

Master Sciences et Techniques
Génie des **M**atériaux et des **P**rocédés

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et
Techniques

Titre
**Réaliser un chantier qualité et maîtrise du procédé
en termes du taux de sulfates libres**

Présenté par:

BELKRAFI Siham

Encadré par :

- M^r. Abdelouahed BOUAYAD
- M^r. Mounir ABOUELFUARIS

Soutenu Le 21 Juin 2013 devant le jury composé de :

- **Mr. Abdelouahed BOUAYAD**
- **Mr. Abdellah OULMEKKI**
- **Mr. Elhadi LAMCHARFI**

Stage effectué à : Group OCP de Safi



Nom et prénom: BELKRAFI Siham

Année Universitaire : 2012/2013

Titre: Réaliser un chantier qualité et maîtrise du procédé en termes du taux de sulfates libres

Résumé

La tendance des entreprises aujourd'hui s'oriente vers l'application d'une démarche d'amélioration continue, en adoptant des systèmes d'assurance qualité, en utilisant des outils et des méthodes de la qualité tant au niveau de la conception que de la réalisation des produits. Le but est de construire un produit de bonne qualité.

Ce travail s'inscrit dans ce cadre et consiste à contribuer à l'étude les différentes difficultés rencontrées pour la maîtrise de la qualité d'acide produit en termes du taux de sulfates libres. Ce rapport qui en présente les principaux résultats sera structuré comme suite.

Dans le premier temps nous avons implanté des sept fondations de la qualité et leur fonctionnement du système dans l'atelier.

Par suite, nous avons calculé la variabilité et la capacité du procédé et variabilité du système de mesure à partir de construction de cartes de contrôle.

Les résultats obtenus ont montré que :

- Les mesures et les analyses de la variabilité du système de mesure sont acceptables.
- le procédé de fabrication d'acide phosphorique produit en terme du taux de sulfates est hors contrôle et incapable.

Pour résoudre ce problème, nous avons construit et mise en place des sept étapes d'un chantier maîtrise des procédés.

Finalement nous avons pu rendre le procédé d'acide produit plus ou moins sous contrôle en termes du taux de sulfates libre et juste capable de produire un acide conforme. Mais cela reste insuffisant : il faut encore améliorer la capacité C_p jusqu'au delà de 1,67 et l'indice de dérèglement C_{pk} jusqu'à 1,33 par d'autres chantiers qualité et maîtrise afin d'atteindre la maîtrise à 6 sigma.

Mots clés : - C_p : l'indice de capacité procédé

- C_{pk} : l'indice de dérèglement

REMERCIEMENTS

Au terme de ce projet de fin d'études, je tiens tout d'abord à adresser mes sincères remerciements à **M^r. MAHROU**, chef de la division Maroc Phosphore I, qui ma a donné la possibilité de réaliser mon travail au sein du service Production Phosphorique.

Mes remerciements également, à mon responsable de stage à l'OCP, **M^r. ABOUELFOARIS**, chef de service Phosphorique ainsi que **M^r. LOUHZ**, ancien chef de service Phosphorique, qui sans eux, ce projet n'aurait pas vu le jour.

Je tiens à remercier mon encadrant **Pr : A. BOUAYAD** qui ma encadré par ses conseils pertinents.

Mes vifs remerciements sont également à **M^r. NAJIH**, chef d'atelier phosphorique, **M^r. KOLLACH** pour leurs collaborations, assistance continues, disponibilités et surtout leurs directives toujours constructives tout au long de mon stage.

Mes remerciements vont aussi à tout le personnel du service Phosphorique pour leurs aides, leurs écoutes et leurs soutiens.

Je tiens à remercier les membres du jury qui m'ont offert la possibilité d'améliorer mes connaissances et tester mon savoir.

Je tiens aussi à remercier cordialement tout le corps professoral et administratif de notre faculté pour leur soutien tout au long de notre formation.

Enfin, à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, qu'ils trouvent ici l'expression de mon profonde gratitude.

SUJET DU STAGE

Dans le cadre de la mise en place d'*OCP production system*, plusieurs chantiers de résolution de problème, de maîtrise de qualité de produit, ont été lancés, et ceci afin de rendre le groupe OCP un leader mondial dans ce domaine.

Dans ce cadre, et suite aux différentes difficultés rencontrées pour la maîtrise de la qualité d'acide produit en terme du taux de sulfates libres, il vous est demandé de :

- Réaliser un chantier qualité et maîtrise des procédés en suivant les étapes suivantes :
 - 1- Implantation des sept fondations de la qualité ;
 - 2- Constructions des cartes de contrôle et leurs utilisations ;
 - 3- Calcul de la variabilité et la capabilité du procédé ;
 - 4- Mesure et analyse de la variabilité du système de mesure ;
 - 5- Construction et mise en place des sept étapes d'un chantier maîtrise des procédés :
 - ✓ Investigation des conditions actuelles ;
 - ✓ Restauration des conditions normales ;
 - ✓ Analyse des variations chroniques incompressibles ;
 - ✓ Réduction et élimination de toutes les causes possibles de variations chroniques ;
 - ✓ Etablissement des conditions pour zéro défaut ;
 - ✓ Maintien des conditions pour zéro défaut ;
 - ✓ Amélioration des méthodes pour maintenir facilement les conditions pour zéro défaut.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

QA : quality assurance
QSE : qualité, sécurité et environnement
ACP : acide phosphorique
ESM : équipement de surveillance et mesure
RPC : responsable du processus concerné
RQSE : responsable de qualité, sécurité et environnement
QM : Q : caractéristique produit
M : machine
MSP : maîtrise statistique des procédés
LA : ligne A
LB : ligne B
LD : ligne D
LSC : limite supérieure de contrôle.
LIC : limite inférieure de contrôle.
IT : intervalle de tolérance.
Ts : tolérance supérieure.
Ti : tolérance inférieure.
Dp : dispersion de production.
Cp : indice de capabilité procédé.
Cpk : indice de dérèglement.
ISO : organisation internationale de normalisation.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : schéma de maroc phosphore 1	5
figure 2 : différentes phases de la production d'acide phosphorique	7
figure 3 : unité de broyage de l'atelier nissan	9
figure 4 : unité de réaction de l'atelier nissan	10
figure 5: unité de filtration de l'atelier nissan	11
figure 6: controle du produit fini et controle du procédé	15
figure 7 : les différentes étendues couvertes selon la marge de maitrise	16
figure 8 : historique des qualités de phosphate valorisées a mp1	17
figure 9 : système de pesage de phosphates	19
figure 10 : différents points d'échantillonnage et d'analyse du taux de sulfates (unité réaction)	23
figure 11 : exemple de carte de controle qu'on utilise a maroc phosphore	24
figure12 : carte de controle de la moyenne du taux de sulfates de Mars 2013	27
figure 13 : carte de controle de l'étendue du taux de sulfates de Mars 2013	27
figure 14 : histogramme de distribution du taux de sulfates de Mars 2013	28
figure 15 : carte de controle des moyennes des données collectées	31
figure 16 : carte de controle des moyennes des données collectées	31
figure 17 : les différentes caracteristiques calculées	33
figure 18 : variation de la moyenne du taux de sulfates en Mars 2013	36
figure 19 : diagramme d'ishikawa pour l'augmentation du taux de sulfates libres	37
figure 20 : répartition du débit d' h_2SO_4 dans la reaction	38
figure 21 : carte de controle des moyennes	41
figure 22 : carte de controle des étendues	41
figure 23 : décentralisation de la moyenne par rapport aux tolérances	42
figure 24 : l'arbre des parametres qm	43
figure 24 : calendrier des taches d'inspection et de controle	45
figure 26 : cartes de controle xbar/R	45

LISTE DES TABLEAUX

tableau 1 : profil contractuel de l'ACP exporte par DIS (qualité normale).....	17
tableau2 : spécifications chimiques du phosphate de la qualite G10	18
tableau 3 : résultats de l'analyse du taux de sulfates dans la bouillie à la sortie de l'unité de réaction.....	26
tableau 4 : résultats de l'analyse du taux de sulfates libres des 15 premières journées du mois de mai	40
tableau 5 : la matrice des paramètres qm.....	44
tableau 6 : les 5 question pour zéro défaut	46

TABLE DES MATIERE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1 : Présentation du group OCP et du procédé de fabrication d'acide phosphorique.....	2
1. APERÇU GENERAL DU GROUPE OCP	3

1.1.	Quelques dates clés.....	
1.2.	Diversification des produits de l'OCP.....	
2.	DESCRIPTION DU POLE INDUSTRIEL : MAROC PHOSPHORE SAFI.....	4
2.1.	Maroc Chimie (IDS/PC).....	
2.2.	Maroc Phosphore I (IDS/PP).....	
2.3.	Maroc Phosphore II (IDS/PM).....	6
2.4.	Infrastructure portuaire de Safi (IDS/PI).....	
3.	PROCEDES DE FABRICATION DE L'ACIDE PHOSPHORIQUE.....	
3.1.	Procédé Nissan.....	7
3.1.1.	Broyage.....	8
3.1.2.	Réaction-Filtration.....	9
CHAPITRE 2: Traitement de		
sujet.....		13
1.	IMPLANTATION DES SEPT FONDATIONS DE LA QUALITE.....	15
<input type="checkbox"/>	Vision & objectifs du système qualité.....	
<input type="checkbox"/>	Les 7 fondations du système qualité.....	16
1.1.	Connaître les caractéristiques produits, normes et tolérances (le catalogue produit)	
1.1.1.	Les procédés NISSAN de RHÔNE POULENC de fabrication de l'acide phosphorique.....	
1.1.2.	Les attentes clients.....	
1.1.3.	Le phosphate utilisé.....	17
1.2.	Gérer les instruments de mesure, leurs étalonnages et leurs vérifications.....	18
1.2.1.	Détermination des équipements de surveillance et mesure à vérifier.....	
1.2.2.	Etablissement du planning de vérification des équipements de surveillance et mesure.....	19
1.2.3.	Vérification des équipements de surveillance et mesure.....	
1.2.4.	Suivi du planning de vérification des équipements de surveillance et mesure.....	20
1.2.5.	Synthèse de suivi des des plannings de vérification des équipements de surveillance et mesure.....	
1.3.	Établir le système de collecte, analyse et traitement des défauts qualité internes : rebuts et retouches, système d'alerte.....	
1.4.	Établir le système de collecte, analyse, traitement des réclamations clients.....	22
1.5.	Établir la matrice QA (quality assurance) de priorisation de TOUS les déchets, défauts, reprises et retouches.....	23
1.6.	Mettre en place le système de contrôle produit/process : plan de surveillance, carte de contrôle.....	23
1.7.	Mise en place des indicateurs, de leur analyse et du système de management de la qualité.....	24
2.	CONSTRUCTIONS DES CARTES DE CONTROLE ET LEURS UTILISATIONS.....	25
2.1.	Tableau des résultats.....	
2.2.	Traçage des cartes de contrôle.....	26
2.3.	Analyse du graphique.....	28
3.	CALCUL DE LA VARIABILITE ET LA CAPABILITE DU PROCEDE.....	
3.1.	Histogramme de la distribution.....	
3.2.	Calcul des indices de capabilité.....	
3.3.	résultat des paragraphes 2 et 3.....	29
4.	MESURE ET ANALYSE DE LA VARIABILITE DU SYSTEME DE MESURE.....	

4.1. Constitution du panel de test.....	
4.2. Réalisation des mesures du panel.....	
4.3. Tracer des cartes de contrôle.....	
X,R.....	30
4.4. Calculer les valeurs de R&R :	32
4.5. Interprétation et analyse :	33
4.6. Conclusion :	34
5. LES 7 ETAPES DU CHANTIER QUALITE	35
5.1. ETAPE 1 : Investigation des conditions actuelles	35
5.1.1 Quel est le problème ? : la méthode QQQPC	
5.1.2 Quelle est la capacité actuelle du procédé ?	36
5.2. ETAPE 2 : RESTAURATION DES CONDITIONS NORMALES.....	
5.2.1. Investigation des paramètres connus avec 4M.....	37
5.2.2. Plan d'action.....	
5.3. ETAPE 5 : ÉTABLISSEMENT DES CONDITIONS POUR 0 DÉFAUT	43
5.3.1. Construire l'arbre des paramètres QM.....	
5.3.2. Construire la matrice QM	44
5.3.3. Développer le plan de surveillance du procédé	
5.4. ETAPE 6 : MAINTIEN DES CONDITIONS POUR 0 DÉFAUT :	46
5.5.L'étape 7 : améliorer les méthodes pour maintenir facilement les conditions pour 0 défaut..	
5.5.1. <u>Mesurer et réduire les temps d'inspection.....</u>	
<u>5.5.2. Optimiser les moyens d'inspections.....</u>	<u>47</u>
5.5.3. Mettre en place des systèmes anti-erreurs.....	
CONCLUSION.....	48

INTRODUCTION GENERALE

La tendance des entreprises aujourd'hui s'oriente vers l'application d'une démarche d'amélioration continue, en adoptant des systèmes d'assurance qualité, en utilisant des outils et des méthodes de la qualité tant au niveau de la conception que de la réalisation des produits. Le but est de construire un produit de bonne qualité.

La statistique a une place essentielle dans ce mouvement qualité par les techniques et la méthodologie qu'elle propose pour aider à une résolution objective, méthodique et rigoureuse des problèmes.

C'est dans cette perspective que s'inscrit mon projet de fin d'études de l'application du chantier Maîtrise Statistique des Procédés au sein de l'atelier phosphorique à Maroc Phosphore 1.

La Maîtrise Statistique des Procédés (MSP) est une discipline qui s'inscrit dans une stratégie de prévention pour améliorer la qualité d'une production. Elle comporte une suite d'analyses comme une réflexion sur le processus, l'identification des caractéristiques significatives du processus et du produit, la validation de l'équipement de production et de son aptitude à fournir ce qu'on attend de lui, et enfin la mise en place de cartes de contrôle.

Dans le cadre de la mise en place d'OCP production system, plusieurs chantiers de résolution de problème, de maîtrise de qualité de produit, ont été lancés, et ceci afin de rendre le groupe OCP un leader mondial dans ce domaine.

Mon travail s'inscrit dans ce cadre et consiste à contribuer à l'étude les différentes difficultés rencontrées pour la maîtrise de la qualité d'acide produit en terme du taux de sulfates libres. Ce rapport qui en présente les principaux résultats sera structuré comme suite.

- Le premier chapitre sera dédié à une présentation générale du groupe OCP, de la division MP1 et des procédés de fabrication de l'acide phosphorique.
- Le deuxième chapitre va traiter le sujet : réaliser un chantier qualité et maîtrise du procédé en terme du taux de sulfates libre.

CHAPITRE 1



PRESENTATION DU GROUPE OCP & DU PROCEDE DE FABRICATION DE L'ACIDE PHOSPHORIQUE

1. APERÇU GENERAL DU GROUPE OCP

Leader mondial sur le marché du phosphate et ses produits dérivés, créé en 1920 en tant qu'office devenu société anonyme en 2008, l'OCP est spécialisé dans l'extraction, la valorisation et la commercialisation du phosphate et ses produits dérivés.

L'OCP a pour mission de maximiser la contribution globale des ressources phosphatières au développement national dans le respect de ses responsabilités sociétales et environnementales.

Ses 90 ans d'expérience dans la mine et 45 ans dans la chimie lui permettent d'offrir l'une des plus larges gammes de roche de phosphate pour divers usages.

L'OCP joue un rôle économique et social important dans les six régions du Maroc où se trouvent ses quatre centres miniers et ses deux centres industriels : Benguerir, Khouribga, Laâyoune, Youssoufia, Jorf Lasfar et Safi. Il y crée richesses et emplois, y dispense des formations, s'y approvisionne ou sous-traite auprès d'un réseau dense d'entreprises locales qu'il contribue parfois à créer [1].

1.1. Quelques dates clés

1920 : Création, le 7 Août, de l'Office Chérifien des Phosphates (OCP)

1921 : Début de l'exploitation minière (Khouribga)

1921 : Première exportation de phosphate (Casablanca)

1965 : Début des opérations chimiques (Safi)

1975 : Création du Groupe OCP

1998 : Début de la production d'acide phosphorique purifié (Jorf Lasfar)

2008 : Le Groupe OCP devient OCP S.A.

1.2. Diversification des produits de l'OCP

L'OCP offre une large gamme de produits adaptée à la diversité des sols et des variétés végétales [2].

Les produits commercialisés

- Phosphate
- Acide phosphorique marchand (H₃PO₄)
- Acide phosphorique purifié (APP)
- Di-Ammonium Phosphate (DAP)
- Triple Super Phosphate (TSP)
- Mono-Ammonium Phosphate (MAP)

Les produits en développement

- Engrais spéciaux

- ✓ **Liquiphos 40** : Formulation ternaire riche en phosphate répondant à des besoins importants en phosphore des cultures maraichères et arboricoles. Utilisé en fertigation et permettant aussi le débouchage des goutteurs grâce à son action acidifiante.
- ✓ **Liquiphos 30** : Formulation équilibrée et acidifiante, destinée à la fertigation des cultures maraichères et arboricoles à différents stades de croissance.
- ✓ **Agrimap** : Engrais acidifiant destiné aux stades de démarrage et de croissance, riche en phosphore et en azote ammoniacal.
- ✓ **NPK** : Trois formules régionales d'engrais NPK destinées à soutenir la productivité du blé dans les régions : Gharb/Saïss, Chaouïa/Tadla et Doukkala.
 - **Compléments d'aliment pour bétail et volaille**
- ✓ Phosphate monocalcique (MCP)
- ✓ Phosphate bicalcique (DCP)

Pour procéder à la fabrication de tous ces éléments, l'OCP doit être bien organisé, et ceci en étant divisé en plusieurs divisions qui sont-elles mêmes composées de différents services et ateliers, l'ensemble de ces parties constitue le pôle industriel du groupe dont fait partie l'usine Maroc Phosphore Safi.

2. DESCRIPTION DU POLE INDUSTRIEL : MAROC PHOSPHORE SAFI

Premier site chimique du Groupe OCP, le complexe de Safi a démarré en 1965 pour valoriser les phosphates de Gantour (région de Yousoufia). Il se compose de quatre divisions: Maroc Chimie, Maroc Phosphore I, Maroc Phosphore II et la division infrastructure portuaire qui assure l'importation des matières premières et l'exportation des produits finis.

2.1. Maroc Chimie (IDS/PC)

La division Maroc Chimie, créée en 1965, est destinée à la valorisation des phosphates et la production de l'acide phosphorique et les engrais TSP. Elle se compose de deux ateliers de fabrication d'acide sulfurique, deux ateliers de fabrication d'acide phosphorique et trois unités d'engrais.

2.2. Maroc Phosphore I (IDS/PP)

Pour faire face à la concurrence mondiale, la division Maroc Phosphore I s'engage à satisfaire les exigences de ses clients en termes de qualité, quantité et délais, elle produit deux qualités d'acide phosphorique : normal et désulfaté.

MPI comporte quatre ateliers principaux :

- **Atelier énergie et fluides**
 - ✓ Cet atelier traite l'eau douce (eau de barrage) avec une capacité de 1.000 m³/h ;
 - ✓ Station de pompage d'eau de mer d'une capacité de 18.000 m³/h ;
 - ✓ Trois groupes turboalternateurs de puissance 43.2 MW.
- **Atelier sulfurique**

Il a été mis en place pour produire l'acide sulfurique nécessaire à l'attaque du phosphate. Il est constitué de :

- ✓ Une unité de fusion et de filtration de soufre de capacité 536 t/h ;
- ✓ Quatre lignes de production d'acide sulfurique de capacité unitaire 1.500 t/j.
- Atelier phosphorique

Il dispose de quatre lignes : A, B, D et F dont le rôle est la production de l'acide phosphorique, selon deux procédés différents:

- ✓ Nissan (lignes A, B, D) ;
- ✓ Rhône-Poulenc (ligne F).

La division comporte aussi un parc de stockage d'acide phosphorique et une unité d'expédition du produit fini (trains).

L'ensemble des ateliers de Maroc Phosphore I est schématisé dans la figure 1 :

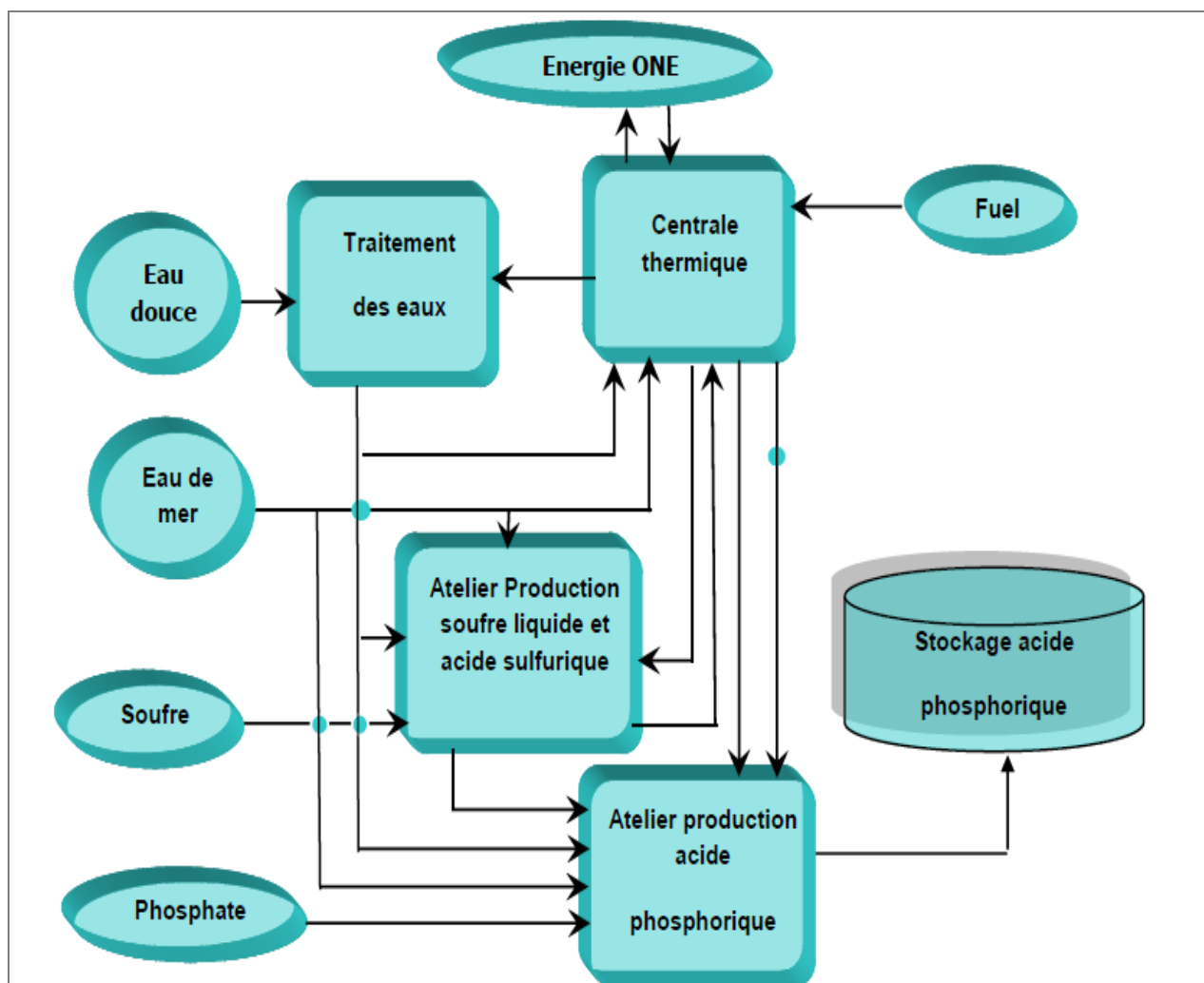


Figure 1 : schéma de Maroc Phosphore I

2.3. Maroc Phosphore II (IDS/PM)

Cette entité a pour rôle de valoriser le phosphate humide provenant de Benguerir. Pour cela, elle dispose d'une laverie de phosphate, de deux ateliers sulfurique et phosphorique ainsi que d'une centrale électrique.

2.4. Infrastructure portuaire de Safi (IDS/PI)

Cette division, située au niveau du port, a pour activité la réception des matières premières et le chargement du phosphate et ses dérivés destinés à l'exportation.

- Matières importées : soufre solide.
- Produits exportés : L'acide phosphorique, les engrais TSP et le phosphate brut.

Comme indiqué précédemment, la production de l'acide phosphorique dans la division MPI suit soit le procédé Nissan soit le procédé Rhône-Poulenc, la différence entre ces deux procédés repose sur le matériel utilisé ainsi que les étapes suivies.

3. PROCEDES DE FABRICATION DE L'ACIDE PHOSPHORIQUE

L'acide phosphorique produit à l'aide de phosphate brut et d'acide sulfurique peut être obtenu à partir de trois procédés différents. Le choix d'un certain procédé dépend de la forme, sous laquelle le sulfate de calcium se présente comme produit final :

- Le procédé di hydrate.
- Le procédé semi-hydrate.
- Le procédé anhydrite.

Dans les trois procédés le phosphate brut est transformé en sulfate de calcium et en acide phosphorique. Le sulfate de calcium peut cristalliser en donnant de différentes teneurs en eau de cristallisation par une modification des conditions de réaction spécifiques. ces conditions de réaction sont fonction de la température de réaction, de la concentration de P_2O_5 dans l'acide phosphorique et de la concentration de l'acide sulfurique.

La figure synthétique suivante donne un aperçu sur les différentes phases de la production de l'acide phosphorique .l'unité de broyage du phosphate et les unités de réaction filtration constituent deux phases indispensables de ce processus (Comme indique la figure ci-dessous). Cet atelier c'est l'objet de mon projet de fin d'études.

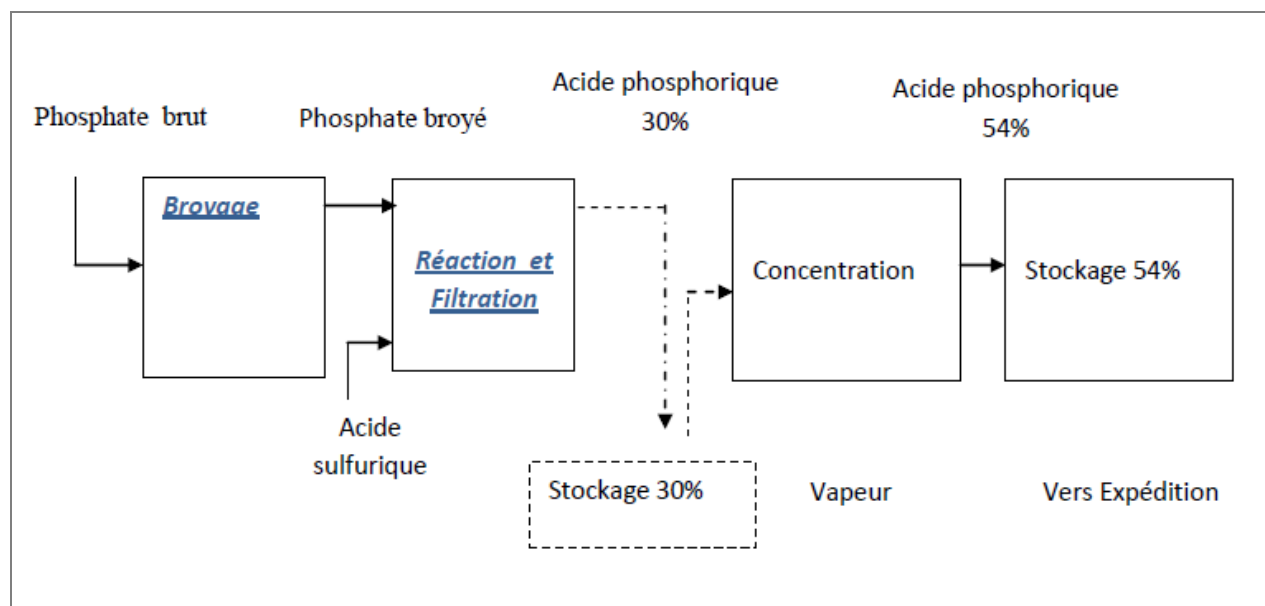


Figure 2 : Différentes phases de la production d'acide phosphorique

Cet atelier constitue l'interface avec le client, car il est conçu pour la fabrication du produit fini l'acide phosphorique, sa production suit un procédé par voie humide qui consiste à l'attaque du phosphate broyé par un acide fort : l'acide sulfurique.

L'atelier phosphorique de la division Maroc Phosphore I contient les principales unités suivantes :

- Une unité de stockage et de manutention de phosphate qui comporte :

- 3 convoyeurs RA, RB et RC d'extraction du phosphate.
- Un Hall de stockage avec une capacité de stockage de 27000 T.
- 39 casques d'alimentation des convoyeurs d'extraction.
- 2 convoyeurs RD et RE de manutention de phosphate brut vers le broyage.
- 3 convoyeurs RF, RF' et RF'' d'alimentation des broyeurs en phosphate brut.

- L'atelier NISSAN.

- L'atelier Rhône Poulenc.

- Une unité de stockage et d'expédition d'acide phosphorique 30% et 54%.

L'atelier contient quatre lignes de production d'acide phosphorique avec une concentration de 54% en P_2O_5 , dont trois lignes suivent le procédé Japonais NISSAN et la quatrième le procédé Français RHÔNE POULENC.

3.1. Procédé Nissan

Dans le procédé Nissan, nous faisons intervenir les étapes suivantes :

- Broyage ;
- Réaction-Filtration-Désulfatation ;
- Concentration d'Acide Phosphorique (CAP) ;
- Stockage d'acide phosphorique.

3.1.1. Broyage

On entend par broyage, la fragmentation d'une substance massive sans en altérer l'état d'agrégation. La composition physique et chimique du produit en résultant peut varier lorsque la substance primitive est hétérogène. Le broyage est un problème énergétique. Il faut de l'énergie pour réduire une matière à une dimension donnée.

L'installation de broyage Nissan, dimensionnée pour une capacité de 100 tonnes par ligne, traite 4893 tonnes de phosphate brut pour une marche de 16 heures par broyeur. Le phosphate stocké dans le hall de stockage est acheminé vers le broyeur à boulets qui contient plus que 80 tonnes des boulets dont un diamètre qui varie entre 30 cm à 40 cm. Son rôle consiste à réduire la granulométrie de phosphate à une finesse comprise entre 70 et 147 μ m. A l'aide d'un ventilateur le phosphate broyé est transporté vers un séparateur dynamique effectuant la sélection. La Sélection est suivant la taille désirée, le reste est recyclé vers le broyeur.

La quantité sélectionnée est envoyée vers les cyclones qui séparent les fines particules des grosses. Ces fines sont transportées vers le silo de stockage. La poussière est aspirée à l'aide d'un ventilateur vers le filtre à manches pour enlever l'excès d'air. Le phosphate récupéré est envoyé vers le silo. Afin d'acheminer le phosphate vers l'élévateur à godets, qui assure le transport de phosphate de silo vers la trémie de la réaction, un système de fluidisation est installé au dessous du silo.

Ainsi l'unité broyage est très coûteuse puisqu'elle consomme beaucoup d'énergie.

- Le broyage du phosphate présente des particularités à savoir :

- Un broyage insuffisant conduit à une attaque très difficile, un temps de réaction très élevé et un rendement plus bas ;
- Un phosphate surbroyé conduit au contraire à un degré de décomposition plus élevé et provoque une attaque très poussée ce qui permet d'augmenter la température et obtenir un semi hydrate plus stable.

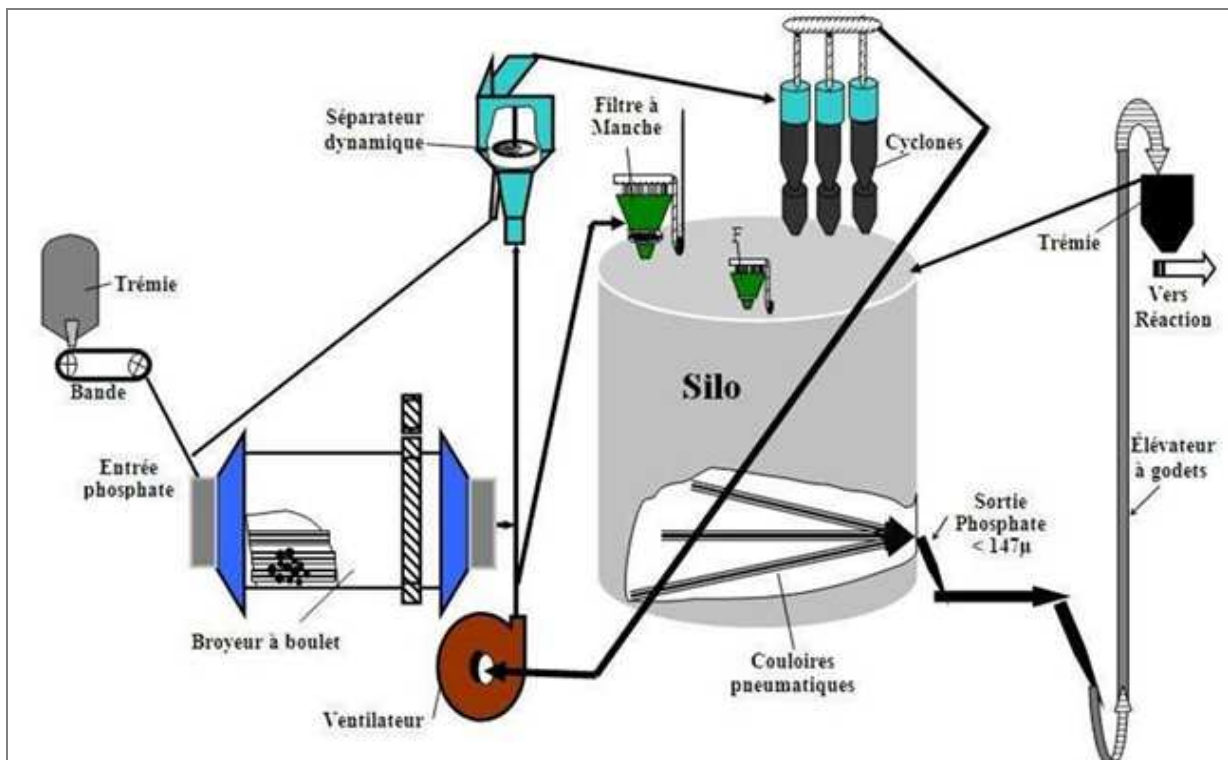


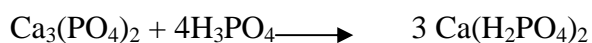
Figure 3 : Unité de broyage de l'atelier Nissan

3.1.2. Réaction-Filtration

➤ Réaction

L'unité de réaction d'acide phosphorique NISSAN, est composée de trois lignes identiques, LA, LB et LD qui sont conçues pour l'attaque du phosphate par l'acide sulfurique par voie humide. Chaque ligne comporte les équipements suivants : deux pré-mélangeurs, deux digesteurs, quatre cristalliseurs et un laveur Korting.

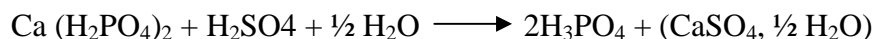
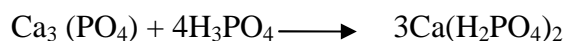
Pré-mélangeurs: C'est un réacteur bien agité de capacité de 10 m³ qui contient la bouillie composée du phosphate broyé, de l'acide sulfurique concentré à 98% et de l'acide de retour H₃PO₄ à 20% en P₂O₅. Son rôle est de transformer le phosphate tricalcique en phosphate monocalcique selon la réaction suivante :



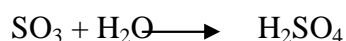
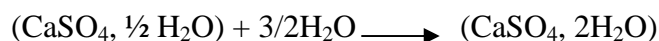
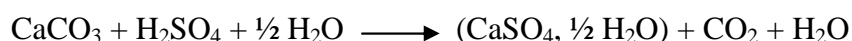
Durant cette réaction la température s'élève à 85°C.

Digesteurs: Ce sont deux cuves agitées et identiques de capacité de 100 m³ dans lesquelles se déroulent les réactions suivantes :

Les réactions principales :



Les réactions secondaires:



La température de la bouillie est de 90°C dans la première cuve et 95° dans la deuxième et le temps de séjour de la bouillie dans ces deux cuves est d'environ 50 min.

Laveur Korting: Les gaz produits lors de la réaction sont éliminés du digesteur grâce à une dépression créée par l'eau de mer, cette dernière sert aussi au lavage de ces gaz et cela se fait dans le laveur Korting. Les gaz aspirés subissent une douche par l'eau de mer, ceux qui sont solubles dans l'eau sont rejetés dans la mer alors que ceux qui ne le sont pas sont saturés par l'eau et rejetés dans l'atmosphère.

Cristalliseurs: La bouillie qui sort de la deuxième cuve de digestion est composée essentiellement d'acide phosphorique, d'acide sulfurique et de gypse sous forme semihydratée (CaSO₄, ½ H₂O).

A ce stade, s'effectue la transformation de l'hémi-hydrate en dihydrate par refroidissement de la bouillie avec l'air apporté à l'aide d'un ventilateur. La cristallisation se fait dans quatre cuves appelées cristalliseurs de capacité identique et égale à 750 m^3 , les cuves sont agitées, disposées en série, reliées par des rigoles et destinées à refroidir la bouillie pour favoriser la formation du gypse dihydrate. La température dans les cristalliseurs est :

- Cristalliseur I : 65°C
- Cristalliseur II : 60°C
- Cristalliseur III : 57°C
- Cristalliseur IV : 55°C

La bouillie passe environ 2h30min dans chacun des cristalliseurs.

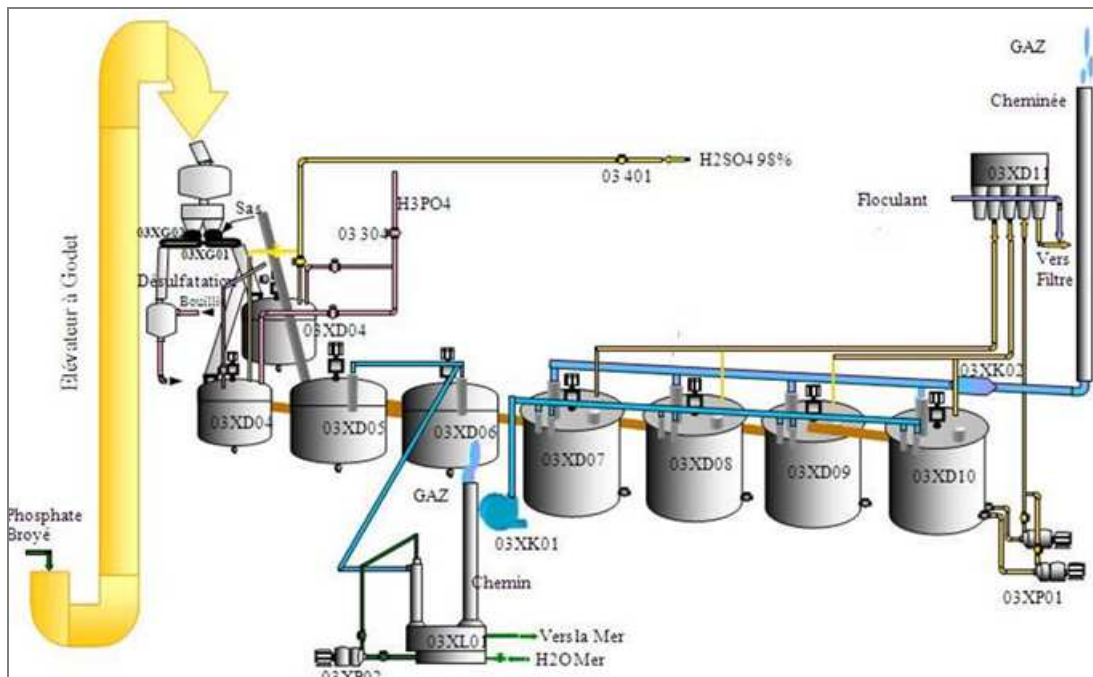


Figure 4 : Unité de Réaction de l'atelier NISSAN

➤ Filtration

Le paramètre le plus important lors de la filtration de la bouillie est la qualité de cette dernière avec une bonne géométrie des cristaux de gypse (macroscopiques). Celle-ci n'est assurée que par le respect des conditions nécessaires lors de processus.

Outre, un lavage efficace des tourteaux de gypse est nécessaire, afin de récupérer aussi largement que possible le P_2O_5 adhérent au gypse sur un filtre à vide « UCEGO » ce qui donne une meilleure efficacité d'extraction. Le filtre est subdivisé en différents secteurs qui sont raccordés à un système commun de mise sous vide. Chaque filtrat est aspiré séparément à l'aide de ce vide et récupéré dans ces compartiments séparés au niveau de la boîte à vide et ainsi que le séparateur.

Le liquide de lavage est constitué de l'eau de procédé (l'eau filtrée) réchauffée, qui est envoyé vers le dernier secteur de lavage (secteur faible).

Grâce au retour successif des filtrats aqueux sur les tourteaux de filtre, la teneur en P_2O_5 augmente dans les filtrats d'un secteur de lavage à l'autre.

Cela signifie que la teneur en P_2O_5 de l'eau de lavage augmente en fonction de la diminution de la teneur en P_2O_5 du tourteau du gypse. Après le premier secteur de lavage, donc après celui qui suit le secteur de filtration, proprement dit, on obtient finalement de l'acide de retour (18 à 22% en P_2O_5) qui est ramené vers les pré-mélangeurs pour l'attaque du phosphate brut.

Avec une formation correcte des cristaux de gypse, on est assuré que lors du lavage du gypse à l'eau, les pertes en P_2O_5 restent faibles et que l'on obtient finalement un rendement maximum en P_2O_5 .

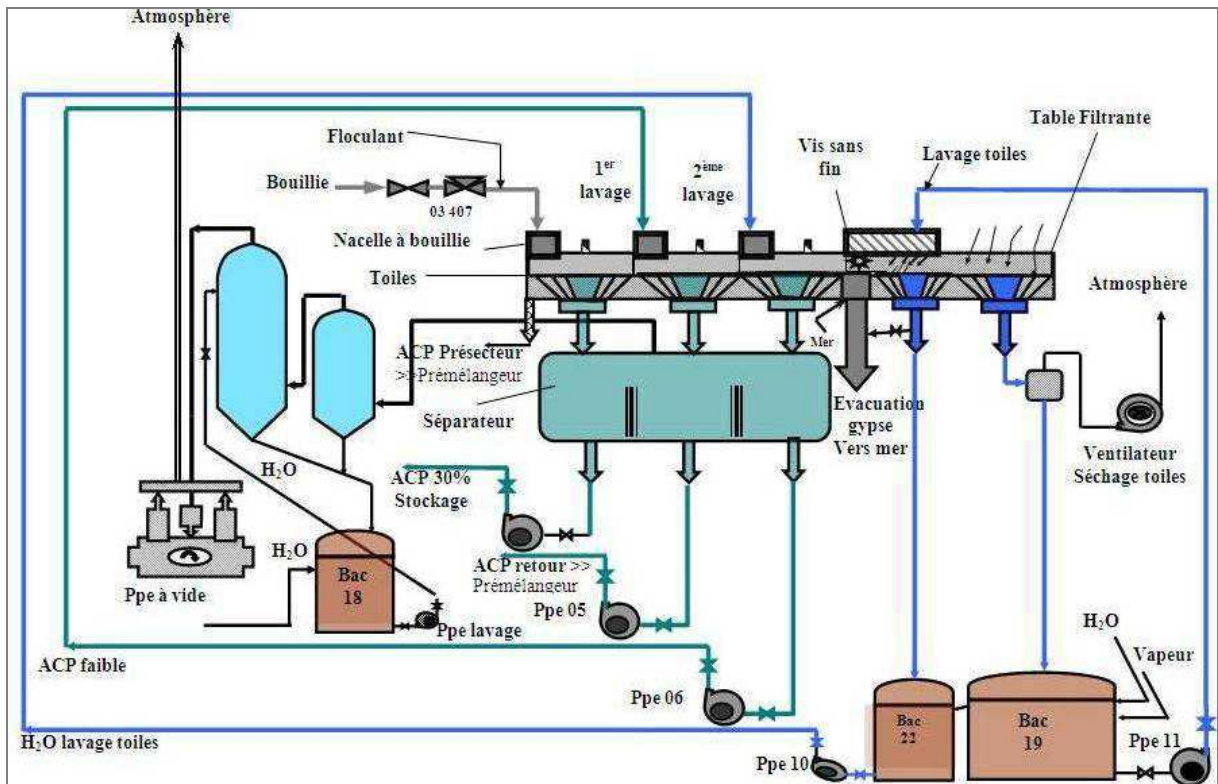


Figure 5: Unité de Filtration de l'atelier NISSAN

CHAPITRE 2



TRAITEMENT DU SUJET

INTRODUCTION

Le groupe OCP a adopté une approche qualité qui permet de fournir des produits conformes aux attentes clients. Il est désormais évident que le changement du contexte économique oblige les entreprises à faire face à une concurrence accrue et à considérer la recherche de la qualité comme une nécessité stratégique.

Les approches qualités ont évolué en passant du contrôle final de conformité des produits dans les années quarante, des méthodes statistiques dans les années soixante et de l'assurance qualité dans les années quatre-vingts, aux méthodes de management de la qualité actuellement et plus précisément la qualité totale.

Dans ce chapitre on va traiter les points de ce sujet, commençant par la mise en place du système qualité (point 1), puis en décrivant les caractéristiques du procédé (points 2, 3 et 4), et finissant par la mise en place des 7 étapes de maîtrise du procédé.

1. IMPLANTATION DES SEPT FONDATIONS DE LA QUALITE

• Vision & objectifs du système qualité

Notre vision c'est de produire et livrer à nos clients externes et internes 100% de produits bons du premier coup par la maîtrise totale de nos procédés.

Les objectifs à atteindre se subdivisent en deux types :

Objectifs stratégiques :

- 0 rebut ;
- 0 reprise ou réparation ;
- 0 réclamation client ;

Et ce afin d'atteindre le niveau d'un coût qualité qui est nulle.

Objectifs du processus qualité (tactiques) :

- Nombre de défauts analysés et maîtrisés dans la matrice QA (Quality Assurance) ;
- Nombre de projets traités à travers les 7 étapes Qualité ;
- Nombre de personnes compétentes sur un sujet spécifique ;
- Nombre de cartes de contrôle Cp Cpk actives ;

La tactique suivie est de contrôler le produit à chaque processus de la production et non jusqu'à la sortie du produit fini (figure -6-). L'objectif est de construire la qualité du produit en détectant les anomalies dans le processus : mieux vaut arrêter la production plutôt que de fabriquer des produits non conforme [5].

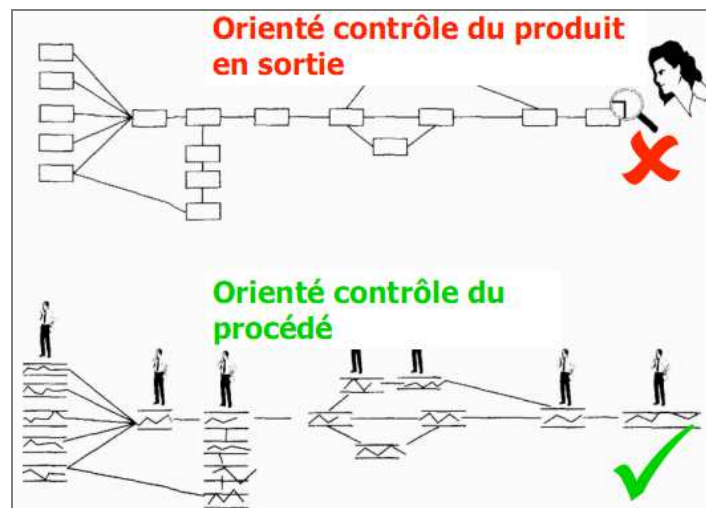


Figure 6 : contrôle du produit fini et contrôle du procédé

La démarche 6 sigma ?

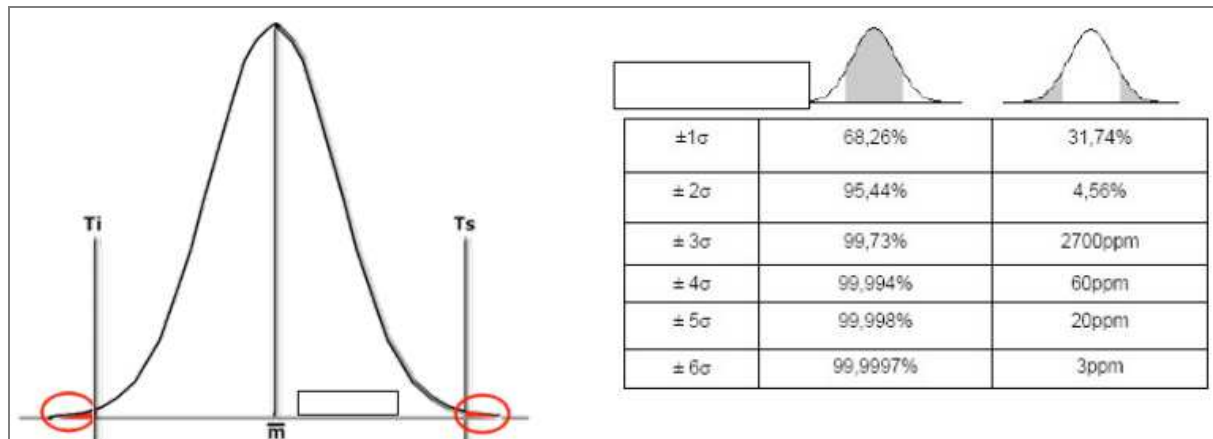


Figure 6 : les différentes étendues couvertes selon la marge de maîtrise

Si un processus est maîtrisé à ± 3 sigma, l'étendue couverte est de 99,73%, soit 0,27% de rebuts ou 2700 ppm (partie par million).

A ± 6 sigma, l'étendue couverte est de 99,9997% soit seulement 3 ppm de déchets/rebuts. Ce qui est le cas de Toyota par exemple.

La démarche 6 sigma, ou ± 3 sigma, consiste à aboutir à un niveau de production qui donne 99,73% des produits finis qui répondent aux exigences clients contre 0,27% seulement de produits non conformes. C'est le but global de la maîtrise du procédé [5].

• Les 7 fondations du système qualité

- 1.1. Connaître les normes applicables, les attentes clients, construire le catalogue produit avec les tolérances ;
- 1.2. Gérer les instruments de mesure, leurs étalonnages et leurs vérifications ;
- 1.3. Établir le système de collecte, analyse et traitement des défauts qualité internes : rebuts et retouches, système d'alerte ;
- 1.4. Établir le système de collecte, analyse, traitement des réclamations clients ;
- 1.5. Établir la matrice QA de priorisation ;
- 1.6. Mettre en place le système de contrôle produit/process : plan de surveillance, carte de contrôle, audit produit/process ;
- 1.7. Mise en place des indicateurs, de leur analyse et du système de management de la qualité: tableau de pilier.

1.1. Connaître les caractéristiques produits, normes et tolérances (le catalogue produit)

Il s'agit d'identifier clairement les attentes du client final, mais aussi les besoins des clients internes. Il faut aussi mettre en place un catalogue produit dans l'atelier à disposition des opérateurs. Il doit définir les attentes et besoin du client :

1.1.1. Les procédés NISSAN de fabrication de l'acide phosphorique

Voir page 7.

1.1.2. Les attentes clients

La division Maroc Phosphore 1 (MP1) produit *l'acide phosphorique de qualité normale*. Les clients demandent ce type de produit qui a les normes suivantes [4]:

PROFIL DE L'ACP Normal	
% P ₂ O ₅	52,5 min
% SO ₃	3,0 max
% CaO	0,2 max
% MgO	1,2 max
% Solide	1,0 max
% Fe ₂ O ₃	0,55 max
% Al ₃ O ₃	0,44 max
% F ⁻	0,45 max
ppm Cl ⁻	160 max

Tableau 1 : Profil contractuel de l'ACP exporté par DIS (qualité normale)

1.1.3. Le phosphate utilisé

Durant les années d'exploitation des phosphates par les ateliers MP1, plusieurs qualités du minerai se sont succédées. Le passage d'une qualité à l'autre se faisait pour des raisons différentes variant d'un phosphate à l'autre. Cependant, les exploitants faisaient des efforts pour s'adapter à chaque qualité avenante en ajustant les paramètres de marche et en agissant sur le procédé (ajout d'équipements ou modification de l'installation existante).

Dimensionnée dans le dessein de valoriser le phosphate Y1 appelé communément le Y1 de Design, la division Maroc Phosphore 1 a vécu, depuis sa création en 1976, la valorisation de sept différentes qualités de phosphates : Y1, Y2, Y23, Y21, Y1C, G20 et G10.

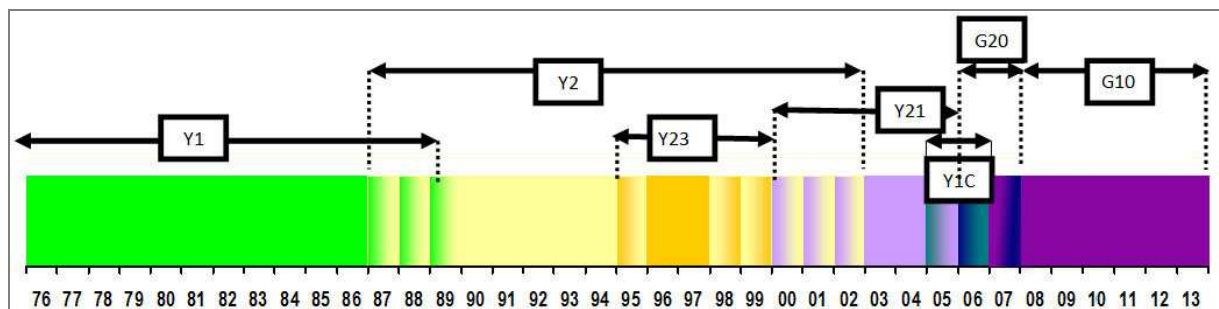


Figure 8 : Historique des qualités de phosphate valorisées à MP1

Actuellement, MP1 reçoit le phosphate G10 : phosphate lavé flotté. Un premier essai de cette qualité a été mené entre le 13 et 30 Avril 2007, afin de palper de plus près les performances susceptibles d'être obtenues lors de sa valorisation [4].

Les spécifications chimiques de la qualité G10 sont les suivantes :

G10		
ELEMENTS	Domaine de variation	Valeurs limites

P ₂ O ₅	(%)	31,12	à	31,58	31,12 min
BPL	(%)	68,00	à	69,00	68,00 min
CO ₂	(%)	5,00	à	6,50	6,50 max
SO ₃	(%)	1,50	à	1,75	1,75 max
SiO ₂	(%)	2,50	à	4,00	4,00 max
CaO	(%)	50,50	à	52,50	52,50 max
MgO	(%)	0,50	à	0,65	0,65 max
Fe ₂ O ₃	(%)	0,11	à	0,18	0,11 min
Al ₃ O ₃	(%)	0,25	à	0,35	0,25 min
Na ₂ O	(%)	0,80	à	1,00	1,00 max
K ₂ O	(%)	0,04	à	0,07	0,07 max
F	(%)	4,00	à	4,50	4,50 max
C- org	(%)	0,25	à	0,35	0,35 max
H ₂ O	(%)	1,50	à	2,00	2,00 max
Cd	(ppm)	6,00	à	15,00	15,00 max
As	(ppm)	3,00	à	10,00	10,00 max
Zn	(ppm)	150,00	à	210,00	210,00 max
U	(ppm)	90,00	à	130,00	130,00 max
Cr	(ppm)	110,00	à	160,00	160,00 max
Cu	(ppm)	20,00	à	25,00	25,00 max
Sr	(ppm)	1500,00	à	1800,00	1800,00 max
Mn	(ppm)	8,00	à	15,00	15,00 max

Tableau 2 : spécifications chimiques du phosphate de la qualité G10

1.2. Gérer les instruments de mesure, leurs étalonnages et leurs vérifications

A cet égard, Maroc Phosphore possède la procédure qui suit, ayant pour objet de décrire la méthodologie et les moyens indispensables pour assurer la maîtrise des équipements de surveillance et de mesure nécessaires à apporter la conformité vis-à-vis des exigences QSE requises.

Cette procédure s'applique à tous les équipements de surveillance et de mesure liés à l'ensemble des processus d'IDS concernés et qui sont listés dans l'enregistrement FO01-PR16-PSP02-IDS/S (annexe 1).

1.2.1. Détermination des équipements de surveillance et mesure à vérifier

Les responsables des processus concernés instruisent le formulaire FO01-PR16-PSP02-IDS/S (annexe 1).

Les listes des ESM à vérifier doivent concerner les ESM ayant une incidence sur la qualité du produit, ainsi que sur le respect des exigences Santé, Sécurité et Environnement.

Ces équipements qui nous intéressent se subdivisent en deux types : instruments de mesure de l'atelier, et autres de laboratoires.

Instruments de mesure de l'atelier :

- Les débimètres ;
- Les capteurs de niveau ;
- Les capteurs de pression ;
- Les thermomètres ;
- Le système de pesage de phosphates sur les bandes :



Figure 9 : système de pesage de phosphates

Instruments de mesure du laboratoire :

- La balance ;
- Le densimètre ;
- La burette ;
- La pipette.

1.2.2. Etablissement du planning de vérification des équipements de surveillance et mesure

Le RPC instruit le formulaire planning de vérification des ESM FO02-PR16-PSP02-IDS/S (annexe 2) en concertation avec le responsable du service Instrumentation ou Laboratoire Central en utilisant l'enregistrement FO01-PR16-PSP02-IDS/S.

Afin de le respecter, ce planning est approuvé par le chef de service Instrumentation ou Laboratoire Centrale de Maroc Phosphore Safi, le PRC et le responsable QSE de l'entité en tenant compte de la fréquence de vérification.

Le planning ne peut être modifié que suite à un changement de fréquence de vérification d'un ESM ou suite à un ajout ou suppression d'un ESM de la liste des ESM à vérifier (FO01-PR16-PSP02-IDS/S).

1.2.3. Vérification des équipements de surveillance et mesure

Selon le planning de vérification périodique ou à la demande de l'entité concernée et ce dans le cas d'un constat d'une dérive de mesure non prévue ; la vérification de ESM se fait en utilisant la fiche de constat de vérification FO03-PR16-PSP02-IDS/S (annexe 3).

A la fin de chaque vérification des ESM, cette fiche de validité de ces ESM est transmise à l'entité concerné pour attribution.

Au cas où un ESM s'avère défaillant, l'entité concernée procède à son changement par un autre vérifié. Par ailleurs, une analyse est effectuée par le responsable du processus concerné pour définir l'impact des mesures. Les analyses affirmant la conformité vis-à-vis des exigences QSE doivent être jointes aux fiches de vérification du ESM en question.

1.2.4. Suivi du planning de vérification des équipements de surveillance et mesure

Le suivi du planning est assuré par le RPC et qui grise la case correspondante à la semaine où la vérification a eu lieu FO02-PR16-PSP02-IDS/S.

1.2.5. Synthèse de suivi des plannings de vérification des équipements de surveillance et mesure

Pour assurer une meilleure maîtrise de métrologie, la synthèse des vérification des ESM est transmise par le RPC au RQSE de l'entité concerné pour vérification et consolidation.

1.3. Établir le système de collecte, analyse et traitement des défauts qualité internes : rebuts et retouches, système d'alerte

De même que le point précédant, MP1 suit une procédure qui définit les modalités et l'autorité pour la détection, l'identification et le traitement des produits non conformes des processus en vue d'assurer :

- La maîtrise du produit, matières premières, réactifs service non-conformes pour empêcher toute utilisation ou livraison non intentionnelle.
- Le traitement du produit non-conforme provenant d'un processus fournisseur pour engager les actions correctives et éviter toute récurrence.
- L'identification, l'enregistrement et l'analyse de la nature et l'étendue de la non-conformité constatée.
- La prise en charge des réclamations des clients internes et engagement des réparations nécessaires et des actions correctives et préventives pour éviter toute récurrence et assurer la satisfaction des clients internes.

Cette procédure s'applique aux produits au sein de la plate forme Maroc Phosphore Safi. Elle est définie comme suit :

➤ Définitions

La non-conformité est la non-satisfaction aux exigences :

- ✓ Spécifiées par client, y compris les exigences relatives à la livraison et aux activités après livraison.
- ✓ Non formulées par client mais nécessaires pour l'usage spécifié ou lorsqu'elles sont connues pour l'usage prévu.
- ✓ Réglementaires et légales pour le produit.

➤ Détection de la non-conformité

- ✓ Une non-conformité est soit détectée par l'entité soit détectée par le client.
- ✓ Toute personne peut détecter une non-conformité et en faire part au responsable du processus concerné.
- ✓ La non-conformité détectée ou transmise est enregistrée sur le formulaire FO01-PR06-PSP02-IDS/SE cadre 1 (annexe 5) et impose son traitement immédiat ou blocage éventuel du produit non conforme à l'utilisation.

Dans le cas où la non-conformité est détectée par un client en interne, une réclamation FO02-PR06-PSP02-IDS/SE (annexe 6) est adressée au fournisseur.

➤ Identification de la non-conformité

- ✓ De manière générale les chefs d'équipe de poste de travail sont les premiers concernés pour la détection de la non-conformité du produit et le blocage des produits mis en jeu.
- ✓ Dès que le formulaire FO01-PR06-PSP02-IDS/SE cadre 1 (annexe 5) est instruit, le responsable de l'entité doit collecter le maximum d'information relative à la non-conformité et remplir le cadre 2 de ce même formulaire (annexe 5).

- ✓ Le produit non conforme est immédiatement identifié.

- Traitement de la non-conformité et amélioration

Le cadre 3 du formulaire FO01-PR06-PSP02-IDS/SE (annexe 5) est instruit.

i. Traitement da la non-conformité

Tout produit non conforme est soumis a un traitement approuvé par le responsable de l'entité, celui-ci décide du traitement du produit non conforme selon les cas suivants :

- ✓ Elimination de la non-conformité : rectification et réparation rendent le produit conforme aux exigences du client, l'ensemble des opérateurs et chefs d'équipes intervenants dans les processus réalisent les opérations de correction et de rectification. Le produit est accepté suite aux opérations de contrôle normale selon le processus laboratoire.
- ✓ Acceptation par dérogation : le responsable de l'entité en accord avec le client juge de la non-conformité est si mineure qu'elle n'aura aucun effet sur son utilisation, ou si la continuité de la production ne peut être assurée sans possibilité de rectification ou incidence négative sur le produit final, pour lequel le client émettra un avis d'acceptation d'une dérogation, le responsable présent décide de maintenir le produit dans les circuits de production, on informe le client immédiatement et instruit la fiche de maitrise du produit non conforme FO01-PR06-PSP02-IDS/SE (annexe 5).
- ✓ Déclassement et mise au rebut : aucun des facteurs ci-dessus n'est possible, et le produit est déclassé. S'agissant de processus à régime continu, cette action signifie l'arrêt de la production jusqu'à rétablissement des exigences des produits. Le responsable du processus concerné est obligatoirement informé de cette décision.

ii. Traitement da l'amélioration

le responsable du processus concerné décide selon le cas des actions à engager et après analyse de la non-conformité :

- ✓ Soit à des corrections et informe par la suite le responsable du processus correspondant,
- ✓ Soit à des actions correctives et/ou préventives en instruisant le numéro de la fiche de l'action selon les modalités de la procédure Amélioration PR05-PSP02-IDS/SE,
- ✓ Soit à des réclamations au prés de ces fournisseurs.

Le responsable du processus concerné par la suite transmet à son fournisseur ou au responsable du processus correspondant une copie de la fiche FO01-PR06-PSP02-IDS/SE (annexe 5) pour nécessaire.

- Contrôle

Un contrôle final est nécessaire pour vérifier si le traitement de la non-conformité a été concluent, autrement un retraitement nouveau est entamé, le responsable processus concerné

(RPC) décide de la clôture de la non-conformité est signe le cadre 3 (en haut à droite) le Chef de Service approuve le clôture de la non-conformité.

➤ Enregistrements

Les descriptions des non-conformités, les analyses, les actions entreprises pour le traitement sont enregistrées. Chaque responsable de processus assure le classement et l'archivage de tous les enregistrements relatifs au traitement des non-conformités suivant la procédure maîtrise des documents et des enregistrements. Les formulaires les fiches de synthèses FO03-PR06-PSP02-IDS/SE (annexe 7) et FO04-PR06-PSP02-IDS /SE (annexe 8) doivent être instruits par les Responsables Processus pour faire état des non-conformités clôturées et celles en cours de traitement, une copie est transmise mensuellement au responsable QSE de l'entité.

1.4. Établir le système de collecte, analyse, traitement des réclamations clients

Notre client direct est la Division Infrastructures située au niveau du port. La procédure de fourniture du produit fini à cette dernière consiste à ce que le produit ne soit vendu qu'après qu'il soit accepté.

Un agent de la Division Infrastructures vient pour analyser l'acide au stockage de notre division afin de valider la conformité du produit. S'il est conforme, la Division Infrastructures achète le produit de la quantité dont elle a besoin et se charge de son transport.

Dans le cas où le produit est non conforme. Il sera refusé dès l'usine de production qui doit corriger les anomalies existantes et respecter les exigences.

Alors dans notre cas de méthode de travail, il ne peut y avoir des réclamations ou litiges clients. Ce qui fait que nous allons passer ce 4^{ème} point des sept fondations du système qualité.

1.5. Établir la matrice QA (quality assurance) de priorisation de TOUS les déchets, défauts, reprises et retouches

Maroc Phosphore utilise déjà ce document (voir annexe 4). Il a pour rôle d'y indiquer tout ce qu'il s'agit des défauts détectés au niveau d'acide phosphorique produit et qui affectent sa qualité.

On y enregistre le type de l'anomalie, les caractéristiques du produit fini qu'on doit respecter, la quantité produite et celle anormale, l'étape où le défaut est détecté, la gravité de l'impact du défaut et le coût total du défaut.

Donc on possède cette matrice pour y enregistrer les différentes anomalies détectées, leurs causes et leurs coûts. Puis on cherche à résoudre les problèmes qui ont causé les défauts, par priorité de ceux qui ont plus d'impact et un coût plus élevé.

1.6. Mettre en place le système de contrôle produit/process : plan de surveillance, carte de contrôle

Mise en place d'un système de contrôle produit/process impliquant des opérateurs au chef de service. Ce plan de contrôle est vivant puisqu'il va être complété par les chantiers qualité.

Maroc Phosphore fait un suivi du taux de sulfates dans la bouillie et dans l'acide phosphorique produit 30% au cours du procédé de production. On construit des cartes de

contrôle (figure -11-) à plusieurs niveaux du procédé : le dernier digesteur (D2), le 1^{er} cristalliseur (C1) et le dernier cristalliseur (C4), comme l'indique la figure -10- :

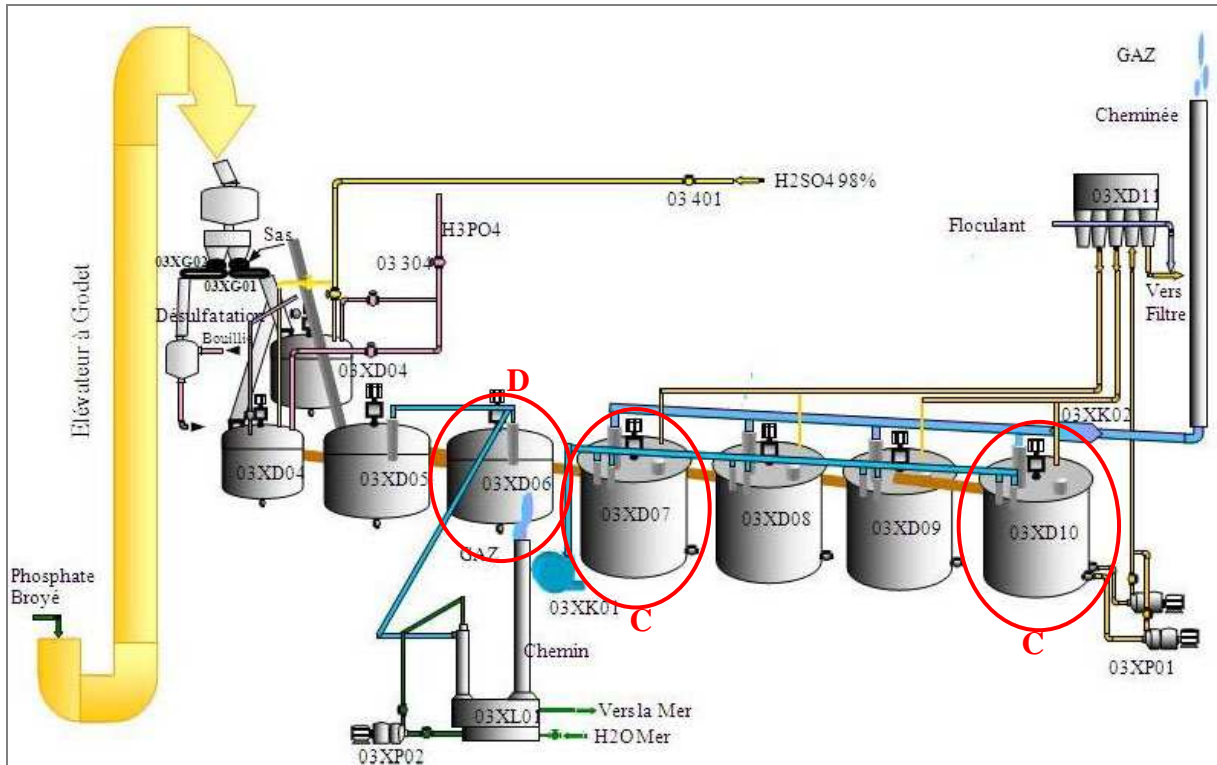


Figure 10 : différents points d'échantillonnage et d'analyse du taux de sulfates (unité réaction)

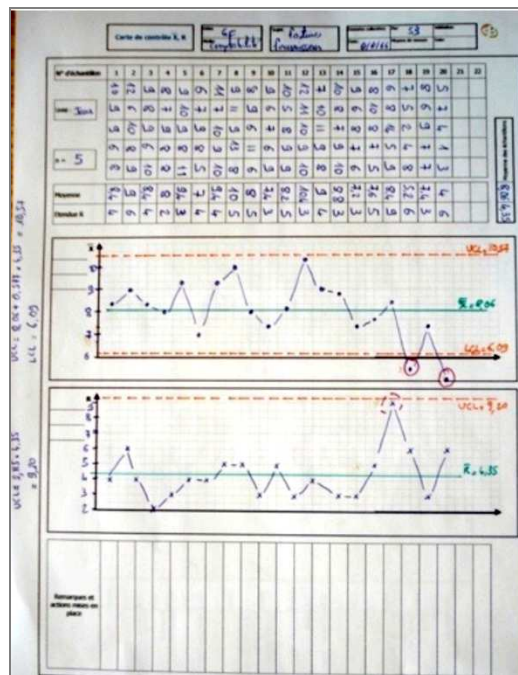


Figure 11 : exemple de carte de contrôle qu'on utilise à Maroc Phosphore

1.7. Mise en place des indicateurs, de leur analyse et du système de management de la qualité

Les indicateurs de performance qualité doivent être mesurés, suivis et analysés : Pilotage du progrès.

A cet égard, Maroc Phosphore 1 rassemble les résultats de la quantité du produit non conforme et de chercher les solutions pour pouvoir faire des corrections. Par exemple si on a une quantité d'acide phosphorique de qualité Normale qui a un taux de sulfates dépassant la norme exigée (3% en SO_3), ce produit ne sera pas accepté par le client et on le corrige par l'ajout d'un acide desulfaté de telle façon à avoir un taux inférieur de 3% en SO_3 . C'est ça le suivi et l'analyse des indicateurs de la qualité d'acide phosphorique.

Donc Maroc Phosphore 1 possède déjà les indicateurs de performance qualité et fait un management du système qualité. Sauf que pour les indicateurs des coûts qualité (coût de la non conformité), il est difficile de les mettre en place, parce-qu'on a besoin de différentes données qui sont complexes. Cette partie est en cours de réalisation.

2. CONSTRUCTIONS DES CARTES DE CONTROLE ET LEURS UTILISATIONS

2.1. Tableau des résultats

Le tableau suivant montre les résultats de l'analyse du taux de sulfates libres dans la bouillie à la sortie de l'atelier de réaction. On fait l'échantillonnage de chaque 2 heures pendant toute la journée, dans le mois de Mars.

Chaque point représente 6 meures successives (12 heures) [6] :

Sous groupe	X1	X2	X3	X4	X5	X6	\bar{X}	R
1	3	3	3,1	3,3	3,6	3,5	3,25	0,60
2	3,4	3,2	3	2,7	2,7	2,5	2,92	0,90
3	2,3	2,4	2,9	3,4	3,3	3,1	2,90	1,10
4	2,9	2,8	2,7	2,8	2,6	2,7	2,75	0,30
5	3,1	3,3	3,3	3,4	3,3	3,2	3,27	0,30
6	3,8	4,1	3,2	3,4	3,5	3,3	3,55	0,90
7	3	3	3,1	3,3	3	2,6	3,00	0,70
8	2,9	2,9	3,2	3,4	3	3,2	3,10	0,50
9	3,1	2,9	2,6	2,1	2,7	3,4	2,80	1,30
10	3,4	3,34	3	2,8	2,5	2,9	2,99	0,90
11	2,2	2,3	2,6	3,1	3,5	3,7	2,90	1,50
12	3,4	3,3	3,5	3,6	3,5	3,2	3,42	0,40
13	2,8	2,5	2,5	3,1	4	3,9	3,13	1,50
14	3,8	3,8	3,6	3,8	3,9	3,5	3,73	0,40
15	3,4	3,3	3,4	3,2	3,1	3,1	3,25	0,30
16	3,3	3,1	3,3	2,8	3,1	3,2	3,13	0,50
17	3	3,1	2,8	2,6	2,7	2,6	2,80	0,50
18	2,4	2,8	3,2	3,5	3,4	3,1	3,07	1,10
19	3,2	3	3	3,1	3,4	3,5	3,20	0,50
20	3,7	3,4	3,4	3,2	3,1	2,9	3,28	0,80
21	2,8	3	3,3	3,4	3	2,7	3,03	0,70
22	3,1	3,4	3	3,1	3,2	3	3,13	0,40
23	3,4	3,2	3,3	3,2	2,7	2,8	3,10	0,70
24	3	3	3,2	2,8	2,7	2,7	2,90	0,50
25	2,4	2,4	2,7	3,1	2,1	2,3	2,50	1,00
26	2,9	3,3	3,6	3,2	3,2	3,2	3,23	0,70
27	3,5	3,4	3,3	3,2	2,5	2,4	3,05	1,10
28	2,5	3	3,3	3	2,9	2,9	2,93	0,80
29	2,6	2,7	2,8	3	3,4	3,3	2,97	0,80
30	3,1	2,8	2,8	2,9	2,7	2,5	2,80	0,60
31	2,2	2,9	3,2	3	2,8	2,5	2,77	1,00
32	2,8	2,9	3,2	3,6	3,5	3,3	3,22	0,80
33	3,5	3,5	3,7	3,6	3,3	2,9	3,42	0,80
34	3,1	3,2	3,5	3,6	3,5	3,3	3,37	0,50
35	3,2	3	3,1	3,4	3,6	3,6	3,32	0,60
36	3,3	3,1	2,7	2,8	2,9	2,6	2,90	0,70
Sous groupe	X1	X2	X3	X4	X5	X6	\bar{X}	R
37	2,4	2,2	2,6	3	3,4	3	2,77	1,20
38	2,8	2,6	2,7	2,7	2,8	3,1	2,78	0,50
39	3	2,8	2,9	2,9	2,8	2,4	2,80	0,60
40	2,8	3,2	3	2,6	2,5	2,6	2,78	0,70
41	2,5	2,4	2,5	3	3,2	3,2	2,80	0,80
42	3	3	3,5	3,2	3,1	2,9	3,12	0,60

43	1,8	2	2,3	2,5	3,5	3,5	2,60	1,70
44	3,4	3,1	2,3	2,4	2,4	2,6	2,70	1,10
45	2,8	3,2	3,3	3,1	3,5	3,3	3,20	0,70
46	3	2,8	2,7	2,8	2,9	3,1	2,88	0,40
47	3,6	3,6	3,5	3,2	2,8	2,7	3,23	0,90
48	3	3,2	3,1	2,8	3	3,2	3,05	0,40
49	2,7	2,9	3,1	2,8	2,7	2,8	2,83	0,40
50	2,8	2,7	3,2	3,2	3	2,8	2,95	0,50
51	2,6	2,6	2,7	2,8	3,2	3,3	2,87	0,70
52	3,1	3,3	3	2,7	2,7	3	2,97	0,60
53	3,4	3,4	3,7	3,6	3,2	3,2	3,42	0,50
54	3,4	3,2	3,1	2,9	3	2,7	3,05	0,70
55	2,9	2,7	2,8	3,2	3,3	3,2	3,02	0,60
56	3	3	2,6	2,4	2,5	2,8	2,72	0,60
57	2,4	2,4	2,4	2,4	2,7	3	2,55	0,60
58	3,3	3,5	2,7	2,5	2,6	3	2,93	1,00
59	3	2,9	2,8	2,8	2,5	2,6	2,77	0,50
60	3	3,1	3,3	3,1	2,8	2,5	2,97	0,80
							$\bar{X} = 3,01$	$\bar{R} = 0,73$

Tableau 3 : résultats de l'analyse du taux de sulfates dans la bouillie à la sortie de l'unité de réaction

2.2. Traçage des cartes de contrôle

- Moyenne des moyennes : $\bar{X} = 3,01$ avec $\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 \dots + x_n}{n}$ et

$$\bar{X} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \bar{X}_3 \dots + \bar{X}_K}{K}$$

- Moyenne des étendues : $\bar{R} = 0,73$ avec $R = X_{\text{Maximum}} - X_{\text{Minimum}}$ et

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 \dots + R_K}{K}$$

-

Ecart type : $\sigma = 0,25$ avec

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

-

Limites de contrôle :

Les limites de contrôle de la carte \bar{X} :

On a : $LSC(\bar{X}) = \bar{X} + (A_2 \times \bar{R})$

D'après l'annexe TABLE A, n = 6 mesure : $A_2 = 0,483$ $LSC(\bar{X}) = 3,01 + (0,483 \times 0,73)$

Idem :

$$LSC(\bar{X}) = 3,37$$

$$LIC(\bar{X}) = \bar{X} - (A_2 \times \bar{R})$$

$$LIC(\bar{X}) = 2,66$$

$$LIC(\bar{X}) = 3,01 - (0,483 \times 0,73)$$

Donc :

Les limites de contrôle de la carte R :

On a : $LSC(R) = D_4 \times \bar{R}$

D'après l'annexe TABLE A, n=6 : $D_4 = 2,004$ $LSC(R) = 2,004 \times 0,73$

Donc : $LSC(R) = 1,46$

Idem : $LIC(R) = D_3 \times \bar{R}$

D'après l'annexe TABLE A, n=6 : $D_3 = 0$ $LIC(R) = 0 \times 0,79$

Donc : $LIC(R) = 0$

Enfin nous traçons les cartes de contrôles (Xbar,R) d'après le tableau des résultats et les calculs précédents :

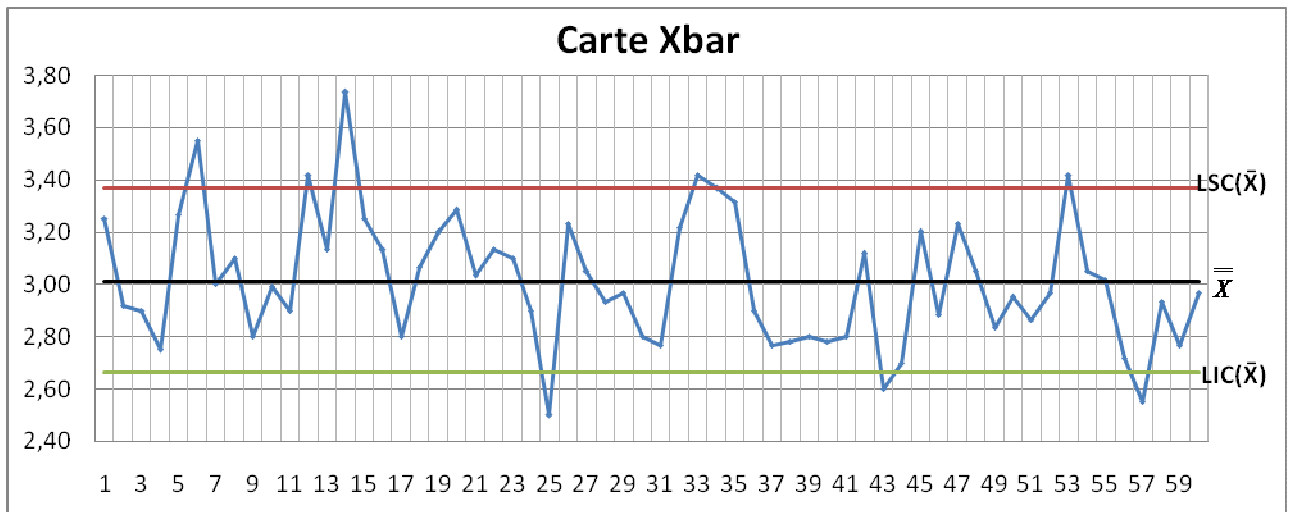


Figure 12 : carte de contrôle de la moyenne du taux de sulfates de Mars 2013

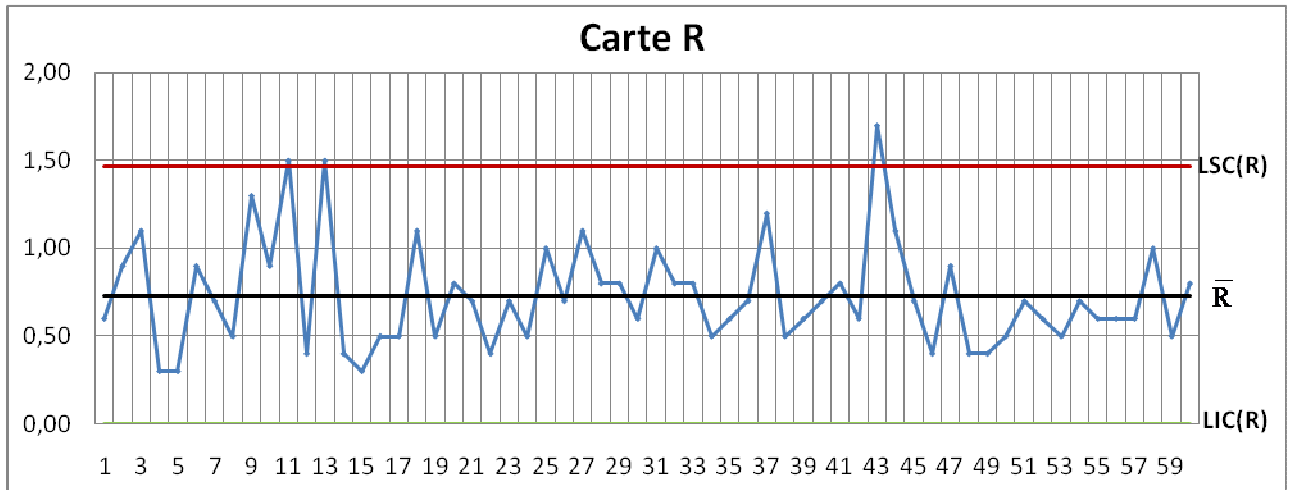


Figure 13 : carte de contrôle de l'étendue du taux de sulfates de Mars 2013

2.3. Analyse du graphique

- Points hors contrôle :
On constate que 8 points ne sont pas inclus entre les deux limites de contrôles. Donc **le procédé est hors contrôle.**
- Test de série :
On remarque une absence de série de 7 point consécutif au dessus ou dessous de la moyenne, descendants ou ascendants, donc il n'y a pas de phénomène de série.

3. CALCUL DE LA VARIABILITE ET LA CAPABILITE DU PROCEDE

3.1. Histogramme de la distribution

On trace l'histogramme de la distribution du taux de sulfates libres d'après le tableau précédent. La figure -14- montre les caractéristiques de la distribution :

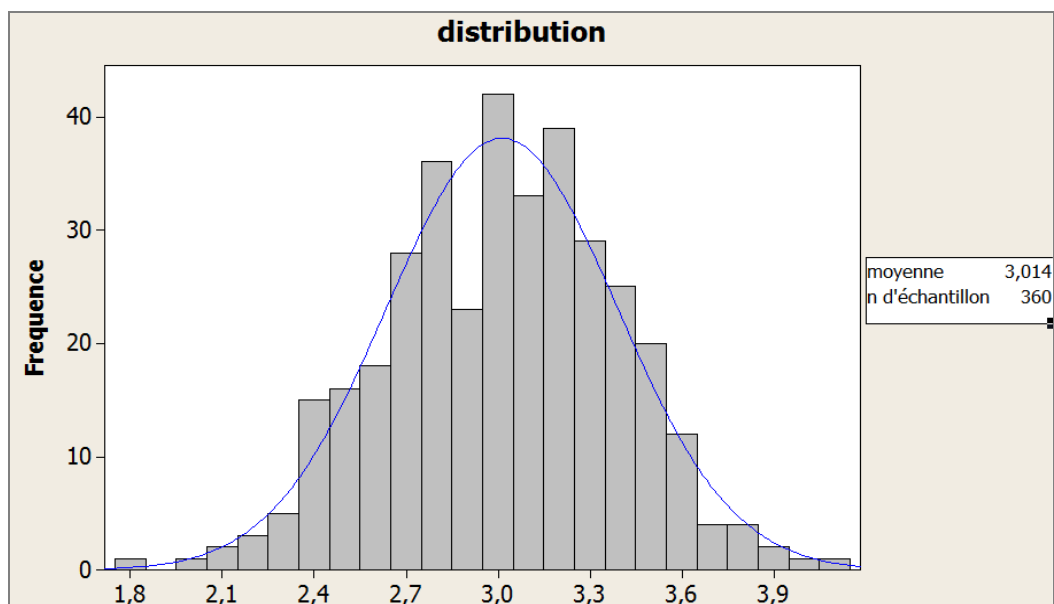


Figure 14 : histogramme de distribution du taux de sulfates de Mars 2013

D'après l'histogramme, on voit que la distribution est centrée autour de la valeur 3% et qu'elle est proche à la loi normale.

3.2. Calcul des indices de capabilité

- Calcul d'indice de capabilité procédé C_p :
L'indice de capabilité procédé (C_p) est normalisé par l'ISO, l'exigence actuelle sur C_p est $C_p \geq 1,67$ [7].

$$C_p = \frac{IT}{Dp} = \frac{T_s - T_i}{6 \cdot \sigma}$$

IT : intervalle de tolérance.

T_s : tolérance supérieure.

T_i : tolérance inférieure.

Dp : dispersion de production.

Alors :

$$C_p = \frac{34-2,2}{6 \times 0,25} = 0,81$$

Donc :

$$0,67 < C_p < 1$$

C_p est insuffisante. En peut déduire que la capacité du **procédé est très faible**.

3.3. résultat des paragraphes 2 et 3

D'après ces résultats et ces calculs on peut confirmer que le procédé de fabrication d'acide phosphorique en termes de taux de sulfates libres est :

- hors contrôle.
- Incapable.

D'où l'intérêt de ce chantier : il faut contrôler tout le procédé, l'analyser et si possible l'améliorer.

4. MESURE ET ANALYSE DE LA VARIABILITE DU SYSTEME DE MESURE

4.1. Constitution du panel de test

Pour mesurer et analyser les sources de variabilité d'un système de mesure, nous allons mettre en place des mesures spécifiques avec :

- P produits : $P = 6$ échantillons
- Chaque opérateur va répéter ses mesures M fois sur les mêmes produits : $M = 2$
- Op opérateurs qui vont reproduire les mesures sur les mêmes P produits : $Op = 4$

$(P \times M \times Op = 48)$ va représenter la taille de l'échantillon à analyser

Puisque : $40 \leq P \times M \times Op < 90$

Donc : la taille est acceptable [5].

4.2. Réalisation des mesures du panel

Nous mesurons chaque produit 2 fois par chaque opérateur dans un ordre aléatoire, sans préparation spécifique, en observant et notant toutes les dérives et influences dans le tableau suivant.

Opérateur 1							
Echantillon	1	2	3	4	5	6	Moyenne
Mesure 1	3,29	3,33	2,27	2,06	2,67	4,23	-

Mesure 2	3,36	3,24	2,66	2,28	2,41	4,28	-
Moyenne \bar{X}	3,325	3,285	2,465	2,17	2,54	4,255	3,007
Etendu R	0,07	0,09	0,39	0,22	0,26	0,05	0,180

Opérateur 2							
Echantillon	1	2	3	4	5	6	Moyenne
Mesure 1	3,43	3,25	2,67	2,12	2,7	4,21	
Mesure 2	3,52	3,32	2,74	2,12	2,99	4,44	
Moyenne \bar{X}	3,475	3,285	2,705	2,12	2,845	4,325	3,126
Etendu R	0,09	0,07	0,07	0	0,29	0,23	0,125

Opérateur 3							
Echantillon	1	2	3	4	5	6	Moyenne
Mesure 1	3,52	3,23	2,73	2,28	2,69	4,44	
Mesure 2	3,6	3,24	2,58	2,28	2,77	4,52	
Moyenne \bar{X}	3,56	3,235	2,655	2,28	2,73	4,48	3,157
Etendu R	0,08	0,01	0,15	0	0,08	0,08	0,067

Opérateur 4							
Echantillon	1	2	3	4	5	6	Moyenne
Mesure 1	3,67	3,46	2,66	2,13	2,78	4,59	
Mesure 2	3,26	3,54	2,81	2,2	2,71	4,52	
Moyenne \bar{X}	3,465	3,5	2,735	2,165	2,745	4,555	3,194
Etendu R	0,41	0,08	0,15	0,07	0,07	0,07	0,142

4.3. Tracer les cartes de contrôle X,R

- La moyenne des moyennes : $\bar{\bar{X}} = 3,121$
- La moyenne des étendues : $\bar{R} = 0,128$
- Les limites de contrôles :

Les limites de contrôle de la carte \bar{X} :

On a : $LSC(\bar{X}) = \bar{\bar{X}} + (A_2 \times \bar{R})$

D'après l'annexe 9 TABLE A, n = 2 mesures : $A_2 = 1,88$

$$LSC(\bar{X}) = 3,121 + (1,88 \times 0,128)$$

Donc : $LSC(\bar{X}) = 3,36$

Idem : $LIC(\bar{X}) = \bar{\bar{X}} - (A_2 \times \bar{R})$

$$LIC(\bar{X}) = 3,121 - (1,88 \times 0,128)$$

Donc : $LIC(\bar{X}) = 2,88$

Les limites de contrôle de la carte R :

On a :

$$LSC(R) = D_4 \times \bar{R}$$

D'après l'annexe 9 TABLE A, n=2 : $D_4 = 3,267$

$$LSC(R) = 3,267 \times 0,128$$

Donc :

$$LSC(R) = 1,42$$

Idem :

$$LIC(R) = D_3 \times \bar{R}$$

D'après l'annexe TABLE A, n=2 :

$$D_3 = 0$$

$$LIC(R) = 0 \times 0,128$$

Donc :

$$LIC(R) = 0$$

Enfin nous traçons les cartes de contrôles (Xbar,R) d'après le tableau des résultats et les calculs précédents :

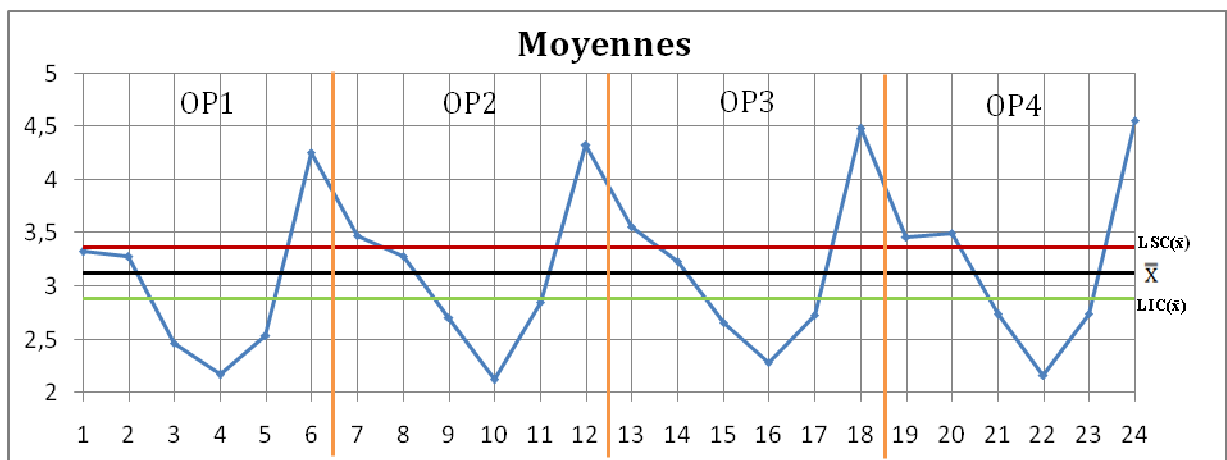


Figure 15 : carte de contrôle des moyennes des données collectées

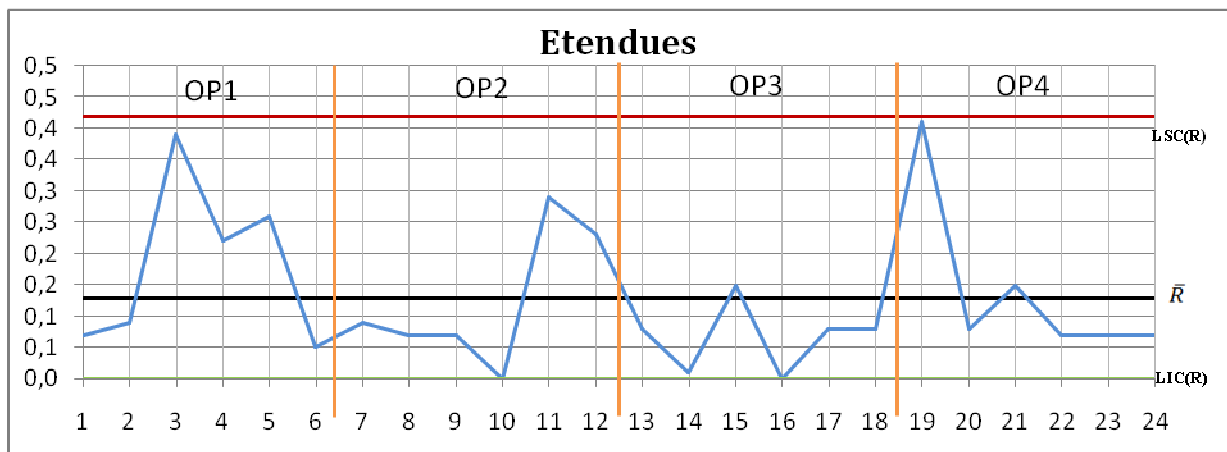


Figure 16 : carte de contrôle des Etendues des données collectées

4.4. Calculer les valeurs de R&R :

Analyse de la méthode de mesure

-

La moyenne des moyennes :

$$\bar{\bar{X}} = 3,121$$

- La moyenne des moyennes des étendues
: $\bar{R} = 0,128$
- L'étendue des moyennes par échantillon
: $R_p = 0,188$
- Le nombre d'échantillon. $n = 6$
- Le nombre de mesure par opérateur.
 $M = 2$

Répétabilité :

On a :

$$EV = \bar{R} \times K1$$

Mesures	K1
2	4,56
3	3,05

D'après le tableau, $K1 = 4,56 / 2$ mesure : $EV = 0,128 \times 4,56$

Donc :

$$EV = 0,58$$

Reproductibilité :

On a :

$$AV = \left[(R_p \times K2)^2 - \left(\frac{EV^2}{nM} \right) \right]^{0,5}$$

Operateurs	K2
2	3,65
3	2,7
4	2,3

D'après le tableau, $K2 = 2,3 / 4$ opérateurs.

$$AV = \left[(0,188 \times 2,3)^2 - \left(\frac{0,584^2}{6 \times 2} \right) \right]^{0,5}$$

Donc :

$$AV = 0,398$$

Répétabilité & Reproductibilité :

On a :

$$R\&R = (EV^2 + AV^2)^{0,5}$$

$$R\&R = (0,584^2 + 0,398^2)^{0,5}$$

Donc :

$$R\&R = 0,73$$

Variation pièce :

On a :

$$PV = R_p \times K3$$

Parts	K3
2	3,65
3	2,70
4	2,30
5	2,08
6	1,93
7	1,82
8	1,74
9	1,67
10	1,62

D'après le tableau : $K3 = 1,93$

/ 6 échantillon.

$$PV = 0,128 \times 1,93$$

Donc :

Variation totale :

$$PV = 4,70$$

On a :

$$TV = (R\&R^2 + PV^2)^{0,5}$$

$$TV = 4,75$$

$$TV = (0,73^2 + 4,70^2)^{0,5}$$

Donc :

Après :



$$\%EV = 100 \times \left[\frac{EV}{TV} \right]$$

$$\%AV = 9,09$$



$$\%AV = 100 \times \left[\frac{AV}{TV} \right]$$



$$\%R\&R = 100 \times \left[\frac{R\&R}{TV} \right]$$

$$\%PV = 98,83$$



$$\%PV = 100 \times \left[\frac{PV}{TV} \right]$$

4.5. Interprétation et analyse :

➤ *Carte de contrôle :*

Sur la carte des moyennes \bar{X} , La variation de mesure est plus petite que la variation produit si la majorité des points est normalement distribuée en dehors des limites de contrôle.

Chaque opérateur donne presque le même profil, et la même valeur moyenne.

Donc Pas d'interaction :

➤ *R&R* :

R&R Représente la quantité de variation attribuée au système de mesure :

On trouve : $R\&R = 15,28 \%$

$10\% \leq R\&R \leq 30\%$ d'après la norme

C'est acceptable pour une amélioration du procédé.

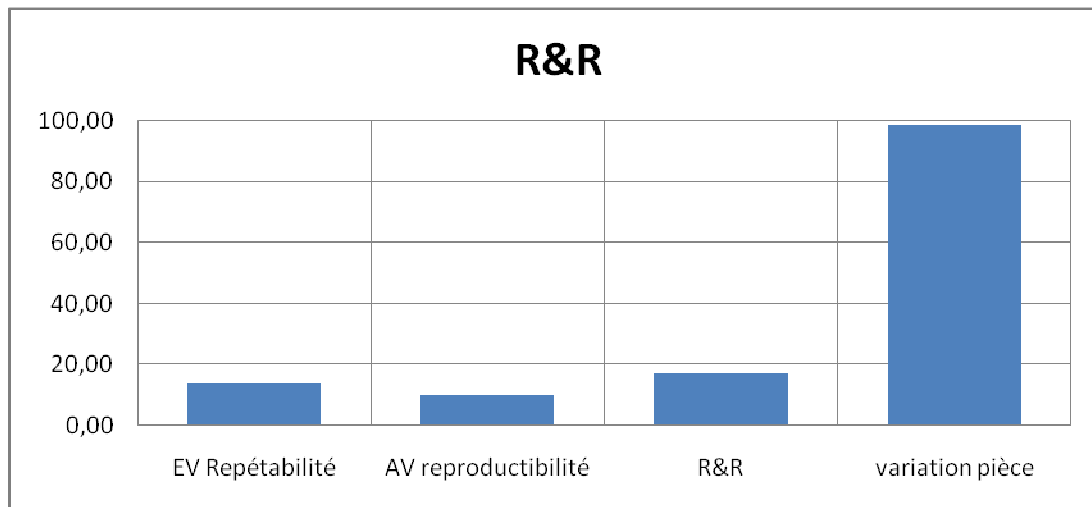


Figure 17 : les différentes caractéristiques calculées

4.6. Conclusion :

Les résultats des analyses montrent un système de mesure qui est acceptable pour une amélioration du procédé, il faut concentrer les efforts sur son amélioration. En d'autre terme, mettre en sommeil le chantier de maîtrise du procédé tant que la mesure n'est pas correct.

5. LES 7 ETAPES DU CHANTIER QUALITE

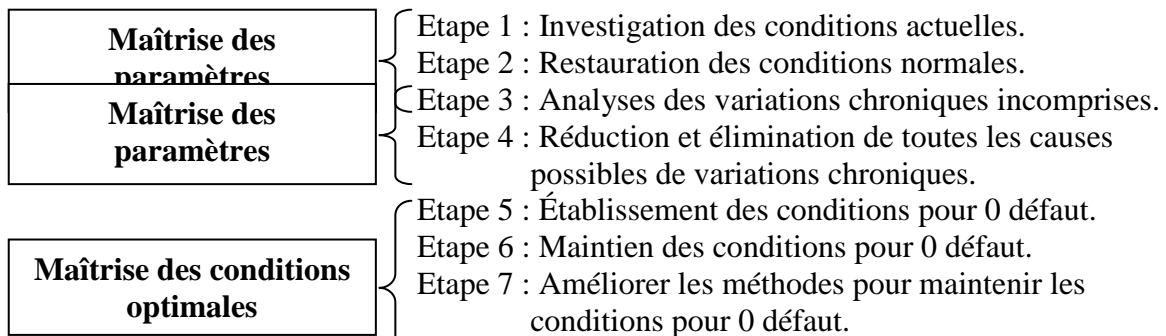
Qu'est ce qu'un chantier de maîtrise d'un procédé ?

C'est un groupe de travail multi-disciplinaire, issu de l'analyse stratégique de la situation, sur une durée définie, organisé qui va appliquer une méthode en 7 étapes.

5 règles essentielles :

- Cesser de tenir compte de priorité : devenir systémique.
- Examiner tous les facteurs possibles.
- Considérer toute anomalie comme non négligeable.
- Préciser les rapports entre les 4M et les exigences qualité.
- Suivre l'évolution des paramètres du procédé à contrôler.

Nous divisons les 7 étapes en 3 catégories :



5.1. ETAPE 1 : Investigation des conditions actuelles

5.1.1 Quel est le problème ? : la méthode QOOQPC

Le QOOQPC est une Technique de recherche d'informations sur un problème et notamment ses causes en se posant des questions afin de repérer les origines du problème.

QUOI ? Grande variation de la moyenne du taux de sulfates dans l'acide 30% produit.

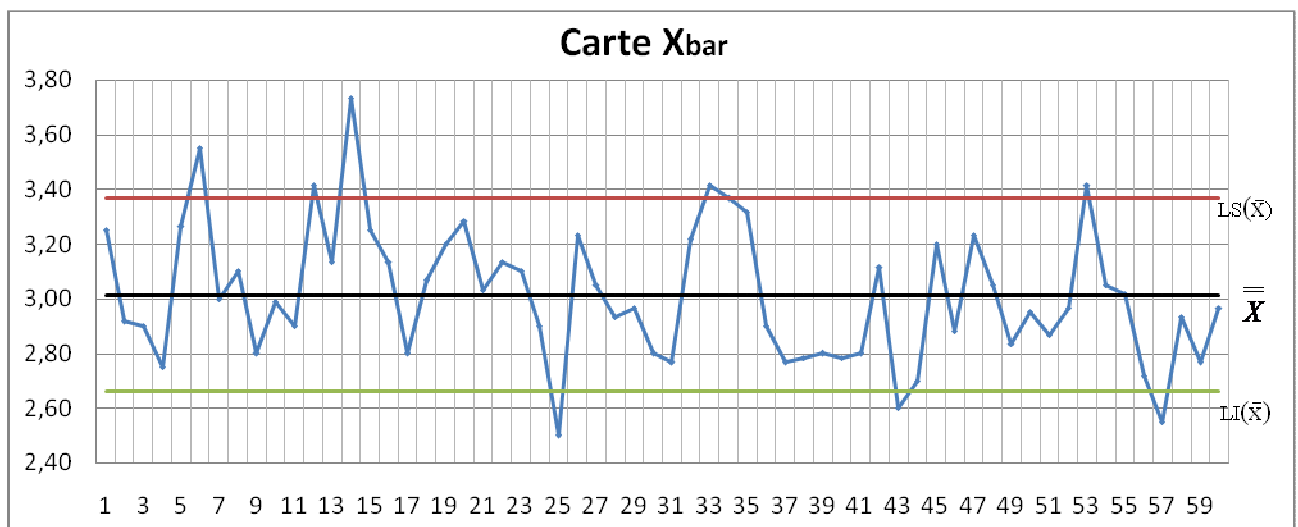


Figure 18 : variation de la moyenne du taux de sulfates en Mars 2013

QUAND ? Phénomène continu, il y a perturbation de la qualité de phosphate (granulométrie), lors des arrêts et démarrage, lors ce qu'il ya des problèmes de fausse indication d'instrument de mesure (débitmètre de phosphate & H₂SO₄, les vannes automatiques).

OU ? Le problème est généré dans l'atelier production d'acide phosphorique, il mesuré au sortie cristalliseur (C4), le phénomène est observé sur C1.

QUI ? Il se peut que se problème soit lié aux opérateurs (non respect des procédures arrêt/démarrage, correction exagérée).

PAR QUEL ? le problème apparait de manière aléatoire, le changement est long, soit le taux de sulfate augmenter, ou diminuer ou reste stable.

COMMENT ? suite a la variation prolongée dans le temps des paramètres(phosphate & H₂SO₄), le taux de sulfate varie selon de cette paramètres.

Le problème est apparu a la suite d'une variété de raison

5.1.2 *Quelle est la capabilité actuelle du procédé ?*

Sur le problème principal choisi, tracer l'histogramme actuel et calculer la capabilité actuelle du procédé à répondre au besoin client:

D'après l'histogramme dans le paragraphe 3.1 de la page 28, on voit que la distribution est centrée autour de la valeur 3% et qu'elle est proche à la loi normale.

Le calcul de la capabilité est mentionné dans le paragraphe 3.2. page 28.

Et on a trouvé : $C_p = 0,66 < 1,67$

En peut déduire que la capabilité est très faible, on va calculer l'indice de dérèglage Cpk.

Et Nous avons aussi trouvé : $C_{pk} = 0,25 < 1,33$

Alors on déduit que le procédé est incapable.

5.2. ETAPE 2 : RESTAURATION DES CONDITIONS NORMALES

5.2.1. *Investigation des paramètres connus avec 4M*

A l'aide du diagramme d'ISHIKAWA (causes à effets), nous avons indiqué les paramètres connus influant sur l'augmentation du taux de sulfates libres dans l'acide phosphorique produit.

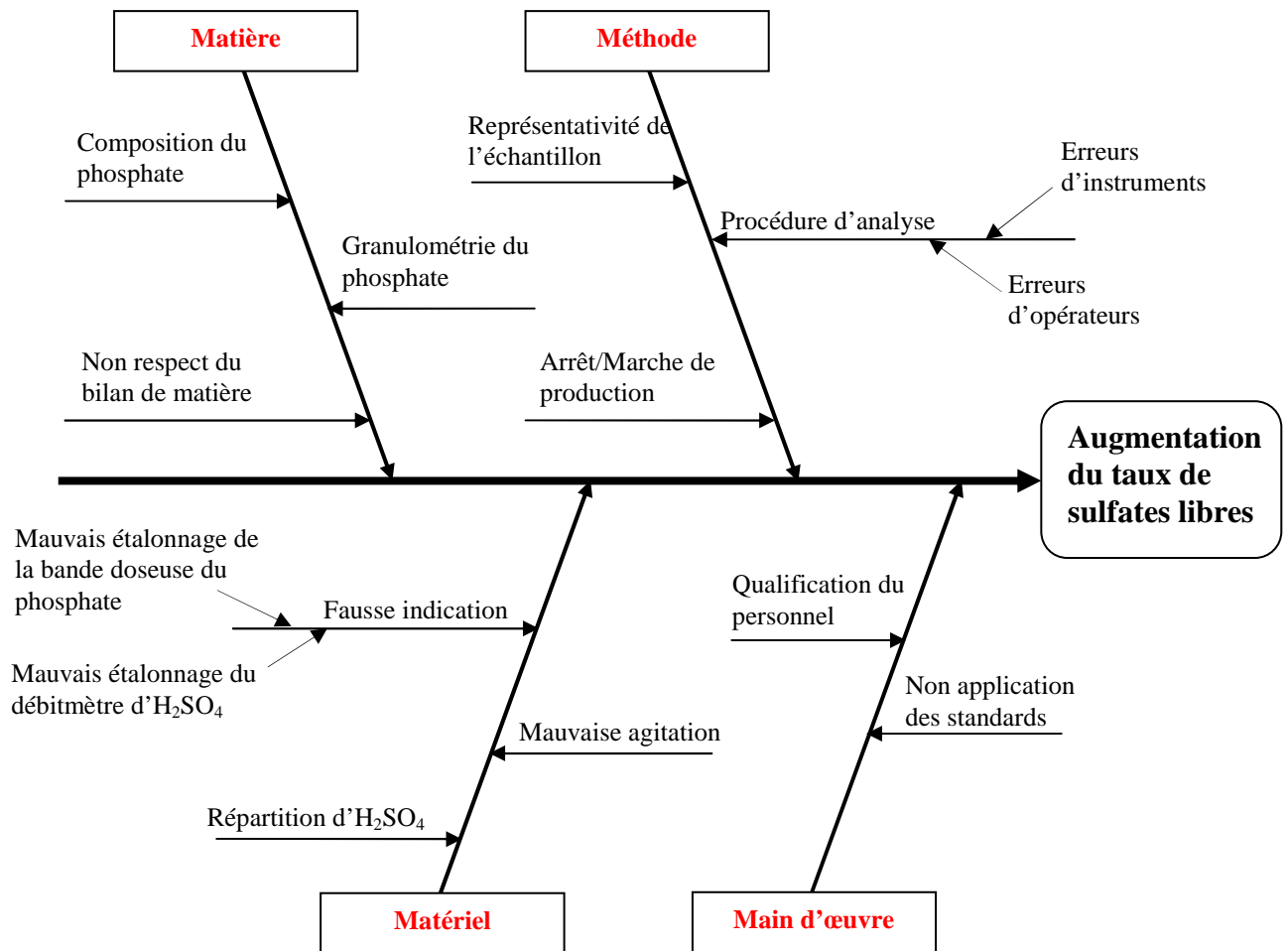


Figure 19 : Diagramme d'ISHIKAWA pour l'augmentation du taux de sulfates libres

5.2.2. Plan d'action

Après la la construction du diagramme d'ISHIKAWA, nous avons réalisé un plan d'action afin d'éliminer le maximum des causes racines. L'application de ce plan d'action va permettre de minimiser les écarts observé du taux de sulfates. Nous avons réparti ce plan d'action selon les 4M :

- **Matière**

- ✓ Respecter le bilan matière : $\frac{Q(H_2SO_4) \text{ (en m}^3\text{/h)}}{Q(\text{phosphate}) \text{ (en T/h)}} = 0.47$ (conditions stoechiométriques),

et le changer seulement pour justifier le taux de sulfates dans la bouillie en gardant un faible excès d'acide sulfurique pour éviter les pertes du phosphate en réaction et garder un taux de sulfates d'environ 3% (en H₂SO₄) pour avoir une bonne filtration.

- ✓ Agir sur le modulateur du séparateur dynamique de l'unité de broyage – qui laisse passer les fines particules broyées et recycle les grandes vers le broyeur – de telle façon qu'il ne sélectionne que les particules qui respectent la norme de marche (granulométrie de 70µm à 147µm).
- ✓ Contacter les centres miniers pour améliorer la qualité du mélange de phosphate extrait. Et ce en respectant le plus possible les caractéristiques et les normes données du phosphate G10.

- **Machine**

- ✓ Respecter les procédures normalisées d'étalonnage des débitmètres et des bandes doseuses pour éviter les fausses indications des cadences des réactifs
- ✓ Améliorer la performance d'agitation par nettoyage régulier des cuves de réactions.
- ✓ Répartir le débit de l'acide sulfurique dans les deux digesteurs (figure -20- cas 1), ou dans le prémélangeur et un digesteur si le 2^{ème} digesteur est hors service (figure -20- cas 2) : un tiers dans la 1^{ère} cuve et deux tiers dans la 2^{ème}.

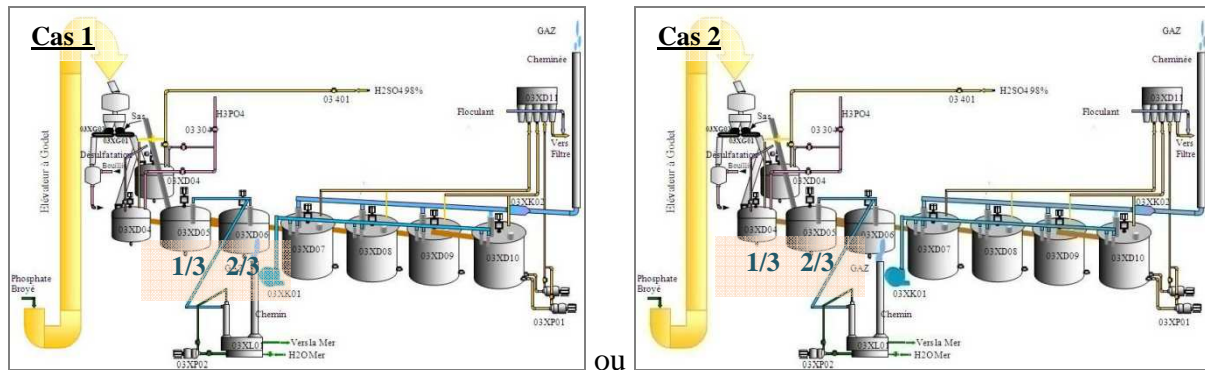


Figure 20 : répartition du débit d' H_2SO_4 dans la réaction

- **Méthode**

- ✓ Respect du mode opératoire normalisé
- ✓ Etalonnage régulier des instruments de mesure du laboratoire et changement régulier des matériels du laboratoire (burette, béchers, densimètre, pipette).
- ✓ Respect de la durée d'utilisation des réactifs et leurs concentrations et l'utilisation des réactifs de bonne qualité.

- **Main d'œuvre**

- ✓ Développement des compétences du personnel.

CONCLUSION DES ETAPES 1 & 2

Après la réalisation des 2 premières étapes du chantier qualité, on peut dire qu'on a mis sous contrôle les paramètres connus.

Nous devons vérifier après ces corrections si on a pu maîtriser le procédé ou pas. On va tracer une carte de contrôle (Xbar,R) récente et c'est elle qui va juger :

- Si elle indique que le procédé est hors contrôle, alors le problème n'est pas encore résolu et on doit maîtriser les paramètres inconnus en suivant les étapes 3 et 4 ;
- Si elle indique que le procédé est sous contrôle alors le problème est résolu et on passe directement à la 5^{ème} étape.

Analyse du procédé au mois de mai (après la maîtrise des paramètres connus)

i. Tableau des résultat

Le tableau suivant montre les résultats de l'analyse du taux de sulfates libres dans la bouillie à la sortie de l'atelier de réaction. On fait l'échantillonnage chaque 2 heures pendant toute la journée, dans les 15 premières journées du mois de mai. Chaque point représente 6 mesures successives (12 heures) [6]:

Sous groupe	X1	X2	X3	X4	X5	X6	\bar{X}	Etendu R
1	3,4	3,5	3,4	3,2	3	2,5	3,17	1,00
2	2,8	3,1	3,1	3,2	3,1	3,1	3,07	0,40
3	2,8	2,7	2,7	2,9	3,2	3,6	2,98	0,90
4	3,5	3,4	2,6	3,3	3,2	3,2	3,20	0,90
5	3	3	2,8	3,4	3,3	3,2	3,12	0,60
6	3	3,2	2,6	2,4	2,8	3,2	2,87	0,80
7	3,4	3,9	3,2	3	2,8	2,7	3,17	1,20
8	3,5	3,3	3,1	3,6	3,5	3	3,33	0,60
9	3	3,2	3	3	3,3	2,9	3,07	0,40
10	2,8	3	3,1	3	3,2	2,7	2,97	0,50
11	3,2	3,1	2,9	2,6	2,4	2,7	2,82	0,80
12	2,9	3,5	3,1	2,9	2,9	3,1	3,07	0,60
13	3,3	3,1	2,4	2,8	3,5	3,4	3,08	1,10
14	3,5	3	2,7	3	2,7	2,7	2,93	0,80
15	3,4	2,6	2,7	3	3,5	3,3	3,08	0,90
16	2,9	2,5	2,7	2,9	3	2,7	2,78	0,50
17	3,1	3,2	2,8	2,9	2,9	2,9	2,97	0,40
18	2,3	2,5	3,1	3,4	3,4	3	2,95	1,10
19	2,3	2,8	2,7	3,2	3,1	3	2,85	0,90
20	3,3	3,5	3,4	3,3	3,2	2,9	3,27	0,60
21	3,4	3,4	3,2	2,9	3,2	3,3	3,23	0,50
22	2,9	2,8	3	2,8	2,3	3,4	2,87	1,10
23	3,5	3,6	3,4	3	2,7	2,9	3,18	0,90

Sous groupe	X1	X2	X3	X4	X5	X6	\bar{X}	R
24	3,3	2,8	2,4	2,4	2,9	3,2	2,83	0,90
25	2,5	2,4	3	3	3,1	3,2	2,87	0,80
26	2,6	2,7	3,1	3,3	3,4	3	3,02	0,80
27	3	3,1	2,8	2,6	2,5	2,4	2,73	0,70
28	4,1	3,6	2,9	2,5	3,1	3,2	3,23	1,60
29	2,6	2,7	2,8	3	3,4	3,3	2,97	0,80
30	3,2	3	3	3	2,9	2,8	2,98	0,40
							$\bar{\bar{X}} = 3,02$	$\bar{R} = 0,78$

Tableau 4 : résultats de l'analyse du taux de sulfates libres des 15 premières journées du moi de mai

ii. Traçage des cartes de contrôle

- Moyenne des moyennes : $\bar{\bar{X}} = 3,02$
- Moyenne des étendues : $\bar{R} = 0,78$
- Ecart type : $\sigma = 0,16$
- Les limites de contrôle :

Limites de contrôle de la carte \bar{X} :

On a :
$$LSC(\bar{X}) = \bar{\bar{X}} + (A_2 \times \bar{R})$$

D'après l'annexe 9 TABLE A, n = 6 échantillons/point : $A_2 = 0,483$

$$LSC(\bar{X}) = 3,02 + (0,483 \times 0,78)$$

Donc :

$$LSC(\bar{X}) = 3,40$$

Idem :

$$LIC(\bar{X}) = \bar{\bar{X}} - (A_2 \times \bar{R})$$

$$LIC(\bar{X}) = 3,02 - (0,483 \times 0,78)$$

Donc :

$$LIC(\bar{X}) = 2,65$$

Limites de contrôle de la carte R :

On a :
$$LSC(R) = D_4 \times \bar{R}$$

D'après l'annexe 9 TABLE A, n=6 : $D_4 = 2,004$

$$LSC(R) = 2,004 \times 0,78$$

Donc :

$$LSC(R) = 1,56$$

Idem :

$$LIC(R) = D_3 \times \bar{R}$$

D'après l'annexe 9 TABLE A, n=6 : $D_3 = 0$

$$LIC(R) = 0 \times 0,78$$

Donc :

$$LIC(R) = 0$$

Enfin nous traçons les cartes de contrôles (Xbar,R) d'après le tableau des résultats et les calculs précédents :

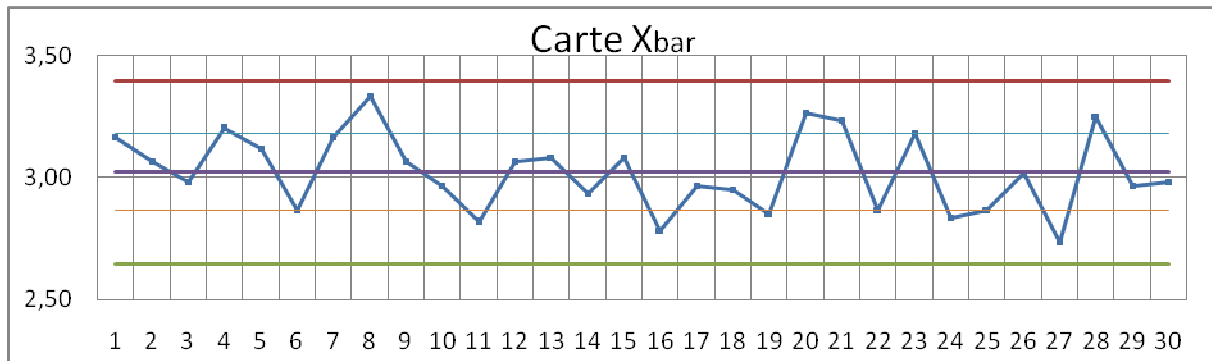


Figure 21 : carte de contrôle des moyennes

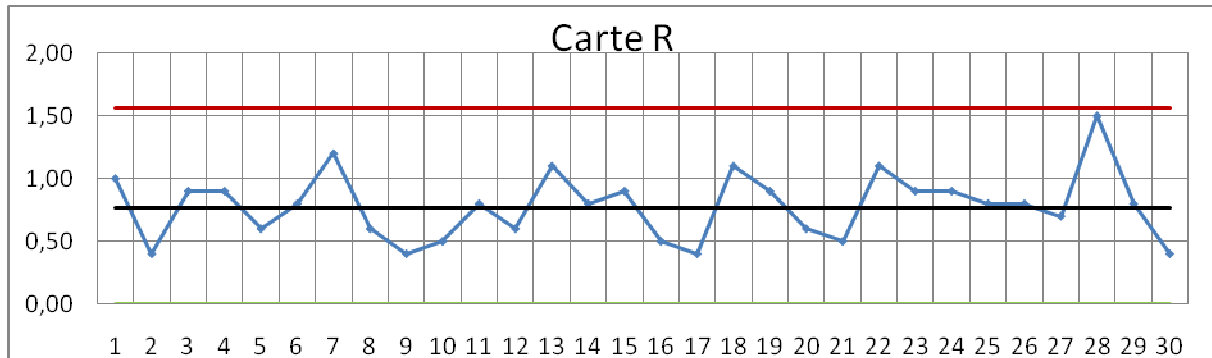


Figure 22 : carte de contrôle des étendues

iii. Analyse du graphique

- Points hors contrôle :
On constate que tous les points sont inclus entre les deux limites de contrôles. Donc **le procédé est devenu sous contrôle.**
- Test de série :
On remarque une absence de série de 7 point consécutif au dessus ou dessous de la moyenne, descendants ou ascendants, donc il n'y a **pas de phénomène série.**
- test de périodicité du procédé :
On compte le nombre N de points d'intersection de la ligne de référence avec le graphique :
 - On trouve $N=17$
 - Donc $N+1=18$
 On compte par la suite le nombre de points au-dessous et au-dessus de la moyenne :
 - Le nombre de points au-dessous : $G=16$
 - Le nombre de points au-dessus : $P=14$
 - D'après l'annexe TABLE B, On a $N(16,14) = 11$
 Puisque $N+1 > N(G,P)$, on dit que le test est positif. Cela nous indique que **notre procédé est stable** [3].

iv. Calcul des indices de capacité

- Calcul d'indice de capabilité procédé C_p :

L'indice de capabilité procédé (C_p) est normalisé par l'ISO, l'exigence actuelle sur C_p est $C_p \geq 1,67$.

$$C_p = \frac{IT}{Dp} = \frac{T_s - T_i}{6 \cdot \sigma}$$

IT : intervalle de tolérance.

T_s : tolérance supérieure.

T_i : tolérance inférieure.

Dp : dispersion de production

Alors :

$$C_p = \frac{3,2 - 2,2}{6 \times 0,16} = 1,06$$

Donc :

$$1,00 < C_p \leq 1,33$$

On en déduit que la capabilité n'est pas suffisamment élevée, mais on peut dire qu'elle est adéquate.

- Calcul d'indice de dérèglement C_{pk} :

$$C_{pk} = \frac{\text{Min}(T_s - \bar{X}, \bar{X} - T_i)}{3 \cdot \sigma}$$

$$C_{pk} = \frac{\text{Min}(3,2 - 3,02; 3,02 - 2,2)}{3 \times 0,16} = \frac{0,18}{3 \times 0,16} = 0,38$$

Donc :

$$C_{pk} = 0,38 < 1,33$$

Alors le procédé reste toujours incapable même si on a amélioré le C_p . On peut expliquer ça par une décentralisation de la moyenne par rapport au milieu de l'intervalle de tolérance comme l'indique la figure ci-dessus.

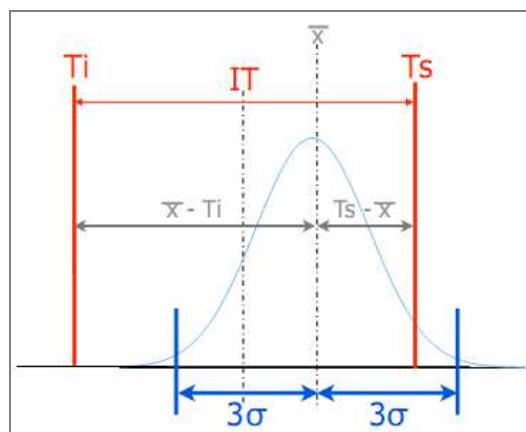


Figure 23 : décentralisation de la moyenne par rapport aux tolérances

5.3. ETAPE 5 : ÉTABLISSEMENT DES CONDITIONS POUR 0 DÉFAUT

5.3.1. Construire l'arbre des paramètres QM

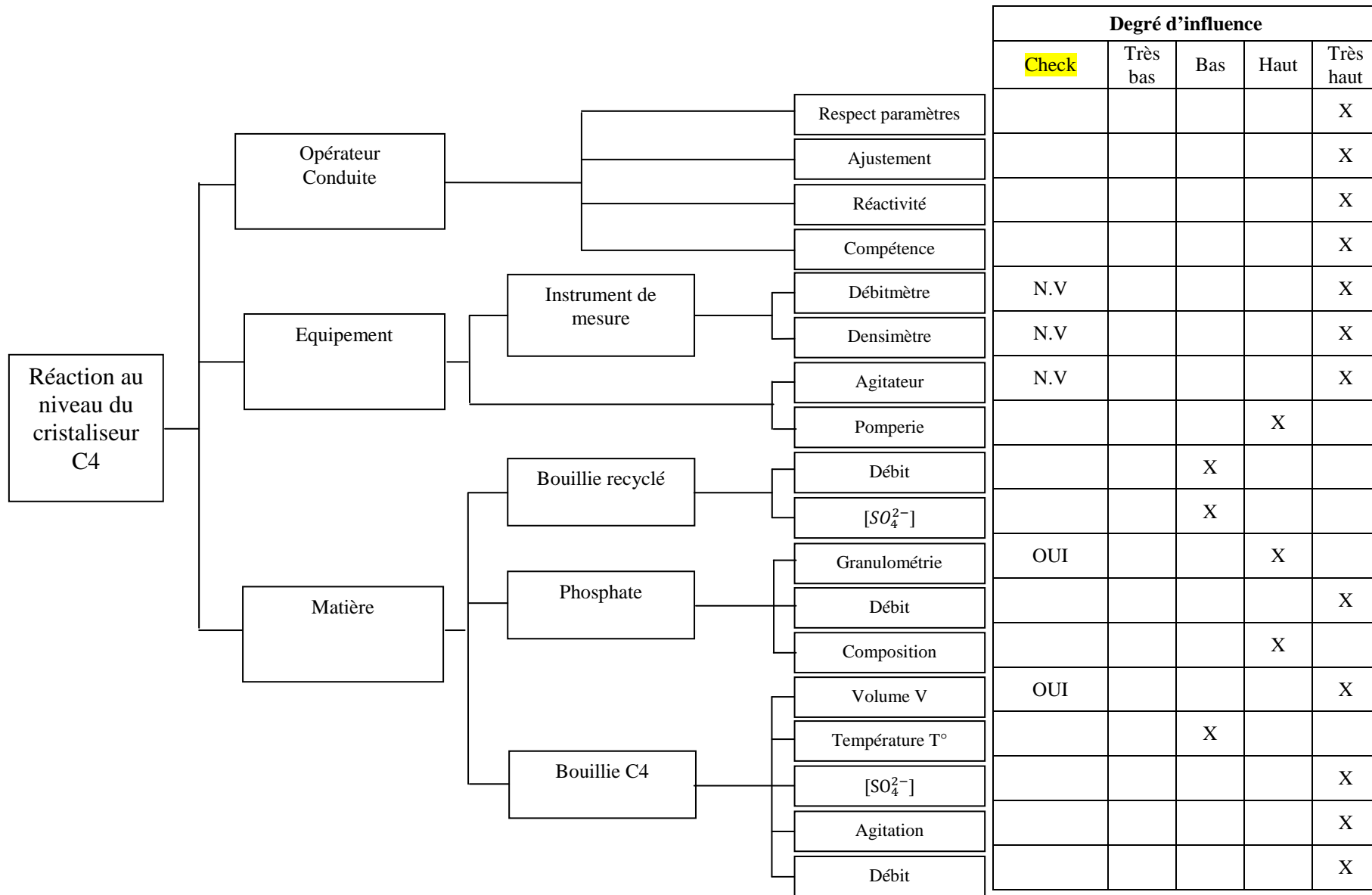


Figure 24 : l'arbre des paramètres QM

Dans l'arbre QM (figure -24-), nous avons mentionné les différents paramètres qui peuvent affecter sur le taux de sulfates dans la bouillie au niveau du dernier cristalliseur C4, dernière cuve de l'unité réaction (juste avant la filtration).

Le but de ce travail est de bien contrôler ces paramètres afin de pouvoir maîtriser le procédé en terme du taux de sulfates libres.

5.3.2. Construire la matrice QM

Matrice QM	Paramètre 1 % SO_4^{2-} -sortie C3	Paramètre 2 % SO_4^{2-} -sortie C4	Paramètre3 Débit bouillie C4	Paramètre4 Volume Bouillie C4	Paramètre 5 Débit H_2SO_4
Paramètres à contrôler (son nom)					
Spécification Valeur nominale Tolérance Unité de mesure	$\pm 0,5$ 2,5-3,5 %	75 60-80 T/h	Par débordement de C3 à C4	750 débordement m^3	35 30-40 m^3/h
Moyen de contrôle Instrument de mesure Précision	Laboratoire	Bande doseuse	Niveaux des bacs	Niveaux des bacs	Débitmètre
Fréquence de contrôle	Chaque heure	Continu	En continu	En continu	En continu
Responsable du contrôle	Laboratoire	Opérateur	Opérateur	Opérateur	Opérateur
Enregistrement du contrôle	Feuille de marche	Feuille de marche	Feuille de contrôle		Feuille de marche
Impact sur les défauts : Points Qualité Evaluation de l'impact sur le défaut : Faible, Moyen, Fort	Très fort	Très fort	Très fort	Très fort	Très fort

Tableau 5 : la matrice des paramètres QM

5.3.3. Développer le plan de surveillance du procédé

Intégrer dans les routines de travail quotidiennes des opérateurs, les contrôles nécessaires à l'élimination des variations des paramètres :

- Standards d'inspection (idem 5S, MA)
- Calendrier des tâches d'inspection
- Check-list de contrôle avec report des valeurs mesurées, feuille de relevés
- Cartes de contrôle

Les standard d'inspection doivent préciser :

- La description de la zone, du matériel, ...
- Le paramètre à contrôler
- La valeur minimum et maximum à respecter
- Les outils et ustensiles nécessaires
- Le temps nécessaire à l'opération
- La périodicité d'inspection

- Le responsable de la tâche

Un calendrier des tâches d'inspection et de contrôle :



Figure 25 : calendrier des tâches d'inspection et de contrôle

Mettre en place des cartes de contrôle (mode surveillance) sur les paramètres les plus influents sur le procédés et les moins stables !

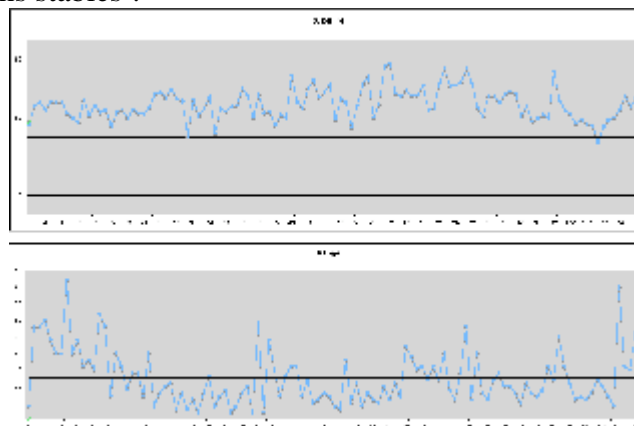


Figure 26 : cartes de contrôle Xbar/R

5.4. ETAPE 6 : MAINTIEN DES CONDITIONS POUR 0 DÉFAUT :

Les 5 questions pour 0 défaut :

5 questions pour 0 défauts				
Paramètres à contrôler (son nom)	Paramètre 1 % SO_2 -sortie C3	Paramètre 2 % SO_2 -sortie C4	Paramètre 3 Effet des ailettes des agitateurs	Paramètre 4 Effet des densimètres
1. Est ce que les paramètres sont clairement définis ? Défini et validé 1 Une méthode de contrôle existe 3 Facile à lire et voir 5	3	3	3	1
2. Est ce que les paramètres sont faciles à régler ? Difficile à régler, manuellement 1 Facile à régler 3 Pré-réglé ou butée positive 5	1	1	3	1
3. Est ce que le paramètre varie ? Pendant la production normale 1 Seulement au démarrage ou réglage 3 Exceptionnellement 5	1	1	5	5
4. Est ce qu'une variation du paramètre est visible ? Difficile à voir ou à contrôler 1 Méthode standard de contrôle existe 3 Est continuellement visible 5	3	3	1	1
5. Est ce qu'une variation est facile à corriger ? Par la maintenance 1 Par un opérateur 3 Automatiquement 5	3	3	1	1
Evaluation totale	11	11	13	9

Tableau 6 : les 5 questions pour zéro défaut

Améliorer la robustesse du procédé par des actions ciblées sur les paramètres qui ont les évaluations les plus basses:

- Adapter les moyens de mesure
- Rendre visible les mesures, les limites et tolérances des paramètres
- Améliorer la précision des moyens de réglages, les tolérances des caractéristiques des matières premières, ...
- Mettre sous contrôle (carte SPC) un paramètre et établir des règles de réaction

5.5. L'étape 7 : améliorer les méthodes pour maintenir facilement les conditions pour 0 défaut

5.5.1. Mesurer et réduire les temps d'inspection

Pour que les tâches de contrôle soient réalisées tous les jours de l'année, il faut qu'elles soient faciles et s'inscrivent dans le travail quotidien.

L'objectif est de réduire les temps d'inspection (observation) de chaque heure au chaque demi-heure.

5.5.2. Optimiser les moyens d'inspections :

- Rendre les choses visibles
- Utiliser des gabarits spécifiques à chaque usage
- Mettre en place des mécanismes d'arrêt automatique
- Fixer outils et accessoires directement sur les machines (sécurité)
- Installer des voyants et alarmes sonores

- Mettre en place des mécanismes qui empêchent les machines de fonctionner si un élément n'est pas correct
- Installer des équipements pour éviter les objets étrangers ou les contaminations de pénétrer les machines
- Développer les confirmations visuelles et verbales des opérateurs
- Eduquer et entraîner

5.5.3. Mettre en place des systèmes anti-erreurs

Le *Poka-yoke* est une invention de Shigeo Shingo, ingénieur de Toyota, celui-là même qui a inventé le *kaban* et le *SMED*, est une technique anti-erreur appliquée lors de la conception des produits et des processus. Cette technique consiste à trouver des moyens à l'épreuve de toute erreur humaine qui préviennent ou éliminent certains problèmes potentiels ou existants. Le *poka-yoke* s'inscrit dans une démarche d'amélioration continue. L'objectif est de réduire le nombre d'erreurs possibles, menant à une amélioration de la qualité et de la performance des postes de travail.

Un *poka-yoke* a pour objectif de ne laisser aucune erreur se produire lors de la fabrication d'un produit, qu'elle soit d'origine humaine ou machine. Un bon système *poka-yoke* a pour finalité de rendre inutiles les inspections pour déceler des défauts de production. Cette technique suit la philosophie manufacturière japonaise de privilégier la production de la qualité plutôt que le contrôle de la qualité. Ainsi, ils privilégient des systèmes *poka-yoke* à la carte de contrôle, ou tout autre moyen de contrôle de la qualité. Le *poka-yoke* devient un dispositif permettant à l'opérateur de ne produire qu'une pièce de qualité.

CONCLUSION GENERALE

Ce projet de fin d'études s'inscrit dans le cadre de la mise en place *d'OCP production system*, plusieurs chantiers de résolution de problème de maîtrise de la qualité d'acide produit en terme du taux de sulfates libre au sein de l'atelier production d'acide phosphorique de la divisions Maroc phosphore 1.

Dans le premier temps nous avons implanté des sept fondations de la qualité et leur fonctionnement du système dans l'atelier.

Par suite, nous avons calculé la variabilité et la capabilité du procédé et variabilité du système de mesure à partir de construction de cartes de contrôle.

Les résultats obtenus ont montré que :

- Les mesures et les analyses de la variabilité du système de mesure sont acceptables.
- le procédé de fabrication d'acide phosphorique produit en terme du taux de sulfates est hors contrôle et incapable.


Pour résoudre ce problème, nous avons construit et mise en place des sept étapes d'un chantier maîtrise des procédés.

Finalement nous avons pu rendre le procédé d'acide produit plus ou moins sous contrôle en terme du taux de sulfates libre et just capable de produire un acide conforme. Mais cela reste insuffisant : il faut encore améliorer la capabilité C_p jusqu'au delà de 1,67 et l'indice de dérèglement C_{pk} jusqu'à 1,33 par d'autres chantiers qualité et maîtrise afin d'atteindre la maîtrise à 6 sigma.

ANNEXE



Annexe 1 : le formulaire FO01-PR16-PSP02-IDS/S

	FORMULAIRE	Référence : FO01-PR16-PSP02-IDS/S Edition : 00
	LISTE DES EQUIPEMENTS DE SURVEILLANCE ET DE MESURE A VERIFIER	Date : Page : 1/1

Pôle Industriel
Maroc Phosphore Safi

Entité :

Mise à jour :

Repère du ESM	Désignation du ESM	Ecart toléré du ESM

Le RPC
Nom/Date/Visa



Annexe 2 : le formulaire FO02-PR16-PSP02-IDS/S



	FORMULAIRE	Référence : FO02-PRI16-PSP02-IDS/S Edition : 00
PLANNING ET SUIVI ANNUELS DE VERIFICATION DES EQUIPEMENTS DE SURVEILLANCE & MESURE		Date : Page : 1/2

Pôle Industriel
 Maroc Phosphore Safi
 Entité :

Année : _____ Mise à jour : _____

Repère du ESM	Fréquence de vérification (n fois/an)	Périodicité : semaines/mois ou autres (*)																																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36								

Le RPC
 Date et Visa : _____

Le Responsable Processus Instrumentation
 Ou Laboratoire Central
 Date et Visa : _____

Le RQSE de L'entité concernée
 Date et Visa : _____

(*) : la périodicité est définie par le RPC et le Responsable processus instrumentation ou laboratoire central



Annexe 3 : le formulaire FO03-PR16-PSP02-IDS/S



	FORMULAIRE	Référence : FO03-PR16-PSP02-IDSS Edition : 00
	CONSTAT DE VERIFICATION DES EQUIPEMENTS DE MESURE ET DE SURVEILLANCE	Date : Page : 1/1

Pôle Industriel
 Maroc Phosphore Safi

Entité : _____ Date : _____

Lieu d'installation _____

Désignation _____ Repère ou Matricule _____

Appareil d'étalonnage _____

Exactitude _____ Fréquence de vérification _____

I/ VERIFICATION AVANT AJUSTAGE OU REPARATION

I-1 Essai de justesse :

Valeur de référence					
1 ^{er} essai Valeur lue					
Ecart de justesse 1 ^{er} essai					
2 ^{ème} essai Valeur lue					
Ecart de justesse 2 ^{ème} essai					

I-2 Décision

CONFORME	
NON CONFORME	
NECESSITE AJUSTAGE	
NECESSITE REPRATION	

II/ VERIFICATION APRES AJUSTAGE OU REPARATION

II-1 Essai de justesse :

Valeur de référence					
1 ^{er} essai Valeur lue					
Ecart de justesse 1 ^{er} essai					
2 ^{ème} essai Valeur lue					
Ecart de justesse 2 ^{ème} essai					

II-2 Décision CONFORME NON CONFORME

Observation :

NOM ET VISA
 DE L' EXECUTANT

RESPONSABLE DE SERVICE

III/ ACTION PRISES EN CAS DE DERIVE DU ESM :

III-1 Analyse de l'impact de la dérive :

.....

III-2 Action prise :

.....

NOM ET VISA DU RESPONSABLE PROCESSUS CONCERNE



Annexe 4 : la matrice QA



Annexe 5 : le formulaire FO01-PR06-PSP02-IDS/SE



	FORMULAIRE	Référence : FO01-PR06-PSP02-IDS/SE Edition : 00
	FICHE DE MAITRISE DU PRODUIT NON CONFORME	Date : 11/08/2011 Page : 1/2

Fiche de MPNC N°./

Cadre 1	Détection de la non-conformité	Provenance : <input type="checkbox"/> En interne <input type="checkbox"/> Client	<u>Visa et date</u>
Date : Service (entité) : Client :			
1/Désignation du produit :			
Commande/Contrat/Convention N°			
Processus :			
2/Nature de la non-conformité :			
3/Non-conformité détectée par : Visa :			

Cadre 2	Identification et isolement du produit non-conforme	<u>Visa et date</u>
1/Description de la non conformité :		
<ul style="list-style-type: none"> • Quantité impliquée : • Description détaillée de la non-conformité : 		
2/Lieu d'isolement du produit non-conforme (pour produits stockés) :		

Cadre 3	Traitement de la non-conformité et améliorations	<u>Visa et date</u>
1/Traitement :		
<input type="checkbox"/> Elimination de la non-conformité <input type="checkbox"/> Acceptation par dérogation (Réf :) <input type="checkbox"/> Déclassement et rebut du produit non conforme (Réf :) <input type="checkbox"/> Autres (à détailler)		
2/Contrôle final après correction		
<input type="checkbox"/> Non Concluant : Autre action { <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Concluant <input type="checkbox"/> Non		
3/Analyse de la non-conformité et amélioration éventuelles		
➤ Fiche Action d'Amélioration Réf : Du		



Annexe 6 : le formulaire FO02-PR06-PSP02-IDS/SE



 OCP	FORMULAIRE	Référence : FO02-PR06-PSP02-IDS/SE Edition : 00
	FICHE DE RECLAMATION	Date : 11/08/2011 Page : 1/1

RECLAMATION N° :.. /.. Du .. / .. / ..

Fournisseur :

- 1/ Description de la Non conformité :
.....
.....
Nom : Visa : Date :

- 2/ Criticité de la Non conformité :
Réurrence :
 4- Très fréquente
 3- Fréquente
 2- Rare
 1- Très rare
Gravité :
 4-Très grave
 3-Grave
 2-Signicative
 1-Mineur

- 3/ Actions faites par l'atelier émetteur :
- Blocage :.....
.....
- Autre :
.....
Nom du RPC : Visa : Date :

- 4/ Réponse du service fournisseur (sous 04 jours maximum) :
- Commentaire :.....
.....
- Réparation :
.....
-Engagement sur l'action corrective :
.....
Nom du responsable/Foumisseur : Visa : Date :

- 5/ Suivi de l'action corrective :
- Responsable :.....
.....
.....
- Evaluation :
.....
.....



Annexe 7 : le formulaire FO03-PR06-PSP02-IDS/SE



	FORMULAIRE	Référence : FO03-FR06-FSP02-IDS-SE Edition : 00
	SYNTHESE DES FICHES DES NC PRODUIT	Date : 18/08/2011 Page : 1/1

Entité :

Date de mise à jour : .. / .. / ..

PROCESSUS CONCERNE	REFERENCE NC	DESIGNATION DE LA NON CONFORMITE	RESPONSABLE DU TRAITEMENT	ACTIONS ENGAGEES	DELAIS	Date de Clôture	REFERENCE AC/AP

DATE ET VISA DU RPC



Annexe 8 : FO04-PR06-PSP02-IDS /SE



	FORMULAIRE	Référence : F004-PR06-PSR02-IDS SE Edition : 00
	SYNTHESE DES FICHES DES RECLAMATIONS	Date : 18/08/2011 Page : 1/2

Entité :

Date de mise à jour :

ETAT DES RECLAMATIONS EMISES REÇUES (*)

N° Ordre	N° Réclamation	Date	Réf : Fiche N.C	Date	Intitulé de la Non Conformité	Fournisseur/Client (*)	Date émission	Date de réponse	Observations (Etat d'avancement)

(*) : Rayer la case inutile

DATE ET VISA DU RPC :



Annexe 9 : TABLE A

Cartes \bar{X} et R			
Graphique des moyennes \bar{X}		Graphique des étendu (R)	
Taille du sous-groupe	Facteurs pour limites de contrôle	Facteurs pour limites de contrôle	
n	A ₂	D3	D4
2	1,880	–	3,267
3	1,023	–	2,574
4	0,729	–	2,282
5	0,577	–	2,114
6	0,483	–	2,004
7	0,419	0,076	1,924
8	0,373	0,136	1,864
9	0,337	0,184	1,816
10	0,308	0,223	1,777

Annexe 9 : table B valeurs critiques pour un nombre de fois où la fluctuation coupe la ligne (Teste de cycle)

La probabilité d'un nombre égal ou plus petit de points qui se situent de chaque coté de la ligne central n'est pas plus grand que $\alpha=0,95$.

Compter le nombre de points au-dessus et en-dessous de la ligne centrale.

P est la plus petite de ces deux sommes et G la plus grande.



P	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
G															
6	3														
7	4	4													
8	4	4	5												
9	4	5	5	6											
10	5	5	6	6	6										
11	5	5	6	6	7	7									
12	5	6	6	7	7	8	8								
13	5	6	6	7	8	8	9	9							
14	5	6	7	7	8	8	9	9	10						
15	6	6	7	8	8	9	9	10	10	11					
16	6	6	7	8	8	9	10	10	11	11	11				
17	6	7	7	8	9	9	10	10	11	11	12	12			
18	6	7	8	8	9	10	10	11	11	12	12	13	13		
19	6	7	8	8	9	10	10	11	12	12	13	13	14	14	
20	6	7	8	9	9	10	11	11	12	12	13	13	14	14	15



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] www.ocpgroupe.ma ;
- [2] Rapport annuel 2011 de l'OCP ;
- [3] cours Outils de la qualité, M.Khayar, Ecole Supérieure de Technologie de Safi;
- [4] Données d'étude des équipements, fournies par le bureau d'étude Maroc Phosphore I ;
- [5] PROGRAMME PERFORMANCE INDUSTRIELLE, MODULE «QUALITÉ ET MAÎTRISE DES PROCÉDÉS» ;
- [6] relevé de marche unité attaque-filtration de Maroc phosphore I ;
- [7] http://www.editions-eyrolles.com/Chapitres/9782708133495/Chap2_Pillet.pdf