

11287

GOUVERNEMENT GENERAL DE L'A.O.F.

SERVICE DE L'HYDRAULIQUE

ETUDE DES CORROSIONS DES FORAGES

DE TIAROE ET ABIDJAN

PROJET DE PROTECTION



NOVEMBRE 1954

Société d'Etudes contre la Corrosion

4, Rue d'Aguesseau - P A R I S

F

SECCO-A-120/DR/61

GOUVERNEMENT GENERAL DE L'A.O.F.

SERVICE DE L'HYDRAULIQUE

ETUDE DES CORROSIONS DES
FORAGES DE TIAROYE ET ABIDJAN
PROJET DE PROTECTION

NOVEMBRE 1954



SOCIETE D'ETUDES CONTRE LA CORROSION
4, Rue d'Aguesseau - PARIS

- S O M M A I R E -

	<u>Pages</u>
Exposé	2
<u>PREMIERE PARTIE</u>	
DESCRIPTION DES INSTALLATIONS - ETUDE DES PHENOMENES CONSTATES, DE LEURS CAUSES ET DES SOLUTIONS PERMET- TANT D'Y REMEDIER	
A.- <u>DESCRIPTION DES INSTALLATIONS</u>	3
1° } FORAGES DE TIAROYE	3
2° } FORAGES D'ABIDJAN	4
B.- <u>ETUDE DES PHENOMENES CONSTATES</u>	4
C.- <u>CAUSES DES CORROSIONS ET DES COLMATAGES</u>	8
1° - CAUSES DES CORROSIONS	8
a) Corrosion par agressivité de l'eau	8
b) Corrosions électrolytiques par couple galvanique avec les parties métalliques voisines	12
c) Corrosions électrolytiques par pile galvanique entre les forages et les conduites	13
d) Corrosion biochimique	16
e) Conclusion relative aux causes de corrosion	16
2° - CAUSES DES COLMATAGES	17
a) Colmatage par oxygénation des sels ferreux	17
b) Colmatage par oxygénation des sels ferreux du fait des courants vagabonds	18
c) Colmatage des massifs et crépines par entraînement de sable	19
D.- <u>MODES DE PROTECTION CONTRE LES CORROSIONS ET LES COLMATAGES</u>	20
1° - Précautions à prendre lors de la construction de nouveaux puits	20
2° - Mode de protection des forages existants	21
E.- <u>CONCLUSION</u>	22

DEUXIEME PARTIE

ETUDE DETAILLEE DES INSTALLATIONS PROPOSEES

A.- <u>DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES DU SYSTEME DE PROTECTION</u>	25
B.- <u>CARACTERISTIQUES DES APPAREILS DE PROTECTION</u>	27
1°) Redresseurs	27
2°) Câbles	27
3°) Dispositif de relaxation	27
4°) Dispositif à impulsion	27
5°) Anodes	27
C.- <u>DETAILS D'INSTALLATION DES DISPOSITIFS DE PROTECTION CATHODIQUE</u>	28
D.- <u>DEVIS APPROXIMATIF DES INSTALLATIONS</u>	30
<u>CONCLUSION</u>	32
<u>ANNEXE I</u> : Etude d'un dispositif expérimental permettant de déceler les corrosions d'un forage	33
1°) PRINCIPE DE LA MESURE	33
2°) DETAILS D'APPLICATION	34
<u>ANNEXE II</u> : ANALYSE DES DEPOTS PRELEVES SUR LA CREPINE DU FORAGE 2	35

- EXPOSE -

De nombreux incidents se sont produits en 1953 et 1954 sur les forages profonds de la nappe de TIAROYE, à DAKAR, et sur les forages d'ABIDJAN.

Ces incidents sont de deux sortes :

- corrosion des crépines, qui rendent les forages inutilisables en raison des venues de sable et de gravier.

- colmatage des crépines ou des canalisations d'aspiration, qui provoque une réduction importante des débits spécifiques des forages.

Le Service de l'Hydraulique nous a chargés d'étudier les phénomènes de corrosion et de colmatage de ces forages et de rechercher les solutions possibles pour les supprimer ou, tout au moins, les réduire.

Nous exposons dans ce qui suit les résultats de notre étude. Ils se divisent en deux parties principales :

1°) Description des installations, étude des phénomènes constatés, de leurs causes et des solutions permettant d'y remédier.

2°) Etude détaillée des solutions proposées et évaluation du prix de revient des équipements correspondants.

PREMIERE PARTIE

DESCRIPTION DES INSTALLATIONS - ETUDE DES PHENOMENES
CONSTATES, DE LEURS CAUSES ET DES SOLUTIONS PERMETTANT
D'Y REMEDIER

PREMIERE PARTIE

DESCRIPTION DES INSTALLATIONS - ETUDE DES PHENOMENES CONSTATES, DE LEURS CAUSES ET DES SOLUTIONS PERMETTANT

D'Y REMEDIER

A - DESCRIPTION DES INSTALLATIONS

1°) FORAGES DE TIAROYE

L'alimentation en eau de DAKAR est assurée par des forages pratiqués dans la nappe sous-basaltique du CAP-VERT et dans la nappe de TIAROYE.

La nappe de TIAROYE, avec ses 19 forages, fournit environ 40 % de la production totale.

Les forages ont été exécutés par la Société Africaine de Sondages, Injections, Forages (SASIF), par la Société Hydraulique Afrique (HYDRAF) et par la Compagnie Générale des Eaux (CGEEUF).

La constitution des différents forages est sensiblement la même, suivant le schéma 1 du plan I20-01 que l'on trouvera en fin de cet exposé. Cependant les nouveaux puits HYDRAF (4 A et I6) sont construits suivant le schéma 3 du même plan.

Les crépines d'origine sont toutes en Armco à persiennes? HYDRAF a utilisé du métal américain et SASIF du métal français élaboré suivant licence américaine.

Les crépines utilisées pour la réfection des puits accidentés sont soit en matière plastique, soit en Armco (crépines Cook à fil trapézoïdal).

Les pompes utilisées sont soit des pompes Layne soit des pompes à moteur immergé. L'entraînement est assuré par des moteurs triphasés 220 V, alimentés par un transformateur individuel dont le neutre est à la terre.

Bien que les différents tubages d'un forage soient théoriquement isolés (schéma 1) entre eux et de la pompe, nous avons pu constater par des mesures électriques que dans la majorité des cas, des contacts accidentels assurent une liaison électrique.

../..

Les forages sont réunis entre eux et à l'usine de traitement des Eaux par des conduites en fonte dont les joints sont de trois types différents : plomb, thiolit, caoutchouc. La résistance électrique de ces conduites est donc particulièrement variable.

En ce qui concerne la nature des massifs de gravier, la majorité des forages sont munis d'un petit massif de granulométrie étudiée pour assurer le filtrage. Seuls, les forages 1, 11 et I3 d'HYDRAF sont construits avec de gros massifs.

2°) FORAGES D'ABIDJAN

L'alimentation en eau d'ABIDJAN est assurée par six forages construits par la SASIF suivant le principe du schéma 2, plan I20-01 : la crépine est théoriquement isolée de la pompe et du tubage extérieur. Seul, le forage de TREICHVILLE 1 est construit suivant le principe du schéma 1.

Les crépines utilisées sont soit en Armco, soit en acier doux, soit en acier inox.

Les pompes utilisées sont des pompes Layne à entraînement par moteur électrique. Plusieurs puits sont munis de dispositifs d'entraînement de secours, soit par accouplement direct à un moteur Diésel, soit par groupe électrogène.

Les conduites desservant les forages sont en fonte ; les joints sont principalement en caoutchouc.

B - ETUDE DES PHENOMENES CONSTATES

Des incidents se sont produits en 1953 et 1954 sur les forages ; on a constaté d'une part des corrosions des crépines rendant les forages inutilisables et d'autre part, des colmatages réduisant les débits spécifiques.

La majorité des forages de TIAROYE sont colmatés par des dépôts ferrugineux se formant dans les tubulures d'aspiration des pompes, sur les crépines et peut-être aussi dans les massifs filtrants. Les forages de TIAROYE sont nettoyés tous les trois mois environ et conservent à cette seule condition un débit acceptable.

D'une manière générale, tous les débits ont fortement diminué depuis la réception des forages.

Les phénomènes de corrosion et de colmatage coexistent à TIAROYE ; ils sont, par contre, parfaitement séparés à ABIDJAN.

Les corrosions semblent s'être localisées sur les crépines SASIF, alors que le seul puits HYDRAF accidenté l'a été par effet mécanique ; il est à noter cependant que la majeure partie des forages anciens sont des forages SASIF.

Les forages accidentés ont été recrépinés, soit en matière plastique, soit avec des crépines COOK en Armco. La nouvelle crépine Armco du forage N° 2 a été corrodée en un an et remplacée par une crépine en matière plastique. La crépine accidentée a pu être récupérée et examinée : elle accuse des corrosions profondes localisées et un amincissement des fils d'Armco. Les corrosions semblent avoir progressé par l'extérieur et sous les dépôts ferrugineux colmatant partiellement la crépine.

Il n'y a pas de différence fondamentale entre la constitution chimique des dépôts sur les parties corrodées et celle des dépôts sur les parties saines de la crépine (voir annexe II : analyse des dépôts).

En ce qui concerne les colmatages, il semblerait que la suppression de la mise à la terre des transformateurs alimentant les pompes réduirait l'importance des dépôts ferrugineux : l'expérience a été faite sur le puits N° I par l'exploitant ; après un nettoyage, la baisse de débit ne s'est fait sentir, dans ces conditions, qu'au bout de 6 mois alors qu'auparavant ce puits devait être nettoyé tous les 3 mois.

Des corrosions ont été constatées sur plusieurs des forages d'ABIDJAN : ADJAME 1 et 2, BANCO et TREICHVILLE I. Il semble que ces corrosions soient situées plus particulièrement dans la partie supérieure des crépines, mais comme il n'a pas été possible de les récupérer, aucun examen précis n'a pu être effectué.

Le phénomène de colmatage ne s'est produit, à ABIDJAN, que sur le forage de COCODY. Le nettoyage du puits a permis de retrouver un débit voisin du débit initial, mais la nature du colmatage est essentiellement différente de celle de TIAROYE : aucun dépôt n'est constaté dans la pompe et les tubulures d'aspiration.

La SASIF affirme que l'entraînement électrique de la pompe et l'existence d'une connexion électrique accidentelle entre la pompe et la crépine ne sont pas étrangers au phénomène de colmatage ; cependant, aucun essai prolongé n'a été effectué avec entraînement

par le moteur Diésel (qui n'est pas assez puissant pour assurer le débit spécifique du puits) et il s'est écoulé trop peu de temps depuis la suppression de la liaison électrique accidentelle pour que l'on puisse prendre cette hypothèse en considération.

Le tableau n° 1 qui suit récapitule les incidents et phénomènes constatés sur les différents forages de TIAROYE et ABIDJAN.

(Voir tableau page 7).

TABLEAU N° 1

INCIDENTS ET PHENOMENES CONSTATES SUR LES FORAGES

DE TIAHOYE ET ABIDJAN

NUMERO du FORAGE	CONSTRUCTEURS	INCIDENTS ET PHENOMENES CONSTATES
1	HYDRAF	Pas de corrosion - Colmatage par dépôt ferrugineux
2	SASIF	Crépine corrodée - Mise en place crépine Cook corrodée également après 1 an. Dernière réfection avec crépine matière plastique - colmatage par dépôts ferrugineux.
3	HYDRAF	Crépine accidentée - Mise en place crépine matière plastique - Peu de dépôts.
4	SASIF	Crépine corrodée - Mise en place crépine Cook - Colmatage par dépôts ferrugineux.
4 A	HYDRAF	Puits nouveau
5	SASIF	Crépine accidentée par mouvement de terrain - Récrépiné en plastique.
5 A	HYDRAF	Puits nouveau
7	CGEEUF	Crépine corrodée - Nouvelle crépine HYDRAF à persienne (en Armco). Peu de dépôts. Corrosion des pompes.
8	CGEEUF	Crépine corrodée - Nouvelle crépine COOK en Armco - colmatage par dépôts ferrugineux.
10	SASIF	Pas de corrosion - Colmatage par dépôts ferrugineux.
11	HYDRAF	Pas de corrosion - Colmatage par dépôts ferrugineux.
12	SASIF	Crépine corrodée - Nouvelle crépine Armco.
13	SASIF	Crépine accidentée par effort mécanique - Nouveau forage tangent au premier - Colmatage par dépôts ferrugineux.
14	SASIF	Crépine corrodée - Nouvelle crépine plastique - Colmatage par dépôts ferrugineux.
15	SASIF	Peu de dépôts. Puits récent.
16 A B C	HYDRAF	Puits nouveau
17	SASIF	Puits récent, crépine matière plastique - Peu de dépôts.
COCODY	SASIF	Pas de corrosion - Pas de dépôt - Colmatage.

N° du Forage	Constructeurs	Incidents et phénomènes constatés
ADJAME 1	SASIF	Crépine corrodée - Nouvelle crépine COOK en Armco
ADJAME 2	SASIF	Crépine corrodée - Nouvelle crépine en matière plastique.
BANCO	SASIF	Crépine corrodée - Nouvelle crépine en matière plastique.
TREICHVILLE 1	SASIF	Crépine corrodée - Nouvelle crépine Armco à persiennes
TREICHVILLE 2	SASIF	Puits nouveau.

C - CAUSES DES CORROSIONS ET DES COLMATAGES

De nombreuses causes peuvent être envisagées en ce qui concerne les corrosions et les colmatages des crépines. Nous pouvons retenir à priori les hypothèses suivantes :

1°) Corrosions :

- a) agressivité propre de l'eau
- b) corrosion électrolytique par couple galvanique avec les parties métalliques voisines
- c) corrosion électrolytique par couple galvanique entre les forages et les conduites.
- d) corrosion par action bactérienne.

2°) Colmatages

- a) transformation des sels ferreux, solubles en sels ferriques, insolubles, par décompression de l'eau
- b) transformation de sels ferreux en sels ferriques par oxygénation provenant des effets d'électrolyse des sels provoqués par les courants vagabonds.
- c) colmatage simple du massif et de la crépine par introduction de sable.

Nous allons examiner successivement ces différentes causes possibles et nous déterminerons quelle est en fait leur incidence dans les phénomènes constatés.

1° - CAUSES DES CORROSIONS -

a) Corrosion par agressivité de l'eau

L'agressivité de l'eau dépend de la nature des sels dissous et de la teneur en sels ainsi qu'en gaz carbonique libre.

.../..

Deux grandeurs caractérisent en fait l'agressivité :
la résistivité électrique qui dépend des sels dissous et le pH
qui dépend à la fois des sels dissous et du gaz carbonique libre.

Dans les tableaux n° 2 et 3 suivants, nous avons récapitulé
les résultats d'analyses précédemment effectuées et les résultats
de mesures de résistivité et de pH auxquelles nous avons procédé sur
des échantillons d'eau des différents forages.

Le tableau n° 2 correspond à la nappe de TIAROYE le tableau
n°3 aux forages d'ABIDJAN.

(voir tableaux pages 10 et 11)

NAPPE DE TIAROYE

Analyse des eaux - (Valeurs exprimées en mg/l)

N° du forage	Résistivité (ohm-m)	pH	Extrait IIO ²	Fe2O3 + Al2O3	FeO	Cl -	SO4	CO3	NO3	Ca++	Mg++	Na+	TH
I	32	6	I70	8	5	71	17,5	8,5		8,5	4,5	43	5,5°
2	27	6	I76	7	2,5	71	20	7		11,5	5	38,5	
3			I22	3	0,5	39	8,5	8,5	18	7	5	24,5	3,3°
4	40	6	I56	9	5	53	15,5	12	6	9	0,5	41,5	2,7°
4 A	55	6											
5 et 5 A	40	6	I52			46	17	9	26,5	10	10	25	11,7°
7	35	6	I48	6	0,5	53	20	9	6	11,5	3	33,5	5,2°
8	30	6		Traces		39	20	21		32	4	7	5°
I0	30	6											
11	30	6	200	3	5	35,5	30,5	16		18,5	5,5	31	5,7°
I2	34	6	I66	2	2,5	52,5	23	8	24	8,5	8,5	36	7,6°
I3	I3	6,5	373	11		112		33				69	15,2°
I4	26	6	I92	4	5	80,5	15,5	13		8,5	7	47,5	
I5	52	6	I62	5,5	0,5	33	10	31	10	20	4	22	
I6	48	6	I45	2		49	17	14	22	11,5	8	30	
I7	46	6	I45	3	0,5	37	8	16	35	12	7,5	25	

TABEAU N° 3

FORAGES D'ABIDJAN

Analyse des eaux

Forages	Résistivité ohms/m	pH	CO ₂ libre mg/l	Fer	TH
ADJAME 1	170	6	51	Traces	I2
ADJAME 2	170	6	51	Traces	I2
COCODY	300	6,2	21	Traces	7
BANCO	200	6,5			
TREICHVILLE 1	22	6,5	26,4	0,2	I5
TREICHVILLE 2	24	6,2	24,7	Traces	I5

Nous considérons généralement comme agressives les eaux de pH 7 dont la résistivité est inférieure à 20 ohms-m, et comme moyennement agressives les eaux de résistivité comprises entre 20 et 80 ohms-m.

La présence de gaz carbonique libre renforce l'agressivité de l'eau par corrosion chimique et abaisse le pH. C'est ce qui explique les corrosions des puits d'ADJAME et du BANCO, bien que leur résistivité ne dénote aucune agressivité électrochimique.

En résumé, les eaux de la nappe de TIAROYE qui ont une résistivité moyenne de 35 ohms-m sont moyennement agressives du point de vue électrochimique; leur teneur en CO₂ dissous renforce cette agressivité.

En ce qui concerne les eaux d'ABIDJAN, l'agressivité électrochimique des eaux d'ADJAME, COCODY et BANCO est nulle, mais la présence de CO₂ libre en grande quantité crée un danger important d'attaque chimique.

Nous ne connaissons pas la teneur en CO₂ des eaux du BANCO, mais les incidents qui se sont produits laissent présumer une teneur importante.

Le forage de COCODY n'a pas encore été accidenté, cependant il est à craindre qu'il ne le soit dans quelque temps, la teneur en CO₂ étant relativement importante.

.../..

Les eaux de TREICHVILLE sont agressives tant du point de vue chimique qu'électrochimique.

b) Corrosions électrolytiques par couple galvanique avec les parties métalliques voisines.

Une corrosion électrolytique par couple galvanique peut se produire par la présence de deux métaux différents : par exemple crépine en Armco, tubage en acier.

Cette corrosion est d'autant plus active que la résistivité du milieu est plus faible.

Une corrosion du même genre peut se produire sur un métal homogène par aération différentielle, si le milieu électrolytique n'est pas homogène en ce qui concerne l'oxygène dissous.

L'étude de ce genre de corrosion dans un forage n'est pas possible car nous ne pouvons avoir accès aux pièces métalliques de nature différente. Lorsque de l'acier et de l'Armco sont en présence, nous ne pouvons définir a priori quel est le métal qui se corrodera par couple galvanique. Leurs potentiels naturels sont voisins et il est possible qu'une légère modification de la composition d'un de ces métaux puisse modifier, et même inverser le sens des couples.

Ceci est certainement l'explication des corrosions apparues plus particulièrement sur de l'Armco français, utilisé par la SASIF, alors que la résistance à la corrosion de l'Armco, made in U.S.A., de HYDRAFF était meilleure.

Il n'en demeure pas moins que les crépines HYDRAFF, si elles échappent à ce danger de corrosion, n'échapperont pas aux dangers provenant d'un autre effet.

Si nous ne pouvons pas définir à priori lequel, de l'acier ou de l'Armco, se corrodera, nous pouvons par contre assurer que si l'on ne prend pas de précautions particulières, l'emploi de crépines en cupronickel, envisagé actuellement, reporterait les corrosions (en les amplifiant) sur les pièces en acier voisines.

La pièce en cupronickel devra être isolée électriquement des pièces en acier. Par conséquent, le tube prolongeant la crépine devra être en même métal qu'elle-même, s'il n'est pas possible de réaliser une isolation efficace, par exemple à l'aide d'un manchon en matière plastique. Ce tube sera isolé du tube extérieur simplement par le gravier : seul, le contact électrique franc par pièces métalliques est dangereux.

Il sera par conséquent nécessaire de s'assurer que la mise en ~~place des pompes et de leurs tubulures d'aspiration ne produit pas~~ avec la crépine un contact accidentel dont l'effet serait dangereux.

D'autre part, il est certain que la vitesse de l'eau au passage des fentes de la crépine est la plus élevée dans la partie supérieure de la crépine. La décompression de l'eau y est plus importante et la libération de l'oxygène dissous provoque, comme nous le verrons plus loin, un dépôt plus important de sels ferriques.

La présence de ces dépôts provoque des piles locales d'aération différentielle : la partie attaquée est la moins aérée, qui se situe sous les dépôts.

Dans le cas des forages d'ABIDJAN, la présence de dépôts ferriques n'est évidemment pas à incriminer, par contre, toutes les autres causes coexistent.

L'action d'un couple entre crépine et tubage est évidemment plus sensible à la partie supérieure de la crépine, les lignes de courant étant plus courtes.

A noter que, dans le cas de recrépinage d'un forage en Armco, la corrosion de la nouvelle crépine peut être soit accélérée, soit au contraire ralentie par un effet de pile galvanique entre nouvelle et ancienne crépine. Ce phénomène s'est certainement produit, avec aggravation de la corrosion, pour la deuxième crépine du forage N° 2 de TIAROYE : cette crépine s'est en effet corrodée beaucoup plus rapidement que la crépine d'origine.

c) Corrosions électrolytiques par pile galvanique entre les forages et les conduites -

Des couples galvaniques prennent naissance entre les forages et les conduites qui leur sont réunies. Ces couples sont défavorables au forages. L'importance de ces couples est mise en évidence par la mesure du courant de circulation dans les conduites au départ des forages.

Evidemment, cette influence n'est sensible que si la résistance électrique du circuit est suffisamment faible pour laisser passer un courant électrique appréciable.

Les conduites sont plus ou moins conductrices suivant la nature de leurs joints (plomb, thiolit, caoutchouc).

Un joint Gibault est installé à chaque raccordement conduite-forage. Un tel joint bien centré peut être isolant électriquement. Il n'en est pas de même s'il est excentré ou si les surfaces de contact des colliers sont nettoyées. Par conséquent, on ne peut a priori

dire si le joint est isolant ou non, et un joint isolant à un moment donné, peut très bien ne plus l'être après un démontage (effectué à chaque nettoyage de pompes), ou vice versa.

Le tableau N° 4 indique, pour les différents forages de TIAROYE, les valeurs des courants de circulation mis en jeu, la résistance linéaire de la conduite et l'efficacité isolante du joint Gibault, dans l'état où il se trouvait au moment de nos mesures.

Plusieurs puits émettent un courant de 17 à 45 mA, ce qui dissocie de 170 g. à 450 g. d'acier par an. La corrosion correspondante se localise de préférence sur la crépine car elle plonge dans de l'eau à faible résistivité, alors que le terrain lui-même est résistant, et plus particulièrement aux points où l'absence de dépôts, pour une raison quelconque, favorise l'émission de courant.

Ce genre de corrosion n'existe pas à ABIDJAN, les crépines étant isolées des tubages. Seul, le puits de TREICHVILLE I pourrait en être affecté, mais nous avons vérifié que la conduite ne présente pas de continuité électrique.

(Voir tableau page 15)

TABLEAU N° 4

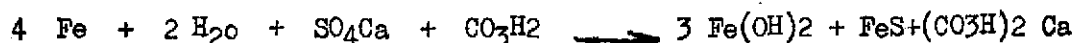
Forage	Nature du joint Gibault	Nature des joints de la conduite fonte	Résistance de la conduite ohm pour 100 m.	Courant de circu- lation écoulé par le puits mA
I	Isolant	Thiolit	0,10	0
2	Isolant	Thiolit	0,10	0
3				
4	Conducteur	Plomb	0,10	40
4 A	Isolant	Plomb		0
5	Pas de joint		0,5	0
5 A	Pas de joint			0
7	Conducteur	Plomb	0,1	45
8	Pas de joint	Thiolit	0,5	30
10	Conducteur	Plomb	0,1	0
11	Conducteur	Cacoutchouc	Isolant	0
12	Conducteur	Thiolit	0,1	0
13	Isolant	Plomb	0,1	0
14	Isolant	Plomb sur 50 m puis thiolit	0,1	0
15	Isolant			0
16	Pas de joint		0,1	17
17	Conducteur	Plomb sur 800 puis thiolit	0,1	0

..../..

d) Corrosion biochimique

Les bactéries anaérobies sulfato réductrices telles que vibrio désulfuricans peuvent provoquer des corrosions importantes : elles dépolarisent le métal en utilisant l'hydrogène naissant pour réduire les sulfates du milieu ambiant. De ce fait, elles déclenchent ou activent la corrosion électrochimique. La réduction libère de l'hydrogène sulfuré qui, dans le cas d'attaque du fer par exemple, se combine à l'hydrate ferreux pour donner du sulfure de fer. La présence de sulfure dans les produits de la corrosion est un indice certain de l'intervention bactérienne.

On peut écrire globalement comme suit la réaction :



L'action bactérienne nécessite la présence de sulfates et d'acide carbonique, éléments que l'on trouve en proportions importantes dans les eaux de TIAROYE.

L'analyse des dépôts prélevés sur la crépine du puits 2 (voir analyse annexe 11) met en évidence des sulfures. La corrosion biochimique est donc à incriminer, au moins pour ce forage.

Pour les autres forages, si l'on désire une certitude quant à la présence de bactéries, il est nécessaire de prélever de l'eau (et si possible des dépôts) et d'effectuer une culture sur milieu de Starkey.

e) Conclusion relative aux causes de corrosion

En conclusion, nous pouvons retenir comme causes principales de corrosion :

- l'agressivité des eaux, dont la résistivité est basse et la teneur en gaz carbonique élevée.
- les effets de piles galvaniques locales, créées soit par les dépôts, soit par aération différentielle, soit par la présence de deux métaux de nature différente.
- éventuellement, l'action des bactéries anaérobies réduisant les sulfates.
- pour certains forages de TIAROYE, les effets de piles galvaniques entre les forages et les canalisations en fonte.

Etant donné les causes de corrosion que nous retenons, il ne semble pas qu'un seul des puits de TIAROYE ou d'ABIDJAN puisse échapper à la corrosion : elle est plus ou moins rapide suivant les facteurs locaux, mais aucune eau de forage ne présente les caractéristiques nécessaires pour écarter tout incident : forte résistivité, teneur en CO₂ libre négligeable et pas de sulfate.

Il est possible de vérifier l'état de corrosion (ou de non corrosion) d'un puits par une méthode d'investigation que nous avons expérimentée en ITALIE, dans les pozzi (forages de méthane) du Polésine. Nous l'avons également expérimentée au forage du Banco.

Cette méthode de mesure et les résultats que nous avons obtenus au Banco sont exposés en annexe. Nous y donnons également les caractéristiques des appareils nécessaires.

2°) - CAUSES DES COLMATAGES

a) Colmatage par oxygénation des sels ferreux

De nombreux colmatages se produisent dans les puits de la nappe de TIAROYE. Des boues ferrugineuses se déposent sur les crépines, dans les tubulures d'aspiration et dans les pompes.

La précipitation des sels, sous forme ferriques est causée par l'oxydation des sels ferreux contenus dans l'eau ; une teneur minimum de 1 mg/l est nécessaire pour donner lieu à des dépôts importants.

Les causes de l'oxydation sont multiples :

- aération du terrain et oxydation de l'eau lors des modifications du niveau de la nappe, en particulier lors de changements de débit ou de l'arrêt des pompes.

- décompression de l'eau provoquant la libération de l'oxygène dissous, d'où oxydation des sels ferreux et précipitation.

Cette décompression se produit dans le massif de gravier et surtout, semble-t-il probable, au passage des fentes de la crépine et à l'aspiration de la pompe.

Nous donnons dans le tableau N° 5 les vitesses de passages de l'eau dans les fentes des crépines pour quelques-uns des puits ; la moyenne de 5 cm/s pour la nappe de TIAROYE est nettement trop élevée pour une nappe ferrugineuse : il est en effet recommandé de ne pas dépasser 6 mm/s dans des conditions de ce genre.

Dans les puits HYDRAF à gros massifs N°s I, 11 et I3, la vitesse de l'eau est certainement beaucoup plus faible, d'une part en raison du diamètre de la crépine (18 " au lieu de 8 à 10"), et d'autre part parce que l'emploi d'un gros massif permet des fentes plus grosses, donc un pourcentage de vide plus important,

Ne connaissant pas le pourcentage de vide de ces crépines, il ne nous a pas été possible de calculer la vitesse de l'eau,

TABLEAU N° 5

VITESSE DE L'EAU DANS LES FENTES DES CREPINES

N° du puits	Débit de réception m3/h	Débit actuel m3/h	Surface des fentes de crépines cm2	Vitesse de l'eau dans les fentes cm/s	
				A la réception	Actuellement
2	I34	80	3.000	10	7,5
4	I28	45	2.050	17,5	6
5	45		5.500	2,3	2,3
I0	36	I5	2.600	3,9	I,6
I2	55	40	2.600	6	4,3
I4	I60	70	5.200	8,7	3,8
I5	84	80	9.800	2,4	2,3
I7	I75	I75	8.600	5,7	5,7
COCODY	200	I20	4.100	I3,6	8,2

b) Solmatage par oxygénation des sels ferreux du fait des courants vagabonds

Les piles locales entre les différents métaux existant dans le forage ont un débit suffisamment faible pour que la quantité d'oxygène libérée soit négligeable. Par contre, les courants vagabonds peuvent être incriminés.

.../...

~~Les seuls courants vagabonds que nous ayons détectés à~~
TIARROYE sont alternatifs : ils proviennent du déséquilibre du réseau moyenne tension alimentant les forages. Le couplage étoile-étoile des transformateurs des forages dont le neutre basse tension est à la terre transmet le déséquilibre, avec un courant homopolaire permanent qui s'écoule par la prise de terre.

Cette prise de terre étant constituée par un tube parallèle au puits, à quelques mètres de distance, il s'ensuit une production permanente d'oxygène à proximité de la crépine.

Nous pensons que c'est par l'intensité du courant homopolaire, donc par le déséquilibre du réseau, qu'il faut expliquer les variations de vitesse des colmatages suivant que la pompe est entraînée par un moteur électrique ou thermique, ou suivant que le neutre des transformateurs est à la terre ou non.

Bien entendu, le colmatage ne se réalise que si les eaux sont chargées en sels ferreux ; en ce qui concerne le forage de COCODY, on ne peut pas conclure que le mode d'entraînement de la pompe : par moteur électrique ou par moteur thermique, ait une influence, quoi qu'en pense la SASIF. De même, il ne semble pas que la suppression d'un contact accidentel entre pompe et crépine soit intervenue. Les courants vagabonds alternatifs n'existent probablement pas à COCODY, étant donné la conception du poste transformateur et son éloignement relatif du puits ; de plus, même s'ils existent, ils n'auraient d'influence que sur les sels ferreux : or, l'eau d'ABIDJAN en est dépourvue. Le colmatage sera moins rapide, ou même nul, avec le moteur thermique simplement, parce que celui-ci a une puissance insuffisante pour assurer le débit de 200 m³/H la réduction du débit suffit à diminuer et même à supprimer les colmatages, comme nous le verrons plus loin.

c) Colmatage des massifs et crépines par entraînement de sable

A COCODY, les incidents doivent être imputés à un colmatage progressif de la crépine persiennée ou du massif filtrant.

La vitesse de l'eau dans les fentes de la crépine et dans le massif de gravier est très importante, d'autant plus que le volume de gravier est très faible (17 m³) pour une crépine de 20 m. de long.

.../..

On retrouve ici la différence importante entre les gros massifs de gravier et les petits massifs ; les premiers sont incolmatables car la filtration est obtenue par réduction de la vitesse de l'eau à une valeur telle que l'entraînement du sable est impossible. Les seconds nécessitent une granulométrie étudiée en fonction du terrain pour assurer la filtration ; un entraînement de sable a toujours lieu sur leur périphérie, produisant peu à peu le colmatage du massif.

Avec 17 m³, le massif de CCODY semble particulièrement faible en comparaison des massifs de TIAROYE (puits 4 : 69 m³ pour une crépine de 12 m ; puits 10, 68 m³ pour une crépine de 15 m), et étant donné son débit important (200 m³/h), le colmatage est d'autant plus rapide.

Des phénomènes de colmatage du même genre peuvent se produire à TIAROYE si la vitesse de passage de l'eau dans le massif est trop importante.

D - MODES DE PROTECTION CONTRE LES CORROSIONS ET LES COLMATAGES -

Nous examinerons successivement les précautions à prendre lors de la construction de nouveaux puits, et les dispositions que l'on peut prendre pour tenter de sauvegarder, dans la mesure du possible, les puits existants.

1° - Précautions à prendre lors de la construction de nouveaux puits :

Pour éviter les corrosions, nous ne pouvons que recommander l'utilisation de crépines en matière plastique qui sont inattaquables.

L'emploi de crépines en cupro-nickel peut donner de bons résultats à condition que l'on élimine tous les risques de couples électrolytiques, même accidentels.

Pour éviter les colmatages, et plus particulièrement dans les régions où les eaux sont ferrugineuses, il est recommandé d'adopter des vitesses d'eau assez faibles dans les massifs de gravier et dans les crépines. Par conséquent, nous conseillons d'utiliser de gros massifs, qui, permettant d'augmenter les fentes des crépines, réduisent la vitesse de l'eau.

Dans les nappes ferrugineuses, il faudrait qu'elle n'excède pas 6 mm/s au passage des crépines.

vitesse

Il est à noter qu'à/de passage égale, une crépine en plastique retient moins les particules ferriques colloïdales qu'une crépine en métal, ce qui est encore favorable dans l'emploi de matière plastiques.

Enfin, il y a lieu d'éliminer les courants vagabonds alternatifs à proximité immédiate des forages et, pour cela, d'assainir le réseau électrique dont les phases doivent être équilibrées, ou de supprimer la mise à la terre des neutres ou de l'effectuer à plusieurs dizaines de mètres des forages.

Ces différentes précautions conduisent à des prix d'établissement plus élevés que les prix moyens des forages qui ont été exécutés jusqu'à présent ; toutefois, le fait d'avoir des forages sûrs, dont la durée de vie serait importante, compenserait largement la plus value d'installation.

2° - Mode de protection des forages existants -

Lorsqu'un forage a été accidenté, nous conseillons, pour les mêmes raisons que ci-dessus, un recrépinage en matière plastique.

Pour les autres forages, une protection cathodique, bloquant les corrosions dans l'état actuel, peut apporter toute sécurité à condition que le métal à protéger soit sur le trajet direct des lignes de courant. Autrement dit, la protection cathodique n'est en principe pas applicable à la nouvelle crépine métallique d'un puits recrépiné, ou aux puits HYDRAP réalisés suivant le schéma 3 du plan I20-01.

Il semble cependant que l'emploi d'un dispositif de protection cathodique à impulsion ou à relaxation peut assurer une protection meilleure des surfaces qui ne sont pas en vue directe de l'anode : c'est le cas des tubes de chaudières et de condenseurs où ce mode de protection a donné de bons résultats. On peut donc espérer que la protection cathodique ainsi conçue aurait tout au moins un effet sensible sur les crépines intérieures des puits accidentés.

D'autre part, un isolement effectif devra être apporté entre les forages et les conduites de refoulement, au moyen de joints isolants.

Enfin, bien que la protection cathodique soit efficace contre la corrosion biochimique, il serait bon d'effectuer l'analyse bactériologique des eaux et, si l'on reconnaît la présence d'éléments sulfato-réducteurs, de les réduire en infectant dans les puits du chlore ou du permanganate de potassium.

En ce qui concerne les colmatages, à part la réduction du débit des puits, et par conséquent de la décompression de l'eau, qui, seule, peut arriver à supprimer les colmages, nous conseillons, pour la nappe de Tiaroye, les précautions suivantes :

- suppression des courants vagabonds alternatifs par isolement du neutre des transformateurs abaisseurs, ce qui ne présente aucun inconvénient pour les installations électriques.

- pour les puits protégés cathodiquement, emploi d'un dispositif à impulsion ou relaxation qui élimine les dépôts. Ce dispositif est couramment employé comme anti-tartre dans les chaudières.

L'application de ces précautions permettra certainement de réduire l'importance des colmatages et d'espacer éventuellement les opérations de nettoyage des puits.

E - CONCLUSION

En conclusion, nous préconisons, dans la mesure du possible l'emploi de crépines en matière plastique (à l'occasion de la réfection d'un forage ou pour l'établissement des nouvelles installations) et la réduction des débits spécifiques des forages.

Pour les puits existants, nous conseillons l'installation de joints isolants à la jonction conduite-pompe et, en ce qui concerne les forages de TIAROME, l'isolement du neutre des transformateurs abaisseurs.

Enfin, nous proposons l'installation de dispositifs de protection cathodique à impulsion, à titre préventif, pour les puits qui n'ont pas été accidentés, et à titre d'essai sur quelques puits recrépinés en métal.

La protection cathodique serait par conséquent appliquée aux puits 1, 10, 11, 13, 15 de TIAROME et à TREICHEVILLE 2.

La protection ne serait installée sur le puits de COODY qu'en cas de nécessité reconnue au moyen d'un sondage électrique effectué comme nous l'indiquons en annexe.

Les puits recrépinés, N°s 4 et 8, TREICHEVILLE 1 seraient protégés cathodiquement à titre d'essai, ainsi que le puits 4 A d'HYDRAP.

Nous exposons, dans la seconde partie qui suit, le détail des installations à réaliser.

*
* *

.../..

DEUXIEME PARTIE

ETUDE DETAILLEE DES INSTALLATIONS PROPOSEES

DEUXIEME PARTIE

ETUDE DETAILLEE DES INSTALLATIONS PROPOSEES

Nous étudions dans ce qui suit les installations à réaliser pour assurer la protection cathodique des forage de TIAROYE et ABIDJAN.

Rappelons que nous proposons d'utiliser, non pas un système classique de protection cathodique fournissant un courant permanent, mais un système à impulsion ou à relaxation, permettant en principe une protection meilleure des surfaces cachées et la transformation des dépôts en boues non adhérentes.

Le dispositif à impulsion consiste à interrompre et à rétablir successivement le débit du courant à des intervalles fixés à l'avance.

Le dispositif à relaxation au contraire établit le courant pour une durée déterminée, lorsque le potentiel du métal à protéger (mesuré par rapport à une électrode de référence impolarisable) descend au-dessous du seuil de protection cathodique. Si la durée de débit du courant est bien fixée par la minuterie, la durée de l'interruption du courant dépend de la dépolarisation du métal, c'est-à-dire principalement, dans le cas présent, du débit de la pompe : lorsque la pompe est en service, la dépolarisation est beaucoup plus rapide, l'eau neuve apportant de nouvelles molécules d'oxygène.

Nous ne pouvons dire à priori lequel des deux systèmes serait le plus efficace pour la protection des forages, cette application de la protection cathodique n'ayant pas été réalisée jusqu'à présent. Nous proposons par conséquent d'essayer les deux procédés et de faire varier d'un puits à l'autre, dans chacun des systèmes, la durée des émissions de courant.

En résumé, nous proposons pour les différents puits les systèmes dont les caractéristiques sont données par le tableau suivant :

../..

N° du Forage	Nature du système de protection	Durée de l'émission de courant	Durée de la coupure de courant
I	Impulsions	1 seconde	1 seconde
10	Impulsions	5 secondes	5 secondes
11	Impulsions	5 secondes	5 secondes
13	Relaxation	2 minutes	
15	Relaxation	3 minutes	
TREICHEVILLE 2	Relaxation	1 minute	
4	Impulsions	1 seconde	1 seconde
4 A	Impulsions	1 seconde	1 seconde
8	Relaxation	3 minutes	
TREICHEVILLE 1	Relaxation	1 minute	

La protection cathodique peut être assurée de deux manières :

- par des anodes de magnésium, qui fournissent elles-mêmes le courant nécessaire,

- par une anode d'acier associée à un redresseur de courant alimenté par le réseau alternatif BT.

Nous n'envisageons que le deuxième mode de protection, qui est toujours le plus économique lorsque l'on dispose d'énergie BT et qui, de plus, est le seul techniquement possible dans le cas présent, étant donné la résistivité élevée des couches de terrain superficielles.

Le principe de l'installation est donné par le plan I20-02.

Nous examinerons tout d'abord les résultats des mesures que nous avons effectuées pour déterminer les caractéristiques du système de protection (intensité, tension), puis les caractéristiques des appareils et anodes, enfin les détails d'installation.

Pour terminer, nous établirons un devis approximatif des installations.

A - DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES DU SYSTEME DE PROTECTION -

Afin de déterminer les caractéristiques du système de protection, nous avons effectué un essai complet sur le forage n° I5 de TIAROEY.

A l'origine, la polarisation spontanée du tube de forage et de sa crépine est de - 350 mV par rapport à une électrode impolarisable au sulfate de cuivre placée sur le terrain à proximité du forage.

Rappelons que la protection est obtenue lorsque ce potentiel est abaissé à - 850 mV.

Nous avons alors établi un dispositif normal de protection (sans interruption du courant) pendant 6 heures avec un débit de 1,85 A.

Le potentiel du métal était amené dans ces conditions à - 950 mV ; la protection cathodique était donc largement obtenue.

Nous avons poursuivi l'essai pendant 15 h. avec un courant de 1 A. et nous avons obtenu un potentiel de - 810 mV.

Un courant de 1,2 A. environ est donc suffisant pour protéger le puits I5, compte tenu des pertes sur le casing extérieur qui n'était pas relié à la crépine lors de notre essai.

La dépolarisation du métal est rapide, le potentiel s'élève de 100 mV en une minute.

Dans un système à impulsion ou relaxation, il est nécessaire de prévoir un courant double (2,5 A), compte tenu des interruptions de courant. La partie immergée de la crépine ou du tubing étant de 15 m. environ, offre une surface de l'ordre de 10 m². Nous compterons donc 0,25 A par m² de surface à protéger.

Un essai effectué au forage de TREICHEVILLE 1 a donné des résultats du même ordre, ramenés à une même surface.

Nous avons profité de ces essais pour mesurer la résistance de passage du courant entre les forages et la terre. Nous avons trouvé 5 ohms au puits I5 de TIAROEY et 1,5 ohm au puits de TREICHEVILLE 1.

.../..

Ce sont les valeurs que l'on retrouve par le calcul en ne considérant que la partie immergée des forages et en évaluant la résistivité du massif à un chiffre supérieur de 50 % à celle de l'eau seule. Nous nous baserons sur ces valeurs pour déterminer la tension nécessaire à la protection.

Le tableau suivant donne pour les différents forages, l'intensité et la tension nécessaires pour assurer la protection, ainsi que la consommation annuelle d'énergie pour des prises de terre anodiques réalisées comme spécifié plus loin et déterminées de manière à utiliser des redresseurs de tension normalisée.

N° du forage	Surface à protéger (m ²)	Intensité nécessaire (A)	Résistance de terre du forage (ohms)	Résistance de terre de l'anode et connexions (ohms)	Tension (V)	Consommation annuelle (kWh)
I	25	6	3	3	36	2.000
IO	I2	3	3	4	21	550
11	25	6	3	4	42	2.200
I3	8	2	1,5	3	9	180
I5	10	2,5	5	5	25	550
TREICHEVILLE 2	20	5	1,5	3	23	1.000
4	I2	3	5	3	49	3.500
4 A	20	5	5			
8	I6	4	3	3	24	850
TREICHEVILLE 1	20	5	1,5	3	23	1.000

Etant donné la disposition des lieux, les forages 4 et 4 A seraient protégés par une installation commune.

.../..

B - CARACTERISTIQUES DES APPAREILS DE PROTECTION -

1°) Redresseurs

Les redresseurs utilisés peuvent être choisis dans la gamme fabriquée par "Le Matériel Téléphonique", à cellules fer-sélénium et refroidissement naturel dans l'air, type A.S.P. 40.824 (10 A - 24 V). Pour obtenir 48 V., deux appareils seront placés en série.

Compte tenu de la température ambiante, le débit de ces redresseurs devra être réglé à moins de 7 A. sur le couplage 24 V., cette valeur correspondant à l'échauffement limite.

Ces appareils comportent 4 positions de réglage.

Ils seront protégés côté alternatif par un sectionneur à coupure en charge 10 A.

2°) Câbles

Les câbles de connexion entre redresseur et forage d'une part, redresseur et anode acier d'autre part, seront du type PFG ou PFT à un conducteur cuivre 10,8 mm² (ou à plusieurs conducteurs en parallèle, section totale minimum 10 mm²).

Ils seront enterrés à une profondeur de 80 cm. environ.

3°) Dispositif de relaxation

Le dispositif de relaxation sera un système RELAXA (brevet SECCO), dont le schéma de principe est donné par le plan FO-52 ; il commande la coupure de l'alimentation du redresseur en courant alternatif.

4°) Dispositif à impulsion sera assuré soit par un rupteur à balancier Alkan et Sinay (durée des impulsions 1 seconde), soit par un rupteur thermique Soulat, type J2/22 (durée des impulsions 5 secondes environ). Ces dispositifs commandent également la coupure de l'alimentation du redresseur en courant alternatif.

5°) - Anodes

Les anodes seront constituées par des rails de récupération, pesant environ 20 kg, par mètre : elles sont prévues pour une durée de 5 à 10 ans.

La consommation d'acier est de 10kg. par ampère et par an, pour un courant permanent.

Les anodes, de 15 à 25 m. de longueur, sont placées verticalement dans le sol, à une distance de 50 m. environ du forage à protéger.

Les différents éléments constituant l'anode seront soudés bout à bout, de préférence par aluminothermie. A défaut de ce procédé, ils seront soudés à l'arc, à coeur.

Les longueurs des anodes sont données par le tableau suivant :

N° du forage	Longueur anode m.	Poids anode kg.
I	20	400
10	15	300
11	15	300
13	15	300
15	20	400
TREICHEVILLE 2	15	300
4		
4 A.	25	500
8	15	300
TREICHEVILLE 1	15	300

C - DETAILS D'INSTALLATION DES DISPOSITIFS DE PROTECTION CATHODIQUE

Les redresseurs, les sectionneurs d'alimentation et les dispositifs à impulsion ou à relaxation seront placés dans les abris des pompes. Leur encombrement est d'environ 800 x 600 x 400 mm.

Les anodes seront placées verticalement à 50 m. des forages.

Les plans I20-03, 04, 05 représentent respectivement l'implantation des dispositifs de protection des puits 4 et 4 A, TREICHEVILLE 1 et TREICHEVILLE 2. Pour les autres forages, l'installation se fera conformément au plan de principe I20-02, l'anode étant toujours placée à 50 m. du puits au point le plus bas du terrain afin de présenter le maximum de longueur immergée.

Le redresseur est connecté par son pôle négatif au forage, les différents éléments du forage, casing, tubing et pompe, étant réunis électriquement entre eux.

Le pôle positif du redresseur est connecté à la prise de terre, suivant plan I20-06. Le plomb et le feuillard du câble doivent être soigneusement isolés entre eux et isolés de l'anode.

Si on le juge utile au moment de la mise en service de la protection, le plomb et le feuillard des câbles seront réunis, directement ou par une résistance calibrée, au pôle négatif du redresseur, afin de bénéficier de la protection cathodique.

L'alimentation BT des redresseurs sera assurée par l'intermédiaire des sectionneurs et des dispositifs à relaxation ou impulsion.

Pour éviter des pertes de courant, un joint isolant conforme au plan Fo-63 sera placé à la sortie de chaque pompe.

Le système RELAXA nécessite l'emploi d'une électrode de mesure au sulfate de cuivre.

Cette électrode sera constituée comme indiqué sur le plan I20-07, par un vase poreux rempli de sulfate de cuivre. Elle sera placée à proximité immédiate du forage, dans une partie de terrain humide en permanence, par exemple à TIAROYE, à proximité du robinet de prise d'eau sur la conduite principale et raccordée à l'appareil par un fil de cuivre de 5 mm², sous gaine thermoplastique. Elle sera enterrée à 1 m. environ et enveloppée d'argile.
Nota I° - Dans le forage de TREICHEVILLE 2, la crépine n'est pas accessible.

Il sera nécessaire pour assurer la protection cathodique d'établir une liaison électrique sûre entre la crépine et le casing par l'intermédiaire d'un cône de raccordement et de joints au plomb (plan I20-08).

2°- Quelques précautions particulières seront éventuellement prises lors de la mise en service de la protection à TREICHEVILLE pour éviter toute influence de la protection sur des canalisations

voisines : en particulier sur les câbles alimentant les pompes. En principe, ces influences seront nulles, étant donné la forte résistivité des couches de terrain superficielles.

D - DEVIS APPROXIMATIF DES INSTALLATIONS

Pour établir le devis des installations, nous avons pris pour base les chiffres suivants (exprimés en francs C.F.A.).

- PRIX de l'acier de récupération 15 Fr/Kg
- ~~prix~~ de la tranchée de 80 cm de
profondeur 250 Fr/m.
- prix de la ~~mise~~ en place de l'anode ... 2.000 Fr/m

Dans ces conditions, le tableau suivant donne le prix des installations de protection pour les différents forages.

(Voir tableau page 9)

NUMERO DU FORAGE

	1	10	11	13	15	PREIC.2	4 et 4 A	8	TRANCH. 1
- Redresseur	60.000	30.000	60.000	30.000	30.000	30.000	60.000	30.000	30.000
- Sectionneur et dispositif à relaxation ou impulsion	20.000	10.000	10.000	40.000	40.000	40.000	20.000	40.000	40.000
- Mise en place raccords	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
- Anode (fourniture)	6.000	4.500	4.500	4.500	6.000	4.500	7.500	4.500	4.500
- Anode (sondage)	6.000	4.000	4.000	4.000	6.000	4.000	8.000	4.000	4.000
- Anode (mise en place)	40.000	30.000	30.000	30.000	40.000	30.000	50.000	30.000	30.000
- Câble (fourniture)	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	35.000	15.000	15.000
- Tranchée et pose du câble	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	35.000	15.000	15.000
TOTAL, environ C.F.A.	175.000	120.000	150.000	150.000	160.000	150.000	225.000	150.000	150.000

Nota + 1° - Les prix ci-dessus ne comprennent pas les frais d'étude pour la mise en service et le réglage des protections.

2° - Le prix d'installation de la protection de TREICHEVILLE 2 ne comprend pas les travaux pour assurer la liaison électrique entre crépine et casing (plan I20-08).

III - CONCLUSION

En conclusion de notre étude, nous conseillons pour éviter les corrosions de crépine, l'emploi de matière plastique dans la mesure du possible, c'est-à-dire pour les forages neufs ou en réfection. Pour les forages actuellement en service, nous conseillons l'application d'une protection cathodique, à moins que les frais d'installation de cette protection ne soient plus élevés, ou du même ordre que les frais de remplacement des crépines actuelles par des crépines en matière plastique.

Pour éviter les colmatages, principalement dans les eaux ferrugineuses, la seule méthode possible est de réduire la vitesse de l'eau dans les massifs filtrants et crépines, en adoptant des massifs largement dimensionnés et des crépines de grande surface. On peut toutefois réduire l'importance actuelle de ces colmatages en supprimant les courants vagabonds alternatifs provenant du déséquilibre du réseau électrique, soit en assainissant le réseau, soit en supprimant la mise à la terre des neutres BT. des transformateurs.

Enfin, on peut espérer que les dispositifs de protection cathodique à impulsion ou relaxation permettront de réduire, sinon de supprimer, les colmatages actuels.

- ANNEXE I -

ETUDE D'UN DISPOSITIF EXPERIMENTAL
PERMETTANT DE DECELER LES CORROSIONS D'UN FORAGE

Nous exposons ci-dessous un dispositif expérimental permettant de déceler l'existence et l'importance des corrosions dans un forage.

Nous avons expérimenté cette méthode en Italie, dans les Pozzi, forages de gaz méthane : elle nous a donné entière satisfaction.

Cette mesure, effectuée à l'intérieur du forage, permet d'étudier les corrosions internes.

Nous avons vu que les corrosions des crépines de TIAROEY et ABIDJAN étaient principalement externes, et théoriquement, la méthode ne serait pas applicable.

Cependant, nous avons également expérimenté cette méthode avec succès sur le puits du BANCO et nous estimons qu'elle est applicable pour les crépines, au moins partiellement.

En résumé, ce dispositif ne donne pas des résultats rigoureux et absolus, mais il permet cependant d'obtenir des renseignements intéressants sur l'état de corrosion d'un forage.

Nous exposerons tout d'abord le principe de la mesure et les résultats obtenus au BANCO, puis les détails d'application.

I - PRINCIPE DE LA MESURE -

La mesure consiste à étudier les variations du gradient de potentiel vertical dans l'eau qui remplit le forage.

Pour cela, on introduit une électrode longue de 50 cm. environ, munie de bagues de plomb à ses deux extrémités : on mesure alors la différence de potentiel entre les 2 bagues par l'intermédiaire de deux conducteurs isolés.

Lorsque l'électrode s'approche d'un cratère en activité qui émet du courant, le gradient augmente; s'annule au passage exact du cratère et s'inverse ensuite.

C'est ce que nous avons constaté au BANCO (plan I20-09).

Les relevés doivent être faits en descendant l'électrode, puis en la remontant.

L'étalonnage du dispositif est évidemment difficile, cependant, nous avons constaté des variations de gradient de 40 mV (mesuré sur une distance de 50 cm) aux emplacements de la crêpine du BANCO qui ont subi des corrosions; nous pouvons conclure que des valeurs de cet ordre sont dangereuses dans des eaux de résistivité voisine de 200 ohms-m; des valeurs plus faibles sont également dangereuses si l'eau est moins résistante.

2° - DETAILS D'APPLICATION -

Nous donnons sur le plan I20-09 le plan de l'électrode de mesure. Elle est supportée par deux conducteurs cuivre I2/I0e isolés par une gaine thermoplastique ou néoprène, permettant les mesures. La longueur des fils doit être suffisante pour descendre l'électrode au fond du puits.

L'appareil de contrôle peut être un contrôleur PEKLY, Contalt 60, de résistance interne 10.000 ohm/V (en courant continu); la sensibilité à utiliser est la sensibilité I20 mV; ou mieux, un microampèremètre Multizet, de résistance interne 50000 ohms/V., utilisé sur sensibilité 100 ou 300 mV. Cet appareil fabriqué par SIEMENS est importé en France par SAMERING, cependant; les délais de livraison sont très longs.

- A N N E X E II -

ANALYSE DES DEPOTS PRELEVES SUR LA CREPINE
DU FORAGE 2

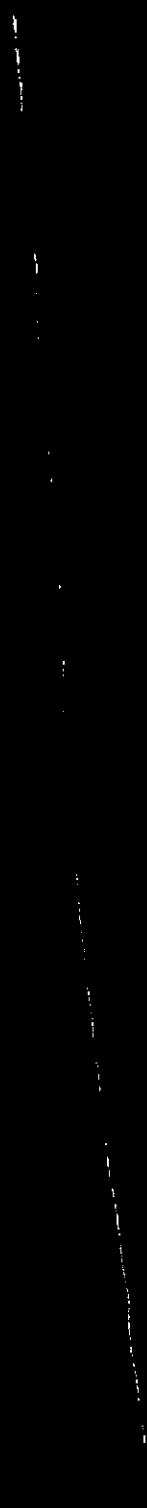
Deux échantillons du dépôt ont été prélevés :

- N° 1 : sur une partie non corrodée de la crépine
- N° 2 : sur une partie corrodée de la crépine.

L'analyse qui a porté sur la teneur en soufre, sulfates, sulfures, a été effectuée par les Laboratoires BOUDET et DUSSAIX à PARIS.

Les résultats sont les suivants :

	N° 1	N° 2
Soufre total calculé en SO ₃	1,30 %	1,13 %
Sulfates solubles calculés en SO ₃	0,12 %	0,18 %
Sulfures calculés en SO ₃	0,30 %	0,35 %



Joint en PVC avec bouchon en
plastique section 5 mm
soude au tube cuivre

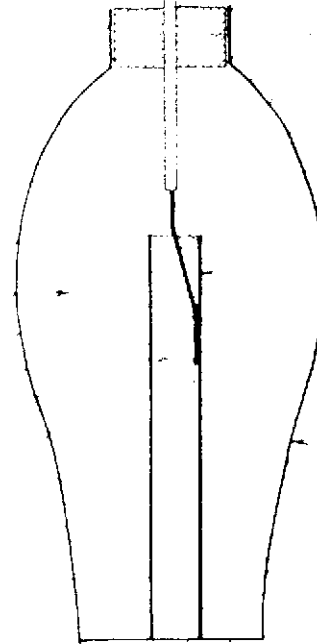
Bouchon en liège

Tube cuivre 3/20 environ

Vase poreux en argile
capacité 5 litres
rempli de sulfate de cuivre
en cristaux

Argile

Sulfate $SO_4 Cu$

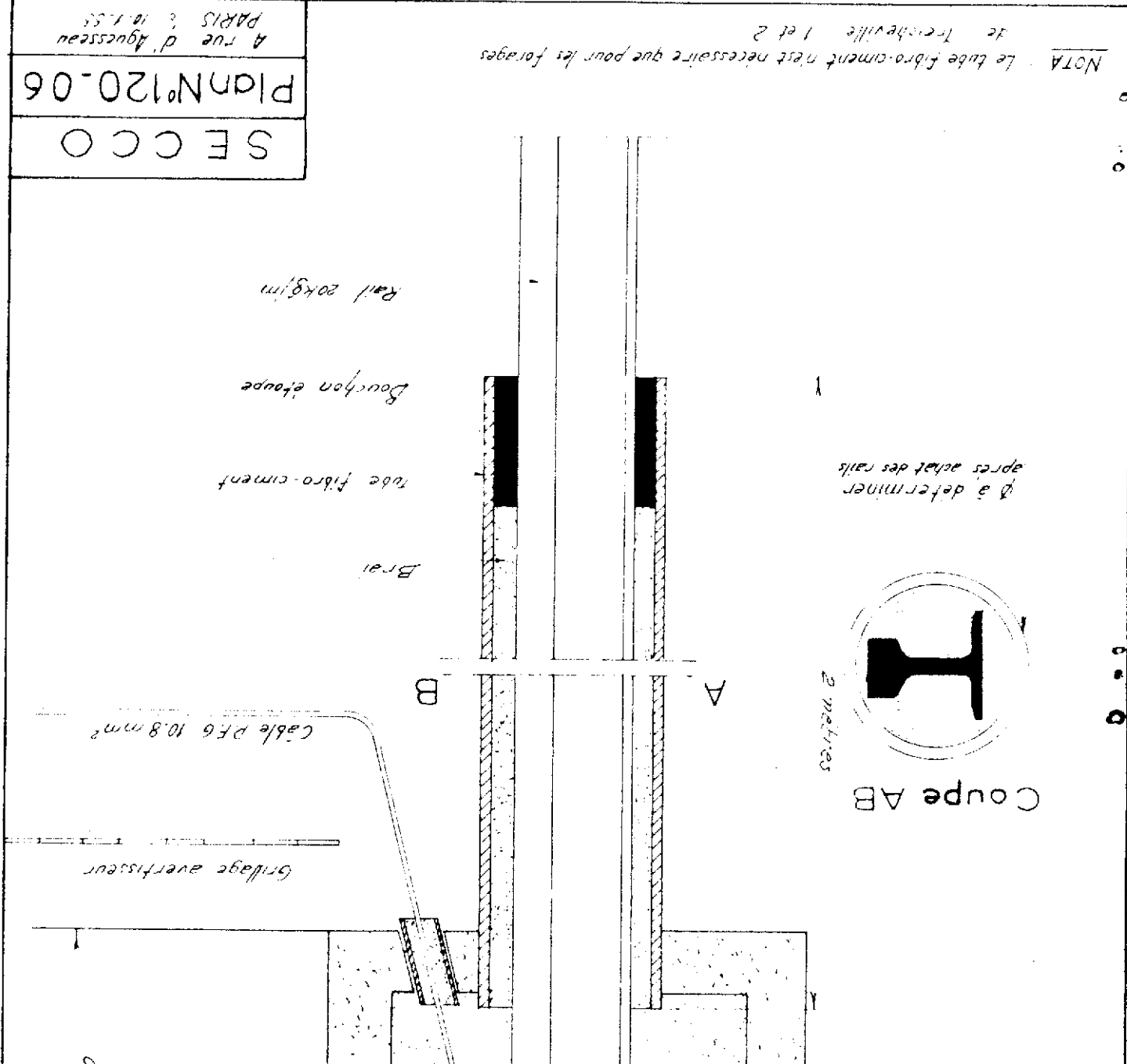


NOTA : L'électrode est remplie de cristaux de $SO_4 Cu$ et d'eau
avant sa mise en place. Elle est enterrée à 1m de
profondeur et enveloppée dans une masse d'argile

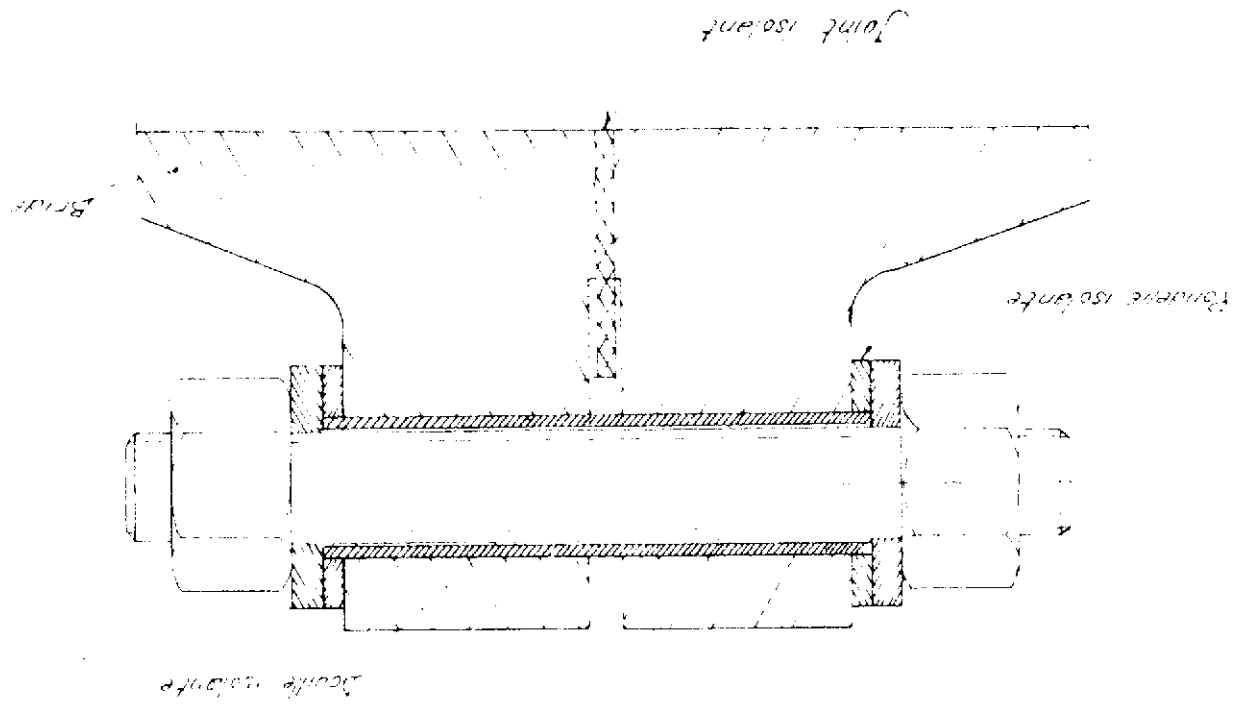
SECCO

Plan N°120-07

4 rue d'Aguessseau
PARIS le 11.1.55

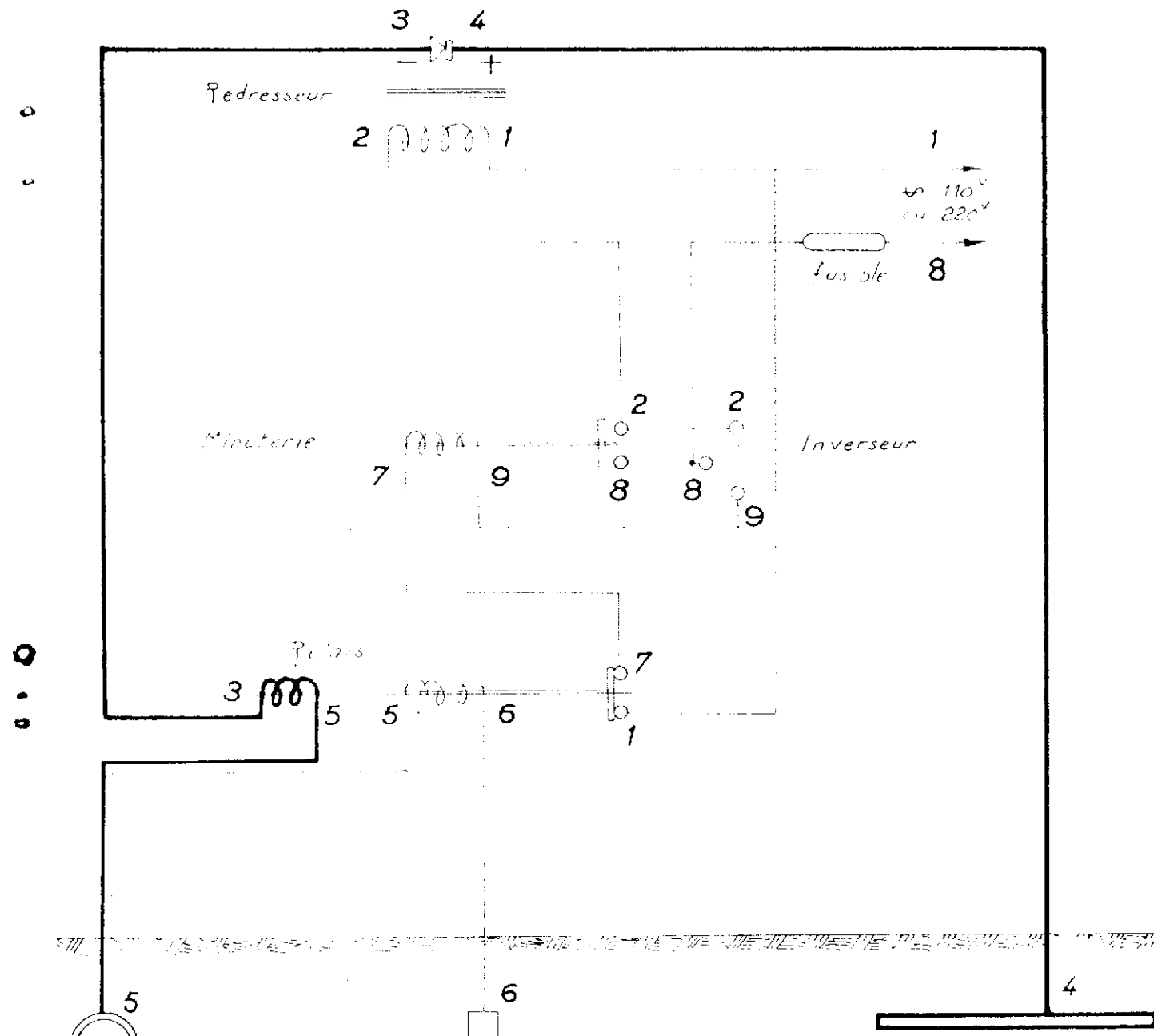


JOINT ISOLANT



RELAXA

Schéma de principe



INSTALLATION DE PRINCIPE DE LA PROTECTION CATHODIQUE

