

Programme session théorique tronc commun

Le niveau de connaissance des différents chapitres doit augmenter progressivement en passant du Niveau 1 jusqu'au niveau 4 pour se conformer aux niveaux de compétence définis à l'article 4 de la norme EN ISO 15257 :2017 et aux tâches définies dans le programme de la session pratique.

Description de la connaissance
Électricité en rapport avec l'application de la PC et les mesurages
Corrosion, électrochimie et revêtements en rapport avec la PC
Théorie, principes et critères de la PC
Exigences liées à l'application de la PC
Méthodes d'application de la PC, anodes galvaniques, courant imposé
Mesurages et procédures de contrôle de la PC
Pertinence des erreurs dues au gradient de potentiel et influence sur le mesurage du potentiel structure/électrolyte
Facteurs influençant la sélection correcte des électrodes de référence pour les mesurages de potentiel
Effets d'une PC excessive sur les revêtements, aciers à haute résistance et alliages résistants à la corrosion
Diagnostics des systèmes de PC
Conditions d'interférences (en courant alternatif et en courant continu)
Normes et recommandations pratiques dans le secteur d'application concerné

Les connaissances à connaître afin de satisfaire aux descriptions définies dans le tableau ci-dessus pour une préparation à la certification de niveau 2 Mer portent sur :

Electricité en rapport avec l'application de la PC et les mesurages

- Courant continu
 - o Notion de circuit, sens conventionnel du courant
 - o Différence de potentiel, intensité du courant, résistance d'un conducteur, loi d'Ohm
 - o Quantité d'électricité
 - o Association des résistances en série et en parallèle, notion de résistance équivalente
 - o Puissance électrique, énergie, unités
 - o Générateurs de courant continu, piles, accumulateurs, panneaux photovoltaïques, autres sources
- Courant alternatif
 - o Définition
 - o Transformateurs de courant
 - o Le redressement du courant alternatif

- Mesures et matériels de mesure
 - o Tension, intensité, résistance, contrôle de diode
 - o Multimètres, impédance d'entrée et son influence sur la mesure, erreurs intrinsèques
 - o Notions de courant électrique continu et de densité de courant
- Protection électrique, sécurité
 - o Protection contre les contacts directs et indirects (équipotentialité du poste de travail, disjoncteurs différentiels et mise à la terre des masses métalliques)
 - o Sécurité électrique des personnes lors des interventions (protections individuelles, outils isolants)

Corrosion, électrochimie et revêtements en rapport avec la PC

Terminologie

- o Atomes, molécules, électrons, ions, réactions chimiques
- o Conducteurs électroniques et conducteurs ioniques
- o Notions de résistivité et de conductivité
- o Métaux, alliages, électrolytes, notion de pH
- Réactions d'électrodes
 - o Echange d'électrons, oxydation, réduction
 - o Anode, cathode, électrode
 - o Potentiel d'électrode et électrodes de référence
 - o Notion de série galvanique, échelle de Nernst
 - o Notions sur la loi de Faraday
 - o Notions de courbes de polarisation, dégagement d'hydrogène, d'oxygène, de chlore, modifications de pH
- Les milieux électrolytiques
 - o L'eau et ses principales caractéristiques : ionisation, pouvoir de dissolution
 - o Les sels et gaz dissous, influence sur la conductivité et le pH, influence de la température
 - o Les milieux spécifiques : Les eaux naturelles, l'eau de mer, les sols, le béton
- Les métaux et alliages
 - o Généralités sur les grandes familles de matériaux métalliques industriels concernés par la protection cathodique
 - o Les aciers au carbone
- La corrosion
 - o Définition
 - o Corrosion électrochimique aqueuse ou humide
 - o Corrosion par l'oxygène dissous
 - o Mesure du potentiel d'électrode d'un métal dans un électrolyte
 - o Approche thermodynamique de la corrosion, diagrammes potentiel – pH (de Pourbaix)
 - o Notions de passivation
- Modes de corrosion
 - o Corrosion généralisée
 - o Corrosions localisées, importance du rapport des surfaces anodique et cathodique, cas principaux (corrosion par piqûres, corrosion caverneuse, corrosions galvaniques dont corrosion bimétallique, corrosion par aération différentielle, piles géologiques et corrosion par différence de température)
 - o Corrosion par les courants continus vagabonds, influence des courants alternatifs, corrosion bactérienne.

Programmes d'examens

Niveau 2 – Secteur Mer

- Vitesse de corrosion
 - o Notions et unités

Revêtements

- Rôles des revêtements
 - o Revêtement complétant la protection cathodique
- Propriétés principales des revêtements
 - o Risques de corrosion sous revêtements non adhérents à l'acier, principaux facteurs
 - o Le maintien de l'adhérence, objectif principal d'un bon revêtement
- Les effets défavorables de la protection cathodique : cloquage des peintures, délamination cathodique
- Les principaux types de revêtements associés à la protection cathodique
- Contrôle de l'isolation électrique des revêtements

Théorie, principes et critères de la PC

- Définitions et principes de base
- Critères de protection des aciers dans différents milieux : Influence de la résistivité, de la température, des développements bactériens
- Densités de courant de protection pour les métaux et alliages, influence des revêtements (coefficient de dégradation, valeur d'isolement)
- Méthodes de protection cathodique, leurs avantages, inconvénients et limitations respectifs
 - o Système à courant imposé
 - o Système par anodes galvaniques
- Notions élémentaires sur la corrosion bactérienne par les bactéries sulfato-réductrices (BSR)
- Critère de protection en présence de risque de corrosion bactérienne

Exigences liées à l'application de la PC

- Mise en place d'une protection passive
- Isolation de la structure à protéger vis-à-vis d'autres structures
- Connaissances de la corrosivité des sols selon la norme 12501-2
- Limite d'utilisation et d'efficacité de la protection cathodique
 - o Risques liés à un manque de continuité électrique dans l'ouvrage métallique. Interposition de matériaux conducteurs, corrosion interne aux raccords isolants, cas des armatures du béton

Méthodes d'application de la PC, anodes galvaniques, courant imposé

- Système de protection par anodes galvaniques
 - o Matériaux anodiques disponibles, notions générales sur leurs caractéristiques (potentiel à vide et en charge, rendement électrochimique, consommation massique pratique et énergie massique pratique)
 - o Critères de choix du matériau anodique dans les principaux milieux électrolytiques
- Système de protection par courant imposé
 - o Anodes à courant imposé : Matériaux utilisables
 - o Critères de choix du matériau des anodes dans les principaux milieux électrolytiques

Programmes d'examens

Niveau 2 – Secteur Mer

- Différents types de poste de protection à courant imposé, à tension imposée, asservi utilisant une électrode de référence pilotée
- Matériels connexes : Câbles, raccords isolants, prises de potentiel

Mesurages et procédures de contrôle de la PC

- Appareillage
 - Mesure de tension
 - Mesure de courants continus ou alternatifs : Ampèremètre, utilisation de shunts, pinces ampérométriques A.C et D .C
 - Vérification des électrodes de référence et de mesure par rapport à une électrode étalon
 - Suivi métrologique des appareils de mesure et de contrôle
 - Témoins (coupons) métalliques, associés ou non à une électrode de référence
 - Chronorupteurs
- Mesure de potentiel
 - Mesures à courant établi, ponctuelles ou avec enregistrement
 - Notion de chute ohmique liée due à l'emplacement de l'électrode de référence par rapport à la surface métallique contrôlée
 - Mesures à courant coupé sur ouvrage, ponctuelles ou avec enregistrement
 - Facteurs influençant les résultats des mesures à courant coupé (courants de compensation, courants vagabonds ou telluriques, influence de systèmes de protection cathodique voisins)
 - Mesures à courant coupé sur témoin métallique, facteurs influençant les résultats, limitations
 - Mesures de potentiel rapprochées, cartographie de potentiels
 - Mesures de chute ohmique et de gradient de potentiel entre deux électrodes de mesure
- Mesures d'intensité et de densité de courant
 - Mesure du sens et de l'intensité d'un courant circulant dans un ouvrage
 - Détermination des densités de courant sur ouvrages ou témoins métalliques. Facteurs influençant les résultats
- Mesures diverses
 - Mesure de la résistivité d'un électrolyte
 - Mesure de la résistance de terre d'un ouvrage et détermination de sa valeur d'isolement
 - Mesure du pH (papier indicateur, pH-mètre)

Pertinence des erreurs dues au gradient de potentiel et influence sur le mesurage du potentiel structure/électrolyte

- Influences des courants vagabonds
- Influences des courants d'égalisation
- Influences des courants telluriques
- Influences des soutirages tiers
- Influences du courant du couple canalisation/électrode

Facteurs influençant la sélection correcte des électrodes de référence pour les mesurages de potentiel

- Connaitre :

Programmes d'examens

Niveau 2 – Secteur Mer

- Les électrodes de référence et électrodes de mesure employées en fonction des différents milieux
- Les facteurs influençant la mesure
 - o influence des chlorures
 - o influence de la température
 - o influence de la lumière

Effets d'une PC excessive sur les revêtements, aciers à haute résistance et alliages résistants à la corrosion

- Connaître les risques liés à la surprotection cathodique : Fragilisation hydrogène, décollement des revêtements.

Diagnostiques des systèmes de PC

- Conséquence d'une augmentation ou d'une diminution de I d'un soutirage ou dans une liaison.

Conditions d'interférences

- Courants vagabonds (continus)
 - o Citer les sources de courants vagabonds (continus)
 - o Risques de corrosion associés
 - o Cas des systèmes de traction électrique
 - o Moyens de protection (drainages, soutirages, mises à la terre, sectionnement électriques)
- Corrosion par contournement du RI

Normes et recommandations pratiques dans le secteur d'application concerné

Connaître l'objet des normes suivantes :

- EN ISO 15257 :2017 Protection cathodique — Niveaux de compétence des personnes en protection cathodique — Base pour un dispositif particulier de certification
- Normes liées à la pratique de la PC dans le secteur d'application concerné.

Programme session théorique sectorielle Mer

Corrosion et matériaux

- Les milieux spécifiques : L'eau de mer, les fonds marins, la corrosivité en fonction des zones d'exposition
- Notions sur les métaux et les alliages utilisés pour les ouvrages en mer : aciers au carbone, acier galvanisé, aciers inoxydables, alliages d'aluminium, alliages de cuivres, alliages de titane.
- Généralités sur les différentes formes de corrosion en milieu marin.

Théorie générale de la protection cathodique

- Electrodes de référence et électrodes de mesure employées dans les eaux de mer et saumâtres, influence des chlorures
- Critères de protection cathodique en eau de mer et dans les fonds marins pour les aciers au carbone et autres métaux et alliages
- Risques liés à la surprotection cathodique : Fragilisation hydrogène, décollement des revêtements, corrosion des métaux amphotères (corrosion alcaline)
- Méthodes de protection cathodique par courant imposé et de la protection par anodes galvaniques. Avantages et inconvénients.
- Limites d'utilisation et d'efficacité de la protection cathodique : continuité électrique dans le matériau et dans l'électrolyte, influence des écrans en matériaux isolants, influence des écrans en matériaux conducteurs, risques de corrosion liés à l'emploi des raccords isolants

Systèmes de protection cathodique

- Système de protection par anodes galvaniques
 - o Matériaux anodiques disponibles, compositions chimiques et caractéristiques électrochimiques (potentiel, rendement électrochimique, consommation massique pratique et énergie massique pratique)
 - o Critères de choix du matériau anodique
- Système de protection par courant imposé
 - o Matériaux utilisables, caractéristiques, tension maximale applicable, critères de choix, conditions d'utilisation
 - o Modes de régulation des postes de protection : intensité imposée, tension imposée, potentiel d'électrode imposé (systèmes asservis utilisant une électrode de référence pilote)
- Notions de conception et de dimensionnement des systèmes de protection cathodique
 - o Détermination du courant de protection cathodique des ouvrages en mer
 - o Masse anodique à installer en fonction de la durée de vie recherchée
 - o Calcul de la résistance d'anode selon la forme et la disposition
 - o Les dispositions constructives (dimensions et nombre d'anodes à installer, répartition)
- Equipements divers : câbles, raccords isolants, etc
- Installation des équipements
 - o Anodes et écrans diélectriques
 - o Mise en continuité électrique
- Principaux exemples (ports, navires, ouvrages offshore, pipelines immergés, etc...)
- Mise en service et contrôles

Techniques de mesures – appareillage

- Constitution et mise en œuvre des électrodes de mesure (Ag-AgCl-eau de mer, zinc), mobiles ou permanentes
- Mesure de résistivité
- Mesure de pH
- Mesure de potentiel
 - o Contrôle des électrodes et des appareils de mesure
 - o Emplacement des électrodes de mesure

- Appareillage utilisé en mer, matériel spécifique aux mesures subaquatiques
 - o Mesure de potentiel à partir de la surface avec des électrodes mobiles déplacées par scaphandrier, engin téléguidé (ROV) ou en immersion libre
 - o Mesure de potentiel à partir de la surface avec des électrodes fixes de monitoring
 - o Mesure de potentiel à l'aide d'un appareil autonome (« pistolet ») opéré par scaphandrier ou engin téléguidé (ROV)
- Mesures de courant en surface (câbles d'alimentation d'anodes à courant imposé) par shunts ou pince ampérométrique, anodes monitorées
- Mesures subaquatiques de courant sur câbles d'alimentation d'anodes à courant imposé ou dans supports d'anodes galvaniques à l'aide de pince ampérométrique marinisée
- Spécificités des mesures sur ouvrages longilignes (pipelines immergés)
 - o Mesure du potentiel par fil déroulé
 - o Mesure de potentiel avec électrode « à l'infini »
 - o Mesure de gradients de potentiel rapprochés
- Détermination des densités de courant sur ouvrages ou témoins métalliques (cathodes monitorées).

Revêtements

- Rôle des revêtements
 - o Protection passive complétée par la protection cathodique
 - o Complément à la protection cathodique
- Notions sur les principaux revêtements
 - o Les peintures pour ouvrages exposés en mer
 - o Les revêtements de tube appliqués en usine
 - o Les revêtements pour tube de risers offshore
 - o Les revêtements appliqués sur site
 - o Les revêtements internes de capacités
- Propriétés principales des revêtements
 - o L'adhérence
 - o Les effets de la température
 - o Endommagements d'origine mécanique
 - o Effets de la protection cathodique sur les revêtements (délamination cathodique)
 - o La résistance des revêtements aux agressions mécaniques
 - o La résistance physico-chimique des revêtements
- Notions sur les essais de revêtements : adhérence pour les revêtements minces, pelage contrôlé, choc, résistance à la délamination cathodique
- Le contrôle de continuité de l'isolation électrique
- Notions sur les coefficients de dégradation des revêtements
 - o Les revêtements de pipeline
 - o Les peintures exposées à l'eau de mer
 - o Les revêtements internes de capacités

Programme session pratique

Tâches à accomplir pour une compétence d'un niveau 2 en plus des tâches des niveaux inférieurs pour tous les secteurs d'application

- Collecte d'informations générales en vue de la conception sur la base d'instructions techniques pour des systèmes de PC simples
- Réalisation du contrôle de vérification de l'électrode de référence portable de travail par rapport à un autre type d'électrode de référence
- Réalisation du contrôle de vérification de l'électrode de référence fixe par rapport à une électrode de référence portable
- Réalisation des essais préalables à la mise en service
- Vérification que la borne positive du redresseur est reliée à l'anode et que la borne négative est reliée à la structure
- Classification des résultats des mesures
- Inspection et vérification du fonctionnement général de l'alimentation en courant continu
- Inspection et maintenance des composants de l'alimentation en courant continu
- Augmentation/diminution de routine et prévisible du débit de courant pour maintenir une performance prédéterminée

Tâches à accomplir pour une compétence d'un niveau 2 en plus des tâches des niveaux inférieurs pour le secteur Mer

- Supervision de l'installation des anodes galvaniques ou à courant imposé et des systèmes de surveillance
- Supervision de l'installation des sources de courant continu (alimentation en courant alternatif exclue)
- Supervision de l'installation des dispositifs d'isolation électrique
- Vérification de la continuité électrique de toutes les parties de la structure à protéger
- Mesurage du gradient de potentiel en eau de mer
- Inspection et vérification du fonctionnement général des sources de courant continu
- Supervision du mesurage de l'étendue de la surface corrodée sous l'eau
- Mesurage de la résistivité de l'eau de mer ou de la boue par la méthode « Soil box »
- Mesurage de la résistivité de l'eau de mer par conductimètre ou par mesure de la salinité ou de la chlorinité