

SERVICE DES ESSENCES DES ARMEES

--=oOo=--

EVALUATION COMPLETE ET DETAILLEE DE LA PROTECTION CATHODIQUE

BA 126 SOLENZARA

--=oOo=--

Octobre 2023

N° de projet : 2023-PC-72

--=oOo=--

CONTENU :

Rapport de contrôle de la protection cathodique des conduites enterrées

Auteur du rapport Niveau 3	Signature
Nom : Aurélien AUMENT	

Ce rapport ne peut être même partiellement reproduit sans l'accord écrit de C&M.
Les résultats figurant dans ce rapport ne concernent que les échantillons soumis aux visites.

Table des matières

1	OBJET	3
2	CONCLUSIONS	3
3	Recommandations	3
4	Noms et qualifications des opérateurs	4
5	Rappels sur les critères	4
6	Limites de la protection cathodique.....	6
7	Techniques de mesures (EN 13509).....	6
7.1	Mesures de potentiel de protection cathodique.....	6
7.2	Mesures de potentiels électriques	6
7.3	Mesures de l'intensité du courant électrique	6
7.4	Mesure de courant avec pince à effet hall.....	6
7.5	Calcul des résistances caractéristiques	6
8	INSTALLATIONS.....	7
9	MESURES REALISEES	8
9.1	Schéma du réseau	8
9.2	Mesures aux postes	9
9.3	Tableau des potentiels mesurés :	10

1 OBJET

La société Contrôle et Maintenance a procédé le 5 octobre 2023 à effectué une évaluation complète et détaillée du système de protection cathodique de la Base 126 de Solenzara.

2 CONCLUSIONS

Les potentiels sont conformes aux exigences de la norme NF EN ISO 15589-1 sur le réseau enterré, c'est-à-dire inférieur à -900mV par rapport à une électrode Cu/CuSO₄ saturée à la coupure du courant de protection (potentiels sans chute ohmique).

Le déversoir anodique installé à SK Mer a vu sa résistance quadrupler en entre 2019 et 2020 (6 Ω en 2019 à 27 Ω en 2020). La résistance électrique du déversoir est à nouveau importante, le poste était à sa tension maximale 60 V et une intensité de 2,5 A

Nos mesures ont montré que la fuite de courant vers la terre au niveau de SK Mer provient d'une liaison située en amont du joint isolant de la ligne SKMer – K1- K2. Les joints isolants semblent tous fonctionnels et ne nécessitent pas de travaux.

3 Recommandations

N° de l'action	Désignation	Degré d'urgence	Intervenant	Préconisée depuis
2021-2	Renouveler les anodes de SK1 en les éloignant des cathodes (50 m de la canalisation et des bacs et 50 m de toute structure étrangère)	3	DEA	2020
2021-3	Renouveler les anodes de SK Mer et les installer dans une zone moins sensible aux variations d'humidité	3	DEA	2020
2021-4	Effectuer le contrôle de fonctionnement des postes de soutirage tous les mois et après chaque épisode orageux, et remplacement systématique des cartouches parafoudres et fusibles en cas de défaillance (matériel disponible dans le coffret de soutirage)	/	DEA	Pour mémoire
2021-5	Installer un joint isolant sur la canalisation inter dépôt au niveau de la chambre de vannage	/	DEA	Pour mémoire

Définition des degrés d'urgence.

- 1 : Ces actions correctives concernent les anomalies PC liées à la présence d'influences électriques non maîtrisées qui peuvent augmenter significativement la vitesse de corrosion et provoquer une situation atypique. Délai de réalisation 1-4 semaines.
- 2 : Ces actions correctives concernent les anomalies PC qui présentent une incidence sur l'efficacité de la PC et/ou un risque de corrosion libre. Délai de réalisation 1 à 6 mois.
- 3 : Ces actions correctives concernent les anomalies PC sans incidence immédiate sur l'efficacité de la PC et sur la corrosion du réseau. Délai de réalisation 1 à 2 ans.
- 4 : Ces actions correctives n'ont pas d'incidence sur l'efficacité de la PC et sur la corrosion du réseau ou correspondent à des écarts vis-à-vis de l'amélioration de la qualité des mesures ou la conformité électrique, ATEX et sécurité. Délai de réalisation :

4 Noms et qualifications des opérateurs

Stéphane Gastaud



Expert protection cathodique : CEFRACOR Certification - Niveau 4 NF EN ISO 15257

Habilitations électriques possédées et autres informations suivies en matière de sécurité :

- ✚ UTE C18-510 : BR
- ✚ GIES/Risque chimique : niveau 2
- ✚ ATEX : niveau 0

5 Rappels sur les critères

Le potentiel de la conduite par rapport à un électrolyte pour lequel la vitesse de corrosion est inférieure à 0,01 mm par an pour l'acier au carbone et la fonte, est le potentiel de protection, E_p . Cette vitesse de corrosion est suffisamment faible pour que la corrosion soit admissible pour la durée de vie nominale. Le critère pour une protection cathodique est donc donné par la condition spécifiée ci-après.

Les mesures complètes et détaillées sont effectuées directement sur la structure, et si nécessaire sur témoin métallique. Les mesures réalisées sont :

- Mesure du potentiel à courant établi
- Mesure du potentiel E_{off} (NF-EN-ISO 15589-1 :2017 + EMT¹ $\rightarrow E_{off} < -900mV$)
- Mesure du delta de potentiel 1h après la coupure de courant (NF-EN -ISO 15589-1 ΔV dépolarisation 1h $> + 100 mV$)
- Mesure de l'intensité entre l'ouvrage et le témoin.

Le tableau ci-dessous reprend les différents critères de protection en fonction des ouvrages.

¹ EMT : Erreur Maximale Tolérée : la chaîne de mesure utilisée n'est pas suffisamment précise pour que les critères soient considérés comme suffisants pour l'intégrer, la valeur maximale de cette erreur est prise égale à 50 mV.

Opération	Méthode	Ep - Critère d'efficacité	Conditions / Commentaires
Mesures d'efficacité de la PC (Mesure sur la structure)	Potentiel à courant coupé (uniquement)	$E_{OFF} \leq -900^1 \text{ mV} / \text{Cu/CuSO}_4 \text{ saturée}$	Milieu aéré : eau et sol en condition d'aérobiose - Conditions normales ($T < 40^\circ\text{C}$)
		$E_{OFF} \leq -800^1 \text{ mV} / \text{Cu/CuSO}_4 \text{ saturée}$	Sols et eaux dans des conditions aérobies à $T < 40^\circ\text{C}$ avec $100 < \rho < 1000 \Omega.m$
		$E_{OFF} \leq -700^1 \text{ mV} / \text{Cu/CuSO}_4 \text{ saturée}$	Sols et eaux dans des conditions aérobies à $< 40^\circ\text{C}$ avec $\rho > 1000 \Omega.m$
		$E_{OFF} \leq -1000^1 \text{ mV} / \text{Cu/CuSO}_4 \text{ saturée}$	Sols et eaux dans des conditions anaérobies ⁶ et avec des risques de corrosion dus à l'activité de bactéries sulfato-réductrices
Mesures d'efficacité de la PC (Mesure sur la structure)	Potentiel à courant coupé (uniquement)	$E_{OFF} \leq -900^1 \text{ mV} / \text{Cu/CuSO}_4 \text{ saturée}$	Milieu aéré : eau et sol en condition d'aérobiose - Conditions normales ($T < 40^\circ\text{C}$)
Mesures d'efficacité de la PC (Mesure sur TM) Contrôle des raccords isolants	Potentiel à courant coupé ² (à utiliser autant que possible) $\Delta E_{ON} \text{ amont} - \text{aval}$	$E_{OFF} \leq -800^1 \text{ mV} / \text{Cu/CuSO}_4 \text{ saturée}$	Sols et eaux dans des conditions aérobies à $T < 40^\circ\text{C}$ avec $100 < \rho < 1000 \Omega.m$
		$E_{OFF} \leq -700^1 \text{ mV} / \text{Cu/CuSO}_4 \text{ saturée}$	Sols et eaux dans des conditions aérobies à $< 40^\circ\text{C}$ avec $\rho > 1000 \Omega.m$
		$E_{OFF} \leq -1000^1 \text{ mV} / \text{Cu/CuSO}_4 \text{ saturée}$	Sols et eaux dans des conditions anaérobies ⁶ et avec des risques de corrosion dus à l'activité de bactéries sulfato-réductrices
		$ E_{ON} \text{ amont} - E_{ON} \text{ aval} > 300 \text{ mV}$	
	Abaissement cathodique de 100 mV (à utiliser lorsque la méthode de potentiel à courant coupé n'est pas respectée)	$E_n - E_{OFF} > 100 \text{ mV}$	Méthode de polarisation cathodique ou de dépolarisation cathodique sur témoin temporaire (amovible). Le respect de la méthode de polarisation / dépolarisation cathodique de 100 mV seule ne doit pas être considéré comme un critère d'efficacité.
		$E_{1h} - E_{OFF} > 100 \text{ mV}$	Mesure sur témoin permanent.
	Méthode de mesure de potentiel sur les structures complexes (NF EN 14505)	$E_{ON} \leq -1250^1 \text{ mV} / \text{Cu/CuSO}_4 \text{ saturée}$	Point de mesure à l'extérieur de la zone d'influence d'une grande cathode étrangère. Résistivité du sol $< 100 \Omega.m$
		$E_{ON} \leq -850^1 \text{ mV} / \text{Cu/CuSO}_4 \text{ saturée}$	Point de mesure en entrée et dans le voisinage ($\leq 0,5 \text{ m}$) de grandes cathodes étrangères.
		$E_n - E_{ON} > 0,3 \text{ V}^3$ (méthode traduisant l'abaissement cathodique du potentiel)	
Mesures d'efficacité de la PC (Mesure sur la structure)	Méthode du courant	$E_n - E_{ON} > 0,3 \text{ V}$ (méthode traduisant l'abaissement cathodique du potentiel)	L'électrode de mesure doit être placée dans des emplacements « critiques », c'est-à-dire là où la probabilité qu'un courant anodique quitte la structure est élevée (exemple : voisinage d'une cathode étrangère par couplage galvanique, hétérogénéité du sol, effet d'écran).

En cas de valeur inférieure à -1200 mV :

Lorsque les mesures de potentiel E_{OFF} mesurées sur une conduite donnent des valeurs très négatives (inférieures à -1 200 mV), cela peut engendrer un risque de décollement cathodique du revêtement.

Pour empêcher une fragilisation par l'hydrogène sur des aciers non alliés et faiblement alliés à résistance élevée présentant une limite d'élasticité déterminée dépassant 550 N·mm², le potentiel limite critique doit être détaillé dans des documents ou déterminé expérimentalement.

Dans ce cas, une action corrective adaptée doit être mise en place lorsque l'analyse par l'opérateur niveau 3 a conclu à cette nécessité (exemple : ajustement du niveau de PC de l'EC contrôlé, tout en respectant le critère de PC ; étude de création de source de courant cathodique pour une meilleure répartition des courants de protection ; ...).

² Lorsque le critère utilisé est basé sur la résistivité du sol et/ou le type de sol, les valeurs de potentiel naturel définies dans la norme sont données à titre indicatif. Ces valeurs ne sont donc pas reprises dans ce tableau.

³ La norme fixant une valeur de 0,3 V à partir de mesures faites depuis la structure sous protection cathodique, il a été choisi de reprendre la valeur normative de 0,3 V pour des mesures faites sur témoin métallique.

6 Limites de la protection cathodique

Il est précisé dans la norme NF EN ISO 15589-1 §1 « Dans des conditions particulières, la protection cathodique peut s'avérer inefficace ou seulement partiellement efficace. De telles conditions peuvent comprendre un effet d'écran (par exemple, des décollements de revêtements, des revêtements thermo-isolants, un sol rocheux, etc.) et la présence de contaminants inhabituels dans l'électrolyte ».

7 Techniques de mesures (EN 13509)

7.1 Mesures de potentiel de protection cathodique

Les mesures de potentiel de protection cathodique des structures enterrées ont été réalisées par rapport à une électrode de référence Cu/Cu SO₄ préalablement vérifiée par comparaison à une électrode de référence Cu/Cu SO₄ étalon conservée à ce seul effet.

Les mesures de potentiel ont été réalisées à courant coupé en disposant un interrupteur cyclique sur la liaison entre le poste de soutirage et la structure qu'il soutire. Cette disposition permet :

- D'approcher au mieux la valeur du potentiel de polarisation de la structure, à la coupure du courant de protection, en éliminant toutes les chutes de tension d'origine ohmique.
- De contrôler l'efficacité des joints isolants en vérifiant le sens de l'influence du courant de protection cathodique du côté isolé (masses des installations), suivant les trois cas d'influence : nulle (sans influence, joint isolant efficace sur structure isolée non influencée), positive c'est à dire à caractère résistif (joint isolant plus ou moins efficace ou "shunté" par les défauts de revêtement et circuits de terre des installations), négative (joint isolant parfaitement efficace).

Les interrupteurs cycliques utilisés génèrent des coupures de 2 secondes toutes les 18 secondes soit 10% du temps. Cette séquence est jugée suffisante pour éviter d'intégrer une dépolarisation en cumulant les temps de coupure si la re-polarisation pendant la durée de fonctionnement n'était pas suffisante du fait de la dépolarisation pendant les temps d'arrêt.

7.2 Mesures de potentiels électriques

Directement aux bornes de l'équipement contrôlé à l'aide d'un multimètre en position voltmètre préalablement vérifié par un laboratoire spécialisé (Manumasure) et d'une électrode de référence de terrain.

7.3 Mesures de l'intensité du courant électrique

Là où nous avons disposé un interrupteur cyclique en reliant les bornes de l'ampèremètre montées en parallèle aux connexions du contact de l'interrupteur cyclique (la lecture de la mesure du courant se fait à l'ouverture du contact de l'interrupteur cyclique).

Là où nous n'avons pas d'interrupteur cyclique, en interposant l'ampèremètre raccordé directement en série sur le circuit mesuré.

L'appareil utilisé est le même que le précédent en position ampèremètre.

7.4 Mesure de courant avec pince à effet hall

Les recherches de courants de fuite sur les canalisations peuvent avoir plusieurs causes et notamment des liaisons parasites entre des capteurs installés sur la conduite et les coffrets électriques reliés à la terre. Afin d'éviter d'ouvrir toutes les liaisons de terre, nous utilisons une pince électrique à effet Hall permettant de mesurer les courants électriques continus. Cette technique donne des valeurs de courant moins précises que la mesure directe mais est suffisante pour identifier des courants de fuite.

7.5 Calcul des résistances caractéristiques

Il est préconisé de suivre la valeur de la résistance des anodes dans le temps pour éventuellement anticiper leur remplacement.

A partir des données mesurées au poste de soutirage, avec une électrode de référence positionnée en zone de gradient nul, nous pouvons calculer les résistances caractéristiques des anodes et de la structure protégée.

$$R_a = \frac{U_{a,on} - U_{a,off}}{i}$$

Avec

- ✦ R_a : résistance des anodes
- ✦ i : courant débité
- ✦ $U_{a,on}$: tension on des anodes
- ✦ $U_{a,off}$: tension off des anodes

Cette même équation est utilisée pour la canalisation :

$$R_c = \frac{U_{c,on} - U_{c,off}}{i}$$

Avec

- ✦ R_c : résistance de la canalisation
- ✦ i : courant débité
- ✦ $U_{c,on}$: tension on de l'ouvrage
- ✦ $U_{c,off}$: tension off de l'ouvrage

Ces valeurs sont caractéristiques de l'ouvrage et devront être suivies dans le temps.

8 INSTALLATIONS

Les installations sous protection cathodique sont :

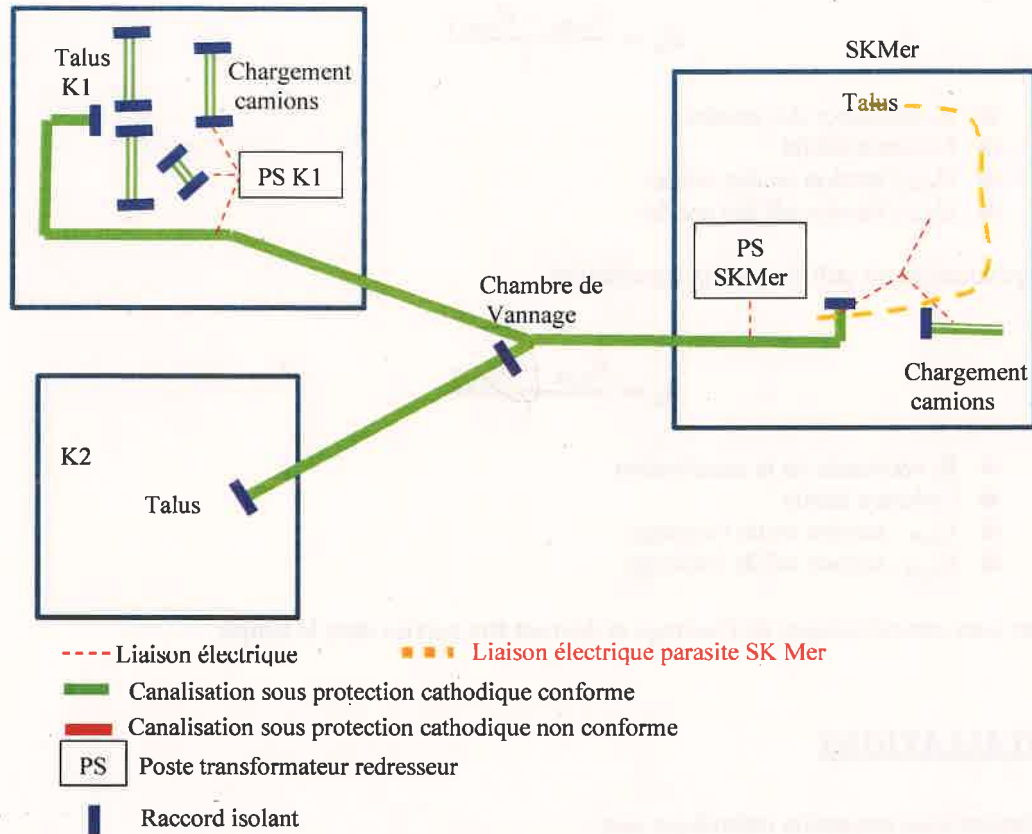
- Canalisations de liaison inter-cuves
- Canalisations inter dépôts (SK Mer, K1 et K2)

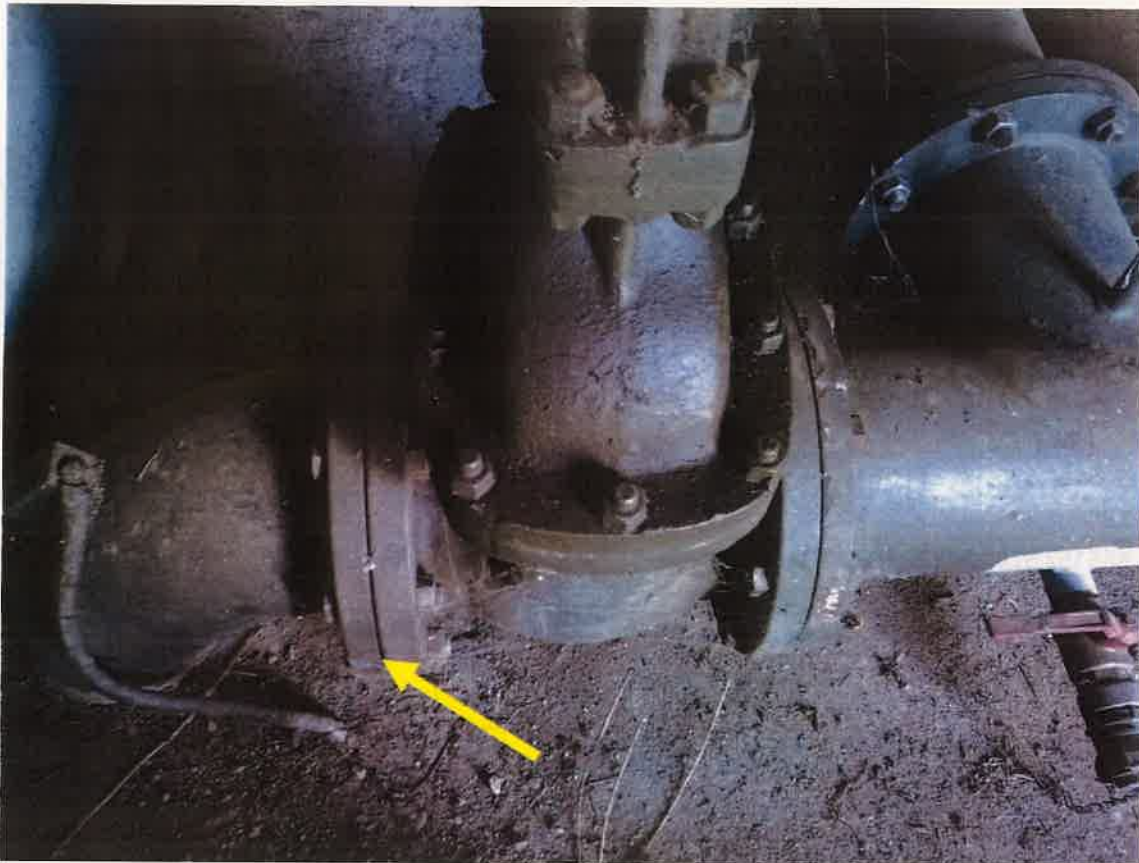
Ces conduites sont protégées par deux postes de soutirage, un situé à SK Mer et un à K1. Les canalisations sont interconnectées et le réseau est protégé par les deux postes.

NOTA : les anodes du poste SK1 sont très résistantes et le poste est proche de 100% de sa tension maximale. Il faudra envisager le renouvellement de ces anodes dans les prochaines années et les éloigner de leur position actuelle car elles sont trop proches du réseau protégé. Cette opération permettrait de plus de compenser les éventuelles défaillances du poste SK Mer.

9 MESURES REALISEES

9.1 Schéma du réseau





Absence de joint isolant sur la bride de liaison K1 – SK Mer

9.2 Mesures aux postes

A notre arrivée, le poste SK Mer était à sa tension maximale, la résistance est élevée et il n'y a aucune marge de manœuvre.

Poste K1 :

Tension : 50.4 V (mesuré au multimètre)
Intensité : 1.52 A (mesurés au multimètre)

E_{cana} : -2,45 / -1,22 V
 E_{dev} : +47,7 / +4,3 V

R_c : 0,81 Ω
 R_d : 28 Ω (doublée depuis le dernier contrôle)

Poste SK Mer :

Tension : 49.9 V (mesuré au multimètre)
Intensité : 2.21 A (mesuré au multimètre)

E_{cana} : -2,95 / -1,56 V
 E_{dev} : +47,9 / +4,3 V

R_c : 0,63 Ω
 R_d : 19 Ω

Pour effectuer les mesures à courant coupé, nous avons installé dans le circuit de puissance des deux postes de soutirage deux interrupteurs cycliques synchronisés ayant un cycle de 18s fermé et 2s ouvert.

9.3 Tableau des potentiels mesurés :

Des potentiels trop négatifs ont été mesurés sur les premières mesures. Nous avons diminué le courant débité par le poste SK1 à 28V et 0,76 A.

Joint Isolant						
Dir est	Dir nord	Mesures	Potentiel On Amont	Potentiel Off Amont	Potentiel On Aval	Potentiel Off Aval
586260,639	183430,509	SK Mer sortie pomperie vers poste vannage	-1490	-910	-1260	-910
585320,537	182570,861	K2 arrivée Poste vannage	-2270	-1250	-130	-130
585304,636	182544,964	K2-6	-2050	-1.19	-230	-230
585303,873	182530,777	k2-5	-1640	-1060	-250	-250
585152,579	184252,727	k1 3x vers poste chargement	-2230	-1150	-330	-340
585150,553	184271,906	K1 poste camion sud	-2250	-1230	0	0
585144,491	184251,355	K1 pomperie vers regard k1 4	-2550	-1160	0	0
585143,411	184246,981	k1x4 pomperie vers k1 3	-2650	-1190	-330	-340
585133,838	184258,58	k1 3	-2050	-1380	-2050	-1380
585133,513	184269,703	k1 arrivée poste vannage	-2170	-1460	-420	-430
585132,112	184278,303	k1 2	-2120	-1420	-220	-220
585129,49	184297,822	k1 1	-2070	-940	-480	-480
585143,014	184273,256	K1 4 cuve	-2160	-1030	-520	-520
585144,146	184267,699	j1 4 regard exploitation	-2310	-1140	-210	-210
585503,606	183352,23	Poste de vannage 500mA k1 vers K2	-1820	-1100	-1820	-1090

Une chambre à vanne est installée sur la canalisation arrivant du stockage SK Mer, et distribue le carburant vers K1 et K2. Un seul joint isolant est installé après la vanne sur la ligne vers K2.

Des liaisons électriques permettent d'assurer la continuité de la protection cathodique. Nous avons mesuré 0,31 A dans la canalisation en direction de K2.

FICHE ANNEXE

NORMES DE REFERENCE

- ✚ NF EN 13 509 : Techniques de mesures applicables en protection cathodique.
- ✚ NF EN ISO 15 589-1 : Protection cathodique des systèmes de transport par conduites terrestres.
- ✚ NF EN 14 505 : Protection cathodique des structures complexes.
- ✚ NF EN 12 501 : Risque de corrosion dans les sols.
- ✚ NF EN ISO 10 012 : Exigences pour les processus et les équipements de mesure.
- ✚ NF EN ISO 15 257 : Niveaux de compétence et certification du personnel en protection cathodique
- ✚ NF EN 62305 Série de 1 à 4 : Protection contre la foudre

Autres documents de référence : Recommandations PCRA du CEFRA COR

METROLOGIE

Désignation	Numéro de série	Date de vérification	Organisme de vérification ou fabricant	Prochaine vérification
Multimètres FLUKE F287	42120042 et 42120046	01/2023	METRIX/CHAUVIN ARNOUX 190, rue Championnet 75876 PARIS Cedex 18	01/2024
Electrode de référence Cu/Cu SO ₄	P04643	05/2023	COREXCO	05/2025
Enregistreurs numérique et interrupteur cycliques GPS minilogs	31002765/31002766	01/2023	Weilekes Elektronik GmbH Am Luftschacht 17 45886 Gelsenkirchen	01/2025

Les constats de vérification des appareils sont disponibles sur demande expresse de votre part.

OPERATEUR

Certificat



Le CEFRACOR
par le biais de son Comité de certification
« Comité Français Protection Cathodique »
certifie que

Monsieur GASTAUD Stéphane
est titulaire de la certification en protection cathodique
« Secteur Terre - Niveau 4 »
de la marque
CEFRACOR CERTIFICATION
Protection cathodique

Certificat n° 511 valable jusqu'au 2 mars 2027
Certification établie en conformité avec la norme européenne NF EN ISO 15257 : 2017
obtenue suite à re-certification.

Vérification de la validité du certificat sur www.protectioncathodique.net

Signature du Titulaire



Fait à Paris, le 25 mars 2022

Philippe MARCUS
Président du CEFRACOR

