

REPUBLIQUE DU SENEGAL
UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



Gm.0038

Ecole Supérieure Polytechnique
Centre de THIES

DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR DE CONCEPTION

Titre : **Etude de la corrosion et maintenance**
des installations pétrolières de Shell Sénégal:
Cas du dépôt de Jetée Nord

Année : 2002-2003

Auteur : Natacha P. MALOU
Directeurs : Sana FATY
Fadel NIANG
Co-Directeur : Louis V. TANOË

Dédicaces



- *A ma mère qui, comme toutes les mères, ne peut s'empêcher de s'inquiéter pour mon avenir ;*
- *A mon père qui, même à distance, continue à veiller sur mes progrès et qui m'a donné le goût des études ;*
- *A Martine , Pélagie , Nadia , Cyrille , Paul René près de qui je finis toujours par retrouver le sourire et la force de continuer ;*
- *A Joseph Napel ;*
- *A toute ma famille ;*
- *A mes amis.*



Sommaire

Le but de cette étude était dans une première phase d'évaluer le niveau de corrosion atteint dans les installations de stockage de produits pétroliers de Shell Jetée Nord à Dakar. La deuxième phase consistait à proposer un plan de maintenance anticorrosion qui soit applicable dans de courts délais et qui soit intégrable dans le plan global de maintenance déjà existant. Ce plan, une fois établi, sera applicable dans d'autres domaines industriels présentant les mêmes types de structures.

La difficulté majeure dans l'exécution de ce projet a été la disponibilité de certaines informations qui s'avèrent nécessaires à un bon suivi de plan de maintenance aussi proposons-nous ici une méthode d'archivage de données.

Au niveau de quatre (4) bacs de stockage et le long de conduites en acier au carbone, nous avons effectué des mesures d'épaisseurs aux ultrasons. Le paramètre ainsi observé est l'épaisseur résiduelle des parois des viroles de réservoirs et celle des conduites de produits pétroliers et d'eau du réseau de secours d'incendie.

La diminution d'épaisseur des équipements étudiés varie de 7.9% pour les robes des réservoirs, 26.6% pour les toits et 11% pour les conduites par rapport à leurs épaisseurs d'origine. Dans certaines zones, telles les points et cordons de soudure au niveau des toits, sont observées des percées ainsi qu'au niveau des rambardes d'escaliers. Cependant l'ensemble des structures présente une légère corrosion de surface.

La mise au point du programme de maintenance passe par la description des différentes étapes de l'élaboration du plan essentiellement basé sur la protection par traitements de surface et par revêtements.

Mots clés : corrosion – revêtements – maintenance.

Remerciements

J'aimerais exprimer ma reconnaissance à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail :

- ✿ Monsieur Louis Vonan Tanoé, Directeur des Opérations de Shell Sénégal, qui m'a proposé le sujet de ce présent rapport et qui m'a encadré en entreprise tout au long de ce projet ;
- ✿ Monsieur Sana Faty, professeur de Chimie à la faculté de Sciences de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar et à l'Ecole Supérieure Polytechnique qui a accepté de m'encadrer et de m'apporter des éclaircissements sur tous les points relatifs à la théorie de la corrosion ;
- ✿ Monsieur Fadel Niang, Professeur de Sciences des matériaux à l'Ecole Supérieure Polytechnique qui a accepté de me co-encadrer et pour la documentation qu'il a mise à ma disposition ;
- ✿ Monsieur Fadel Fall, Chef du dépôt de Jetée Nord ;
- ✿ Monsieur Abdou Diop, Responsable de la maintenance.

Table des matières

	Pages
Liste des tableaux	VI
Liste des figures	VII
Liste des symboles.....	VIII
Introduction	1
I. Aspects théoriques de la corrosion	4
I.1 Généralités	5
I.1.1 Définitions de la corrosion	5
I.1.2 Processus de la corrosion	5
I.1.3 Aspect économique de la corrosion	6
I.1.4 Influence de la corrosion dans le choix d'un matériau.....	6
I.2 Les différents types de corrosion.....	7
I.2.1 La corrosion uniforme.....	7
I.2.2 Les corrosions localisées	7
I.2.2.1 La corrosion galvanique	8
I.2.2.2 La corrosion par plaques	8
I.2.2.3 La corrosion cavernueuse.....	8
I.2.2.4 La corrosion par piqûres	9
I.2.2.5 la corrosion intergranulaire	9
I.2.2.6 La corrosion sous contraintes	9
I.2.2.7 La fragilisation par hydrogène.....	10
I.3 Les facteurs de corrosion.....	10
I.3.1 La corrosion par les eaux.....	10
I.3.2 La corrosion atmosphérique.....	11
I.3.3 La corrosion par les sols.....	12
I.3.4 Les conditions d'utilisation	13
I.4 La lutte contre la corrosion.....	14

I.4.1	La protection électrochimique.....	14
I.4.1.1	La protection cathodique	15
I.4.1.2	La protection anodique.....	16
I.4.2	La protection par revêtement et traitement de surface.....	16
I.4.2.1	les revêtements non métalliques.....	17
I.4.2.2	les revêtements métalliques.....	17
I.4.2.3	Traitement des surfaces par voie chimique.....	17
I.4.3	L'action sur le milieu corrosif.....	18
I.4.4	Le choix des matériaux.....	18
I.4.5	La conception et le tracé des assemblages.....	18
II	Présentation du dépôt de Jetée Nord.....	21
II.1	Description des installations	22
II.1.1	Localisation des installations	22
II.1.2	Description générale	22
II.2	Description des opérations.....	23
II.2.1	Réception	23
II.2.2	Stockage.....	23
II.2.3	Livraison.....	24
II.2.4	Maintenance des équipements.....	25
II.2.5	Activités de sécurité et de sûreté.....	25
II.3	Situation actuelle de la corrosion	25
II.3.1	Paramètres des réservoirs et des conduites.....	26
II.3.2	Mesures d'épaisseurs par ultrasons	27
II.3.3	Zones propices à la corrosion.....	28
II.3.4	Situations aggravantes.....	29
II.3.5	Photos.....	29
II.3.6	conclusions tirées.....	32

III.	Stratégie de maintenance.....	33
III.1	Pratiques actuelles.....	34
III.2	Stratégie de maintenance proposée	34
III.2.1	Justification de la méthode choisie	34
III.2.1.1	L' action sur le milieu.....	35
III.2.1.2	La conception et le tracé des assemblages.....	35
III.2.1.3	Le choix des matériaux.....	35
III.2.1.4	La protection électrochimique.....	35
III.2.2	Les traitements de surfaces.....	36
III.2.2.1	Dégraissage	36
III.2.2.2	Décapage.....	36
III.2.2.3	Passivation.....	37
III.2.3	Les revêtements.....	38
III.2.3.1	Composition.....	38
III.2.3.2	Système de peintures.....	39
III.2.3.3	Mode de séchage.....	39
III.2.3.4	Choix du revêtement.....	40
III.2.4	Etablissement d'un calendrier.....	40
III.2.5	Méthode d'archivage.....	41
IV.	Aspects financiers.....	43
	Conclusion et recommandations.....	44
	Bibliographie.....	47
	Annexes	48

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Capacité de stockage du dépôt de Jetée Nord.....	24
Tableau II.2 : Epaisseurs des réservoirs.....	26
Tableau II.3 : Epaisseurs des conduites.....	26
Tableau II.4 : Mesures faites au niveau des bacs.....	27
Tableau II.5 : Mesures faites au niveau des conduites.....	28

Liste des figures

figure I.1 : Synoptique des compromis dans le choix des matériaux.....	7
figure I.2 : Corrosion de l'acier doux en fonction de la durée d'exposition : dans l'eau de mer, dans une eau agressive et une eau incrustante.....	11
figure I.3 : Corrosion de l'acier doux en fonction de la durée d'exposition en atmosphère industrielle, marine et rurale (humide et sèche).....	12
figure I.4 : Représentation schématique du mécanisme de la corrosion par frottement	13
figure I.5 : Diagramme de Pourtaux simplifiés (à 25°C) : a) pour le fer ; b) pour l'aluminium.....	15
figure I.6 : La protection cathodique par soutirage de courant.....	16
figure I.7 : Quelques règles de conception et d'assemblages à respecter.....	20

Liste des symboles

Pour les symboles chimiques cf. annexe 1 :le tableau périodique des éléments.

Introduction

En raison des produits qu'ils peuvent contenir ou de l'environnement dans lequel ils fonctionnent, beaucoup d'équipements sont exposés à des risques de corrosion. Les zones généralement exposées à des corrosions importantes sont situées dans une atmosphère produite par une combinaison d'air marin et d'air pollué par des émanations industrielles. De ce fait, les entreprises en bordure de mer sont victimes de la corrosion au niveau de leurs installations, notamment les entreprises pétrolières qui ont leurs infrastructures dans lesdites zones.

Au niveau des grandes installations industrielles, les plans de maintenance anticorrosion sont presque toujours inexistants ou inadéquats ; habituellement on introduit la corrosion des équipements dans la catégorie des désagréments mineurs qui peuvent survenir à un moment ou à un autre. Presque toujours ce phénomène ne jouit pas de la considération nécessaire du fait que le processus de corrosion peut s'avérer très long. Les premiers signes sont souvent imperceptibles et une fois constatés, ils deviennent irréversibles.

Le contrôle de l'état de corrosion des réservoirs et des tuyauteries, ainsi que la régularité dans les actions à mener pour endiguer la corrosion ne sont pas suivis de façon rigoureuse dans le plan global d'entretien des installations. D'où l'apparition fréquente de piqûres et de chancres qui sont les signes évidents de corrosion au niveau des bacs de stockage, des conduites de vapeur et de produits. Il en résulte également des conséquences sur la fiabilité des appareillages et la sécurité des personnes utilisatrices de ceux-ci.

Afin de faire face à cette situation, il faut un programme de maintenance et d'entretien qui soit spécifique au problème de la corrosion, qui soit adaptable au plan global déjà en place et qui soit d'un coût raisonnable afin de permettre sa rapide adoption. La mise au point d'un tel programme est l'objet de ce présent rapport.

Cette étude porte sur le ralentissement de la dégradation des équipements des installations pétrolières au contact d'un environnement agressif à savoir l'atmosphère marine. Après une récapitulation des aspects théoriques généraux du phénomène de corrosion nous établirons une stratégie de traitement anticorrosion adaptée et régulière. Il décrit également la mise au point d'un calendrier de contrôle d'épaisseurs pour mieux connaître l'état de corrosion des composants du site considéré et principalement des réservoirs et tuyauteries. Une méthode

d'archivage sera ensuite abordée afin de réunir les informations nécessaires au bon suivi du programme de maintenance et d'entretien établi. Une étude financière est présentée en dernier lieu afin d'estimer les coûts d'opération induits.

L'étude de la corrosion au niveau du dépôt de Jetée Nord sis au Port Autonome de Dakar, qui a été proposée par la société Shell Sénégal servira à dégager les grandes lignes de ce présent document.

Les chapitres suivants constituent donc un rapport basé sur les informations du service de maintenance du dépôt de Jetée Nord ainsi que sur les mesures et observations faites.

Chapitre I :
Aspects théoriques de la corrosion

I.1 Généralités

I.1.1 Définitions de la corrosion

Selon les différents auteurs la corrosion correspond :

- à une destruction ou détérioration des métaux par les agents chimiques qui les environnent. Du point de vue étymologique le terme « corrosion » vient du mot latin « corrodere » qui signifie ronger.
- à un retour des matériaux et alliages à leur état naturel de minerais (processus inverse de la métallurgie extractive)

I.1.2 Processus de la corrosion

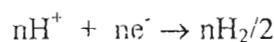
La distinction peut être faite entre deux processus :

- La corrosion en milieu humide ou corrosion aqueuse : le milieu est constitué par un liquide ou par des vapeurs humides.
- La corrosion par voie sèche : elle est généralement associée aux hautes températures.

Pratiquement tous les cas de corrosion peuvent être décrit ou expliqués à partir de concepts électrochimique même si au premier abord ils apparaissent comme ayant un caractère chimique. Ainsi la réaction fondamentale d'un métal M est la réaction anodique :



à laquelle est couplée une réaction cathodique qui sera dans la plupart des cas :



ou

$$\left\{ \begin{array}{l} nO_2/4 + nH_2O + ne^{-} \rightarrow nHO^{-} \text{ (en milieu alcalin ou neutre)} \\ nO_2/4 + nH^{+} + ne^{-} \rightarrow nH_2O/2 \text{ (en milieu acide)} \end{array} \right.$$

Il en résulte que le métal attaqué sera l'anode couplée à une cathode sur laquelle se produira l'une des trois réactions précédentes. Il y a donc constitution d'une pile électrochimique.

La plupart des réactions de corrosion ont lieu en présence de l'eau dans la phase liquide ou sous forme de vapeur condensée. Certaines corrosions « sèches » en l'absence d'eau ont lieu dans un électrolyte solide et sont aussi considérées comme électrochimiques.

I.1.3 Aspect économique de la corrosion

L'objectif principal de l'étude de la corrosion est d'ordre économique. En effet, les cas où on parle de maîtrise de la corrosion sont quelque peu trompeurs car le niveau 0 (zéro) de corrosion est inaccessible. Certaines mesures bien qu'elles réduisent la corrosion coûtent plus que l'équipement protégé. Les effets directs ou indirects de la corrosion peuvent être résumés ci-après :

- arrêt de la production
- coût de l'entretien et du contrôle
- coût des pièces à remplacer, des réparations à effectuer
- coût dû à l'utilisation de matériaux plus nobles
- contamination du produit par les produits de corrosion solubles
- perte du produit
- perte d'efficacité
- augmentation des coefficients de sécurité (surdimensionnement)

I.1.4 Influence de la corrosion dans le choix d'un matériau

Le choix d'un matériau pour la construction d'un équipement résulte d'un compromis entre plusieurs facteurs :

- compromis entre la résistance à la corrosion et d'autres propriétés comme la résistance mécanique, la facilité de mise en œuvre, le soudage
- compromis entre la durée de vie de l'équipement et la durée de vie estimée du matériau

La synoptique de la figure I.1 résume les différents compromis qui règlent le choix d'un matériau dans la construction d'un appareil ou d'une installation.

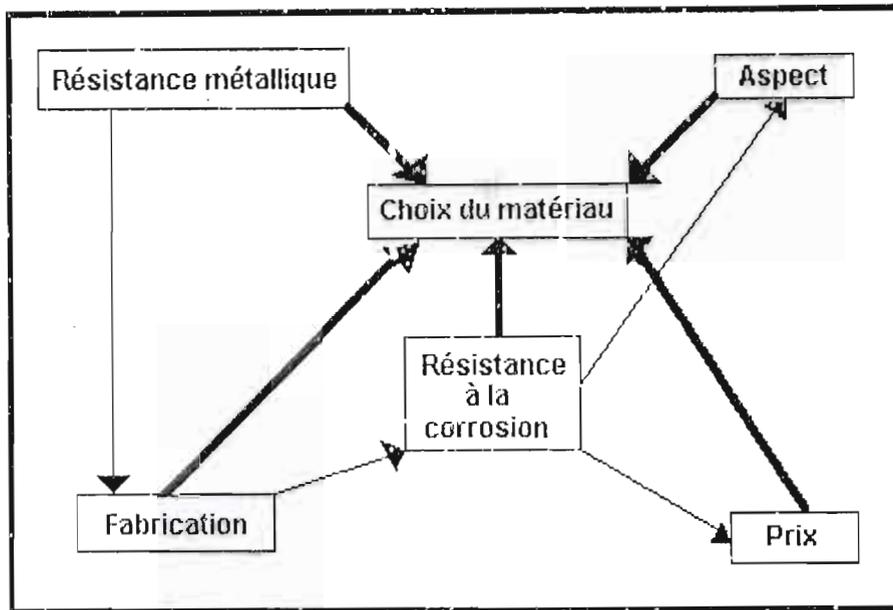


figure 1.1: Synoptique des compromis dans le choix des matériaux

1.2 Les différents types de corrosion

1.2.1 La corrosion uniforme

Un enlèvement uniforme, régulier de matière provenant de la surface du métal est le modèle habituel de corrosion uniforme. Pour la corrosion uniforme, toutes les parties de la surface du métal son exposées de la même manière à l'environnement corrosif. Ces conditions ne prévalent pas généralement dans les équipements utilisés aussi un certain degré de non-conformité est toléré par la définition.

Dans ce cas la vitesse de corrosion est généralement facile à prévoir avec une précision suffisante pour déterminer la durée de vie probable d'un appareil.

1.2.2 Les corrosions localisées

A la corrosion uniforme, on oppose un ensemble d'autres formes de corrosion dites localisées. En effet, à la différence de la situation précédente ces formes de corrosion n'intéressent que certains sites de la surface ; ces derniers ne comportent que des zones

anodiques par opposition aux parties non attaquées qui sont des zones cathodiques. Dans la plupart des cas, la perte de matière est faible voire insignifiante.

I.2.2.1 La corrosion galvanique

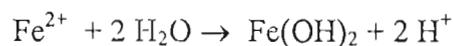
La corrosion galvanique se produit donc quand deux métaux sont en contact dans un milieu humide. Le moins noble, se corrodera, il est dit anode alors que le second, la cathode sera en partie protégé de la corrosion. Ce phénomène s'appelle aussi effet de piles métalliques. Une condition indispensable pour l'apparition du phénomène de corrosion galvanique est la présence d'un électrolyte et ce, même si le contact n'est pas direct entre deux métaux, De l'eau légèrement acide voire faiblement minéralisée peut constituer cet électrolyte.

I.2.2.2 La corrosion par plaques

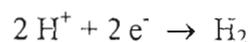
L'aire des surfaces anodiques prises individuellement est suffisamment importante. Ce type d'attaque peut être décelé par de simples observations macrographiques ou à l'œil nu. A ce type de corrosion on peut rattacher l'attaque d'une des phases d'un système biphasé, lorsque celle-ci occupe une surface importante.

I.2.2.3 La corrosion caverneuse

Ce type de corrosion se rencontre dans toutes les parties où il y a confinement du milieu : sous des joints non étanches, dans des interstices, dans les recoins etc. On parle aussi de corrosion par crevasses. Par suite de ce confinement, la composition du milieu est différente de celle du reste de la solution, ce qui entraîne la constitution d'une pile, d'où un phénomène de corrosion. Le confinement du milieu peut être dû, soit à l'absence d'oxygène (avec formation d'une pile d'Evans), soit à une acidification du milieu par hydrolyse des sels :



Cette acidification entraîne une dépolarisation de la réaction cathodique de l'hydrogène :



et par conséquent une augmentation du courant de corrosion.

Dans cette forme de corrosion une meilleure conception des pièces peut constituer un moyen efficace pour lutter contre la corrosion (prévention par le design).

I.2.2.4 La corrosion par piqûres

Cette corrosion est une attaque ponctuelle qui, dans le cas de l'acier se produit sous l'effet d'ions halogènes particulièrement les chlorures en présence d'un oxydant et qui peut aboutir à la perforation du métal. Cette corrosion progresse rapidement et peut mener en peu de temps à la destruction du matériau

I.2.2.5 La corrosion intergranulaire

Ce phénomène se rencontre dans le cas d'alliages qui sont à l'état de solution solide à haute température et dans le cas d'un système biphasé à basse température avec précipitation d'une seconde phase pouvant être par exemple un carbure ou un composé intermétallique. C'est le cas des aciers inoxydables austénitiques et des alliages légers Al-Cu qui donnent respectivement naissance à une précipitation de carbures de chrome ($Cr_{23}C_6$) et à un composé intermétallique (Al_2Cu).

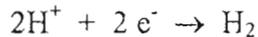
Ces précipités se forment préférentiellement dans les joints de grains qui constituent des centres de germination plus faciles. Dans le cas de l'acier austénitique, la précipitation de carbure entraîne un appauvrissement en chrome de part et d'autre du joint de grain. Cette zone est alors dépassivée et l'acier est dit sensibilisé.

I.2.2.6 La corrosion sous contrainte

La corrosion fissurante sous contrainte conduit à une fissuration du métal résultant de l'action combinée d'une contrainte mécanique d'extension et d'un milieu électrolytique. C'est une des formes les plus graves de corrosion car le métal est soumis à une dégradation rapide sans manifestation extérieure visible, c'est-à-dire sans formation de produit de corrosion, ni de variation de poids.

I.2.2.7 La fragilisation par hydrogène

C'est une fissuration du matériau provoquée par la diffusion de l'hydrogène dans le réseau de l'alliage. Cela se produit lorsque la réaction d'évolution de l'hydrogène :



produit de l'hydrogène atomique en surface pendant la corrosion, ou pendant l'électrodéposition, la protection cathodique ou encore pendant le nettoyage électrochimique des pièces. On la distingue de la fissuration sous contrainte par le fait que la polarisation cathodique l'accélère alors qu'elle supprime la corrosion sous contrainte.

Différents modes d'action ont été identifiés :

- ✓ « l'attaque hydrogène » action chimique à haute température : décarburation des aciers;
- ✓ les flocons : précipitation d'hydrogène à la solidification;
- ✓ la fissuration des soudures,;
- ✓ le cloquage (blistering) ou fissuration induite par l'hydrogène : création de défauts sans action de contraintes;
- ✓ la fragilisation proprement dite : dégradation des propriétés mécaniques (allongement, striction, ténacité) en présence d'hydrogène.
- ✓ Etc.

I.3 Les facteurs de corrosion

I.3.1 La corrosion par les eaux

La nature de l'eau en contact avec les métaux peut être très déterminante.

L'eau de mer est un milieu particulièrement agressif, on peut définir l'eau d'un océan à partir de sa salinité ou de sa conductivité. La solubilité de l'oxygène dans l'eau de mer est fonction de la température.

Les eaux douces dont l'eau de distribution des villes possèdent des caractéristiques diverses selon leur composition (pourcentage des minéraux dissous, teneur en oxygène et en gaz carbonique, pH, etc.). La résistance à la corrosion d'un métal mis au contact de l'eau douce

peut varier considérablement selon le type d'eau. Les eaux peuvent être incrustantes ou agressives. On les nomme respectivement eau dure et eau douce. Dans le premier cas l'eau est très minéralisée et laisse un dépôt de calcaire et de carbonate provoquant l'entartrage des conduites. Ce dépôt, qui isole le métal de l'eau, ralentit ainsi la corrosion ; cependant, s'il n'est pas uniforme, il peut y avoir corrosion localisée par piqûres. Les eaux agressives, quant à elles, sont peu minéralisées ; elles sont donc plus corrosives que les eaux incrustantes, car elles ne favorisent pas la formation d'un dépôt protecteur.

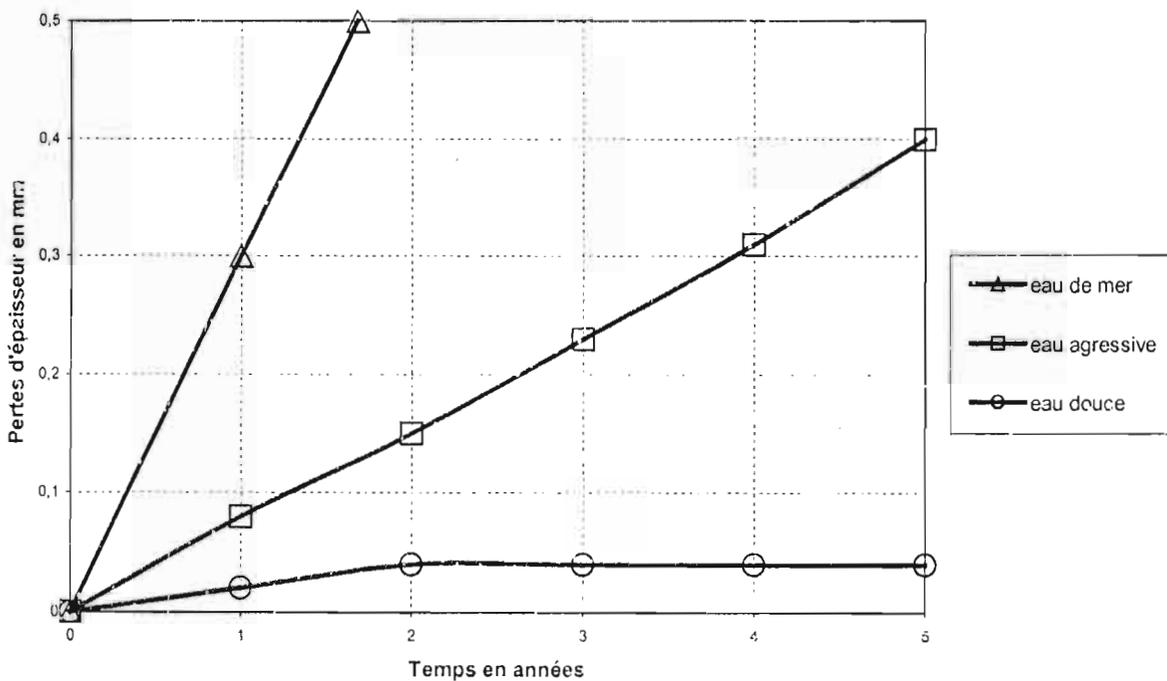


figure I.2 : Corrosion de l'acier doux en fonction de la durée d'exposition : dans l'eau de mer, dans une eau agressive et une eau incrustante, extrait de *Des matériaux*

I.3.2 La corrosion atmosphérique

Au contact d'une atmosphère humide les aciers au carbone non protégés se recouvrent d'une couche d'oxydes de fer uniforme dont l'épaisseur croît de façon parabolique avec le temps.

L'atmosphère devient corrosive dès que le taux d'humidité de l'air est supérieur à 30%. Sa corrosivité dépend essentiellement de trois paramètres :

- l'humidité relative
- la teneur en SO₂
- la teneur en Cl⁻

La corrosion dépend également beaucoup de l'agressivité locale : atmosphère rurale, industrielle ou marine.

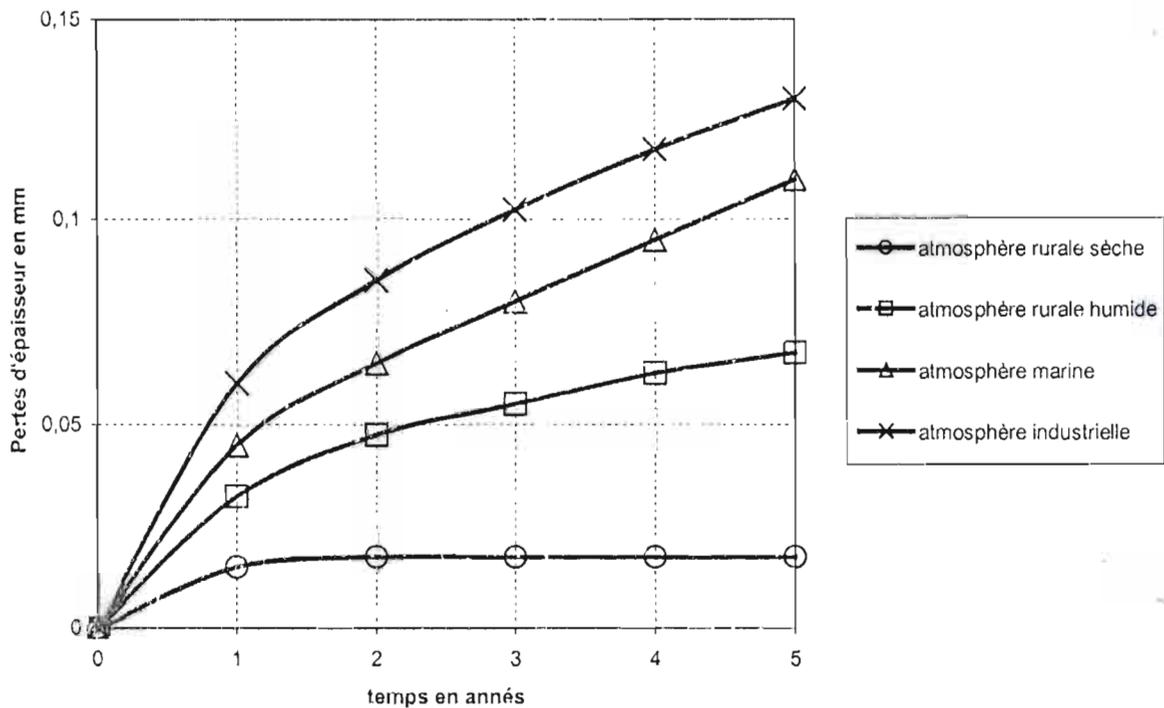


figure I.3 : Corrosion de l'acier doux en fonction de la durée d'exposition en atmosphère industrielle, marine et rurale (humide et sèche). extrait de *Des matériaux*

I.3.3 La corrosion par les sols

Les sols sont loin d'être des milieux homogènes ; ils présentent en effet, d'un site à l'autre, des caractéristiques très variées. Le caractère corrosif des sols est fonction des paramètres suivants :

- leur perméabilité à l'air et à l'eau, qui dépend de leur porosité et de la granulométrie des matériaux constitutifs ;
- leur taux d'humidité ;

- leur teneur en sels ;
- leur alcalinité ou leur acidité (c'est à dire leur pH) ;
- leur conductibilité électrique.

En général ce sont ces deux derniers paramètres (pH et conductibilité électrique) que l'on mesure. Dans la grande majorité des cas, le pH des sols est compris entre 6 et 9.

Quand une canalisation traverse des sols de natures différentes, le potentiel d'équilibre du métal avec chacun de ces milieux peut être différent, ce qui entraîne la formation de zones cathodiques et de zones anodiques.

I.3.4 Les conditions d'utilisation

Certaines conditions d'utilisation ont pour effet d'accélérer la corrosion et de raccourcir ainsi la vie des pièces ou des assemblages.

En milieu corrosif la résistance à la tension mécanique de beaucoup d'alliages se trouve diminuée. Cette diminution est due à l'effet combinée de facteurs électrochimiques et de facteurs mécaniques ; c'est la corrosion par fatigue.

Des déplacements de très faible amplitude (inférieurs au micromètre) entre les pièces sont la cause, aux points de contact, de la corrosion par frottement. Puisque les surfaces ne sont jamais complètement lisses, elles sont en contact par leur aspérités.

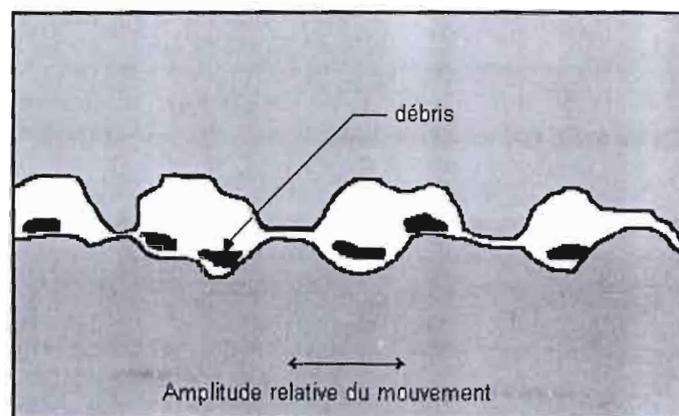


figure I.4 : Représentation schématique du mécanisme de la corrosion par frottement

Dans une pièce métallique, un gradient de température entraîne un gradient de potentiel électrochimique entre la partie froide et la partie chaude. La zone froide, qui est anodique par rapport à la zone chaude, peut être le siège de corrosion.

Quand on fait une installation de mise à la terre par le sol d'une installation électrique, il y a passage de courants dans le sol. Si des conduites métalliques sont enterrées à proximité de cette installation, le courant (courant vagabond) peut y circuler car leur résistance est inférieure à celle du sol. Il y a alors formation de zones anodiques sur les conduites et, par conséquent, accélération de la corrosion.

I.4 La lutte contre la corrosion

La lutte contre la corrosion doit être une préoccupation constante, depuis la conception des équipements jusqu'à leur entretien quotidien. Si les moyens à mettre en œuvre sont variés et dépendent en grande partie des situations d'utilisations particulières, le but recherché est d'enrayer la dégradation des équipements pour augmenter leur durée de vie.

Les différents moyens de lutte contre la corrosion sont :

- La protection électrochimique
- La protection par revêtement et traitement de surface
- L'action sur le milieu de corrosion
- Le choix des matériaux
- La conception et le tracé des assemblages

I.4.1 La protection électrochimique

Pour effectuer la protection électrochimique d'un métal, on modifie son potentiel de dissolution de façon à l'utiliser soit dans la zone d'immunité, soit dans la zone de passivité. On parle alors de protection cathodique ou anodique.

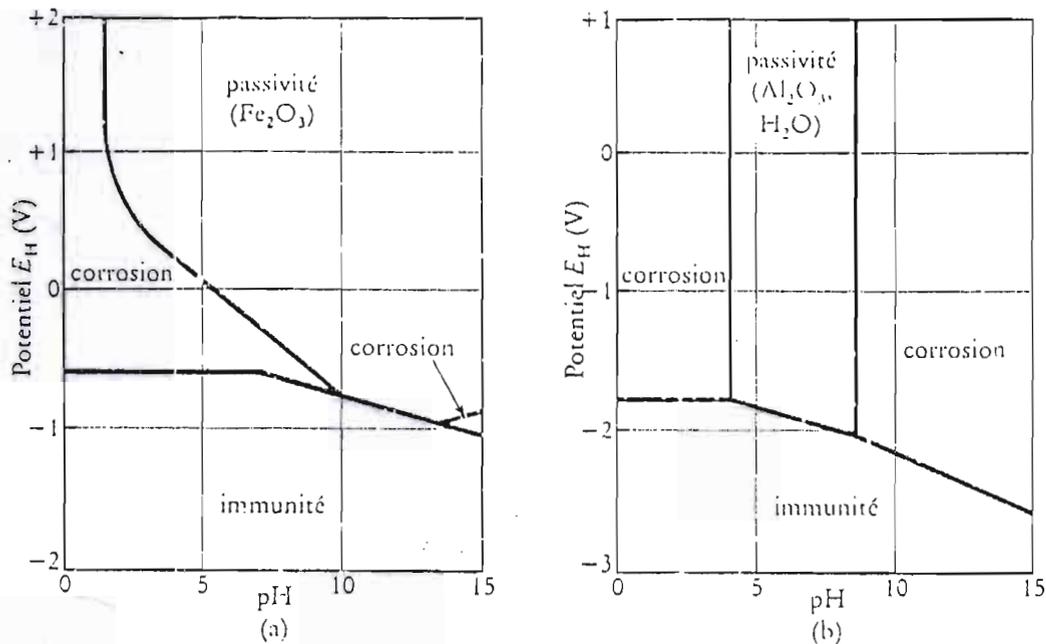


figure I.5 : Diagramme de Pourbaix simplifiés (à 25°C) : a) pour le fer ; b) pour l'aluminium.

I.4.1.1 La protection cathodique

La protection cathodique est la technique qui permet de conserver dans son intégrité la surface extérieure des structures en acier enterrées ou immergées, en s'opposant au processus électrochimique d'attaque du métal par le milieu ambiant. Les canalisations en acier constituent le champ d'application principal de cette protection. Les réseaux en acier, même anciens et dégradés, peuvent bénéficier de cette technique dans des conditions économiques admissibles.

La protection cathodique pourra donc se faire soit par :

- anodes sacrificielles :

Le métal à protéger est couplé à un métal moins noble c'est à dire plus électronégatif (magnésium, aluminium, zinc). Celui-ci devient alors l'anode et la structure à protéger la cathode du système. L'anode se corrodé alors et il faut la remplacer périodiquement.

- le soutirage de courant

Cette méthode consiste à coupler le métal à protéger avec une anode inerte. On impose à l'équipement à protéger son potentiel (qui donne le critère de protection en tous points) à l'aide d'un générateur de courant. Cette méthode est aussi appelée protection cathodique par courant extérieur imposé.

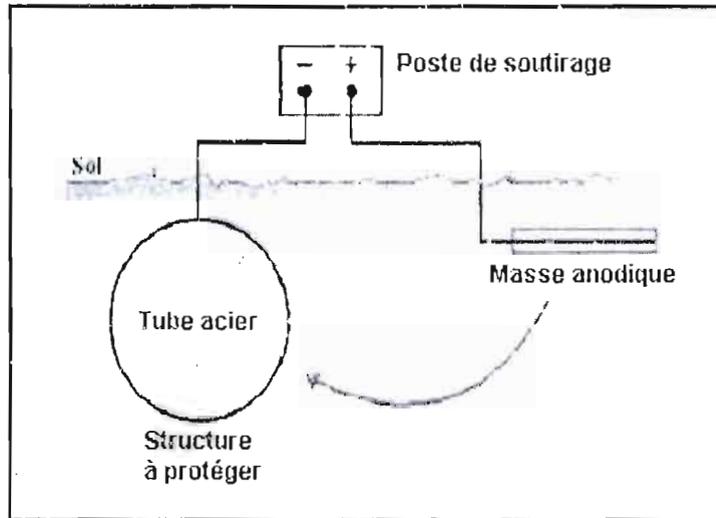


figure I.6 : La protection cathodique par soutirage de courant

I.4.1.2 La protection anodique

Le principe de la protection anodique diffère de celui de la protection cathodique en ce sens qu'on fait augmenter le potentiel de corrosion de façon qu'il se situe dans la zone passive (voir diagramme de Pourbaix figure I.5). Cette méthode est donc uniquement applicable aux métaux qui peuvent être passivés.

I.4.2 La protection par revêtement et traitement de surface

Un revêtement ayant pour fonction d'isoler le métal du milieu corrosif, il doit être continu, adhérent et inerte par rapport à l'environnement. A cet effet, il faut préparer soigneusement les surfaces à traiter ; c'est à dire éliminer toute trace d'oxydation, de graisse ou

de tout autre corps étranger, afin que le revêtement joue totalement son rôle de barrière au passage des électrons.

I.4.2.1 les revêtements non métalliques

Les revêtements non métalliques sont soit des peintures, soit des polymères soit des goudrons qui sont des produits organiques. En ce qui concerne les peintures, il faut en appliquer au moins deux types différents : une couche de fond et des couches de finition. La peinture utilisée pour les couches de fond doit mouiller parfaitement la surface à peindre et y adhérer fortement ; Ces peintures contiennent souvent des poudres de zinc ou d'aluminium, qui agissent comme anode, ou des pigments (comme le chromate de zinc), qui peuvent jouer le rôle d'inhibiteur.

Les polymères utilisés comme revêtement sont soit thermoplastiques (PET, PVC, etc.), soit thermodurcissables (poly époxydes).

Les structures enfouies sont souvent protégées par des revêtements à base de goudron, d'asphalte ou de bitume.

I.4.2.2 les revêtements métalliques

Par rapport au métal à protéger, les revêtements métalliques peuvent être soit anodiques, soit cathodiques. Ainsi, le zinc, qui est anodique par rapport à l'acier, joue le rôle de d'anode sacrificielle dans les pièces en tôles galvanisées. Le chrome par contre est cathodique par rapport à l'acier par conséquent, au niveau de chaque discontinuité du revêtement, il y a corrosion de l'acier sous le chrome.

I.4.2.3 Traitement des surfaces par voie chimique

Les traitements de surface par voie chimique modifient chimiquement les surfaces des métaux de façon à leur conférer une meilleure résistance à la corrosion. Ainsi lorsqu'on trempe une pièce d'acier dans un bain d'acide phosphorique, il se forme à sa surface, du phosphate de fer. On utilise ce procédé, la phosphatation, pour traiter les carrosseries d'automobiles avant de les peindre. La chromatisation d'aluminium et de magnésium est un autre exemple de modification chimique des surfaces métalliques.

Dans certains cas on protège les métaux grâce à une couche d'oxyde formée artificiellement à leur surface. Le bronzage de l'acier et l'anodisation de l'aluminium sont des exemples de ce procédé.

I.4.3 L'action sur le milieu corrosif

On peut exercer une action sur le milieu essentiellement en modifiant la cinétique de corrosion. Ce type de protection ne peut par conséquent s'appliquer qu'à un système fermé.

Une façon d'agir sur le milieu est de diminuer le pouvoir oxydant de l'électrolyte, quand la réaction électrochimique de réduction est celle de l'oxygène, la vitesse de corrosion est nettement réduite lorsqu'on élimine préalablement l'oxygène dissous.

L'addition d'inhibiteurs peut aussi être utilisée car ceux-ci agissent sur la polarisation cathodique la pile de corrosion fonctionne alors sous contrôle cathodique, et le courant en est diminué. Les inhibiteurs agissent en très faible concentration et leur nature varie en fonction du métal à protéger et du milieu corrosif avec lequel celui-ci est en contact.

Une troisième action pouvant être menée est l'addition de *passivateurs* qui agissent en surtension anodique. Ce sont des agents oxydants (chromates, nitrites), qui élèvent la valeur du potentiel de corrosion des métaux passivables jusque dans leur domaine de passivité. Les *passivateurs* pour aciers au carbone et pour aciers inoxydables sont les plus utilisés.

I.4.4 Le choix des matériaux

Le souci d'éviter la corrosion pousse à choisir avant tout des matériaux qui ne se dégraderont pas dans leur environnement ou, du moins, qui se corroderont de façon uniforme afin qu'on puisse connaître le plus exactement possible la durée de vie utile de l'équipement. Il faut en outre porter une attention spéciale aux conditions d'utilisation (combinaison matériau-milieu corrosif-contraintes) qui entraînent des types particulièrement pernicieux de corrosion, comme la corrosion sous contraintes ou la corrosion par piqûres.

I.4.5 La conception et le tracé des assemblages

Avant d'utiliser les méthodes décrites précédemment, il est possible de lutter contre la corrosion dès le début c'est à dire sur la table de dessin. En fait, pour minimiser les possibilités

de corrosion, il faut étudier très soigneusement la conception des équipements et des assemblages. Les règles à respecter sont aussi nombreuses que variées, car chaque assemblage est en soi un cas d'espèce; on peut toutefois les regrouper comme suit :

- a) Eviter la formation de couples galvaniques entre des métaux différents : pour des métaux différents, les isoler électriquement l'un de l'autre.
- b) Eviter la formation d'interstices dans les assemblages afin de ne pas favoriser la corrosion cavernueuse, les obturer à l'aide de mastic hydrofuge ou de cordon de soudure.
- c) Eviter, où que ce soit, l'accumulation d'eau stagnante ou de résidus de boues afin d'éviter la corrosion par aération différentielle. Pour les mêmes raisons, éviter de créer des espaces renfermés et difficiles d'accès, qui rendent l'entretien et les inspections presque irréalisables.
- d) Eviter tout tracé qui risque d'entraîner des concentrations de contraintes dans les matériaux sensibles à la corrosion sous contrainte.
- e) Eviter dans les conduites, les changements brusques de section, les vannes trop petites ou les irrégularités, qui peuvent engendrer des zones de turbulences et favoriser ainsi la corrosion par érosion.

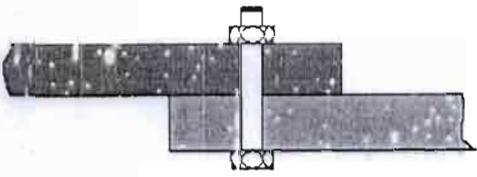
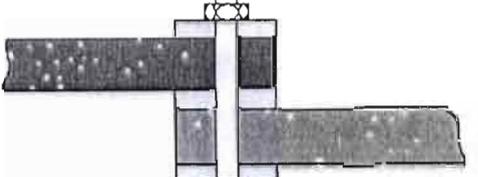
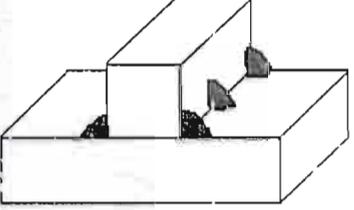
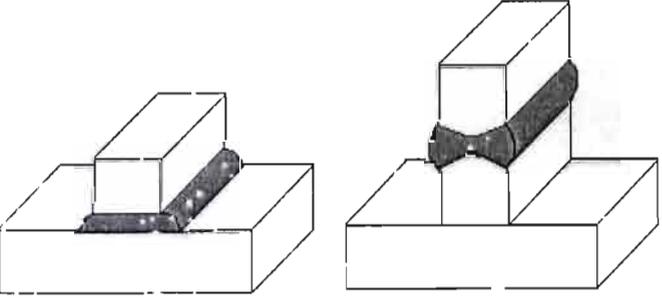
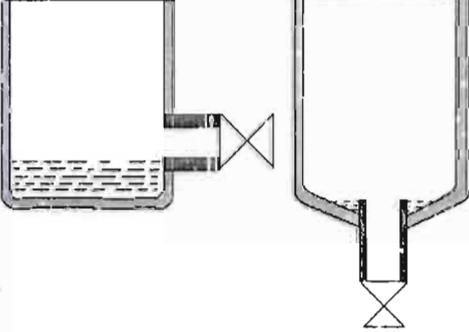
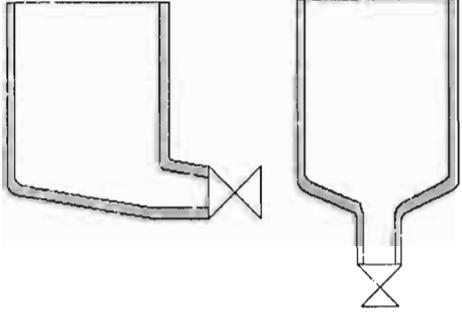
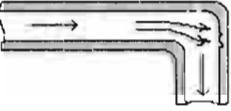
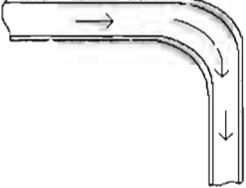
Mauvais	Bon
<p>métaux différents directement en contact</p> 	<p>métaux séparés par un isolant</p> 
<p>soudure discontinue</p> 	<p>soudure continue</p> 
<p>accumulation d'eau</p> 	<p>vidange complète</p> 
<p>coûrbure brusque</p> 	<p>grande courbure</p> 

figure I.7 : Quelques règles de conception et d'assemblages à respecter

Chapitre II :
Présentation du dépôt de Jetée Nord

II.1 Description des installations

II.1.1 Localisation des installations

Le dépôt de Shell Jetée Nord est situé dans la zone des hydrocarbures à l'intérieur du port autonome de Dakar. Il est implanté sur une superficie de 31370 m² et est limité à l'Est par la mer, à l'Ouest par le dépôt de Société de Produits Pétroliers (SPP), au Nord par la Compagnie Sénégalaise de Lubrifiants (CSL) et au Sud par les dépôts de ERES et de ORYX. On y accède par la porte du Môle 8.

II.1.2 Description générale

Le dépôt Jetée Nord est composé de:

- d'un bâtiment administratif
- d'un laboratoire
- d'un bâtiment faisant office de vestiaires et d'atelier
- d'un hangar abritant les chaudières
- d'une salle de pompes incendies
- d'une salle de pompes de transfert
- de douze bacs de stockage
- trois postes de chargement de camions citernes dont un pour le fuel-oil et le gasoil, un pour le bitume 40/50 et un autre pour les cut-backs 0/1 et 400/600
- d'une aire de stockage des lubrifiants
- et des postes d'avitaillement situés sur les quais et le wharf

II.2 Description des opérations

Les opérations du dépôt JN tournent autour de 3 activités principales que sont la Réception, le Stockage et la Livraison des produits blancs comme le Gasoil, des produits noirs tels que le Fuel 380, le Bitume 40/50, les Cut-Backs fabriqués sur place, et des lubrifiants sous divers emballages essentiellement destinés au marché bunkering (soutes).

II.2.1 Réception

La réception des produits se fait par pipe ou par camions citernes. Les produits sont reçus de la raffinerie Société Africaine de Raffinage (SAR), des tankers, des autres dépôts de la place et de la Compagnie Sénégalaise des Lubrifiants (CSL) pour les lubrifiants.

Le dépôt JN est relié à la SAR par deux pipes, un de 12 pouces pour le Gasoil et le Diesel et un autre de 10 pouces pour le Fuel 380.

Il est aussi interconnecté aux autres dépôts et aux quais de la zone des hydrocarbures et la centrale de la SENELEC de Bel air par des pipes de 6, 8 et 10 pouces.

Le Bitume 40/50 n'est reçu que par tanker à partir du wharf situé à environ 400 mètres du bac de stockage ; la raffinerie locale (SAR) n'en produit pas.

Les lubrifiants destinés aux bateaux sont reçus par transfert à partir du dépôt Shell de Bel Air (BAD) ou directement de la CSL contigu au dépôt Jetée Nord.

II.2.2 Stockage

La capacité de stockage du Dépôt Jetée Nord est de l'ordre de 57 900 m³ répartis dans 9 bacs de stockage selon le tableau suivant :

Bacs	Produits	Diamètres (m)	Hauteurs (m)	Capacité (m ³)
R21	Gasoil	36	16,10	16412
R22	Fuel 380	36	16,10	16083
R23	Fuel 380	36	16,07	16000
R25	Gasoil	15,98	10,82	2160
R26	Bitume 40/50	16	11,14	2170
R27	Gasoil	24	10,80	4768
S21	Cut-back 0/1	4,5	6,15	92
S22	Cut-back 400/600	4,5	6,15	92
S23	Kéro	4	6,25	89

Tableau II.1: Capacité de stockage du dépôt de Jetée Nord

Des transferts intra-dépôt sont possibles à partir du manifold de réception et de livraison par de simple jeu de vannes.

Certains produits comme les cut-back et le fuel 180 sont obtenus par “blending” (par mélange) et stockés en faibles quantités suivant la demande des clients. Il existe aussi une aire de stockage des emballés en fûts et un petit magasin pour les emballés en seaux.

II.2.3 Livraison

La livraison des produits est faite par camions citernes et par pipe pour les clients qui sont connectés au dépôt JN.

Il existe 3 postes de chargement dans le dépôt dont :

- un pour le chargement du gasoil et du fuel 380 qui peut prendre 2 camions citernes en même temps. Ce poste est doté de 4 bras de chargement dont 2 pour le fuel 380 et 2 pour le gasoil
- un pour le chargement du bitume 40/50
- et le dernier pour le chargement des cut-backs 0/1 et 400/600

L'avitaillement des bateaux accostés au niveau des quais de la zone des hydrocarbures est fait par pipeline .Par contre les bateaux situés en dehors de la zone des hydrocarbures sont avitaillés par camions citernes.

Les produits emballés sont livrés par un camion plateau d'une capacité de 4 tonnes.

II.2.4 Maintenance des équipements

La maintenance des équipements (cf. annexes 4 et 5) se fait de manière quotidienne pour la maintenance curative et de manière planifiée (hebdomadaire, mensuel, etc.) pour la maintenance préventive. il existe une équipe dédiée à ces tâches de maintenance. Les membres de l'équipe travaillent sur la base d'ordre de travail pour travaux de routine et sur la base de permis de travail pour les travaux non routiniers. Les travaux qui dépassent la compétence de l'équipe d'entretien sont sous traités mais effectués sous la supervision de l'adjoint au chef de dépôt.

II.2.5 Activités de sécurité et de sûreté

Le dépôt est gardé en permanence par les agents d'une agence spécialisée non armés. Leur travail est de protéger les installations contre les vols, le pillage ou les agressions.

Les eaux usées sont évacuées à la mer par des égouts. Par contre les eaux de purge sont récupérées dans des réservoirs enterrés où elles sont décantées.

Les ordures sont collectées dans le dépôt par le personnel de nettoyage et mises à la décharge publique par un contractant.

Les ventes au comptant sont gardées sous coffre avant d'être reversées ultérieurement à la caisse principale située à la Direction de Shell.

Concernant la restauration, une partie du personnel va à la cantine et l'autre partie achète leurs repas au niveau des gargotes à l'entrée du port.

II.3 Situation actuelle de la corrosion

La connaissance de l'épaisseur des parois des structures métalliques permettra de faire des choix éclairés quant aux actions à entreprendre en ce qui concerne l'avenir des structures.

En effet, l'évaluation de l'épaisseur résiduelle des parois permet de :

- Connaître l'état actuel des parois de la structure
- Évaluer l'évolution de la dégradation afin de déterminer l'état ultérieur des parois
- Connaître la viabilité de la structure à court, moyen et long termes

La connaissance de ces paramètres permet alors de planifier adéquatement les actions à prendre quant à la structure et ainsi éviter les réhabilitations inattendues et coûteuses.

Les résultats obtenus seront un guide sur le mode d'action à employer soit :

- Changer la structure
- Protéger la structure des agressions extérieures;
- Laisser la structure comme telle et effectuer un suivi périodique afin de contrôler l'évolution de la dégradation;

II.3.1 Paramètres des réservoirs et des conduites

L'année d'installation de la plupart des équipements est de 1953. Dans les tableaux suivants, on retrouvera les principales dimensions qui intéressent notre étude :

Réservoirs : R21, R22, R23	Épaisseur (mm)
Épaisseur de la robe (1 ^{ère} virole)	25
Épaisseur du toit	10

Tableau II.2 : Epaisseurs des réservoirs

conduites	Diamètre		Épaisseur (mm)
	(po)	(mm)	
R21	12	30	10
R22	12	30	10
R23	12	30	10
incendie	8	20	15

Tableau II.3 : Epaisseurs des conduites

II.3.2 Mesures d'épaisseur par ultrasons

Nous avons effectué une série de mesures d'épaisseur aux ultrasons en utilisant le mesureur « D2M KrautKramer ».

Les types de structures visées sont toutes celles ayant une des deux surfaces de la paroi accessible et pouvant permettre une évaluation de son épaisseur résiduelle.

Les structures dont l'épaisseur résiduelle de leurs parois sont couramment étudiées sont les suivantes :

- Réservoirs : Parois et fond
- Tuyauterie et Conduites
- Murs métalliques
- Charpentes métalliques

Nos mesures ont été faites essentiellement au niveau des conduites et des bacs. Les points décapés ont été immédiatement repeints après les mesures.

Bacs										
	Robes					Toits				
n° point	R21	R22	R23	R25	R27	R21	R22	R23	R25	R27
1	23,7	23,2	23,5	9,5	12,7	8,8	6	6,9	5,7	5,8
2	23,6	23,2	23	9,4	11,9	7,5	7,1	7,8	5,8	6,2
3	24,1	23,3	22,8	9,1	11	7,2	8	6,5	5,2	6,3
4	23,5	22,7	21,9	9,5	11,4	7,3	8	8	4,3	6,4
5	23	23,3	22,5	9,4	11,7	7,5	6,6	7,3	5,5	6,8
6	22,4	23,4	23,2	9	11,4	6	7,9	6,7	5,4	6,1
7	22,4	23,1	23,3	8,5	12,3	7,8	6,1	6,5	5,8	5,8
8	22,6	23	23,2	7,7	10,9	7,6	6,2	8	6	6,1
9	22,8	22,7	23	9,5	11,7	6,3	7,9	5,5	5,9	6,3

Tableau II.4 : Mesures faites au niveau des bacs

Conduites				
n° point	Aspiration R21	Refoulement R21	Refoulement R23	Aspiration Incendie
1	9,7	8,1	8,9	12,3
2	7,7	8,5	8,5	13,3
3	8,7	10,1	9,2	12,8
4	8,6	9	8,8	12,8
5	8,4	8,4	8,7	11,2
6	9,9	8,9	8,4	11,5
7	9,8	9	9,1	12,4
8	8,9	8,6	9,6	10,4
9	8,8	9	8,6	12,5
10	8,1	9,6	8,8	12,1

Tableau II.5 : Mesures faites au niveau des conduites

II.3.3 Zones propices à la corrosion

Les zones qui sont les plus sensibles à la corrosion sont essentiellement : les coudes, les brides, les points et les cordons de soudure qui correspondent à des zones altérées thermiquement.

Le soudage des aciers est une opération qui impose au métal des cycles thermiques complexes dépendant entre autres du procédé utilisé et plus particulièrement de l'énergie de soudage. Ces cycles thermiques peuvent les conduire, à des précipitations soit de carbures soit de phases intermétalliques nocives.

Enfin, les zones immédiatement adjacentes au métal fondu sont le siège de mécanismes de diffusion conduisant à des compositions difficiles à maîtriser.

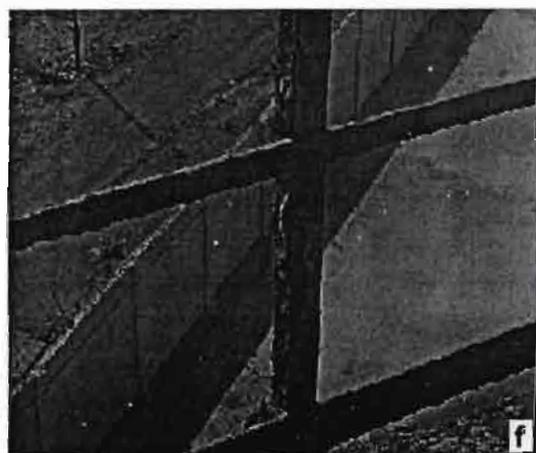
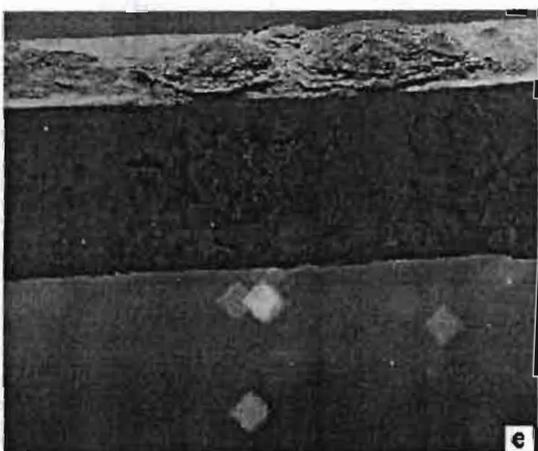
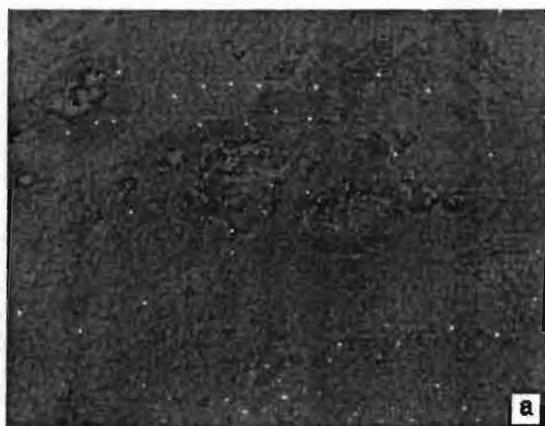
II.3.4 Situations aggravantes

Le premier facteur d'aggravation de la corrosion au niveau de Jetée Nord est sans nul doute sa situation dans une atmosphère marine. Cette nocivité des milieux chlorurés semble d'abord liée à l'action des ions Cl^- qui ont une grande aptitude à s'insérer à l'interface métal-film passif et à s'adsorber sur les films superficiels en se substituant aux ions OH^- . Il s'ensuit une dissolution plus facile des atomes métalliques.

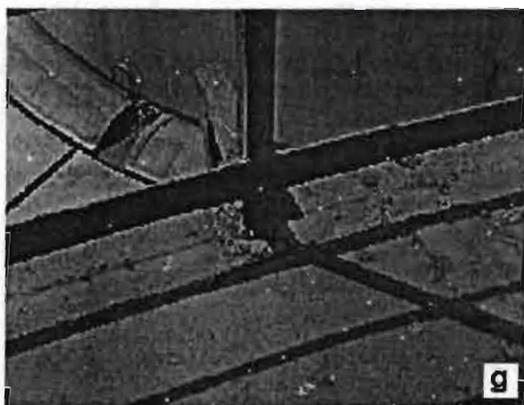
Certaines activités peuvent aussi accélérer l'évolution de la corrosion au niveau des installations. C'est le cas des exercices d'incendies qui sont faites régulièrement au niveau du dépôt. L'exercice en question consiste, lors de la simulation d'un incendie, à arroser les bacs avec de l'eau de mer. Cependant il est souvent négligé de rincer les réservoirs, aussitôt après la simulation, avec de l'eau douce.

II.3.4 Photos

Les mesures étant faites et les épaisseurs actuelles des parois déterminées, nous montrons quelques photos qui ont été prises de manière à nous édifier beaucoup plus sur la réalité des installations de Jetée Nord.



- a. et b. Toit du bac R25
c. Toit du bac R23 (zone écaillée)
d. Toit du bac R25 (tôle percée)
e. Rambarde du bac R23
f. Rambarde du bac R22



- g. Rambarde du bac R22
- h. Pied de rambarde du bac R21 (soudure sérieusement entamée)
- i. Pied de rambarde du bac R22
- j. Pied de rambarde du bac R21
- k. Toit du bac R22 (trous au niveau des soudures des tôles)
- l. Conduite du système anti-incendie

II.3.6 conclusions tirées

Après les mesures faites qui révèlent des différences d'épaisseurs variant de 0.9 à 3.1 mm pour les robes des réservoirs, de 0.5 à 4.5 mm pour les toits et de 0.1 à 2.3 pour les conduites soit une moyenne de 7.9% pour les robes des réservoirs, 26.6% pour les toits et 11% pour les conduites par rapport à leurs épaisseurs d'origine.

Au vu des précédents chiffres, nous pouvons dire que le stade du renouvellement des équipements n'est pas encore atteint, ainsi donc un mode de réhabilitation des équipements peut être mis en place.

Cependant pour les zones où il y a des percées, les tôles devront être changées.

Chapitre III :
Stratégie de maintenance

La maintenance d'un ouvrage consiste à réaliser toutes les opérations nécessaires pour qu'en toute circonstance celui-ci puisse rendre les services pour lesquels il a été conçu tout en le maintenant en bon état. La maintenance doit être pensée dès le début de la conception de l'équipement, afin que celui-ci soit facile à entretenir à un coût modéré et en toute sécurité. Les services qui seront chargés de la maintenance anticorrosion du dépôt de Jetée Nord sont les mêmes que ceux chargés actuellement de la maintenance globale.

III.1 Pratiques actuelles

A ce jour un plan de maintenance propre à faire face à la corrosion n'a pas été mis en place. Les quelques actions menées contre la corrosion sont insérées dans le plan global de maintenance des différentes installations telles le nettoyage de ceintures de réservoirs ou des grilles du ventilateur des groupes incendie. On ne sent pas une réelle préoccupation vis à vis des dommages provoqués par la corrosion sur les différents éléments.

III.2 Stratégie de maintenance proposée

III.2.1 Justification de la méthode choisie

Par rapport aux spécifications du dépôt en question nous ne pourrions pas choisir toutes les méthodes de protections, par ailleurs certaines ne seront certainement pas envisageables tandis que d'autres pourront être appliquées en complément.

Les procédés généralement utilisés pour supprimer ou ralentir la corrosion sont ceux déjà présentés précédemment (cf. paragraphe I.4).

III.2.1.1 L'action sur le milieu

On exerce une action sur le milieu essentiellement par la modification de la cinétique de corrosion en diminuant le pouvoir oxydant de l'électrolyte, en additionnant des inhibiteurs ou en ajoutant des passivateurs.

Etant donné que nous ne travaillons pas dans un milieu clos aucune action directe ne pourra être entreprise par contre il est évident que toute action pouvant mener à des émanations corrosives devra être évitée.

III.2.1.2 La conception et le tracé des assemblages

La question de la conception ne se pose plus puisque les équipements sont au stade d'exploitation. Par contre les interventions de soudure peuvent s'avérer nécessaires et dans ces cas faire attention à respecter les règles de soudage pour éviter les infiltrations de fluides qui peuvent accélérer la corrosion.

III.2.1.3 Le choix des matériaux

Le choix des matériaux interviendra surtout dans le renouvellement des pièces tels que les brides où il sera important d'éviter les associations de matériaux nobles avec des matériaux moins nobles ce qui entraînerait la dégradation rapide de ce dernier.

III.2.1.4 La protection électrochimique

Ici, il s'agira surtout de la protection cathodique qui est très utilisée pour protéger les structures et les équipements en acier. On soumet l'installation à un potentiel extérieur par application soit d'un courant imposé, soit par adjonction de masses métalliques jouant le rôle d'anodes sacrificielles à base de Zn, Mg ou Al. Elle peut être utilisée dans le cas de canalisations enterrées ou des réservoirs d'eau. La densité de courant dans ces cas est de 5 à 30mA/m², dans un sol anaérobie quelques mois s'écoulent avant une pleine polarisation.

III.2.1.5 La protection par revêtement et traitement de surface

C'est la méthode qui sera appliquée dans l'ensemble des équipements parce qu'elle ne rencontre aucune contrainte ou de sélectivité quant à son adoption.

Nous allons donc l'approfondir dans les sous-chapitres à venir.

III.2.2 Les traitements de surfaces

III.2.2.1 Dégraissage

C'est une opération nécessaire pour éliminer les traces de saleté ou de graisse (molécules organiques, carbone essentiellement) de la surface de la pièce en acier avant de la soumettre à quelque traitement thermique que ce soit (soudure par exemple) ou de finition superficielle (satinage, polissage électrolytique, etc.).

Le carbone présent sur la surface de la pièce, risque en effet de pénétrer à l'intérieur de celle-ci durant le traitement thermique, et ainsi de provoquer des dommages esthétiques et de compromettre sur certains points les caractéristiques du matériau, rendant les pièces plus dures, plus fragiles et moins résistantes à la corrosion.

L'opération de dégraissage peut s'effectuer par l'intermédiaire des méthodes suivantes:

1. lavage à l'aide de solutions alcalines,
2. lavage à l'aide de solvants organiques,
3. application de détergents à base d'acides dilués,
4. jets de vapeur d'eau chaude sous pression,
5. application d'ultrasons.

Toutes ces méthodes pourront être appliquées ; elles seront départagées par le temps de l'application et par les facilités qu'offrent chacune d'elles.

III.2.2.2 Décapage

A cause des altérations thermiques provoquées par les différentes opérations, de soudure par exemple, la teneur en chrome sur la zone d'acier subissant l'opération en question, descend sous le seuil de 12%. La couche atteinte perd ainsi ses caractéristiques anticorrosives, aussi doit-elle être éliminée.

Le décapage est l'opération servant à éliminer complètement la couche très mince d'acier appauvri en chrome ainsi que les écailles d'oxydation présente à la surface de la pièce ayant subi l'opération en question, ceci afin d'éviter que ne s'enclenche un processus de corrosion;

Il y a trois techniques de décapage : le décapage chimique, le décapage par sablage et le décapage thermique. Ce dernier étant avec l'usage de la chaleur ne saurait nous convenir du fait de la nature des produits qui sont stockés, de plus c'est une technique qui est assez lente puisqu'on agit sur une petite surface, la flamme brûle la peinture et des gouttes enflammées peuvent tomber sur le sol.

Le décapage chimique est réalisé avec des décapants à peinture et vernis sous forme de liquides épais ou même de gels. Les décapants les plus courants sont à base de solvants qui ramollissent le film de peinture. On applique le décapant sur la peinture et on le laisse agir quelques minutes jusqu'à ce que celle-ci se boursoufle. Il suffit alors de gratter avec une spatule ou avec une brosse pour enlever la peinture. Lorsqu'il y a plusieurs couches de peinture successives, il peut être nécessaire de procéder à une seconde application de décapant.

D'autres types de décapants, à base de soude ou de potassium, agissent en décomposant la couche de peinture. Plus lents, ils pénètrent plus profondément et peuvent décapier plusieurs couches successives.

Le décapage par sablage est à la fois rapide et efficace, notamment pour les pièces comportant des endroits difficiles d'accès. Sur les pièces en acier on projette à l'air comprimé une poudre abrasive très dure, aux grains anguleux qui décolle la peinture.

C'est un procédé déjà utilisé à Jetée Nord sauf que le sable est remplacé par un composant appelé « grid » pour ses caractéristiques moins polluantes que celles du sable ; ce procédé pourra donc être conservé d'autant plus qu'elle offre l'avantage de la rapidité par rapport aux autres méthodes.

III.2.2.3 Passivation

La passivation est un traitement de surface important qui permet d'assurer aux aciers une résistance à la corrosion. C'est en fait le processus de formation d'une couche d'oxyde protectrice sur la surface de l'acier. La barrière d'oxyde qui isole le métal empêche la réaction naturelle d'oxydation de se produire. L'activité chimique du métal est inhibée et le

métal est dit passif ; c'est donc le processus qui rend un métal plutôt inerte vis à vis de l'attaque de son environnement. La passivation peut être réalisée de plusieurs manières :

- ✓ par voie électrochimique : polarisation anodique,
- ✓ par voie chimique : addition d'agents oxydants tels que les chromates dans l'électrolyte,
- ✓ par autopassivation ,qui est le cas des aciers inoxydables.

Les aciers peuvent également être protégés à l'aide d'une couche passive obtenue au contact de l'oxygène atmosphérique; toutefois dans ce cas la protection n'est que relative. La passivation à l'air est un processus lent et non homogène; ceci en raison de la non-homogénéité des conditions atmosphériques et environnementales auxquelles est soumis l'équipement (température, pourcentage d'oxygène dans l'air, humidité atmosphérique).

La seconde méthode de passivation sera la mieux indiquée dans le cadre de notre plan de maintenance du point de vue de la durabilité.

III.2.3 Les revêtements

Excepté les buts esthétiques, l'utilisation de revêtements protecteurs rencontre un profond et vaste intérêt. Il lui est de plus demandé d'une part, des performances notables, une durée de vie longue et sûre ; d'autre part des prix bas et des composants favorables à l'environnement. Les systèmes de protection contre la corrosion sont conçus pour garantir durablement la conservation de la valeur et de la fonction des bâtiments et constructions à structures métalliques.

III.2.3.1 Composition

Il existe quatre grandes familles de constituants :

- Le liant qui apporte ses principales propriétés au revêtement. Généralement les peintures sont classées d'après la nature chimique de leur liant qui en est le constituant le plus important.
- Les solvants sa fluidité à la peinture pour permettre l'application. Leur élimination totale permet la formation du film.

- Les additifs modifient certaines propriétés de la peinture ou en apportent de nouvelles.
- Les matières pulvérulentes qui comprennent :
 - Les pigments qui apportent des propriétés optiques (opacité, couleur) ainsi que d'autres propriétés spécifiques (anticorrosion, résistance au feu...).
 - Les matières de charge qui jouent souvent le rôle de renforcement mécanique ou de contrôle du brillant.

III.2.3.2 Systemes de peintures

La plupart des revêtements sont des composés multicouches, comprenant un film métallique, un pré-traitement chimique, un ensemble de couches polymères organiques, chacune caractérisée par des tâches spécifiques, ainsi que des caractéristiques et des compositions définies. En général, on retrouve :

- La première couche au contact du substrat assure le contact, l'adhérence et peut apporter des propriétés spécifiques comme la protection contre la corrosion. Dans notre cas, le support métallique étant non-absorbant, on parle de couche d'impression.
- La ou les couches suivantes servent à masquer les inégalités du support, apporter un effet barrière ou remplir d'autres fonctions spécifiques. Ce sont les sous-couches, couches intermédiaires ou surfaceuses.
- La dernière couche apporte l'aspect visuel final d'où son nom de finition. C'est elle aussi qui est en première ligne pour résister aux agressions diverses : températures, chocs, rayures, contact avec des substances chimiques...

III.2.3.3 Mode de séchage

Après application, la peinture va subir une transformation qui donnera un film de peinture sèche. Il existe deux modes de séchage : le séchage chimique dont nous ne parlerons pas ici et le séchage physique par évaporation à l'air à température ambiante. Pour ce dernier cas au niveau des liants en solution, l'élimination du solvant laisse un enchevêtrement de macromolécules assurant la cohésion du film et son adhérence au support. Le film formé reste sensible aux solvants.

III.2.3.4 Choix du revêtement

Nous avons porté notre choix sur le revêtement anticorrosion à l'époxy modifié qui présente la particularité de pouvoir être utilisé à la fois comme couche primaire, comme couche intermédiaire et comme couche de finition. En cas d'indisponibilité du produit, les autres produits pourront être utilisés en faisant cependant attention sur la compatibilité des peintures les unes avec les autres.

III.2.4 Etablissement d'un calendrier

Une action préliminaire à l'établissement d'un programme périodique est une mesure d'épaisseur exhaustive de tous les équipements sensibles, sujets à corrosion, avec un relevé dans un registre. Ensuite, vient le plan d'intervention proprement dit où nous recommandons d'adopter la démarche suivante :

Pour les actions curatives :

- ✓ Pour les relevés > 50% de l'épaisseur nominale, procéder à un remplacement.
- ✓ Pour les relevés compris entre 20 et 50%, faire un traitement de surface, pose de l'anticorrosif, prévision d'échange l'année suivante.
- ✓ Pour les relevés < 20%, faire un traitement de surface, pose de l'anticorrosif, contrôle trimestriel.

Actions préventives :

Inscrire dans les procédures de maintenance préventive, le relevé des mesures d'épaisseurs, le nettoyage des surfaces et la pose des anticorrosifs tous les 6 mois.

L'utilisation de logiciels de planification tels que Microsoft Project, déjà adoptée au niveau de Jetée Nord permettra de faire le planning avec beaucoup plus de précision et de facilités. Ils offrent la possibilité d'introduire la périodicité des actions à mener, le nom de la personne qui en est responsable, et des rappels, chose très importante pour éviter les oublis.

III.2.5 Méthode d'archivage

Il devient impératif de prendre en compte les questions de stockage de données dans la conception des projets. Les supports techniques seront mis à profit. Par ailleurs, le stockage des données doit être fait de manière à fonctionner de façon « vivante ». Une véritable politique d'archivage n'est efficace que si l'importance d'une telle action est clairement reconnue comme profitable pour le bon suivi du programme de maintenance.

Les informations d'origine spécifiques aux équipements doivent être accessibles à tout moment, les données non-accessibles devront être répertoriées puis mise à jour. En outre, les personnes chargées de la maintenance devront procéder à une mise jour systématique de toutes les nouvelles informations qui pourront s'avérer utiles pour les interventions à venir. Il faudra ensuite organiser les observations collectées en vue de leur utilisation future même par une personne étrangère à son élaboration.

Dans les archives, devra figurer une description contenant des informations sur le type d'équipement, sa date de fabrication ou d'installation, pour les activités techniques, le rattachement aux fournisseurs, produits, contrôleurs, etc. On peut voir ci-après le modèle de la fiche proposée. D'autres informations nécessaires à la maintenance pourront éventuellement être ajoutées.

Annexe 7: Modèle de fiche – corrosion

Shell Sénégal

Fiche - corrosion

Équipement concerné:.....

Contrôle

Autres (à spécifier)

Référence ou Numéro	
Date de fabrication ou d'installation	
Capacité	
Hauteur	
Longueur	
Épaisseur	
Aérien <input type="checkbox"/>	Semi-enterré <input type="checkbox"/> Enterré <input type="checkbox"/>

Date du dernier contrôle : / /	Épaisseur moyenne :
Date du présent contrôle : / /	Épaisseur moyenne :

Traitements de surface	
Date du dernier revêtement	primaire
	intermédiaire
	finition

Remarques :

Mesures à prendre :

III.3 Aspects financiers

Nous allons considérer le bac R21 et la conduite du réseau incendie dont nous disposons les informations suivantes :

Années	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Bac R21	70810109	12187440			35000000	
				300000000		
Réseau Incendie	100000000			60000000	90000000	150000000

Les chiffres correspondent à des réfections qui ont été faites depuis 1998 seulement dans un but curatif.

Le bac R21 a été entièrement réfectionné en 1998. Une autre réfection était prévue en 2002, mais a été reporté en 2003. Cette réfection comporte aussi bien l'application de la peinture que la réfection des rambardes et des escaliers. En 4 ans, il a été dépensé environ 82 997 000 F CFA.

La conduite du réseau incendie a été entièrement remplacée en 1998, en 2001, en 2002 et est en cours de réfection pour 2003. La somme de 300 000 000 F Cfa est étalée sur les trois années. Si on considère la période qui va de 1998 à 2002, il a été dépensé environ 100 000 000 F CFA.

Il apparaît dès lors que si des actions préventives ont été menées à des intervalles réguliers, il serait possible de rallonger d'au moins trois (3) ans l'intervalle entre les réhabilitations. Le gain financier ne peut être estimé, mais il est évident que le gain en temps sera considérable.

Conclusion et recommandations

Les informations recueillies nous permettent de dire que le niveau critique de corrosion n'est pas encore atteint dans la majeure partie du dépôt de Jetée Nord. En fait, elles montrent que le problème de la corrosion y est bien réel et nécessite une imminente prise en charge, surtout en ce qui concerne les zones les plus sensibles (soudures, coudes...).

Pour ce qui est des revêtements utilisés auparavant, un mauvais assortiment de peintures se révèle souvent inefficace au meilleur des cas et au pire des cas peut même s'avérer néfaste pour le support.

De plus les sommes importantes engagées pour la réhabilitation des bacs et des conduites vont inclure des coûts (arrêt du stockage dû à une vidange entière du bac) qui ne font réellement partie de la réhabilitation proprement dite.

Ceci montre que tout est interrelié, et de ce fait nos recommandations doivent être toutes mises en pratique afin de vraiment améliorer le contrôle et la bonne tenue des équipements

En règle générale, dans un plan de maintenance il est recommandé dans les cas où une défaillance est constatée, de procéder comme suit :

1. Recherche de la raison de la défaillance : phénomène de dégradation et son origine
2. Evaluation des solutions de réparation envisageables compte tenu des caractéristiques de mise en œuvre du matériau, des règles de conception des assemblages, de l'accessibilité de la zone à réparer, ...
3. Mise au point du mode opératoire de réparation choisi : descriptif des étapes de réalisation et du contrôle éventuel de chacune de ces étapes
4. Surveillance de la réparation : liste des opérations d'inspections à effectuer aux étapes critiques permettant d'éviter des défauts rédhibitoires
5. Descriptif du plan d'inspection de l'équipement réparé en service et à l'arrêt : évaluation des risques de dégradation de la réparation et définition des moyens et des périodicités des contrôles à effectuer en service et aux arrêts ultérieurs.

Il est important pour l'élaboration du calendrier de procéder comme suit :

1. découper l'installation en sous-ensembles de mêmes conditions de service.

2. Rédiger un manuel corrosion.
3. Identifier les vérifications à faire, choix des moyens et périodicité des contrôles.
4. Étude et rédaction du plan d'inspection.

Bibliographie

Denny A. Jones. Principles and Prevention of corrosion , 2^e ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 07458, 1996

Jean-Paul Bailon et Jean-Marie Dorlot. Des matériaux, chapitre 8 pages 323-391

Annexes

Liste des annexes

Annexe 1 : Tableau périodique des éléments

Annexe 2 : Séries galvaniques

Annexe 3 : Potentiel Standard d'équilibre d'oxydoréduction à 25°C

Annexe 4 : Annexe 4 : Plan du dépôt de Jetéc Nord

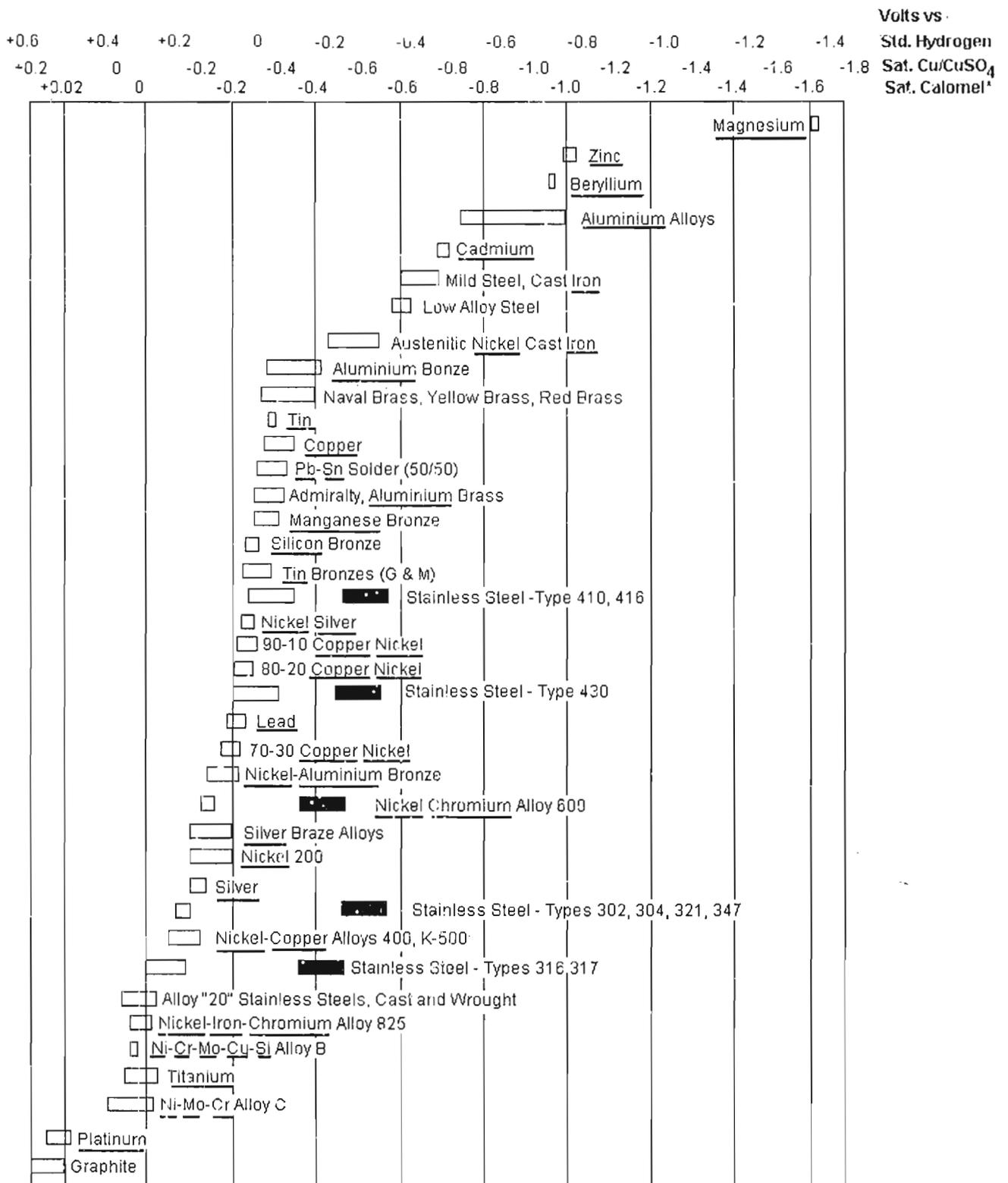
Annexe 5 : Inventaire du matériel de Jetée Nord

Annexe 6 : Actions prévues sur les bacs en 2002-2003

Annexe 7 : Principales classes de peintures

Annexe 9 : Réseau de canalisations entre les différentes unités de stockage

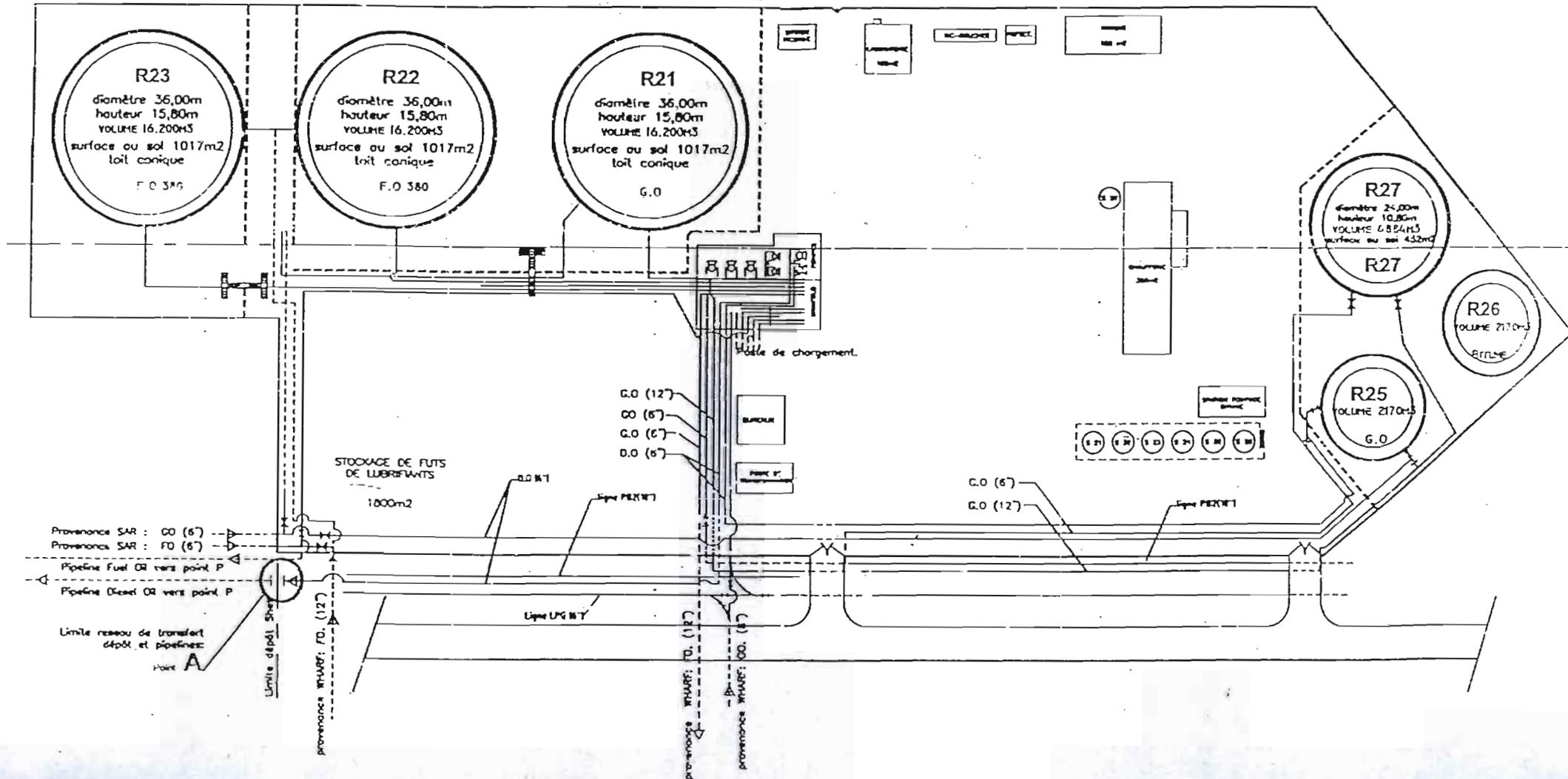
Annexe 2 : Séries galvaniques



Annexe 3 : Potentiel Standard d'équilibre d'oxydoréduction à 25°C

Réaction	Potentiel Standard d'équilibre E_h (Volts)
$\text{Au} \rightleftharpoons \text{Au}^{3+} + 3\text{e}$	+ 1.50
$2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}$	+ 1.23
$\text{Pt} \rightleftharpoons \text{Pt}^{2+} + 2\text{e}$	+ 1.19
$\text{Ag} \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + \text{e}$	+ 0.80
$4\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}$	+ 0.40
$\text{Cu} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}$	+ 0.34
$\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{H}^+ + 2\text{e}$	0
$\text{Pb} \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{e}$	- 0.13
$\text{Sn} \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+} + 2\text{e}$	- 0.14
$\text{Ni} \rightleftharpoons \text{Ni}^{2+} + 2\text{e}$	- 0.25
$\text{Cd} \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+} + 2\text{e}$	- 0.40
$\text{Fe} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}$	- 0.44
$\text{Cr} \rightleftharpoons \text{Cr}^{2+} + 2\text{e}$	- 0.74
$\text{Zn} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}$	- 0.76
$\text{Al} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+} + 3\text{e}$	- 1.67
$\text{Mg} \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+} + 2\text{e}$	- 2.37
$\text{Na} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{e}$	- 2.71

Annexe 4 : Plan du dépôt de Jetée Nord



Annexe 5 : Inventaire du matériel de Jetée Nord

type	Usage	Site
		Jetée Nord
Pompes	Fuel	2
	Gasoil	1
	Gasoil soute	1
	Jet A1	0
	Bitume	1
	Cut-back	0
	Huile circuit thermopac	1
	Incendie	1
Bacs	Fuel	2
	Gasoil	2
	Bitume	5
	Cut-back 0/1	1
	Cut-back 400/600	1
	Kérosène	1
	Jet A1	0
Compresseurs	Mobile	1
	Fixe	1
Tuyauterie	Eau, vapeur, produits pétroliers	€
Groupe électrogène (700kVA)		1
Chaudière		1
Thermopac 1000B		1

Annexe 6 : Actions prévues sur les bacs en 2002-2003

Shell Sénégal		FICHE INDIVIDUELLE D'EQUIPEMENT				
Jetée Nord / BAD		Matériel :		R21	Code Equipement:	JN-RESER-R21
Entretien		Type : Bac de stockage		Indexes: H=15200M D=36M CAP= 15500M3		
Date	Nature	Opérations effectuées			Interne/Externe	Observations
28/08/2002	INCI	Arrachement de la ligne de mousse entrée bac apres UN vent violent			INT	Pluie + vent
29/09/2003	ENT	REPLACEMENT DES VANNES DE PURGES			INT	chef de cour
13/09/2003	ENT	REMISE EN ETAT DES MARCHE ESCALIER ENTREE DES CUVETTES			EXT	DTCI
05/08/2002	ENT	PEINTURE DES PIPES VANNESDANS LA CUVETTES			EXT	EPBI
11/08/2003		DALLAGE DES CUVETES			EXT	SONEIS
18/12/2002	ENT	Grattage et peinture des vannes d purge			int	chef de cour
13/06/2003	ENT	REMISE EN ETAT LIGNE MOUSSE			EXT	DTCI

Shell Sénégal		FICHE INDIVIDUELLE D'EQUIPEMENT				
Jetée Nord / BAD		Matériel :		R22	Code Equipement:	JN-RESER-R22
Entretien		Type : Bac de stockage		Indexes: H=15200M D=36M CAP= 15500M3		
Date	Nature	Opérations effectuées			Interne/Externe	Observations
10/08/2002	ENT	REMISE EN ETAT DES MURS			EXT	HAMDOU
22/09/2003	ENT	TRAVAUX DE PRISE DE RELEVES SUR LES BACS			EXT	CIM
11/08/2003		DALLAGE DES CUVETES			EXT	SONEIS
05/08/2002	ENT	PEINTURE DES PIPES VANNESDANS LA CUVETTES			EXT	EPBI
09/12/2002	REP	Remise en etat escalier bac			Ext	KIMA AFRIQUE
19/12/2002	Ent	grattage et peinture des vannes de purge			INT	Chef de cour
19/12/2002		grattage et peinturevannes clarinettes			int	Chef de cour

Shell Sénégal		FICHE INDIVIDUELLE D'EQUIPEMENT				
Jetée Nord / BAD		Matériel :		R23	Code Equipement:	JN-RESER-R23
Entretien		Type : Bac de stockage		Indexes: H=15200M D=36M CAP= 15500M3		
Date	Nature	Opérations effectuées			Interne/Externe	Observations
05/08/2002	ENT	PEINTURE DES PIPES VANNESDANS LA CUVETTES			EXT	EPBI
10/08/2002	ENT	REMISE EN ETAT DES MURS			EXT	HAMDOU
22/09/2003	ENT	TRAVAUX DE PRISE DE RELEVES SUR LES BACS			EXT	CIM
12/10/2002	transf	transfert bac a bac pour ouverture bac			int	chef de cours
10/11/2002	transf	ouverture bac hauteur h=247mm			int	chef de cours
13/11/2002	transf	demarrage pompage par SNIC			EXT	SNIC
03/12/2003	ENT	REMISE EN ETAT ESCALIER BAC			EXT	KIMA
13/05/2003		redemarrage nettoyage bac (sefore)			EXT	SEFORE

Shell Sénégal		FICHE INDIVIDUELLE D'EQUIPEMENT				
Jetée Nord / BAD		Matériel :		R25	Code Equipement:	JN-RESER-R25
Entretien		Type : Bac de stockage		Indexes: H=10900M D=15M CAP= 2000M3		
Date	Nature	Opérations effectuées			Interne/Externe	Observations
18/10/2002	REP	Revision vanne aspiration sur pied de bac			Int	chef de cours
01/12/2003	ENT	VIDANDE COMPLETE R25 POUR CHANGEMENT			INT	chef de cours
20/01/2003	ENT	NETTOYAGE BAC			EXT	KASS
12/02/2003	ENT	REMISE EN ETAT ESCALIERS,RAMBARDES ET PEINTURE			EXT	DTCI
18/03/2003	ENT	REFERMETURE BAC POUR DU DIESEL			INT	chef de cours
18/03/2003	ENT	REPLACEMENTS VANNE ASPIRATIONS			INT	chef de cours

Shell Sénégal		FICHE INDIVIDUELLE D'EQUIPEMENT			
Jetée Nord / BAD		Matériel :	R26	Code Equipement:	IN-RESER-R26
Entretien		Type : Bac de stockage	Indexes: H=10600M D=16M CAP= 2000M3		
Date	Nature	Opérations effectuées	Interne/Externe	Observations	
10/10/2002	REP	Reparation calorifugeage bac	ext	CTS	
12/02/2003	ENT	REMISE EN ETAT ESCALIERS,RAMBARDES ET PEINTURE	EXT	DTCI	
14/05/2003	ENT	Reparation calorifugeage bac	ext	ISOLSTAR	
11/08/2003		DALLAGE DES CUVETES	EXT	SONEIS	
05/08/2002	ENT	PEINTURE DES PIPES VANNESDANS LA CUVETTES	EXT	EPBI	

Shell Sénégal		FICHE INDIVIDUELLE D'EQUIPEMENT			
Jetée Nord / BAD		Matériel :	R27	Code Equipement:	IN-RESER-R27
Entretien		Type : Bac de stockage	Indexes: H=10400m D=24m CAP=4000m3		
Date	Nature	Opérations effectuées	Interne/Externe	Observations	
11/09/2002	vidange	vidange bac avec UN camion de citerne	Int	UN camion de 35000 litre	
12/09/2002	vidange	vidange bac avec UN camion de citerne	Int	UN camion de 35000 litre	
13/09/2002	vidange	vidange bac avec UN camion de citerne	int	UN camion de 35000 litre	
16/09/2002	nettoyage	ouverture des trous d'hommes	Int	chef de cours	
18/09/2002	nettoyage	nettoyage bac	ext	KHASS	
18/11/2002	peinture	Sablage et peinture bac	ext	RENOV	
12/04/2003		RECEPTION TANKER	INT	INTERNE	

Annexes 7 : Principales classes de peintures

Liants naturels	Huiles siccatives naturelles ou gommes produites par des résineux. Très anciennement utilisés, employés pour la restauration des meubles et les peintures pour artistes.
Dérivés cellulosiques	Obtenus par modification de la cellulose (nitrocellulose, acétate et acéto-butyraté de cellulose, éthyl cellulose) Produits peu utilisés, seule la nitrocellulose a conservé encore un certain rôle.
Dérivés du caoutchouc	Obtenus par modification chimique du caoutchouc naturel (chloration ou traitement thermique). Produits offrant une excellente résistance à l'eau et utilisés en milieu corrosif ou marin.
Vinyliques et acryliques (polychlorures de vinyle)	Le choix des monomères permet de s'adapter aux performances recherchées (les dérivés acryliques ont une meilleure stabilité que les dérivés vinyliques). Liants utilisés principalement pour les peintures en dispersion aqueuse
Alkydes (glycérophtaliques)	Obtenus à partir d'huiles naturelles plus ou moins modifiées par d'autres substances Liants durcissant à température ambiante sous l'action de l'oxygène ou à chaud par réaction avec d'autres résines.

Liants naturels	Propriétés
Polyesters	Obtenus par réaction entre des polyacides et des polyalcools ne contenant pas de dérivés d'huiles naturelles. Liants durcissent par polycondensation interne ou avec des partenaires réactionnels aminoplastes.
Phénoliques (résines)	Produits de réaction de phénols avec des aldéhydes. Rarement utilisables seuls (car durs et cassants), on les utilise après modification chimique ou en combinaison avec d'autres résines compatibles.
Aminoplastes	Produits de réaction d'aldéhydes avec des dérivés aminés (urée, mélamine, guanidine...) Rarement employés seuls, ce sont des partenaires réactionnels très utilisés avec des résines comportant des groupes réactifs.
Epoxydes	Les résines comportant des fonctions époxydiques réagissent par addition avec divers groupes chimiques. Liants durcissant à température ambiante ou à chaud selon la nature des partenaires réactionnels.
Polyuréthanes	Obtenus par addition entre un partenaire réactionnel portant des fonctions isocyanates et un autre contenant des fonctions réactives. La réaction se faisant à température ambiante, il y a nécessité d'opérer le mélange des 2 composants juste avant l'emploi (il est toutefois possible d'avoir des produits en un seul emballage).

RESEAU DES CANALISATIONS ENTRE LES DIFFERENTES UNITES DE STOCKAGE

