

APPLICATION DE LA MÉTHODE DE TAGUCHI POUR L'ÉTUDE DE L'INFLUENCE DES PARAMÈTRES DE RÉGLAGE SUR L'EFFICACITÉ DE FONCTIONNEMENT D'UNE MACHINE DE FORAGE

DERDOUR Fatima Zohra¹, KEZZAR Mohamed², KHOCHEMANE Lakhdar³

^{1, 2, 3}Université 20 Août 1955-Skikda, route El- Hadaïak BP 26 Skikda, 21000, Algérie,

¹fatimazohraderdour@yahoo.fr, ²kezzar_m@yahoo.com, ³lakhdarkhochmane@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Le but de ce travail est d'utiliser la méthode de Taguchi pour étudier les effets des paramètres de réglage de forage roto-percutant tels que la la poussée, la pression d'alimentation du marteau, la vitesse de rotation du train de tige sur l'avancement de l'outil (V_f) dans le forage roto- percutant , en utilisant la sondeuse INGERSOLL RAND CM-780D.

Une série d'expériences basées sur un réseau orthogonal L_{27} sont effectués. Les résultats de l'expérience sont recueillis et analysés à l'aide du logiciel statistique Minitab16. Les analyses des écarts sont utilisées pour déterminer les facteurs les plus signifiant de contrôle affectant le taux de pénétration.

L'analyse de variance montre clairement que la force axiale (F_{ax}), l'interaction ($Pa.Pa$), la pression d'alimentation d'air (Pa) et l'interaction ($F_{ax}.F_{ax}$) sont statistiquement les facteurs qui ont la plus grande influence sur l'évolution de la vitesse de forage. Leurs contributions sur la variation totale de la vitesse de forage sont 24,15% ;23,39% ;23,05 ;18,67%, respectivement.

Mots Clés: Forage roto-percutant, vitesse de forage, Taguchi, ANOVA.

NOMENCLATURE

Symboles :	SS_d	la somme des carrés	
Pa	pression d'alimentation d'air, bar	MS	le carré moyen
n_r	vitesse de rotation , tr/min	F-test	le test de Fisher
F_{ax}	force axiale , kgf	Prob	la probabilité
V_f	vitesse de forage m/min	P%	la contribution en pourcentage
DL	la degré de liberté		

1. INTRODUCTION

La technologie de forage et de perçage joue un rôle majeur dans l'industrie minière Algérienne. En fait, il serait juste de dire que l'optimisation des paramètres de forage est une partie intégrante de la réussite économique ou l'échec de toute exploitation minière[1].

Les opérateurs et les fabricants ne cessent d'explorer les moyens de réduire les coûts et accroître la productivité en améliorant les taux de pénétration de forage et de diminuer l'usure de l'outil de perforation.

Le taux de pénétration dépend principalement des variables opérationnelles et les caractéristiques de la roche. Les variables opérationnelles sont connues en tant que paramètres contrôlables: la vitesse de rotation, la poussée, la fréquence de soufflage et le rinçage. Cependant, les propriétés des roches et les conditions géologiques sont des paramètres incontrôlables[2].

Pour la planification d'une opération de forage efficace, nous devons apprendre comment ces paramètres influent sur le taux de pénétration dans le processus de forage.

Les plans d'expériences sont une méthodologie de choix qui permet d'optimiser la mise au point d'un produit ou d'un procédé industriel. D'une manière générale, cette méthodologie cherchera à déterminer et à établir les liens existant entre des variables d'entrée du processus et une grandeur d'intérêt, appelée réponse. Les variables, grandeurs physiques modifiables par l'expérimentateur, sont sensées influencer sur les variations de la réponse. Avec les plans d'expériences, on obtient le maximum de renseignements avec le minimum d'expériences.

Il existe de nombreux types de plans d'expériences qui diffèrent par la façon de traiter les facteurs étudiés, les niveaux associés à ces facteurs et les interactions qui peuvent exister [3]. La méthodologie Taguchi de mise en œuvre des plans d'expériences, développée par Genichi Taguchi au Japon dans les années 1960, utilise les plans d'expériences fractionnaires [4]. Ce sont des plans optimaux qui tiennent compte des effets des facteurs et de leurs interactions tout en réduisant considérablement le nombre d'essais à réaliser. La méthode d'expérimentation de Taguchi utilise un ensemble de notions dont la table orthogonale, le facteur contrôlé, le facteur bruit, le ratio signal-bruit, etc. De nos jours, cette méthode est largement utilisée dans le domaine industriel [5,6]. On s'intéresse dans ce travail, à l'application des plans d'expérience plus précisément la méthode de Taguchi.

2. METHODE EXPERIMENTALE

2.1. Analyse de Taguchi

La méthode de Taguchi fait une utilisation spécifique de la technique des plans d'expériences. La méthode classique des plans d'expériences ne considère que les valeurs moyennes des caractéristiques à optimiser. On la complète parfois par une analyse de la variance des différents facteurs testés. Les plans d'expériences Taguchi traitent conjointement la moyenne et la variabilité des valeurs des caractéristiques mesurées [7].

Donc, La méthode de Taguchi vient pour enrichir les méthodes de plans d'expériences en apportant une amélioration considérable aux plans factoriels complets et fractionnaires. Elle se distingue par une réduction importante du nombre d'essais, tout en gardant une bonne précision [7].

2.2. Détails expérimentaux

La réalisation du forage expérimental a été programmée dans les conditions de la carrière de Hadjer Soud à l'aide d'une sondeuse INGERSOLL RAND CM-780D équipée d'un marteau fond du trou cop 44 pneumatique. L'outil de coupe utilisé est de type à bouton.

Dans cet article, des études détaillées ont été effectuées pour déterminer l'effet des paramètres de réglage (la poussée, la pression d'alimentation du marteau, la vitesse de rotation du train de tige) sur la vitesse de pénétration pendant le forage du trou.

Durant la réalisation des expériences on a utilisé comme moyens de mesure l'appareillage suivant :

- Un dynamomètre à la compression du type HRC.
- Un tachymètre optique « Beta 1760/TC2 » .

-Un chronomètre.

2.3.Choix des facteurs

Taguchi divise les facteurs en deux catégories : facteurs contrôlables et facteurs de bruit. Les facteurs contrôlables de la vitesse de pénétration de l'outil examinés dans le cadre de cette étude sont les suivants : La pression d'alimentation , la vitesse de rotation du train de tige et la force axiale . Les niveaux de chaque facteur (au nombre de trois), en valeurs codées et en valeurs réelles, sont donnés dans le tableau 1.

Niveau	Pression d'air (Pa)	Vitesse de rotation (n_r)	Force axiale (Fax)
1	12	35	660
2	14	45	825
3	17	55	990

TABLEAU1. Facteurs et niveaux sélectionnés

3. RESULTATS

3.1.Plan expérimentale

Les expériences ont été planifiées selon le plan orthogonal L_{27} de Taguchi (tableau 3).

Essais	Pa	n_r	Fax	V_f	Essais	Pa	n_r	Fax	V_f
1	12	35	660	0,32	15	14	45	990	1,06
2	12	35	825	0,71	16	14	55	660	1,05
3	12	35	990	0,74	17	14	55	825	1,25
4	12	45	660	0,38	18	14	55	990	1,18
5	12	45	825	0,77	19	17	35	660	0,72
6	12	45	990	0,80	20	17	35	825	1,11
7	12	55	660	0,42	21	17	35	990	1,08
8	12	55	825	0,79	22	17	45	660	0,91
9	12	55	990	0,82	23	17	45	825	1,29
10	14	35	660	0,62	24	17	45	990	1,25
11	14	35	825	1,01	25	17	55	660	1,09
12	14	35	990	1,06	26	17	55	825	1,34
13	14	45	660	0,88	27	17	55	990	1,30
14	14	45	825	1,10					

TABLEAU2. Résultats expérimentaux de la détermination de la regime de fonctionnement de la machine de forage

3.2.Analyse de variance des résultats

Source	DL	SS _d	CM	F-test	Prob	P (%)
Régression	9	2,05470	0,228300	81,60	0,000	/
Pa	1	0,21405	0,214046	76,50	0,000	23,05
n _r	1	0,00198	0,001980	0,71	0,412	0,21
Fax	1	0,22432	0,224325	80,18	0,000	24,15
Pa*Pa	1	0,21726	0,217264	77,65	0,000	23,39
n _r * n _r	1	0,00135	0,228300	0,48	0,497	0,15
Fax*Fax	1	0,17340	0,214046	61,97	0,000	18,67
Pa* n _r	1	0,02281	0,001980	8,15	0,011	2,46
Pa*Fax	1	0,00676	0,224325	2,42	0,139	0,73
n _r *Fax	1	0,01920	0,217264	6,86	0,018	2,05
Erreur	17	0,04756	0,002798	/	/	5,12
Totale	26	2,10227	/	/	/	/

TABLEAU 3. Résultat de l'analyse de variance de la vitesse de forage

Les résultats de l'expérience vont être traités statistiquement en utilisant l'analyse de variance (ANOVA). En effet, à partir des résultats obtenus, un modèle du 2^{ème} ordre sera établi. L'objectif principal est de montrer les paramètres qui ont le plus d'effet sur la réponse étudiée V_f .

Dans cette étude, l'analyse de variance est menée à un niveau de signification $\alpha=5\%$ (niveau de confiance égal à 95%). Les résultats de l'analyse de variance de la vitesse de forage sont donnés par le tableau 3. Ce tableau montre les degrés de liberté (DL), la somme des carrés (SS_d), le carré moyen (MS), le test de F et la probabilité (Prob). Il faut noter qu'une faible probabilité (Prob < 0,05) renseigne sur la signification statistique de la source sur la réponse correspondante.

Dans cette analyse, la contribution en pourcentage (P%) de chaque facteur source sur la variabilité totale des réponses est représentée par la dernière colonne du tableau 3; ces valeurs donnent le degré d'influence de chaque facteur sur la réponse étudiée.

Les résultats de l'analyse de variance de la vitesse de forage (tableau 3) montrent que Fax est le facteur qui représente le grand effet sur la variation totale de la vitesse de forage, ce qui explique 24,15% de contribution; le second facteur qui affecte la vitesse de forage est l'interaction (Pa.Pa) avec une contribution de 23,39%. Ensuite l'effet de Pa et l'interaction (Fax.Fax) avec une contribution de l'ordre de 23,05%; 18,67% respectivement d'autre part, les interactions ((Pa. n_r); (n_r.Fax)) présentent des contributions très faibles sur la variation de la vitesse de forage 2,46%; 2,05%, enfin la vitesse de rotation (n_r; 0,21%) et les interactions ((n_r.n_r); 0,15%) et ((Pa.Fax); 0,73%) n'ont aucun effet significatif sur la variabilité totale de la vitesse de forage.

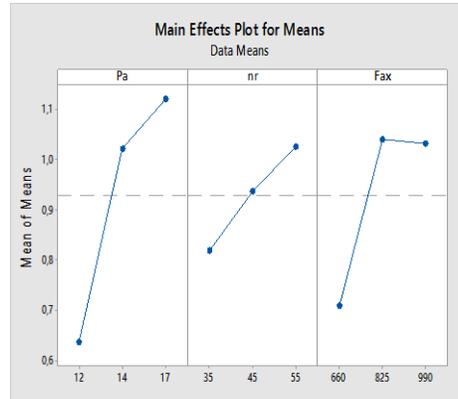


FIGURE 1. Les effets des paramètres de réglage sur la vitesse de forage (V_f)

La figure 1 montre l'effet des facteurs source sur les valeurs moyennes de la vitesse de forage, toute augmentation des paramètres de réglage de la machine provoque ou entraîne en principe un accroissement de la vitesse de forage. Ceci peut être vérifiée jusqu'à une certaine valeur par contre ou delà, la vitesse de forage cesse de s'accroître à cause du phénomène d'usure.

3.3 Modélisation mathématique

Une analyse de régression a été utilisée pour développer le modèle du deuxième ordre de régression pour la réponse V_f . Afin de comprendre les effets des facteurs de contrôle sur la réponse, du premier ordre, du second ordre et les interactions entre les différents facteurs de contrôle ont été considérés.

Le modèle final pour la V_f obtenue est le suivant:

$$V_f = -13,19 + 0,991 Pa + 0,0191 n_r + 0,01319 Fax - 0,03193 Pa^2 - 0,000150 n_r^2 - 0,000006 Fax^2 + 0,001732 Pa * n_r - 0,000057 Pa * Fax - 0,000024 n_r * Fax$$

Le coefficient de détermination R^2 , caractérise la relation entre les valeurs observées et prédites, est une mesure directe de bon ajustement en effet, quand la valeur de R^2 s'approche à l'unité ($R^2 \approx 1$, tableau 4), c'est une indication claire sur un accord qualitatif entre l'expérimentation et la prédiction.

Modèle	Le coefficient de détermination R^2
Vitesse de forage	0,9774

TABLEAU4. Le coefficient de détermination

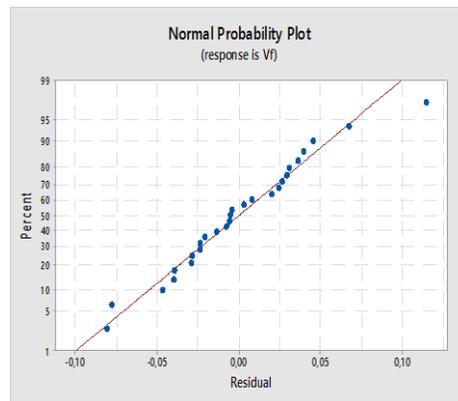


FIGURE 2. Courbe de la probabilité normale de la vitesse de forage

La figure 2 présente la probabilité normale des résidus de modèle de la vitesse de forage, on constate que les résidus s'ajustent raisonnablement en ligne droite, ce qui permet de conclure que les erreurs ont une distribution normale et par conséquent le modèle développé est significatif.

4. CONCLUSIONS

Le travail présenté s'inscrit dans le cadre de l'application des statistiques et probabilités dans le domaine de forage. Plus particulièrement, l'objet du travail est d'appliquer les plans d'expériences de Taguchi pour voir les différentes relations entre les paramètres de réglage d'une sondeuse de forage roto-percutant (F_{ax} , n_r , P_a) sur la vitesse de forage (V_f).

La méthode de Taguchi utilise un design robuste qui permettra d'obtenir les facteurs les plus significatifs à des coûts moindres, un temps d'expérimentation très court et un nombre réduit d'expériences.

Un modèle mathématique est développé pour la vitesse de forage. Afin de comprendre l'effet des facteurs de contrôle sur la réponse.

L'analyse de variance montre clairement que la force axiale (F_{ax}), l'interaction ($P_a.P_a$), la pression d'alimentation d'air (P_a) et l'interaction ($F_{ax}.F_{ax}$) sont statistiquement les facteurs qui ont la plus grande influence sur l'évolution de la vitesse de forage. Leurs contributions sur la variation totale de la vitesse de forage sont 24,15%; 23,39%; 23,05%; 18,67% respectivement.

REFERENCES

- [1] C. Alireza, H. K. Seyed, Sh. Kouros, and KH. H. Jafar, An estimation of the penetration rate of rotary drills using the Specific Rock Mass Drillability index, *International Journal of Mining Science and Technology*, 22, 187–193, 2012.
- [2] Onederra, I., 2001, Développement d'un modèle empirique pour la fragmentation anneau souterrain dynamitage applications confidentielles AMIRA / JKMRC P447 rapport de projet BART, août.
- [3] J. Goupy. Introduction aux plans d'expériences. Dunod, Paris, 2001.
- [4] J. Antony. Taguchi or Classical design of experiments: a perspective from a practitioner. *Sensor Review*, 26, 227-230, 2006.
- [5] G. Venkateswarlu, M. J. Davidson et G. R. N. Tagore. Influence of process parameters on the cup drawing of aluminium 7075 sheet. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2, 41-49, 2010.
- [6] S. Fotis, G. Besseris et K. Alafodimos. Application of Taguchi's Experimental Design methodology for Product optimization in Food Engineering Mixtures. *Proceedings 3rd International Scientific Conference (ERA-3)*, Aegina, Greece, September 2008.
- [7] ALEXIS J., Pratique industrielle de la méthode Taguchi les plans d'expériences, Paris, Edition AFNOR, 1995.