

Analyse des facteurs influençant la mesure du potentiel de corrosion

*M. Sabri, ing., M.Ing.
P. Lamothe, ing., M.Sc.A.
Groupe Qualitas inc, Montréal, Canada,
Avril 2013*

Résumé

La mesure du potentiel de corrosion est l'une des méthodes les plus utilisées pour la détection du risque de corrosion des armatures dans le béton, surtout en phase de diagnostic et de réparation des ouvrages en béton armé. Elle permet d'évaluer les risques de dépassivation des armatures, d'avoir une idée sur le degré de la corrosion des armatures, d'établir une cartographie des probabilités de corrosion et de localiser les zones à risque maximal. Cependant, elle peut conduire à des erreurs importantes, si les paramètres influençant les mesures ne sont pas bien contrôlés et pris en compte dans l'interprétation des résultats.

Dans le but d'analyser ces paramètres et d'expliquer les écarts de mesure lors de différentes expertises, un projet de recherche a été initié en 2011 par Groupe Qualitas. Ce projet inclut la fabrication de deux dalles extérieures sur laquelle des relevés sont faits dans diverses conditions (température, humidité, présence de sels de déglacage). Le projet est effectué également en laboratoire sur des échantillons confectionnés avec trois types de béton et exposés à différentes conditions (gel-dégel, température élevée, humidité).

À la suite de l'expérimentation qui demeure toujours active, certaines conclusions ont pu être apportées à jour concernant les paramètres affectant la mesure du relevé de potentiel. La considération de ces paramètres doit être comprise au moment d'analyser les résultats d'essais puisque des facteurs de correction devraient être appliqués aux résultats de chantier, notamment en fonction de l'humidité de la dalle. La mesure du potentiel de corrosion demeure une méthode d'évaluation qui doit être bien maîtrisée afin de ne pas fausser l'interprétation des résultats, d'autant plus si la méthode est utilisée de façon régulière pour le suivi de l'entretien des ouvrages.

1. Présentation du projet :

Dans le cadre des différents travaux d'expertise réalisés sur des structures en béton armé, des variations importantes de mesures du potentiel de corrosion ont été constatées d'une année à l'autre. Pour ce faire, un programme de recherche expérimental a été développé. Ce programme vise à évaluer l'influence de certains paramètres sur la mesure du potentiel de corrosion des barres d'acier d'armature dans le béton.

Les paramètres retenus dans le cadre de ce projet de recherche sont : la température, l'humidité, la concentration en ions chlorures, le rapport E/C et l'ajout de fumée de silice ainsi que l'enrobage des armatures. De manière à permettre d'analyser l'effet de ces différents paramètres, les résultats obtenus durant les mesures effectuées sont regroupés selon le type de béton ainsi que le milieu de conditionnement des éprouvettes.

2. Matériaux utilisés

2.1 : Béton

Trois types de béton avec différentes perméabilités ont été choisis volontairement afin de suivre la vitesse de corrosion et de pénétration des ions chlorures en fonction de la porosité et de la perméabilité du béton. Le premier mélange est un mélange avec un rapport E/L de 0,45 constitué de liant de type GUb-SF (8 % de fumée de silice). Le deuxième et le troisième mélange ont respectivement des rapports E/L de 0,50 et de 0,55 et sont constitués avec un ciment de type GU. Les proportions de ces trois mélanges sont présentées au tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques des mélanges de béton utilisés dans le projet

Mélange	Caractéristiques des formules de mélange					
	rapport E/L	Quantité et type de ciment kg/m ³	Quantité d'eau l/m ³	quantité et type d'adjuvant (ml/m ³)	Quantité de sable (0-5 mm) (kg/m ³)	Quantité de pierre concassée (5-20 mm) (kg/m ³)
1 fabriqué en usine	0,45	370 GUb-SF	170	65 AEA et 180 ARE	771	1025
2 préparé au labo	0,50	335 GU	168	117 AEA	710	1020
3 préparé au labo	0,55	300 GU	165	150 AEA	699	1065

2.2 : Acier d'armature

L'acier d'armature utilisé dans ce projet est de nuance 400R conforme à la norme CSA G30.18. Il a une limite d'élasticité moyenne de 400 MPa et un allongement à la rupture de 20 %. La composition chimique de cet acier est présentée au tableau 2.

Tableau 2 : Composition chimique de l'acier utilisée dans le projet.

Produit	C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Cr	Mo	N	Sn	C.E
%	0,25	0,84	0,016	0,018	0,2	0,4	0,11	0,19	0,03	0,01	0,013	0,47

2.3 : Essais sur le béton frais

Des essais sur béton frais ont été réalisés selon la norme CSA-A23.2 afin de vérifier les caractéristiques du béton et de valider les formules de mélange préparées. Les essais réalisés sont l'affaissement, la teneur en air et la température. Le tableau 3 présente les résultats obtenus pour chaque type de mélange.

Tableau 3 : Résultats des essais sur le béton frais

Mélange	Date du mélange	rapport E/L	Essais sur béton frais				
			Température du béton (°C)	Affaissement (mm)	Teneur en air (%)	Masse volumique (kg/m ³)	Température extérieure (°C)
1	2011-11-17	0,45	19	150	7,4	-	12
2	2011-11-08	0,50	21,5	100	4,5	2334	21
3	2011-11-07	0,55	19	150	8,9	2191	21

2.4 : Essais sur le béton durci

Des essais de résistance à la compression, de masse volumique, de détermination des caractéristiques du réseau de bulle d'air, de perméabilité aux ions chlorure et d'écaillage ont été réalisés sur les 3 types de béton préparés. Le tableau 4 présente un résumé des résultats obtenus.

Tableau 4 : Résultats des essais sur le béton durci

Essais réalisés	Mélange 1 E/C=0,45	Mélange 2 E/C=0,50	Mélange 3 E/C=0,55
Résistance à la compression à 28 jours (MPa), CSA A23.2-9C	35,1	37,9	20,8
Masse volumique (kg/m ³), ASTM C 642	2205	2209	2199
Teneur en air (%), ASTM C457	8,3	4,7	12,3
Facteur d'espacement (μm), ASTM C457	130	163	93
Perméabilité aux ions chlorures à 91 jours (coulombs), ASTM C1202	907	1627	2471
Perte à l'écaillage après 325 cycles de gel-dégel (kg/m ²), NQ 2621-900	0,06	0,15	0,20

3.Préparation des éprouvettes

3.1 Dalles de laboratoire

Au total, 9 dalles de 300 x 300 x 100 mm ont été préparées au laboratoire en utilisant trois différents mélanges de bétons, soit trois dalles par mélange. Au moulage de ces dalles, quatre barres d'armature de type 15M ont été placées sur des chaises afin d'obtenir un enrobage de 20 mm. Un thermocouple a été installé dans chaque éprouvette avant la mise en place du béton afin de prendre les mesures de la température du béton. Des fils de cuivre ont été également branchés aux lits d'armature pour se connecter lors de la prise des lectures du potentiel de corrosion. La configuration de ces dalles est présentée à la figure 1.

Le béton a été placé dans les moules en deux couches de 50 mm d'épaisseur et pilonné à l'aide d'un bourroir. Après la consolidation, la surface du béton a été finie à l'aide d'une

truelle en bois et recouverte d'une membrane de polyéthylène. Toutes les éprouvettes ont été placées dans une chambre humide à une température de 23 ± 2 °C.

Après 24 heures, les dalles ont été démoulées et murées dans la chambre humide (RH= 100% et T= 23 °C) jusqu'à l'âge de 14 jours. Ensuite, les dalles ont été placées à l'air ambiant au laboratoire jusqu'à l'âge de 28 jours (T=22 °C RH =50 ± 20 %). Un cadre a ensuite été installé à la surface de chaque dalle et une solution saline à 3 % de NaCl a été appliquée.



Figure 1 : Préparation des dalles de petites dimensions

Les dalles ont été placées par la suite dans différents environnements contrôlés. Une des dalles de chaque type de béton a été placée dans une chambre humide à une température de 23°C et une humidité relative de 100 %, une autre est placée dans une chambre à 38 °C et à 20 % d'humidité, alors qu'une autre dalle de chaque mélange est placée dans une chambre de gel et dégel dont les cycles sont appliqués (8 heures de gel et 16 heures de dégel) avec des températures variant de -18 à +25 °C et une humidité de l'ordre de 50%. Le tableau 5 présente la nature des échantillons préparés, leurs conditionnements, les essais réalisés et les paramètres analysés.

Tableau 5 : Essais effectués et paramètre analysés, dalles de petites dimensions

Numéro d'échantillon (E/C-type de liant- humidité- température)	Rapport E/L	Type de liant	Conditionnement		Essais réalisés			Paramètres d'influence analysés				
			Température .en °C	Humidité en %	Potentiel de corrosion	Teneur en ions chlorures	Écaillage	Humidité	Température	Rapport E/L	Teneur en ions chlorures	Fumés de silice
0,45-GUSF-H100-T23	0,45	GUb-SF	23±2	100	x	x		x		x	x	x
0,50-GU-H100-T24	0,50	GU			x	x		x		x	x	
0,55-GU-H100-T25	0,55				x	x		x		x	x	
0,45-GUSF-H20-T38	0,45	GUb-SF	38±2	20	x	x		x	x	x	x	x
0,50-GU-H20-T38	0,50	GU			x	x		x	x	x	x	
0,55-GU-H20-T38	0,55				x	x		x	x	x	x	
0,45-GUSF-H50-TGD*	0,45	GUb-SF	-18 à +25*	50	x	x	x	x	x	x	x	x
0,50-GU-H50-TGD*	0,50	GU			x	x	x	x	x	x	x	
0,55-GU-H50-TGD*	0,55				x	x	x	x	x	x	x	

* gel-dégel selon la norme NQ 2621-900, 8 heures de gel et 16 heures de dégel.

3.2 Dalles extérieures

Deux dalles de béton ont été confectionnées à l'extérieur du laboratoire dans des conditions d'humidité et de température non contrôlées. Dans la première dalle (6400 x 4200 x 200 mm), deux lits d'armature de 15M ont été placés dans les deux directions avec un espacement de 200 mm et un enrobage de 60 mm. Pour la seconde dalle (3600 x 500 x 200 mm), l'armature de type 15M a été placée à différents enrobages (20, 40 et 60 mm).



Figure 2 : Préparation des dalles extérieures

Des thermocouples et des sondes d'humidité ont été placés dans ces dalles afin de mesurer la température et l'humidité. Les mesures du potentiel de corrosion ont été prises sur les deux dalles dans différentes conditions de température et d'humidité et à différents âges du béton. Le tableau 6 présente les paramètres analysés pour chaque dalle.

Tableau 6 : Essais effectués et paramètre analysés, dalles de grandes dimensions

Numéro de dalle	Rapport E/C	Type de ciment	Essais réalisés	Paramètres d'influence analysés		
			Potentiel de corrosion	Humidité	Température	Enrobage des armatures
Dalle 1	0,45	GUb-SF	x	x	x	
Dalle 2			x	x	x	x

4. Suivi de la pénétration des ions chlorures

Des échantillons de poudre de béton ont été prélevés par perçage à 20 mm de profondeur dans les 9 dalles de petites dimensions afin de suivre la vitesse de pénétration des ions chlorures et de déterminer les profils de concentration en chlorures hydrosolubles en fonction du temps pour chaque type de béton et dans différents environnements agressifs. Des essais ont été réalisés selon la méthode RCT.

Les résultats obtenus pour chaque type de béton et pour chaque type de conditionnement sont résumés à la figure 3.

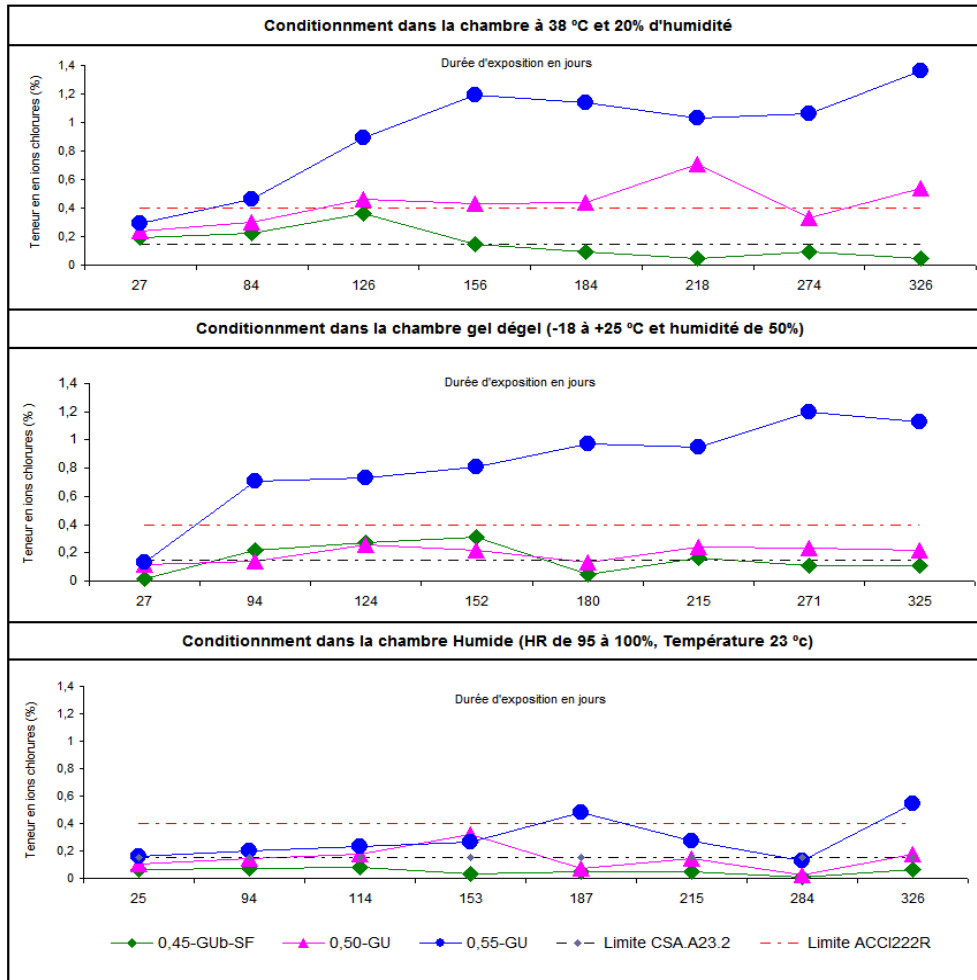


Figure 3 : Suivi des teneurs en ions chlorures à 20 mm de profondeur en fonction du temps

En examinant les résultats présentés à la figure 3, on constate que :

- La concentration en ions chlorures est plus élevée dans le béton avec un rapport E/L de 0,55 ayant une forte perméabilité aux ions chlorures comparativement aux autres bétons testés (0,50 et 0,45).
- Le béton avec un rapport E/L de 0,45 et un liant type GUb-SF (type GU + fumée de silice) présente des teneurs en ions chlorures légèrement plus faibles que le béton avec un rapport E/L de 0,50 et un liant de type GU dans les trois types de conditionnement.
- La concentration en ions chlorures à 20 mm de profondeur est plus importante dans les dalles conditionnées dans la chambre à 38 °C et la chambre de gel-dégel comparativement à celles placées dans la chambre humide.
- On constate que l'assèchement du béton favorise une plus grande pénétration des ions chlorures. Par contre, au niveau du béton saturé en continu, la pénétration des ions chlorures est moins importante.

5. Mesure du potentiel de corrosion

Les mesures du potentiel de corrosion sont effectuées selon la norme ASTM C876 qui définit des lignes générales servant à évaluer la corrosion de l'armature des ouvrages en béton. Il s'agit d'un potentiel mixte qui tient compte des zones dépassivées et des zones encore passivées. Si la dépassivation est prononcée et que les aciers sont en train de se corroder, leur potentiel est plutôt négatif.

Durant chaque mesure de potentiel de corrosion, les barres d'armature sont connectées à la borne positive du millivoltmètre, alors que l'électrode de référence a été connectée à la borne négative. Une fois le voltmètre bien connecté avec les armatures et l'électrode de référence, ce dernier est déplacé sur la surface du béton. Sur les dalles de laboratoire, 4 lectures ont été prises à 4 points numérotés de 1 à 4, alors qu'au niveau des dalles extérieures, un système de grille est utilisé afin de prendre les lectures aux mêmes endroits à chaque mesure du potentiel de corrosion.



Mesure du potentiel de corrosion sur la dalle extérieure 1.



Mesure du potentiel de corrosion sur les dalles de laboratoire

Figure 4 : Mesure du potentiel de corrosion

L'interprétation des mesures du potentiel est effectuée selon la classification du tableau 7 tiré de la norme ASTM C-876.

Tableau 7 : Classification de l'activité de la corrosion selon la valeur du potentiel, ASTM C-876

MESURE DU POTENTIEL	ACTIVITÉ DE CORROSION
0 à -200 mV	Activité de corrosion faible à nulle
-200 à -350 mV	Activité de corrosion initiée
-350 mV à -500 mV	Activité de corrosion avancée
< -500mV	Activité de corrosion très avancée

À titre indicatif, une activité de corrosion nulle à faible et initiée correspond à un état où la corrosion de l'acier d'armature est presque inexistante, tandis que pour une activité de corrosion avancée à très avancée, les phénomènes associés tels que la formation de rouille, peuvent être visibles et significatifs. Également, pour une activité avancée à très avancée, le béton peut montrer de la fissuration et du délaminage liés à la formation de rouille de même qu'à des concentrations en chlorures plus importantes.

Afin de vérifier le bon fonctionnement du dispositif de mesure de potentiel de corrosion, des mesures sont prises à chaque mois sur un bloc de référence (300 x 300 x 100 mm).

5.1 Suivi du relevé du potentiel de corrosion en fonction des types de béton

Les mesures de potentiel sont prises à un intervalle moyen d'un mois afin de suivre l'évolution du potentiel de corrosion pour chaque type de béton exposé à différents conditionnement, soit en chambre humide, une chambre à 38 °C et dans la chambre de gel et dégel.

La figure 5 présente l'évolution du potentiel de corrosion des barres d'armature pour les 9 dalles de laboratoire.

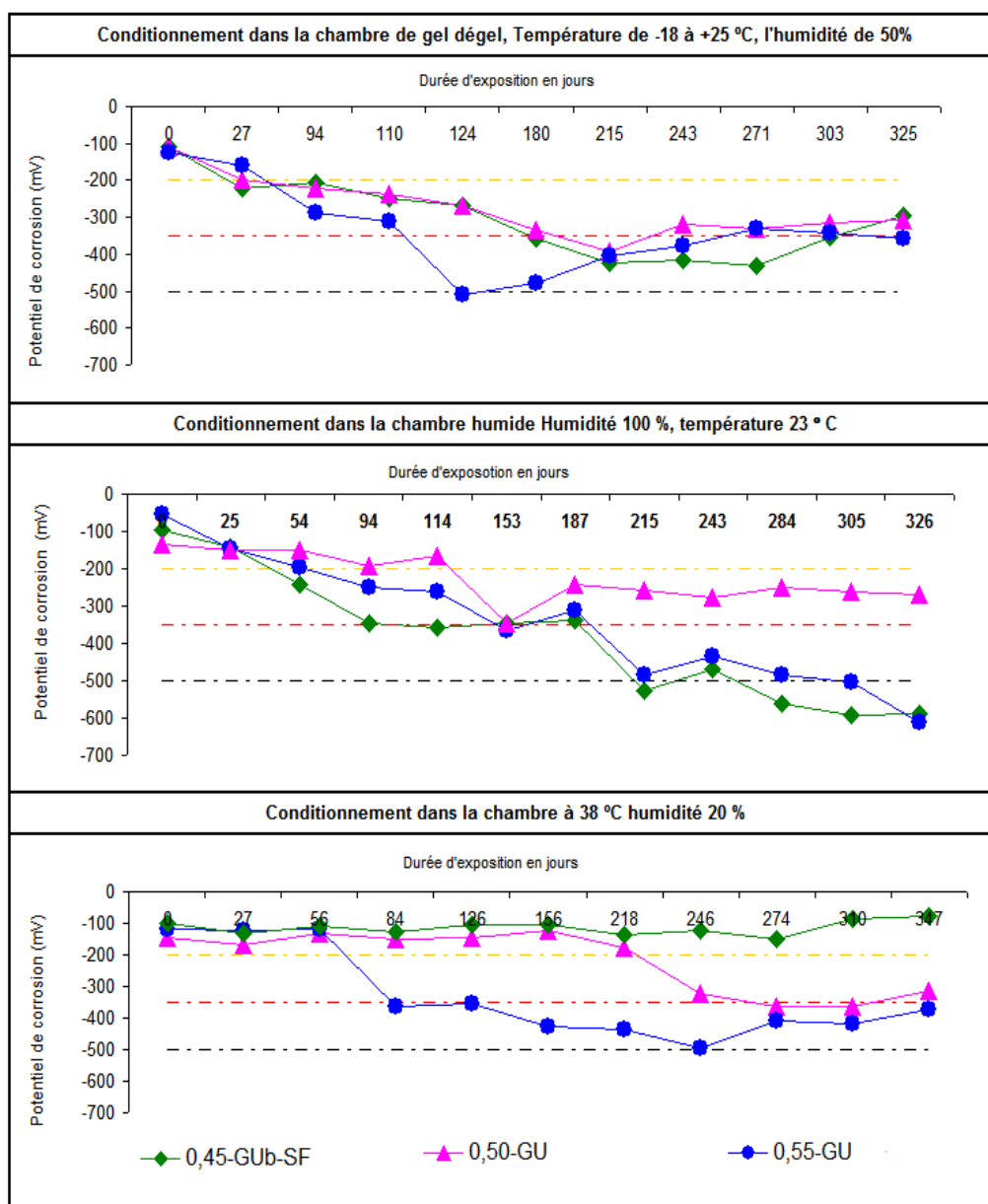


Figure 5 : Suivi des relevés du potentiel de corrosion sur les dalles de laboratoire

L'analyse de la figure 5 conduit aux commentaires suivants :

- Les dalles confectionnées à partir d'un béton avec un rapport E/L de 0,55 présentent une activité de corrosion avancée à très avancée après environ 84 jours d'exposition à la solution saline dans la chambre à 38 °C et après 120 jours dans chambre de gel-dégel. Ce degré d'activité est atteint après environ 190 jours d'exposition à la solution saline pour les dalles exposées à la chambre humide.
- Les dalles préparées à partir du béton ayant un rapport E/L de 0,50 présentent une activité de corrosion initiée à avancée après 250 jours d'exposition à la solution saline dans la chambre à 38 °C. Au niveau des dalles conditionnées dans la chambre humide et dans la chambre de gel-dégel, l'activité de corrosion est généralement stabilisée à l'état initié après environ 150 jours d'exposition.
- Au niveau des dalles confectionnées à partir d'un béton avec un rapport E/L de 0,45, l'activité de corrosion est très variable en fonction du milieu de conditionnement. Dans la dalle conditionnée à la chambre à 38 °C, l'activité de corrosion est nulle à faible après environ un an d'exposition à la solution saline. Au niveau de la dalle placée à la chambre humide, l'activité de corrosion est initiée après environ 40 jours d'exposition à la solution saline, avancée après 94 jours et très avancée après 215 jours. Pour la dalle soumise au gel et dégel, l'activité de corrosion est initiée après 27 cycles et avancée après environ 180 cycles de gel et dégel.

5.2 Mesure du potentiel de corrosion en fonction de l'humidité

Des mesures de potentiel de corrosion ont été prises à tous les mois sur les deux dalles de béton situées à l'extérieur. Au moment de la prise de mesures, la surface des dalles était soit humide (90 à 100 % d'humidité) ou partiellement sèche (55 à 66 % d'humidité).

La figure 7 présente certaines valeurs de potentiel de corrosion mesurées sur ces dalles pour les différentes conditions d'humidité et à différents âges de béton.

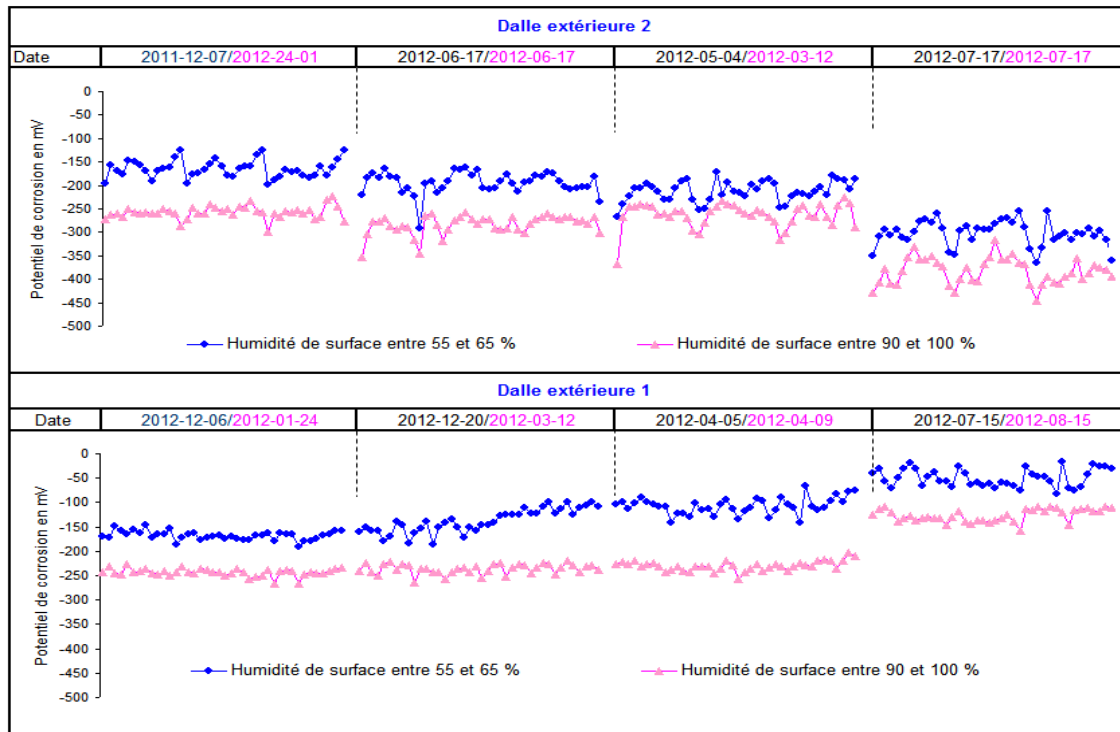


Figure 5 : Suivi du potentiel de corrosion dans les deux dalles installées à l'extérieur en fonction de l'humidité.

La figure 8 présente la distribution des écarts de potentiel de corrosion entre les mesures à l'état humide et à l'état partiellement sec.

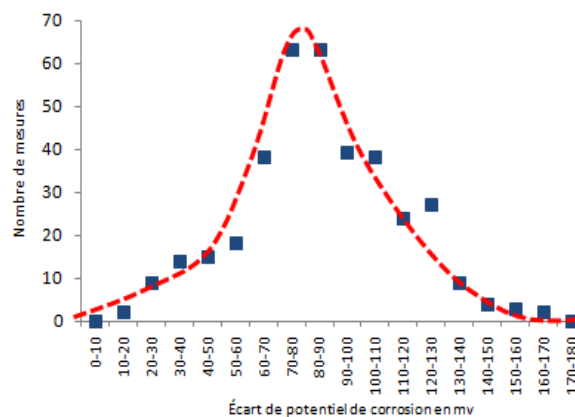


Figure 6 : Distributions des écarts de potentiel de corrosion entre les surfaces humides et sèche

Les figures 7 et 8 conduisent aux commentaires suivants :

- L'écart moyen du potentiel de corrosion entre les mesures dans les dalles humides en surface et partiellement sèche est de 85 mV.
- L'écart-type des écarts de potentiel de corrosion est de 27 mV pour les deux dalles.

- 65 % des écarts de potentiel de corrosion sont entre 60 et 110 mV, ce qui correspond à la moyenne \pm l'écart type.
- 95 % des écarts de potentiel de corrosion mesurés sont entre 30 et 140 mV, ce qui correspond à la moyenne \pm 2 écarts-types.
- 99 % des écarts de potentiel de corrosion mesurés sont entre 10 et 160 mV, ce qui correspond à environ la moyenne \pm 3 écarts-types.

À partir de ces commentaires, on peut dire que l'écart du potentiel de corrosion mesuré entre le béton à l'état partiellement sec et celle en condition humide suit une loi de distribution normale avec une moyenne de 85 mV et un écart-type de 27 mV.

5.3 Mesure du potentiel de corrosion en fonction de l'enrobage des armatures

La figure 9 présente l'évolution du potentiel de corrosion des barres d'acier d'armature de la grande dalle placée à la sortie du garage en fonction de l'épaisseur d'enrobage. Des mesures du potentiel de corrosion ont été prises à différentes dates et dans des conditions de température et d'humidité très variables.

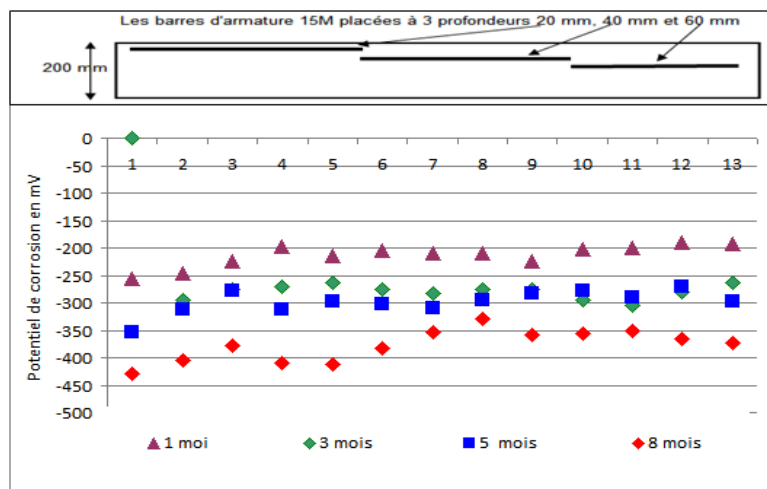


Figure 7 : Suivi dans le temps du potentiel de corrosion en fonction de l'épaisseur d'enrobage des armatures, dalle extérieure 2

La figure 9 conduit aux commentaires suivants :

- Le potentiel de corrosion est légèrement plus élevé dans la section de la dalle avec un enrobage de 20 mm comparativement aux sections avec un enrobage de 40 et 60 mm.
- Entre un enrobage de 60 mm et 20 mm, le potentiel de corrosion augmente de l'ordre de -25 mV en moyenne.

5.4 Mesure du potentiel de corrosion en fonction de la température

Des mesures de potentiel de corrosion sont prises sur une série de dalles conditionnées à différentes températures, et ce, afin de vérifier l'effet du changement de la température sur la mesure de potentiel de corrosion.

La figure 10 présente la variation de la mesure du potentiel de corrosion des barres d'acier d'armature en fonction de la température.

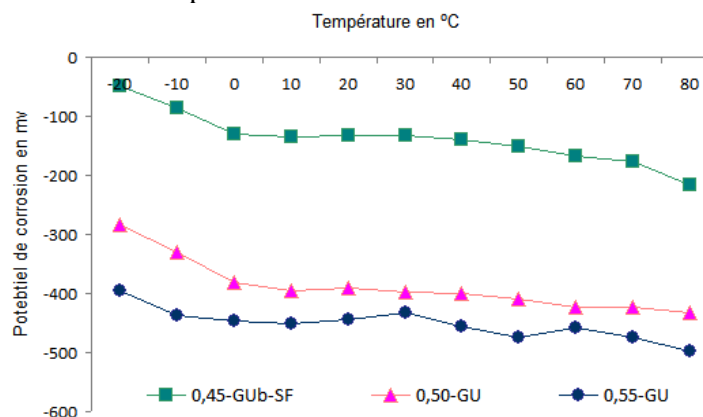


Figure 10 : Suivi de la mesure du potentiel de corrosion des barres d'armature en fonction de la température.

La figure 10 conduit aux commentaires suivants :

- La variation moyenne du potentiel de corrosion est de l'ordre de 80 mV entre -20 et 0 °C dans les trois types de béton.
- La stabilisation de la mesure de potentiel de corrosion entre 0 et 50 °C, les variations moyennes mesurées sont de l'ordre de 10 mV pour les trois types de béton, ce qui correspond à l'écart permis par la norme ASTM C876.
- À plus de 50 °C, la variation du potentiel de corrosion devient plus importante : elle est de l'ordre de 50 mV.

Le changement de l'état de l'activité de corrosion entre -20 et 80 °C pour les trois types de béton se résume comme suit :

- Dans le béton avec un rapport E/L de 0,45, l'activité de corrosion passe de faible à initiée.
- Dans le béton avec un rapport E/L de 0,50 l'activité de corrosion passe d'initée à avancée, alors qu'au niveau du béton avec un rapport E/L de 0,55, l'activité de corrosion passe d'avancé à très avancée.

5.5 Mesure du potentiel de corrosion en fonction de la présence du sel de déglçage

Des mesures du potentiel de corrosion sont prises sur les dalles placées à l'extérieur après leur humidification par l'eau potable et ensuite l'application du sel de déglçage en surface. Les résultats obtenus sont présentés à la figure 11.

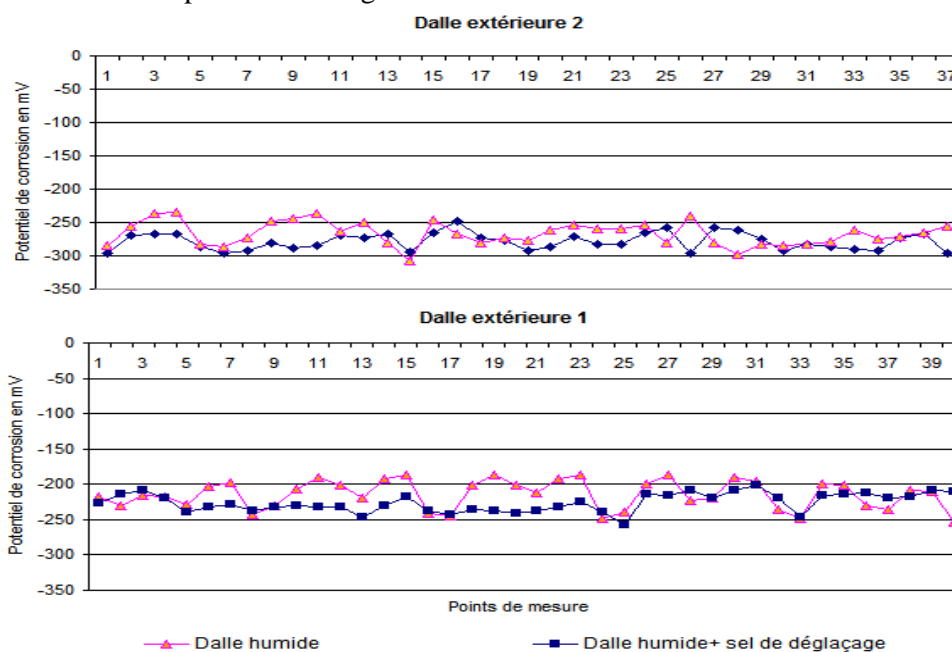


Figure 11 : Variation de la mesure du potentiel de corrosion en fonction de la présence du sel de déglçage

L'écart moyen entre les mesures de potentiel de corrosion prises sur des dalles humides et celles avec du sel de déglçage varie de 10 à 12 mV. Cet écart est conforme aux exigences de la norme ASTM 876 (écart de 10 mV au même endroit et avec la même sonde, et écart de 20 mV au même endroit avec une autre sonde).

6. Analyse des résultats

6.1 Analyses des facteurs influençant la pénétration des ions chlorures

La pénétration des ions chlorures est un phénomène très complexe : elle dépend à la fois de la nature du béton et de celle de l'environnement auquel il est exposé. Plusieurs recherches ont été effectuées afin de bien modéliser la pénétration des ions chlorures dans le béton en fonction du type de liant, du rapport E/L et des cycles mouillage-séchage. La présence des ions chlorures dans le béton armé a une influence sur la corrosion. Lorsque la concentration en ions chlorures augmente, la conductivité du béton augmente, favorisant le passage des ions chlorures vers l'armature, ce qui cause la dissolution du métal et le dépôt des produits de corrosion.

Dans ce projet, l'influence du rapport E/L, de fumée de silice et de l'humidité sur la vitesse de pénétration de ions chlorures dans le béton a été analysée. En examinant les résultats des mesures de teneurs en ions chlorures effectuées pour les 3 types de béton conditionnés dans différents environnements, on peut faire les conclusions suivantes :

- Dans les 3 types de conditionnement, on a constaté que la pénétration des ions chlorures est plus importante dans le béton avec un rapport E/L de 0,55 comparativement aux autres types de béton avec des rapport E/L de 0,45 et 0,50, ce qui confirme que le rapport E/L a une très grande influence sur la pénétration des ions chlorures dans le béton : plus il est élevé, plus la porosité est grande, plus la pénétration des éléments agressives est importante, favorisant ainsi la corrosion de l'acier.
- Les teneurs en ions chlorures mesurées dans le béton avec fumée de silice sont faibles comparativement à celles mesurées au niveau des bétons sans ajout cimentaire, ce qui confirme que la fumée de silice a une influence bénéfique puisqu'elle produit une très nette diminution de la perméabilité, du coefficient de diffusion et de la conductivité du béton.
- Les teneurs en ions chlorures mesurées dans les dalles conditionnées dans la chambre humide à 100 % d'humidité sont plus faibles comparativement avec celles mesurées dans les dalles conditionnées à une humidité de 20 % (chambre à 38°C) et à une humidité de 50 % (chambre gel-dégel). Ceci peut s'expliquer par le fait que la saturation des pores capillaires et des vides dans le béton par l'eau ralentit la pénétration des ions chlorures en profondeur. Par contre, dans la chambre à 38 °C et dans le cabinet de gel-dégel, le béton est partiellement sec, ce qui favorise la pénétration de la solution saline dans le béton. D'ailleurs, la recherche menée par K. Hong et R.D. Hooton en 1999 a confirmé que les cycles de séchage-mouillage accélèrent la pénétration des ions chlorures.

6.2 Analyses des facteurs influençant la mesure du potentiel de corrosion

Quatre facteurs influençant la mesure du potentiel de corrosion sont analysés dans ce projet. Le premier est l'humidité, le deuxième est la température du béton et le troisième est l'épaisseur d'enrobage, alors que le quatrième est la présence du sel de déglçage. L'analyse des données prises dans ce projet conduisent aux commentaires suivants :

- En ce qui concerne l'effet de l'humidité, plus le béton d'enrobage est humide plus le potentiel de corrosion est négatif avec un écart de l'ordre de - 85 mV entre un béton humide (90 à 100 %) et partiellement sec (55 à 65%) en surface.
- En ce qui a trait à l'effet de la température, on constate une stabilisation de la mesure de potentiel de corrosion entre 0 et +50 °C. Les variations moyennes mesurées sont de l'ordre de 10 mV pour les trois types de béton. Toutefois, les écarts entre les mesures de potentiel sont plus importants sous 0 °C (80 mV) et au-delà de 50 °C (50 mV).
- La mesure du potentiel de corrosion est plus élevée dans le cas d'un faible enrobage d'acier, et ce, quel que soit l'état de corrosion des barre d'acier d'armature.
- La présence du sel de déglçage en surface du béton à un effet négligeable sur la mesure du potentiel de corrosion.

Conclusion

Ce projet a été réalisé au laboratoire du Groupe Qualitas dans le but d'établir l'effet de certains paramètres sur la vitesse de pénétration des ions chlorures et la mesure du potentiel de corrosion. À la suite de l'analyse et de l'interprétation des résultats, on peut confirmer les conclusions suivantes :

- Un rapport E/C élevé du béton favorise la pénétration des ions chlorures et la vitesse de corrosion dans le béton armé, comparativement au béton avec des rapports E/C plus faibles.
- L'ajout de fumée de silice réduit la porosité du béton et la perméabilité aux ions chlorures et, par conséquent, limite la vitesse de corrosion des barres d'armature.
- La pénétration des ions chlorures est plus faible dans un béton très humide ou saturé comparativement à un béton partiellement sec ou non saturé.

Cette étude permet également de faire les conclusions suivantes :

- Les mesures de potentiel de corrosion sur le béton humide sont plus élevées par rapport à celles prises sur le béton partiellement humide.
- La mesure de potentiel est généralement stable entre 0 °C et 50 °C et plus variable à l'extérieur de cet intervalle.
- Plus l'épaisseur d'enrobage des barres d'acier d'armature est faible, plus le potentiel de corrosion est élevé.
- La présence du sel de déglçage en surface du béton à un effet négligeable sur la mesure du potentiel de corrosion.

Enfin, à la suite de ces conclusions, on recommande :

- De relever de la température et de l'humidité du béton avant la prise des mesures du potentiel de corrosion afin que ces paramètres soient connus lors de reprise de mesures ultérieurement.
- D'humidifier le béton avant la prise des mesures de potentiel de corrosion, et ce, dans la perspective d'avoir des mesures cohérentes dans le temps. Toutefois, la possibilité d'humidification du béton n'est pas toujours possible à cause des conditions du site et des contraintes techniques et réglementaires. Dans ce cas, on suggère d'appliquer un facteur de correction sur un béton partiellement sec afin de considérer l'effet de l'humidité sur la mesure de potentiel de corrosion. L'écart moyen de - 85 mV mesuré dans ce projet peut être ajouté aux mesures prises sur un béton partiellement sec.
- D'effectuer les mesures du potentiel de corrosion à des températures comprise entre 0 et 50 °C. Or, dans les cas où ces mesures sont prises à l'extérieur de cet intervalle, l'effet de température doit être pris en considération lors de l'interprétation des résultats.

- De prélever des carottes dans les différentes zones du potentiel de corrosion afin de caractériser le béton d'enrobage, de mesurer la perméabilité aux ions chlorures et d'effectuer les essais de teneur en ions chlorures hydrosolubles.

Référence bibliographique :

S. Diamond, 1986, The microstructure of cement paste in concrete, le 8ème congrès international de la chimie du ciment, Rio de Janeiro, Brésil.

Michel Pigeon, 1992, Composition et hydratation du ciment portland, Université de Laval

P. Faucon, J.M. Delaye, J. Virlet, J.F. Jacquinet et F. Adenot, 1997, Study of the structural properties of C- S- H by molecular dynamics simulation, Cement and concrete research, vol. 27.

A.Zduneka., E. Landis et S. Shah, 1998, Application of Acoustic Emission Technique to Detection of Reinforcing Steel Corrosion in Concrete, ACI MATERIALS JOURNAL , janvier.

F. Barberon, V. Baroghel-Bouny, H. Zanni, B. Bresson, J-B. D.Espinose de la Caillerie, L. Malosse et G. Zehong, 2005, Interactions between chloride and cement-paste materials., Magnetic resonance Imaging, vol. 23.

P. Lambert, C.L. Page et N.R. Short, 1985, Pore solution chemistry of the hydrated system tricalcium/sodium chloride/water., Cement and Concrete Research, vol. 15, p. 675-687.

V.S. Ramachandran, R.C. Seeley et G.M. Polomark, 1984, Free and combined chloride in hydrating cement and cement compounds, Materials and Structures, vol. 19, p. 285-289.

R. Duval, 1992, La durabilité des armatures et du béton d'enrobage, la durabilité des bétons, presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France.

Rasheeduzzafar, S. Ehtesham-Hussain et S.S. Al-Saadoun, 1991, Effect of cement composition on chloride binding and corrosion of reinforcing steel in concrete, Cement and Concrete Research, vol. 21, no. 5, p. 777-794.

P. Gu et J.J. Beaudoin, 1998, Pour bien mesurer la corrosion des armatures du béton à l'aide de relevé de potentiel par demis-piles, CNRC, Canada.

N. kadoum et M. Hassaim, 2002, Relevé de potentiel : outil d'aide à l'entretien des structures, 4^e conférence spécialisée en génie des structures de la société canadienne de génie civil, juin 2002, Montréal