

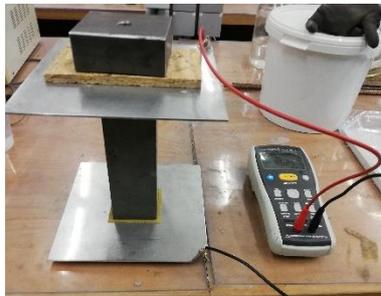


**SANACON**

FOR HEALTHY CONCRETE STRUCTURES

## MORTIERS DE RÉPARATION GROUTTECH

### RAPPORT D'ESSAI DE RÉSISTIVITÉ



#### DATE DU RAPPORT

7/4/2023

#### PROJET

SC22205

#### LIEU

SANACON  
Nijverheidsweg 1/A  
B-9820 Merelbeke

#### POUR LE COMPTE DE

Grouttech  
Postbus 57, NL-8070 AD Nunspeet  
Industrieweg 51, NL-8071 CS Nunspeet

#### À LA DEMANDE DE

M. Gerard van Leeuwen (Grouttech)  
M. Geert Van Lokeren (Grouttech)

#### RÉDIGÉ PAR

SANACON sa

UGent Spin-off  
LABORATOIRE MAGNEL-VANDEPITTE  
pour GÉNIE CIVIL ET MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION



## TABLE DES MATIÈRES

<b>1. Introduction</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Échantillons</b> .....	<b>4</b>
2.1. Fabrication des échantillons .....	4
2.2. Conditions de conservation .....	4
<b>3. Résistivité électrique</b> .....	<b>5</b>
3.1. Méthodes de mesure.....	5
3.2. Moments de mesure.....	7
<b>4. Résultats</b> .....	<b>8</b>
<b>5. Conclusion</b> .....	<b>12</b>

## 1. INTRODUCTION

À la demande de Grouttech, représenté par M. Gerard van Leeuwen et M. Geert Van Lokeren, la résistivité électrique de 5 mortiers a été testée par SANACON : La dénomination, le type et les caractéristiques des mortiers sont indiqués dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Mortiers.

Mortier	Type	Caractéristiques
RM ProRep R4	Mortier de réparation du béton	mono composant, modifié au polymères et armé de fibres
NSM MultiRep	Mortier de réparation du béton	mono composant, modifié au polymères et armé de fibres
TricoNomic Special	Mortier de coulage	mono composant, modifié au polymères et autonivelant
ConCrete 80 FL	Béton de coulage	Mortier à béton constructif autonivelant et pompable

Pour chaque mortier, 2 sacs de 25 kg ont été livrés à SANACON afin de réaliser des échantillons en vue de tester la résistivité.

La résistivité (résistance électrique) des mortiers de réparation a été testée par SANACON sur les échantillons de mortier fabriqués dans le respect des méthodes et consignes décrites dans :

- ⊗ RILEM TC 154-EMC : « Test methods for on-site measurements of resistivity of concrete » (Méthodes de test pour les mesures sur place de la résistivité du béton) ;
- ⊗ Recommandation CUR 45 – Protection cathodique des armatures dans les constructions en béton.
- ⊗ Van Belleghem, B., Maes, M., Soetens, T. (2023). Resistivity of Repair Materials for Concrete Repair Prior to the Application of a Cathodic Protection System. (Résistivité des matériaux de réparation du béton avant l'application d'un système de protection cathodique) Dans : Débats de la 75e Semaine annuelle RILEM 2021. RILEM Bookseries, vol 40. Springer, pp 846–855.

## 2. ÉCHANTILLONS

### 2.1. Fabrication des échantillons

Pour chaque mortier, les échantillons suivants ont été fabriqués :

- ⊗ 9 x prisme aux dimensions 200 mm x 60 mm x 60 mm ;
- ⊗ 9 x prisme aux dimensions 100 mm x 100 mm x 50 mm, avec deux baguettes en acier inoxydable encastrées, selon les directives de la norme Recommandation CUR 45.

Les échantillons de mortier ont été fabriqués par SANACON, en présence de M. Geert Van Lokeren (Grouttech), aux dates suivantes :

- ⊗ 18/10/2022 (RM ProRep R4 et NSM MultiRep)
- ⊗ 25/10/2022 (TricoNomic Special et ConCrete 80 FL)

Tous les échantillons ont été fabriqués à partir d'un seul et même mélange, selon les indications de la fiche technique des produits. La quantité d'eau de préparation utilisée par mortier est indiquée dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Quantité d'eau de préparation.

Mortier	Quantité d'eau de préparation
RM ProRep R4	3,5 l / 25 kg
NSM MultiRep	4,0 l / 25 kg
TricoNomic Special	2,5 l / 25 kg
ConCrete 80 FL	2,4 l / 25 kg

Les échantillons ont été conservés pendant 24 heures dans les moules, à une température de 20 °C et une humidité relative (HR) d'au moins 95 %, avant d'être démoulés.

### 2.2. Conditions de conservation

La résistivité des mortiers de réparation a été testée dans 3 conditions de conservation différentes :

- ⊗ 20 °C et 60 % HR (chambre climatique) ;
- ⊗ 20 °C et 80 % HR (chambre climatique) ;
- ⊗ 20 °C et 100 % HR (conservation sous l'eau).

Pour chaque mortier, 3 prismes de chaque type d'échantillon ont été conservés et testés dans chacune des conditions de conservation susmentionnées.

### 3. RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE

#### 3.1. Méthodes de mesure

La résistivité (résistance électrique) a été mesurée selon trois méthodes différentes :

- ⊗ Méthode à quatre électrodes (MQE), à l'aide d'une « Wenner Probe » ;
- ⊗ Méthode à deux électrodes (MDE) ;
- ⊗ Méthode à électrodes encastrées (MEE), selon les directives de la Recommandation CUR 45.

##### 3.1.1. Méthode à quatre électrodes (MQE)

La résistivité de surface a été mesurée selon la méthode à quatre électrodes sur les prismes de mortier mesurant 200 mm x 60 mm x 60 mm, à l'aide d'une « Wenner Probe ». Les quatre électrodes (disposées en ligne et espacées d'une distance fixe) sont placées sur l'échantillon de mortier, dans le sens de la longueur (voir Figure 1). Par le biais de l'appareil de mesure, un courant est induit entre les deux électrodes des extrémités et la différence de potentiel est mesurée entre les deux électrodes situées plus à l'intérieur. La résistance électrique (R) est déterminée à partir de la différence de potentiel mesurée avec le courant induit, avant d'être convertie en une résistivité ( $\rho_{MQE}$ ) à l'aide de la formule suivante :

$$\rho_{MQE} = 2\pi \cdot a \cdot R$$

Où R = résistance électrique ( $\Omega$ ) et a = distance entre les électrodes d'extrémité (cm).

La conversion de la résistance électrique en résistivité est automatique, de sorte que la résistivité peut être lue directement sur l'appareil de mesure.

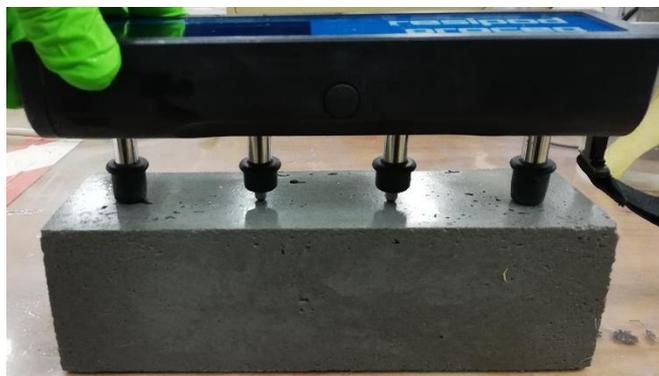


Figure 1 – Mesure de la résistivité de surface selon la méthode à quatre électrodes (Wenner Probe).

Il convient de noter ici que la formule de conversion de la résistance en résistivité s'appuie en principe sur une mesure réalisée dans un milieu « semi-infini ». Par conséquent, cette méthode résulte en une **surestimation importante** de la résistivité en cas de mesures sur des échantillons aux dimensions relativement petites (ce qui est le cas des échantillons de la procédure de test détaillée ici).

La résistivité mesurée à l'aide de la **méthode à quatre électrodes** est donc une **résistivité « apparente »** qui correspond à une surestimation de la résistivité réelle du mortier. Une **surestimation de la résistivité réelle a été obtenue selon un facteur 4 à 5**, à l'aide de la méthode à quatre électrodes, spécifiquement pour la géométrie des échantillons de mortier étudiés dans l'examen actuel (200 mm x 60 mm x 60 mm).

### 3.1.2. Méthode à deux électrodes (MDE)

La détermination de la résistivité (volumique) via la méthode à deux électrodes (MDE) a également été effectuée sur les prismes de mortier mesurant 200 mm x 60 mm x 60 mm.

En ce qui concerne les échantillons qui avaient été conservés sous l'eau (conditions 20 °C et HR = 100 %), ils ont été placés entre deux électrodes en acier inoxydable dans le sens de la longueur, la surface de contact entre les électrodes et l'échantillon étant optimisée à l'aide d'une éponge humide (voir Figure 2, à gauche).

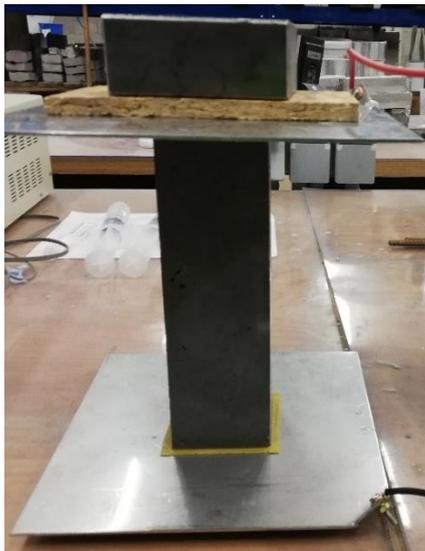
Les échantillons qui avaient été conservés dans les chambres climatiques à des humidités relatives de 60 % et 80 % ont été dotés de deux électrodes posées de part et d'autre des côtés mesurant 60 mm x 60 mm à l'aide d'une couche adhésive (gel) (voir Figure 2, à droite).

Pour tous les échantillons, la résistance électrique (R) a été mesurée entre les deux électrodes, à l'aide d'un RLC mètre.

La résistivité ( $\rho_{MDE}$ ) est calculée à partir de la résistance mesurée (R) à l'aide de la formule suivante :

$$\rho_{MDE} = R \cdot \frac{A}{L}$$

Où R = résistance électrique ( $\Omega$ ), A = coupe transversale de l'échantillon ( $\text{cm}^2$ ) et L = longueur de l'échantillon (cm).



**Figure 2 – Mesure de la résistivité (volumique) selon la méthode à deux électrodes (MDE) pour les échantillons à 20 °C et 100 % d'HR (à gauche) et les échantillons à 20 °C et 60 % ou 80 % d'HR (à droite).**

### 3.1.3. Méthode à électrodes encastrées (MEE)

La détermination de la résistivité volumique via la méthode à électrodes encastrées, telle que décrite dans la Recommandation CUR 45, a été effectuée sur les prismes de mortier mesurant 100 mm x 100 mm x 50 mm (avec baguettes inox encastrées). La résistance électrique a été mesurée entre les deux baguettes encastrées, à l'aide d'un RLC mètre (voir Figure 3).



Figure 3 – Mesure de la résistivité (volumique) selon la méthode à électrodes encastrées (MIE).

La résistivité ( $\rho_{MEE}$ ) est calculée en multipliant la résistance mesurée (R) par une constante de cellule (C) spécifique à la géométrie du prisme de mortier et aux électrodes encastrées :

$$\rho_{MEE} = R \cdot C$$

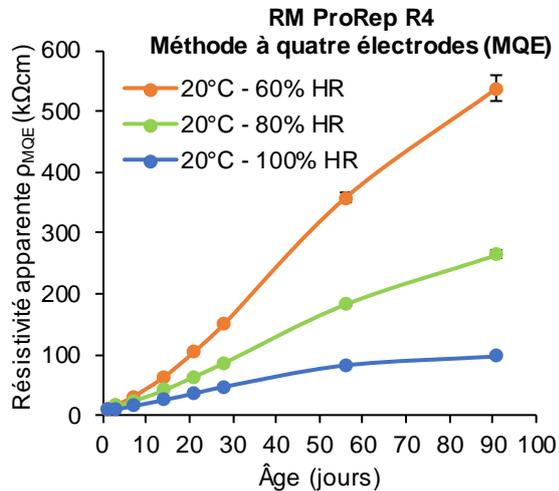
### 3.2. Moments de mesure

Toutes les mesures de résistivité ont été prises à 8 moments de mesure différents, à un âge des échantillons de :

- ⊙ 1 jour, 3 jours, 7 jours, 14 jours, 21 jours, 28 jours, 56 jours et 91 jours.

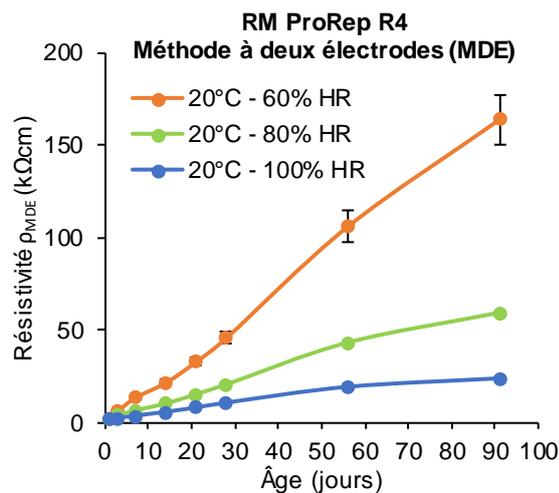
#### 4. RÉSULTATS

La résistivité moyenne des mortiers testés en fonction de l'âge dans des conditions différentes (HR 60 %, 80 % et 100 %) est indiquée pour chaque méthode de mesure de la Figure 4 à la Figure 7. Les résultats sont représentés sous forme graphique et dans un tableau (Moy. et E-T).



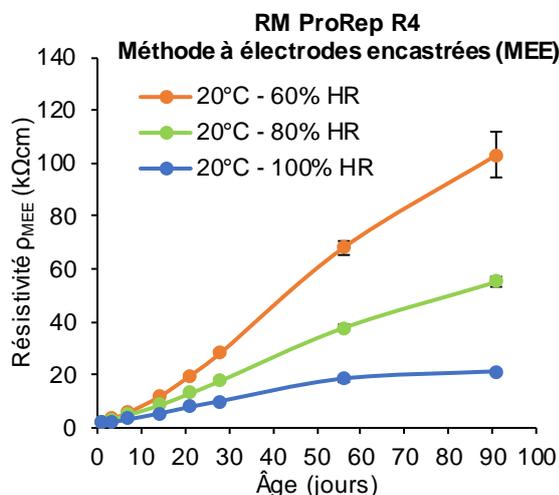
**RM ProRep R4 – Méthode à quatre électrodes (MQE)**

Âge (jours)	Résistivité apparente (kΩcm)					
	20°C - 60% HR		20°C - 80% HR		20°C - 100% HR	
	Moy.	E-T	Moy.	E-T	Moy.	E-T
1	9,9	0,3	9,5	0,1	9,8	0,1
3	17,6	0,3	15,8	0,2	10,1	0,1
7	31,2	0,5	23,7	0,3	15,5	0,1
14	62,8	1,9	41,2	0,5	25,5	0,3
21	104,2	2,1	63,7	0,6	36,3	0,4
28	150,5	4,4	86,3	1,1	47,6	0,8
56	358,2	9,2	183,1	3,7	83,4	1,7
91	538,8	22,5	264,9	6,8	98,3	3,0



**RM ProRep R4 – Méthode à deux électrodes (MDE)**

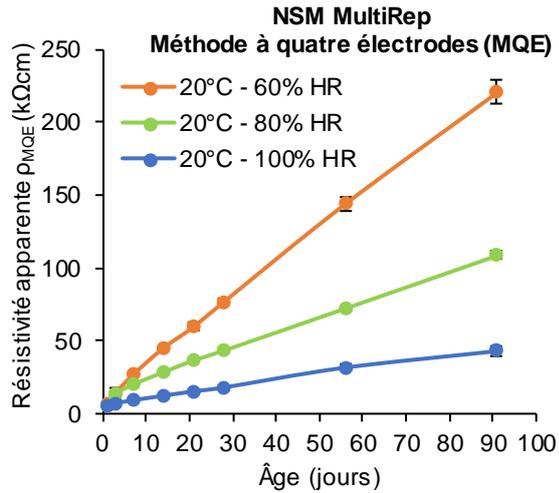
Âge (jours)	Résistivité (kΩcm)					
	20°C - 60% HR		20°C - 80% HR		20°C - 100% HR	
	Moy.	E-T	Moy.	E-T	Moy.	E-T
1	2,2	0,1	2,3	0,1	2,4	0,1
3	6,5	0,5	3,8	0,0	2,3	0,1
7	13,5	0,9	6,5	0,1	3,5	0,1
14	21,5	1,4	10,2	0,2	5,6	0,1
21	32,9	2,1	15,2	0,2	7,9	0,2
28	45,8	3,2	20,5	0,2	10,5	0,6
56	106,0	8,6	43,0	0,5	19,1	0,7
91	163,8	13,2	59,0	1,5	23,7	0,2



**RM ProRep R4 – Méthode à électrodes encastrées (MEE)**

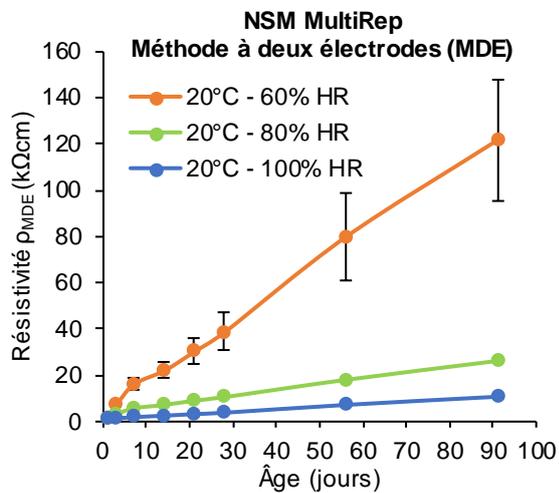
Âge (jours)	Résistivité (kΩcm)					
	20°C - 60% HR		20°C - 80% HR		20°C - 100% HR	
	Moy.	E-T	Moy.	E-T	Moy.	E-T
1	1,9	0,0	2,0	0,1	1,9	0,0
3	3,3	0,1	3,2	0,1	2,1	0,1
7	5,9	0,1	4,9	0,1	3,2	0,1
14	11,8	0,3	8,6	0,2	5,4	0,2
21	19,7	0,5	13,1	0,3	7,8	0,3
28	28,4	0,8	17,8	0,5	10,0	0,4
56	68,1	2,5	37,8	1,1	18,3	0,8
91	103,2	8,5	55,2	1,6	21,0	0,5

Figure 4 – Mesures de résistivité RM ProRep R4.



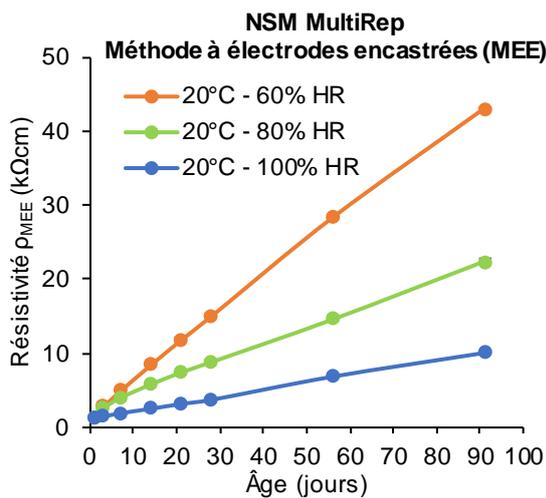
**NSM MultiRep – Méthode à quatre électrodes (MQE)**

Âge (jours)	Résistivité apparente (kΩcm)					
	20°C - 60%HR		20°C - 80%HR		20°C - 100%HR	
	Moy.	E-T	Moy.	E-T	Moy.	E-T
1	6,4	0,2	6,1	0,1	6,2	0,2
3	14,2	4,0	13,5	0,1	7,2	0,1
7	26,7	0,8	19,9	0,2	9,3	0,1
14	45,1	1,6	28,5	0,4	12,4	0,1
21	59,9	2,5	36,6	0,3	15,5	0,1
28	77,1	1,9	43,5	0,4	18,1	0,2
56	144,4	4,5	72,5	1,2	31,9	0,2
91	221,1	8,3	109,1	2,2	43,3	1,2



**NSM MultiRep – Méthode à deux électrodes (MDE)**

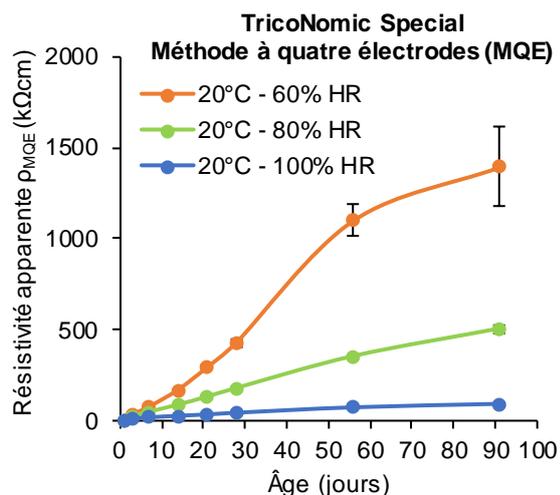
Âge (jours)	Résistivité (kΩcm)					
	20°C - 60%HR		20°C - 80%HR		20°C - 100%HR	
	Moy.	E-T	Moy.	E-T	Moy.	E-T
1	1,5	0,0	1,4	0,1	1,5	0,0
3	7,7	0,4	3,5	0,0	1,6	0,0
7	16,4	2,4	5,9	0,1	2,1	0,0
14	22,2	3,2	7,4	0,0	2,7	0,0
21	30,5	5,6	9,2	0,1	3,4	0,0
28	38,9	7,8	10,7	0,1	4,0	0,0
56	80,0	18,8	18,1	0,2	7,4	0,1
91	121,7	26,2	26,3	0,8	10,9	0,1



**NSM MultiRep – Méthode à électrodes encastrées (MEE)**

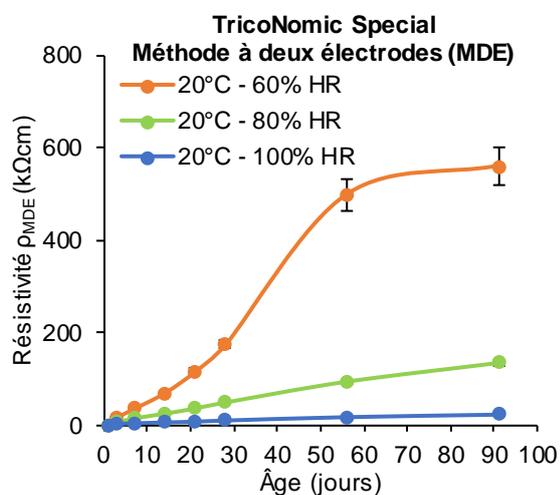
Âge (jours)	Résistivité (kΩcm)					
	20°C - 60%HR		20°C - 80%HR		20°C - 100%HR	
	Moy.	E-T	Moy.	E-T	Moy.	E-T
1	1,3	0,0	1,2	0,1	1,2	0,1
3	2,9	0,0	2,7	0,0	1,5	0,0
7	5,0	0,0	4,0	0,0	1,9	0,0
14	8,5	0,1	5,8	0,1	2,5	0,0
21	11,9	0,1	7,5	0,1	3,2	0,1
28	15,1	0,1	8,8	0,1	3,7	0,1
56	28,4	0,2	14,6	0,2	6,9	0,1
91	43,0	0,3	22,4	0,3	10,1	0,1

Figure 5 – Mesures de résistivité NSM MultiRep.



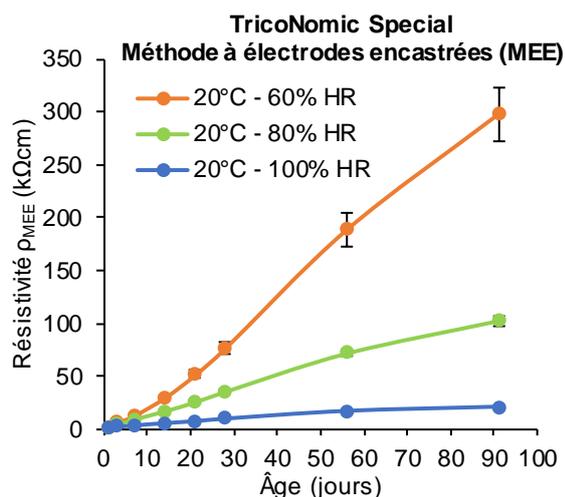
**TricoNomic Spec. – Méthode à quatre électrodes (MQE)**

Âge (jours)	Résistivité apparente (kΩcm)					
	20°C - 60%HR		20°C - 80%HR		20°C - 100%HR	
	Moy.	E-T	Moy.	E-T	Moy.	E-T
1	4,0	0,1	4,1	0,1	4,1	0,2
3	32,7	1,6	22,5	0,5	11,5	0,4
7	74,8	3,4	47,7	1,2	17,5	0,5
14	168,9	8,9	87,0	1,7	25,9	0,9
21	293,3	8,4	131,5	2,2	33,4	1,3
28	429,9	22,6	179,0	2,6	42,8	1,5
56	1101,6	90,8	354,5	10,8	72,8	2,6
91	1395,4	217,1	505,8	20,0	92,0	3,5



**TricoNomic Spec. – Méthode à deux électrodes (MDE)**

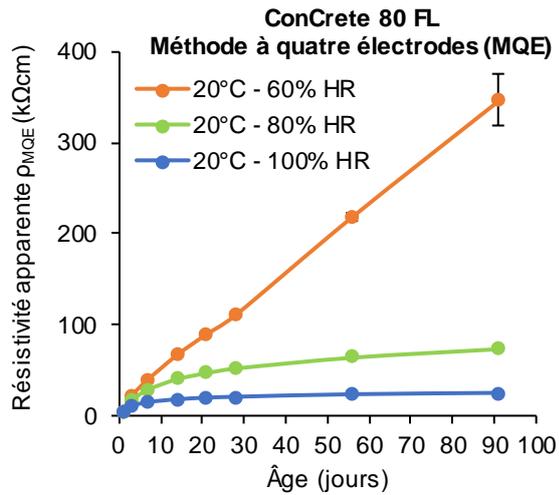
Âge (jours)	Résistivité (kΩcm)					
	20°C - 60%HR		20°C - 80%HR		20°C - 100%HR	
	Moy.	E-T	Moy.	E-T	Moy.	E-T
1	0,9	0,0	0,9	0,0	0,9	0,0
3	16,8	0,3	6,1	0,4	2,5	0,0
7	35,7	2,0	14,8	0,8	3,8	0,1
14	69,5	4,5	24,9	1,4	5,6	0,1
21	115,9	5,8	36,3	2,1	7,4	0,2
28	174,7	9,7	49,3	2,9	9,8	0,3
56	498,6	35,1	94,4	4,6	17,2	0,3
91	559,8	42,2	135,1	7,4	22,6	0,1



**TricoNomic Spec. – Méthode à électrodes encastrées**

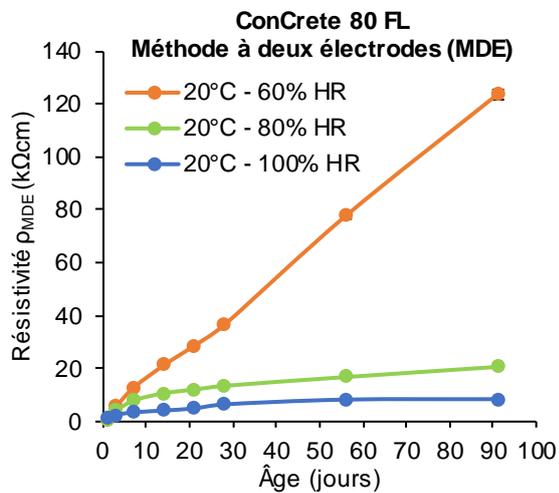
Âge (jours)	Résistivité (kΩcm)					
	20°C - 60%HR		20°C - 80%HR		20°C - 100%HR	
	Moy.	E-T	Moy.	E-T	Moy.	E-T
1	1,0	0,0	1,0	0,1	1,1	0,0
3	6,1	0,3	4,7	0,2	2,5	0,0
7	13,2	0,7	9,6	0,3	3,9	0,0
14	30,0	1,9	17,4	0,6	6,0	0,0
21	51,6	3,6	25,9	1,0	7,8	0,0
28	77,0	5,6	35,8	1,3	10,1	0,0
56	189,0	16,4	72,1	2,6	17,1	0,1
91	298,0	25,9	102,7	4,5	20,9	0,2

Figure 6 – Mesures de résistivité TricoNomic Special.



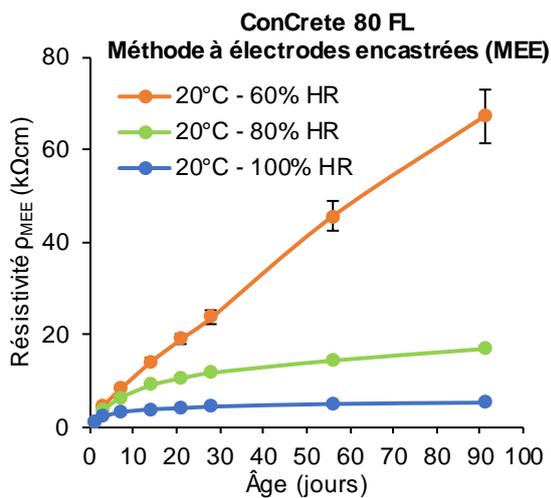
**ConCrete 80 FL – Méthode à quatre électrodes (MQE)**

Âge (jours)	Résistivité apparente (kΩcm)					
	20°C - 60% HR		20°C - 80% HR		20°C - 100% HR	
	Moy.	E-T	Moy.	E-T	Moy.	E-T
1	3,9	0,1	4,1	0,1	4,1	0,1
3	21,3	0,4	16,7	0,4	10,7	0,2
7	39,9	1,0	29,3	0,7	15,1	0,3
14	67,1	1,5	41,0	1,1	18,0	0,4
21	89,8	1,7	47,7	1,0	19,7	0,4
28	110,9	2,5	52,9	1,4	20,7	0,5
56	219,1	4,4	64,9	1,9	23,3	0,5
91	346,7	28,6	74,4	2,4	24,7	0,8



**ConCrete 80 FL – Méthode à deux électrodes (MDE)**

Âge (jours)	Résistivité (kΩcm)					
	20°C - 60% HR		20°C - 80% HR		20°C - 100% HR	
	Moy.	E-T	Moy.	E-T	Moy.	E-T
1	0,9	0,1	0,9	0,0	0,9	0,0
3	5,9	0,0	4,1	0,1	2,4	0,0
7	12,9	0,2	8,0	0,3	3,3	0,0
14	21,4	0,2	10,7	0,3	4,0	0,1
21	28,7	0,3	12,1	0,4	4,8	0,2
28	36,7	0,2	13,5	0,4	6,3	0,2
56	77,9	1,1	16,8	0,5	8,1	0,2
91	123,8	1,8	20,7	0,5	8,3	0,4



**ConCrete 80 FL – Méthode à électrodes encastrées**

Âge (jours)	Résistivité (kΩcm)					
	20°C - 60% HR		20°C - 80% HR		20°C - 100% HR	
	Moy.	E-T	Moy.	E-T	Moy.	E-T
1	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0
3	4,6	0,1	3,8	0,0	2,3	0,0
7	8,4	0,3	6,5	0,1	3,2	0,0
14	14,2	0,7	9,2	0,2	3,9	0,0
21	19,1	1,0	10,7	0,2	4,1	0,0
28	23,8	1,4	11,9	0,2	4,4	0,0
56	45,7	3,1	14,6	0,3	5,0	0,0
91	67,2	5,8	17,1	0,4	5,3	0,0

Figure 7 – Mesures de résistivité ConCrete 80 FL.

## 5. CONCLUSION

Une résistivité croissante en fonction de l'âge a été observée sur tous les échantillons, ce qui est un comportement normal suite au durcissement du mortier d'une part et à l'assèchement du mortier (à une HR ambiante de 60 % et 80 %) d'autre part. Entre 56 et 91 jours, tous les mortiers présentent également une augmentation nette de la résistivité (essentiellement à une RH ambiante basse), ce qui laisse penser que la résistivité devrait encore augmenter avec le temps.

Dans le cadre d'une conservation des mortiers à une RH de 80 % et 100 % (sous l'eau), les méthodes de mesure de la résistivité (volumique) (MDE et MEE) ont fourni des résultats très similaires. Dans le cadre d'une conservation à une RH de 60 %, la résistivité mesurée à l'aide de la méthode à deux électrodes (MDE) était bien supérieure à celle obtenue avec la méthode à électrodes encastrées (MEE), et ce pour tous les mortiers. Cela est probablement dû à l'assèchement de la couche adhésive conductrice d'ions des électrodes (avec la méthode MDE) en présence d'une humidité relative basse, de sorte que les résultats de la MDE à une HR de 60 % sont moins fiables.

En règle générale, la plus faible résistivité mesurée concernait les mortiers NSM MultiRep et ConCrete 80 FL (quelle que soit l'humidité relative ambiante). Ces deux mortiers, ainsi que le mortier RM ProRep R4, possèdent une résistivité électrique qui se situe dans la plage globale des autres mortiers de réparation du béton cimentés couramment utilisés (d'après la base de données interne SANACON des produits de réparation testés à l'aide de méthodes de mesure similaires). Selon le type de construction béton, ces produits peuvent être utilisés avec un système de protection cathodique (système PC).

Le mortier de coulage TricoNomic Special possède une résistivité similaire à celle du mortier RM ProRep R4 à une HR de 100 % (conservation sous l'eau). À une HR inférieure (80 % et 60 %), la résistivité est toutefois bien plus élevée et sort de la plage globale des autres mortiers de réparation cimentés couramment utilisés (selon la base de données interne SANACON). L'utilisation de ce mortier de coulage avec un système PC est possible mais inadaptée aux environnements plus secs (HR < 80 %).

Auteur

dr. ir. Bjorn Van Belleghem  
*Expert en protection cathodique du béton armé*

Réviseur

dr. ir. Tim Soetens  
*Directeur*