

### 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

Le détail des connaissances à connaître afin de satisfaire aux descriptions définies dans le tableau ci-dessus pour une préparation à la certification de niveau 3 Mer porteront sur :

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

- Rappels sur le courant continu
  - o Circuit électrique, sens conventionnel du courant
  - o Différence de potentiel, intensité du courant, résistance d'un conducteur, loi d'Ohm, effet thermique du courant
  - o Quantité d'électricité
  - o Association des résistances en série et en parallèle, résistance équivalente
  - o Puissance électrique, énergie électrique absorbée ou dissipée, unités
  - o Générateurs de courant continu, piles, accumulateurs, panneaux photovoltaïques, autres sources
- Courant alternatif
  - o Pulsation, fréquence, période, intensité maximale, intensité moyenne, intensité efficace

## Programmes d'examens

### Niveau 3 – Secteur Mer

- Puissance apparente, active et réactive
- Le redressement du courant alternatif en courant continu : Diodes, thyristors
- Transformateurs de courant
- Electromagnétisme, loi de Faraday - Lenz
- Rappels sur les mesures et matériels de mesure
  - Tension, intensité, résistance, contrôle de diode
  - Multimètres (numériques et analogiques), impédance d'entrée et son influence sur la mesure, erreurs intrinsèques
- Protection électrique, sécurité
  - Protection contre les contacts directs et indirects (disjoncteurs différentiels et mise à la terre des masses métalliques)
  - Sécurité des personnes : équipotentialité du poste de travail avec les masses métalliques, protections individuelles, outils isolants
  - Réglementation

### Corrosion, électrochimie et revêtements en rapport avec la PC

- Rappels des notions de base
  - Atomes, molécules, électrons, ions, réactions chimiques
  - Conducteurs électroniques et conducteurs ioniques
  - Résistivité et de conductivité
  - Métaux, alliages, électrolytes, pH
  - Echange d'électrons, oxydation, réduction
  - Anode, cathode, électrode
  - Courant électrique continu et densité de courant, courant anodique et courant cathodique
- Les paramètres et les lois de l'électrochimie
  - Potentiel d'électrode
  - Potentiels standards ou normaux, Série galvanique (échelle de Nernst)
  - Différents types d'électrodes de référence et de mesure
  - Loi de Nernst, influence des concentrations et de la température sur le potentiel d'électrode
  - Loi de Faraday
  - Courbes de polarisation (intensité – potentiel)
  - Polarisation d'activation, loi de Tafel, cas de l'oxydation d'un métal et du dégagement d'hydrogène par réduction de l'eau
  - Polarisation de diffusion, cas de la réduction de l'oxygène dissous
  - Réactions d'oxydation à la surface des anodes, dégagement de chlore ou d'oxygène, modifications de pH
- Les milieux électrolytiques
  - L'eau et ses principales caractéristiques : ionisation, pouvoir de dissolution
  - Les sels et gaz dissous, influence sur la conductivité et le pH
  - La concentration de saturation et l'influence de la température
  - Les milieux spécifiques : Les eaux naturelles dont l'eau de mer, les sols et le fond marin, le béton
- Rappels sur les métaux et alliages

## Programmes d'examens

### Niveau 3 – Secteur Mer

- Généralités sur les grandes familles de matériaux métalliques industriels concernés par la protection cathodique : Aciers au carbone, béton armé, aciers inoxydables, alliages de nickel, alliages de cuivre, alliages d'aluminium, alliages de titane, plomb
- Rappels sur la corrosion
  - Définition
  - Principales familles : Corrosion gazeuse (ou sèche), corrosion électrochimique aqueuse ou humide
  - Corrosion par l'oxygène dissous, corrosion acide
  - Mesure du potentiel d'électrode d'un métal dans un électrolyte. Ordres de grandeur des potentiels de corrosion naturelle des principaux métaux et alliages dans les électrolytes principaux
  - Approche thermodynamique de la corrosion, diagrammes potentiel – pH (de Pourbaix)
  - Passivation
- Rappels sur les modes de corrosion
  - Corrosion généralisée
  - 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, corrosion intergranulaire et corrosion par différence de température)
  - La corrosion bactérienne par les bactéries sulfato-réductrices (BSR)
    - Caractéristiques fondamentales : Métabolisme, conditions favorables à leur développement (oxygène, pH, température, nutriments, ions sulfate)
    - Exemples de corrosion bactérienne
    - Mise en évidence de la corrosion bactérienne
    - L'influence des ferro-bactéries
    - Le biofilm dans les eaux naturelles
    - Efficacité de la protection cathodique en prévention de la corrosion bactérienne
    - Critère de protection en présence de risque de corrosion bactérienne

Notions de corrosions complexes (associées à des paramètres autres que ceux de la corrosion) : Corrosion par les courants continus vagabonds ou telluriques, influence des courants alternatifs, corrosion bactérienne, corrosion sous contrainte, fatigue-corrosion.

#### Revêtements

- Rôles des revêtements
  - Revêtement méthode de protection passive complétée par une protection cathodique
  - Revêtement complétant la protection cathodique
- Propriétés principales des revêtements
  - Risques de corrosion sous revêtements non adhérents à l'acier, principaux facteurs
  - Le maintien de l'adhérence, objectif principal d'un bon revêtement
- Les effets défavorables de la protection cathodique : saponification et cloquage des peintures, délamination cathodique
- Les principaux types de revêtements
- Contrôle de l'isolation électrique des revêtements (éponge humide, balai électrique)

### **Théorie, principes et critères de la PC**

- Rappels sur la définition et les principes
- Electrodes de référence et électrodes de mesure employées en fonction des différents milieux, influence des chlorures, de la température. Utilisation de la loi de Nernst.
- Critères de protection des aciers dans différents milieux : Influence de la résistivité, de la température, des développements bactériens
- Risques liés à la surprotection cathodique : Fragilisation hydrogène, décollement des revêtements, corrosion alcaline des métaux amphotères
- 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
- Limite d'utilisation et d'efficacité de la protection cathodique
  - o Risques liés à un manque de continuité électrique dans l'électrolyte. Ecrans en matériaux isolants, cas des revêtements décollés ou des canalisations calorifugées
  - 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

### **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**

- Rappels sur les systèmes de protection par anodes galvaniques
  - o Matériaux anodiques disponibles, compositions chimiques et caractéristiques électrochimiques (potentiel à vide et en charge, rendement électrochimique, consommation massique pratique et énergie massique pratique), notions de coût comparatif
  - o Critères de choix du matériau anodique dans les principaux milieux électrolytiques, formes typiques d'anodes
- Rappels sur les systèmes de protection par courant imposé
  - o Anodes à courant imposé : Matériaux utilisables (anodes consommables, semi-inertes et inertes)
  - o Critères de choix du matériau dans les principaux milieux électrolytiques, formes typiques d'anodes

# Programmes d'examens

## Niveau 3 – Secteur Mer

- Différents types de poste de protection à courant imposé : intensité imposée, tension imposée, potentiel d'électrode imposé (systèmes asservis utilisant une électrode de référence pilote)
- Rappels sur les matériels connexes : Câbles, raccords isolants, prises de potentiel
- Méthodes de conception et de dimensionnement des systèmes simples de protection cathodique
  - Détermination du courant de protection cathodique
  - Masse anodique à installer en fonction de la durée de vie recherchée
  - Nombre et localisation des anodes à installer
  - Notion de résistance d'anode
  - Problèmes d'influence, notion de facteur de couplage

### Mesurages et procédures de contrôle de la PC

- Rappels sur l'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 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
  - Analyse détaillée des 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. Analyse détaillée des facteurs influençant les résultats
- Mesures diverses
  - Contrôle de la continuité électrique des éléments de l'ouvrage à protéger
  - 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**

Expliquer la nature des erreurs dues au gradient de potentiel dues aux :

- 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**

- Justifier l'utilisation des électrodes de référence et électrodes de mesure employées en fonction des différents milieux
- Justifier l'importance des 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**

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

### **Diagnostics des systèmes de PC**

Paramètres et critères d'analyse à prendre en compte dans le diagnostic des systèmes de PC simples

### **Conditions d'interférences**

- Courants vagabonds (continus)
  - o Sources des 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
- Courants telluriques
  - o Origines et effets
  - o Moyens de protection
- Influences générées par les systèmes de protection cathodique voisins
- Influence des courants alternatifs

### Normes et recommandations pratiques dans le secteur d'application concerné

Connaitre le contenu principal 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

### Corrosion et matériaux

- Les milieux spécifiques : L'eau de mer, les fonds marins, la corrosivité en fonction des zones d'exposition
- Rappel 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.
- 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
  - o Influence de la température, des développements bactériens
  - o Risques liés à la surprotection cathodique : Fragilisation hydrogène, décollement des revêtements
- Critères de protection cathodique en eau de mer et dans les fonds marins pour les autres métaux et alliages
  - o Aciers inoxydables
  - o Alliages de nickel
  - o Cuivre et alliages
  - o Aluminium et alliages
  - o Risques liés à la surprotection cathodique des métaux amphotères (corrosion alcaline)
- Méthodes de protection cathodique
  - o Comparaison des différents systèmes de protection cathodique
- Limites d'utilisation et d'efficacité de la protection cathodique
- Risques de corrosion liés à l'emploi des raccords isolants

### Systèmes de protection cathodique

- Conception et dimensionnement des systèmes de protection cathodique
  - o Détermination du courant de protection cathodique des ouvrages en mer
  - o Calcul de la résistance des anodes selon la forme et la disposition

- Masse anodique à installer en fonction de la durée de vie recherchée
- 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
  - o Les dispositions constructives (durée de vie, nombres d'anodes à installer, répartition)
- Système de protection par courant imposé
  - o Matériaux utilisables (caractéristiques, tension, milieu anodique)
  - o Critères de choix du type d'anode, conditions d'utilisation
  - o Les dispositions constructives (durée de vie, nombre d'éléments)
  - o Modes de régulation des postes de protection : intensité imposée, tension imposée, potentiel d'électrode imposé (systèmes asservis utilisant une électrode de référence pilote)
  - o Masse anodique à installer
- Matériels connexes
- Installation des équipements
  - o Anodes et écrans diélectriques
  - o Mise en continuité électrique
- Mise en service et contrôles

### Techniques de mesures – Appareillage

- Constitution et mise en œuvre des électrodes de référence et de mesure (Ag-AgCl-eau de mer, zinc), mobiles ou permanentes
- Mesure de conductivité des eaux de mer et eaux saumâtres
- Mesure de pH
- Mesure de potentiel
  - o Contrôle des électrodes et des appareils de mesures
  - o Emplacement des électrodes de mesure
  - o Mesure de potentiel
  - o Mesure rapprochée du potentiel sur canalisations sous-marines
- Mesure du courant
  - o Mesures par shunt, pinces ampérométriques marinisées, anodes et cathodes monitorées, capteurs spéciaux.

### Revêtements

- Rôle des revêtements
  - o Protection passive complétée par la protection cathodique
  - o Complément à la protection cathodique
- Type de revêtements
  - o Les peintures pour ouvrages exposés en mer
  - o Notions sur les principaux revêtements de tube appliqués en usine
  - o Les revêtements pour tube de risers offshore
  - o Les principaux revêtements appliqués sur site
  - o Les revêtements internes de capacités
  - o Les revêtements de lestage en béton armé pour canalisations sous marines
- Propriétés principales des revêtements



- L'adhérence
- La résistance des revêtements aux agressions mécaniques
- La résistance physico-chimique des revêtements
- Effets de la protection cathodique sur les revêtements
- Essais de revêtements
  - Les essais d'adhérence pour les revêtements minces
  - Les essais de pelage contrôlé
  - Les essais de choc, de pénétration sous charge
  - La résistance à la délamination cathodique
  - Le contrôle de continuité de l'isolation électrique
- Taux de dégradation des revêtements
  - Les revêtements de pipeline
  - Les peintures exposées à l'eau de mer

### Phénomènes bactériens

- Éléments de microbiologie
  - Les bactéries sulfato-réductrices
- La corrosion bactérienne par les bactéries sulfato-réductrices (BSR)
  - Exemple de corrosion bactérienne
  - Détection de la corrosion bactérienne
- Protection et corrosion bactérienne

### Connaissance des normes, des procédures et des textes officiels de réglementation

- Normes spécifiques au secteur Mer :
  - NF EN 12 473 : « Principes généraux de la protection cathodique en eau de mer »
  - NF EN 13173 : « Protection cathodique des structures en acier flottant en mer »
  - NF EN 12495 « Protection cathodique des structures en acier fixes en mer »
  - NF EN 13174 « Protection cathodique des installations portuaires »
  - XPA 05-674 « Protection cathodique des œuvres vives des navires »
  - Pr NF EN 12496 « Anodes galvaniques pour la protection cathodique dans l'eau de mer et les boues salines »

ISO 15589-2 « Industries du pétrole et du gaz naturel – protection cathodique des systèmes de transport par conduites – Partie 2 : Conduites en mer ».

### Programme session pratique

#### Tâches à accomplir pour une compétence d'un niveau 3 en plus des tâches des niveaux inférieurs pour tous les secteurs d'application

- Préparation d'instructions techniques
- Collecte d'informations et de données détaillées à des fins de conception
- Réalisation du démarrage et de la mise en service
- Définition des limites d'application de la méthode de contrôle conformément à des procédures établies
- Interprétation des données de mise en service ou de vérification des performances et préparation de rapports de mise en service, de vérification des performances ou de revue du système pour des systèmes de PC simples
- Détermination de la validité des données et analyse des anomalies détectées
- Détermination de l'augmentation/de la diminution du débit de courant pour maintenir une performance optimale, y compris les actions correctives pour remédier aux anomalies et aux interférences
- Traduction des normes et spécifications de mesure et de contrôle de la PC sous forme d'instructions techniques de mesure et de contrôle de la PC, de maintenance courante et de procédures d'installation
- Étude des cas de corrosion par perte de matière lorsque l'utilisation de la PC peut être impliquée
- Rédaction d'instructions techniques pour les personnes d'un niveau inférieur et supervision et formation de ces personnes dans la pratique de leurs tâches
- Interprétation et évaluation des résultats conformément aux normes, recommandations et spécifications établis
- Réalisation, sans supervision, de travaux de conception de systèmes de PC simples conformément à des procédures établies, dans un environnement connu
- Rédaction d'instructions techniques comprenant la définition de la procédure de contrôle de la PC et du matériel à utiliser, ainsi que le format de consignation des données pour les tâches couvertes dans les normes, recommandations et spécifications

## Programmes d'examens

### Niveau 3 – Secteur Mer

#### Tâches à accomplir pour une compétence d'un niveau 3 en plus des tâches des niveaux inférieurs pour le secteur Mer

- Conception de systèmes de PC simples (Exemples: systèmes pour bouées, petits bateaux.)
- Organisation de campagnes sous-marines de mesure de potentiel et/ou de débit de courant d'anode pour des systèmes de PC simples (Exemples: systèmes pour bouées, petits bateaux.)
- Analyse des résultats des campagnes de mesure de potentiel et/ou de débit de courant d'anode pour des systèmes de PC simples (Exemples: systèmes pour bouées, petits bateaux.)
- Interprétation des données
- Examen de l'enregistrement vidéo de l'inspection de la structure et du système de PC pour détecter un endommagement physique, un endommagement du revêtement, un endommagement par corrosion
- Réalisation du contrôle d'interférences