



AFGC

IMGC



« LA PROTECTION CATHODIQUE DES
OUVRAGES EN BETON ARME : DU
DIAGNOSTIC AUX TRAVAUX »

Journée Technique AFGC Méditerranée
Mercredi 12 décembre 2018
Centre de Formation Emile Picot de Mallemort





Principes du design et du dimensionnement

Christophe Michaux



LA PROTECTION CATHODIQUE DES OUVRAGES EN BETON ARME : *DU DIAGNOSTIC AUX TRAVAUX*

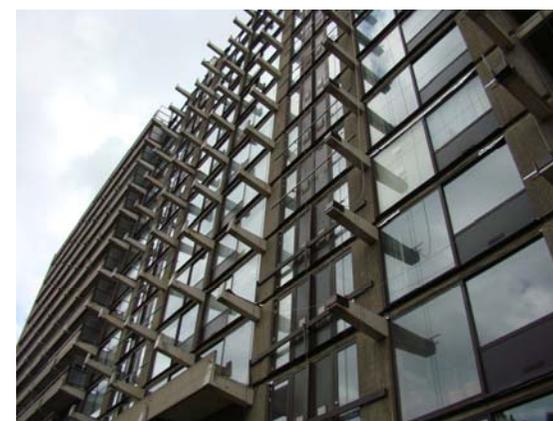
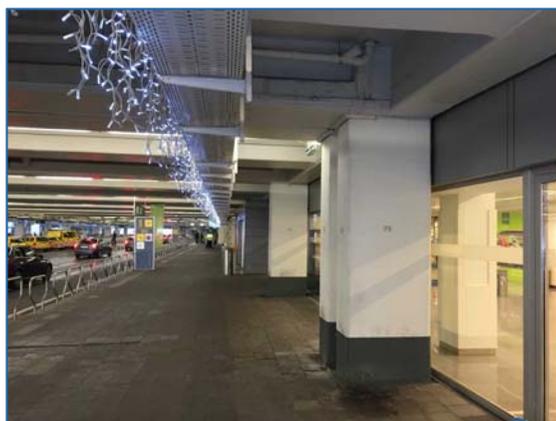
Slide introductive de type 2 (avec photos)

SOMMAIRE

- Stratégie de Réparation / Conception
- Au-delà de la protection cathodique
- Images de la corrosion
- Rappels Normatifs
- Notions de dimensionnement
- Densité de courant
- Notion d'essai pilote
- Instrumentation de surveillance
- Autres composantes
- Conclusions

Protection cathodique des bétons armés

Les principes du design et du dimensionnement



Stratégie de Réparation/Conception

Etude multicritères

- La conception d'une PC suit les étapes classiques de diagnostic, de conception des réparations, de convenance et de suivi.
- Les points particuliers à prendre en compte sont :
 - Les pathologies,
 - L'ampleur des surfaces touchées
 - L'environnement
 - Les délais et conditions d'intervention
 - La durée de service souhaitée
- La conception générale suit les principes d'action définis dans EN 1504 (2008)
- PC suivant EN ISO 12696 février 2017

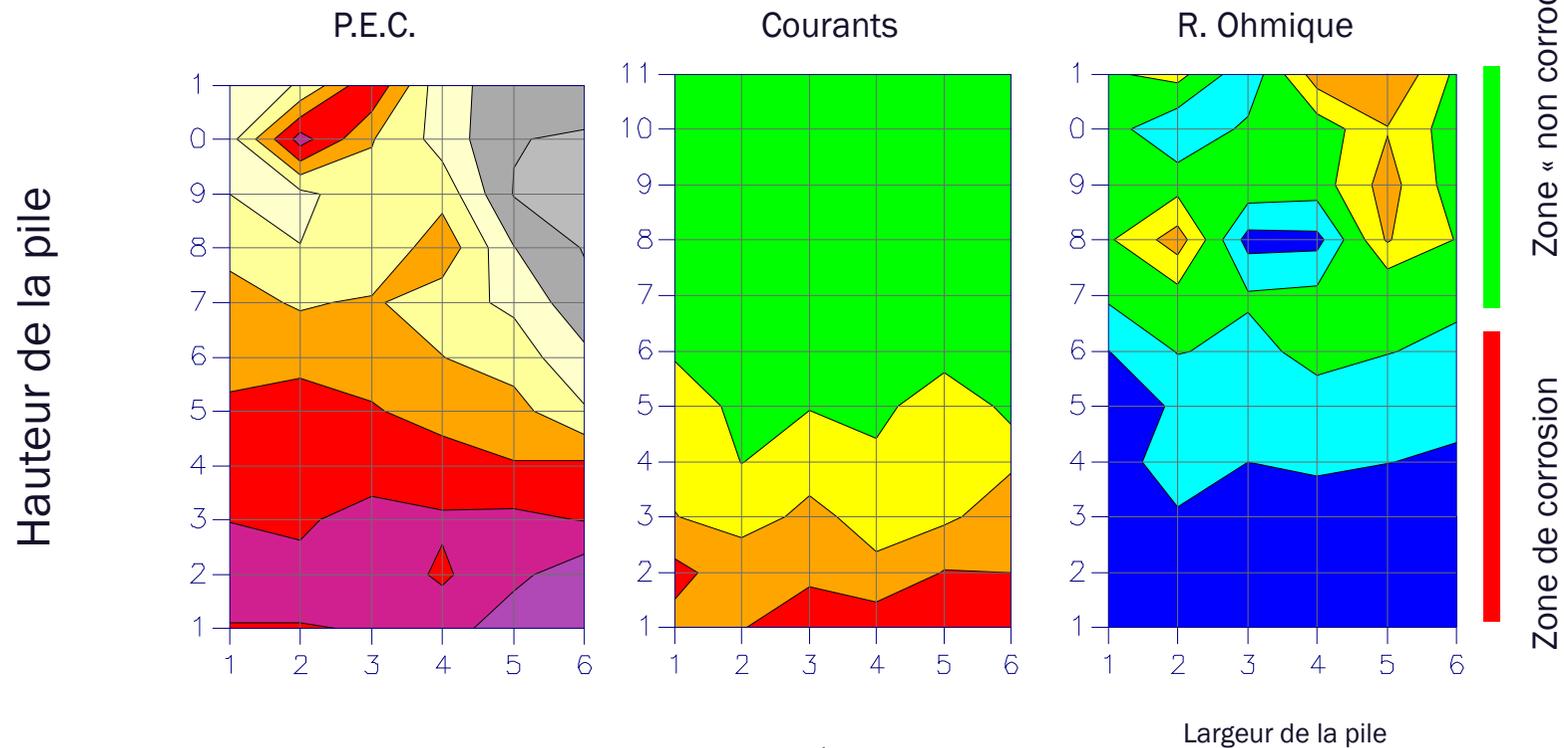
Au-delà de la protection cathodique

Une conception intégrée

- Compatibilité, Stratégie de réparation versus cinématique globale du chantier
- Compatibilité, Anodes versus technique de réparation
- Interactions avec les autres lots techniques
- Problématique Protection Feu
- Influence de l'architecture PC avec les problématiques de levée de points d'arrêt et séquences de réception

Images de corrosion

Symptômes et traitement global(1)



Action sur la corrosion dans sa globalité et non sur le symptôme représenté par l'éclatement

Images de corrosion

Symptômes et traitement global(2)

| | Piles | Culées |
|--------------------------|--------------|---------------|
| Eclatements | $\leq 20 \%$ | $\leq 10 \%$ |
| Corrosion active | env. 40 % | env. 60 % |
| Corrosion latente | env. 20 % | env. 20 % |

Action sur la corrosion dans sa globalité et non sur le symptôme représenté par l'éclatement

Rappels Norme NF EN 12696:2012

Les normes suivantes s'appliquent à ce secteur d'application :

- EN 12696, Protection cathodique de l'acier dans le béton.
- CEN/TS 14038-1, Ré-alkalinisation électrochimique et traitements d'extraction des chlorures applicables au béton armé — Partie 1 : Ré-alkalinisation.

NOTE Ce secteur d'application inclut par exemple :

- les structures à terre en béton armé (et précontraint) exposées à l'air (ponts, murs, piliers, bâtiments, etc.) ;
- les structures enterrées en béton armé (et précontraint) (canalisations, tunnels, fondations, etc.) ;
- les structures en béton armé (et précontraint) immergées en eau douce (canalisations, fondations, piscines, réservoirs d'eau) ;
- les structures en béton armé (et précontraint) immergées en eau de mer (installations portuaires, quais et jetées, plates-formes en mer).

Des techniques électrochimiques autres que la protection cathodique également destinées à limiter la corrosion de l'acier enrobé de béton (telles que la ré-alkalinisation électrochimique ou l'extraction des chlorures) sont prises en compte dans les sujets couverts par le secteur d'application.

Norme EN 1504-9

Principe 7 à 11

| Principe n° | Principe et définition | Certains exemples de méthodes fondées sur le principe |
|--|--|---|
| Principe 7 [RP] | Préservation ou restauration de la passivité Création des conditions chimiques dans lesquelles la surface de l'armature est maintenue ou retourne à l'état passif. | 7.1 Augmentation de la couverture de l'armature avec mortier ou béton hydraulique supplémentaire 7.2 Remplacement du béton contaminé ou carbonaté 7.3 Réalcalinisation électrochimique du béton carbonaté ¹⁾ 7.4 Réalcalinisation du béton carbonaté par diffusion 7.5 Extraction électrochimique du chlorure ¹⁾ |
| Principe 8 [IR] | Augmentation de la résistivité Augmentation de la résistivité électrique du béton. | 8.1 Limitation de la teneur en humidité par des traitements de surface, des revêtements ou recouvrement |
| Principe 9 [CC] | Contrôle cathodique Création des conditions dans lesquelles les zones de l'armature potentiellement cathodiques ne peuvent entraîner une réaction anodique. | 9.1 Limitation de la teneur en oxygène (au niveau de la cathode) par saturation ou revêtement de la surface ²⁾ |
| Principe 10 [CP] | Protection cathodique | 10.1 Application d'un potentiel électrique ¹⁾ |
| Principe 11 [CA] | Contrôle des zones anodiques Création des conditions dans lesquelles les zones de l'armature potentiellement anodiques ne peuvent participer à la réaction de corrosion. | 11.1 Badigeonnage de l'armature avec des revêtements contenant des pigments actifs 11.2 Badigeonnage de l'armature avec des revêtements de protection 11.3 Application d'inhibiteurs sur le béton ^{1) 2)} |
| <p><i>1) Ces méthodes peuvent utiliser les produits et les systèmes non couverts par la série de normes EN 1504.</i></p> <p><i>2) L'inclusion de méthodes dans cette prénorme n'implique pas leur approbation.</i></p> | | |

Rappels philosophiques et normatifs

EN ISO 12696:2012

- Une norme à performance:

La présente Norme internationale n'est pas un code de conception mais une norme de performance.

Les installations de protection cathodique pour les aciers dans le béton doivent faire l'objet d'une étude de conception détaillée.

Rappels philosophiques et normatifs

EN ISO 12696:2012

- Une activité pluridisciplinaire:

Il convient de démontrer par la certification selon l'EN 15257, ou par une procédure équivalente de pré-qualification, la compétence du personnel chargé de la protection cathodique au niveau approprié pour les tâches entreprises.

- Compétence des personnes:

NOTE La protection cathodique de l'acier dans le béton est une activité pluridisciplinaire faisant appel à des spécialistes. Elle implique une compétence dans divers domaines comme l'électrochimie, le béton, le bâtiment et/ou les travaux publics et la protection cathodique proprement dite.

Rappels philosophiques et normatifs

EN ISO 12696:2012

- Systèmes de management de la qualité:

La conception, la mise en place, la mise sous tension, la mise en service et l'exploitation à long terme de tous les éléments relatifs aux installations de protection cathodique pour les aciers du béton doivent être consignées par écrit de façon complète.

NOTE L'ISO 9000 constitue une norme de systèmes de management de la qualité appropriée et pouvant de ce fait être utilisée.

Chaque partie du travail doit être effectuée conformément à un plan qualité intégralement détaillé par écrit.

Chaque phase de la conception doit être vérifiée et ces vérifications doivent être consignées par écrit.

Données d'entrée (1)

La protection cathodique (EN ISO 12696) s'intègre dans un système de réparation (EN1504). Lorsque la protection cathodique est proposée, des recherches complémentaires sont nécessaires:



Analyse du dossier d'ouvrage



Diagnostic spécifique orienté PC

Données d'entrée(2)

Diagnostic et information recherchées (1)

- Dossier d'ouvrage, plans
- Examen visuel et auscultation, fissures, délaminations
- Intégrité du béton
- Surfaces béton à protéger
- Origine de la corrosion:
 - Carbonatation
 - Profils en chlorures
 - Interférences- courants vagabonds

Données d'entrées (3)



Diagnostic et information recherchées (2)

- Armatures:
 - Localisation
 - Enrobage
 - Continuité électrique
- Type d'armatures (passives ou précontraintes)

Données d'entrée(4)

Diagnostic et information recherchées (3)

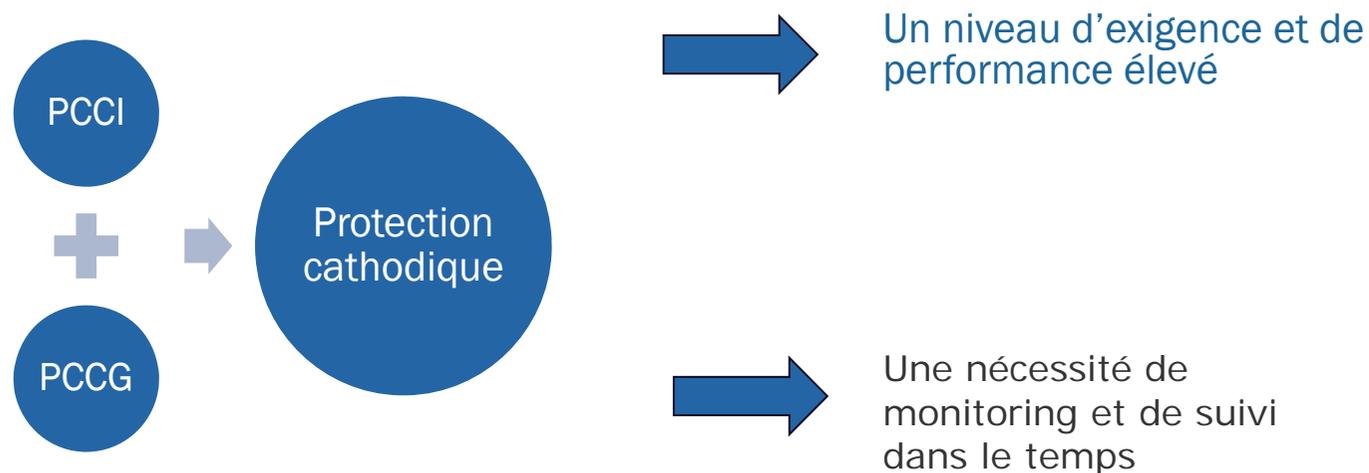
- Cartographie de la corrosion et activité corrosive ; corrosion apparente et cachée
 - Potentiel acier/béton
 - Résistivité électrique
 - Vitesse de corrosion

Informations connexes :

- Durée de service attendue
- Géométrie de l'ouvrage et des zones à protéger

Notion de dimensionnement

PCCI / PCCG



Le choix se fait en intégrant les critères de corrosion, la durabilité souhaitée, les contraintes techniques et économiques

Notion de dimensionnement courant imposé

Etapas du dimensionnement :

- Zonage anodique de la structure : les surfaces à protéger sont subdivisées en zones cathodiques homogènes (géométrie-densité - armatures-humidité)
- Définition de la densité de courant protecteur I/F (activité corrosive) ; (2- 20 mA/m² acier)
- Calcul du courant protecteur pour chaque zone anodique en fonction des caractéristiques de chaque zone.
- Définition de l'anode (type, forme, nombre...)
- Calcul de la résistance électrique totale du système (R cathode, R anode, R câbles)
- Calcul des puissances électriques
- Choix de l'alimentation adaptée (tension, courant, contrôle de potentiel)

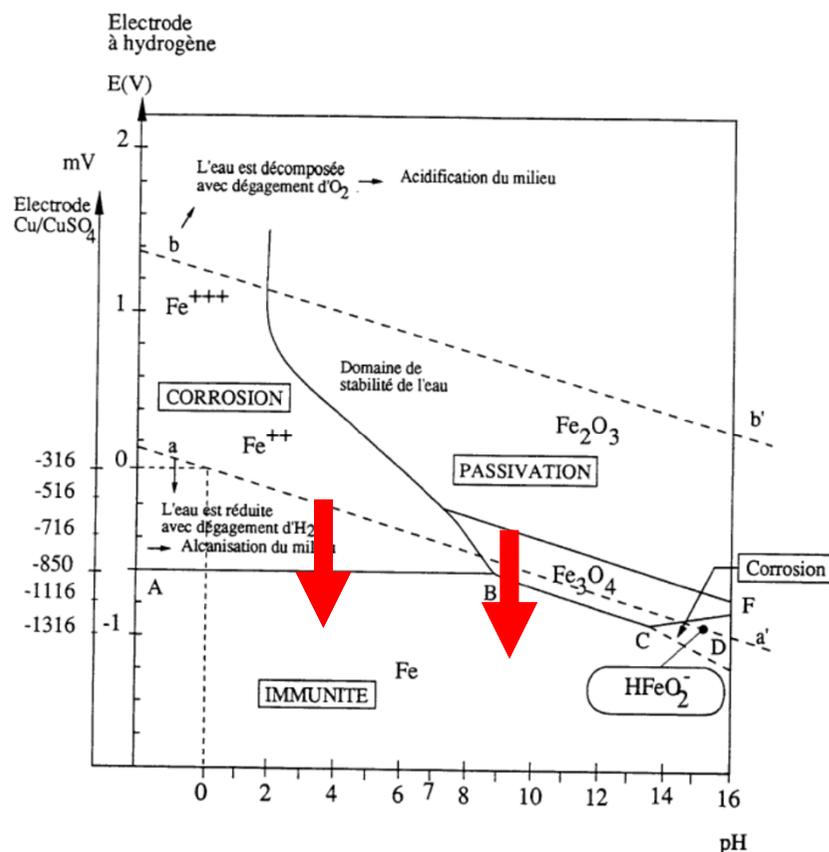
Notion de dimensionnement courant galvanique

Etapas du dimensionnement :

- Zonage anodique de la structure : les surfaces à protéger sont subdivisées en zones anodiques homogènes
- Définition de la densité de courant protecteur
- Calcul du courant protecteur pour chaque zone anodique en fonction des caractéristiques de chaque zone
- Définition de l'anode (type, forme, nombre...)
- Vérification de la durée de service des anodes en fonction de leur consommation (loi de Faraday)

Notion de dimensionnement

Effet recherché



**Amener l'acier
dans le domaine
d'immunité**

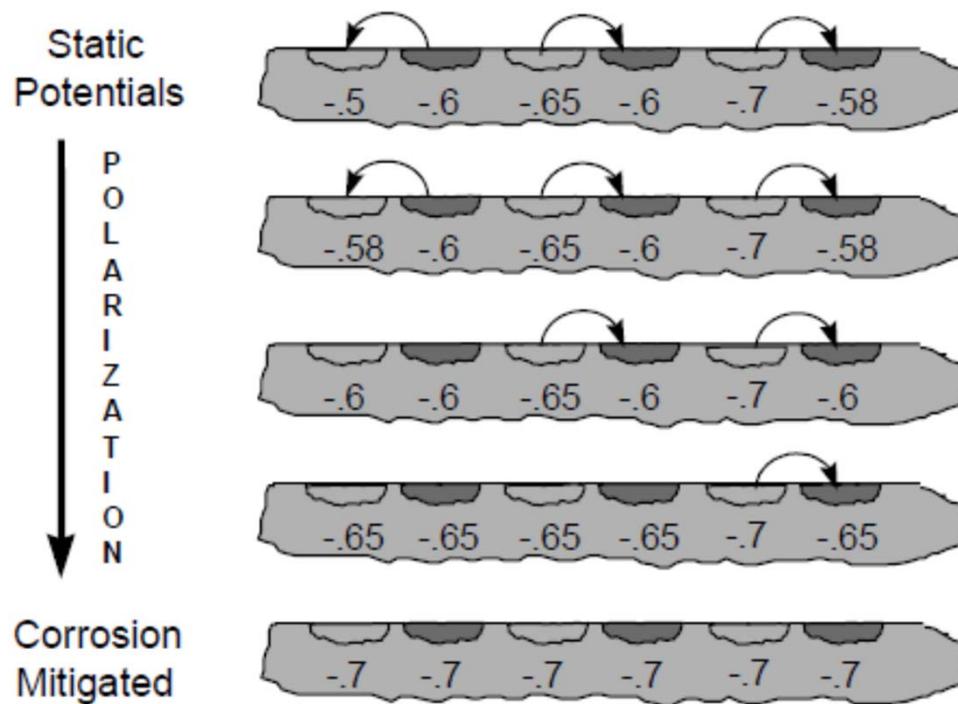
**= abaissement du
potentiel de l'acier
vers des valeurs
plus
électronégatives**

ATTENTION : Diagramme de Pourbaix de l'acier dans l'eau \neq dans le béton

Pure transfert électronique – Pas d'effet du transport : O_2 ...

Notion de dimensionnement

Effet recherché



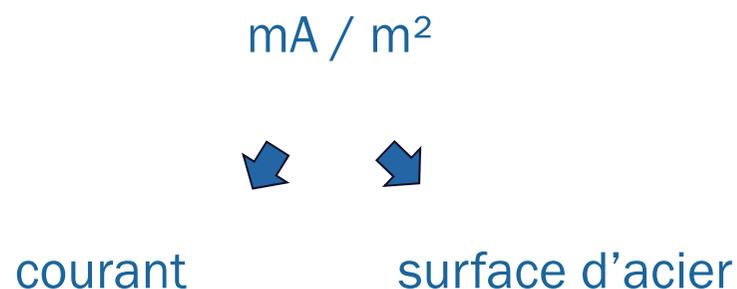
Notion de dimensionnement

Points d'arrêts

- Courant maximal / anode ou m^2 d'anode
- Consommation des anodes au regard de la durée de service et du courant théorique
- Zonage et Densité de courant / zone
- Densité de courant par sortie anodique
- Risque de surprotection
- Risque de sous protection
- Etude foudre

Densité de courant (1)

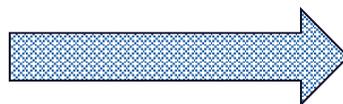
La densité de courant est la quantité de courant délivrée par les anodes par surface d'acier. Elle s'exprime en mA/m².



La densité de courant varie généralement de 0,2 à 20 mA/m²

(Voir Diagramme Pedferi)

Structure neuve à protéger sans corrosion initiale – besoin faible en densité de courant.
Prévention cathodique



Structure ancienne, dégradée, fortement exposée à protéger avec corrosion active – besoin important en densité de courant.
Protection cathodique

Densité de courant (2)

Afin de polariser cathodiquement l'ouvrage à protéger, on a besoin d'un courant de protection I qui est fonction de la résistance d'isolement de l'ouvrage par rapport au milieu corrosif.

Rapporté à une surface unitaire, on parle de densité de courant :

$$J = I/S \text{ en mA/m}^2$$

Grandeurs caractéristiques :

| Milieu | Densité de courant J mA/m ² |
|---------------------------------|---|
| Acier nu eau de mer calme | 50-80 |
| Acier nu enterré | 20 - 50 |
| Acier nu noyé béton | 0,2-20 |
| Acier revêtu liant hydrocarboné | 0,05-1 |
| Acier revêtu PE | 0,005-0,1 |

Notion d'essai pilote

Validation du concept de réparation

Validation du dimensionnement

Evaluation des courants distribués- zones d'influence - Zonage

Optimisations techniques et financières éventuelles

Validation de la cinématique chantier

Etc

Instrumentation de surveillance

La définition de l'instrumentation de surveillance fait partie intégrante de la conception de la protection cathodique:

- Capteurs de surveillance : Type, nombre, emplacement sont à définir en fonction des données d'entrée.
- Centrales de mesures : portables ou permanentes, elles permettent le contrôle de la performance de la protection cathodique

Autres composantes (1)

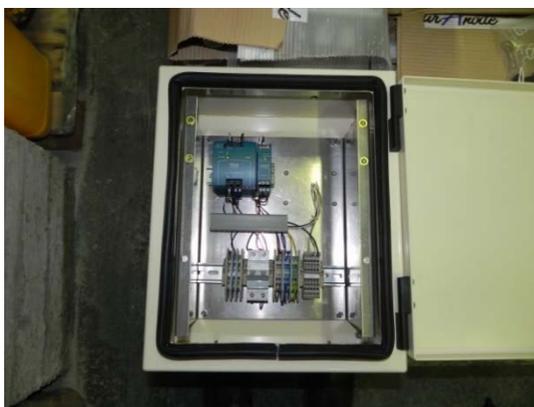
La conception d'un système PC intègre également la définition des composantes suivantes :

- Câbles et conducteurs
- Boîtiers de jonction
- Alimentations électriques
- Blocs transformateurs –redresseurs

Les choix sont arbitrés en fonction des données d'entrée, du calcul de dimensionnement, de la facilité de mise en place et d'utilisation , des contraintes techniques et économiques...

Les cas les plus complexes donnent lieu à la conception d'une architecture électrique de pilotage et de suivi de la protection cathodique.

Autres composants (2)



Conclusions

Le dimensionnement d'une protection cathodique est un processus intellectuel de conception pluridisciplinaires.

Il doit faire appel à des personnels qualifiés, certifiés

C'est un processus à performance.

Il intègre une stratégie de réparation béton qui elle-même doit être dimensionnée à façon. Les réflexions doivent être concertées.



Une stratégie de réparation globale où les choix sont arbitrés en fonction d'une analyse **bénéfices/risques**.

MERCI
POUR VOTRE ATTENTION