

CONCEPT GLOBAL D'UNE NOUVELLE CENTRALE SOLAIRE A CYCLE COMBINE DUAL FUEL

Y. Allani, D. Favrat
Laboratoire d'Energétique Industrielle
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
1015 Lausanne - Suisse

1 INTRODUCTION

Le développement commercial des centrales électro-thermo-solaires "CETS" demeurera tributaire d'une problématique complexe et difficile à résoudre tant que l'on maintiendra des concepts classiques occultant les particularités de ce domaine. Cette problématique se résume par les points suivants :

- les faibles rendements des cycles thermodynamiques et la difficulté de revalorisation des rejets thermiques à basse température gênent le développement des CETS [3]. Comme la production d'énergie électrique ne s'opère généralement pas au fil du soleil, cela réduit les durées de fonctionnement [1,2] et conduit à un faible taux d'utilisation des investissements (solaires ou non solaires) ;

- l'inadéquation et la mauvaise adaptation de certaines techniques conventionnelles de réglage introduisent une lourdeur de gestion et une diminution des performances [2] (Consignes figées et non pas évolutives, notion du rayonnement de seuil non prise en compte dans les processus de réglage, production par intermittence causée par les fluctuations du gisement solaire [1,2]) ;

- il existe généralement un mauvais couplage entre l'offre et la demande d'énergie. Un contre exemple cependant est le succès des centrales californiennes SEGS où la disponibilité du gisement solaire est en phase avec la consommation électrique de pointe pour des besoins de climatisation.

Ces problèmes peuvent être partiellement compensés par l'adjonction d'unités de stockage bien intégrées (c'est à dire sans les interposer directement entre le système de captage et le système de production

d'électricité) ou en faisant appel à des combustibles d'appoint. Cependant, une utilisation peu rationnelle des agents fossiles par simple combustion (ou sans cogénération) est de nature à affecter la crédibilité des CETS d'un point de vue environnemental. De plus, certaines des techniques et stratégies de stockage classiques ne permettent plus d'exploiter la vraie potentialité de l'énergie solaire [2] et affectent les performances énergétiques ainsi que la rentabilité économique des CETS.

2. NOUVELLES PERSPECTIVES D'AMELIORATION DES CETS

Une amélioration de la rentabilité de la conversion électro-thermo-solaire peut être réalisée en assurant :

- l'élargissement de la durée d'utilisation journalière des équipements solaires, malgré une disponibilité éventuellement modeste ou même fluctuante du gisement solaire. Cet élargissement requiert une utilisation rationnelle d'un ajout partiel d'un combustible fossile. Une telle conception permet de subvenir aux besoins, pendant les périodes de pointes ou en dehors de la disponibilité du rayonnement solaire, tout en atténuant les coûts d'investissement. Cette approche devrait stimuler la substitution progressive des énergies fossiles sans, pour autant, brûler des étapes logiques de transition ;

- la promotion d'une intégration plus importante qu'à l'accoutumée des besoins énergétiques permettant de rentabiliser les investissements déjà engagés (turbines à gaz, gazoducs...etc). L'intégration énergétique de nouveaux procédés thermiques utilisant de la chaleur à basse exergie (serriculture, dessalement, agro-industrie...etc) permet d'assurer, surtout dans un contexte de développement, une meilleure optimisation des aménagements de production énergétique solaires.

3. DESCRIPTION DU NOUVEAU CONCEPT GLOBAL

Le nouveau concept proposé est basé sur l'utilisation rationnelle d'un ajout partiel de combustible fossile, en plus de l'apport solaire, en exploitant au maximum son haut niveau exergétique dans le cadre d'un cycle combiné solaire "Brayton-Rankine".

Notons que l'utilisation d'un ajout partiel d'agent fossile

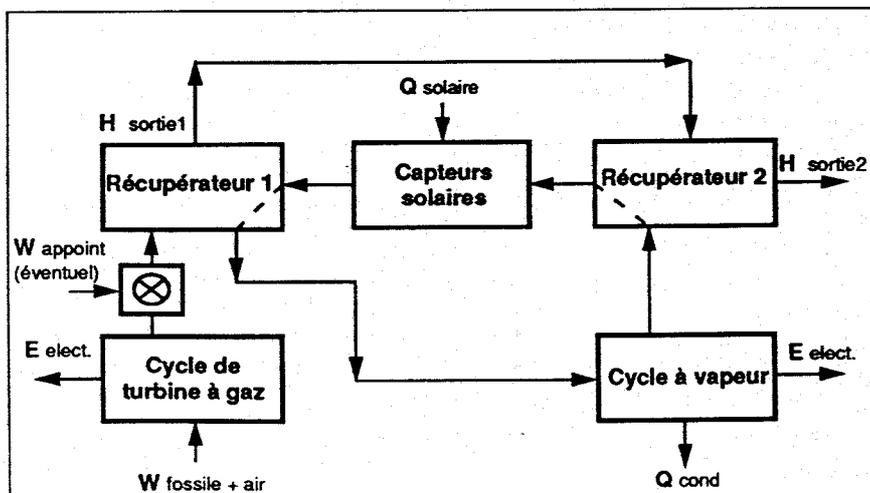


Fig. 1. Schéma de principe du cycle solaire combiné

constitue une solution adoptée actuellement à une échelle commerciale (Centrales SEGS en Californie). Cependant, quoique l'on enregistre une bonne amélioration des CETs, la manière de faire souvent adoptée présente des insuffisances thermodynamiques et ne contribue que modestement à l'élargissement des durées d'utilisation des équipements solaires.

Vu que l'adjonction d'un agent énergétique fossile s'impose, soit pour assurer un appoint énergétique soit pour réaliser la surchauffe requise par les cycles thermodynamiques, l'utilisation de cet agent devrait s'opérer avec le maximum d'efficacité si l'on utilisait un cycle combiné solaire.

Le concept de centrale proposé comprend un cycle de turbine à gaz avec une récupération en deux étapes de l'énergie des gaz de combustion. Un système de captage solaire, interposé entre les deux récupérateurs, assure en grande partie la vaporisation du fluide du cycle de Rankine (eau). Cette manière de faire offre, outre l'avantage de mieux utiliser le haut niveau exergetique du combustible, une souplesse de gestion et de contrôle difficile à réaliser dans les centrales solaires classiques utilisant un appoint énergétique fossile (SEGS...) [3].

Cette intégration permet aux capteurs solaires, utilisant le principe de la vaporisation directe de l'eau, de fonctionner avec le maximum de rendement de conversion héliothermique et sans fluctuation de régime.

En effet, le changement de phase à pression constante s'opère sans variation de température même si le rayonnement solaire fluctue. Une diminution de l'énergie interne de la vapeur produite par les capteurs peut être compensée au niveau du récupérateur surchauffeur. Le cycle solaire combiné permet ainsi de réaliser une autorégulation conduisant à une stabilité de production (une fluctuation du rayonnement solaire commande le débit de combustible au niveau du cycle de Brayton). L'appoint solaire devrait également permettre de limiter les contraintes de pincement du réseau vapeur en réduisant les irréversibilités de transfert de chaleur sous chute de température (meilleure adaptation des composites).

4. PERFORMANCES DE LA CENTRALE COMBINÉE SOLAIRE

Afin de mettre en évidence l'intérêt énergétique des centrales combinées solaires nous avons procédé à une paramétrisation du problème. Cette paramétrisation est rapportée à la proportion d'énergie de combustible X_{mb} en pourcentage de l'appoint thermique global au cycle combiné (combustible fossile). Nous nous sommes référés à un cycle de turbine à gaz d'une puissance nominale de 12MWe couplé à un cycle de Rankine à vapeur d'eau, fixant à 22.3MWe la puissance globale fournie par le cycle combiné.

Dans le cas ainsi choisi une diminution de 50% de l'appoint de combustible compensée par un appoint solaire, de façon à maintenir une production électrique constante, devrait permettre de doubler l'efficacité motrice du cycle combiné (figure 2) : seul l'appoint d'énergie de combustible est comptabilisé. De plus, la surface de capteurs requise (à $800W/m^2$) pourrait passer de 18.6 ha, pour une CETs classique, à 7.5 ha environ.

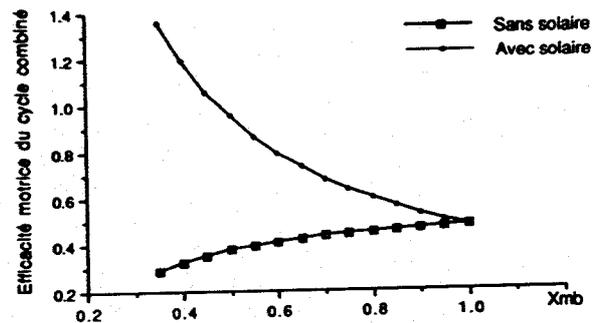


Fig. 2 Efficacité du cycle combiné solaire "seul l'appoint d'énergie de combustible est comptabilisé".

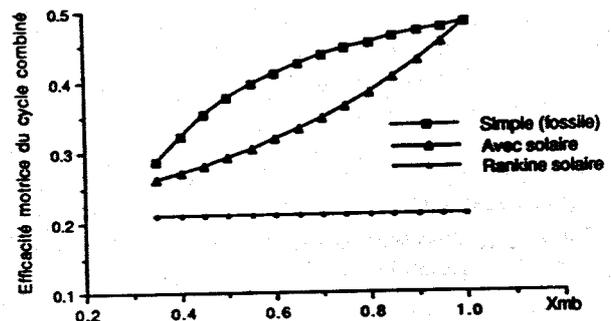


Fig. 3 Efficacité du cycle combiné solaire "apports solaire et de combustible sont comptabilisés".

5. CONCLUSION

Cette étude préliminaire nous a montré que l'utilisation d'un cycle combiné solaire devrait permettre d'améliorer substantiellement les performances énergétiques des centrales solaires. En effet, outre la possibilité d'augmentation du facteur de charge, l'efficacité de production énergétique solaire devrait passer d'une moyenne de 15% à 25%. De plus, l'efficacité du cycle combiné, où seul l'appoint d'énergie fossile est comptabilisé, pourrait passer de 47% à 95% et ce, pour un taux de couverture solaire de l'ordre de 54 % environ. Dans le contexte des préoccupations environnementales actuelles les centrales solaires à cycle combiné dual fuel offrent des perspectives intéressantes en vue d'accélérer la substitution, même partielle, des énergies fossiles par l'énergie solaire.

Bibliographie

- [1] Allani Y., "Contribution à la Modélisation, l'Identification et la Gestion Optimale de la Centrale Electro-Thermo-Solaire de l'INRS", DEA, ENSET de Tunis, (1987).
- [2] Allani Y., Gianola J. Cl., & Batato M., "Evaluation of Energy and Exergy Performances of a Thermodynamic Electro-Solar Plant", International Solar Forum, August 30 th through Sept. 2 nd, Berlin, RFA, (1989).
- [3] Kleiss H.(DLR) & al, "Energetic Comparison of Solar Thermal Power Plants" International Energy Agency, 5th Symposium on Solar High Temperature Technologies, August 27-31, DAVOS, Switzerland, (1990).

CONCEPT GLOBAL D'UNE NOUVELLE CENTRALE SOLAIRE A CYCLE COMBINE DUAL FUEL

Y. Allani, D. Favrat
Laboratoire d'Energétique Industrielle
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
1015 Lausanne - Suisse

1 INTRODUCTION

Le développement commercial des centrales électro-thermo-solaires "CETS" demeurera tributaire d'une problématique complexe et difficile à résoudre tant que l'on maintiendra des concepts classiques occultant les particularités de ce domaine. Cette problématique se résume par les points suivants :

- les faibles rendements des cycles thermodynamiques et la difficulté de revalorisation des rejets thermiques à basse température gênent le développement des CETS [3]. Comme la production d'énergie électrique ne s'opère généralement pas au fil du soleil, cela réduit les durées de fonctionnement [1,2] et conduit à un faible taux d'utilisation des investissements (solaires ou non solaires) ;

- l'inadéquation et la mauvaise adaptation de certaines techniques conventionnelles de réglage introduisent une lourdeur de gestion et une diminution des performances [2] (Consignes figées et non pas évolutives, notion du rayonnement de seuil non prise en compte dans les processus de réglage, production par intermittence causée par les fluctuations du gisement solaire [1,2]) ;

- il existe généralement un mauvais couplage entre l'offre et la demande d'énergie. Un contre exemple cependant est le succès des centrales californiennes SEGS où la disponibilité du gisement solaire est en phase avec la consommation électrique de pointe pour des besoins de climatisation.

Ces problèmes peuvent être partiellement compensés par l'adjonction d'unités de stockage bien intégrées (c'est à dire sans les interposer directement entre le système de captage et le système de production

d'électricité) ou en faisant appel à des combustibles d'appoint. Cependant, une utilisation peu rationnelle des agents fossiles par simple combustion (ou sans cogénération) est de nature à affecter la crédibilité des CETS d'un point de vue environnemental. De plus, certaines des techniques et stratégies de stockage classiques ne permettent plus d'exploiter la vraie potentialité de l'énergie solaire [2] et affectent les performances énergétiques ainsi que la rentabilité économique des CETS.

2. NOUVELLES PERSPECTIVES D'AMELIORATION DES CETS

Une amélioration de la rentabilité de la conversion électro-thermo-solaire peut être réalisée en assurant :

- l'élargissement de la durée d'utilisation journalière des équipements solaires, malgré une disponibilité éventuellement modeste ou même fluctuante du gisement solaire. Cet élargissement requiert une utilisation rationnelle d'un ajout partiel d'un combustible fossile. Une telle conception permet de subvenir aux besoins, pendant les périodes de pointes ou en dehors de la disponibilité du rayonnement solaire, tout en atténuant les coûts d'investissement. Cette approche devrait stimuler la substitution progressive des énergies fossiles sans, pour autant, brûler des étapes logiques de transition ;

- la promotion d'une intégration plus importante qu'à l'accoutumée des besoins énergétiques permettant de rentabiliser les investissements déjà engagés (turbines à gaz, gazoducs...etc). L'intégration énergétique de nouveaux procédés thermiques utilisant de la chaleur à basse exergie (serriculture, dessalement, agro-industrie...etc) permet d'assurer, surtout dans un contexte de dévelop-

pement, une meilleure optimisation des aménagements de production énergétique solaires.

3. DESCRIPTION DU NOUVEAU CONCEPT GLOBAL

Le nouveau concept proposé est basé sur l'utilisation rationnelle d'un ajout partiel de combustible fossile, en plus de l'apport solaire, en exploitant au maximum son haut niveau exergétique dans le cadre d'un cycle combiné solaire "Brayton-Rankine".

Notons que l'utilisation d'un ajout partiel d'agent fossile

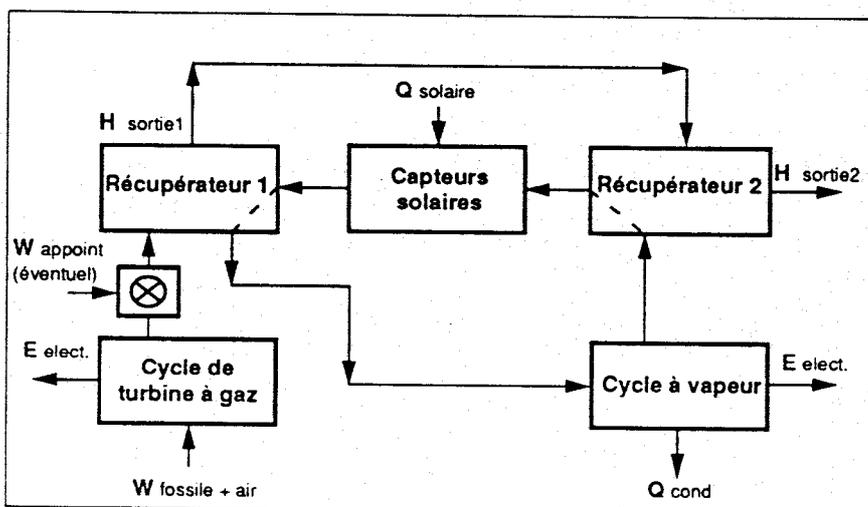


Fig. 1. Schéma de principe d'une centrale solaire à cycle combiné dual fuel.

constitue une solution adoptée actuellement à une échelle commerciale (Centrales SEGS en Californie). Cependant, quoique l'on enregistre une bonne amélioration des CETS, la manière de faire souvent adoptée présente des insuffisances thermodynamiques et ne contribue que modestement à l'élargissement des durées d'utilisation des équipements solaires.

Vu que l'adjonction d'un agent énergétique fossile s'impose, soit pour assurer un appoint énergétique soit pour réaliser la surchauffe requise par les cycles thermodynamiques, l'utilisation de cet agent devrait s'opérer avec le maximum d'efficacité si l'on utilisait un cycle combiné solaire.

Le concept de centrale proposé comprend un cycle de turbine à gaz avec une récupération en deux étapes de l'énergie des gaz de combustion. Un système de captage solaire, interposé entre les deux récupérateurs, assure en grande partie la vaporisation du fluide du cycle de Rankine (eau). Cette manière de faire offre, outre l'avantage de mieux utiliser le haut niveau exergétique du combustible, une souplesse de gestion et de contrôle difficile à réaliser dans les centrales solaires classiques utilisant un appoint énergétique fossile (SEGS...) [3].

Cette intégration permet aux capteurs solaires, utilisant le principe de la vaporisation directe de l'eau, de fonctionner avec le maximum de rendement de conversion héliothermique et sans fluctuation de régime.

En effet, le changement de phase à pression constante s'opère sans variation de température même si le rayonnement solaire fluctue. Une diminution de l'énergie interne de la vapeur produite par les capteurs peut être compensée au niveau du récupérateur surchauffeur. Le cycle solaire combiné permet ainsi de réaliser une autorégulation conduisant à une stabilité de production (une fluctuation du rayonnement solaire commande le débit de combustible au niveau du cycle de Brayton). L'appoint solaire devrait également permettre de limiter les contraintes de pincement du réseau vapeur en réduisant les irréversibilités de transfert de chaleur sous chute de température (meilleure adaptation des composites).

4. PERFORMANCES DE LA CENTRALE COMBINÉE SOLAIRE

Afin de mettre en évidence l'intérêt énergétique des centrales combinées solaires nous avons procédé à une paramétrisation du problème. Cette paramétrisation est rapportée à la proportion d'énergie de combustible X_{mb} en pourcentage de l'appoint thermique global au cycle combiné (combustible fossile). Nous nous sommes référés à un cycle de turbine à gaz d'une puissance nominale de 12MWe couplé à un cycle de Rankine à vapeur d'eau, fixant à 22.3MWe la puissance globale fournie par le cycle combiné.

Dans le cas ainsi choisi une diminution de 50% de l'appoint de combustible compensée par un appoint solaire, de façon à maintenir une production électrique constante, devrait permettre de doubler l'efficacité motrice du cycle combiné (figure 2) : seul l'appoint d'énergie de combustible est comptabilisé. De plus, la surface de capteurs requise (à 800W/m²) pourrait passer de 18.6 ha, pour une CETS classique, à 7.5 ha environ.

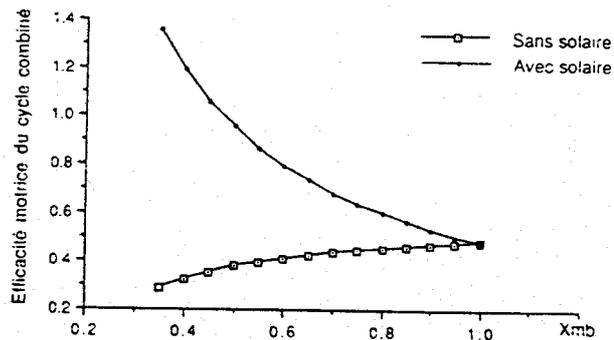


Fig. 2 Efficacité du cycle combiné solaire "seul l'appoint d'énergie de combustible est comptabilisé".

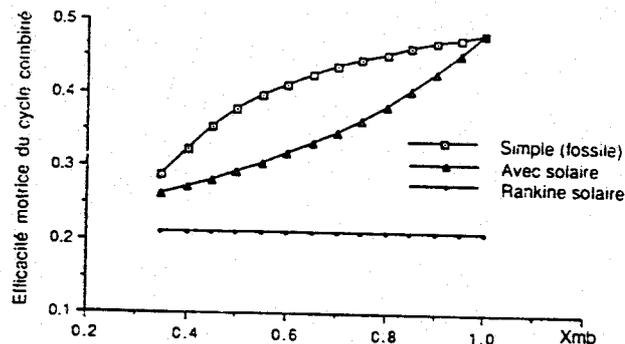


Fig. 3 Efficacité du cycle combiné solaire "apports solaire et de combustible sont comptabilisés".

5. CONCLUSION

Cette étude préliminaire nous a montré que l'utilisation d'un cycle combiné solaire devrait permettre d'améliorer substantiellement les performances énergétiques des centrales solaires. En effet, outre la possibilité d'augmentation du facteur de charge, l'efficacité de production énergétique solaire devrait passer d'une moyenne de 15% à 25%. De plus, l'efficacité du cycle combiné, où seul l'appoint d'énergie fossile est comptabilisé, pourrait passer de 47% à 95% et ce, pour un taux de couverture solaire de l'ordre de 54 % environ. Dans le contexte des préoccupations environnementales actuelles les centrales solaires à cycle combiné dual fuel offrent des perspectives intéressantes en vue d'accélérer la substitution, même partielle, des énergies fossiles par l'énergie solaire.

Bibliographie

- [1] Allani Y., "Contribution à la Modélisation, l'identification et la Gestion Optimale de la Centrale Electro-Thermo-Solaire de l'INRS", DEA, ENSET de Tunis, (1987).
- [2] Allani Y., Gianola J. Cl., & Batato M., "Evaluation of Energy and Exergy Performances of a Thermodynamic Electro-Solar Plant", International Solar Forum, August 30 th through Sept. 2 nd, Berlin, RFA, (1989).
- [3] Kleiss H.(DLR) & al, "Energetic Comparison of Solar Thermal Power Plants" International Energy Agency, 5th Symposium on Solar High Temperature Technologies, August 27-31, DAVOS, Switzerland, (1990).

