



Laboratoire Central
des Ponts et Chaussées

Traitements électrochimiques pour la réhabilitation du béton armé

- **Déchloruration**
- **Réalcalinisation**

Journée d'informations « Club CDOA »

Intervenant : V. BOUTEILLER (LCPC / FDOA-SDOA)

Date : 15 décembre 2005

L'esprit de recherche au cœur des réseaux

A decorative blue wave graphic that starts as a thin line on the left and curves upwards and to the right, ending as a thicker, more pronounced wave on the right side of the slide.

Introduction et plan de l'exposé



1- Enjeux : la corrosion des aciers dans le béton est la première cause de dégradation des ouvrages d'art

Fissures, tâches de rouille, épaufrures, perte de sections, aciers à nu

2- La corrosion

Carbonatation

Chlorures

3- Les réparations

Réalcalinisation

Déchloruration

4- Chantier et mesures

5- Le Pont sur Le Loup

L'esprit de recherche au cœur des réseaux

1-Introduction

2-Corrosion

carbonatation

chlorures

3- Réparations

réalcalinisation

déchloruration

4-Chantier et mesures

5-Pont sur Le Loup

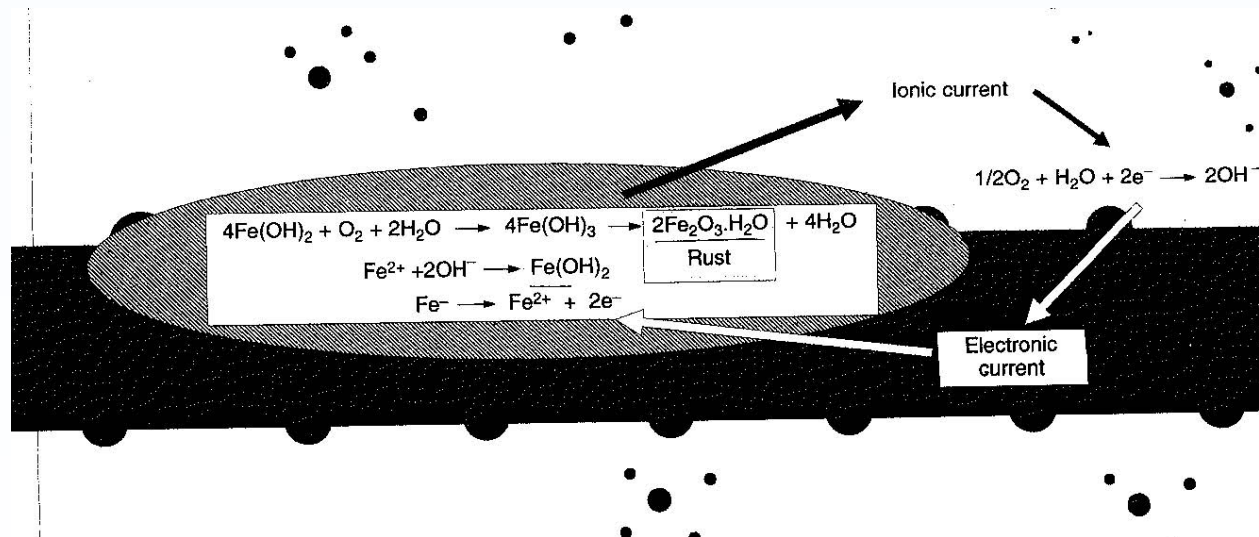
La corrosion résultant de la carbonatation

pH du béton sain = 13 : les aciers sont passivés

Equation de carbonatation: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Diminution du pH jusqu'à 9 : les aciers se dépassivent

Schéma de corrosion des aciers dans un béton carbonaté :



Formation de rouille, Corrosion de type généralisée

L'esprit de recherche au cœur des réseaux

1-Introduction

2-Corrosion

carbonatation

chlorures

3- Réparations

réalcalinisation

déchloruration

4-Chantier et
mesures

5-Pont sur Le
Loup

La corrosion résultant des chlorures

Les aciers sont passivés dans du béton sain (pH = 13)

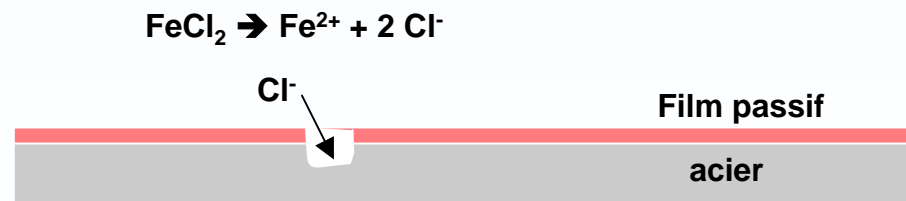
D'où viennent les chlorures ?

- Des ambiances marines
- Des sels de déverglaçage
- (Du gâchage)

Les chlorures en concentration suffisante vont rompre le film passif et attaquer l'acier

ciment CEM I, 0.4 % par rapport au poids de ciment (EN206)

Schéma de corrosion des aciers en présence de chlorures



Corrosion de type localisée avec piqûres

Réparations

➤ Réparation traditionnelle

➤ Traitements électrochimiques

Protection cathodique

Déchloruration

Réalcalinisation

➤ (Inhibiteurs de corrosion)

✓ Courant imposé (anode et alimentation électrique)

✓ Courant galvanique (anode sacrificielle)

1-Introduction

2-Corrosion

carbonatation

chlorures

3- Réparations

réalcalinisation

déchloruration

4-Chantier et
mesures

5-Pont sur Le
Loup



Traitements électrochimiques

Documents	Réalcalinisation	Déchloration
Brevets	WO 87/06521 ou PCT /NO87/00030 (CI) 2729694 (CG) EP0723947 (CG)	EP0200428 (CI)
Spécifications techniques	FD CEN/TS 14038-1 (CI)	-
Normes	-	-
Publications	oui	oui

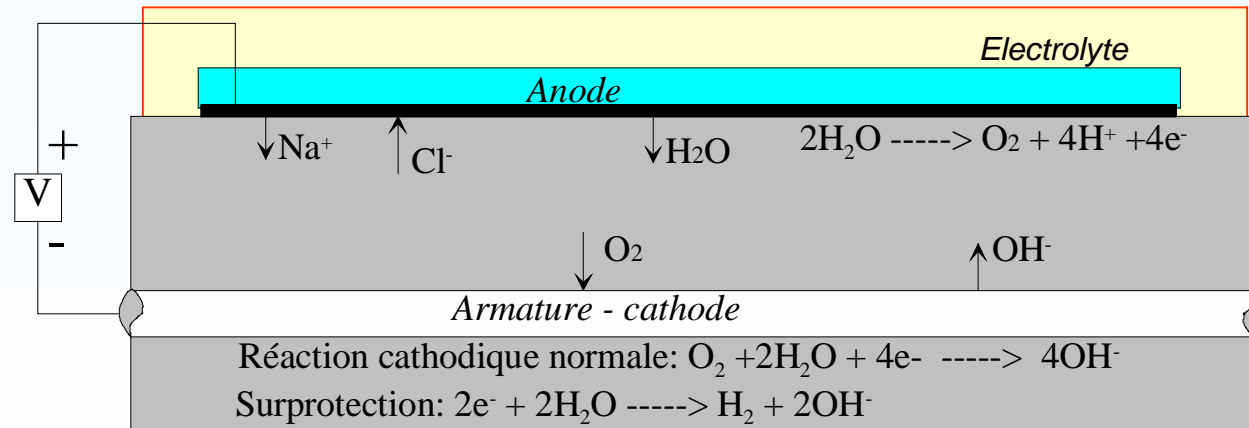
Sociétés : RENOFORS, FREYSSINET, ...FOSROC

L'esprit de recherche au cœur des réseaux

1-Introduction
2-Corrosion
carbonatation
chlorures
3- Réparations
réalcalinisation
déchloration
4-Chantier et mesures
5-Pont sur Le Loup

Traitement de réalcalinisation

Objectif : redonner au béton carbonaté son pH basique



➤ Mécanismes

- Electrochimique au niveau des aciers (formation OH-)
- Electromigration et diffusion des ions alcalins de l'électrolyte dans l'enrobage béton

1-Introduction

2-Corrosion

carbonatation

chlorures

3- Réparations

réalcalinisation

déchloruration

4-Chantier et
mesures

5-Pont sur Le
Loup



Réalcalinisation

SAGAWEB pour : LCPC - LABO CENTRAL PONTS CHAUSSEES le 21/11/2005 - 10:09

SPÉCIFICATION TECHNIQUE
TECHNISCHE SPEZIFIKATION
TECHNICAL SPECIFICATION

CEN/TS 14038-1
Octobre 2004

ICS : 91.080.40

Version française

Ré-alkalinisation électrochimique et traitements d'extraction
des chlorures applicables au béton armé —
Partie 1 : Ré-alkalinisation

Elektrochemische Realkalisierung
und Chloridextraktionsbehandlungen
für Stahlbeton — Teil 1: Realkalisierung

Electrochemical realkalisation
and chloride extraction treatments for reinforced
concrete — Part 1: Realkalisation

La présente Spécification Technique (CEN/TS) a été adoptée par le CEN le 9 septembre 2004 pour application provisoire.

La période de validité de cette CEN/TS est limitée initialement à trois ans. Après deux ans, les membres du CEN seront invités à soumettre leurs commentaires, en particulier sur l'éventualité de la conversion de la CEN/TS en Norme européenne.

Il est demandé aux membres du CEN d'annoncer l'existence de cette CEN/TS de la même façon que pour une EN et de rendre cette CEN/TS rapidement disponible. Il est admis de maintenir (en parallèle avec la CEN/TS) des normes nationales en contradiction avec la CEN/TS en application jusqu'à la décision finale de conversion possible de la CEN/TS en EN.

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants : Allemagne, Autriche, Belgique, Chypre, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède et Suisse.

CEN

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Europäisches Komitee für Normung
European Committee for Standardization

Secrétariat Central : rue de Stassart 36, B-1050 Bruxelles

© CEN 2004 Tous droits d'exploitation sous quelque forme et de quelque manière que ce soit réservés dans le monde entier aux membres nationaux du CEN.

Réf. n° CEN/TS 14038-1:2004 F

Spécification technique

FD CEN/TS 14038-1

➤ Alimentation électrique en courant continu (maxi 50V)

➤ Courant < 4 A/m² de surface d'armature

➤ Enregistrement de la charge en A/h

➤ Fin de traitement pour densité de courant total = 200 A/m² de surface d'armature

➤ Efficacité du traitement à l'aide de phénolphthaléine (coloration rose sur anneau de 10 mm autour de l'acier ou le diamètre de la barre)

1-Introduction

2-Corrosion

carbonatation

chlorures

3- Réparations

réalcalinisation

déchloruration

4-Chantier et mesures

5-Pont sur Le Loup

L'esprit de recherche au cœur des réseaux

Réalcalinisation par courant imposé (ex Renofors)



Corrosion dans béton carbonaté

Continuité du parement et pose de l'anode

Projection de la pâte électrolytique

L'esprit de recherche au cœur des réseaux

1-Introduction

2-Corrosion

carbonatation

chlorures

3- Réparations

réalcalinisation

déchloruration

4-Chantier et mesures

5-Pont sur Le Loup



Réalcalinisation par courant imposé (ex Renofors)

Connecteurs

Cadran alimentation courant
continu



L'esprit de recherche au cœur des réseaux

1-Introduction

2-Corrosion

carbonatation

chlorures

3- Réparations

réalcalinisation

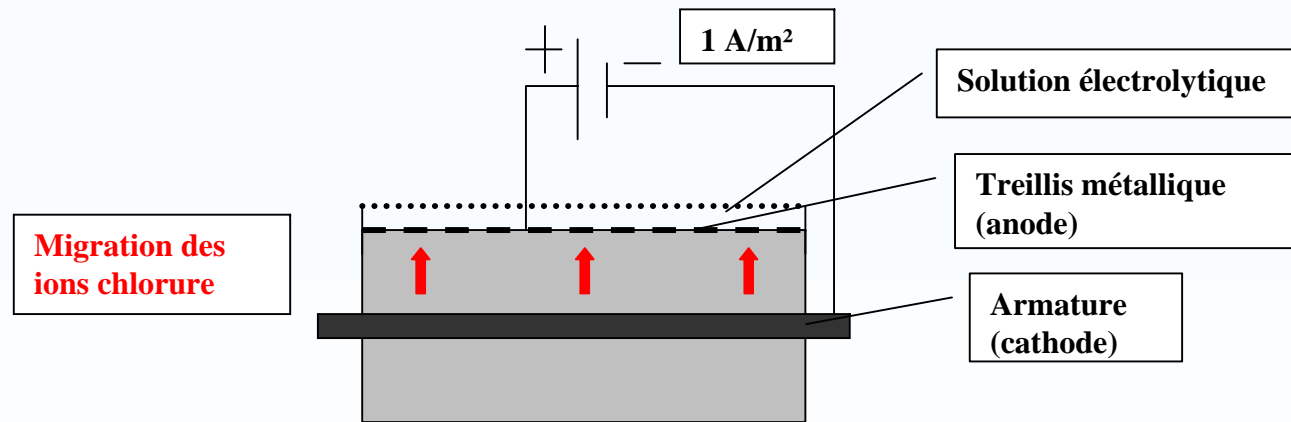
déchloruration

4-Chantier et
mesures

5-Pont sur Le
Loup

Traitement de déchloruration

Objectif : extraire les ions chlorure du béton d'enrobage



- Electromigration des ions chlorures depuis les armatures jusque vers le parement béton (piégés dans l'électrolyte)
- Renouvellement de l'électrolyte (stabilité de pH et piège HCl)

(Pas de textes)

Déchloration par anodes sacrificielles (ex Freyssinet)



Connexion aux armatures

**Sablage HP du parement béton
et pose des baguettes**

**Application de la pâte
« régébéton »**



L'esprit de recherche au cœur des réseaux

1-Introduction

2-Corrosion

carbonatation

chlorures

3- Réparations

réalcalinisation

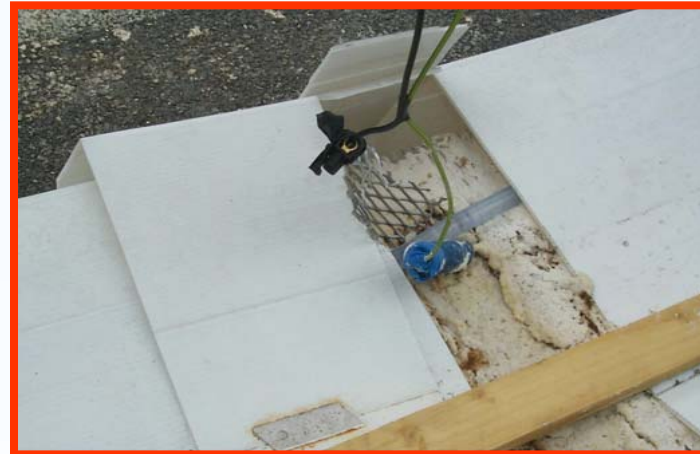
déchloration

4-Chantier et
mesures

5-Pont sur Le
Loup



Déchloration par anodes sacrificielles (ex Freyssinet)



Pose de l'anode en aluminium
Système d'humidification
Boitiers de contrôles

L'esprit de recherche au cœur des réseaux

1-Introduction

2-Corrosion

carbonatation

chlorures

3- Réparations

réalcalinisation

déchloration

4-Chantier et
mesures

5-Pont sur Le
Loup



Les mesures

- Observations visuelles
- Épaisseur d'enrobage
- Plan de ferrailage (détection des aciers)
- Dosage de chlorures (potentiométrie)
- Profondeur de carbonatation (indicateurs colorés)
- Dosage des alcalins (ICP ou SAA)
- Cartographie de potentiel (Canin ou potentiostat)
- Vitesses de corrosion (GECOR, GALVAPULSE, Potentiostat)
- Produits de corrosion (DRX, MEB)

1-Introduction

2-Corrosion

carbonatation

chlorures

3- Réparations

réalcalinisation

déchloruration

4-Chantier et
mesures

5-Pont sur Le
Loup



Le chantier

➤ Influences

Type de ciment
Porosité du béton
Epaisseur d'enrobage
Durée du traitement
Intensité du courant
Nature de l'électrolyte

➤ Ce qui est nécessaire

Continuité du béton
Continuité électrique
Uniformité de la conductivité électrique
Pas de court-circuit
Absence de couche isolante
Electrolyte adéquat

➤ Risques potentiels

Evolution de la matrice cimentaire
Fragilisation des aciers de précontraintes

L'esprit de recherche au cœur des réseaux

1-Introduction

2-Corrosion

carbonatation

chlorures

3- Réparations

réalcalinisation

déchloruration

4-Chantier et
mesures

5-Pont sur Le
Loup



Le chantier (suite)

➤ Essai préalable sur zone d'essai pour déterminer la durée du traitement

➤ Réception

Dosage de chlorures

Pulvérisation de phénolphthaleine, thymolphthaléine

Dosage d'alcalins

Cartographie de potentiel de corrosion

Mesures de vitesse de corrosion

Nota : Densité de courant et durée ne sont qu'indicatifs. Pas d'information sur la repassivation.

1-Introduction

2-Corrosion

carbonatation

chlorures

3- Réparations

réalcalinisation

déchloruration

4-Chantier et
mesures

5-Pont sur Le
Loup



Le Pont sur Le Loup

Construction de 1945 (réparation en 1976)

Pont en béton armé (longueur 75.60 m, largeur utile 29.5 m)

6 travées indépendantes (14 poutres)

4 tabliers (2 chaussées et 2 trottoirs)

Le projet :

Réparation électrochimique des tabliers de chaussée aval
travées 6 (8m) et 5 (14m)

Poutres P08 à P12

1-Introduction

2-Corrosion

carbonatation

chlorures

3- Réparations

réalcalinisation

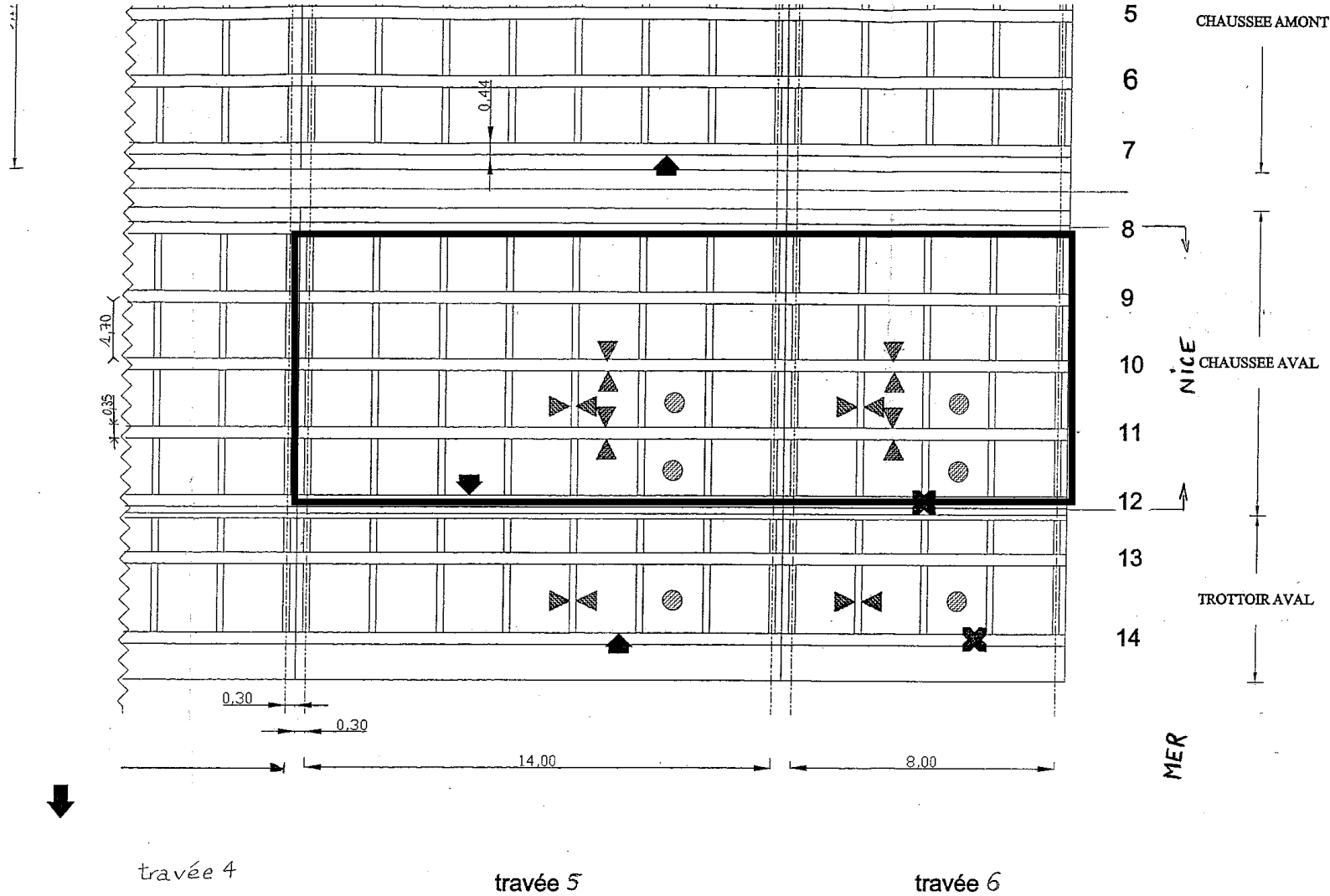
déchloruration

4-Chantier et
mesures

5-Pont sur Le
Loup



Le Pont sur Le Loup



1-Introduction

2-Corrosion

carbonatation

chlorures

3- Réparations

réalcalinisation

déchloruration

4-Chantier et
mesures

5-Pont sur Le
Loup



Le Pont sur Le Loup

Résultats des essais de 1996 (travées comptées à partir de la rive gauche)

Résultats des essais de 1999

➤ **Travée 1 (6)**

Chlorures libres hourdis **0.049% 1 cm (P10)**
 entretoises **0.12% 2cm et 0.16% 3cm (P10)**
 poutres **0.12% 3cm (P10), 0.13% 3cm (P11)**

➤ **Travée 2 (5)**

Potentiel libre 20% passivation et 80% d'enrouillement possible (P12)

Enrobage < 3 cm (P12)

Carbonatation ? (45 mm en travée centrale)

Chlorures libres > seuil sur 2 cm (P12)

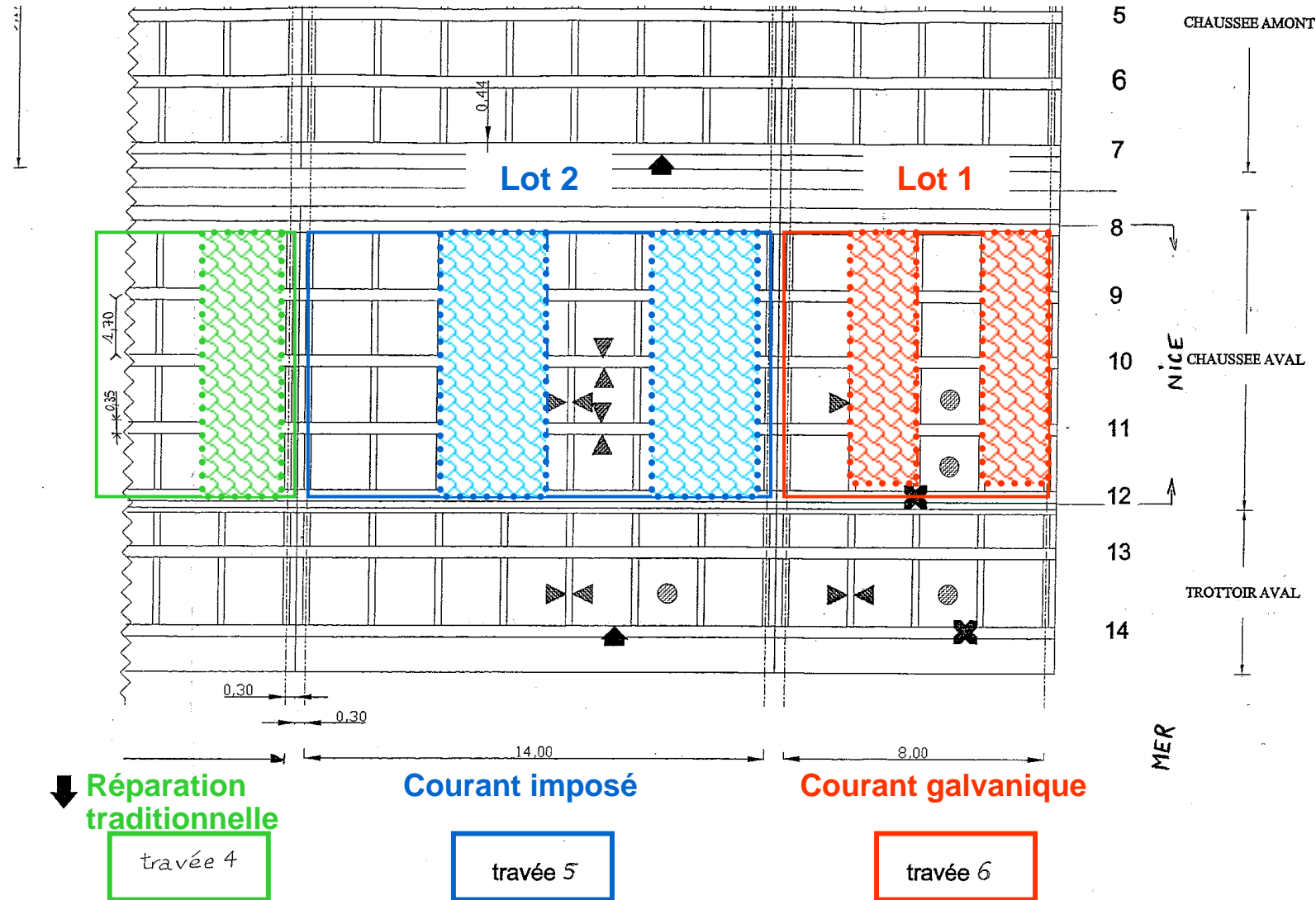
Chlorures libres hourdis **0.031% (P10), 0.069 % 2 cm (P11)**
 entretoises **0.11% 1cm et 0.08% 3cm (P10)**
 poutres **0.07% 2cm (P10), 0.07% 2cm (P11)**

(seuil en chlorures libres : **0.056% béton** ou **0.4% ciment EN206**)

1-Introduction
2-Corrosion
carbonatation
chlorures
3- Réparations
réalcalinisation
déchloruration
4-Chantier et mesures
5-Pont sur Le Loup



Le Pont sur Le Loup



Reparation traditionnelle

travée 4

Courant imposé

travée 5

Courant galvanique

travée 6

1-Introduction
2-Corrosion
carbonatation
chlorures
3- Réparations
réalcalinisation
déchloruration
4-Chantier et mesures
5-Pont sur Le Loup



Le Pont sur Le Loup

- les CCTP sont rédigés
- des essais ont été proposés

1-Introduction

2-Corrosion

carbonatation

chlorures

3- Réparations

réalcalinisation

déchloruration

4-Chantier et
mesures

5-Pont sur Le
Loup



Laboratoire Central
des Ponts et Chaussées

Merci

pour votre invitation

et

pour votre attention

L'esprit de recherche au cœur des réseaux

A decorative blue brushstroke graphic that tapers from left to right, positioned at the bottom of the slide.