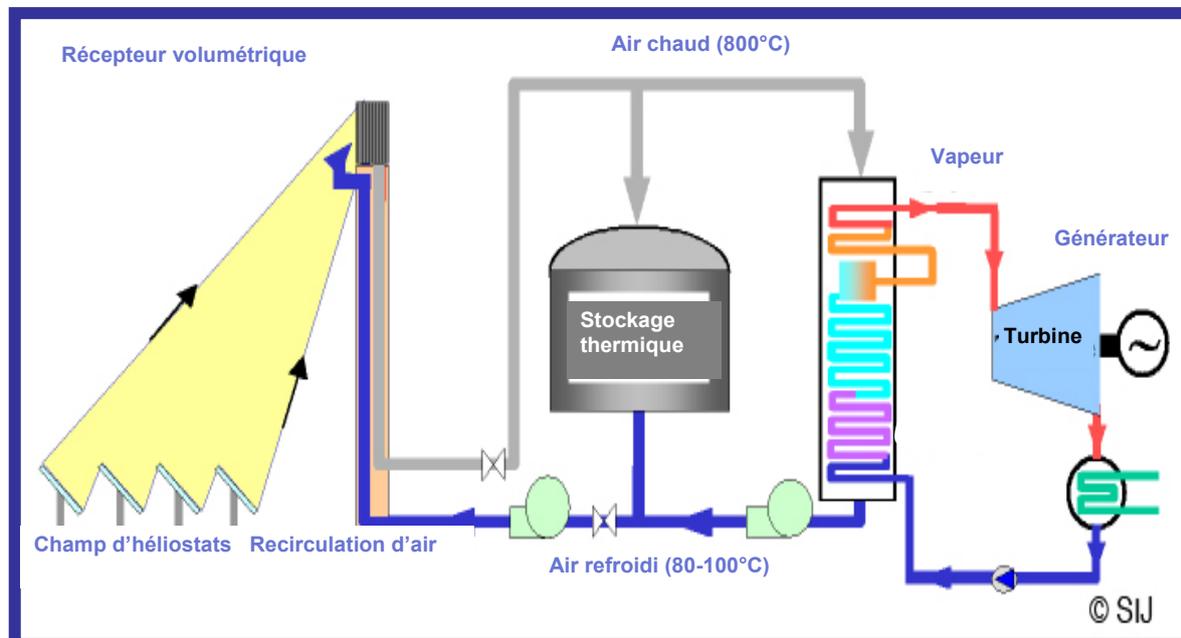


Figure 4 :
Schémas du circuit thermique d'une Centrale Solaire en Tour

Cette conception prévoit que tous les éléments de la Centrale Solaire soient intégrés dans la tour-même. L'installation possède un câblage du courant et une conduite du fluide caloporteur très courts. Ce qui la rend compacte puisqu'aucun autre bâtiment n'est nécessaire. L'air est réchauffé à une température avoisinant les 800°C dans un absorbeur ayant une structure en céramique poreuse et résistante aux grandes chaleurs. La chaleur est ensuite transférée vers une turbine à gaz et un générateur de vapeur avec récupération de chaleur (heat recovery steam generator) où la vapeur en surchauffe est produite à une température de 400°C et une pression de 100 bars, correspondant aux critères pour un rendement électrique standard dans les Centrales Thermoélectriques à vapeur conventionnelles.

La nouvelle conception est caractérisée par les points suivants

- La sécurité opérationnelle est garantie en raison de l'intégration des éléments sûrs provenant des Centrales conventionnelles.
- La partie absorbante du récepteur est conçue dans une structure simple et modulaire.
- Les composants du récepteur en céramique garantissent une haute résistivité thermique et une grande durabilité.
- Un stockage thermique efficace augmente la disponibilité et rend le système flexible même durant les heures non ensoleillées.
- Les coûts spécifiques diminueront pour être approximativement à 5000€ / kW.
- Comparée à d'autres systèmes solaires, cette conception conduit à un rendement élevé et à des coûts de production électrique raisonnables.
- Le système peut aisément être intégré dans un complexe hybride où le deuxième dispositif fonctionne aux hydrocarbures.
- Le fluide caloporteur est écologique et non toxique.

Un paramètre essentiel dans la réduction des coûts des projets de construction d'une Centrale Solaire en Tour est le système de stockage thermique pour compenser les fluctuations de la

radiation solaire ou pour ponter cette courte phase de l'apparition de nuages dans le ciel. Une conception appropriée à une capacité de stockage, permet de tenir la centrale « au chaud » même si elle est à l'arrêt durant plusieurs jours. Ce qui lui permettra de démarrer rapidement lorsque les conditions de l'ensoleillement sont favorables. Une nouvelle option prometteuse pour l'air en tant que fluide caloporteur est l'utilisation du sable (quartz) comme stockage thermique. (Figure 5)

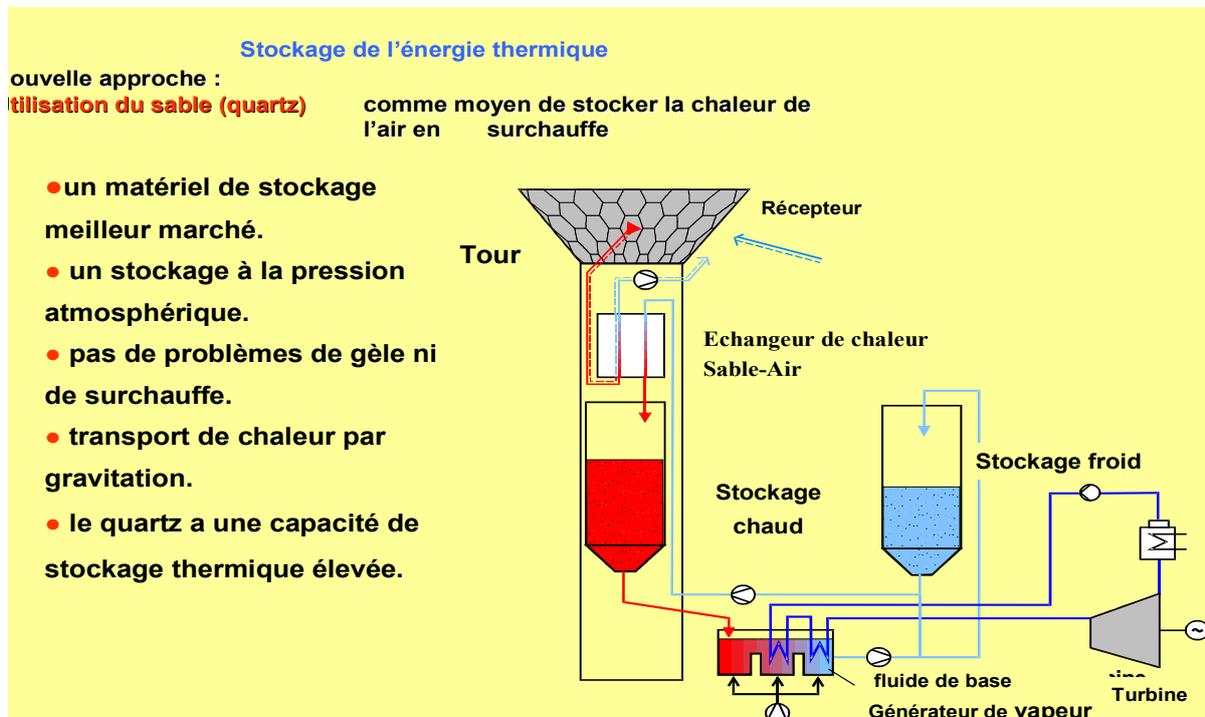


Figure 5 :

Une nouvelle approche pour stocker l'énergie solaire thermique par utilisation du sable (quartz)

5 CONCLUSION

Avec l'approbation par les différents Ministères allemands d'assurer le financement du Projet de construction d'une Centrale Thermoélectrique Solaire à Jülich, une possibilité a été créée pour élaborer et commercialiser une Centrale Solaire en Tour en tant que référence. D'une puissance de $1.5\text{MW}_{\text{élec}}$, cette Centrale est équipée d'éléments technologiques innovateurs comme l'utilisation du récepteur en céramique approprié à la chaleur à de très hautes températures (jusqu'à 900°C), le remplacement de l'huile thermique par l'air comme fluide caloporteur, un système de stockage thermique à températures élevées mais à la pression atmosphérique basé sur le sable (quartz) et une nouvelle conception pour l'utilisation des héliostats. En plus, ce projet a pour objectif de continuer les efforts, dans le cadre des activités de Recherche et de Développement, pour améliorer la performance et le rendement des différents composants. Pour s'assurer les meilleures conditions de dissémination des résultats du projet, les travaux s'effectueront en coopération avec des partenaires de différents secteurs tels un Institut de Recherche, une compagnie industrielle, un distributeur urbain d'électricité et une municipalité. La Centrale Solaire en Tour de Jülich sera intégrée dans les programmes de formation et d'entraînement de l'Université où les opportunités seront offertes aux étudiants d'effectuer leurs travaux de thèse. Ce projet contribuera à maintenir un niveau technologique élevé tout en continuant à approfondir les connaissances spécifiques aux secteurs de l'industrie, de la recherche et de la formation.