

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
École Normale Supérieure, Kouba (Alger)
Département de Mathématiques



Mémoire présenté pour obtenir le grade de magister

Par : Youcef Ziad

Spécialité : Mathématiques

Option : Analyse fonctionnelle et numérique

**Diagnostic des problèmes de production pétrolière par Analyse en
Composantes principales :
Application aux champs de Hassi R'mel et Hassi Messaoud**

Sous la direction de El Hacene Ouazar, Maître de conférences (A) (ENS-Kouba) et Mohamed Khodja, chercheur (DTD-Boumerdes)

soutenu le 07/06/2016

devant le jury composé de :

Mr. Youcef Atik	Professeur, ENS-Kouba	Président
Mr. Abdelaziz Choutri	Maître de Conférences (A), ENS-Kouba	Examineur
Mr. Mohamed Khodja	Chercheur, DTD-Boumerdes	Co-Encadreur
Mr. El Hacene Ouazar	Maître de Conférences (A), ENS-Kouba	Encadreur
Mlle. Naima Bendou	Chercheuse, DTD-Boumerdes	Invitée
Mr. Noureddine Boukhallat	Chercheur, DP-HMD	Invité

Table des matières

Notations	v
1 Partie théorique	3
1.1 Généralités et problématique globale	3
1.2 Généralité sur l'exploitation pétrolière	3
1.2.1 Exploitation et forage	5
1.2.2 Production	6
1.2.3 Récupération assistée des hydrocarbures	6
1.2.4 Installation de surface et réseau de collecte	7
1.2.4.1 Installation de production et de transport	7
1.2.4.2 Développement en mer	9
1.3 Rappels mathématiques	10
1.3.1 Analyse des données	10
1.3.1.1 Variables et données	10
1.3.1.2 Les variables quantitatives	11
1.3.1.3 Tableau de données	11
1.3.1.4 Méthodes d'Analyse des Données	12
1.3.1.5 Analyse par classification	13
1.3.1.6 Les logiciels utilisés	14
1.3.1.7 Domaine d'application	14
1.3.1.8 Les objectifs	15
1.3.1.9 Conclusion	15
1.3.2 L'Analyse en Composantes Principales (ACP)	16
1.3.2.1 description unidimensionnelle de données numériques	16
1.3.3 Maxima d'une forme quadratique sous contrainte quadratique	22
1.3.4 Reconstitution des données de départ	25
1.3.4.1 Pré-traitement de la matrice des données	26
1.3.4.2 Analyse en Composantes Principales	27
1.3.4.3 Modélisation des systèmes à partir de l'ACP	28
1.3.4.4 projection des individus sur un sous-espace	30
1.3.4.5 Axes principaux , composantes principales, facteurs principaux	32
1.3.4.6 Choix de la structure du modèle ACP	34
1.3.4.7 Méthode heuristique	34
1.3.4.8 Avantages et inconvénients de l'ACP	35
1.3.4.9 Conclusion.	35
1.3.5 Détection et localisation de défauts par Analyse en Composantes Principales	37

1.3.5.1	Introduction	37
1.3.5.2	Détection de défauts	37
1.3.5.3	Génération de résidus par estimation d'état	37
1.3.5.4	Statistique SPE	39
1.3.5.5	Statistique T^2	40
1.3.5.6	Localisation de défauts	40
1.3.5.7	Localisation par calcul des contributions	40
2	Partie analytique	43
2.1	Présentation du champ de Hassi R'mel	43
2.1.1	Situation géographique	43
2.1.2	Historique du champ de Hassi R'mel	44
2.2	Exploitation du champ de Hassi R'mel	44
2.3	Technique de traitement du gaz naturel	46
2.3.1	Procédé HUDSON	46
2.3.2	Procédé Pritchard	46
2.4	Problème actuel de la production de gaz	46
2.5	Synthèse des travaux antérieurs sur le problème des venues d'eau dans le champs de Hassi R'mel	47
3	Validation de l'approche appliquée	49
3.1	Introduction	49
3.2	Approche ACP sur HR	49
3.3	Représentation des individus et des variables par l'ACP	50
3.3.1	Représentation des individus	51
3.3.2	Représentation des variables	52
3.3.2.1	Interprétation de l'axe 1	53
3.3.2.2	Interprétation de l'axe 2	54
3.3.2.3	Interprétation de l'axe 3	55
4	Validation de l'approche diagnostic	57
4.1	Introduction	57
4.2	Détermination de la structure du modèle	58
4.3	Pourcentage cumulé de la variance totale (PCV)	60
4.4	Localisation par calcul des contributions	65
4.5	Indice SPE	65
4.6	Indice localisation par T^2	67

Table des figures

1.1	Schéma de développement à terre.	8
1.2	Représentation des données.	11
2.1	La situation géographique.	43
2.2	L'exploitation du champ de Hassi R'mel.	45
3.1	Représentation des valeurs propres.	50
3.2	Représentation du nuage dans deux axes de l'ACP : axe 1 et axe 2.	51
3.3	Représentation du nuage dans deux axes de l'ACP : axe 2 et axe 3.	51
3.4	Représentation du nuage dans deux axes de l'ACP : axe 1 et axe 3.	52
3.5	Représentation des variables dans deux axes de l'ACP : axe 1 et axe 2.	52
3.6	Représentation des variables dans deux axes de l'ACP : axe 2 et axe 3.	53
3.7	Représentation des variables dans deux axes de l'ACP : axe 1 et axe 3.	53
4.1	Décroissance des valeurs propres de la matrice des corrélations.	60
4.2	Variation du pourcentage de la variance totale en fonction du nombre de composantes principales.	61
4.3	Évolution des composantes principales du système (4.6).	64
4.4	Calcul des contributions au SPE.	67
4.5	Calcul des contributions à l'indice T^2 -Kourti (3 composantes).	69
4.6	Calcul des contributions à l'indice T^2 -Wise (4 composantes).	70

Notations

$\mathbf{X} \in \mathbb{R}^{N \times m}$	Matrice de données représentant le fonctionnement normal du système,
$\hat{\mathbf{X}}$	Estimation de \mathbf{X} par le modèle ACP,
\mathbf{E}	Matrice des résidus d'estimation de \mathbf{X} ,
$\Sigma \in \mathbb{R}^{m \times m}$	Matrice de covariance de \mathbf{X} ,
N	Nombre d'échantillons mesurés,
m	Nombre de variables (dimension de l'espace des données mesurées),
ℓ	Nombre de composantes retenues dans le modèle ACP (dimension du sous-espace des composantes principales),
k	Indice du temps,
$\mathbf{x} \in \mathbb{R}^m$	Nouveau vecteur de mesure,
$\hat{\mathbf{x}}$	Estimation du vecteur \mathbf{x} par le modèle ACP,
x_i	La i ème composante du vecteur \mathbf{x} ,
$\bar{\mathbf{x}}$	Vecteur moyen de \mathbf{x} ,
$\mathbf{x}^{(i)} \in \mathbb{R}^{m-1}$	Le vecteur \mathbf{x} sans la i ème composante,
$\mathbf{P} \in \mathbb{R}^{m \times m}$	Matrice des vecteurs propres de Σ ,
$\hat{\mathbf{P}} \in \mathbb{R}^{m \times \ell}$	Matrice des ℓ premiers vecteurs propres de Σ ,
$\tilde{\mathbf{P}} \in \mathbb{R}^{m \times (m-\ell)}$	Matrice des $m - \ell$ derniers vecteurs propres de Σ ,
$\hat{\mathbf{t}}$	Vecteur des ℓ premières composantes principales,
$\tilde{\mathbf{t}}$	Vecteur des $m - \ell$ dernières composantes principales,
$\hat{\mathbf{C}} = \hat{\mathbf{P}}\hat{\mathbf{P}}^T$	Matrice représentant le modèle ACP,
λ_i	i ème valeur propre de Σ ,
\mathbf{p}_i	i ème vecteur propre de Σ correspondant à λ_i ,
SPE	Erreur quadratique d'estimation (squared prediction error),
T^2	Statistique de Hotelling.

Résumé

Les travaux présentés dans ce mémoire sont axés sur deux aspects traitant les deux plus grands gisements Algériens, à savoir : Le Champ gazier de Hassi R'mel, et le champ de Hassi Messaoud qui représente plus de 50% de la production des hydrocarbures au niveau national. Il s'agit de :

1. Une partie portant sur l'analyse d'un problème de production sur le champ de Hassi R'mel (HR) suite aux opérations d'injection d'eau dans le cadre de la récupération secondaire,
2. une partie traitant un travail d'optimisation des réseaux de collecte sur le champ de Hassi Messaoud (HMD) pour réduire la défaillance et améliorer la production.

À propos de la première partie, après une analyse bibliographique et historique de la production de ce champ, nous avons analysé le problème de venue d'eau sur les puits producteurs de ce champ en utilisant la méthode de l'ACP (Analyse en Composantes Principales). Pour la partie relative à l'optimisation des réseaux de collecte, nous avons testé deux approches différentes et souvent complémentaires. Il s'agit en premier, de l'application des techniques de réseaux de neurones, et en second de la méthode ACP. Nous avons appliqué l'approche ACP sur l'un des satellites pilotes du champ de Hassi Messaoud. Au fait, l'entreprise a développé un algorithme pour l'utilisation d'une boucle permettant l'optimisation du réseau de collecte. Cependant, les opérationnels n'étaient jamais satisfaits après l'analyse des entrées (In put) et des sorties (Out put) qui ont montré une différence dans les bilans de production. Il a été évoqué des problèmes d'étranglements suite à des phénomènes de dépôts, de variation de température, d'étouffement des puits producteurs, conséquences de la mauvaise optimisation des conditions de production et de dimensionnement des installations de surface.

Ce mémoire est organisé de la manière suivante :

On commence par une introduction générale de ce mémoire.

Le premier Chapitre est consacré à la partie théorique de ce mémoire. On y explique les deux sujets, plus la problématique globale traités dans ce mémoire, puis on parle de quelques généralités sur l'exploitation pétrolière. On y évoque notamment quelques techniques d'exploitation et forage, de production, et de récupération assistée des hydrocarbures, les installations de surface et les réseaux de collecte, et enfin, on fait quelques rappels mathématiques sur les notions dont nous avons besoin dans le travail qui suit.

Le deuxième Chapitre est la partie analytique de ce mémoire. On commence par une présentation du champ de Hassi R'mel, on parle de l'exploitation du champ de Hassi R'mel, nous exposons deux techniques utilisées dans le traitement du gaz naturel, puis nous évoquons le problème actuel de la production de gaz, et enfin, nous faisons une synthèse des travaux antérieurs sur le problème de venue des eaux dans le champ de Hassi R'mel

Le troisième Chapitre porte sur l'analyse d'un problème de production sur le champ de Hassi R'mel (HR) suite aux opérations d'injection d'eau dans le cadre de la récupération secondaire, en utilisant l'approche ACP par un code MatLab.

Le quatrième Chapitre est consacré à la partie relative à l'optimisation des réseaux de collecte dans le champs de Hassi Messaoud. Nous avons fait un diagnostic des défaillance en utilisant une approche ACP par un code MatLab.

Mots clés : Diagnostic, Analyse en composantes principales, Détection et localisation de défauts de capteurs, MatLab, Scilab.

Abstract

The work presented in this memory, is focused on two largers algerian reservoirs, namely : the gaz field of Hassi R'mel, and the field of Hassi Messaoud, representing 50% of production of hydrocarbons at the national level. It is :

1. An part concerning the analysis of production problem on the field of Hassi R'mel (HR) resulting for the water injections operations in the framework of secondary recovery.

2. An part traiting an work of optimizing collection networks in the field of Hassi Messaoud (H M D), to reduce the failure and improve production.

About the first part, after an literature review and production history Hassi R'mel field, we analyzed the water ingress problem on produing wells of this field using the P C A method (Principal Component Analysis).

For the part relating to optimization of collection network, we tested two different approached and often complemetary, it's in the first application of neural network techniques, and secondary, the PCA method.

We applied PCA approach on a pilot satellites of Hassi Messaoud field. In fact, the compagny has developed an algorithm for use an loop for optimizing the collection network. However, operational was never satisfied after analyzing the inputs (In put) and outputs (Out put) that showed a difference in the balance sheets of production. It was mentioned problemes of chocks folowing deposits phenomena, variation of temperature, choking producing wells, consequences of bad optimization of production condition and sizing of surface installig.

This memory is prganized as follow :

We begin by an general introduction of this memory.

The first Chapter is devoted to the theoretical part of this memory. It explains the two subjects, addition to the global problem traited in this work, and then we talk about some generalities on oil exploitation. Finally, we make some mathematical reminders on the concept that we need in the folowing work.

The second Chapter is consacred for the analytic part of this memory. It begin with a presentation of Hassi R'mel field, we present two techniques used in the processing of natural gaz, and then, we discuss the current problem of production gaz. Finally, we make a synthesis of previous work of the problem of coming water in Hassi R'mel field.

The third Chapter focuses on the analysis of a production problem on the Hassi R'mel (HR) following the water injection operations under seconday recovery using PCA approach by an code of MatLab.

The fourth Chapter is devoted to the part relating to the optimization of collection networks in the fields of Hassi Messaoud. We made a diagnostic of failure, using PCA approach by an code of MatLab.

Keywords : Diagnostic, Principal component analysis, Sensor fault detextion and isolation, MatLab, Scilab.