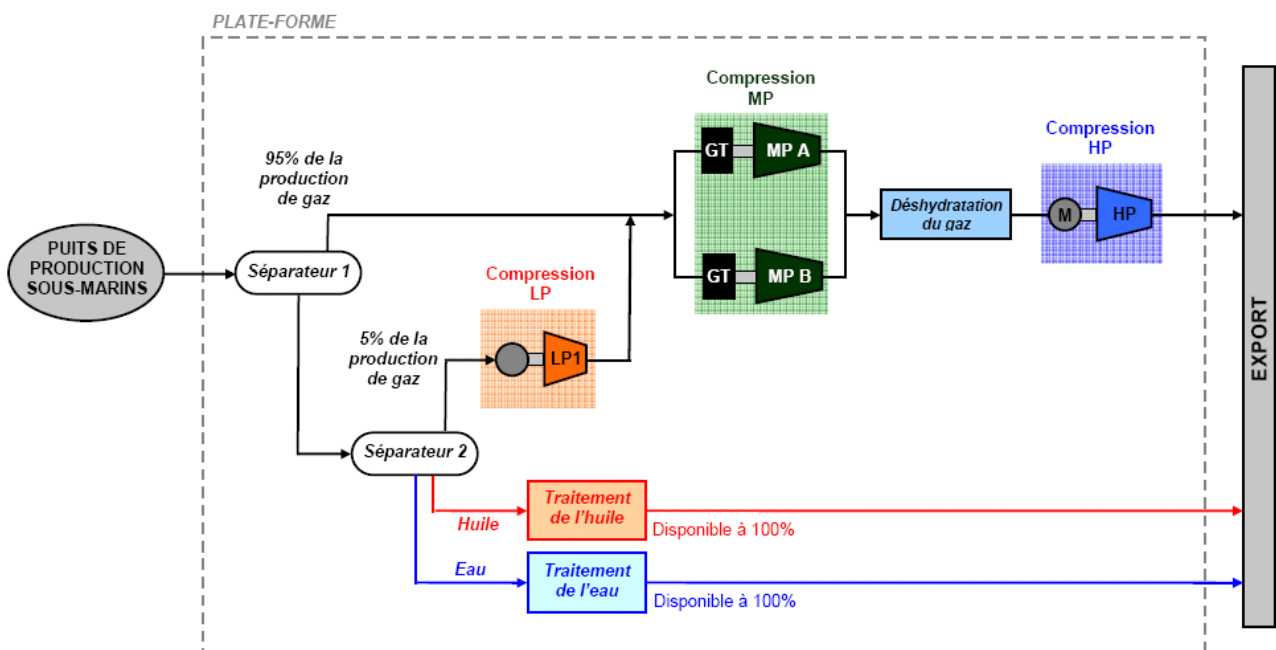


TP SdF N° 34

Exploitation d'une installation pétrolière Cas-test ARGENO V.2

Ce TP porte sur le cas-test ARGENO V.2, proposé par les sociétés Fractal Système et Total, qui traite de la disponibilité d'une installation pétrolière selon différentes politiques environnementales mises en œuvre pour réduire les quantités de gaz brûlé à la torche.

Le sujet détaillé de ce cas-test est fourni en annexe et le système correspondant est présenté ci-dessous.



1 – Faire un analyse critique de ce cas-test sur le plan méthodologique.

2 – Traiter ce cas-test.

3 – Proposer des évolutions de ce cas-test afin d'améliorer sa représentativité et de renforcer son intérêt sur le plan méthodologique.

1 – Analyse critique du cas-test sur le plan méthodologique

Ce cas-test, dont la formulation apparaît quelque peu ambiguë (notamment en ce qui concerne les modes de défaillances et les politiques environnementales) se base sur des hypothèses apparemment simplificatrices.

Le système est considéré strictement markovien (lois exponentielles), ce qui semble discutable pour des machines soumises à usure, et les actions de maintenance préventive périodiques n'ont apparemment aucun effet sur les matériels (pas de rajeunissement), outre l'interruption partielle ou complète de la production.

La prise en compte de certaines politiques environnementales, mises en œuvre pour réduire les quantités de gaz brûlé à la torche, transforme ce système aléatoire à états discrets en un système hybride régi simultanément par des variables aléatoires (durée de fonctionnement et de réparation) et continues (quantité de gaz brûlé) ; la quantité de gaz brûlé conduisant à des réductions de production au franchissement de certains seuils.

La simulation de Monte-Carlo apparaît incontournable pour tenir compte de cette caractéristique et envisager une évolution éventuelle de la problématique. En terme de modélisation, les modèles de simulation récursive se révèlent tout particulièrement adaptés à celle-ci.

2 – Traitement du cas-test.

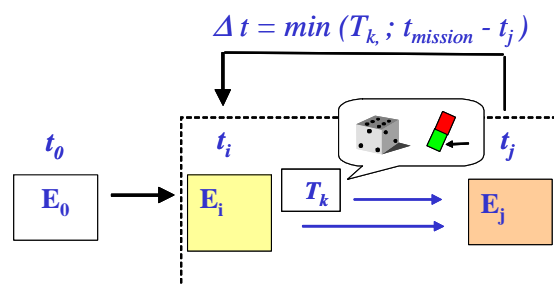
2.1 Hypothèses

Afin de ne pas lasser le lecteur par une multiplication sans grand intérêt des cas traités, seule la maintenance de type 2 (maintenance préventive périodique) et la politique 5 (arrêt de la production en cas de dépassement d'un quota annuel de gaz brûlé à la torche) sont ici considérées.

De même, dans un souci de lisibilité, les durées de maintenance ne sont pas différenciées selon les modes de panne, à l'exception du mode dégradé du compresseur MP qui n'affecte qu'un train de compression parmi 2, contrairement à ses autres modes de défaillance (évitant ainsi de décomposer chaque bloc en 3 éléments en série). La baisse de production pendant les phases de démarrage a été également négligée pour la même raison.

Par ailleurs, la totalité du gaz non produit nominalement (100% d'une production évolutive sur 10 ans) est supposée brûlée à la torche.

2.1 Modèles de simulation récursive



Supportés par le logiciel SIMCAB sous Excel, les modèles de simulation récursive constituent une technique de simulation des systèmes hybrides à états discrets. Cette dernière consiste à décrire une transition générique entre deux instants courants t et $t + \Delta t$ correspondant à l'occurrence de changements aléatoires d'états (défaillance, remise en service...) ou au franchissement de certains seuils par des variables continues (position, alarme...).

En partant d'un état initial E0, l'outil recopie l'état E_j de sortie du modèle (défini dans une plage de cellules) dans l'état E_i en entrée du modèle (dans une plage similaire), pendant toute la durée de la mission, en prenant comme incrément de temps ($\Delta t = \min T_k$) la plus petite valeur parmi les différentes durées de transition possibles tirées aléatoirement ou calculées dans une autre plage de cellules. L'état E_j est défini à partir de l'état E_i et de la transition correspondant à la valeur Δt .

Les durées T_k sont recalculées à chaque transition dans le cas markovien ou calculées une seule fois puis décrémentées jusqu'à leur occurrence dans le cas contraire.

Afin de simplifier considérablement la modélisation d'architectures de systèmes parfois complexes, un outil permet de générer automatiquement le modèle de simulation récursive à partir d'une table renseignée par l'utilisateur. Celle-ci comprend les caractéristiques de défaillance, de réparation, de reconfiguration et de logistique opérationnelle des constituants du système, ainsi qu'une description logique des fonctionnements nominaux ou dégradés de ce derniers ou de ses sous-ensembles.

2.3 Traitement du cas-test ARGENO

A partir de la description textuelle de l'architecture du système présentée en figure 1, l'outil de génération automatique de modèles de simulation permet d'obtenir le simulateur de la figure 3, ainsi que les Blocs Diagrammes de Fiabilité (BDF) de la figure 2, qui lui sont associés pour pouvoir s'animer par la simulation en pas à pas.

L'absence de maintenance périodique a été modélisée par des équipements fictifs complémentaires (E4, E14, E20 et E25) placés en série avec les équipements concernés.

De même, le redémarrage des compresseurs (E5, E15 et E26) a été modélisée par des équipements fictifs activés au démarrage de ceux-ci.

La possibilité de maintenir la production pendant 5 heures après la perte de l'unité de déshydratation du gaz, par injection de méthanol, a été modélisé de manière similaire par un équipement fictif en redondance (E19), activé à l'occurrence d'une panne de cette unité.

Le simulateur généré par l'outil a fait l'objet de quelques modifications (directement sur la feuille de calcul) pour lui permettre de calculer les quantités de gaz produites ou brûlées à la torche selon son état courant.

Le fichier Excel du simulateur est disponible par un simple clic de la souris sur l'icône suivant:



Cas-test ARGENO V2

2.4 Résultats

La figure 4 présente les distributions des productions d'huile et de gaz pendant 10 ans, après 2000 simulations.

Architecture

Equipement		Panne			Réparation		
N°	Nom	Loi	Paramètres	Loi	μ	γ	
1	Compresseur LP	EXP	1,16E-04		EXP	0,08	1,80E-04
2	Epurateur LP	EXP	2,18E-05		EXP	0,33	
3	Echangeur LP	EXP	1,24E-05		EXP	0,02	
4	Non maintenance périodique LP	FIX	8,76E+03		FIX	48	
5	Redémarrage LP	FIX	6,00E+00				
6	Compresseur MP PPU	EXP	8,04E-05		EXP	0,14	4,50E-03
7	Moteur MP PPU	EXP	4,83E-04		EXP	0,06	3,00E-03
8	Compresseur MP Nom	EXP	4,92E-04		EXP	0,03	
9	Moteur MP Nom	EXP	9,58E-04		EXP	0,06	
10	Compresseur MP Red	EXP	4,92E-04		EXP	0,03	
11	Moteur MP Red	EXP	9,58E-04		EXP	0,06	
12	Epurateur MP	EXP	2,18E-05		EXP	0,33	
13	Echangeur MP	EXP	1,24E-05		EXP	0,02	
14	Non maintenance périodique MP	FIX	2,63E+04		FIX	120	
15	Redémarrage MP	FIX	6,00E+00				
16	Epurateur	EXP	2,18E-05		EXP	0,33	
17	TEG	EXP	4,00E-04		EXP	0,10	
18	Colonne de déshydratation	EXP	2,76E-05		EXP	0,14	
19	Injection de méthanol	FIX	5,00E+00				
20	Non maintenance périodique colonne	FIX	4,38E+04		FIX	120	
21	Compresseur HP	EXP	7,00E-05		EXP	0,04	4,50E-03
22	Moteur HP	EXP	3,76E-05		EXP	0,02	3,00E-03
23	Epurateur HP	EXP	2,18E-05		EXP	0,33	
24	Echangeur HP	EXP	1,24E-05		EXP	0,02	
25	Non maintenance périodique HP	FIX	2,63E+04		FIX	72	
26	Redémarrage HP	FIX	6,00E+00				

Fonctionnement		
N°	Nom	Condition
1	Compression LP	E1*E2*E3*E4
2	Compression MP	E6*E7*(E8*E9+E10*E11)*E12*E13*E14
3	Déshydratation du gaz	E16*E17*E18*E20
4	Compression HP	E21*E22*E23*E24*E25
5	Compression MP 100%	E6*E7*E8*E9*E10*E11*E12*E13*E14
6	Déshydratation ou méthanol	F3+E19

Figure 1 : Description de l'architecture sous forme textuelle

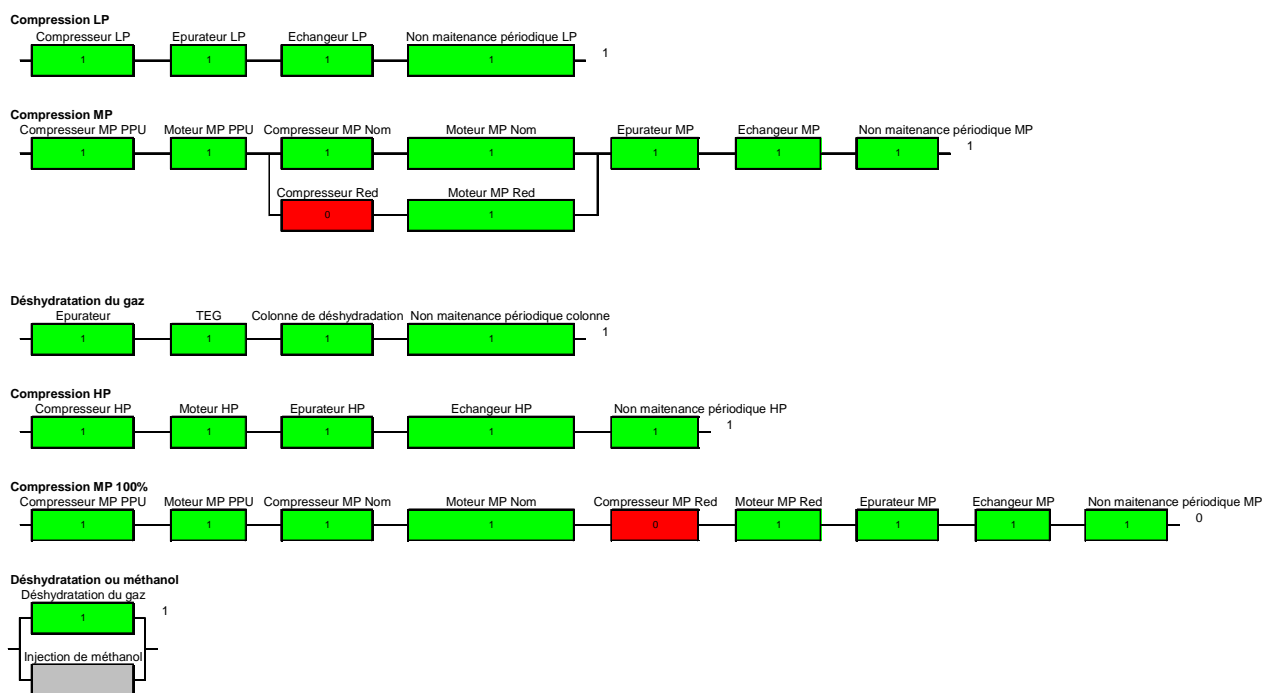


Figure 2 : Bloc Diagramme de Fiabilité (BDF)

	T0	Ti		Tj	DeltaT
	0	14,16		14,59	0,425
Equipements			TTF	TTR	
E1 :	1	1	12824,11		1
E2 :	1	1	3681,37		1
E3 :	1	1	14425,76		1
E4 :	1	1	8760,00		1
E5 :					
E6 :	1	1	6403,97		1
E7 :	1	0		0,43	1
E8 :	1	1	5315,60		1
E9 :	1	1	541,51		1
E10 :	1	1	3330,03		1
E11 :	1	1	995,17		1
E12 :	1	1	23111,15		1
E13 :	1	1	122212,27		1
E14 :	1	1	26280,00		1
E15 :					
E16 :	1	1	193401,89		1
E17 :	1	1	5260,47		1
E18 :	1	1	6661,16		1
E19 :					
E20 :	1	1	43800,00		1
E21 :	1	1	1575,68		1
E22 :	1	1	14555,46		1
E23 :	1	1	8099,54		1
E24 :	1	1	43043,57		1
E25 :	1	1	26280,00		1
E26 :					
Années :	1	1	8745,84		1
Dépassement du quota annuel :	1	1	336,00		1
Fonctions					
F1 :	1				1
F2 :	0				1
F3 :	1				1
F4 :	1				1
F5 :	0				1
F6 :	1				1
Production gaz :	100%	0%			100%
Gas torche :	0	0			0,532
Production cumulée de gaz :	0	17,71			17,71
Production cumulée d'huile :	0	88,53			91,19

Figure 3 : Simulateur comportemental

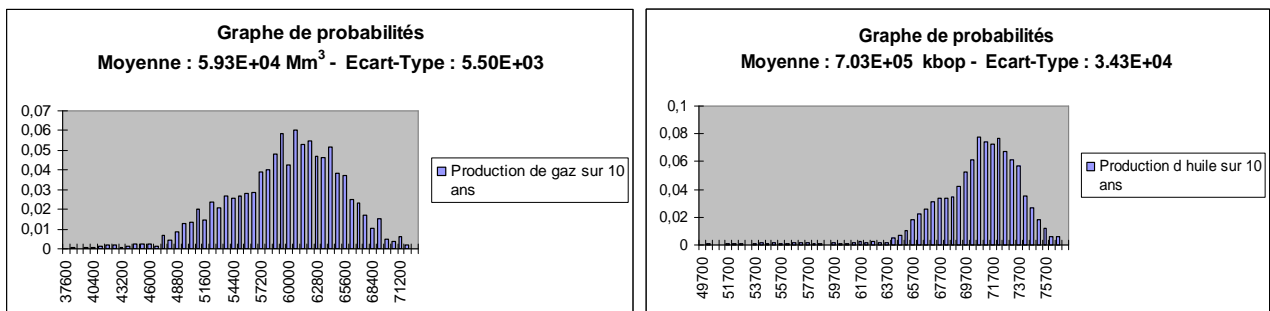


Figure 4 : Production de gaz et d'huile produit pendant 10 ans

3 – Proposition d'évolution du cas-test

Afin d'améliorer la représentativité de ce cas-test, il semblerait judicieux de caractériser certaines durées de défaillance par des lois de Weibull (pour tenir compte de phénomènes d'usure) et les durées de réparation par des lois lognormales (un taux de réparation n'ayant pas de sens physique). Le système ne serait plus alors markovien et garderait en mémoire l'historique de certains événements passés lors de chacune des transitions entre états.

De plus, les actions de maintenance préventive pourraient avoir un réel effet sur les matériels, tel qu'un rajeunissement par exemple (remise à neuf de certaines pièces, lubrification, etc.).

Ces actions, non forcément périodiques, pourraient faire l'objet d'une optimisation selon un critère et diverses contraintes, en considérant des données de coût. De même, les caractéristiques de la politique environnementale pourraient être prises en compte comme variables supplémentaires de l'optimisation.

Par ailleurs, la gestion de stocks de rechange pourrait être également considérée.

Enfin, il est vivement conseillé de retirer toute ambiguïté à la formulation de ce cas-test en l'accompagnant notamment d'un Bloc Diagramme de Fiabilité (BDF) correctement renseigné. De nombreuses simplifications pourraient être également envisagées pour faciliter sa compréhension et limiter sa durée de mise en œuvre, en ne se focalisant que sur les réelles difficultés méthodologiques.

En effet, un cas-test doit pouvoir se traiter en quelques heures, ce qui apparaît généralement suffisant pour démontrer l'aptitude d'un outil à résoudre un type de problématique. Au-delà, cela devient de la prestation de service qui ne peut s'envisager gracieusement, notamment pour une petite entreprise.

ANNEXE : CAS-TEST ARGENO – V2

Evaluation et maîtrise de la pollution atmosphérique liée à l'exploitation d'une installation pétrolière

(ARGENO : Aide à la Réduction de Gaz à Effets NOcifs)

FRACTAL SYSTÈME / TOTAL

1. Introduction

Le cas-test de disponibilité de production présenté ci-dessous correspond à un système classique de traitement de gaz installé sur une plate-forme pétrolière.

Les autres éléments de l'installation n'intervenant pas directement sur la production de gaz ont été considérés comme disponibles à 100%.

L'objectif final de ce cas-test est d'évaluer sur 10 ans les quantités de gaz brûlé à la torche et de comparer l'impact de différentes politiques de brûlage sur la disponibilité de la plate-forme et donc sur la production d'huile.

Note : Les profils de production en huile et en gaz sont à prendre en compte dans les calculs (cf. §.7).

2. Description du système

2.1 Description fonctionnelle

Le système qui va servir de base pour les calculs est divisé en quatre parties :

- 1 train de compression LP (traite 5% du gaz produit),
- 2 trains de compression MP en parallèle (traitent la totalité du gaz produit),
- 1 système de déshydratation du gaz (traite la totalité du gaz produit),
- 1 train de compression HP (traite la totalité du gaz produit).

• **Trains de compression**

Chaque train de compression (LP, MP ou HP) est composé des trois éléments suivants :

- 1 compresseur,
- 1 épurateur de gaz,
- 1 échangeur thermique à calendre.

Si l'une des trois unités ci-dessus est indisponible pour cause de défaillance aléatoire ou de maintenance planifiée, alors tout le train est indisponible.

Concernant les compresseurs, leurs caractéristiques sont différentes suivant les sous-systèmes :

Compression	Entraînement du compresseur	Capacité de traitement
LP	A vis	2 Mm3/j (5% de la production MAX)
MP (2 trains)	Turbine à gaz	2 x 20 Mm3/j (50% de la production MAX par train)
HP	Moteur électrique	40 Mm3/j (100% de la production MAX)

• **Déshydratation du gaz**

Ce sous-système est composé des éléments suivants:

- 1 épurateur de gaz,
- 1 glycol regeneration package (TEG),
- 1 colonne de déshydratation de gaz.

Si l'une des trois unités ci-dessus est indisponible, alors la production de gaz peut être maintenue à son maximum pendant 5 heures (en injectant du méthanol dans le système). Passé ce délai, la production doit obligatoirement être arrêtée.

2.2 Schéma général

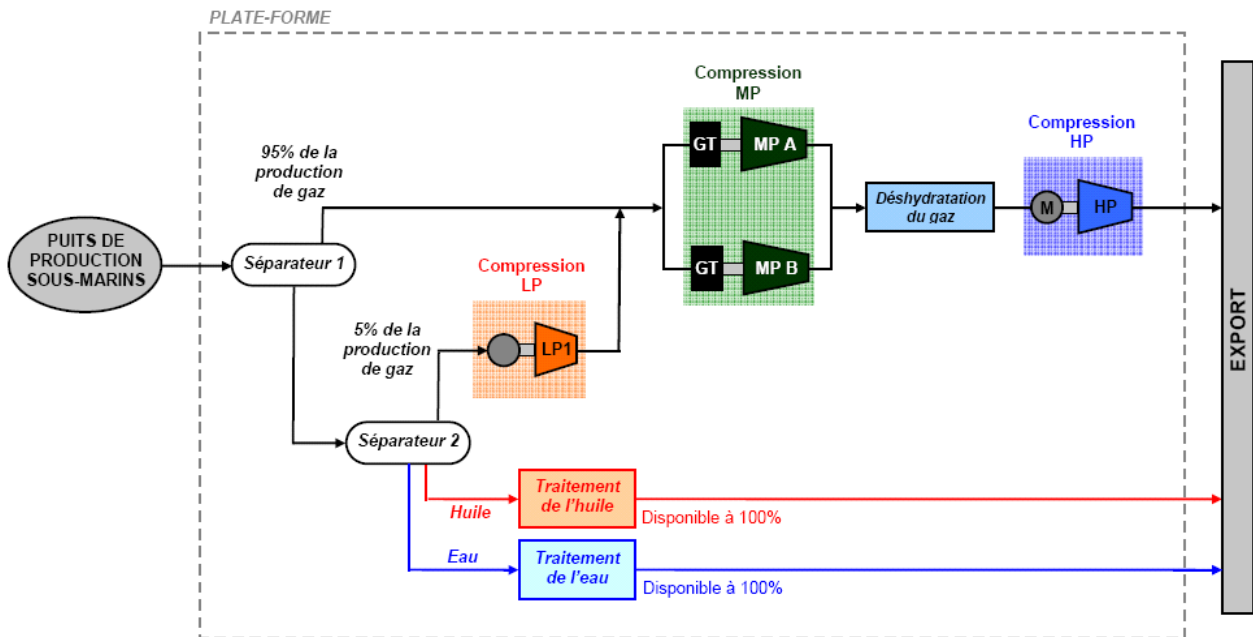


SCHÉMA GÉNÉRAL

3. Défaillances des équipements

3.1 Equipements statiques

Concernant les équipements statiques, un seul mode de défaillance est à prendre en compte : les *défaillances critiques* (défaillances qui engendrent directement l'indisponibilité de l'unité).

3.2 Machines tournantes

Pour ce qui est des machines tournantes non redondantes (ici les compresseurs LP et HP), deux modes de défaillance sont à considérer :

- les défaillances de type *critique* (taux de défaillance $\lambda_{critique} = \lambda_c$) qui engendrent directement l'indisponibilité de l'unité,
- les défaillances à *la demande* (probabilité $\gamma = \gamma$) qui correspondent à une probabilité de défaillance au démarrage.

Pour les machines tournantes redondantes (compresseurs MP), trois modes de défaillance sont à considérer :

- les défaillances de type *critique* (taux de défaillance $\lambda_{critique} : \lambda_c$),
- les défaillances à *la demande* (probabilité $\gamma : \gamma$),
- les défaillances de type *dégradée* (taux de défaillance $\lambda_{dégradé} : \lambda_d$).

Les défaillances dégradées n'engendrent pas l'indisponibilité de l'unité et ne peuvent être réparées que lorsque l'unité redondante est en état de marche.

Note : Le temps moyen de réparation (MTTR) varie en fonction du mode de défaillance.

4. Données opérationnelles

4.1 Temps de redémarrage des trains de compression

Lorsqu'un train de compression est arrêté, un temps de redémarrage de 6 heures est à considérer une fois qu'il est réparé (augmentation linéaire de la capacité de 0% à 100%).

4.2 Maintenance préventive et inspections

Toutes les machines tournantes de l'installation ainsi que la colonne de déshydratation de gaz sont soumises régulièrement à des opérations de maintenance préventive durant lesquelles elles sont indisponibles. Les fréquences et durées de ces interventions sont les suivantes :

UNITE	Type de maintenance	Fréquence	Durée
Compresseur LP	/	Tous les ans	2 jours
Compresseurs MP	Type 1	Tous les ans	1 jour
	Type 2	Tous les 3 ans	5 jours
Compresseur HP	Type 1	Tous les ans	12 heures
	Type 2	Tous les 3 ans	3 jours
Colonne de déshydratation de gaz	Type 1	Tous les ans	2 jours
	Type 2	Tous les 5 ans	5 jours

INTERVENTIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

5. Politiques de brûlage

Différentes limitations et politiques de brûlage vont être maintenant appliquées sur ce cas-test. L'hypothèse principale qui va avoir un impact direct sur la disponibilité de l'installation (et donc sur la production en huile) est la suivante :

Si dans un même temps on a,

- diminution de la capacité de traitement du gaz (pour cause de défaillance aléatoire ou de maintenance planifiée d'un des quatre sous-systèmes)

ET

- impossibilité de brûler le gaz non traité (à cause de la limitation qui a été imposée),
alors la production (huile, gaz et eau) devra être réduite voire stoppée.

5.1 Hypothèses générales

Quelle que soit la politique de brûlage de gaz en vigueur, les hypothèses suivantes sont à considérer :

- Dans le cas où il n'est plus possible de brûler, la production est réduite jusqu'à être alignée sur la capacité de la compression de la plate-forme.
- Le brûlage de gaz pendant les opérations de maintenance préventive est autorisé.
- Pendant la durée de redémarrage des trains de compression de la plate-forme, la totalité du gaz produit est envoyé directement à la torche.

5.2 Politique 1

Autorisation de brûler le gaz produit de manière illimitée.

Il n'y a aucune restriction sur les quantités de gaz brûlées dans le cas de défaillances aléatoires des sous-systèmes de traitement de gaz. Ces défaillances n'ont donc aucun impact sur la production d'hydrocarbures (borne inférieure pour la comparaison des résultats).

5.3 Politique 2

Interdiction de brûler le gaz dans le cas de défaillances aléatoires.

La production d'hydrocarbures est alignée sur la capacité de traitement du gaz. Les pertes dues aux restrictions sur les quantités de gaz rejetées à l'atmosphère sont maximales (borne supérieure pour la comparaison des résultats).

5.4 Politique 3

Autorisation de brûler le gaz produit uniquement pendant les six premières heures de défaillance aléatoires.

En pratique, ces six heures de brûlage permettent éventuellement d'identifier et de réparer les pannes simples (changement d'un capteur, réinitialisation d'une vanne, etc.) sans avoir à arrêter puis à redémarrer la plateforme. Si la défaillance nécessite une réparation plus longue, la production est alors arrêtée.

5.5 Politique 4

Autorisation de brûler le gaz produit uniquement si la durée annuelle de rejet de gaz dans l'atmosphère est inférieure à dix jours (quelle que soit la quantité).

Une fois la durée limite annuelle atteinte, le brûlage du gaz est impossible jusqu'à l'année suivante.

5.6 Politique 5

Autorisation de brûler le gaz uniquement si la quantité annuelle de rejet dans l'atmosphère est inférieure à 420 Mm³ (système d'enveloppe).

Une fois la quantité limite annuelle atteinte, le brûlage du gaz est impossible jusqu'à l'année suivante.

5.7 Politique 6

Autorisation de brûler le gaz uniquement si la quantité de gaz rejeté dans l'atmosphère sur une période glissante d'un an est inférieure à 420 Mm3.

6. ANNEXE I – Données de fiabilité

UNITE	Type de défaillance	Taux de défaillance	MTTR
Machines tournantes			
Compresseur (entraîné par turbine à gaz)	Critique	8.04 10 ⁻⁵ /h	7.2 hrs
	Dégradée	4.92 10 ⁻⁴ /h	33.0 hrs
	A la demande	proba. = 4.5 10 ⁻³	3.0 hrs
Compresseur (entraîné par moteur électrique)	Critique	7.0 10 ⁻⁵ /h	24.6 hrs
	Dégradée	2.81 10 ⁻⁴ /h	16.0 hrs
	A la demande	proba. = 6.710 ⁻³	32.0 hrs
Compresseur (à vis)	Critique	1.16 10 ⁻⁴ /h	13.0 hrs
	Dégradée	2.60 10 ⁻⁴ /h	9.0 hrs
	A la demande	proba. = 1.8 10 ⁻⁴	6.0 hrs
Turbine à gaz	Critique	4.83 10 ⁻⁴ /h	16.9 hrs
	Dégradée	9.58 10 ⁻⁴ /h	17.0 hrs
	A la demande	proba. = 1.6 10 ⁻²	22.0 hrs
Moteur électrique	Critique	3.76 10 ⁻⁵ /h	44.0 hrs
	Dégradée	4.58 10 ⁻⁵ /h	4.0 hrs
	A la demande	proba. = 3.0 10 ⁻³	33.0 hrs
Equipements statiques			
Echangeur thermique à calandre	Critique	1.24 10 ⁻⁵ /h	40.3 hrs
Epurateur de gaz	Critique	2.18 10 ⁻⁵ /h	3.0 hrs
Glycol regeneration package (TEG)	Critique	4.0 10 ⁻⁴ /h	10.0 hrs
Colonne de déshydratation de gaz	Critique	2.76 10 ⁻⁵ /h	7.0 hrs

Note : Les taux de défaillance et les taux de réparation sont supposés constants.

7. ANNEXE II – Profils de production

Années	Production d'huile (kbop/j)
1 et 2	150
2 et 3	200
4 à 7	100
8 à 10	40
Moyenne	112

PROFIL DE PRODUCTION D'HUILE

Années	Production de gaz (Mm3/j)
1 et 2	30
2 et 3	40
4 à 7	20
8 à 10	8
Moyenne	24

PROFIL DE PRODUCTION DE GAZ