

Simulation d'une centrale géothermique à basse enthalpie

A.ALAMI.¹, BENSAAD.B, BENZAAMA.M, LEKHAL.M.C, AMINALLAH.M , KHALFIA

¹Djillali Liabes University of Sidi Bel Abbes, Laboratory of materials and reactive systems LMSR, BP 89, Cité Ben M'Hidi Sidi Bel Abbes, 22000 - ALGERIE.

Résumé_ L'objectif principal du présent travail est de récupérer la chaleur d'une source thermique à basse température par le cycle organique de Rankine ORC pour la production de l'électricité. On simule ce cycle simple et après on simule d'autres cycles en ajoutant des organes comme l'économiseur, et le surchauffeur à ce dernier. Les résultats de la simulation nous ont permis d'aboutir à de nettes améliorations concernant l'énergie utile de l'utilisation de l'économiseur et du surchauffeur.

Mots clés_ Géothermie, énergie utile, énergie électrique, cycle organique de Rankine, turbine à vapeur.

I. INTRODUCTION

Les centrales géothermiques actuellement en exploitation utilisent l'eau d'un aquifère à des températures relativement élevées et basses et produisent de l'énergie en utilisant de la vapeur sèche. Vingt-quatre pays dans le monde sont alimentés par l'électricité provenant de l'énergie géothermique d'une capacité installée de 12 800 Mw par an [1]. Cette énergie fournit environ 0,4% de la génération d'énergie électrique du monde, avec une croissance annuelle à long terme d'un taux de 5,5% [1-2]. Dans cette étude, on a travaillé avec le cycle organique de Rankine ORC. Ces connaissances ont un grand succès commercial et un intérêt accru dans la recherche et le développement [3]. Il s'agit d'une technologie appropriée qui utilise les ressources géothermiques à basses et moyennes températures, pour produire de l'électricité. L'objectif de ce travail est de simuler une centrale géothermique en ajoutant des organes afin d'améliorer l'énergie utile des cycles étudiés.

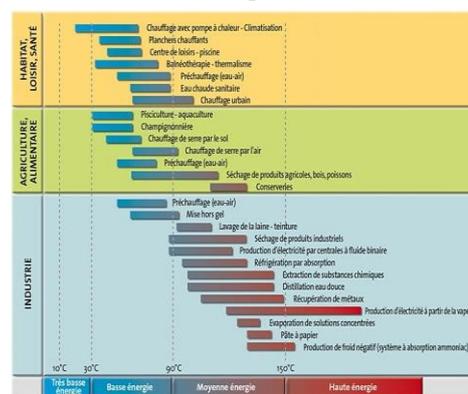
Les centrales géothermiques à cycle binaire sont limitées à de petites puissances (de l'ordre de quelques centaines de kW à quelques MW). Elles sont particulièrement adaptées à l'alimentation en électricité de zones isolées éloignées des réseaux de distribution d'énergie électrique telles que les zones insulaires ou les zones de montagne.

II. EXPLOITATION ENERGETIQUE

La géothermie est une énergie renouvelable qui s'adresse aux deux grandes filières énergétiques :

- production de chaleur
- production d'électricité

La figure 1 résume les principales utilisations de la géothermie en fonction des températures.



de la géothermie en fonction des températures [source ADEM]

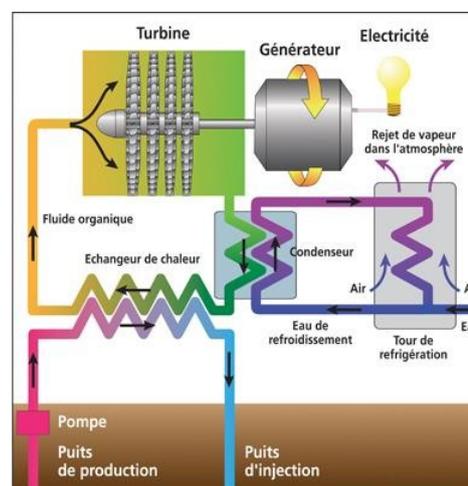


Fig2. Le principe de fonctionnement d'une centrale à vapeur

Le principe de la centrale à fluide binaire schématiser sur la figure 2 est le suivant :

- le fluide géothermal extrait est amené dans un échangeur de chaleur où il cède une partie de son énergie à un fluide organique qui se vaporise
- Pour une pression identique, ce type de fluide présente la particularité de se vaporiser à des températures plus basses.

- Les vapeurs produites sont ensuite détendues dans une turbine puis condensées au contact du circuit d'eau de refroidissement du condenseur.
- Le liquide obtenu est alors renvoyé à l'échangeur, par l'intermédiaire d'une pompe pour effectuer un nouveau cycle : vaporisation, détente, condensation, pressurisation.
- Le fluide de travail (fluide organique) évolue en circuit totalement fermé ; le fluide géothermique est quant à lui réinjecté dans le réservoir. Les centrales de ce type sont de taille unitaire modeste (quelques unités ou dizaines de MWe).

III. LA CENTRALE A CYCLE ORC

A. Objectifs :

D'abord, nous nous proposons de simuler une centrale comportant seulement : un évaporateur, une turbine, un condenseur et une pompe. Dans un second temps, et dans le but d'explorer le rôle d'un économiseur et celui d'un surchauffeur, nous avons simulé un deuxième cycle comportant un économiseur puis un troisième cycle comportant un surchauffeur en plus des composantes du premier cycle. En fin, nous simulons un quatrième cycle en ajoutant un économiseur et un surchauffeur au premier cycle. En comparons les valeurs de l'énergie utile obtenues par chaque cycle on peut déduire l'importance de l'utilisation de l'économiseur et du surchauffeur.

B. Les contraintes de fonctionnement

La simulation de la centrale doit prendre en compte les contraintes suivantes :

- La température de la source chaude $T=90^{\circ}\text{C}$;
- La température de la source froide (l'eau du refroidissement) $T=15^{\circ}\text{C}$;
- La pression à l'entrée de la pompe 7.7bar ;
- La pression à la sortie de la pompe 18bar ;
- La pression et la température de condensation du R134a : 7,7 bar et 30°C ;
- La pression et la température d'évaporation du R134a : 18 bar et 65°C ;
- Type de l'évaporateur : échangeur à plaques ;
- Le type des autres échangeurs (économiseur, condenseur et surchauffeur) de chaleur est contre courant.

C. Résultats de la simulation :

1) Le cycle simple :

Sur la figure 3 et 4 on présente respectivement un schéma récapitulatif de toute la centrale avec son bilan et le diagramme enthalpie.

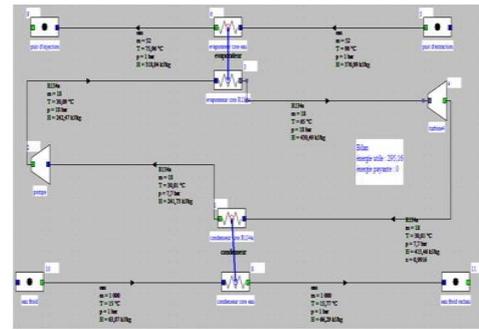


FIG 3. Schéma d'une centrale géothermique simple avec son bilan global

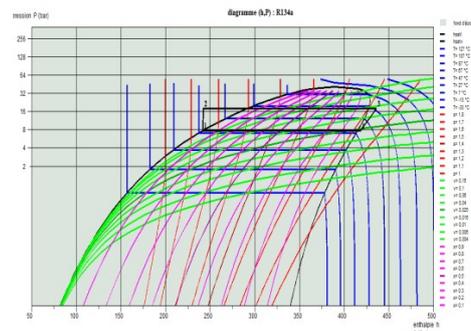


FIG 4. diagramme enthalpie (P.H)

2) Le cycle simple avec Economiseur

Sur la figure 5 et 6 on présente un schéma récapitulatif de toute la central avec son bilan énergétique et son diagramme.

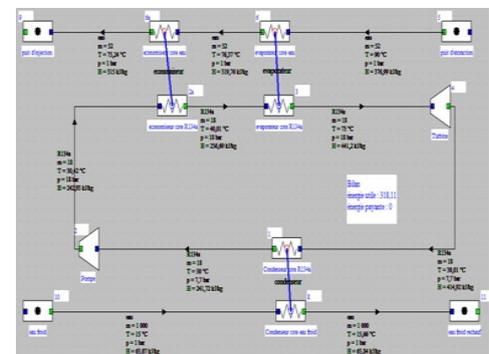


FIG 5. Schéma d'une centrale géothermique avec son bilan global (cycle simple avec économiseur)

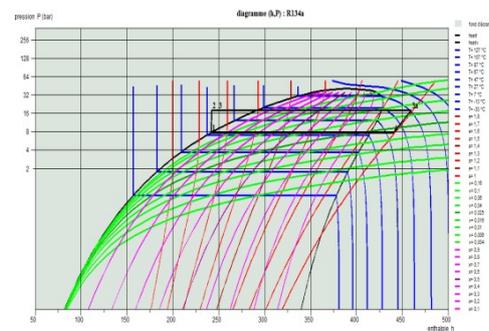


FIG 6. diagramme enthalpie (P.H)

3) Un cycle simple avec surchauffeur

Sur la figure 7 et 8 on présente un schéma récapitulatif de toute la centrale. et le diagramme enthalpie (P-H)



FIG 8. Schéma d'une centrale géothermale avec son bilan global (cycle simple avec surchauffeur)

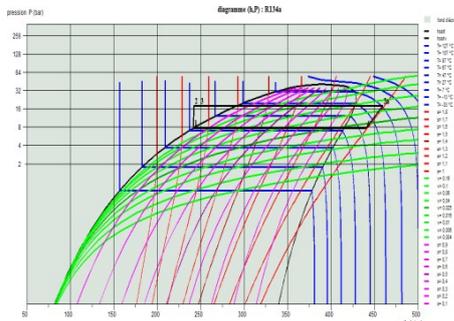


FIG 8. diagramme enthalpie (P.H)

4) Un cycle simple avec économiseur et surchauffeur

Sur la figure 9 et 10 on présente respectivement un schéma récapitulatif de toute la centrale avec son bilan et .le diagramme enthalpie.

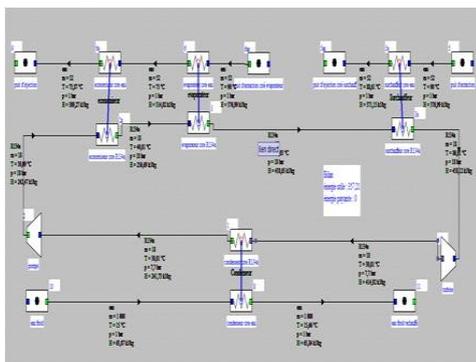


FIG 9 Schéma d'une centrale géothermale avec son bilan global (cycle simple avec économiseur et surchauffeur)

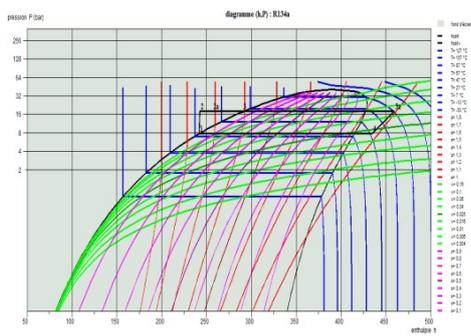


FIG 10. diagramme enthalpie (P.H)

D) Bilan de la température et du titre entre les différents cycles

Pour les quatre cycles étudiés, en premier lieu on distingue que la température de la sortie de condenseur T1 et la température de sortie de la pompe T2 et la température de la détente de turbine T4 sont semblables. Le premier cycle permet de récupérer une énergie utile égale à 295,16 KW. Pour améliorer le cycle simple, on a ajouté un économiseur pour préchauffer le fluide R134a. Cela a permis d'augmenter la température de la vapeur R134a à l'entrée de la turbine T3 à une valeur de 73°C. Ainsi l'énergie utile atteint une valeur de 318,11KW

Dans un second temps nous avons rajouté un surchauffeur au cycle simple. on constate que la température à l'entrée de la turbine T3a atteint une valeur de 85°C avec une énergie utile égale à 348,92KW

En fin en rajoutant l'économiseur et le surchauffeur on trouve que la température à l'entrée de la turbine est de T3a=86,90°C et l'énergie utile est égale à 357,21KW

TABLEAU 1 – LE TABLEAU DE BILAN FINAL DE LA SIMULATION DE CYCLES ETUDIÉS

Types de cycles	La Température						Le titre « x »	E KW
	[°C].							
Cycle simple	1	2	2a	3	3a	4	0,99	295,16
	30,01	30,41	-	65	-	30,01		
Cycle simple + économiseur	30,01	30,41	40,01	73	-	30,01	1	318,11
Cycle simple + surchauffeur	30,01	30,41	-	65	85	30,01	1	348,92
Cycle simple + surchauffeur + économiseur	30,01	30,41	40,01	71,02	86,90	30,01	1	357,21

IV. CONCLUSION

La simulation de la centrale géothermique avec le logiciel THERMOPTIM nous a permis de comparer les quatre configurations des différentes installations. Ces applications concernent essentiellement les champs géothermiques de moyennes (90°C à 150°C) et hautes énergies (>150°C). La présente étude vise l'exploitation des sources de basses énergies (environ 90°C) pour la production d'électricité et la technologie des Cycles Organiques de Rankine (ORC). Cette dernière est très proche de la technologie utilisée dans les cycles vapeur pour le fluide organique R134a. La production d'énergie mécanique ou électrique s'obtient en faisant circuler la vapeur du fluide organique au travers d'une turbine à vapeur. On a constaté que l'emploi d'un économiseur, d'un surchauffeur ou les deux à la fois permet d'améliorer l'énergie utile de 7.8%, 18.2% et 21% respectivement.

REFERENCES

- [1] Annual US. & global geothermal power production report. Washington (DC, USA): Geothermal Energy Assoc.; 2015.
- [2] Energy Information Administration U.S. Dept. of energy. Annual Energy Outlook 2012, June 2012, DOE/EIA-0383, 2012
- [3] Chen H, Goswami DT, Stefanakos EK. A review of thermodynamic cycles and working fluids for the conversion of low-grade heat. *Renew Sustain Energy Rev* 2010;14:3059e67.

NOMENCLATURE

ORC: cycle organique de Rankine

T: Température [K]

m: Débit [Kg/s]

h: Enthalpie [KJ/kg.K]

X: le titre

E: Energie utile [KW]