

### 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 béton 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.

- 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 Béton

- 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 Béton

- 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.

### **Diagnostics 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 Terre**

### **Corrosion et matériaux, béton armé, armatures, réparation**

- Le béton armé et précontraint : ses fonctions,
- Le béton et ses composants : ciments, granulats
- Les classes d'exposition (EN 206) et conséquences
- Dégradation chimique, alcali-réaction et réactions sulfatiques
- Caractéristiques physicochimiques des bétons : porosité, pH, résistivité, perméabilité
- La corrosion des armatures : carbonatation, chlorures, l'enrobage des armatures
- Méthodes générales de prévention de la corrosion des armatures (selon EN 1504), armatures spéciales (galvanisé, aciers inoxydables), inhibiteurs, revêtements sur béton.

# Programmes d'examens

## Niveau 2 – Secteur Béton

- Réparation des ouvrages : préparation de surface, reconstitution de la section d'armatures, selon NF 95-101 et NF 95-103
- Produits de réparation, mise en œuvre (béton projeté) et compatibilité avec la Protection Cathodique

### **Théorie générale de la protection cathodique**

- Electrodes de référence, de comparaison et de mesure employées pour le béton armé : externes, noyées,
  - Capteurs de surveillance
  - Critères de protection : potentiel à courant coupé, dépolarisation
  - Risques liés à la surprotection : dégagement d'hydrogène, fragilisation des aciers de précontrainte
  - Méthodes de protection cathodique : courant imposé, anodes galvaniques
  - Limites d'utilisation et d'efficacité de la protection cathodique : continuité électrique des armatures, écrans de matériaux isolants, courts circuits,...

### **Systèmes de protection cathodique pour le béton armé**

- La norme NF EN/ISO 12696
- Evaluation des structures
- Notion d'ensembles anodiques : de surface, noyés dans la structure
- Systèmes à courant imposé : types d'anodes, matériaux, dispositions constructives, câbles
- Systèmes par anodes galvaniques : types d'anodes, dispositions constructives
- Critères de protection exprimés, correspondances
- Densité de courant de protection cathodique
- Réactions à l'anode, à la cathode en cas de surprotection
- Transfert d'ions (réalcalinisation et déchloruration)
- Notions sur le calcul du dimensionnement des anodes galvaniques et de leur nombre

### **Techniques de mesures – appareillage**

- Vérification de la localisation des armatures et mesurage de leur enrobage
- Contrôle de la continuité électrique des armatures pour permettre des mesurages de potentiel précis, mesurage de la continuité électrique des armatures (techniques de mesure de résistance ou de potentiel)
- Mesurage de tension et du potentiel, appareillage nécessaire
  - Importance de la vérification des appareils de mesure, « chaîne qualité »
  - Vérification des électrodes de mesure
  - Raccordements électriques
  - Importance de la position de l'électrode de mesure
- Mesurage de la résistivité du béton

- Mesurage de l'isolation anodes/armatures (techniques de mesure de résistance ou de potentiel)
- Mesurage du potentiel à courant coupé et de la dépolarisation
- Suivi du fonctionnement de la PC (tension, courant, potentiel on/off, dépolarisation)
- Vérification de la mise à la terre

### **Connaissance des normes, des procédures et de la certification en protection cathodique**

Normes : NF EN/ISO 12696, TS 14038-1 et 2, NF EN 206, NF EN 1504, NF P 95-101, NF P 95-103, NF EN 15257, EN 13509

Recommandations PCRA 008 (Recommandations pour la définition des appareils de mesures utilisés en protection cathodique ») et PCRA 005 (Recommandations pour la vérification des électrodes de référence »)

Guides anodes galvaniques Cefracor : « *Anodes galvaniques pour le traitement de la corrosion des armatures des constructions en béton* »

## **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

# Programmes d'examens

## Niveau 2 – Secteur Béton

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

- Contrôle de la continuité électrique des armatures pour permettre des mesurages de potentiel précis
- Mesurage de la profondeur d'enrobage des armatures à l'aide d'un mesureur d'enrobage
- Collecte ou supervision de la collecte de poudre de béton par forage ou de carottes pour mesure de chlorure
- Contrôle de carbonatation sur morceaux ou carottes de béton
- Mesurage de la continuité électrique des armatures (techniques de mesure de la résistance et du potentiel)
- Supervision des liaisons pour continuité électrique des armatures et contre-essai
- Supervision de l'installation des connexions de câbles aux armatures ou pièces métalliques enrobées ou en surface: fixation mécanique
- Supervision de l'installation des connexions de câbles aux armatures ou pièces métalliques enrobées ou en surface: fixation par procédé exothermique, soudage ou brasage fort de goujons
- Supervision des liaisons par câbles aux anodes et (si applicable aux systèmes d'anodes) installation du système d'anode primaire dans le système d'anode secondaire
- Mesurage de l'isolation anode/armatures (techniques de mesure de la résistance et du potentiel)
- Mesurage de la continuité ou de la résistance du circuit anodique
- Mesurage de la continuité ou de la résistance du circuit cathodique et du circuit de contrôle
- Mesurage de potentiel en courant établi et instantané à la coupure de courant et du débit de courant sur des électrodes de référence installées de façon permanente et des coupons témoins
- Mesurage de potentiel en courant établi et instantané à la coupure de courant et de la chute de potentiel à partir du potentiel instantané à la coupure de courant sur des électrodes de référence installées de façon permanente
- Surveillance/mesurage de la chute de potentiel à partir du potentiel instantané à la coupure de courant sur la surface du béton à l'aide d'électrodes de référence portables