JAMA, Vol. 2, 24-27, 2018

Prévision des performances d'une turbine à gaz en fonction de la température ambiante

Sara CHIKHI [1]*,Mohamed MOKHTARI[2]

Résumé
Une étude comparative entre les performances d'une turbine à gaz prévues, calculées sous l'effet des températures ambiantes simulées par ALADIN, et les performances calculées sous l'effet des températures observées par la station d'Alger Port au cours de l'année 2017 a été réalisée. Les résultats montrent que les températures élevées influent négativement sur les performances de la turbine à gaz. Nous avons enregistré une réduction de 36 MW de la puissance électrique produite pour un intervalle de température situé entre $-2\,°\mathrm{C}$ et $38.5\,°\mathrm{C}$. Le rapport entre le rendement prévu et le rendement réel est estimé à $95\,\%$ ce qui est très satisfaisant..

Mots Clés:
Turbine à gaz — Rendement thermique — Puissance électrique — Modèle ALADIN — Messages SYNOP

[1] *Université des Sciences et Technologies Houari Boumediene (USTHB-Faculté de Physique), Bab-Ezzouar, Alger*
[2] *Office national de la météorologie (CNPM-ONM), Dar El Beida, Alger*
***Correspondant**: scusthb@gmail.com

1. Introduction

Les turbines à gaz sont des moteurs à combustion interne, utilisant le pouvoir calorifique du fuel (généralement le gaz naturel) pour faire tourner l'arbre de la turbine de détente. D'une façon plus simple, elles transforment l'énergie thermique dégagée par la combustion du gaz en énergie mécanique, puis électrique en utilisant un alternateur.

En Algérie, la plupart des centrales de production d'électricité utilisent ces turbines pour les cycles simples ou combinés avec des turbines à vapeurs, à cause de leur faible taux d'émission des gaz à effet de serre estimé entre 404 et 631 g/kWh (Jacobson (2009)). Malheureusement, ces turbines sont très sensibles à la température de l'air ambiant qui varie considérablement entre le jour et la nuit, l'été et l'hiver, ce qui fait que leur rendement thermique d'exploitation est très affecté. Pour cela, la prévision de ces fluctuations du rendement ainsi que la puissance électrique dues aux conditions météorologiques est primordiale pour prendre les mesures nécessaires afin d'assurer l'équilibre entre la production et la consommation d'électricité.

Cet article s'inscrit dans ce contexte. Il consiste en la prévision des performances d'une turbine à gaz, de type siemens SGT5-4000F, « HEAVY DUTY », sous l'effet des températures ambiantes prévues par le modèle atmosphérique ALADIN (Termonia et al. (2018)), Les performances prévues seront, ensuite, confrontées à celles obtenues avec les températures réelles observées pendant toute l'année 2017.

2. Calcul du rendement d'une turbine à gaz

Le fonctionnement de la turbine peut être représenté par le cycle de Joule-Brayton, qui tient son nom de l'ingénieur américain George Brayton (1830–1892), c'est un cycle thermodynamique à caloporteur gaz. Il existe deux types de cycles selon qu'il soit ouvert, ou refermé sur l'atmosphère, Il est caractérisé par ces quartes principaux phases : une compression adiabatique, un chauffage isobare, une détente adiabatique jusqu'à la pression ambiante, et un refroidissement isobare. Aussi par ces deux formes : l'idéal est représenté par le cycle 1,2,3,4 sur le diagramme (T,S) et le réel qui est représenté par le cycle 1,2',3',4' sur le diagramme (T,S), de la Figure 2. Pour ce dernier, des pertes d'énergie par dissipation visqueuse sont provoquées pendant la compression et la détente et exprimé par un rendement isentropique de chacun de ces deux instruments (Cengel and Boles (2006))

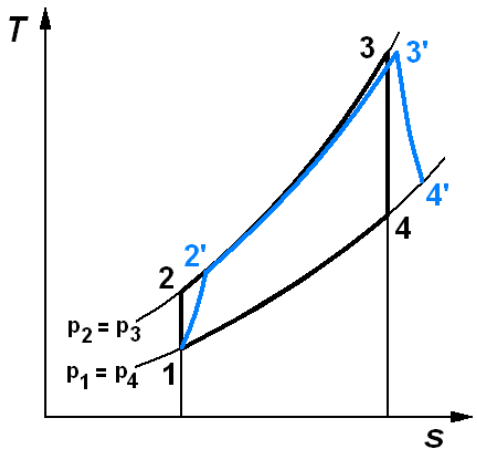

FIGURE 1. Cycle de Joule-Brayton idéal et réel

Le modèle est basé sur les deux principes de la thermodynamique. Il permet de présenter des relations entre le débit de fuel, les températures à chaque point principal du cycle, y compris les enthalpies, et les chaleurs spécifiques.

Dans le but de déterminer le rendement et la puissance électrique produite, faisant le bilan énergétique de chacun des compresseurs, chambre de combustion et la turbine de détente, nous obtenons les expressions suivantes du rendement thermique et de la puissance.

- Rendement thermique :

$$\eta_{th} = \frac{T_3 \cdot \eta_{tur} - T_a \cdot \pi^{\frac{k-1}{k}} \cdot \eta_{com}^{-1}}{T_3 - T_a - T_a \cdot (\pi^{\frac{k-1}{k}} - 1)\eta_{comp}^{-1}} \times \left(1 - \pi^{\frac{1-k}{k}}\right) \quad (1)$$

$$\pi^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{P_{2,s}}{P_a}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{P_3}{P_{4,s}}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \frac{T_{2,s}}{T_a} = \frac{T_3}{T_{4,s}} \quad (2)$$

- Puissance :

$$P_T = \dot{m}_{air}\left[C_{p,gaz} \cdot T_3\left(1 - \pi^{\frac{1-k}{k}}\right)\eta_{tur} - C_{p,air} \cdot T_1\left(\pi^{\frac{k-1}{k}-1}\right)\eta_{com}^{-1}\right] \quad (3)$$

- Rendement isentropique de la turbine :

$$\eta_{tur} = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_{4,s}} \quad (4)$$

- Rendement isentropique de compresseur

$$\eta_{com} = \frac{T_{2,s} - T_a}{T_2 - T_a} \quad (5)$$

Avec :

- P : Puissance (W)
- W : Travail (J)
- Cp : Chaleur spécifique ($\mathrm{kJ\,kg^{-1}\,K^{-1}}$)
- η : Rendement (-)
- T : Température (K)
- π : Rapport de compression (-)
- $\dot{m}$: Débit ($\mathrm{kg\,s^{-1}}$)
- P : Pression (Pa)
- V : Volume ($\mathrm{m^3}$).

Il apparaît clairement que la température ambiante (T_a) influence les performances et la puissance produite par la génératrice à gaz, elle constitue un paramètre opératoire clé non contrôlé, dont les variations saisonnières et l'amplitude dépendent du site de production.

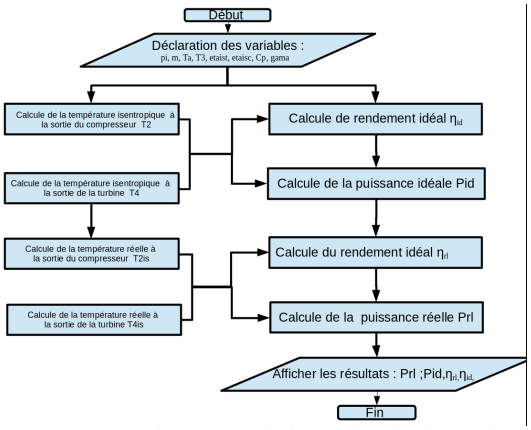

FIGURE 2. Organigramme de la Méthode de résolution

3. Résultats et discussion

Hypothèses de l'analyse

La turbine considérée dans cette étude, est une turbine à gaz, type siemens SGT5-4000F, « HEAVY DUTY » destinée à la production de l'énergie électrique d'un seul étage de compression, et un seul arbre de détente, dont les caractéristiques nominales sont données dans le tableau 1(siemen.com / gaz-turbines).

TABLE 1. Caractéristiques nominales de la turbine étudiée

Puissance électrique	307 MW
Taux de compression	18.8
Température de flamme	1190 °C
Température d'échappement	579 °C
Rendement isentropique de la turbine	85 %
Rendement isentropique de compresseur	80 %

Effet de la température ambiante sur les performances de la turbine

Pour mettre en évidence le comportement de notre turbine à gaz en fonction de la température ambiante, nous avons utilisé les données de température observées par la station d'Alger-Port située dans la même zone de la centrale électrique d'El-Hamma, durant l'année 2017.

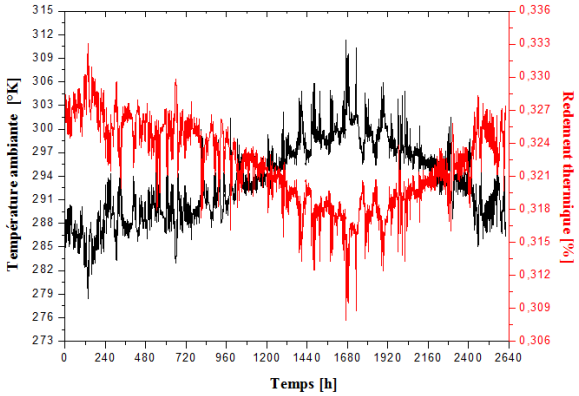

FIGURE 3. Évolution de la température ambiante et du rendement en fonction du temps.

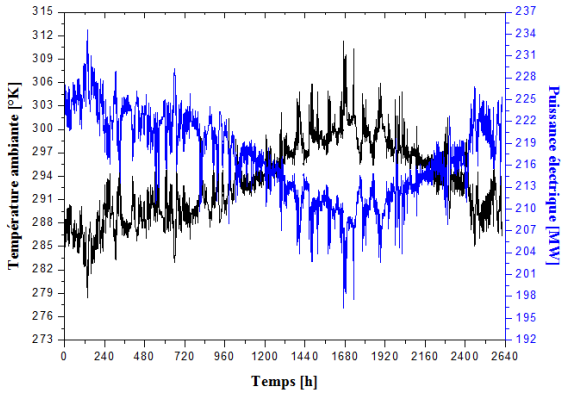

FIGURE 4. Evolution de la température ambiante et la puissance électrique produite par la turbine en fonction du temps.

Les figures 3 et 4 montrent que les performances de la turbine sont inversement proportionnelles à la température am-

biante. Le rendement thermique maximal de la turbine est de l'ordre de 33.3% et il est enregistré au milieu de mois de janvier. En été, sous l'effet des températures élevées, ce rendement diminue jusqu'à la valeur 31 %. La valeur minimale de ce rendement est obtenue au début du mois d'Août (Fig. 4).

Le même comportement est enregistré pour la puissance. Elle oscille entre la valeur maximale de l'ordre de 234 MW obtenue en mi-janvier et la valeur minimale de l'ordre de 198 MW qui est obtenue en été (Fig.3). Soit une diminution de la puissance de l'ordre de 36 MW pour des températures qui varient entre $-2\,°C$ et $38.5\,°C$.

Inter-comparaison entre les performances obtenues sous l'influence des températures ambiantes prévues par ALADIN et observées

Pour cette partie, nous avons réalisé une étude comparative entre les performances obtenues sous l'influence des températures observées (SYNOP) et celles prévues en utilisant les températures simulées par ALADIN pour l'année 2017.

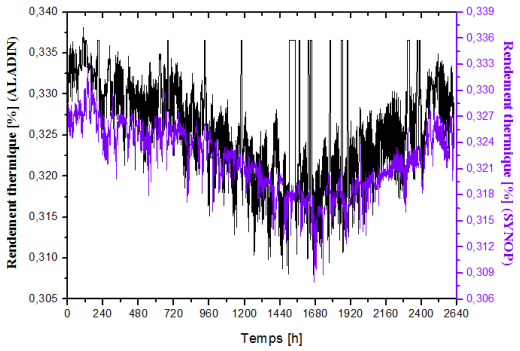

FIGURE 5. Évolution du rendement thermique en fonction du temps calculé a partir des températures observées (trait noir) et prévues par ALADIN (trait violet).

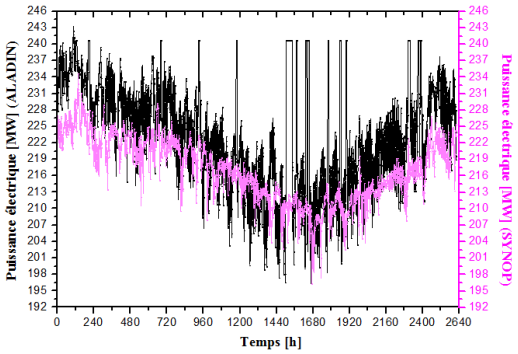

FIGURE 6. Évolution de la puissance en fonction du temps calculé a partir des températures observées (trait rose) et prévues par ALADIN (trait noir).

L'analyse des résultats d'inter-comparaison montre que l'allure des courbes d'évolution des performances prévues calculées à partir des données de température simulées par ALADIN suit celle calculés à partir des températures observées.

Le rendement maximal prévu est de l'ordre de 33.72% et il est obtenu en hiver. Par contre le rendement minimal prévu est obtenu en été et il est estimé à 30.7%, ce qui correspond au rendement obtenu à partir des températures observées.

La puissance maximale prévue est de l'ordre de 244 MW et il est obtenu en hiver. Par contre la puissance minimale prévue est obtenu en été et elle est estimée à 197 MW.

Nous avons, ensuite, calculé le rapport entre les performances prévues calculées à partir des données de température simulées et les performances réelles calculées à partir des températures observées. En moyenne ce rapport est estimé à 95% ce qui est très acceptable.

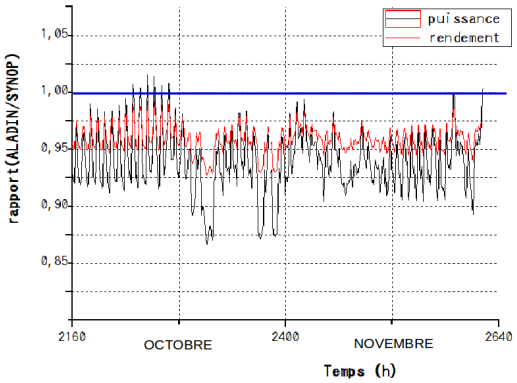

FIGURE 7. Rapport des performances obtenue par les données ALADIN/SYNOP pour les mois de janvier et février

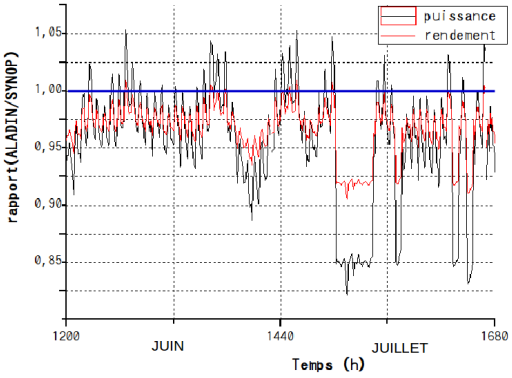

FIGURE 8. Rapport des performances obtenue par les données ALADIN/SYNOP pour les mois d'octobre et novembre

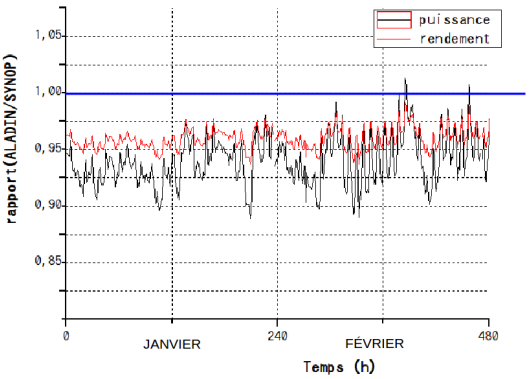

FIGURE 9. Rapport des performances obtenue par les données ALADIN/SYNOP pour les mois de juin et juillet.

4. Conclusion

Les relations qui expriment le comportement de la turbine à gaz sont obtenues par la réalisation d'un bilan énergétique pour chaque composant, elles combinent les températures, les débits de fuel, d'air, et la chaleur spécifique à pression constante. Elle peut être modélisée aussi par les enthalpies pour chaque point. Il apparaît clairement que la température ambiante constitue un paramètre clé dans le calcul des performances d'une turbine à gaz. Dans cette études, nous avons utilisé, à la fois, les températures observées et celles simulées par ALADIN pour calculer ces performances. Les résultats montrent que pour un intervalle de température situé entre $-2\,°\mathrm{C}$ et $38.5\,°\mathrm{C}$, nous avons enregistré une réduction de 36 MW de la puissance électrique produite. En outre, l'erreur commise sur le rendement simulé par rapport au rendement réel est de l'ordre de 5%.

Références

Cengel, Y. A. and Boles, M. A. (2006). *Thermodynamics : an engineering approach*, volume 1000. Mc-Graw Hill.

Jacobson, M. Z. (2009). Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security. *Energy & Environmental Science*, 2(2) :148–173.

Termonia, P., Fischer, C., Bazile, E., Bouyssel, F., Brožková, R., Bénard, P., Bochenek, B., Degrauwe, D., Derková, M., El Khatib, R., et al. (2018). The aladin system and its canonical model configurations arome cy41t1 and alaro cy40t1. *Geoscientific Model Development*, 11(1) :257.