

Analyse du retour d'expérience pour la planification de la maintenance Cas de l'oléoduc OB1 HeH-Bejaia

Kennouche A., Mammasse N., Aïssani D. et Saigh S.

lamos_bejaia@hotmail.com , tr_ken@hotmail.com

Résumé Le réseau algérien de transport d'hydrocarbures liquide relie par canalisation les champs sahariens de production de brut et de condensât aux sites d'exportation et de raffinage implantés sur le littoral. Les prévisions de production, en relation avec l'ouverture du secteur aux compagnies internationales se démarquent par une augmentation substantielle de la production globale. Ces perspectives sous-tendent la mise en place d'un plan pour le bon maintien des infrastructures matérielles. Le travail présenté dans cette communication concerne l'évaluation de la disponibilité des modes de fonctionnement de l'oléoduc reliant HEH - BEJAIA afin de réaliser l'objectif de production et planifier la maintenance des équipements relevant des stations de pompes SP2 et SP3. Le premier objectif est traité par l'approche Programmation de But et la résolution du programme est donnée par le Solver Excel. Le second objectif est formulé sous forme d'un problème de satisfaction de contraintes auquel nous avons élaboré un algorithme de résolution afin d'établir une répartition adéquate des heures de fonctionnement des équipements.
Mots clés : Fiabilité, disponibilité, Programmation de But (PB), Problème de Satisfaction de Contraintes (PSC).

4.1 Introduction

Depuis plus d'un siècle, le monde industriel n'a cessé de gagner en productivité et en fiabilité des systèmes. Actuellement, les principaux enjeux sont la sûreté, la disponibilité, les coûts (en particulier ceux de maintenance), et la durée de vie. Pour les entreprises, on peut surtout résumer ces enjeux par la compétitivité et la sûreté. Il faut donc diminuer les coûts de maintenance tout en maintenant, voire en améliorant, la productivité.

Le réseau algérien de transport d'hydrocarbures liquide relie par canalisation les champs sahariens de production de brut et de condensât aux sites d'exportation et de raffinage implantés sur le littoral. Les prévisions de production, en relation avec l'ouverture du secteur aux compagnies internationales et à la découverte de nouveaux gisements de brut et de gaz, se démarquent par une augmentation substantielle de la production globale de brut et de condensât. Ces perspectives sous-tendent l'élaboration d'un plan pour le bon maintien des infrastructures régissant sur l'oléoduc.

4.2 Présentation de la DRGB

La DRGB est l'une des cinq directions régionales de l'entreprise de Sonatrach, elle relève de la division exploitation de la branche transport. Elle a pour mission le transport, le stockage et la livraison des hydrocarbures (pétrole brut, condensât et gaz naturel).

Elle gère les ouvrages suivants :

L'oléoduc HEH Bejaia d'un diamètre de 24 pouces et d'une longueur de 668 km.

L'oléoduc Beni Mansour-Sidi Arcine d'un diamètre de 16 pouces et d'une longueur de 131 km.

Le gazoduc Hassi R'mel-Borj Mena ?l d'un diamètre de 42pouces et d'une longueur de 436 km. Les stations de pompage :

- SP1 Bis (sise à Djemâa).
- SP2 (sise à Biskra).
- SP3 (sise à M'sila).
- SBM (sise à Beni Mansour).
- Les stations satellites (SPA, SPB, SPC, SPD).
- Le parc de stockage (16 bacs de stockage) à Bejaia.
- Le port pétrolier.

Elle s'occupe aussi du chargement des navires citernes selon un planning périodique.

4.2.1 Description du pipeline OB1

L'oléoduc transportant le pétrole du Sahara jusqu'au terminal marin relie au départ HAOUD EL HAMRA à Biskra. Il passe ensuite par la périphérie de la ville de M'Sila. Il franchit le mont du HODNA à travers le col de SELATNA qui est le point le plus culminant de la ligne (1033m d'altitude). Il suit la vallée de l'Oued AZEROU, puis la vallée de la Soummam pour atteindre enfin le port marin pétrolier de Bejaia. [1]

Le pétrole perd de la pression le long de la ligne, à cause des différences d'altitude. Pour remédier à ce problème quatre stations principales sont implantées le long du pipeline. Dans le but d'augmenter la capacité de la ligne, quatre autres stations intermédiaires ont été implantées.

4.2.2 Description des stations de pompage

- Station SP1 : (HAOUD EL HAMRA) C'est la station de départ
- Station SP1 Bis (DJEMAA) : Elle assure un débit maximum de 2200 m3/h.
- Station SP2 (BISKRA)
- Station SP3 (M'SILA)

4.3 Position du Problème

Dans un contexte économique fortement concurrentiel, les métiers de la maintenance évoluent et deviennent un enjeu décisif pour les entreprises. Les activités de maintenance doivent s'adapter au développement technologique (automatismes, systèmes informatiques, . . .) et maîtriser les modes de gestion dans un objectif d'amélioration de la productivité totale et de rentabilité. Outre la réparation de l'outil de production, le service maintenance doit être en capacité d'anticiper et ainsi éviter les dysfonctionnements. On est passé d'une maintenance "curative" à une maintenance "préventive". L'entreprise SONATRACH partageant ces mêmes préoccupations se veut de réaliser les objectifs suivants :

- Optimiser la fiabilité du matériel.
- Assurer continuellement le bon état de fonctionnement des installations.
- Augmenter la productivité des installations et la capacité de production.
- Améliorer la sécurité du travail.[2]

Dans ce sens, nous proposons comme solution la planification de la maintenance dans le but de réduire les temps d'indisponibilité des équipements et assurer une meilleure productivité.

4.4 Analyse Statistique des données

4.4.1 Fiabilité du système [3]

L'étude de fiabilité se concentre sur les infrastructures des stations situées sur la ligne. Le calcul de la fiabilité du système passe par sa modélisation. Dans cette optique, la démarche préconisée consiste à fractionner le système en sous systèmes fonctionnels. Cette dernière prend la forme de blocs diagramme de fiabilité qui représentent les différentes relations entre les composants du point de vue fiabilité. La structure globale du système, constituée des différentes stations, est schématisée comme suit :

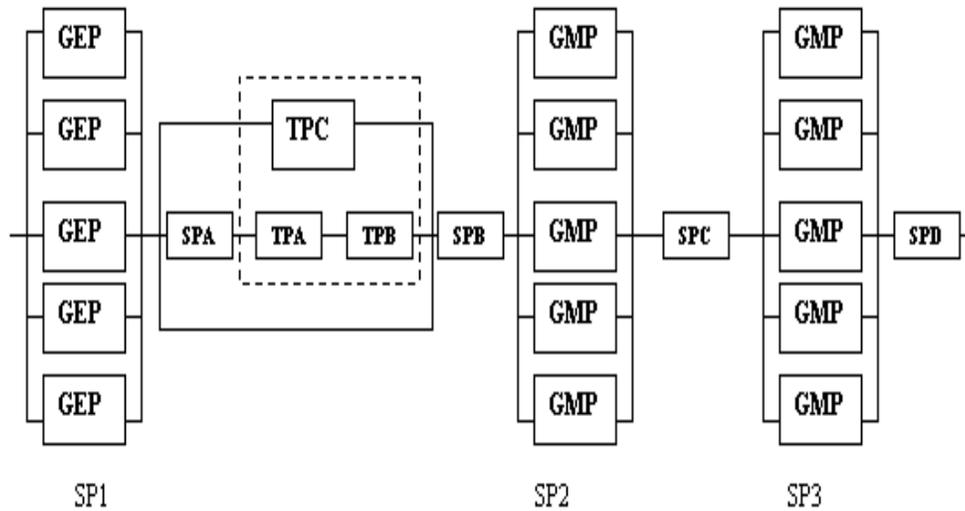


FIGURE 4.1. Diagramme de fiabilité de l'oléoduc

4.4.2 Modes de fonctionnement de la ligne

Actuellement, la ligne HEH-Bejaia peut fonctionner avec trois modes. Chaque mode est caractérisé par le débit de fonctionnement ainsi que les éléments à mettre en jeu. Un mode (phase) représente une variante du système global. Les modes de fonctionnement de la ligne sont présentés dans le tableau suivant :

4.4.3 Traitement des données

Le but essentiel de cette analyse est de déterminer la disponibilité des différents modes de fonctionnement. Pour ce faire, on procède d'abord au calcul de la disponibilité des GMP et des THM qui est donnée par la formule suivante :

$$D_{op} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Phase	Débit(m ³ /h)	Tonnage	Nombre de groupes par station
Phase 1	1800	12.41	SP1: 3 GEP SP1bis: 1 TPC SPB: 1 THM SP2: 3 GMP SP3: 3 GMP
Phase 2	1400	9.65	SP1: 3 GEP SP1bis: Néant SP2: 2 GMP SP2: 2 GMP
Phase 3	800	5.52	SP1: 1 GEP SP2: 1 GMP SP3: 1 GMP

TABLE 4.1. Tableau des modes de fonctionnement

Equip	N	Loi ajustée	test		Validé
			K-S	Khi 2	
GMP	56	Exp	D = 0.079 d _(57,0.05) = 0.172	D = 1.872 X _{2(5,0.05)} = 11.07	Oui / Oui
		lognormale	D = 0.082 d _(57,0.05) = 0.172	D = 0.076 X _{2(5,0.05)} = 11.07	Oui / Oui
THM	8	lognormale	D = 0.270 d _(85,0.05) = 0.457	x	Oui / Non

TABLE 4.2. Etude des temps de bon fonctionnement

4.4.4 Etude du temps de bon fonctionnement

En premier lieu, nous étudions le comportement des équipements en déterminant le temps de bon fonctionnement issu des échantillons construits à partir du retour d'expérience. En second lieu, nous procédons à l'ajustement par les tests de Kolmogorov Smirnov et le test du Khi-2.

Les deux lois du temps de bon fonctionnement, des GMP et des THM, peuvent être ajustée soit par une loi exponentielle ou par une loi de Weibull.

4.4.5 Etude de la maintenabilité

L'intérêt de cette étude est d'évaluer les moyennes de temps de réparations des actions de maintenance préventive ou correctives qui seront utiles dans le calcul des disponibilités. Ce qu'il faut signaler est que les différentes opérations de maintenance préventive sont établies selon le guide du constructeur et à priori le temps consacré à ces opérations devrait être constant.

Mais lors de l'étude statistique, nous avons constaté des variations dues à des imprévus tels que : l'indisponibilité de la pièce de rechange, sollicitations des moteurs au delà du délai de maintenance suite à une forte demande, accidents.

Nous donnons en premier lieu l'étude du temps moyen de réparation du curatif, Quant à l'étude des temps de réparation du préventif, les principaux résultats sont résumés ci-dessous :

Equip	N	Loi ajustée	test		Validé
			K-S	Khi 2	
GMP	56	Exp	D = 0.079 $d_{(57,0.05)} = 0.172$	D = 1.872 $\chi^2_{2(5,0.05)} = 11.07$	Oui / Oui
		lognormale	D = 0.082 $d_{(57,0.05)} = 0.172$	D = 0.076 $\chi^2_{2(5,0.05)} = 11.07$	Oui / Oui
THM	8	lognormale	D = 0.270 $d_{(85,0.05)} = 0.457$	X	Oui / Non

TABLE 4.3. Etude des temps de réparation du curatif

Equip	N	Loi ajustée	test		Validé
			K-S	Khi 2	
GMP	41	lognormale	D = 0.079 $d_{(41,0.05)} = 0.172$	D = 1.87 $\chi^2_{(41,0.05)} = 9.49$	Oui / Oui
THM	28	lognormale	D = 0.140 $d_{(28,0.05)} = 0.249$	X X	Oui / Non

TABLE 4.4. Etude des temps de maintenance

La loi du temps de réparation du curatif relatif aux GMP peut être ajustée par une soit loi exponentielle ou par une loi Lognormale.
La loi du temps de réparation du curatif relatif aux THM peut être ajustée par une loi Lognormale.

4.4.6 Etude de la disponibilité

Calcul de la disponibilité des équipements

Le tableau suivant résume les résultats.

Équipement	MTBF	MT curatif	MT préventif	Disponibilité
GMP	2915.45	44	792	77.71%
THM	2010.33	25.25	357.6	84.6%

TABLE 4.5. Maintenabilité des équipements

Calcul de la disponibilité des variantes

Après avoir calculé la disponibilité des équipements, on procède au calcul de la disponibilité des différentes variantes.

Notations :

- $R_{THM}(t)$: Fiabilité de la turbopompe de type THM(stations satellites et TPC)
- $R_{GMP}(t)$: Fiabilité du groupe motopompe
- $R_{GEP}(t)$: Fiabilité du groupe électropompe
- $R_{vari}(t)$: Fiabilité de la variante

Prenant pour exemple la variante 1, c-à-d un débit de $1800\text{mp}^3/h$.

$$R_{var1}(t) = R_{SP1}(t) \times R_{TPC}(t) \times R_{SPB}(t) \times R_{SP2}(t) \times R_{SP3}(t)$$

$$R_{var1}(t) = R_{SP1}(t) \times [R_{THM}(t)]^2 \times [C_5^3 (R_{GMP}(t))^3 \times (1 - R_{GMP}(t))^2 + C_4^5 (R_{GMP}(t))^4 \times (1 - R_{GMP}(t)) + C_5^5 (R_{GMP}(t))^5]^2$$

On procède de la même manière pour les deux autres variantes.

Les résultats sont résumés dans le tableau ci après.

	Var 1	Var 2	Vari 3
Disponibilité (%)	59.82	97.43	99.66
Disponibilité (heures/Année)	5240.23	8543.86	8730.21

TABLE 4.6. Disponibilité des variantes

4.5 Modélisation et résolution du problème

4.5.1 Formulation du problème de production

L'approche classique des problèmes de décision, c'est-à-dire l'optimisation d'une unique fonction économique est révolue car les situations réelles rencontrées dans l'industrie ne se résument pas à ce stade. C'est pour cette raison que différentes approches ont vu le jour.

Le modèle de la programmation de but "Goal Programming" (GP) est l'un des modèles les plus connus et les plus utilisés en Programmation Mathématique [4].

Dans cette section, nous présentons le modèle qui intègre l'objectif d'acheminement de la quantité de pétrole prévue selon la disponibilité des différents modes de fonctionnement.

Nous avons calculé dans un premier temps la disponibilité des différentes variantes. Nous allons à présent les utiliser pour déterminer les quotas d'heures de marche pour chacun de ces équipements.

Variables de décision

x_i : le temps pour lequel le système peut fonctionner avec le mode i , $i = 1..3$

Facteurs non contrôlables

D_i : disponibilité de la variante i .

Fonction objectif Le but est d'acheminer une quantité de pétrole prévue Q .

Contraintes

$$x_i \leq D_i$$

$$x_i \geq 0$$

Résolution du problème

Le modèle s'écrit alors de la manière suivante :

$$Max Z = \sum_i = 13C_i x_i$$

$$goal(X = Z)(Z = Q),$$

$$x_i \leq D_i,$$

$$x_i \geq 0, i = 1, 3$$

L'utilisation du SOLVER Excel donne les résultats présentés ci-dessous :

$$x_1 = 5240.232,$$

$$x_2 = 2675.485,$$

$$x_3 = 844.283,$$

$$d^- = 0,$$

$$d^+ = 0,$$

Interprétation des résultats

Afin de réaliser le but fixé, la ligne HEH - Bejaia devrait fonctionner 59.82% du temps annuel avec trois moteurs, ce qui équivaut à un débit horaire de $1800m^3$, 30.54% avec deux moteurs équivaut à un débit horaire de $1400m^3$ et 9.64% avec un moteur (un débit de $800m^3$).
 $d^- = 0$ et $d^+ = 0$ explique le fait que le but est atteint, i.e la quantité initialement prévue sera totalement acheminée.

4.5.2 Répartition des heures de fonctionnement

Cette partie concernera la détermination des quotas d'heures à allouer à chaque moteur durant l'année.

5.2.a. Cas des THM et TPC

Le quota de la TPC et la THM SPB est de 5240 heures vu qu'elles n'interviennent que dans le mode 1.

5.2.b. Cas GMP

Les GMP interviennent dans les 3 modes, leur répartition doit alors obéir à leurs disponibilités individuelles.

La modèle de ce problème est :

$$x_i \leq D_i$$

$$\sum x_i = 15x_i = C$$

x_i : temps de fonctionnement du moteur "i".

Prenons le cas de SP2, le modèle est le suivant :

$$x_1 \leq 7884$$

$$x_2 \leq 6853$$

$$x_3 \leq 7270$$

$$x_4 \leq 6570$$

$$x_5 \leq 6006$$

$$\sum x_i = 15 = 21916$$

Pour résoudre ce type de modèle et en respectant à chaque fois la satisfaction du mode "j", un algorithme a été mis au point, les itérations le définissant sont décrites ci-dessous :

- (0) Mettre les valeurs dans un tableau noté $d[i]$;
- (1) Poser $i = 3$;
- (2) Trier le tableau par ordre décroissant ;
Récupérer les indices correspondants ;
- (3) Si $(\text{mode}[i] <> 0)$ et $(i <> 0)$ alors
Si $d[i] < \text{mode}[i]$ alors
Affecter $d[i]$ aux i variables correspondantes ;
 $\text{mode}[i] := \text{mode}[i] - d[i]$;
Aller à (2)
Sinon
Affecter $\text{mode}[i]$ aux i variables correspondantes ;

```

i := i - 1 ;
Aller 'a (2) ;
Fin si
Fin si
Si i = 0 alors Aller à (4) ;

```

(4) Terminer

Les résultats pour SP2 sont donnés comme suit :

Tab7.

GMP1	GMP2	GMP3	GMP4	GMP5
5240	5240	5240	3520	2676

TABLE 4.7. Affectation des heures de fonctionnement

Nous constatons qu'il existe un déséquilibre dans les heures allouées aux moteurs. Ceci est dû à la satisfaction des modes en l'occurrence le mode 1.

On procède alors à un changement dans l'algorithme précédent. Le changement opéré est le suivant : au lieu d'affecter la totalité d'une valeur, on affecte la moitié de celle-ci. Le reste des instructions de l'algorithme est strictement le même.

Les résultats obtenus avec cet algorithme sont donnés comme suit :

GMP1	GMP2	GMP3	GMP4	GMP5
5370	4449	4681	3980	3436

TABLE 4.8. Bis Affectation des heures de fonctionnement

4.6 Implémentation de l'application

Nous allons à présent développer une application permettant la planification de la maintenance. Pour se faire, nous commençons d'abord par la détermination des heures de fonctionnement de chaque mode, et ce, à l'aide de l'algorithme du simplexe.

Puis la mise au point d'un programme qui permettra la répartition des heures de fonctionnement des GMP de chaque station et enfin la détermination d'un planning de la maintenance préventive pour l'année.

L'application a été réalisée sous l'environnement DELPHI 7.

Maintenance Préventive

Nombre de modes à utiliser:

Quantité à transporter:

Manque à transporter:

Modes

	Mode1	Mode2	Mode3
Capacité	<input type="text" value="1800"/>	<input type="text" value="1400"/>	<input type="text" value="800"/>
Disponibilité	<input type="text" value="5240"/>	<input type="text" value="8535"/>	<input type="text" value="8730"/>

Résultats

	Mode1	Mode2	Mode3
	<input type="text" value="5240"/>	<input type="text" value="2676"/>	<input type="text" value="844"/>

FIGURE 4.2. Calcul des heures de fonctionnement des modes

Détermination des heures de fonctionnement des GMP

Station:

Modes

Mode1	Mode2	Mode3
<input type="text" value="5240"/>	<input type="text" value="2676"/>	<input type="text" value="844"/>

Disponibilité des GMP de SP2

GMP1	GMP2	GMP3	GMP4	GMP5
<input type="text" value="7884"/>	<input type="text" value="6852"/>	<input type="text" value="7270"/>	<input type="text" value="6570"/>	<input type="text" value="6006"/>

Cumul d'heure des GMP de SP2

GMP1	GMP2	GMP3	GMP4	GMP5
<input type="text" value="15000"/>	<input type="text" value="8000"/>	<input type="text" value="26000"/>	<input type="text" value="6700"/>	<input type="text" value="12800"/>

Quota de marche des GMP

GMP1	GMP2	GMP3	GMP4	GMP5
<input type="text" value="5370"/>	<input type="text" value="4449"/>	<input type="text" value="4681"/>	<input type="text" value="3980"/>	<input type="text" value="3436"/>

FIGURE 4.3. Détermination des heures de fonctionnement

Maintenant passons à la détermination d'un planning de maintenance préventive. Un algorithme est mis au point respectant les conditions suivantes :

- Deux révisions ne peuvent être programmées à la même période.
- Une révision partielle (RP) dure un mois. Par conséquent, il faut respecter ce délai entre une RP et une autre révision.
- Une révision générale (RG) dure presque deux mois. Par conséquent il faut respecter ce délai entre une RG et une autre révision.

Principales étapes de l'algorithme :

Etape (0) : Utilisation des résultats des deux précédents programmes en l'occurrence les heures de fonctionnement de chaque débit et le quota annuel alloué à chaque GMP.

Etape (1) : Si le temps est supérieur à 8760 et l'ensemble des machines est parcouru alors aller à 5 sinon aller à 2.

Etape (2) : Prendre une machine et lui attribué un quota mensuel. Si cette machine a atteint les 10000 (respectivement 40000) heures l'arrêter et aller à 3.

Etape (3) : Si le personnel est libre, alors programmer une RP (respectivement RG) et incrémenter le temps de la durée de la RP (respectivement RG).

Etape (4) : Incrémenter le quota attribué et retour à

Etape (5) : Quitter.

Les résultats sont donnés dans la figure ci-après.

	SP ₂					SP ₃				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Quota	5370	4449	4681	3990	3436	4081	3963	3602	5906	4364
Cumul	15000	8000	26000	6700	12800	14500	6000	37000	21000	2100
Cumul fin d'année	20370	12449	30681	10680	16236	18581	9963	602	26906	6464
Mois de la révision	14	6	16	10	0	0	0	12	0	0
Type Révision	RP	RP	RP	RP	/	/	/	RG	/	/

FIGURE 4.4. Plan final de maintenance

4.7 Conclusion

Les résultats obtenus montrent que l'objectif de production sera atteint en utilisant les trois modes de fonctionnement. La répartition des heures de marche et la réalisation du plan de maintenance sont dressées selon la disponibilité des différents équipements.

Références

1. Sonatrach TRC. Pipe news, *bulletin bimestriel d'information de l'activité transport par canalisation*. Octobre 2004.
2. S.Sellami et O. Taggueb, *Planification de la maintenance préventive au niveau de la DRGB*, Dépt recherche opérationnelle, Université de Bejaia 2004
3. C.Coccoza-Thivenet. *Processus stochastiques et fiabilités des systèmes*.
4. B. Aouni, H. Goghrod et J-M. Martel, *Modélisation et simulation "Conception, analyse et gestion des systèmes industriels" MOSIS'01 - Troyes (France)*, 3^{me} conférence Francophone, 27 Avril 2001.