

Généralités

Les personnes actives en PC de niveau 4 doivent posséder les connaissances et le savoir-faire nécessaires pour effectuer les tâches énumérées et décrites en détail dans la norme NF EN ISO 15257 :2017, de manière correcte et en toute sécurité, comprendre leurs buts, reconnaître les problèmes éventuels lors de leur exécution et la signification des données qui en découlent.

Chaque niveau de compétence défini doit inclure également la compétence des niveaux inférieurs correspondants.

La validation des connaissances et le savoir-faire que doit posséder un candidat postulant à une certification N4 béton sont effectués par le biais d'un examen de certification comportant :

- 2 épreuves théoriques basées sur des QCM :
 - 1 QCM de tronc commun (identique pour tous les secteurs)
 - 1 QCM spécifique au secteur concerné
- 1 épreuve pratique comportant 3 sous-épreuves :
 - un oral permettant d'évaluer les connaissances et savoir faire
 - une analyse de cas
 - un dimensionnement d'un système de protection cathodique

Lors de ces épreuves, il sera demandé au candidat et notamment pour l'épreuve pratique :

- Du raisonnement (analyse et explication d'une situation)
- De la pertinence (choix judicieux et justification des solutions)
- De la réflexion (identification des problèmes)
- Des connaissances (règles de l'art, les critères, les démarches ...)

Détails des programmes

Programme des épreuves théoriques (QCM tronc commun et QCM spécifique)

Les différentes connaissances théoriques, classées par thèmes, que doivent posséder les candidats sont définies dans la norme NF EN ISO 15257 et reprises dans le tableau ci-dessous auxquelles sont adjoints de connaissances spécifiques et complémentaires au secteur de l'acier dans le béton pour les structures aériennes, enterrées ou immergées tel que définies dans la norme NF EN ISO 12696.

Énumération des connaissances demandées
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 définies dans le tableau ci-dessus sont détaillées ci-après :

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

- Courant continu
 - Circuit électrique, sens conventionnel du courant
 - Différence de potentiel, intensité du courant, résistance d'un conducteur, loi d'Ohm, effet thermique du courant
 - Quantité d'électricité

Programmes d'examens

Niveau 4 – Secteur Béton

- Association des résistances en série et en parallèle, résistance équivalente, résistance d'un conducteur
- Puissance électrique, énergie électrique absorbée ou dissipée, unités
- Générateurs de courant continu, piles, accumulateurs, autres sources
- Caractéristiques des diodes
- Courant alternatif
 - Pulsation, fréquence, période, intensité maximale, intensité moyenne, intensité efficace
 - Puissance apparente, active et réactive en monophasé et en triphasé
 - Le redressement du courant alternatif en courant continu : Diodes, thyristors
 - Transformateur de courant monophasé et triphasé
 - Notion d'électromagnétisme
- Mesures et matériels de mesure
 - Tension, intensité, résistance, contrôle de diode
 - Multimètres (fonctions), 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 : mise en équipotentiel du poste de travail avec les masses métalliques, protections individuelles, outils isolants
 - Réglementation

Les questions posées porteront sur des calculs électriques se rapportant à des installations ou cas concrets (système de PC, circuits de mesure, résistance de terre, circuit d'un transformateur/redresseur...).

Corrosion, électrochimie revêtements en rapport avec la PC

- 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
 - Courant anodique et courant cathodique (densité de courant)
- Définition et 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). Tracé de $E = \log I$

- Polarisation d'activation, loi de Tafel, cas de l'oxydation d'un métal et du dégagement d'hydrogène par réduction de l'eau
- Diagrammes d'Evans
- Résistance de polarisation
- 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
 - La corrosivité des sols, relations avec la résistivité et l'humidité, connaissances générales des normes NF EN 12501-1 et NF EN 12501-2.
 - Les classes d'exposition selon la NF EN 206-1

- Les métaux et alliages
 - 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

- La corrosion
 - Définition
 - Principales familles : Corrosion gazeuse (ou sèche), corrosion électrochimique aqueuse ou humide, spécificités de la corrosion des aciers enrobés de béton
 - 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 principaux électrolytes
 - Approche thermodynamique de la corrosion, diagrammes potentiel – pH (Pourbaix)
 - Passivation
 - Typologies 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 inter-granulaire 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.

- 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 206-1) et conséquences
 - La composition des ciments courants selon la NF EN 197-1
 - 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.
 - 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

Revêtements en rapport avec la PC

- Rôles des revêtements
- Influence des différents types de ciment sur la réaction cathodique à l'interface acier-béton
- Les effets défavorables de la protection cathodique : saponification et cloquage des peintures, délamination cathodique
- Contrôle de l'isolation électrique des revêtements (éponge humide, balai électrique)
- Le revêtement non compatible avec la protection cathodique : les calorifuges.
- Les principaux types de revêtements (constitution, épaisseurs)
 - Les principaux revêtements appliqués : avantages et inconvénients de chacun
 - Les principaux revêtements utilisés pour les réparations
 - Les revêtements externes et internes des réservoirs
 - Les sorties de sol des structures
- Les propriétés principales des revêtements
 - Le maintien de l'adhérence, objectif principal
 - Risques de corrosion par effet d'écran au courant de protection cathodique sous revêtements non adhérents à l'acier et calorifuges. Importance pratique (risques de corrosion ou de corrosion sous contrainte), mécanismes, principaux facteurs dont la résistivité, incidence sur la validité des méthodes de mesure
 - Les effets défavorables de la protection cathodique : cloquage, délamination cathodique, fragilisation par l'hydrogène
 - La résistance physico-chimique des revêtements : effets de la température (domaines d'emploi), du pH, des bactéries

- Résistance des revêtements aux agressions mécaniques (chocs, pénétration sous charge, cintrage)

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 et autres métaux et alliages 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, fragilisation des aciers de précontrainte
- 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
 - Système à courant imposé
 - Système par anodes galvaniques
- Limite d'utilisation et d'efficacité de la protection cathodique
 - Risques liés à un manque de continuité électrique dans l'électrolyte. Ecrans en matériaux isolants, éléments de surface (console, ...)

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 EN 12501-2
- Connaissances des classes d'exposition selon la norme EN 206-1
- Limite d'utilisation et d'efficacité de la protection cathodique
- Risques liés à un manque de continuité électrique dans l'ouvrage. Interposition de matériaux conducteurs

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

- La norme NF EN ISO 12696, protection cathodique de l'acier dans le béton pour des structures aérienne, enterrées et immergées
- Systèmes de protection par anodes galvaniques
 - 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
 - Critères de choix du matériau anodique dans les principaux milieux électrolytiques, formes typiques d'anodes
 - Les mélanges régulateurs
 - Les mélanges activateurs
 - Les dispositions constructives

- Systèmes de protection par courant imposé
 - Anodes à courant imposé : Matériaux utilisables (anodes consommables, semi-inertes et inertes)
 - Critères de choix du matériau dans les principaux milieux électrolytiques, formes typiques d'anodes
 - 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)
 - Les mélanges régulateurs
 - Les dispositions constructives

- Matériels connexes
 - Câbles,
 - Raccords isolants, ou tout type d'isolateur
 - Prises de potentiel,
 - Intervalles de décharge,
 - Cellules de polarisation,
 - Dispositifs d'écoulement des courants d'influence, etc...

- Méthodes de conception et de dimensionnement des systèmes non simple et complexe de protection cathodique :
 - Détermination du courant de protection cathodique
 - Réactions à l'anode, à la cathode en cas de surprotection
 - Transfert d'ions (réalcalinisation, déchloruration et protection cathodique)
 - Masse anodique à installer en fonction de la durée de vie recherchée, notion de vieillissement des anodes
 - Nombre et localisation des anodes à installer
 - Notion et détermination de la résistance du système anodique
 - Problèmes d'influence, notion de facteur de couplage
 - Influence de la distance anode/structure à protéger
 - Rôle de la résistivité sur la distance d'influence des anodes
 - Influence de l'espacement entre lits d'armatures

Mesurages et procédures de contrôle de la PC

- Appareillage (rappel)
 - 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)
 - Mesure de tension et de courants continus ou alternatifs : Voltmètre, Ampèremètre, utilisation de shunts, pinces ampérométriques.
 - 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 et à courant coupé, ponctuelles ou avec enregistrement (connaissance des critères)
 - 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 chute ohmique et de gradient de potentiel
 - Mesures de potentiel sur les ouvrages complexes
- Mesures d'intensité et de densité de courant
 - Mesure du sens et de l'intensité d'un courant circulant dans un ouvrage (raccord isolant avec shunt, méthode des deux fils, méthode des quatre fils, anneau ampérométrique)
 - Détermination des densités de courant sur ouvrages ou témoins métalliques.
 - Analyse détaillée des facteurs influençant les résultats
- Autres facteurs influençant les mesures de potentiel
 - Résistance de contact de l'électrode de référence avec le béton,
 - Influence des gradients de concentration en chlorures et des gradients d'humidité
 - Influence de la composition du béton
 - Influence de la résistivité
 - Résistance de contact au niveau de la connexion avec la structure,
 - Mesure effectuée sur un câble qui véhicule un courant,
 - Couple galvanique entre les ouvrages et l'électrode de référence à courant coupé
- Mise en service et contrôle des installations
 - Contrôle de la continuité électrique des éléments de l'ouvrage à protéger
 - Systèmes de protection cathodique, fourreaux, raccords isolants, systèmes d'écoulement des courants alternatifs ou des courants d'influence, influences électriques, etc.)
 - Procédures de contrôle et de maintenance
 - Périodicité des contrôles et des mesures
 - Mesure du pH (papier indicateur, pH-mètre)
- Mesure de la résistivité des électrolytes (béton, sol, eau) et mesure des résistances de terre
 - Mesures en laboratoire (échantillons solides et liquides)
 - Méthode des quatre piquets (dite de Wenner) : conséquences de l'hypothèse de milieu semi-infini sur la mesure réalisée sur un parement en béton
 - Analyse des mesures de la résistivité sur site : notion de résistivité apparente
 - Analyse des mesures de la résistance de terre des ouvrages (telluromètre, variation de l'intensité du courant émis par une source de courant continu)
- Analyse des mesures et des campagnes de mesures

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 structure/électrode

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

- Constitution et mise en œuvre des électrodes de référence mobiles ou permanentes (cuivre – sulfate de cuivre saturé, argent – chlorure d'argent) et de mesure permanentes (manganèse-dioxyde de manganèse, argent – chlorure d'argent, sonde de dépolarisation Ti-MMO)
- Suivi métrologique suivant NF EN ISO 10012, contrôle des électrodes et des autres appareils de la chaîne de mesure
- Utilisation des électrodes de référence et électrodes de mesure employées en fonction des différents milieux
- Importance des facteurs influençant la mesure
 - influence des chlorures
 - influence de la température
 - influence de la lumière

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

- Risques liés à la surprotection cathodique :
 - Fragilisation hydrogène,
 - Décollement interface béton/acier.
- Facteurs intervenants sur la corrosion sous contrainte (CSC)

Diagnosics des systèmes de PC

- Paramètres et critères d'analyse à prendre en compte dans le diagnostic des systèmes de PC simples et complexes
 - Densité de courant moyenne sur l'ouvrage
 - Densité de courant en fonction de la profondeur des différents lits d'armatures et effet d'écran
 - Densité de courant sur acier nu
 - Ratios des électrodes de mesure par zone
 - Réactivité des soutirages en cas d'apparition de défauts

Conditions d'interférences

- Courants vagabonds (continus)
 - Sources des courants vagabonds (continus)
 - Risques de corrosion associés
 - Moyens de protection. Drainages, soutirages, mises à la terre, sectionnements électriques

- Cas des systèmes de traction électrique en courant continu
 - Moyens de protection : drainages, soutirages, mises à la terre, sectionnements électriques
 - Principe de fonctionnement
 - Dispositions constructives (alimentation, isolement, voies ferrées, ...)
 - Règlements applicables

- Protection contre les courants vagabonds continus
 - Localisation des origines
 - Moyens de protection (drainage, courant imposé, sectionnement des conduites, actions sur la source d'influence, mises à la terre)
 - Drainage de courant : constitution, fonctionnement, moyens de régulation
 - Essais sur site
 - Dispositions de protection électrique (fusible, intervalles de décharge ...)
 - Influence des systèmes de protection contre les courants vagabonds sur les ouvrages voisins
 - Procédures administratives en vigueur

- Mise en service et contrôle
 - Vérification des dispositifs et de leurs composants avant mise en service
 - Contrôle de l'efficacité des dispositifs après mise en service
 - Mesure des potentiels sur l'ouvrage à protéger (potentiel OFF instantané, potentiel moyen, potentiels maximum et minimum, enregistrements, mesures sur témoins métalliques amovibles et permanents, mesure de dépolarisation, ...)
 - Mesure des potentiels concernant sur la source des courants vagabonds continus
 - Procédure de mise en service

- Procédure de contrôle et de maintenance
- Périodicité des contrôles et des mesures
- Influences générées par les systèmes de protection cathodique voisins :
 - Localisation des origines
 - Moyens de protection
 - Essais sur site
 - Procédures administratives en vigueur

- Influence des courants alternatifs générés par la proximité des ouvrages haute tension (conduction, induction, effet capacitif, moyens de protection, réglementation)
 - Lignes électriques aériennes de transport d'énergie haute tension
 - Systèmes de traction ferroviaire 50 Hz
 - Câbles électriques enterrés de transport d'énergie haute tension
 - Corrosions générées par les courants alternatifs 50 Hz (origine, évaluation des risques, solutions à mettre en œuvre)

Programmes d'examens

Niveau 4 – Secteur Béton

- Mise en service et contrôle de l'efficacité des dispositifs de protection
- Procédure de contrôle et de maintenance
- Périodicité des contrôles et des mesures
- Risques générés par la foudre
 - Différents types de décharges
 - Caractéristiques des chocs foudre
 - Coup de foudre direct et indirect (couplage électromagnétique, conduction)
 - Niveau kéraunique, densité de foudroiement
 - Facteurs influant sur les percements de canalisations enterrées
- Dispositif de protection (raccord isolant, parafoudre, mise en équipotentialité des postes de travail)
 - Mise en service et contrôle d'efficacité des dispositifs de protection
 - Procédure de contrôle et de maintenance
- Courants telluriques
 - Origines et effets
 - Moyens de protection
- Prévention contre les risques électriques sur le personnel intervenant
 - Prévention des risques
 - Matériels de protection
 - Réglementation

Normes et recommandations pratiques dans le secteur d'application concerné

Connaitre le contenu principal des normes suivantes :

- NF EN ISO 15257 « Protection cathodique — Niveaux de compétence des personnes en protection cathodique — Base pour un dispositif particulier de certification »
- NF A05-800 « Norme de service - Prestations de service en protection cathodique - Engagements des prestataires de service »
- Procédure CFPC PR4000 « Droit d'usage de la certification et déontologie »
- NF EN ISO 12696 « Protection cathodique des aciers dans le béton »
- NF EN 14038-1 « Réalcalinisation électrochimique et traitements d'extraction des chlorures applicables au béton armé - Partie 1 : réalcalinisation »
- NF EN 14038-2, « Réalcalinisation électrochimique et traitements d'extraction des chlorures applicables au béton armé - Partie 2 : extraction des chlorures »
- NF EN 206-1 « Béton - Partie 1 : spécification, performances, production et conformité »
- NF EN 1504 « Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité »
- NF P 95-101 « Ouvrages d'art - Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie - Reprise du béton dégradé superficiellement - Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés »

- NF P 95-102 « Ouvrages d'art - Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie - Béton projeté - Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés »
- NF P 95-103 « Ouvrages d'art - Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie - Traitement des fissures et protection du béton - Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés »
- NF EN 197-1 « Ciment - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants »

- NF EN 12954 « Principes généraux de la protection cathodique des structures métalliques à terre enterrées ou immergées »
- NF EN 13509 « Techniques de mesures applicables en protection cathodique »
- NF EN 50162 « Protection contre la corrosion due aux courants vagabonds des systèmes à courant continu »
- NF EN 50122-2 « Mesures de protection contre les effets des courants vagabonds issus de la traction électrique à courant continu »
- NF EN ISO 18086 « Corrosion des métaux et alliages – Détermination de la corrosion occasionnée par les courants alternatifs – Critères de protection »

- NF EN ISO 10012 « Exigences pour les processus et les équipements de mesure »
- NF EN ISO 8044 « Corrosion des métaux et alliages – Termes principaux et définitions »
- NF C 15-100 « Installations électriques à basse tension »
- NF C 18-510 « Opérations sur les ouvrages et installations électriques et dans un environnement électrique - Prévention du risque électrique »

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)

Programme session pratique

Epreuve ORAL

Cette épreuve permet d'évaluer les connaissances et savoir faire.
Elle repose sur un entretien avec les examinateurs portant sur les 14 thèmes suivant possibles.

Ci-dessous le détail du programme de 14 thèmes :

Postes transformateur-redresseur

- Principe de la protection cathodique par courant imposé (faire un schéma).
- Les différents systèmes d'anodes et disposition
- Les différents types de transformateur-redresseur de courant.

- Les organes de sécurité des postes de soutirage.
- Choix de l'emplacement des postes de soutirage.
- Données influant sur les caractéristiques des postes de soutirage.
- Les contrôles périodiques des soutirages, informations à déduire des mesures effectuées et de leur évolution dans le temps (pour l'ouvrage à protéger, pour le déversoir...).

Les anodes galvaniques

- Principe de la protection cathodique par anodes galvaniques.
- Les différentes anodes galvaniques, leurs caractéristiques et disposition
- Rôles du backfill ou des mortiers activateurs
- Vieillessement des anodes : remplissage de la porosité des mortiers par les produits d'oxydations, passivation ...
- Facteurs influant sur le choix du matériau anodique.
- Méthodologie d'installation.
- Contrôles périodiques des anodes galvaniques en service.
- Causes de dysfonctionnement possibles.

Les systèmes anodiques par courant imposé

- Les différents matériaux constitutifs (nature, consommation, densité de courant maximale admissible).
- Facteurs influant sur le choix du matériau.
- Les différents types de backfill et leur rôle, et des propriétés attendues des mortiers de scellement ou d'enrobage.
- Choix de l'implantation (constitution, zonage, ...)
- Méthodologie de réalisation (faire des schémas).
- Techniques de mesure de la résistance de terre pour les structures enterrées
- Evolution des potentiels sur la structure en fonction du milieu (faire un schéma).

Les courants vagabonds

- Définition des courants vagabonds.
- Schéma de principe de la circulation des courants vagabonds dans le sol émis par les voies ferrées électrifiées en courant continu.
- Schéma de principe de circulation des courants vagabonds dans le béton (et les armatures) à partir des coffrets électriques en parement en cas de défauts d'isolation
- Les solutions possibles pour limiter l'influence des courants vagabonds.
- Description des postes de drainage de courant (rôle du tableau de lampes).
- Neutralisation de l'influence des courants vagabonds dans les zones de rapprochement ou de croisement avec les ouvrages métalliques.
- Contrôles périodiques à effectuer sur les réseaux soumis à l'influence des courants vagabonds selon la norme NF EN 12954 (drainages, campagnes de mesures).

Les électrodes de référence

- Principe de la mesure des potentiels.
- Principales électrodes utilisées pour les mesures de potentiel (sol, mer, béton, laboratoire) selon la norme NF EN 13509 (électrodes de référence, électrode de mesure) et NF EN ISO 12696 : présentation sous forme de tableaux.
- Influence des paramètres (températures, concentration de l'électrolyte, lumière, etc.) sur les variations du potentiel des électrodes de référence cuivre / sulfate de cuivre saturé.
- Vérification périodique et entretien des électrodes de référence cuivre/sulfate de cuivre saturé.

Les techniques de mesure des potentiels

- Principe de la mesure des potentiels.
- Cartographie de potentiel naturel sur parement
- Mesure des potentiels à courant établi (mode opératoire, avantages, inconvénients).
- Les techniques possibles pour minimiser la chute ohmique.
- Mesure des potentiels à courant coupé (objectif, mode opératoire, avantages, inconvénients).
- Mesures sur témoin métallique, à demeure et amovible, en présence et hors courants vagabonds (objectif, mode opératoire, avantages, inconvénients).

Les techniques de mesure des intensités et détermination des densités de courant

- Appareils de mesure des intensités (principe de la mesure, avantages et inconvénients de chacun).
- Mesure de l'intensité du courant circulant dans des canalisations béton armé par la méthode des quatre points (principe, mode opératoire, limite d'utilisation).
- Détermination des densités de courant sur témoin métallique et densités moyenne sur une structure (principe, facteurs influents, ordres de grandeur).
- Courants d'égalisation sur les structures sous protection cathodique (origine, mise en évidence, influence sur les mesures).

La corrosivité des sols

- Définition de la force corrosive dans les sols (NF EN 12501-2).
- Facteurs ayant une influence sur la corrosivité dans les sols (paramètres relatifs au sol, caractéristiques de la structure, facteurs environnementaux).
- Principe de l'étude de la force corrosive d'une situation donnée (couple sol-structure).
- Description des méthodes utilisables pour déterminer la résistivité des sols sur site et en laboratoire.
- Influence du taux d'humidité et de la température sur la résistivité des sols.
- Ordres de grandeur de la résistivité des milieux les plus couramment rencontrés (terres agricoles, sable, argile, eau des rivières, eau de mer).
- Modification de la corrosivité des sols par l'environnement (site industriel ..)
- Agressivité des sols versus le béton

La constitution du ciment et des bétons

Programmes d'examens

Niveau 4 – Secteur Béton

- Famille de ciment selon la norme NF EN 197-1
- Définition d'un béton
- Propriétés : Rc, résistivité, porosité, ...
- Les pathologies du béton (carbonatation, retrait, gel, biocorrosion, RAG, réactions sulfatiques, ...)
- Influence des additions du ciment : tamponnage du pH, résistivité, oxygène dissous ...
- Influence des adjuvants du béton : mise en place, résistivité ...
- Conséquence : corrosion, ...

Les pathologies des structures en béton et leur conséquence sur les traitements électrochimiques

Connaissance des agrégats
Spécificités des agrégats recyclés
Prise en compte de pathologie du béton : RAG, RSI ...
Fissuration
Conséquences sur le zonage
Problématiques de mise en œuvre et de conception

Les traitements électrochimiques du béton (hors protection cathodique)

- Pourquoi ?
- Quelles normes : NF EN 14038-1, NF EN 14038-2
- La réalcalinisation
- L'extraction de chlorures
- Ordre de grandeur et mise en œuvre
- Les attendus

La fragilisation par l'hydrogène des aciers de précontrainte

- Pourquoi ?
- Rôle de l'hydrogène moléculaire et atomique.
- Influence du pH
- Comportement mécanique ductile versus comportement mécanique fragile
- Potentiel de sécurité : justification

La répartition des courants de protection cathodique en profondeur et du positionnement des différents lits d'armatures et d'effet d'écran

- Principe de la diminution de courants de protection sur plusieurs lits d'armatures en fonction de la profondeur
- Rôles de la résistivité : ohmique et distance d'influence
- Influence des mortiers et bétons : type de ciment ..
- Conséquences sur le dimensionnement d'un système de protection cathodique.
- Influence de la disponibilité en oxygène

Non-atteinte des critères d'efficacité en potentiel : études spécifiques pouvant être entreprise par un niveau 4

- Mesures de l'atténuation de la corrosion induite par la protection cathodique : techniques, méthodes, critères
- Techniques additionnelles éventuelles pour attester d'une action positive de la protection cathodique : coupons, sondes macro-piles ...

Epreuve analyse de cas

En référence à la norme NF EN ISO 15257, les différentes analyses de cas pourront porter sur :

- La préparation d'un rapport technique en vue d'intervenir ou de faire intervenir une tierce personne sur une installation suite à l'analyse d'une situation que vous aurez à faire, reposant sur des mesures ou des constats réalisés en amont.
- L'analyse et l'interprétation de données de mise en service ou de vérification des performances d'une protection cathodique appliquée à une structure non simple ou à une structure complexe. Définition des actions complémentaires ou correctives ou préventives à mettre en place.
- L'analyse et l'interprétation de données de mise en service ou de vérification des performances d'une protection cathodique appliquée à une structure soumise aux courants vagabonds issus d'une source dynamique en courant continu. Définition des actions complémentaires ou correctives ou préventives à mettre en place.
- L'analyse et l'interprétation de données recueillies suite à des cas de corrosion. Définition des actions complémentaires ou correctives ou préventives à mettre en place.
- L'analyse et l'interprétation de cas de fissuration des matériaux lorsque l'utilisation de la PC peut être impliquée. Définition des actions complémentaires ou correctives ou préventives à mettre en place.
- 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 qui ne sont pas entièrement couvertes dans les normes, recommandations et spécifications

Epreuve de conception / dimensionnement d'un système de protection cathodique

En référence à la norme NF EN ISO 15257, les sujets de conception, de dimensionnement ou d'analyse de données pourront porter sur :

Programmes d'examens

Niveau 4 – Secteur Béton

- Conception de systèmes de PC non simples
- Conception de systèmes de PC sur des structures complexes
- Conception de systèmes de PC sur des structures influencés par des courants vagabonds continu
- Conception de systèmes de PC sur des canalisations précontraintes enterrées
- Dimensionnement de systèmes de PC non simples
- Dimensionnement de systèmes de PC sur des structures complexes
- Dimensionnement de systèmes de PC sur des structures influencés par des courants vagabonds continu
- Dimensionnement de systèmes de PC sur des structures immergées
- Interprétation de données de mesurage non simples et/ou en dehors des spécifications normatives: interférences, variations journalières ..
- Connexion des armatures précontraintes au système de protection cathodique : cas des fils adhérents et des câbles de post-contrainte adhérents ou non