

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université HAMMA LAKHDAR El-Oued

Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique et de Génie Civil



## **MEMOIRE DE FIN D'ETUDE**

Présenté en vue de l'obtention du diplôme du Master en Génie Civil.

Option : Matériaux en génie civil .

THEME :

### ***Renforcement Des Éléments Structuraux verticaux en béton armé par matériaux composites***

Dirigé par :

❖ Dr . FARIK ALI

Présenté par :

❖ HAMMADI Med DJAMAL

❖ GUENOVA LAROUCI

❖ TERKI SOUHAIB

Membres du Jury :

- Président : Dr. Soulimane Ilyas - MCB

- Examineur : Dr. Labyad Bachir - MAA

***Promotion : Septembre 2020***

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# Remerciements

Nous remercions initialement Allah de nous avoir donné du courage et de la patience pour arriver à terminer ce modeste travail.

Tous nos remerciements et notre appréciation à nos chers parents qui ont beaucoup sacrifié pour que nous réussissions.

Nous remercions le monsieur **FARIK Ali** notre encadreur pour ses précieux conseils et son orientation qui nous ont guidés tout au long de notre travail.

Nous remercions également les membres du jury de nous avoir fait l'honneur de lire notre travail et de nous faire part de leurs appréciations instructives.

Nos plus vifs remerciements s'adressent à tous nos professeurs et collègues du département de Génie Civil et d'Hydraulique de l'université d'El oued

En fin Nous remercions tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail de près ou de loin.

## ملخص

تشكل تقوية وصيانة الهياكل إشكالا مزعجا بشكل متزايد حيث أن الهياكل الجديدة لها تكلفة عالية وحالات الإصلاح أكثر صعوبة. في حين تتوفر العديد من التقنيات و التي من بينها احد الطرق الأكثر فعالية لإصلاح وتقوية الهياكل الخرسانية و المتمثلة في التقوية بالمواد المركبة.

ولجاذبية أداء تقنية التسليح باستخدام المواد المركبة ،فإن هذه المذكرة تهتم بدراسة سلوك عمود من الخرسانة المسلحة محصور بالمواد المركبة بواسطة طريقة حسابية معتمدة.

أجريت هذه الدراسة الحسابية لتقييم تأثير بعض المتغيرات على كفاءة وأداء تقوية العمود مثل الشكل الهندسي للمقطع المقوى ونوع التسليح. اظهرت النتائج التي تم الحصول عليها على تحسن كبير في السعة النهائية للأعمدة المقواة دون زيادة كبيرة في وزن العناصر المقواة، و لا سيما بالنسبة للمقاطع الدائرية.

**الكلمات المفتاحية :** عمود، التعزيز، الإصلاح، المواد المركبة، الحصر.

# Résumé

Le renforcement et la maintenance des ouvrages est un problème de plus en plus ennuyant dans la mesure où les ouvrages neufs ont un coût élevé et les cas de réparation sont plus difficiles. Plusieurs techniques sont disponibles et parmi eux, l'une des plus efficace pour la réparation et le renforcement de structures en béton armé le renforcement par matériaux composites.

Attiré par les performances de la technique de renforcement par matériaux composites, ce mémoire s'intéresse à l'étude de comportement d'un poteau en béton armé confiné par des matériaux composites par une méthode analytique approuvée.

Cette étude a été menée pour évaluer l'effet de quelques paramètres sur l'efficacité et la performance du renforcement des colonnes comme la géométrie de la section renforcé et le type de renforcement. Les résultats on permis de constater une amélioration considérable de la capacité ultime des sections renforcées sans augmentation considérable du poids des éléments renforcés notamment pour les sections circulaires.

**Mots-clés:** poteau, renforcement, réparation, matériaux composites, confinement.

## TABLE DES MATIERE

|                           |             |
|---------------------------|-------------|
| <b>Remerciements</b>      | <b>I</b>    |
| ملخص                      | <b>ii</b>   |
| <b>Résumé</b>             | <b>iii</b>  |
| <b>liste des figures</b>  | <b>vii</b>  |
| <b>liste des tableaux</b> | <b>xi</b>   |
| <b>liste des symboles</b> | <b>xiii</b> |

|                                                                                                              |          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>Introduction générale.....</b>                                                                            | <b>1</b> |
| <b>CHAPITRE 1: DEGRADATIONS DES STRUCTURES EN BETON ARME ET<br/>DIFFERENTES METHODES DE DIAGNOSTIC .....</b> | <b>3</b> |
| 1.1 DESCRIPTION DES PATHOLOGIES DU BÉTON ARMÉ : .....                                                        | 4        |
| 1.1.1 Introduction .....                                                                                     | 4        |
| 1.1.2 Pathologies du béton armé : .....                                                                      | 4        |
| 1.1.2.1 Dégradations mécaniques : .....                                                                      | 5        |
| 1.1.2.2 Dégradations Chimiques : .....                                                                       | 7        |
| 1.1.2.3 Dégradations Physiques.....                                                                          | 11       |
| 1.1.3 Les pathologies à risque élevé: .....                                                                  | 14       |
| 1.1.3.1 La carbonatation: .....                                                                              | 14       |
| 1.1.3.2 La corrosion des armatures : .....                                                                   | 15       |
| 1.1.3.3 La Fissure: .....                                                                                    | 15       |
| 1.2 DIAGNOSTIC : .....                                                                                       | 19       |
| 1.2.1 TYPES D'INVESTIGATION : .....                                                                          | 20       |
| 1.2.1.1 INVESTIGATIONS NON DESTRUCTIVES : .....                                                              | 21       |
| 1.2.1.1.1 RELEVÉ VISUEL : .....                                                                              | 21       |
| 1.2.1.1.2 Scléromètre .....                                                                                  | 22       |
| 1.2.1.1.3 Méthode d'auscultation dynamique .....                                                             | 25       |
| 1.2.2.1 INVESTIGATIONS DESTRUCTIVES : .....                                                                  | 31       |
| 1.2.2.1.1 CAROTTAGE D'ÉLÉMENTS EN BÉTON ARMÉ : .....                                                         | 32       |
| 1.2.3 CONCLUSION : .....                                                                                     | 35       |

## **CHAPITRE 2: DIFFERENTES TECHNIQUES DE REPARATION ET DE RENFORCEMENT DES OUVRAGES.....35**

|         |                                                                                     |    |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1     | DIFFERENTES METHODES DE RENFORCEMENT :                                              | 36 |
| 2.1.1   | Introduction :                                                                      | 36 |
| 2.1.2   | Méthodes non structurales de réparation et de renforcement des ouvrages en B A :    | 37 |
| 2.1.2.1 | Préparation de la surface de béton :                                                | 37 |
| 2.1.2.2 | Protection des armatures :                                                          | 38 |
| 2.1.2.3 | Réparation du béton dégradé par apport de matériaux :                               | 38 |
| 2.1.3   | Méthodes structurales de réparation et de renforcement des ouvrages en béton armé : | 39 |
| 2.1.3.1 | Béton projeté :                                                                     | 39 |
| 2.1.3.2 | Renforcement par chemisage en acier ou en béton armé :                              | 41 |
| 2.1.3.3 | Développement de la technique des plats collés :                                    | 45 |
| 2.1.3.4 | Utilisation de Bétons à Très Haute Performance :                                    | 47 |
| 2.1.3.5 | Renforcement et réparation par matériaux composites :                               | 49 |
| 2.1.4   | CONCLUSION :                                                                        | 51 |

## **CHAPITRE 3 : RENFORCEMENT DES COLONNES EN BETON ARME AVEC DES MATERIAUX COMPOSITES.....52**

|           |                                                                                    |    |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1       | MATERIAUX COMPOSITES :                                                             | 53 |
| 3.1.1     | Introduction :                                                                     | 53 |
| 3.1.2     | Définition des matériaux composites :                                              | 54 |
| 3.1.2.1   | Composition des matériaux composites :                                             | 55 |
| 3.1.2.2   | Matrice :                                                                          | 60 |
| 3.1.3     | Propriétés mécaniques des composites :                                             | 61 |
| 3.1.4.1   | Avantages:                                                                         | 62 |
| 3.1.4.2   | Inconvénients :                                                                    | 62 |
| 3.1.5     | Intérêt des matériaux composites ‘PRF’ dans les bâtiments et les travaux publics : | 63 |
| 3.1.6     | Comportement du béton confiné a la compression :                                   | 63 |
| 3.1.7     | Méthodes de confinement des poteaux :                                              | 65 |
| 3.1.7.1   | Stratification au contact :                                                        | 65 |
| 3.1.7.2   | Enroulement filamenteux :                                                          | 68 |
| 3.1.7.3   | Chemisage par coquille préfabriquée en ‘PRF’ :                                     | 69 |
| 3.2       | MODELES DE CONFINEMENT :                                                           | 72 |
| 3.2.1     | Revue de littérature :                                                             | 72 |
| 3.2.2.1   | Domaine d’utilisation et principe de dimensionnement :                             | 75 |
| 3.2.2.1.1 | Elancement :                                                                       | 76 |
| 3.2.2.1.2 | Conditions de continuité :                                                         | 76 |
| 3.2.2.2   | Résistance du béton confiné :                                                      | 76 |
| 3.2.2.3   | La résistance de calcul en compression du béton confiné est :                      | 77 |
| 3.2.2.4   | Calcul de la portance d’un poteau confiné :                                        | 78 |
| 3.2.2.5   | Dimensionnement :                                                                  | 79 |
| 3.2.2.6   | Dispositions constructives :                                                       | 79 |

|                                                                                                                     |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>CHAPITRE 4: ETUDE DU RENFORCEMENT D'UN POTAUX EN BETON ARME<br/>PAR LES MATERIAUX COMPOSITES(Étude d'un cas)</b> | <b>80</b>  |
| 4.1 INTRODUCTION :                                                                                                  | 81         |
| 4.2 Présentation de la méthode de calcul de la portance d'un poteau confiné :                                       | 82         |
| 4.3 Présentation de cas :                                                                                           | 86         |
| 4.3.1 Présentation d l'ouvrage                                                                                      | 86         |
| 4.3.2 Calcul de poteau sans renforcement                                                                            | 88         |
| 4.3.2.1 Poteau circulaire R 25 :                                                                                    | 89         |
| 4.3.2.2 Poteau Carré 30 X 30 :                                                                                      | 90         |
| 4.4 capacité d'un poteau circulaire confiné par matériaux composites:                                               | 90         |
| 4.4.1 Capacité d'un poteau circulaire renforcé par sika warp 230-c :                                                | 91         |
| 4.4.1.1 Renforcement discontinu:                                                                                    | 91         |
| 4.4.1.2 Renforcement continu:                                                                                       | 93         |
| 4.4.2 Capacité d'un poteau circulaire renforcé par sika warp 600-c :                                                | 96         |
| 4.4.2.1 Renforcement discontinu:                                                                                    | 96         |
| 4.4.2.2 Renforcement continu:                                                                                       | 98         |
| 4.5 Capacité d'un poteau carré confiné par matériaux composites:                                                    | 100        |
| 4.5.1 Capacité d'un poteau carré renforcé par sika warp 230-c :                                                     | 101        |
| 4.5.1.1 Renforcement discontinu:                                                                                    | 101        |
| 4.5.1.2 Renforcement continu:                                                                                       | 103        |
| 4.5.2 Capacité d'un poteau carré renforcé par sika warp 600-c :                                                     | 105        |
| 4.5.2.1 Renforcement discontinu:                                                                                    | 105        |
| 4.5.2.2 Renforcement continu:                                                                                       | 108        |
| 4.6 Comparaison entre le renforcement par les matériaux composites et le chemisage par<br>béton armé :              | 110        |
| 4.6.1 Cas d'un poteau circulaire :                                                                                  | 110        |
| 4.6.2 Cas d'un poteau carré :                                                                                       | 112        |
| 4.7 Calcul de la section nécessaire de matériaux composites pour le renforcement d'un<br>poteau:                    | 114        |
| 4.7.1 Cas d'un poteau circulaire :                                                                                  | 115        |
| 4.7.2 Cas d'un poteau carré:                                                                                        | 118        |
| 4.8 Conclusion                                                                                                      | 120        |
| <b>CONCLUSION GENERALE:</b>                                                                                         | <b>121</b> |
| <b>REFERENCES</b>                                                                                                   | <b>122</b> |
| <b>LES ANNEXES</b>                                                                                                  | <b>124</b> |

## LISTE DES FIGURES

### CHAPITRE 1

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1-1 : dégradations de béton armé.....                                  | 4  |
| Figure 1-2 : Dommages au tremblement de terre de Boumerdès .....              | 7  |
| Figure 1-3 : chocs .....                                                      | 8  |
| Figure 1-4 : réactions alcalis-granulats .....                                | 9  |
| Figure 1-5 : attaques sulfatiques .....                                       | 10 |
| Figure 1-6: Attaques acides .....                                             | 10 |
| Figure 1-7 : lixiviation.....                                                 | 11 |
| Figure 1-8 : Cycles de gel-dégel.....                                         | 13 |
| Figure 1-9 : dégradation due aux sels de déverglaçage .....                   | 13 |
| Figure 1-10 : Eclatement de l'enrobage. ....                                  | 14 |
| Figure 1-11: La carbonatation .....                                           | 15 |
| Figure 1-12 : La corrosion de armature .....                                  | 15 |
| Figure 1-13 : Fissures dans les poteaux .....                                 | 18 |
| Figure 1-14 : Fissures dans les voiles en béton armé .....                    | 19 |
| Figure 1-15 : Scléromètre ou marteau de Schmidt.....                          | 23 |
| Figure 1-16 : Grille de mesure sur ouvrage .....                              | 24 |
| Figure 1.17 : Inclinaisons possibles par rapport à l'élément à ausculter..... | 24 |
| Figure 1-18: Appareil de mesure .....                                         | 26 |
| Figure 1-19 : Mesures en transparence (directe) .....                         | 28 |
| Figure 1-20 : Mesures en surface.....                                         | 29 |
| Figure 1-21 : Mesures semi directe.....                                       | 29 |
| Figure 1- 22 : Courbe RILEM .....                                             | 31 |
| Figure 1-23 : carottage du béton.....                                         | 32 |
| Figure 1-24 : Prélèvement d'aciers .....                                      | 33 |
| Figure 1-25 : Graphique enrobage-carbonatation .....                          | 34 |
| Figure 1-26 : Carbonatation sur carotte.....                                  | 35 |

## Chapitre 2

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 2-1 : réparation de poutre par béton projeté .....                                                                        | 40 |
| Figure 2-2 : réparation de poutre par adjonction d'armature .....                                                                | 41 |
| Figure 2-3 : courbes force-déplacement d'un poteau non renforcé (a) et d'un poteau renforcé par chemisage en acier (b).....      | 42 |
| Figure 2-4 : chemisage en acier appliqué aux poteaux.....                                                                        | 43 |
| Figure 2-5 : différents types de chemisage en acier .....                                                                        | 43 |
| Figure 2-6: chemisage en béton armé .....                                                                                        | 44 |
| Figure 2-7: chemisage en béton pour augmenter la section de poteau (fardis 2009).....                                            | 44 |
| Figure 2-8 :application de plats métalliques selon le procédé l'hermite .....                                                    | 45 |
| Figure 2-9 : renforcement du viaduc de terre noire par tôles collées perforées - brevet freyssinet .....                         | 47 |
| Figure 2-10 : détails du chemisage en bthp fibré ([massicotte et boucher-proulx, 2010]).....                                     | 47 |
| Figure 2-11: graphiques force-déplacement du poteau (a) renforcé par béton fibré, et du poteau (b) renforcé par bthp fibré. .... | 48 |
| Figure 2- 12 : renforcement et réparation par matériaux composites .....                                                         | 51 |

## CHAPITRE 3

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 3-1: Fibre de carbone .....                                                                                        | 56 |
| Figure 3-2: Fibre de Verre .....                                                                                          | 57 |
| Figure 3-3 : Fibre d'aramide.....                                                                                         | 57 |
| Figure 3-4: illustrant les principaux matériaux de renfort .....                                                          | 58 |
| Figure 3-5: Eléments composants de la forme linéique.....                                                                 | 59 |
| Figure 3-6: fibres formes tissu et rubans.....                                                                            | 59 |
| Figure 3-7 : Eléments composants de la forme surfacique .....                                                             | 59 |
| Figure 3-8: Éléments composants de la structure multidimensionnelle .....                                                 | 60 |
| Figure 3-9: illustrant les différentes familles de matrice .....                                                          | 61 |
| Figure 3-10 : Contrainte et déformation d'une éprouvette cylindrique soumise à une charge uni axiale de compression ..... | 64 |

|                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 3-11 : Mécanisme de rupture d'un béton enveloppé d'un FRP soumis à une charge de compression .....                                                                           | 64 |
| Figure 3-12: Modes de rupture d'un béton renforcé par un FRP à base de fibres de verre et de résine époxy soumis à une charge de compression [Lau et al., 2001].....                | 64 |
| Figure 3-13: Influence de la résistance initiale du béton sain sur la résistance axiale.....                                                                                        | 65 |
| du béton renforcé pour différents confinements Berthet et al. 2005.....                                                                                                             | 65 |
| avec l'orientation des fibres principales dans la direction de confinement. ....                                                                                                    | 66 |
| Figure 3-14 : Stratification au contact .....                                                                                                                                       | 66 |
| spirale continue ou des anneaux discrets. ....                                                                                                                                      | 66 |
| Figure 3-15 : Enveloppée totalement                  partiellement enveloppée<br>partiellement enveloppée                                                                           |    |
| en utilisant des tissus ‘PRF’                      en utilisant des lanières<br>sous formes d’anneaux                                en utilisant<br>des lanières<br>‘PRF’ discrets |    |
| .....                                                                                                                                                                               | 67 |
| Figure 3-16 : ponçage au disque diamant des différentes faces du poteau et meulage des angles pour les arrondir.....                                                                | 67 |
| Figure 3-17 : Evacuation des poussières au moyen d’air comprimé.....                                                                                                                | 68 |
| Figure 3-18 : Application d’une couche de résine .....                                                                                                                              | 68 |
| Figure 3-19 : Pose des bandes de PRF .....                                                                                                                                          | 68 |
| Figure 3-20 : Marouflage au rouleau . ....                                                                                                                                          | 68 |
| Figure 3-21 : Pose d’une couche de résine de couverture .....                                                                                                                       | 68 |
| Figure 3-22 : Enroulement filamenteux .....                                                                                                                                         | 69 |
| Figure 3-23 : Chemisage par coquille préfabriquée en ‘PRF’. ....                                                                                                                    | 70 |
| Figure 3-24 : Confinement discontinu et Confinement total.....                                                                                                                      | 76 |
| Figure 3-25: Distribution non uniforme de la pression de confinement sur une section rectangulaire.....                                                                             | 78 |
| Figure 3-26 : Dimensions renforcement discontinu .....                                                                                                                              | 78 |

## CHAPITRE 4

|                                                                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Fugire 4 - 1: programme créé avec Excel pour le calcul d'un poteau renforcé par Sika Wrap. ....                                                                                | 85  |
| Figure 4-2 : présentation de l'ouvrage .....                                                                                                                                   | 87  |
| Figure 4 – 3: Organigramme de calcul d'un poteau en béton armé .....                                                                                                           | 88  |
| Figure 4-2 : variation de NU en fonction de nombre des couches de PRFC.....                                                                                                    | 93  |
| (Section circulaire avec sika warp 230-c un renforcement discontinu) .....                                                                                                     | 93  |
| Figure 4-3 : variation de NU en fonction de nombre des couches de PRFC.....                                                                                                    | 95  |
| (section circulaire avec sika warp 230-c un renforcement continu).....                                                                                                         | 95  |
| Figure 4-5 : variation de NU en fonction de nombre des couches de PRFC<br>(section circulaire avec sika warp 600-c un renforcement discontinu) .....                           | 97  |
| Figure 4-6 : variation de NU en fonction de nombre des couches de PRFC.....                                                                                                    | 99  |
| (section circulaire avec sika warp 600-c un renforcement continu).....                                                                                                         | 99  |
| Figure 4-7 : variation de NU en fonction de nombre des couches de PRFC<br>(section circulaire avec sika warp 600-c un renforcement continu et<br>renforcement discontinu)..... | 100 |
| Figure 4-8 : variation de NU en fonction de nombre des couches de PRFC....                                                                                                     | 102 |
| (section Carré avec sika warp 230-c un renforcement discontinu) .....                                                                                                          | 102 |
| Figure 4-9 : variation de NU en fonction de nombre des couches de PRFC....                                                                                                     | 104 |
| (section Carré avec sika warp 230-c un renforcement continu et renforcement<br>continu) .....                                                                                  | 104 |
| Figure 4-10 : variation de NU en fonction de nombre des couches de PRFC..                                                                                                      | 105 |
| (section Carré avec sika warp 230-c un renforcement continu et renforcement<br>discontinu) .....                                                                               | 105 |
| Figure 4-11: variation de NU en fonction de nombre des couches de PRFC...                                                                                                      | 107 |
| (section Carré avec sika warp 600-c un renforcement discontinu) .....                                                                                                          | 107 |
| Figure 4-12 : variation de NU en fonction de nombre des couches de PRFC..                                                                                                      | 109 |
| (section Carré avec sika warp 600-c un renforcement continu).....                                                                                                              | 109 |
| Figure 4-13 : variation de NU en fonction de nombre des couches de PRFC<br>(section Carré avec sika warp 600-c un renforcement continu et renforcement<br>discontinu) .....    | 110 |

## LISTE DES TABLEAUX

### CHAPITRE 1

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1-1: Moyens de mesure selon le type de recul au scléromètre. .... | 22 |
|---------------------------------------------------------------------------|----|

### CHAPITRE 2

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 2-1 : Avantages et inconvénients de voie sèche et voie mouillée .....                  | 40 |
| Tableau 2-2 : Une étude comparative des différentes techniques classique de renforcement ..... | 49 |

### CHAPITRE 3

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 3-1: Principales différences entre matrices TP et TD .....                                                   | 60 |
| Tableau 3-2: Propriétés mécaniques typiques des composites «PRFV», «PRFC» et «PRFA» .....                            | 61 |
| (Teng et al. 2002) .....                                                                                             | 61 |
| Tableau 3-3: Comparaison entre les différentes méthodes de renforcement des colonnes par matériaux composites . .... | 71 |
| Tableau 3-4 : Résultats statistique de la base de données expérimentale (lam et teng 2002) .....                     | 73 |

### CHAPITRE 4

|                                                                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau 4-1 : section circulaire avec sika warp 230-c un renforcement discontinu.....                                                                    | 92  |
| Tableau 4-2 : Section circulaire avec sika warp 230-c un renforcement continu. .94                                                                       |     |
| Tableau 4-3: section circulaire avec sika Wrap 600-c avec un renforcement discontinu.....                                                                | 97  |
| Tableau 4-4 : Section circulaire avec sika warp 600-c un renforcement continu. 99                                                                        |     |
| Tableau 4-5 : section carré avec sika wrap 230- c un renforcement discontinu .102                                                                        |     |
| Tableau 4- 6: Section carré avec sika warp 230-c un renforcement continu.....                                                                            | 104 |
| Tableau 4- 7: Section carré avec sika warp 600-c un renforcement discontinu. . 107                                                                       |     |
| Tableau 4 - 8: Section carré avec sika warp 600-c un renforcement continu.....                                                                           | 108 |
| Tableau 4 - 9: Section circulaire équivalente de chemisage par béton armé (section circulaire avec sika warp 230-c cas de renforcement discontinu). .... | 111 |

|                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau 4 - 10: Section équivalente de chemisage par béton armé (section circulaire avec sika warp 230-c cas de renforcement continu). ....   | 111 |
| Tableau 4 - 11: Section équivalente de chemisage par béton armé (section circulaire avec sika warp 600-c cas de renforcement discontinu)..... | 112 |
| Tableau 4 – 12: Section équivalente de chemisage par béton armé (section circulaire avec sika warp 600-c cas de renforcement continu). ....   | 112 |
| Tableau 4 - 13: Section équivalente de chemisage par béton armé (section carré avec sika warp 230-c cas de renforcement discontinu). ....     | 113 |
| Tableau 4 - 14: Section équivalente de chemisage par béton armé (section carré avec sika warp 230-c cas de renforcement continu). ....        | 113 |
| Tableau 4 - 15: Section équivalente de chemisage par béton armé (section carré avec sika warp 600-c cas de renforcement discontinu). ....     | 113 |
| Tableau 4 - 16: Section équivalente de chemisage par béton armé (section carré avec sika warp 600-c cas de renforcement continu). ....        | 114 |

## LISTE DES SYMBOLES

- PRF** : Polymère renforcé de fibres .
- PRFC** : Polymère Renforcé par Fibre de Carbone .
- PRFV** : Polymère Renforcé par Fibre de verre .
- A<sub>c</sub>** : Aire d'une section de béton .
- A<sub>s</sub>** : Aire de la section d'acier .
- b** : le grand côté pour un poteau rectangulaire .
- D** : le diamètre de la section circulaire du poteau .
- E<sub>p</sub>** : Module de confinement .
- E<sub>f</sub>** : Module d' Young du composite .
- h** : Petit côté pour un poteau rectangulaire .
- K<sub>c</sub>** : Coefficient de forme de la section .
- K<sub>h</sub>** : Coefficient de forme du composite .
- N<sub>U</sub>** : Capacité portante du poteau .
- n<sub>p</sub>** : Nombre de plis de composite .
- S<sub>f</sub>** : Espacement entre les bandes de composite .
- t<sub>f</sub>** : Epaisseur du composite .
- W<sub>f</sub>** : Largeur de la bande de composite .
- f<sub>fu</sub>** : contrainte limite en traction du renfort .
- f<sub>t</sub>** : épaisseur du renfort .
- l<sub>rec</sub>** : longueur de recouvrement .
- f<sub>cd</sub>** : résistance de calcul en compression du béton .
- ψ<sub>f</sub>** : coefficient de performance .
- ε<sub>fu</sub>** : déformation à rupture du renfort .
- E<sub>p</sub>** : module de confinement (traduit la rigidité du confinement) .
- γ<sub>λ</sub> = α** : coefficient qui dépend de λ .
- ρ<sub>l</sub>** : taux de ferrailage longitudinal (A<sub>s</sub>/A<sub>c</sub>) .
- φ** : diamètre minimal des armatures longitudinales .
- S<sub>t</sub>** : distance entre les cadres d'armatures transversales.
- A** : coefficient d'efficacité du confinement .
- f<sub>cd,c</sub>** : La Résistance en compression du béton confiné .
- f<sub>l</sub>** : La Pression de confinement provenant du renfort composite .

$B_r$  : section réduit .

$A_{th}$  : Aire d'une section de l'armature théorique .

$A_{min}$  : Aire d'une section de l'armature minimale .

$I$  : moment d'inertie .

$B$  : section de poteau .

$i$  : rayon de giration .

$\lambda$  : le flambement .

$\gamma_s$  : le coefficient de sécurité **et** la valeur de calcul de la contrainte de l'acier.

$f_e$  : Limite d'élasticité d'acier en MPa .

$\gamma_b$  : le coefficient de sécurité et la valeur de calcul de la contrainte du béton .

$f_{c28}$  : résistance de calcul en compression du béton .

$f_{ck}$  : résistance donnée en compression du béton.

# Introduction générale

Au cours des années, les dimensions des ouvrages de génie civil ont été conçus pour une durée de vie moyenne de plus de cent ans. Cette dernière subit une dégradation par étapes avec le temps avec l'intervention d'un ensemble de facteurs responsables de la réduction de la durée de vie de l'ouvrage, ce qui nous oblige à intervenir pour entretenir les ouvrages pour assurer la sécurité des usagers.

Dans le domaine du génie civil, la maintenance des structures passe principalement par la bonne exécution des travaux majeurs et des travaux secondaires, ou par l'ajout des additifs avec la protection de la surface du béton en utilisant des étanchéités afin éviter la dégradation des structures notamment la corrosion des armatures.

L'entretien structurel est un problème complexe car les nouvelles structures ont un coût élevé et les techniques de réparation sont plus difficiles, ce qui nous oblige à diagnostiquer correctement les causes de la détérioration structurelle.

Plusieurs techniques efficaces sont disponibles dans la réparation des structures en béton armé, notamment:

- Renforcement par le méthode de chemisage en béton armé.
- Renforcement par le méthode d'enfermant avec acier dans le périmètre de l'élément en béton.

Ces dernières années, découvrent d'une nouvelle technique c'est la méthode des matériaux composites installés sur la surface extérieure des structures dégradés, cette technique qui a prouvé sa fiabilité et efficacité dans le domaine du renforcement réparation des éléments en béton armé.

Les matériaux composites sont utilisés dans le domaine du génie civil pour réhabiliter et renforcer les éléments structurels tels que les poutres et les poteaux. Les premières études sur la technologie de renforcement par des matériaux composites ont commencé dans le domaine du génie civil en 1980, mais en 1990, la première utilisation de cette technologie a commencé, d'abord à titre expérimental, puis sur une base commerciale.

La couverture des poteaux en béton par des matériaux composites pouvant être à base d'aramide, de verre ou de fibre de carbone. L'application de ces enroulements aux poteaux améliore le confinement du béton, ainsi que sa résistance à la compression et sa ductilité.

À cet effet, nous nous sommes proposé dans le cadre de ce mémoire d'étudier le comportement d'un poteau en béton armé confiné par des matériaux composites.

Ce mémoire est composé de quatre chapitres comme suite :

Dans le premier chapitre, nous avons traité les types de dégradation des structures en béton, leurs causes et les méthodes de diagnostic.

Le deuxième chapitre: nous avons traité de nombreuses techniques différentes utilisées pour réparer et renforcer des structures en béton armé, et présenter les modalités de leur mise en œuvre (béton armé et matériaux composites).

Le troisième chapitre: nous avons abordé la définition des matériaux composites, leurs types, leurs différentes caractéristiques et les différentes modalités de mise en œuvre. Toutes ces méthodes concernent les éléments verticaux dans les structures.

Le dernier chapitre est consacré pour des applications analytiques ont été faites pour connaître et évaluer l'effet de renforcement des éléments verticaux des structures en béton par les matériaux composites, notamment sur la capacité ultime du poteau, comparaison entre le renforcement. On termine ce chapitre par un exemple de renforcement et réparation de deux poteaux par les matériaux composites.



# **CHAPITRE 1**

## **Dégradations des structures en béton armé et différentes méthodes de diagnostic**

## 1.1 DESCRIPTION DES PATHOLOGIES DU BÉTON ARMÉ :

### 1.1.1 Introduction

- L'identification des causes des dégradations est une des étapes les plus importantes et les plus difficiles de tout le processus de réparation des structures endommagées.

Il n'est généralement pas possible d'évaluer la nécessité de réparer une structure ou de choisir la ou les méthodes de réparation sans avoir, au préalable, bien identifié l'origine des dégradations.

- Avant d'entreprendre des travaux de réparation il faut donc prévoir une campagne d'évaluation la plus détaillée possible de l'état de la structure.

- Le but de la campagne d'évaluation est d'obtenir des informations sur l'étendue des dommages et d'établir les causes des dégradations.

- La campagne d'évaluation fait partie d'un processus, constitué de plusieurs étapes, qui permettra de choisir la ou les méthodes de réparation les plus appropriées en fonction du type de dégradation.

### 1.1.2 Pathologies du béton armé :

Dans cette partie, nous nous intéresserons aux principales pathologies apparaissant dans Le béton armé durci. Ces pathologies ont des causes et conséquences variables.

Elles sont décrites dans ce qui suit : dégradations mécaniques, chimiques, est physiques[1]

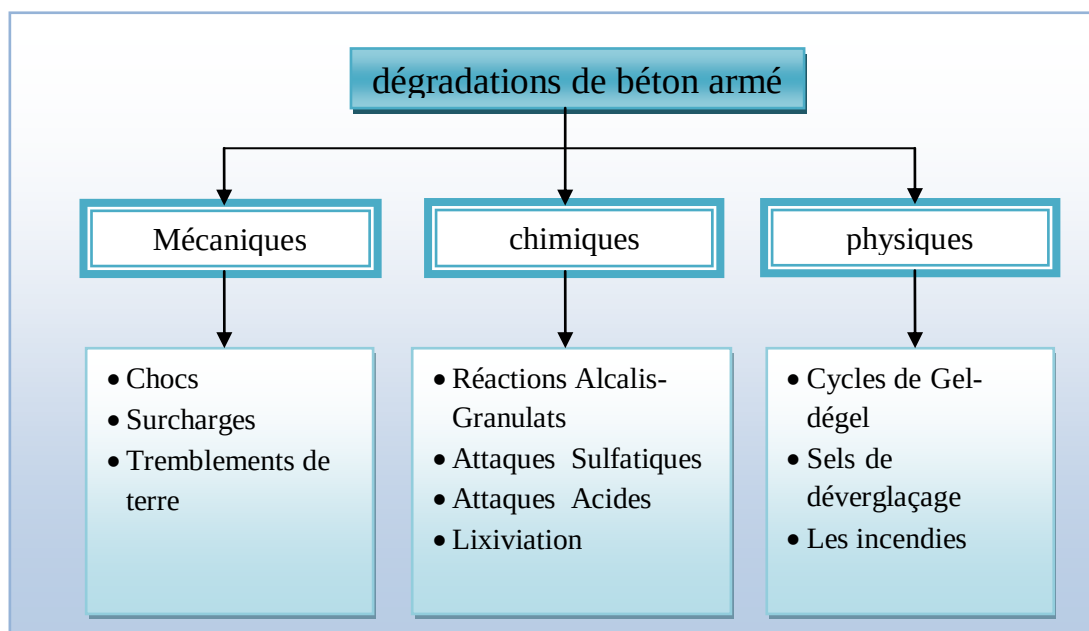


Figure 1-1 : dégradations de béton armé

### **1.1.2.1 Dégradations mécaniques :**

Ces désordres se manifestent fréquemment par l'apparition de fissures, éventuellement aggravées par une déformation inacceptable de la structure. Lorsque des contraintes brusques, comme un impact ou une explosion, provoquent une dislocation plus ou moins importante du béton, le lien entre les dégâts et leur cause est généralement évident. Avant de procéder à des réparations, on s'assurera toutefois que d'autres mécanismes de dégradation actifs ne doivent pas être traités au cours des travaux.

Des désordres résultant d'une faible surcharge permanente ou d'un tassement des appuis sont en effet plus lents à se manifester, notamment en raison du fluage du béton. Outre une inspection in situ, une étude de stabilité sera nécessaire afin d'évaluer l'action d'une surcharge éventuelle.

#### **a-Tremblements de terre :**

L'effet des tremblements de terre sur toute structure en béton se résume en ce qu'ils affectent cette structure avec des forces horizontales dont la valeur varie en fonction de l'emplacement de l'origine et de sa proximité ou distance des zones côtières ou des centres et foyers des principales zones sismiques. Ces forces horizontales contredisent leur concept d'équilibre d'origine avec leurs homologues des forces verticales que les ingénieurs utilisaient pour concevoir la structure sur la base de leur effet uniquement, en négligeant les forces horizontales et en concevant sur la base de ces forces. [2]

Par exemple, le tremblement de terre de Boumerdès, selon les experts. Les recherches approfondies menées par des spécialistes du domaine ont prouvé cette réalité, réfutant en même temps la «croyance dominante du grand public selon laquelle la mer est celle qui s'est repliée vers l'intérieur» et confirmant que le mouvement important et important que la croûte terrestre a connu depuis les côtes de la municipalité Boudouaou Maritime et à la commune de Dellys un phénomène actuellement visible dans l'abstrait, dû à la magnitude du séisme, qui a atteint 6,8 sur l'échelle de Rechuter.

Le tremblement de terre, dont l'épicentre était situé dans le quartier de Zamouri, a paralysé toute vie, car il a endommagé plus de 100 000 maisons, dont plus de 10 000 ont été complètement démolies, en plus des graves dommages infligés à divers équipements publics vitaux. [3]

Au lendemain de la catastrophe, l'Etat a rapidement mobilisé toutes ses énergies humaines et matérielles pour faire face aux effets du séisme et prendre en charge immédiatement tous les sinistrés, les sommes totales allouées pour cela dépassant 78 milliards DZD, et l'Etat a également entrepris la restauration à travers ses institutions de 85738 logements endommagés par le séisme ou en accordant une aide financière. Directement pour que les personnes touchées réalisent elles-mêmes les opérations de réparation et reconstruisent leurs maisons.

Parmi les secteurs publics les plus sensibles dont les installations ont été gravement endommagées, il y a le secteur de l'éducation nationale, où 332 installations ont été restaurées et 31 établissements d'enseignement différents ont été reconstruits, en plus de la restauration de 67 installations universitaires entre le bâtiment et les salles d'enseignement et la reconstruction de la bibliothèque et des collèges de sciences et de droit.

Dans le secteur de la santé, l'hôpital Al-Thanya et deux centres hospitaliers ont été reconstruits et trois autres hôpitaux ont été restaurés, en plus de la restauration de 10 installations techniques, des ports de Zamouri et de Dellys, en plus de la restauration de 58 mosquées et de la reconstruction de 5 autres, de la Maison de la culture de la ville de Boumerdes et de 10 centres culturels. [3]



**Figure 1-2 :** Dommages au tremblement de terre de Boumerdès .

#### **b- Chocs :**

Les perturbations causées par le fonctionnement de la structure sont une cause importante de détérioration du béton. Il s'agit souvent d'une action accidentelle de type mécanique qui produit des chocs. Les impacts les plus courants sont les effets des poids lourds encombrants sur le dessous des ponts et les impacts des bateaux ou des objets flottants sur les quais des rivières. Ces impacts peuvent créer de gros éclats ou des éclats de béton ou même de l'acier fissuré.



Figure 1-3 : chocs .

### 1.1.2.2 Dégradations Chimiques :

#### a- Réactions Alcalis-Granulats (RAG) :

La réaction alcalis-granulats (RAG) résulte d'une interaction entre les alcalis du béton (provenant du ciment, des additions, des adjuvants, ...) et des granulats potentiellement réactifs (c'est-à-dire sensibles aux alcalis) qui contiennent de la silice réactive (acide silicique) se présentant sous forme d'opale, de calcédoine, de cristobalite, de tridymite et de quartz cryptocristallin. C'est la raison pour laquelle on parle également de réaction alcalis-silice.

La RAG entraîne la formation de produits expansifs et notamment d'un gel d'alcalis-silice capable d'attirer l'eau et donc de gonfler. Il en résulte des contraintes de traction internes au béton qui conduisent à une fissuration de ce dernier et, parfois, à la rupture des armatures. Pour qu'une réaction alcalis-granulats se produise, les conditions suivantes doivent être réunies :

1- présence de granulats potentiellement réactifs.

La réaction se produit seulement si la teneur en réactifs se situe à l'intérieur d'un domaine critique (pessimisme) dont les limites dépendent de la composition minéralogique des constituants.

2-humidification permanente ou régulière de la structure teneur élevée du béton en alcalis.

Dans un béton non armé, la RAG se manifeste par un faciès de fissuration plutôt aléatoire.

Dans un béton armé ou précontraint, les armatures empêchent la libre dilatation du béton dans le sens des barres d'acier, de sorte que le tracé des fissures épouse celui des armatures sous-jacentes.

En l'absence d'examen complémentaire, le risque est grand d'attribuer la dégradation, à tort, à un phénomène de corrosion. Dans certains cas, le béton prend une teinte ocre et l'on constate la disparition de lichens et de mousses présents au préalable le long des fissures.



**Figure 1-4 : réactions alcalis-granulats**

#### **b- Attaques Sulfatiques :**

Les sulfates en provenance de l'environnement (terres, milieu aqueux) peuvent réagir avec le béton pour former de l'ettringite (sel de Candlot). Cette cristallisation s'accompagne d'une expansion très importante et peut se produire aussi bien durant la phase plastique du durcissement (ettringite primaire) qu'après le durcissement (ettringite secondaire).

Seule l'ettringite secondaire est préjudiciable au béton, les contraintes internes causées par l'expansion entraînant la fissuration et la ruine de la structure. Toutefois, même en l'absence de source extérieure de sulfates, un échauffement excessif du béton en cours de durcissement peut également donner lieu à la formation d'ettringite, notamment lors d'un traitement thermique (destiné à accélérer le développement de la résistance du béton) ou lors du dégagement de la chaleur d'hydratation dans le béton de masse. C'est la raison pour laquelle la température maximale est généralement limitée à quelque 65 °C durant la phase de durcissement.

En décalcifiant les composés primaires de la prise présents dans le ciment durci (C-S-H), les sulfates peuvent aussi altérer la résistance mécanique du béton et donc affecter la stabilité de l'ouvrage.



**Figure 1-5 : attaques sulfatiques**

**C -Attaques Acides :**

Le béton présente un caractère basique élevé induit par les composés hydratés de la pâte de ciment (la phase interstitielle contenue dans le béton a un pH très élevé).

Il peut donc présenter une certaine réactivité vis-à-vis des solutions acides telles que les pluies acides, les eaux naturelles chargées en dioxyde de carbone, les eaux résiduaires, les eaux des industries agroalimentaires ou industrielles contenant des acides organiques, les eaux chargées en acides minéraux, mais aussi les eaux pures.

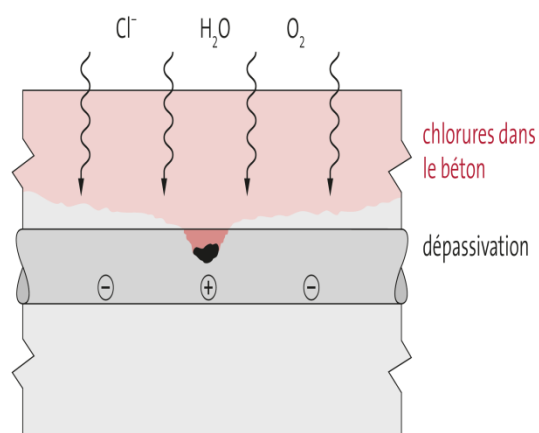


**Figure 1-6: Attaques acides**

**d -Lixiviation :**

Dans une structure en béton exposée à l'air ambiant, l'eau ne s'évapore que sur une épaisseur limitée à quelques centimètres. Les pores sont saturés lorsque le béton est en contact de manière prolongée avec l'eau. Des ions en provenance du milieu extérieur peuvent alors transiter, dans la phase liquide interstitielle du béton.

En fonction de la nature des éléments chimiques qui pénètrent dans le matériau, il peut en résulter des réactions chimiques de dissolution/précipitation et donc une lixiviation progressive des hydrates. Les eaux pures ou très peu chargées ont un grand pouvoir de dissolution, elles peuvent dissoudre les constituants calciques du béton (la portlandite notamment). Malgré la complexité des réactions chimiques générées par les eaux agressives, l'application de quelques principes de prévention élémentaires respectés au niveau de la formulation du béton(formulation adaptée, dosage en ciment adéquat, faible E/C, béton compact et peu perméable), de la conception de l'ouvrage et lors de sa réalisation (vibration, cure) permettent d'obtenir des bétons résistants durablement dans les milieux agressifs.



**Figure 1-7 : lixiviation**

**1.1.2.3 Dégradations Physiques**

Les mécanismes de dégradation du béton sont liés à l'alternance de cycles répétés de phases de gel et de dégel. Le risque de désordres est d'autant plus élevé que le degré de saturation en eau du béton est important. C'est le cas notamment des parties d'ouvrages non protégées des intempéries et en contact direct avec des eaux saturées en sel. Une formulation mal adaptée et une mise en œuvre incorrecte du béton peuvent amplifier les dégradations.

Ce phénomène est aggravé, en surface, par l'application des sels de déverglaçage (ou fondants routiers), qui engendrent un accroissement des gradients de concentrations en sels,

généralisant ainsi des pressions osmotiques plus élevées.

Les dégradations occasionnées par le gel peuvent être de deux types :

- Une microfissuration répartie dans la masse du béton (feuillette parallèle aux parois), provoquée par un mécanisme de gel interne .
- Un délitage de la zone superficielle (dégradation superficielle), appelé écaillage, sous l'effet conjugué des cycles de gel-dégel et des sels de déverglaçage.
- Un gradient thermique important au voisinage de la surface, générée par l'application des sels à titre curatif sur un film de glace, amplifie la dégradation de surface.

Ces deux formes de dégradation peuvent se produire simultanément ou de manière indépendante, elles peuvent affecter la durabilité de la structure et en particulier la pérennité architecturale des ouvrages.

### **a- Cycles de gel-dégel**

En l'absence de mesures appropriées, le bétonnage en période hivernale peut donner lieu à des dégâts de gel. La formation de glace conduit en effet à la dilatation de l'eau présente dans le béton frais.

Dans un béton encore plastique, ce gonflement s'opère librement; une fois durci, le béton ne présentera aucun dégât apparent, mais sera de mauvaise qualité. Dans un béton jeune déjà durci, le gonflement est entravé et des tensions internes apparaissent. Si le matériau n'a pas développé de résistance suffisante, les dégâts se manifesteront par un écaillage de la surface (le plus souvent en plusieurs couches). On considère généralement que le béton est apte à résister à ces tensions internes dès que sa résistance en compression dépasse 5 N/mm<sup>2</sup>. Cette résistance devrait être atteinte si l'on maintient une température ambiante supérieure à 5 °C pendant les 72 premières heures qui suivent la mise en œuvre.

Un béton durci peut, lui aussi, être endommagé par le gel : en se dilatant sous l'action du gel, l'eau présente dans les pores et les fissures crée des tensions susceptibles de provoquer ou d'aggraver des fissures. La sensibilité au gel du béton durci dépend dans une large mesure de sa structure poreuse et des dimensions des fissures. Le risque de dégâts de gel est plus important sur des dalles ou des plans horizontaux que sur des surfaces verticales, les pores étant davantage saturés en eau.

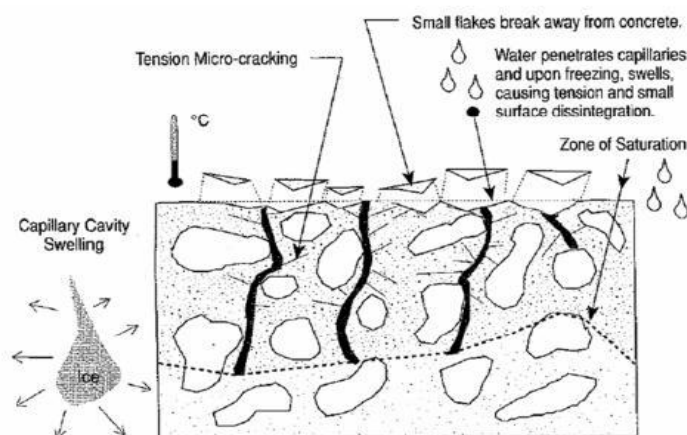


Figure 1-8 : Cycles de gel-dégel

### b- Sels de déverglaçage

Les sels de déverglaçage employés pour faire fondre la glace induisent une réaction endothermique, c.-à-d. une réaction au cours de laquelle le milieu environnant cède une partie de sa chaleur. En l'occurrence, la chaleur est prélevée dans la couche superficielle du béton qui, en raison de la chute brutale de température, subit un choc thermique et s'expose ainsi à un risque d'écaillage. Le risque de dégradation par le gel est encore accru lorsque des précipitations neigeuses prolongées alternent avec des épandages de sels répétés et que la couche superficielle du béton peut se trouver saturée en eau. La nature des sels de déneigement peut également avoir une incidence sur le processus de dégradation observé. Par ailleurs, les ions chlore des sels de déverglaçage peuvent engendrer un risque de corrosion pour les armatures.



Figure 1-9 : dégradation due aux sels de déverglaçage

### **C- Les incendies**

Les incendies conduisent à des dégradations de béton qui provoquent des endommagements significatifs pour les armatures et le béton. Ce phénomène qui est l'incendie travail à augmenter la température du béton (une température supérieure à 700° C à une dizaine de centimètre du parement au bout de 4 heures), ensuite les transformations irréversibles sont dues aux constituants du béton.

Mécaniquement, une vaporisation brutale de l'eau provoque des contraintes importantes dont le béton est peu perméable, et à la fin, ce phénomène conduit à des fissurations et des éclatements dans le béton. [4]



**Figure 1-10 : Eclatement de l'enrobage.**

### **1.1.3 Les pathologies à risque élevé :**

#### **1.1.3.1 La carbonatation :**

Le dioxyde de carbone de l'air peut réagir avec l'hydroxyde de calcium du béton pour former du carbonate de calcium. Ce processus est appelé carbonatation, qui est essentiellement l'inversion du processus chimique de calcination de la chaux se déroulant dans un four à ciment. La carbonatation du béton est un processus lent et continu qui progresse de la surface externe vers l'intérieur, mais qui ralentit avec l'augmentation de la profondeur de diffusion. La carbonatation a deux effets: elle augmente la résistance mécanique du béton, mais elle diminue également l'alcalinité, ce qui est essentiel pour la prévention de la corrosion de l'acier d'armature. [5]

En dessous d'un pH de 10, la fine couche de passivation de surface de l'acier se dissout et la corrosion est favorisée. Pour cette dernière raison, la carbonatation est un processus indésirable dans la chimie du béton. Il peut être testé en appliquant une solution de

phénolphtaléine, un indicateur de pH, sur une surface de fracture fraîche, qui indique des zones non carbonées et donc alcalines de couleur violette. [6]

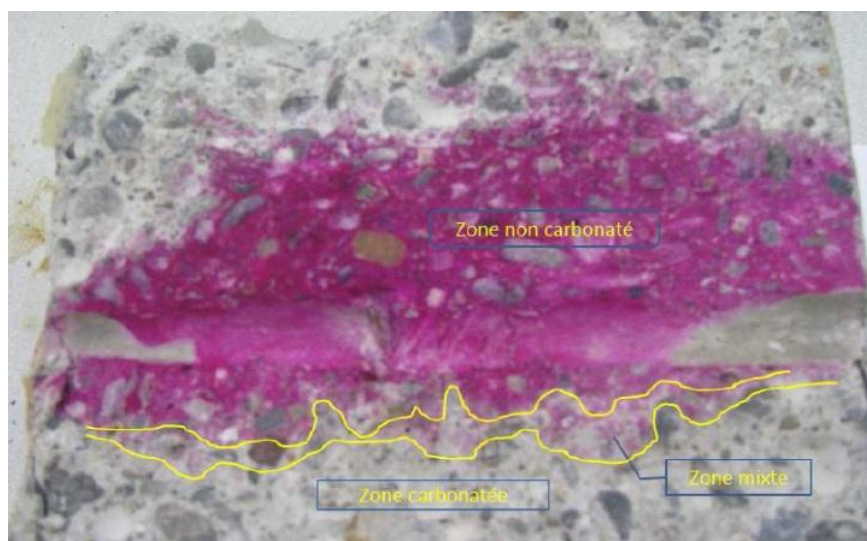


Figure 1-11: La carbonatation

### 1.1.3.2 La corrosion des armatures : [7]

La corrosion des armatures est la principale cause de perturbations dans les structures en béton armé et précontraint, la corrosion des armatures en acier dans le béton est la cause la plus fréquente de détérioration de ces derniers, en plus d'une diminution de la capacité portante résultant de la réduction de la section effective. Le métal oxydé peut augmenter jusqu'à 10 fois sa taille d'origine, ce qui entraîne des forces de souffle intenses dans le béton qui finiront par se fissurer.

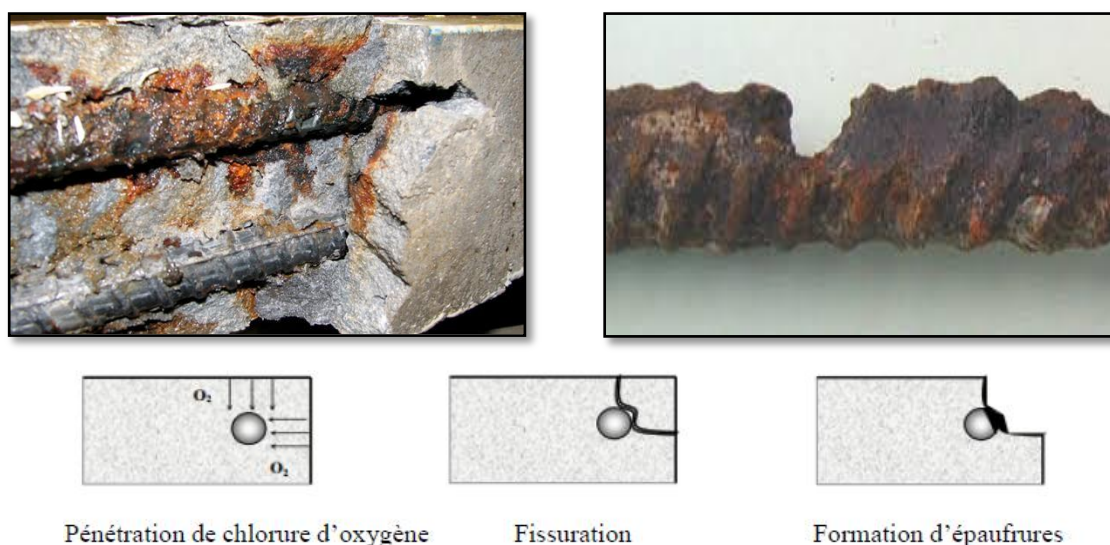


Figure 1-12 : La corrosion de armature

### **1.1.3.3 La Fissure :**

La fissure est la manifestation visuelle d'un état anormal de contrainte, de tension ou de cisaillement, qui a déjà atteint le point de casser le matériau, si les scientifiques tentent de classer les fissures en fonction de leur origine, tout cela est causé par la contrainte dépassant la limite de traction à un certain moment de la vie de la structure.

Cela affecte les surfaces des bâtiments, le pavage, les appareils de plomberie, etc. Par convention, la fissure a entre 0.2 et 2 mm de largeur; au-dessous il s'agit d'un faïençage ou d'un simple fil; au-dessus, la fissure est une lézarde.

Dans leur majorité, les fissures n'ont qu'un inconvénient esthétique: fissure de retrait, ou de mouvement différentiel à la jonction de deux matériaux.

Les fissures sont graves si elles portent atteinte à l'imperméabilité des parois (fissures Pénétrantes laissant passer l'eau de pluie à travers un mur exposé); plus graves encore sont les fissures traduisant un affaissement des fondations, ou des mouvements du sol. est important avant tout de souligner qu'il est impossible aujourd'hui d'éviter la fissuration du béton armé, que ce soit lors de la mise en œuvre, due par exemple au retrait de dessiccation ou sur le béton durci, dû au vieillissement du matériau.

Les causes de la fissuration sont multiples, mais peuvent être répertoriées en quatre catégories :

- 1- Les causes dues aux propriétés des matériaux, avec par exemple le retrait suite à l'évaporation de l'eau de gâchage, le gonflement engendré par la réaction exothermique du liant ou encore à la résistance mécanique de la cohésion du liant.
- 2- Les causes directes externes, avec notamment les déformations excessives sous l'action des charges ou encore des déformations sous l'action des variations de température ou sous l'action de l'humidité.
- 3- Les causes externes indirectes, à savoir les répercussions sur certaines structures d'actions provenant d'autres éléments tels que les tassements différentiels des fondations.
- 4- Les causes dues à un phénomène de corrosion des armatures, les armatures corrodées ayant un volume plus important que les aciers en bon état, l'état de contrainte du béton au droit d'une armature corrodée est plus important et la fissuration s'enclenche.

Parmi les différents types de fissures, on distingue principalement trois catégories :

A- Le faïençage, c'est un réseau caractéristique de microfissures qui affecte principalement la couche superficielle du béton.

B - Les microfissures, ce sont des fissures très fines dont la largeur est inférieure à 0,2 mm.

C - Les fissures, ce sont des ouvertures linéaires au tracé plus ou moins régulier dont la largeur est d'au moins 0,2 mm .

Il est important lors du processus de réhabilitation d'un ouvrage, de s'intéresser à l'évolution de la largeur d'une fissure. Il est possible de classer les fissures en trois catégories selon leur évolution :

Les fissures passives ou mortes, pour les fissures dont les ouvertures ne varient plus dans le temps, quelles que soient les conditions de température, d'hygrométrie ou de sollicitation de l'ouvrage. Cependant, elles sont rares, car les matériaux alentour à la fissure varient selon la Contraction d'un matériau provoquée par l'élimination de l'eau de gâchage excédentaire (bétons, enduits). Les tensions internes provoquées par les retraits ont pour effet soit de réduire les dimensions extérieures des matériaux, soit de les déformer, soit de provoquer leur rupture:

Faïençage des enduits, microfissuration du béton.

Le retrait des bétons et mortiers de ciment commence par un retrait plastique (légère contraction par évaporation , dès la mise en place); puis intervient le retrait hydraulique, élimination d'eau de gâchage excédentaire, qui se poursuit de façon décroissante pendant longtemps.

De façon générale, un béton ou un mortier a d'autant plus de retrait que sa concentration en ciment est importante.

### **Fissures dans les poteaux :**

Les fissures dans les poteaux sont toujours graves et devraient être examinées avec la plus grande attention

#### ***Fissures en diagonale dans les poteaux:***

Les fissures en diagonale dans les poteaux signifient une rupture en compression

Ces poteaux sont donc cassés. Ils devraient donc être refaits

#### ***Fissure en croix dans les poteaux:***

Ces fissures sont caractéristiques des ruptures alternées sous séisme et sont souvent l'expression du blocage des poteaux courts

#### ***Fonctionnement en poteau court:***

Le poteau bloqué sur une partie de sa hauteur, réagit comme un poteau court. Plus rigide que les poteaux environnants, la distribution des efforts sismiques s'en trouve déséquilibrée, et du

fait de sa rigidité, ce poteau explose sous l'intensité de l'effort sismique (voir photo ci-dessus).

***Fissures de cisaillement:***

On peut rencontrer des fissures horizontales en général en extrémité de poteau, soit en haut, soit en bas .

Ces fissures très dommageables pour les poteaux entraînent assez souvent leur effondrement.

Elles sont souvent produites par les poussées en diagonales des maçonneries lorsque celles-ci reprennent les efforts sismiques.

Fissures de compression ou de traction dans les poteaux d'angle

***Fissures de flambement:***

Ces fissures généralement situées en pied de poteau peuvent indiquer un flambement du poteau.

Elles sont dangereuses et les poteaux devraient être refaits

***Fissures liés à des éclatements des aciers:***

Les aciers utilisés dans des bétons poreux ou réalisés avec du sable de mer ou avec des taux de chlorures élevés ne sont pas correctement protégés contre la rouille ils se corrodent et finissent par faire éclater le béton sous séisme ces phénomènes peuvent émerger prématurément cela peut entraîner des ruptures fragiles dans les poteaux du fait de l'absence de ductilité dans les aciers. [8]



**Figure 1-13 : Fissures dans les poteaux**

- **Fissures dans les voiles en béton armé**

***Fissures en croix***

Fissures caractéristiques des séismes, sur les voiles de contreventement

Signifie que le voile est passé en mode endommagement

Il n'y a plus de réserve de ductilité dans la structure celle-ci est donc très vulnérable à un nouveau séisme

***Fissures en diagonale dans les voiles béton***

Les fissures en diagonales dans les voiles de béton sont toujours révélatrices de mouvement dans la structure

Elles sont souvent liés à des tassements différentiels dans les fondations

Elles sont rarement isolées et la lecture du réseau de fissures permet de voir quelle est la fondation en cause

***Fissures horizontales dans les voiles BA***

Ce sont en générale des fissures de cisaillement

Ces fissures s'accompagnent en général de fissure en diagonale sur d'autres voiles

Elles peuvent signifier également un tassement d'une fondation

Il faut donc bien regarder les autres voiles

Sinon cela aussi peut être des fissures liées à des déplacements sous séisme

***Fissures verticales dans les voiles BA***

Les fissures verticales dans les voiles sont généralement dues au retrait du béton

Elles sont rarement dangereuses

On les trouvera dans les bâtiments de grandes longueurs supérieures à 25 m



**Figure 1-14 :** Fissures dans les voiles en béton armé

## **1.2 DIAGNOSTIC :**

Le diagnostic d'un ouvrage est une étape importante dans le processus de sa réhabilitation. Il permet avant tout de se prononcer son état de santé et de voir quelles sont les éventuelles pathologies ainsi que leur ampleur. Généralement lorsque l'on effectue un diagnostic, c'est quand un client a découvert quelque chose qui n'allait pas dans le fonctionnement de l'ouvrage ou bien l'apparition de Désordres.

Le diagnostic peut avoir principalement deux finalités. Dans un premier temps, il peut être demandé de suivre l'évolution des différentes pathologies dans le temps, que ce soit à court, moyen ou long terme. Cela permet d'évaluer le comportement de l'ouvrage sous l'effet de ces troubles, de voir s'il y a une stagnation du phénomène ou s'il y a une dégénérescence, auquel cas il est important de prévoir des réparations. L'autre finalité d'un diagnostic c'est de répertorier tous les désordres, mais aussi la constitution de chaque élément, en vue d'un traitement immédiat. En effet, le choix des investigations dans un diagnostic d'ouvrage dépend:

- Du type de mission à réaliser ; selon ce que souhaite le client, il est possible de réaliser différents types de missions à savoir
  - o Une inspection de l'ouvrage.
  - o Un diagnostic.
  - o Un diagnostic approfondi.
  - o Un suivi d'ouvrage.

Chacune de ces missions met en œuvre différentes méthodes de diagnostic, de plus ou moins grande ampleur, mais aussi une interprétation des résultats plus ou moins poussée.

- De la nature des matériaux ; Le diagnostic d'un ouvrage en béton armé ne fera pas appel aux mêmes techniques d'investigation que pour un ouvrage en bois, en acier ou en pierre. De plus, chacun de ces matériaux a ses propres pathologies types.

- Du type de structure ; Les moyens à mettre en œuvre seront différents selon qu'il s'agisse d'un ouvrage d'art ou bien d'un bâtiment industriel ou un bâtiment d'habitations. La géométrie et la taille de l'ouvrage rentrent aussi en compte dans le choix des investigations.

- De l'environnement de l'ouvrage ; Il est important de prendre en considération l'environnement dans lequel se trouve l'ouvrage, car il peut être à l'origine de ces pathologies. C'est le cas notamment pour les structures en milieu chimique ou pour les structures en milieu chimique ou pour le bâtiment « La Saline » pour lequel sa structure se

trouve dans un milieu , avec beaucoup d'éléments de chlorures ,directement lié à l'activité se déroulant dans le bâtiment.

- De l'état de l'ouvrage ; Les investigations dépendent d'une part des désordres qui affectent l'ouvrage, le matériel et le type d'investigation à mettre en oeuvre seront différents pour des armatures corrodées ou pour des fissures .Mais cela dépend aussi de la fragilité de l'ouvrage.

### **1.2.1 TYPES D'INVESTIGATION :**

Il est possible de classer les différentes investigations en deux catégories soit les méthodes non destructives, soit les méthodes destructives. Les principales méthodes rencontrées lors de diagnostics sont décrites dans la suite.

#### **1.2.1.1 INVESTIGATIONS NON DESTRUCTIVES :**

Le principe de ces méthodes de diagnostic réside dans le fait que l'on analyse l'ouvrage ou une partie de l'ouvrage sans porter atteinte à son intégrité. Ceci est à privilégier dans différents cas, par exemple les bâtiments classés monuments historiques ,pour lesquels il est difficile de faire accepter aux architectes des bâtiments de France qu'il soit utile d'effectuer des prélèvements de la structure pour pouvoir la caractériser. Ces méthodes sont à favoriser aussi dans le cas d'ouvrage dont la structure est très atteinte et affaiblie. Effectuer des prélèvements sur ce type de structure risque de la fragiliser encore plus.

Il existe différentes méthodes non destructives

##### **1.2.1.1.1 RELEVÉ VISUEL :**

Le diagnostic visuel consiste à aller sur site et d'analyser chaque élément de la structure en détail.

Ainsi, cela permet dans un premier temps de connaître les caractéristiques géométriques de chaque élément et aussi les matériaux constitutifs. Cela permet d'évaluer le comportement global de l'ouvrage, de connaître les éléments porteurs ainsi que l'acheminement des charges dans la structure. Dans un second temps, il est nécessaire de répertorier les différentes pathologies présentent sur la structure. Les principaux désordres rencontrés pour les structures en béton armé sont les suivants :

- Les fissures, avec leur ouverture et leur longueur.
- Les fractures, avec leur ouverture, décalage ou rejet.
- La présence de coulures de calcite.
- Les zones d'altération superficielles et profondes.
- Les zones humides.
- Les zones de mousses ou de végétation.

- Les zones de faïençage .
- Les éclats de béton en formation ou profonds .
- Les aciers apparents .
- Les zones de ségrégation.

Tous ces éléments doivent être répertoriés sur des plans, accompagnés d'un reportage photographique des principaux désordres. Cette première étape permet de définir la gravité des troubles mais aussi de permettre de classer les différents éléments selon leur priorité.

#### **1.2.1.1.2 Scléromètre : [9]**

Il s'agit sans aucun doute de l'instrument le plus utilisé dans le diagnostic des ouvrages déjà bâtis. Le scléromètre est composé d'une tige en acier, sortant d'un cylindre, qui est appuyée sur le béton et comprime un ressort. En fin de course, ce ressort projette une masse sur la tige, sur laquelle elle rebondit ; ce rebondissement, d'autant plus important que le béton est dur, est mesuré la dureté soit par index (sur les anciens modèles) soit sur un cadran digital pour les modèles récents.

Il existe une relation directe entre la dureté superficielle et la résistance du béton à la compression.

##### **a. Objectif de l'essai :**

Cet essai permet de tester l'homogénéité du béton in situ et d'obtenir une estimation rapide de la résistance du béton d'un ouvrage, sans procéder à des prélèvements de béton durci par carottage.

##### **b. Principe de l'essai :**

Le principe de base de l'essai au scléromètre est que le rebond d'une masse élastique dépend de la dureté de la surface sur la quelle frappe la masse.

Dans l'essai au scléromètre une masse approximative de 1.8 kg montée sur un ressort a une quantité potentielle fixe d'énergie qui lui est transmise par un ressort tendu à partir d'une position fixe, ce que l'on obtient en pressant la tête du marteau contre la surface du béton mis à l'essai. Lors de son relâchement, la masse rebondit depuis la tête, toujours en contact avec la surface du béton et la distance qu'elle parcourt, exprimée en pourcentage de l'extension initiale du ressort est appelée l'indice de rebondissement. Cet indice est indiqué par un curseur qui se déplace le long d'une règle graduée.

Quelques modèles de scléromètres impriment le relevé des résultats sur un rouleau de papier paraffiné. L'indice de rebondissement est une mesure arbitraire, car elle dépend de l'énergie emmagasinée par le ressort et de la dimension de la masse.

**Tableau 1-1:** Moyens de mesure selon le type de recul au scléromètre.

| Type de recul   | Moyen de mesure        |
|-----------------|------------------------|
| Recul linéaire  | Un indicateur à lame   |
| Recul angulaire | Un système de freinage |

### c. Appareillage :

Il existe plusieurs modèles de scléromètres selon le type de recul ainsi que l'énergie d'impact.

Le modèle le plus utilisé est le scléromètre SCHMIDT (Suisse).

L'appareil est composé d'une masselotte chargée par un ressort qui se projette sur une tige métallique appelée tige de percussion. Il est livré avec une pierre à polir et un bloc d'étalonnage.

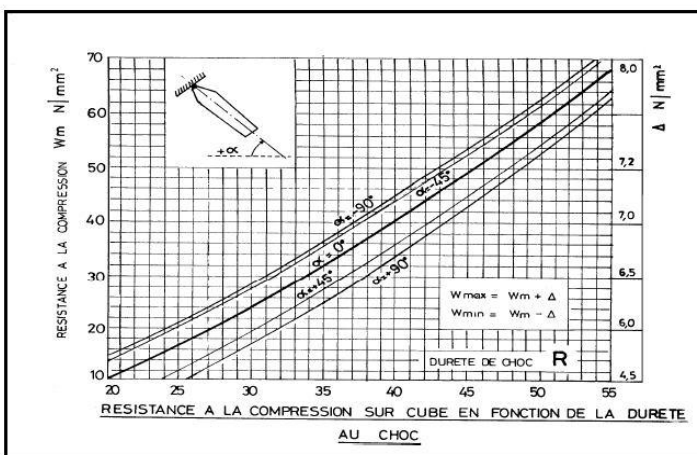


**Figure 1-15 :** Scléromètre ou marteau de Schmidt

### d. Mode Opératoire :

#### a - Préparation de la surface :

Les mesures doivent être effectuées sur des surfaces nettes ne présentant pas de nids de gravier, des écaillages, de texture grossière, de porosité élevée ou d'armatures affleurantes. La préparation de la surface consiste à éliminer tout enduit ou peinture adhérent ou poncer si cette surface est constituée d'une couche superficielle friable. Toute trace d'eau sur la surface doit être essuyée.

**b - Points de mesures :**

La surface de mesure doit être divisée en zones de 400 cm<sup>2</sup> au moins, et structurée en une grille de points de mesure ayant pour espacement  $d = 30 \div 50$  mm. Les points de mesures extrêmes doivent être au moins à 30 mm des bords de la surface testée.

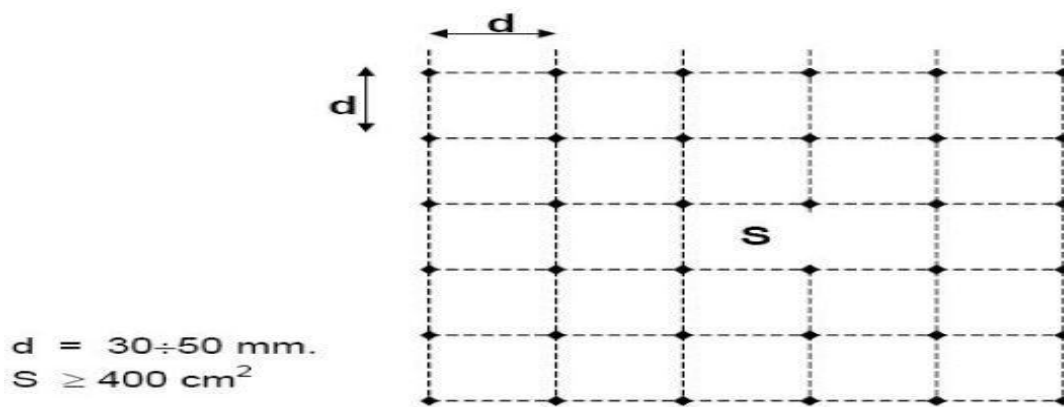


**Figure 1-16 :** Grille de mesure sur ouvrage

Effectuer au moins 10 mesures successives dans la même zone. La surface de cette zone est équivalente à celle d'un carré d'environ 25 cm de côté. Au cours de ces mesures, il convient de ne pas effectuer l'essai à moins de 3 à 4 cm des bords de l'élément testé.

**e. Méthodes de mesure de l'Indice de rebondissement :**

L'indice de rebondissement est la mesure enregistrée sur une échelle graduée fixe par rapport au bâti de l'appareil de scléromètre, après la projection d'une masselotte chargée par ressort sur une tige métallique en contact avec la surface du béton. Cette mesure est fonction de l'angle d'inclinaison de l'appareil par rapport à l'horizontal.

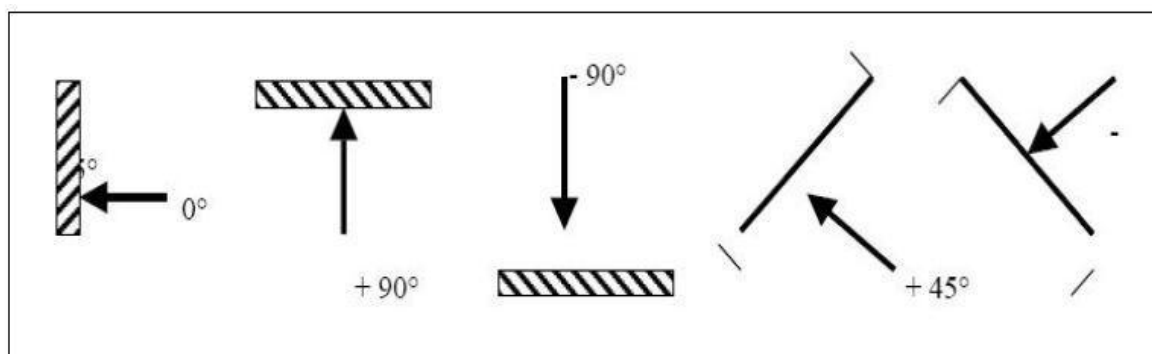


**Figure 1.17 :** Inclinaisons possibles par rapport à l'élément à ausculter

**f. Inconvénients de la méthode sclérométrique :**

La méthode sclérométrique constitue une voie directe utilisée pour la détermination du degré d'homogénéité du béton et la dureté de la surface de l'élément en béton. Bien que l'essai au scléromètre soit utile, il ne constitue nullement une mesure fiable de la résistance du béton compte tenu des paramètres influant la précision de détermination de cette résistance. Plusieurs méthodes sont utilisées pour la transformation des indices sclérométriques en résistance mécanique à la compression du béton.

**j. Les avantages de la méthode sclérométrique :**

- C'est une méthode peu coûteuse, simple et rapide [10].
- L'essai au scléromètre est comparatif, il est utile pour évaluer l'homogénéité du béton dans une structure ou lors de la fabrication d'éléments semblables des éléments préfabriqués [11].
- L'essai peut aussi être utilisé pour vérifier si la valeur de l'indice de rebondissement a atteint la valeur désirée correspondant à la résistance du béton, ce qui peut aider à décider du moment où l'on peut mettre la structure en service.
- Une utilisation de cet essai est de pouvoir vérifier si le développement de la résistance d'un béton a été affecté par le gel au jeune âge. (Selon la norme ASTM C 805-85 un béton encore gelé peut donner un indice de rebondissement très élevé).
- Une application particulière de l'essai au scléromètre consiste à évaluer la résistance à l'abrasion des planchers de béton, qui dépend largement de la dureté de surface.

**1.2.1.1.3 Méthode d'auscultation dynamique : [12]****a. Objectif :**

Le but de l'essai est d'apprécier la qualité du béton d'un ouvrage, sans procéder à un prélèvement d'éprouvette par carottage.

**b. Principe :**

Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde, d'où le nom de la méthode (essai de vitesse de propagation d'ondes sonores) à parcourir une distance connue. D'après LESLIE et CHEESMAN, l'état du béton totalement inconnu peut se déterminer approximativement selon la vitesse mesurée.

Les impulsions sont produites par des cristaux piézo-électriques à excitation par choc des cristaux semblables sont utilisées dans le récepteur JONS.R ET FACAOARU.

La fréquence de générateur d'ondes est comprise entre 10 et 150 HZ, le temps de propagation des ondes dans le béton est mesuré par des circuits de mesure électroniques.

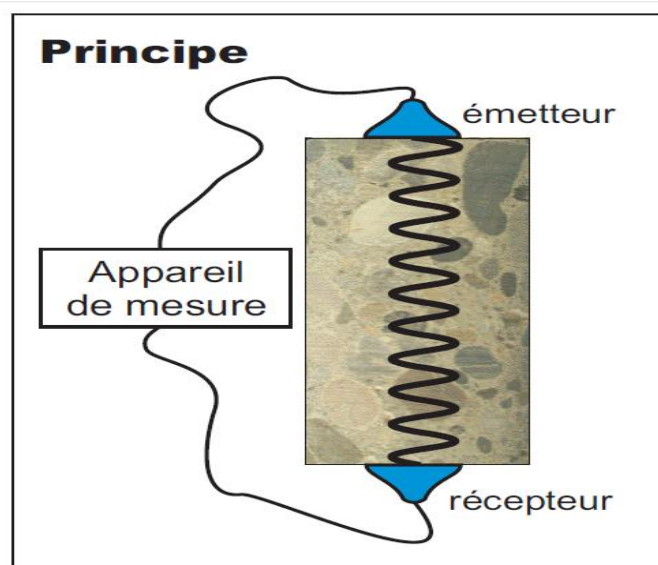


**Figure 1-18:** Appareil de mesure

La relation entre la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques et la résistance à la compression est affectée par un nombre de variables tel que l'âge du béton, les conditions d'humidité, le rapport entre les granulats et le ciment, le type des granulats et la localisation des aciers et les fissures. La technique ne peut pas être employée pour la détermination de la résistance de béton fabriqué par différents matériaux dont on ne connaît pas les proportions. Ces facteurs représentent un inconvénient majeur des essais non destructifs dans lequel la propriété du béton que l'on mesure est affectée par divers facteurs dont l'influence est différente de ce qu'elle est dans la résistance du béton. Cette technique pour l'estimation de la résistance du béton in situ n'est pas encore considérée, dans la pratique, comme un outil de remplacement au cylindre standard et aux cubes, mais peut être utilisée comme une technique additionnelle, quand elle sera exécutée avec des essais de carottage.

A l'utilisation de la valeur de la vitesse de propagation d'une onde sonore pour déterminer la résistance du béton, il faut mentionner qu'il n'y a pas de relation physique entre les deux selon STURRUP, VECCHIO ET CARATIN.

Les essais consistant à mesurer la vitesse de propagation des impulsions peuvent être effectués sur des éprouvettes de laboratoire comme sur des ouvrages en béton terminés.

Certains facteurs influent toutefois sur la prise de mesures :

- Les ondes sonores se déplacent plus vite à travers un vide rempli d'eau qu'à travers un vide rempli d'air. Par conséquent les conditions d'humidité du béton influencent la vitesse des ondes sonores selon [13]
- La surface sur laquelle l'essai est effectué doit épouser parfaitement la forme de l'appareil qui lui est appliqué, il est recommandé d'employer un matériau intermédiaire entre le béton et les transducteurs. Les matériaux d'interposition sont la vaseline de commerce, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de Glycérol. Lorsque la surface de béton est très rugueuse, il est nécessaire de poncer et d'égaliser la partie de la surface où le transducteur sera fixé.
- Une augmentation de la vitesse des impulsions se produit à des températures sous le point de congélation à cause du gel de l'eau; entre 5 et 30°C, la vitesse des impulsions n'est pas subordonnée à la température. [14]
- La présence d'acier d'armature dans le béton en particulier l'armature qui suit le trajet de l'onde entraîne une augmentation de la vitesse BUNGEY(1989). Il est par conséquent souhaitable et souvent indispensable de choisir des parcours d'impulsions qui ne sont pas influencés par la présence d'acier d'armature ou d'effectuer des corrections si l'acier se trouve sur le parcours de l'impulsion .

**c. Mode Opératoire :****a - Travaux préparatoires :**

- Poncer et égaliser la partie de la surface de l'élément à ausculter où le transducteur sera fixé .

Employer un matériau intermédiaire entre les deux et en prenant soin de vérifier que l'appareil est bien appliqué contre la surface à tester à l'aide d'un matériaux d'interposition comme la vaseline, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de glycérol.

**b - Points de mesures :**

Le nombre de points de mesures dépend des dimensions de l'ouvrage à tester. Pour un grand panneau (dalle, voile, radier, etc.) les points de mesures sont situés aux intersections d'un quadrillage d'une maille de 0.5m. Le cas des petits éléments (poteaux, poutres, etc.), les mesures se font en six points.

**d. Distances minimales entre points de mesures :**

On recommande une distance minimale de parcours de 400 mm pour les mesures en surface.

**e. Étalonnage de l'appareil :**

L'ultrason doit toujours être contrôlé par des essais d'étalonnage avant chaque utilisation.

L'étalonnage consiste à vérifier le temps de propagation à travers la tige d'étalonnage dont le temps est connu à l'avance. Il faut ajuster l'ultrason dans le cas où le temps mesuré ne correspond pas à celui marqué sur la tige d'étalonnage.

**f. Manières de mesure :**

La détermination de la vitesse de propagation des ultrasons se fait de trois manières, suivant le type de l'élément à tester :

**a - Mesure en transparence (directed) :**

- Les mesures en transparence sont utilisées dans le cas des éprouvettes, des poteaux ou de certaines poutres. Les transducteurs sont appliqués sur les deux faces de l'élément à tester.

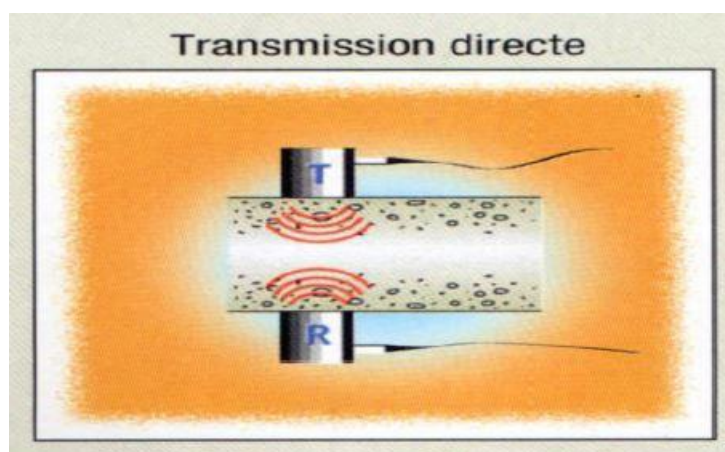


**Figure 1-19 : Mesures en transparence (directe)**

**b - Mesures en surface (indirecte) :**

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les dalles et éléments en longueur.

L'émetteur est maintenu en un point fixe, le récepteur est déplacé successivement à des distances marquées à l'avance.

Après avoir relevé le temps correspondant à un point considéré, on passe au point suivant.

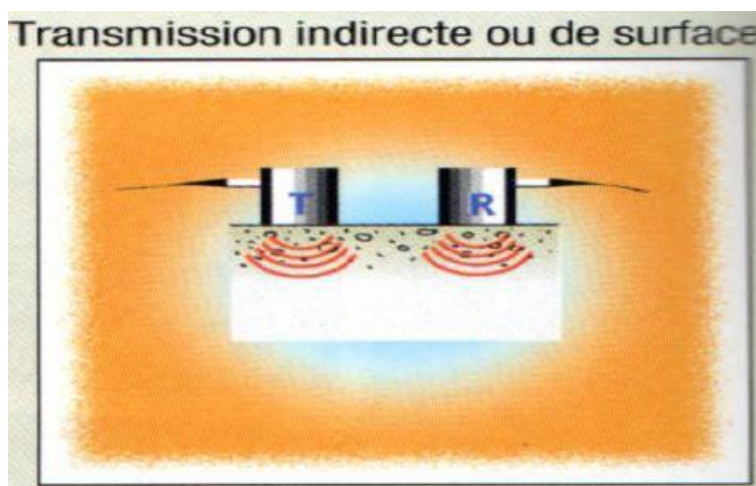


Figure 1-20 : Mesures en surface

**c - Mesures semi directe :**

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les éléments de structure où on ne peut pas utiliser les deux autres manières.

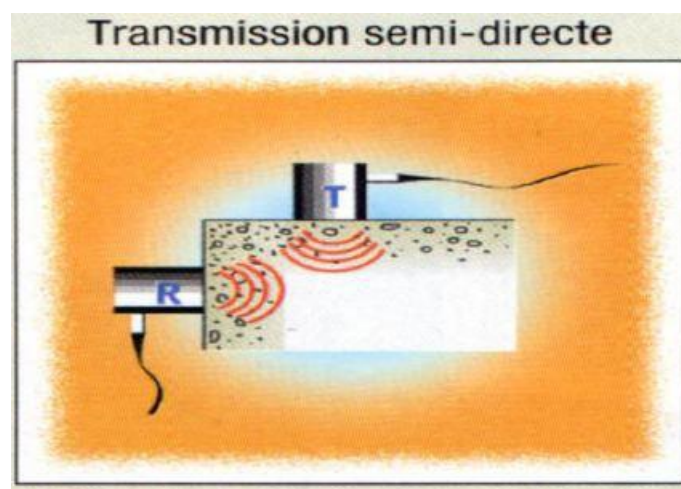


Figure 1-21 : Mesures semi directe

**j. Interprétation des résultats de mesure aux ultrasons :**

Dans un milieu homogène et isotrope, la vitesse des ondes longitudinales des ultrasons est reliée au module d'élasticité et à la masse volumique. Cette relation donne une base logique pour utiliser des mesures de vitesse des ondes pour estimer la résistance à la compression du béton. Mais il faut mentionner qu'il n'y a pas de relation physique unique entre les deux paramètres compte tenu de l'influence des différents constituants entrant dans la composition

du béton. Par conséquent une corrélation plus fiable entre la vitesse de propagation des ultrasons et la résistance du béton à la compression ne peut être établie que dans des limites strictes données ci-après.

**a - Paramètres influant la vitesse des ultrasons :**

La vitesse des ondes ultrasoniques à travers le béton résulte du temps mis par les ondes pour traverser la pâte de ciment durci et les granulats. Elle dépend énormément du module d'élasticité des granulats et de leur quantité dans le béton. Par ailleurs, la résistance du béton ne dépend pas nécessairement du dosage en gros granulats ou de leur module d'élasticité. Cependant pour un granulat donné et une composition donnée, la vitesse de propagation des ondes dépend des modifications de la pâte de ciment durci, telles qu'un changement du rapport Eau/Ciment qui influe le module d'élasticité de la pâte. De plus d'autres facteurs influencent la propagation des ondes sonores à savoir :

- ✓ Le type de ciment .
- ✓ Le dosage en ciment .
- ✓ La nature des granulats.
- ✓ La granulométrie .
- ✓ L'humidité du béton .
- ✓ La maturité du béton .
- ✓ Les adjuvants.

**b - Autres interprétations possibles :**

Les résultats obtenus en appliquant la courbe de la RILEM sont donnés dans le cas où le béton testé est considéré connue. Les résistances ne correspondent pas toujours à la résistance réelle du béton in situ. Seuls les appréciations suivantes sont données :

- Classements qualitatifs :
  - $2500 \text{ m/s} \leq V < 3200 \text{ m/s}$  béton de faible résistance.
  - $3200 \text{ m/s} \leq V < 3700 \text{ m/s}$  béton de moyenne résistance.
  - $3700 \text{ m/s} \leq V < 4200 \text{ m/s}$  béton à haute résistance,
  - $V \geq 4200 \text{ m/s}$  béton à très haute résistance.
- Estimation de la résistance du béton selon RILEM

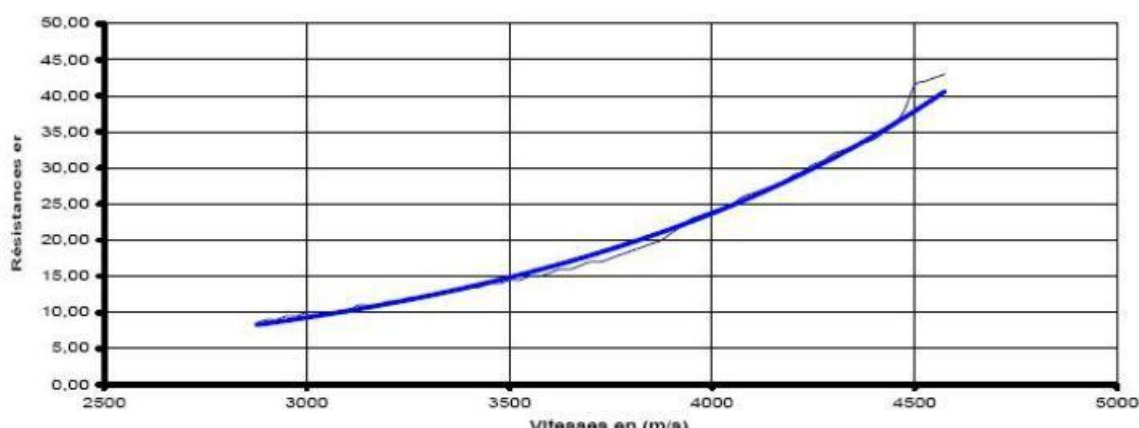


Figure 1- 22 : Courbe RILEM

#### h. Les avantages :

- C'est une méthode idéale pour déterminer l'homogénéité du béton.
- L'essai peut être utilisée autant sur les ouvrages complétés que sur ceux en construction
- La mesure des ondes sonores présente l'énorme avantage de donner des informations sur l'intérieur d'un élément de béton. Et selon CHUNG ET LAW l'essai de propagation des ultrasons peut être utilisé pour détecter la fissuration (mais les fissures parallèles au déplacement de l'onde), les vides détériorations dues au gel ou de feu et l'uniformité du béton dans des éléments semblables. L'essai de propagation des ultrasons peut être utilisé pour suivre les changements microstructuraux en un élément par exemple à la suite de cycles répétés de gel dégel.
- ELVERY ET IBRAHIM pendant leurs études sur la relation de la vitesse et la résistance dans plusieurs âges ont montrés que l'essai peut aussi être utilisé pour évaluer la résistance du béton à très jeune âge, à partir de trois heures et plus, ce qui peut être intéressant dans le domaine de la préfabrication du béton suivre les recommandations spécifiques à cette méthode. Les matériaux sont conservés à la température nécessaire pour le béton ou le mortier confectionné.

#### 1.2.2.1 INVESTIGATIONS DESTRUCTIVES :

Les investigations destructives dans les structures en béton armé peuvent prendre plusieurs formes. Soit on y a recours pour effectuer un prélèvement de matériau pour connaître ses caractéristiques géométriques, mécaniques et chimiques, soit c'est pour avoir accès à des éléments interne ou sous-jacent à la structure. Cela permet aussi de connaître leur état d'altération en profondeur ainsi que l'ampleur des pathologies.

### 1.2.2.1.1 CAROTTAGE D'ÉLÉMENTS EN BÉTON ARMÉ :

Le recours au carottage du béton armé peut avoir plusieurs objectifs.

- Tout d'abord dans un dallage afin de permettre la réalisation d'essais géotechniques sur le sol en place tel que des pénétromètres dynamiques ou des tarières. Ceci pour caractériser le sol sous la structure dans le cadre d'une rénovation ou d'une restructuration de l'ouvrage.
- Afin de pouvoir déterminer les caractéristiques chimiques et mécaniques d'un élément en béton de la structure, en effectuant des essais de compressions sur les carottes prélevées, mais aussi des analyses chimiques et microscopiques afin de déterminer les différents constituants et leur quantité. Cela permet de déterminer quel type de ciment a été utilisé ainsi que le rapport E/C.
- Déterminer les caractéristiques des couches constituant de l'élément (épaisseur du revêtement, de la chape, du béton,...) La norme NF EN 13791 de septembre 2007 indique deux méthodes pour «l'évaluation de la résistance à la compression sur site des structures et des éléments préfabriqués en béton». La méthode à utiliser varie selon le nombre d'éléments carottés dans la structure concernée, mais dans tous les cas, elle permet d'estimer la classe de résistance du béton.

Cette méthode nécessite le recours à une carotteuse et il peut être nécessaire de déterminer préalablement le ferrailage de l'élément afin d'éviter d'avoir des aciers dans la carotte. Ceci pour deux raisons : d'une part, cela fragilise plus la structure si les aciers prélevés ont un rôle important, d'autre part les résistances à la compression obtenue, sur une carotte dans laquelle il y a présence d'acier, sont faussées. Pour les mêmes raisons, il faut éviter de carotter un élément sur une fissure.



**Figure 1-23 : carottage du béton**

### □ PRÉLÈVEMENTS D'ACIERS :

Le prélèvement d'acier peut s'avérer utile notamment lorsqu'un recalcul d'une structure est demandé. Dans ce cas, il est important de connaître les aciers présents dans un ouvrage. Ainsi, en prélevant des aciers, cela permet de déterminer leur type, que ce soit des aciers Haute Adhérence, lisse, TOR, etc. mais aussi leurs caractéristiques mécaniques telle que la limite d'élasticité de l'armature. Tous ces éléments sont nécessaires afin de pouvoir déterminer quelles sont les charges pouvant s'appliquer sur l'élément et s'il est nécessaire de prévoir de renforcer la structure soit avec des tissus de fibre de carbone ou par ajout d'armatures afin de pouvoir répondre aux besoins du client ou des utilisateurs.

Le prélèvement d'aciers peut se faire par tronçonnage de l'armature, après l'avoir préalablement dégagé du béton adjacent. Il est préférable de le faire dans des zones saines pour ne pas risquer de fragiliser encore plus la structure à cet endroit.

Il peut parfois s'avérer utile de prélever localement des armatures dans des zones touchées par des pathologies, telle que la corrosion des armatures afin de pouvoir déterminer son avancement ainsi que la section restante d'acier pouvant être exploitée afin de déterminer les quantités d'armatures nécessaires à rajouter pour redonner à l'élément au minimum sa section d'acier initiale.



**Figure 1-24 : Prélèvement d'aciers**

### • TEST À LA CARBONATATION :

Le principe du test à la carbonatation repose sur le fait que le pH du béton carbonaté est plus faible que celui du béton sain. Pour déterminer la zone carbonatée, il est généralement utilisé un indicateur coloré tel que la phénolphthaléine.

La phénolphthaléine est un composé organique de formule  $C_{20}H_{14}O_4$ . L'utilité de ce composé est qu'il change de couleur selon le pH de l'élément avec lequel il entre en contact. Il fait partie des indicateurs de pH ou indicateur coloré. Ce changement de couleur est dû à une modification de la structure chimique de la molécule lors du passage de la forme protonée (milieu acide) à la forme déprotonnée (milieu basique).

La couleur que prend la phénolphthaléine dépend du pH. Elle sera rose pour un pH compris entre 8,2 et 12 et incolore au-delà et au-deçà de cette zone de virage.

Cet essai se réalise généralement sur une coupe fraîche de béton. Il faut y pulvériser la solution de phénolphthaléine, si la phénolphthaléine ne réagit pas, il faut approfondir la coupe dans le béton par paliers d'un centimètre et répéter les étapes précédentes jusqu'à ce que la phénolphthaléine vire au rose. Puis il est nécessaire de mesurer l'épaisseur entre le parement extérieur et la zone à laquelle commence la coloration du béton. Cela nous donne la profondeur de carbonatation du béton de cette zone. Il peut être utile de réaliser cette mesure en différents points d'un élément afin de pouvoir cartographier les profondeurs de carbonatation associées.

Il peut s'avérer intéressant de coupler les mesures de profondeur de carbonatation avec les mesures d'enrobages données par exemple avec un pachomètre de type Ferro scan. En effectuant un certain nombre de mesures, il est possible d'obtenir une courbe du type :

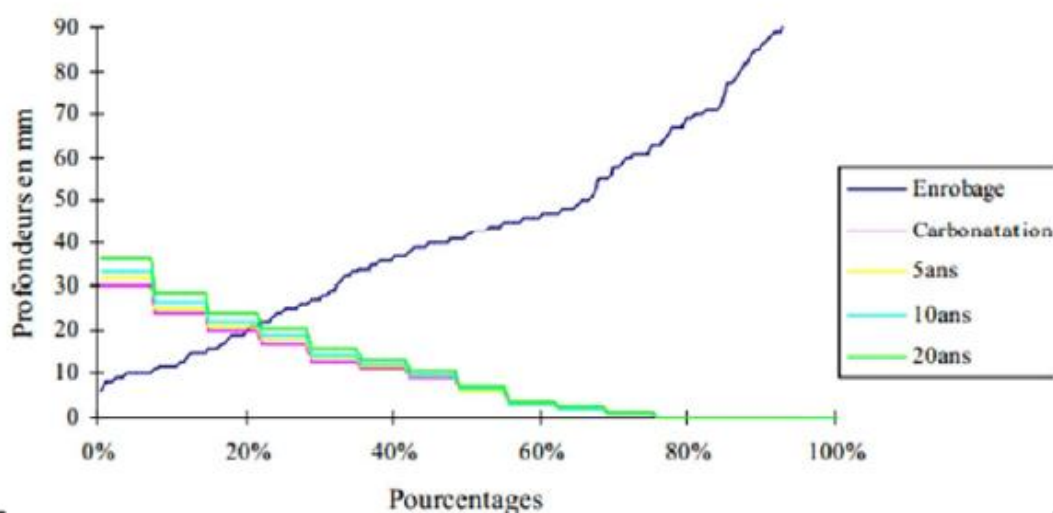


Figure 1-25 : Graphique enrobage-carbonatation

L'intersection de la courbe d'enrobage (courbe bleu foncé) avec celle de carbonatation (courbe rose) donne le pourcentage des armatures qui ne sont plus protégées.



**Figure 1-26 :** Carbonatation sur carotte

### 1.2.3 CONCLUSION :

Dans cette partie nous avons vu l'importance du diagnostic dans l'opération de réhabilitation d'un ouvrage ainsi que des différents moyens disponibles pour le réaliser. C'est l'étape clé qui permet de déterminer les types de pathologies dont souffre l'ouvrage ainsi que leur ampleur. Cela permet aussi de faire des prévisions quant à l'évolution de ces troubles. Mais c'est avant toute chose, l'étape qui va permettre de mettre en œuvre la méthode de réparation la plus adaptée. Cela permet aussi d'évaluer la cause de ces problèmes. Cette cause peut être tout simplement le vieillissement naturel de la structure, mais cela peut aussi être à cause de l'environnement alentours. Afin de rendre les réparations pérennes, il est nécessaire de mettre en œuvre des travaux de réparation et de protection adaptées, mais aussi de travailler sur l'origine du problème afin d'éviter l'apparition rapide de nouvelles pathologies semblables.



## **CHAPITRE 2**

# **Différentes techniques de réparation et de renforcement des ouvrages**

## **2.1 Différentes Méthodes de renforcement :**

### **2.1.1 Introduction :**

Le choix de la méthode de réparation et des matériaux à mettre en œuvre est défini en fonction de la nature et de l'importance des désordres constatés, en tenant compte des critères économiques des matériaux de construction, des conditions de chantier et des contraintes de site. Le principe du renforcement ou de la réparation consiste en l'adjonction de matière dans les zones où les sections sont trop sollicitées. Une section devient trop sollicitée si, du fait même des dispositions adoptées ou du changement des conditions d'exploitation, les efforts appliqués sont supérieurs à ceux pris en compte dans les calculs (problème du renforcement), ou bien si la résistance a diminué par suite de dégradation (problème de réparation).

Selon les cas étudiés, il est nécessaire de faire intervenir la notion de réhabilitation l'ouvrage visant à assurer par exemple des fonctions d'étanchéité ou à limiter les phénomènes de corrosion, la notion de réparation visant à restituer les caractéristiques initiales de portance (rigidité – résistance) et éventuellement, la notion de renforcement ayant pour objectif d'améliorer les performances de la structure vis-à-vis de conditions d'exploitation modifiées ou d'augmenter la durée de vie de l'ouvrage. Différentes technologies de réparation et de maintenance des ouvrages sont couramment utilisées depuis de nombreuses années. Les constructions sont soumises à des agressions (vieillessement, agressions climatiques, physiques ou chimiques...etc) susceptibles d'affecter les matériaux qui le constituent et de provoquer l'apparition de dégradations ou désordres (fissuration, fléchissement excessif, corrosion des armatures...).

La recherche de nouveaux procédés de restructuration afin de réduire les coûts de réhabilitation, amène à réfléchir sur l'application des méthodes ponctuelles de réhabilitation. L'objectif du renforcement par des nouvelles techniques (mortier fibré haute performance et matériaux composites) est de rendre à l'ouvrage existant son état structurel initial et d'accroître sa capacité. Ce type de réhabilitation permet d'éviter la pose d'aciers en milieu agressif et également de conserver la section hydraulique de l'ouvrage, contrairement à la technique de mise en place d'un chemisage en béton projeté armé d'une épaisseur importante (6 à 8 cm) avec risque de corrosion des armatures. En outre les durées de remise en service de l'ouvrage sont diminuées.

### **2.1.2 Méthodes non structurales de réparation et de renforcement des ouvrages en béton armé : [15]**

Ces méthodes nécessitent autant de soin que l'application de techniques de réparation et ou renforcement dites structurales. La réparation par reprise du béton dégradé suit généralement l'ordre chronologique suivant :

- préparation de la surface de béton à réparer.
- traitement des armatures éventuellement exposées.
- mise en œuvre d'un ou plusieurs matériaux d'apport.

#### **2.1.2.1 Préparation de la surface de béton :**

Avant de procéder à un ragréage, il est indispensable d'enlever toutes les parties de béton non adhérentes au support. Il est nécessaire de préparer avec soin les surfaces à traiter afin de créer un support sain, propre, rugueux, de nature à favoriser une bonne adhérence au niveau de la surface de reprise. Les techniques les plus courantes sont l'hydrodémolition, le décapage au marteau pneumatique ou, dans les cas extrêmes, au brise-béton, le bouchardage, le burinage et le piquage au petit marteau pneumatique.

Dans des ordres consécutifs à la corrosion des armatures, il faut également effectuer un dégagement complet avec mise à nu de l'armature afin d'éliminer des zones de béton apparemment sain mais qui peuvent être polluées par chlorures ou atteintes de carbonatation. Différentes techniques existent pour éliminer le béton dégradé [45]. Les plus classiques sont le sablage (à sec ou humide) ainsi que le décapage à l'eau à très haute pression.

#### **2.1.2.2 Protection des armatures :**

En présence d'aciers apparents corrodés, il est indispensable de les décaper (par sablage ou grenaillage), puis de leur conférer une nouvelle protection à l'aide de produits hydrauliques ou de résines organiques, voire de les remplacer dans les cas extrêmes. Il est essentiel de dégager les armatures non seulement sur leur face apparente mais sur tout leur pourtour de façon à éliminer toute la partie dé passivée du béton.

#### **2.1.2.3 Réparation du béton dégradé par apport de matériaux : [16]**

##### **a. Ragréage :**

Les produits de ragréages peuvent être classés en trois catégories :

- les produits à base de liants hydrauliques, constitués par un mélange de sable, de ciment, de résines miscibles dans l'eau et, éventuellement de fibres ; ce sont les produits les plus utilisés.

- les produits à base de résines de synthèse, constitués de sable (dans le cas de mortiers), de polymères organiques réactifs additionnés d'adjuvants spécifiques et, éventuellement, de charges minérales. Les produits les plus couramment utilisés sont ceux à base de résines époxy ou polyuréthanes.
- les produits mixtes, qui sont des produits à base de ciment et de polymère.

Le choix du produit est fonction de l'objectif de la réparation et dépend de nombreux paramètres comme les caractéristiques mécaniques et physico-chimiques des produits, des conditions de mise en œuvre ou encore de la durabilité.

#### **b. Traitement des fissures :**

Le traitement des fissures peut remplir plusieurs fonctions :

- une fonction d'étanchéité, en obstruant la fissure de façon à empêcher la pénétration de tout corps étranger et, en particulier l'eau ;
- une fonction de scellement, l'espace vide est alors rempli par un matériau adhérent ou non, déformable ou non ;
- une fonction mécanique, le matériau injecté rétablit alors le monolithisme de la structure, ses caractéristiques sont élevées et il adhère aux surfaces.

Les traitements sont alors effectués en surface ou dans la masse.

#### **c. Traitement en surface :**

Il permet de rétablir l'étanchéité (cas de corrosion, de cycles de gel-dégel). Trois techniques existent : le calfeutrement, le pontage et l'imprégnation .

#### **d. Traitement dans la masse :**

Le traitement dans la masse consiste à injecter en profondeur un produit liquide qui, après durcissement, a des caractéristiques mécaniques voisines de celles du matériau environnant. L'injection se fait par cheminement du produit liquide dans la fissure, de l'extérieur vers l'intérieur, après obturation de la partie visible de la fissure.

Deux grandes familles de produits existent, utilisables en traitement de surface comme en traitement dans la masse selon leur origine (minérale ou organique). Cependant, aucune garantie n'est véritablement donnée quant au succès de l'opération de l'injection et aucune note de calcul n'accompagne l'intervention .

### 2.1.3 Méthodes structurales de réparation et de renforcement des ouvrages en béton armé : [17]

Les différentes techniques structurales de renforcement et de réparation correspondent soit à la projection de béton fibré ou non fibré, soit au collage de tôles d'acier, soit au collage des plaques composites ou à l'insertion de barres composites dans des engravures préparées sur la surface de la poutre.

#### 2.1.3.1 Béton projeté :

Cette technique, très au point, utilisée tant pour le renforcement de structures insuffisantes ou défaillantes que pour la réparation d'ouvrage endommagés, exige pour sa mise en œuvre un personnel spécialisé. Le béton projeté peut être, ou non, combiné avec l'adjonction d'armatures complémentaires (Figure 2-1). La projection est réalisée soit par voie sèche, soit par voie mouillée. Dans le premier cas, la grande vitesse de projection (80 à 100 m/s) fait que le procédé par voie sèche est particulièrement recommandé pour la réparation des ouvrages car il permet d'obtenir un béton très compact. Dans le second cas, la faible vitesse de projection (10 à 40 m/s) rend indispensable l'exécution préalable d'une couche d'accrochage. La projection est possible dans toutes les directions, en particulier en plafond.

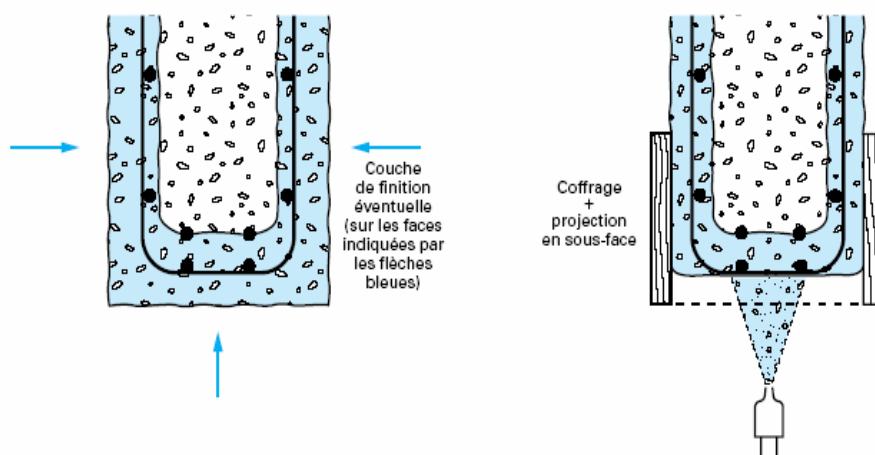


Figure 2-1 : Réparation de poutre par béton projeté

Le tableau 2-1 illustre les avantages et les inconvénients de chacune de ces méthodes. Une description détaillée de cette technique est donnée dans l'ouvrage de Ressue. Selon Ressue, les travaux de réparation par béton projeté se regroupent en deux catégories : les réparations superficielles et les réparations profondes. Grâce à son adhérence au support, à ses caractéristiques très proches de celles du béton coffré, aux possibilités de mise en place

et d'enrobage d'armatures de renfort qu'il procure, le béton projeté permet de réaliser économiquement de telles réparations. La difficulté de l'emploi de cette méthode provient essentiellement du mode d'application et de mise en œuvre (matériels, main d'œuvre et problèmes d'hygiène et de sécurité).

**Tableau 2-1 :** Avantages et inconvénients de voie sèche et voie mouillée .

|               | Inconvénients                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | avantages                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| voie sèche    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- grande souplesse d'utilisation.</li> <li>- grandes distances de transport.</li> <li>- possibilité de projeter de fortes épaisseurs en une seule couche même sans accélérateur.</li> <li>- résistance élevée.</li> <li>- obtention aisée de béton à haute performance.</li> <li>- robotisation possible pour augmenter les cadences et les conditions de travail.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- une capacité de production limitée.</li> <li>- un dégagement de poussière.</li> <li>- une appréciation visuelle de la teneur en eau par la porte-lance.</li> <li>- une perte par rebond important.</li> <li>- dans le cas de béton fibré, un appauvrissement en fibres dans le béton placé.</li> <li>- un risque de détérioration des supports fragiles.</li> </ul> |
| voie mouillée | <ul style="list-style-type: none"> <li>- capacité de production élevée.</li> <li>- diminution des poussières.</li> <li>- diminution des pertes par rebond.</li> <li>- meilleur contrôle de la qualité du béton.</li> <li>- composition du béton en place homogène dans l'épaisseur de la couche.</li> <li>- robotisation, amélioration des conditions de travail.</li> </ul>                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- moins de souplesse.</li> <li>- un transfert sur de grandes distances difficiles.</li> <li>- un compactage et une adhérence plus faible.</li> <li>- la nécessité d'un dosage initial en ciment élevé (minimum 400kg/m) pouvant entraîner des retraits importants.</li> </ul>                                                                                         |

### 2.1.3.2 Renforcement par chemisage en acier ou en béton armé : [17]

Des armatures complémentaires sont à prévoir lorsqu'il s'agit de remplacer des aciers corrodés ou coupés accidentellement ou lorsqu'il s'agit de renforcer une structure. Les armatures complémentaires doivent s'opposer à la fissuration, et participer à la résistance des sections renforcées. La protection de ces armatures est assurée par un béton coulé ou projeté

et leurs jonctions avec les armatures existantes peuvent se faire par des procédés classiques (recouvrement, soudure, manchonnage) (Figure 2-2).

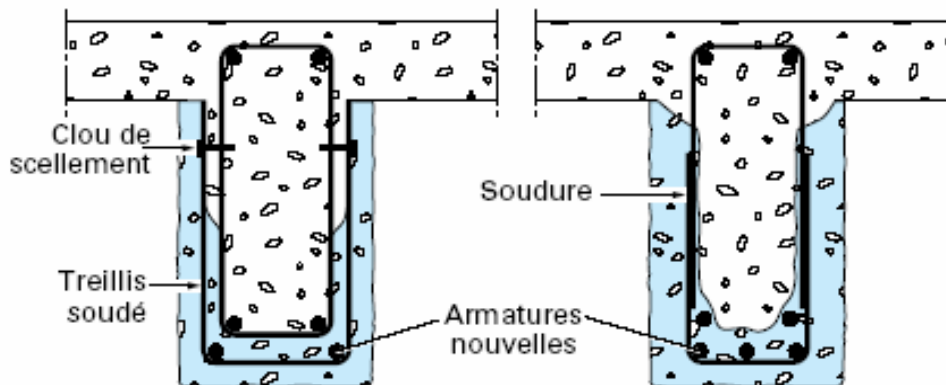


Figure 2-2 : Réparation de poutre par adjonction d'armature

Des recherches expérimentales menées sur des colonnes circulaires ont montré que la technique du chemisage en acier permettait de conférer un comportement ductile en flexion aux colonnes confinées, en permettant une dissipation satisfaisante de l'énergie.

La figure 2-3 présente les courbes d'évolution du déplacement lors de cycles d'application d'un effort de flexion, mesurées sur des poteaux non confinés (Figure 2-3-a) puis confinés par chemisage (Figure 2-3-b). Durant ces essais, l'effort était appliqué latéralement au sommet de chaque poteau et suivait une évolution cyclique alternée. Sur ces figures, il est possible de constater que le chemisage acier offre une très grande capacité de dissipation d'énergie. En revanche, si l'on teste un poteau endommagé puis réparé par un chemisage en acier, les performances alors obtenues sur celui-ci ne sont pas aussi importantes que pour le poteau renforcé initialement, même si l'amélioration reste considérable par rapport au poteau de référence non confiné.

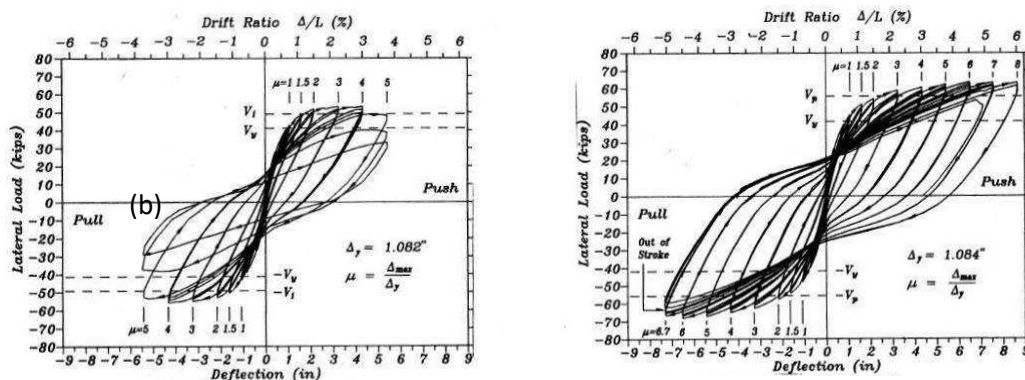


Figure 2-3 : Courbes force-déplacement d'un poteau non renforcé (a) et d'un poteau renforcé par chemisage en acier (b) [17]

Le chemisage métallique appliqué aux colonnes vise à l'augmentation de la résistance au cisaillement et la capacité de ductilité. En 1987, l'université de Californie à San Diego a entrepris un important programme de recherche consistant à examiner diverses techniques de renforcement pour les poteaux en vue d'améliorer la performance sismique des ponts existants. L'université de Californie a effectuée des essais sur plusieurs poteaux enveloppés d'acier afin d'examiner la possibilité d'utiliser les chemises en acier pour renforcer la résistance à la flexion et la résistance au cisaillement des poteaux et pour prévenir le décollement des barres de recouvrement dans les poteaux des ponts plus anciens. Les résultats de cette campagne d'essai sont résumés par Chai Priestley et al.

Les chemisages en acier disposés autour des poteaux rectangulaires sont généralement constitués de quatre cornières auxquelles sont soudées soit des plaques en acier continues, soit des bandes d'acier horizontales discontinues plus épaisses la (Figure 2-4). Les cornières peuvent être collées au béton par l'intermédiaire d'un liant époxydique ou peuvent y être plaquées, sans aucun espace sur toute leur hauteur. Les bandes peuvent être soumises à un traitement thermique préalable au soudage, afin d'assurer par la suite un certain confinement positif sur le poteau. [18]

Les différentes configurations de chemisage en acier sont illustrées sur la figure 2-5.



**Figure 2-4 :** Chemisage en acier appliqué aux poteaux

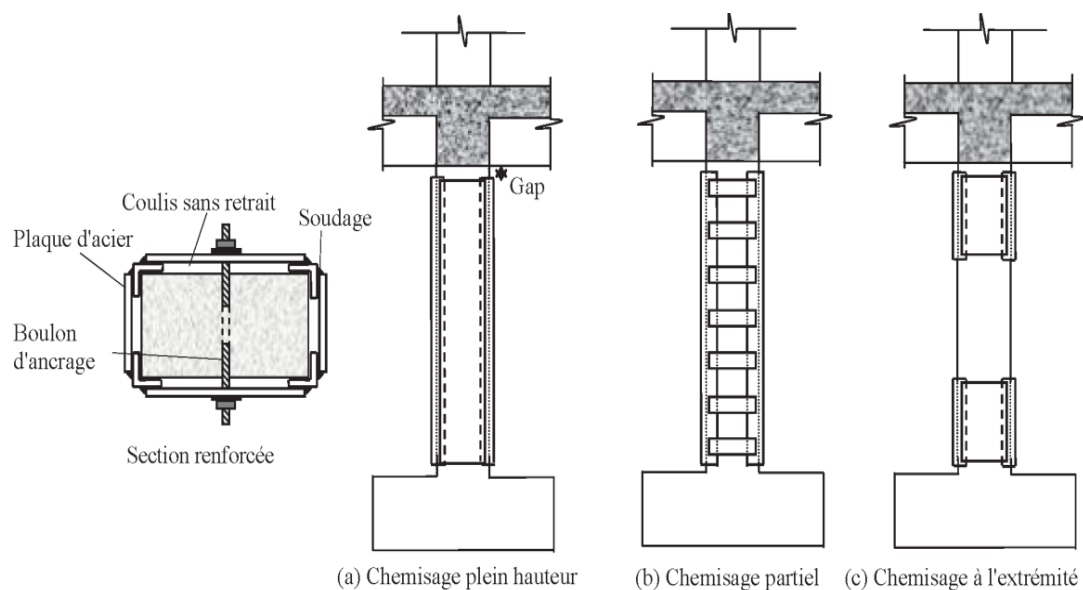


**Figure 2-5 : Différents types de chemisage en acier**

Cependant, le chemisage en acier présente l'inconvénient d'être sujet à la corrosion; c'est pourquoi il est à utiliser avec discernement, en étant conscient des sujétions d'entretien, pour le renforcement de poteaux d'ouvrages situés dans des environnements favorisant la corrosion (zone de marnage ou zone exposée à la houle ou aux embruns par exemple).

Des chemisages en béton armé peuvent alors être utilisés ; ce procédé a d'ailleurs longtemps été l'une des techniques de réhabilitation les plus courantes. Cette technique consiste, après repiquage du béton existant (et éventuellement élimination du béton dégradé), à disposer des aciers et à les solidariser à la structure par du béton projeté ou du béton coulé en place. Ces aciers sont reliés à la structure à l'aide d'aciers de couture dimensionnés par application de la « règle des coutures », en assimilant l'interface entre le nouveau béton et la structure à une reprise de bétonnage.

Le chemisage en béton armé consiste à augmenter les dimensions de la section du poteau en ajoutant une couche de béton ainsi que des aciers longitudinaux et transversaux (Figure 2-6).

De la même façon que pour les chemisages en acier, l'action de confinement est plus efficace dans le cas de poteaux à section circulaire qu'à section rectangulaire. [19]

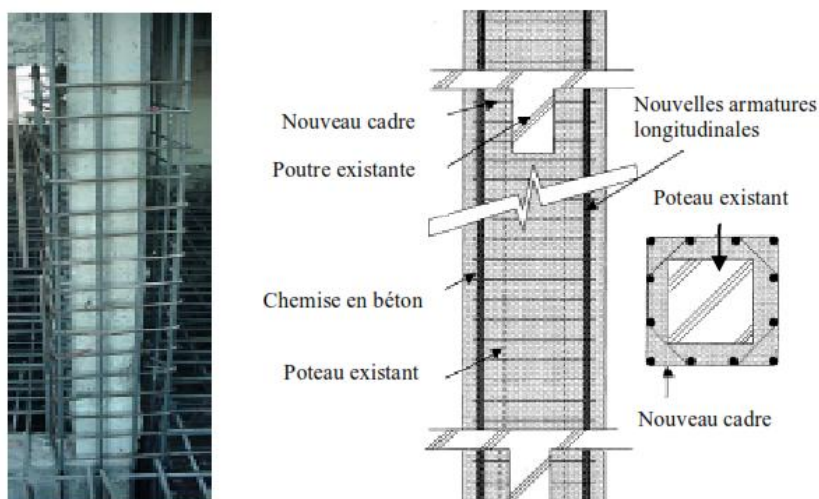


**Figure 2-6:** Chemisage en béton armé



**Figure 2-7:** Chemisage en béton pour augmenter la section de poteau (Fardis 2009)

Durant les dernières décennies, le béton et l'acier ont donc joué un rôle primordial pour le renforcement, tant de bâtiments que d'ouvrages d'art. Cependant, ces matériaux sont soumis à d'importantes sollicitations dans les infrastructures, à la pollution, à la corrosion, et à d'autres actions extérieures qui tendent à les détériorer. De plus, les techniques de renforcement par chemisage en acier ou béton armé présentent sont souvent très complexe à réaliser, très onéreuse et nécessitent une intervention lourde sur la structure. Il était donc nécessaire d'utiliser des matériaux plus durables et de les associer à de nouvelles méthodes de réhabilitation permettant de ralentir ces dégradations et de prolonger la durée de service des infrastructures existantes.

### 2.1.3.3 Développement de la technique des plats collés :

Les ingénieurs en structures ont d'abord utilisé des plaques d'acier pour le renforcement des structures. L'idée principale qui a guidé le dimensionnement des structures renforcées a été émise par L'Hermite. C'est en 1967, en Afrique du Sud, que remonte le premier cas d'utilisation des plaques d'acier ancrées sur la surface tendue pour augmenter la résistance en flexion des poutres en béton armé d'un pont.

L'Hermite s'est intéressé, dès le début des années soixante, à l'utilisation de ces composés adhésifs polymérisant à froid pour associer du béton à des composants d'acier disposés extérieurement (Figure 2-8 ). D'abord utilisée dans le « béton plaqué » (collage de béton sur des tôles d'acier jouant à la fois le rôle de coffrage et d'armatures externes), cette technique fut étendue, sous l'impulsion de Bresson, au renforcement et à la réparation des structures en béton armé.

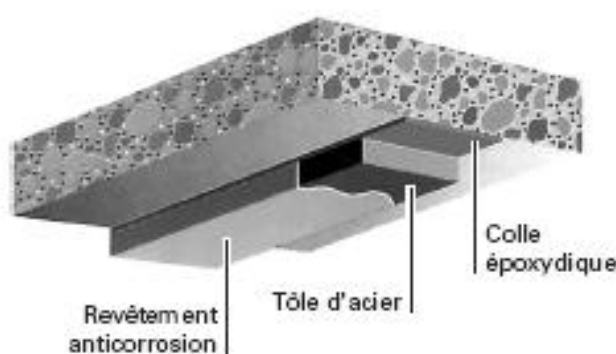


**Figure 2-8 :** Application de plats métalliques selon le procédé L'Hermite . [20]

Ce type de renforcement consiste à pallier les insuffisances des structures en béton par des tôles d'acier collées en surface du béton. Il fut appliqué très rapidement pour des renforcements de poutres de pont-roulent dans une cimenterie, puis pour le renforcement d'ouvrages d'art dont le niveau de service n'était plus suffisant compte tenu de l'évolution du trafic supporté.

La technique des tôles collées, qui fut utilisée d'abord dans le domaine du bâtiment industriel, s'est très vite répandue dans le domaine des ouvrages d'art où dans bien des cas elle a permis soit d'accroître la capacité portante d'un ouvrage, soit de renforcer localement une structure présentant des insuffisances de résistance. [21]

Des emplois quelque peu hasardeux voir totalement inadaptés aux problèmes posés ont pu, durant quelque temps, laisser entendre que cette technique n'était pas fiable. Elle a cependant continué à être utilisée avec succès dans le domaine du bâtiment industriel et commercial où le faible encombrement de ce type de renforcement est un atout majeur et ceci malgré les précautions qu'il convient de prendre pour isoler le renforcement vis-à-vis des risques d'incendie.

Cependant, il reste des inconvénients pour l'utilisation de cette technique :

- sensibilité de l'acier à l'oxydation (il demande donc une protection et un entretien soigné) .
- impossibilité de mobilisation de toute la résistance en traction des tôles, même sous faible épaisseur (solicitation le long d'une face) .
- nécessité d'une préparation spécifique de la surface à traiter (la raideur des tôles nécessite une surface parfaitement plane pour assurer l'uniformité de l'épaisseur de l'adhésif) .
- nécessité d'un collage sous pression (vérins), pour assurer une adhésion suffisante et éviter les bulles d'air dans la couche de résine de collage .
- impossibilité de généraliser cette technique à des surfaces importantes (masse manipulées trop importantes), ce qui limite d'autant les possibilités de réparation



**Figure 2-9 :** Renforcement du viaduc de Terre noire par tôles collées perforées -Brevet Freyssinet . [22]

#### 2.1.3.4 Utilisation de Bétons à Très Haute Performance :

Parmi les nouvelles solutions de protection et réhabilitation des structures pour la mise aux nouvelles normes qui se sont développées, on peut citer l'utilisation de Bétons à Très Haute Performance (BTHP) fibrés qui a fait l'objet de quelques expérimentations. Une étude a ainsi été récemment réalisée par (Massicotte et Boucher-Proulx, 2010), portant sur la réhabilitation de piles de ponts rectangulaires à l'aide d'un chemisage BTHP fibré.

Cette étude concerne plus particulièrement les poteaux de section à rapport (largeur/hauteur) supérieur à 4 et possédant une zone de recouvrement des armatures longitudinales en pied. La campagne expérimentale a porté sur un corps d'épreuve de référence renforcé par un chemisage de béton fibré courant puis sur un poteau renforcé par un BTHP fibré présentant une résistance en compression de 130 MPa et contenant 3 % de fibres longues de 10 mm. Dans les deux cas, les chemisages ont été coulés sans augmentation de la section initiale du poteau. Ces deux poteaux ont été soumis à un effort latéral appliqué en tête de manière cyclique et incrémentale (aucun effort axial n'était exercé).

L'objet de ces renforts était d'améliorer les performances de l'ancrage des aciers et d'éliminer toute rupture par glissement des aciers, leur permettant ainsi de plastifier en dehors de la zone de recouvrement et donc d'apporter de la ductilité à la structure (Figure 2-10).

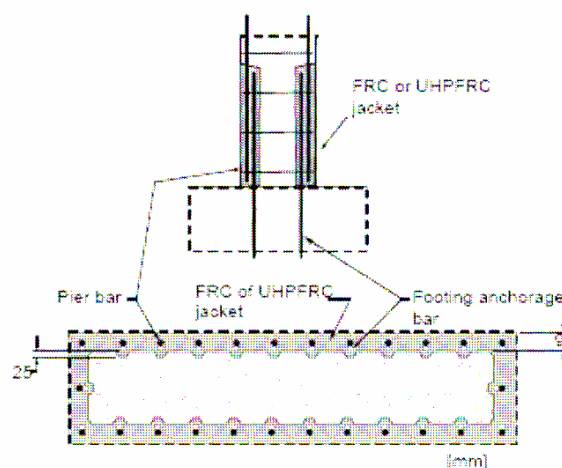


**Figure 2-10 :** Détails du chemisage en BTHP fibré ([Massicotte et Boucher-Proulx, 2010]).

L'essai réalisé sur le poteau de référence a montré une dégradation importante du béton d'enrobage lors des cycles, une diminution très nette et très rapide de la capacité du poteau à reprendre l'effort latéral (diminution par rapport à l'effort latéral maximal repris par le poteau durant l'essai), un comportement peu ductile et une faible dissipation d'énergie (Figure 2-11-a). En revanche le poteau renforcé par BTHP fibré n'a montré aucune fissure sur le BTHP de recouvrement, un comportement écrouissant et une très bonne dissipation d'énergie (Figure 2-11-b). [17]

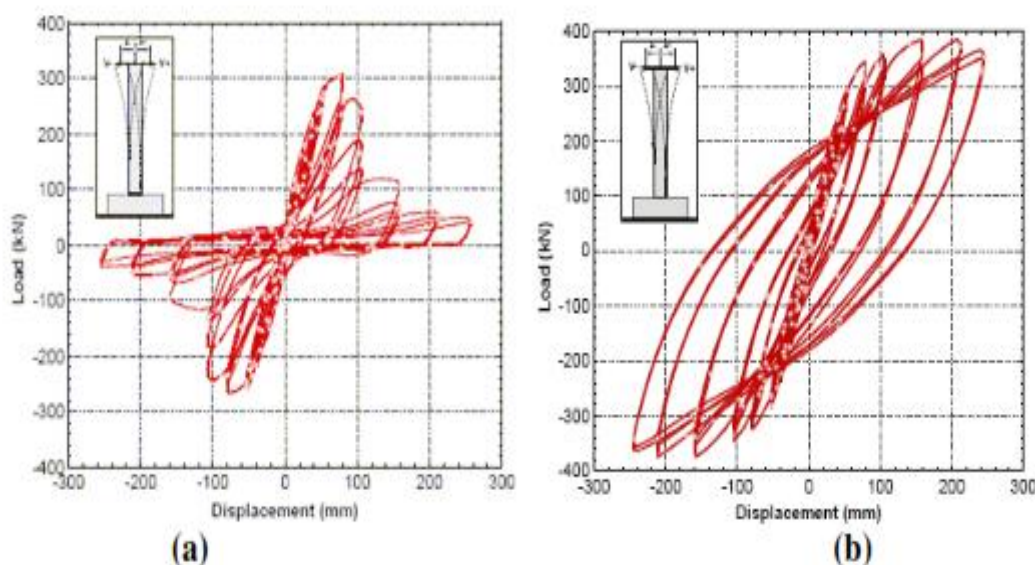


Figure 2-11: Graphiques Force-Déplacement du poteau (a) renforcé par béton fibré, et du poteau (b) renforcé par BTHP fibré. [17]

Le chemisage par BTHP fibré a donc permis d'améliorer le comportement sous charges sismiques de poteaux subissant habituellement une rupture fragile par perte d'ancrage des armatures longitudinales, qui ne permettent pas une dissipation satisfaisante d'énergie . Néanmoins, tout comme le chemisage en béton armé simple, cette technique de chemisage par BTHP présente l'inconvénient d'induire une augmentation importante de la masse de l'élément, ce qui peut être problématique pour un renforcement parasismique, l'action sismique étant directement proportionnelle à l'accélération du séisme ainsi qu'à la masse de la structure.

Le tableau 2-2 présente une étude comparative des différentes techniques de renforcement présentées dans cette section.

**Tableau 2-2 :** Une étude comparative des différentes techniques classique de renforcement

|                          | Avantages                                                                                                                                   | Inconvénients                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Chemisage en acier       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- faible augmentation des sections</li> <li>- assez rapide à mettre en œuvre</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- nécessité d'une main d'œuvre qualifiée</li> <li>- sensibilité à la corrosion ; entretien régulier nécessaire</li> </ul>                                                                                   |
| Chemisage en béton armé  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- peu coûteux</li> <li>- ne nécessite pas de main d'œuvre hautement qualifiée</li> </ul>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- augmentation de la section (et de l'encombrement) et du poids de la structure</li> <li>- corrosion et autres pathologies du béton armé</li> <li>- nécessité de coffrages ; travaux assez longs</li> </ul> |
| Chemisage par BTHP fibré | <ul style="list-style-type: none"> <li>- bonnes performances en termes de dissipation d'énergie</li> <li>- très bonne durabilité</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- augmentation du poids de la structure</li> <li>- nécessite une main d'œuvre qualifiée</li> <li>- coût élevé</li> </ul>                                                                                    |

### 2.1.3.5 Renforcement et réparation par matériaux composites :

Dans cette section, l'accent est mis sur la technique de renforcement par matériaux composites comme l'une des méthodes les plus représentatives d'intervention locale. Plusieurs études sur les éléments de structure renforcés par collage FRP sous de différentes configurations seront présentées. Le problème de la durabilité des bétons se situe à la frontière de la technologie actuelle des matériaux. Pour éviter des travaux d'entretien onéreux ou des dégâts provoqués par des événements exceptionnels (séismes, accident de véhicule roulant dans les ponts routier, etc.), un haut niveau de fiabilité est essentiel. Les colonnes en béton sont les composants structuraux fondamentaux en structures civiles.

Il a été mentionné au chapitre précédent que les techniques traditionnelles ont montré leurs mérites ainsi que leurs limites au comportement à long terme (oxydation des tôles d'acier, durabilité du béton projeté, etc.). En même temps, la rentabilité d'une opération de maintenance est conditionnée par sa durabilité, et donc, par la baisse des fréquences d'intervention. La recherche dans le domaine de la réhabilitation s'est orientée vers l'utilisation de nouveaux matériaux capables de répondre aux différents critères exigés par les opérations de la maintenance des ouvrages. Plusieurs raisons ont permis aux matériaux composites, restés longtemps limités aux applications militaires et à l'industrie aéronautique, de s'implanter dans le domaine de génie civil. On peut citer parmi ces raisons le

développement qu'a connu l'industrie des composites durant les trois dernières décennies et la crise qu'a traversé l'industrie aéronautique depuis le début des années 90, ce qui avait comme conséquence une baisse des prix des composites.

Grâce à leurs caractéristiques mécaniques et physico-chimiques, les matériaux composites se sont taillés une place importante en génie civil. [20]

De nos jours, le collage de matériaux composites est l'une des méthodes de réhabilitation les plus utilisées dans ce marché en pleine expansion. Plusieurs éléments de structure peuvent être renforcés par collage de plaques en matériaux composites ; ce sont essentiellement les poutres, les poteaux et les dalles. Il y a plusieurs axes de recherches dans ce domaine en pleine expansion qui ont pour but d'aboutir à un renforcement optimal des structures. Notons à titre d'exemple, des recherches sur la durabilité du renfort, les problèmes du délaminage au niveau de l'interface béton-composite et la modélisation du comportement de structures renforcées.

Depuis leurs premières applications en génie civil, l'intérêt des composites s'est généralisé sur l'ensemble de la communauté internationale, groupes industriels et laboratoires de recherche, et s'est particulièrement accentué ces dernières années si l'on juge par l'importance du nombre de publications et colloques internationaux qui traitent quotidiennement ce sujet.

Les matériaux composites utilisés en génie civil sont essentiellement des tissus en fibres de carbone, voire en fibres de verre pour certaines applications ; il reste évident que les résines adéquates doivent être utilisées pour optimiser l'emploi des fibres. Plusieurs procédés de renforcements sont apparus au cours de ces quinze dernières années. Les principaux utilisent directement les fibres sous forme de fil continu et d'autres font appel à des semi-produits plus ou moins sophistiqués, tels que les tissus secs, les tissus pré imprégnés ou des produits putrides.

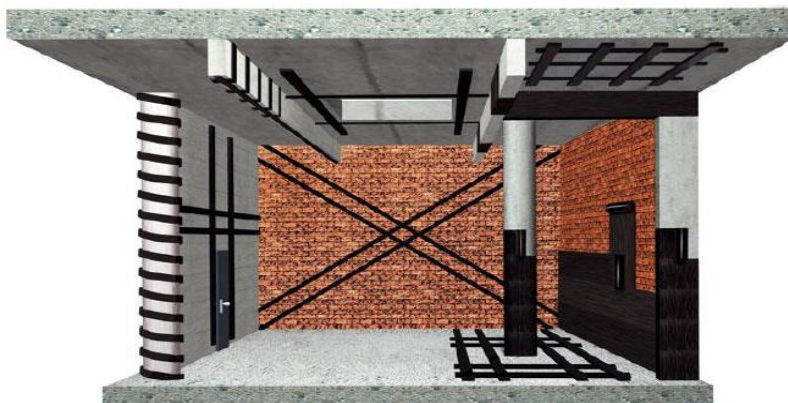


Figure 2- 12 : Renforcement et réparation par matériaux composites

### **2.1.4 Conclusion :**

Ce chapitre nous a permis de préciser la nécessité d'une réduction de la vulnérabilité des structures existantes, et plus particulièrement la nécessité de renforcer les éléments structuraux que sont les poteaux de béton armé, dont leur rupture peut entraîner l'effondrement de l'ensemble de la structure. Il est donc primordial de disposer de solutions de renforcement des poteaux vis-à-vis des différentes sollicitations. Ce renforcement peut passer par une amélioration de la résistance en compression du béton, par une amélioration de la résistance en flexion de l'élément, ou encore par une amélioration de sa capacité à dissiper l'énergie (liée à sa ductilité).

Actuellement il existe plusieurs méthodes de renforcement en fonction du but recherché: augmentation de la capacité portante, de la ductilité ou les deux simultanément. On peut renforcer la stabilité générale des ouvrages par ajout de certains éléments de contreventement intérieurs comme les voiles, ou bien la stabilité de certains éléments structuraux : poteaux, poutres et voiles par chemisage en béton, confinement en acier ou tissus en matériaux composites ou renforcement en flexion par plaques en aciers.

La technique du chemisage des poteaux est une technique qui a largement été utilisée, en particulier les chemisages en béton et en acier. Cette méthode a prouvé son efficacité vis-à-vis de la ductilité et de la résistance de l'élément. Bien qu'assez efficace, elle présente des inconvénients tels que des problèmes de corrosion, de durabilité et de facilité/rapidité de mise en œuvre sur certains chantiers. Outre ces techniques, d'autres techniques innovantes impliquant les matériaux composites sont en pleine expansion, pour la réhabilitation des structures.

Le chemisage par FRP prend une place croissante vis-à-vis des autres solutions de confinement en raison de la résistance en traction élevée des composites (dans la direction des fibres) et de leur facilité d'installation qui nécessite très peu d'interruption d'exploitation. Les différentes recherches menées sur l'utilisation des FRP pour le chemisage de poteaux ont montré qu'outre les avantages cités précédemment, les FRP offraient de vrais gains en termes de performances mécaniques. De plus, les schémas de mise en place des renforcements sont aisément adaptables aux besoins spécifiques de l'élément défectueux. Les FRP permettent également de mettre en œuvre des renforts longitudinaux, qui peuvent s'avérer très performants pour le renforcement à la flexion, ce qui constitue un aspect important dans le cas d'un renforcement parasismique.



## **CHAPITRE 3**

# **Renforcement des colonnes en béton armé avec des matériaux composites**

### 3.1 MATERIAUX COMPOSITES :

#### 3.1.1 Introduction :

Depuis plusieurs années, la réfection et le renforcement des ouvrages en béton armé prennent de plus en plus de l'importance dans la construction. Plusieurs facteurs font qu'il peut être nécessaire de renforcer ou de réparer un ouvrage : la corrosion des armatures, la fissuration du béton, des changements d'affectation qui imposent de nouvelles charges, un mauvais dimensionnement, l'évolution de normes, des accidents (choc contre un élément de structure), l'endommagement par un tremblement de terre, la prolongation de la durée de vie d'un ouvrage, etc.

En général, la réparation permet de compenser les pertes de rigidités ou de résistances. Le renforcement améliore les performances et la durabilité de l'ouvrage.

Au milieu du siècle passé, l'évolution dans le domaine des adhésifs a permis de mettre en place une nouvelle méthode de renforcement des structures par collage externe. Dès le milieu des années soixante, on a commencé à appliquer des lames d'acier sur des structures en béton. Ces dernières sont collées à la surface du béton à l'aide d'une résine époxy. Cette méthode constitue une avancée majeure dans le domaine de la réfection, car elle simplifie grandement, le travail par rapport aux méthodes traditionnelles. Toutefois, des problèmes de corrosion de l'acier mettent en péril la sécurité de ce type de renforcement.

Afin de remédier à ce phénomène de corrosion, l'utilisation des matériaux non métalliques s'est avérée efficace, ce fut l'apparition des matériaux composites en particulier, les PRF (Polymères renforcer de fibres). Ces matériaux ont été adoptés dans le domaine de la construction vers les années soixante-dix, au Japon, aux USA et en Europe. Actuellement, on recense de nombreuses recherches menées sur l'utilisation des PRF pour le Renforcement de colonnes par confinement.

Les matériaux composites disposent d'atouts importants par rapport aux matériaux traditionnels. Ils apportent de nombreux avantages fonctionnels, légèreté, résistance mécanique et chimique, maintenance réduite, liberté de formes. Ils permettent d'augmenter la durée de vie de certains équipements grâce à leurs propriétés mécaniques et chimiques. Ils contribuent au renforcement de la sécurité grâce à une meilleure tenue aux chocs et au feu. Ils offrent une meilleure isolation thermique et phonique et pour certains d'entre eux, une bonne isolation électrique. Ils enrichissent aussi les possibilités de conception en permettant d'alléger des structures et de réaliser des formes complexes, aptes à remplir plusieurs

fonctions. Dans chacun des marchés d'application (bâtiment, automobiles, électricité, équipements industriels,...), les performances citées auparavant sont à l'origine de solutions technologiques innovantes.

Dans la pratique de la construction, trois qualités de fibres se sont imposées : les fibres de verre, de carbone et d'aramide. Le choix entre ces fibres dépend d'une part, de leurs caractéristiques intrinsèques, de leur coût et de leur compatibilité mécanique avec le support à renforcer.

L'étude entreprise porte sur le développement d'une méthode de renforcement ou/ et de réparation des structures en béton armé par application de tissus composites en fibres de Carbone, dans le but d'assurer un certain retour de rigidité et d'augmenter la durabilité.

### 3.1.2 Définition des matériaux composites :

Un matériau composite est constitué de deux matériaux différents et complémentaires permettant d'obtenir un matériau dont la performance dépasse celle des composants pris individuellement. Les matériaux composites constitués de fibres qui représentent le renfort et de résine qui représente la matrice. Les comportements mécaniques et physiques peuvent être modulés en modifiant les éléments suivants : la nature des constituants, la proportion des constituants et l'orientation des fibres. Les fibres procurent les principales propriétés mécaniques du matériau composite, comme la rigidité, la résistance et la dureté. Les fibres de verre, de carbone et d'aramide sont les principaux matériaux de renfort utilisés dans le domaine de la réhabilitation et du renforcement des structures de ponts ou de bâtiments. La matrice constitue le matériau de liaison assurant la cohésion et le transfert des contraintes à l'ensemble du matériau composite, elle procure aussi une protection contre les agressions du milieu. La matrice de type époxy occupe présentement la plus grande part du marché pour ce qui est de l'application de renforts structuraux externes. D'autres types de résines, tels que les résines à base de polyester et vinyles ter, sont également utilisés.[23]

#### 3.1.2.1 Composition des matériaux composites :

En général, un matériau composite est composé de deux constituant la matrice élément qui est destiné au transfert de charges et à la protection du deuxième constituant qui est le renfort.

Le renfort est tout simplement le squelette ou l'armature du composite ; il confère aux composites leurs caractéristiques mécaniques : rigidité, résistance à la rupture, dureté, etc.

Il permet aussi d'améliorer certaines propriétés physiques : comportement thermique, tenue en hautes températures, tenue au feu, résistance à l'abrasion, propriétés électriques, et

Les caractéristiques recherchées pour le renfort sont : les caractéristiques mécaniques élevées, masse volumique faible, bonne comptabilité avec les matrices, facilité de mise en œuvre, faible coût . [24]

#### a. Renfort

Les fibres (renforts) constituent le principal élément résistant du 'FRP', Leur diamètre varie entre 5 et 25  $\mu\text{m}$ . Elles présentent une bonne résistance à la traction en même temps qu'un comportement élastique linéaire jusqu'à leur rupture. Parmi les fibres les plus connues en génie civil, on peut citer :

##### - Les fibres de carbone:

Les fibres de carbone ont un haut module d'élasticité, de 200 à 800 GPa.

La fibre de carbone est un conducteur électrique et, par conséquent, peut donner la corrosion galvanique si elle est en contact direct avec l'acier. Il faut signaler également le mauvais comportement au choc et à l'abrasion des stratifiés renforcés par des fibres de carbone. Les fibres de carbone se différencient par le taux de carbone plus ou moins élevé qui modifie les allongements et les contraintes à la rupture et les modules d'élasticité. On trouvera des fibres dites « à haute résistance » HR et des fibres « à haut module » HM ou même « à très haut module » THM, et des fibres intermédiaires (Chatain 2001). [23]

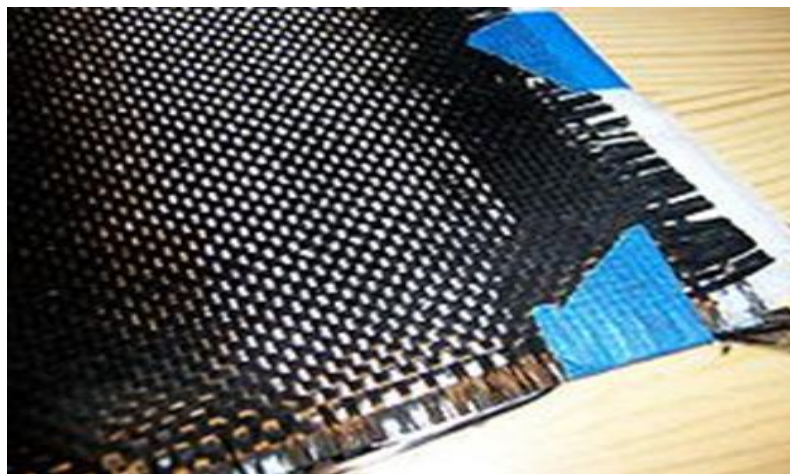


Figure 3-1: Fibre de carbone

**- Les fibres de verre :**

Les fibres de verre sont moins chères que les fibres de carbone et les fibres d'aramide. Par conséquent, les composites en fibres de verre sont devenus la solution la plus utilisée dans plusieurs applications, tel que le génie civil, l'industrie des bateaux et d'automobiles. Les modules d'élasticité des fibres sont de 70 à 85 GPa avec un allongement ultime de 2 à 5 % selon la qualité. Par contre les fibres de verre peuvent avoir des problèmes de relaxation. Elles sont aussi sensibles à l'humidité, mais avec le choix correct de matrice les fibres sont protégées. [23]

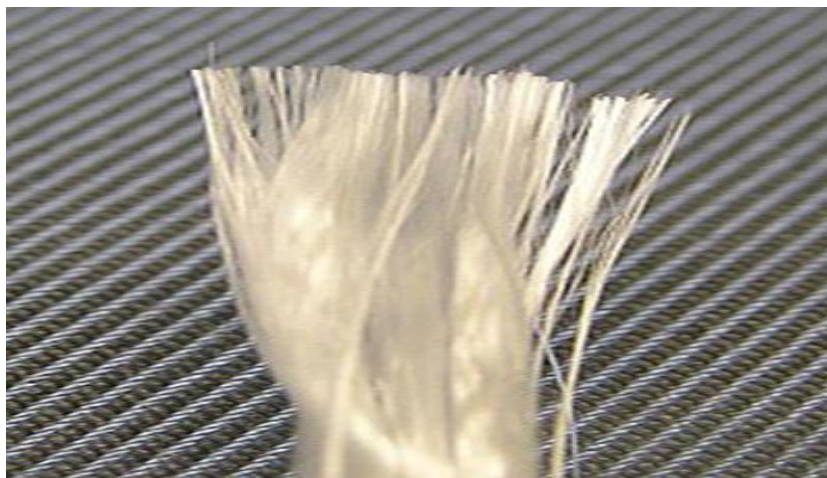


**Figure 3-2:** Fibre de Verre

**- les fibres d'aramide :**

Appelés aussi polyamide aromatique, une marque bien connue des fibres d'aramide est «kevlar » mais il existe d'autres marques aussi tel que «Twaron », « Technora », et «SVM ». Les modules d'élasticité de ces fibres sont de 70 à 200 GPa avec une haute énergie de fracture et un allongement ultime de 1,5 à 5 % selon la qualité. Les fibres d'aramide sont sensibles aux températures élevées, à l'humidité et aux radiations «ultraviolet » et par conséquent, ne sont pas largement utilisées dans les applications de génie civil. Plus loin, les fibres d'aramide ont des problèmes avec la relaxation et la corrosion, mais avec une bonne résistance au choc et à la fatigue. [23]



**Figure 3-3 :** Fibre d'aramide

- Berreur et al. (2002) ont présenté les principaux matériaux de renfort comme suit dans la figure suivant :

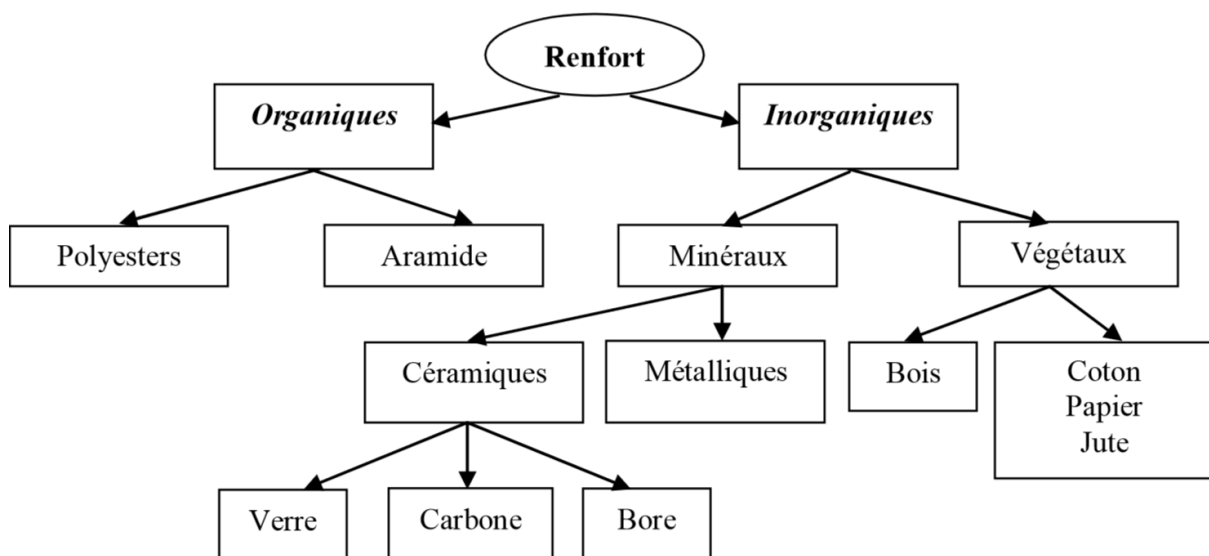


**Figure 3-4:** illustrant les principaux matériaux de renfort

#### - Les formes des renforts :

Afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques des structures en composites il est nécessaire de jouer sur la texture des renforts (leur architecture) pour qu'elles résistent aux contraintes mécaniques. Les renforts se présentent généralement sous diverses formes : linéique, surfacique et structures multidirectionnelles.

**Formes linéiques :**

Une fibre (diamètre environ de 10  $\mu\text{m}$ ) est trop petite pour l'utilisation unitaire.

On trouve en général, des fils ou mèches qui sont assemblés à partir de plusieurs fibres

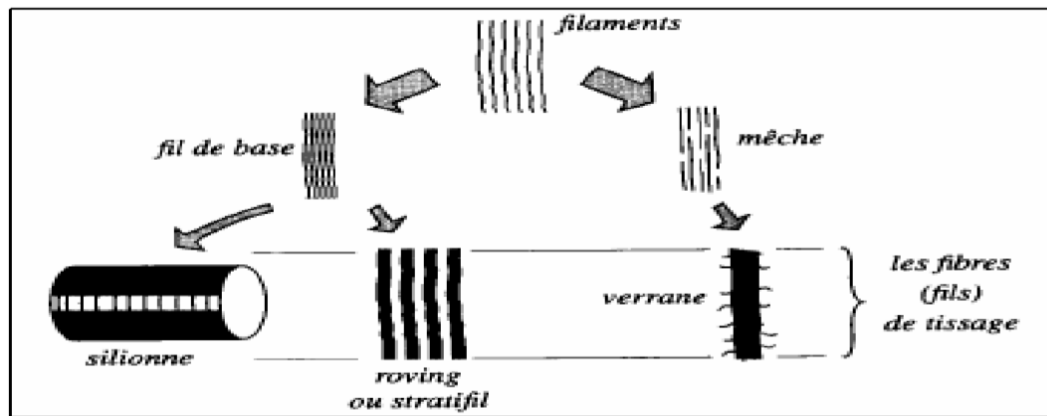


**Figure 3-5:** Eléments composants de la forme linéique

**Formes surfaciques :**

- Tissus et rubans :

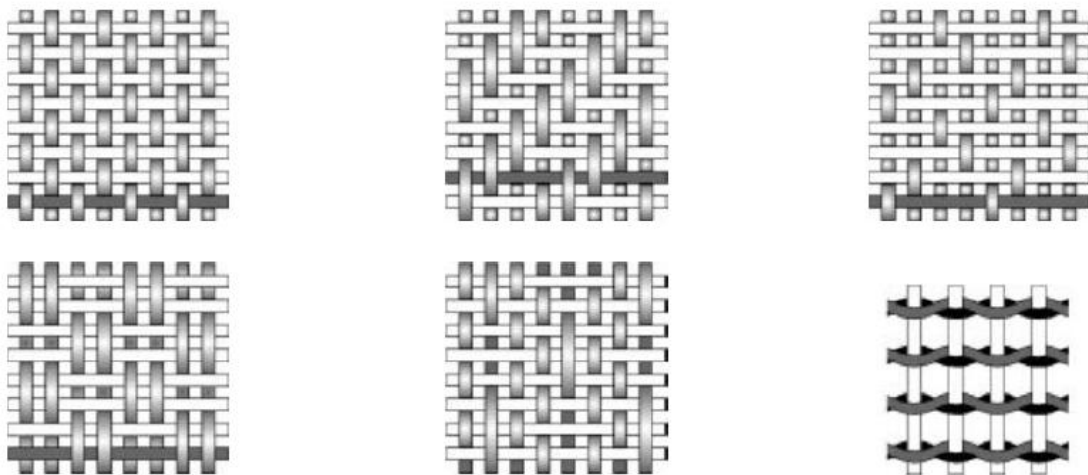


**Figure 3-6:** fibres formes tissu et rubans



**Figure 3-7 :** Eléments composants de la forme surfacique

- **Mats** : Ce sont des nappes de fils continus ou coupés, disposés dans un plan suivant une direction aléatoire. Ils sont maintenus ensemble par un liant. Le mat est isotrope à cause de l'absence d'orientation préférentielle des fibres.

- **Structures multidimensionnelles** :

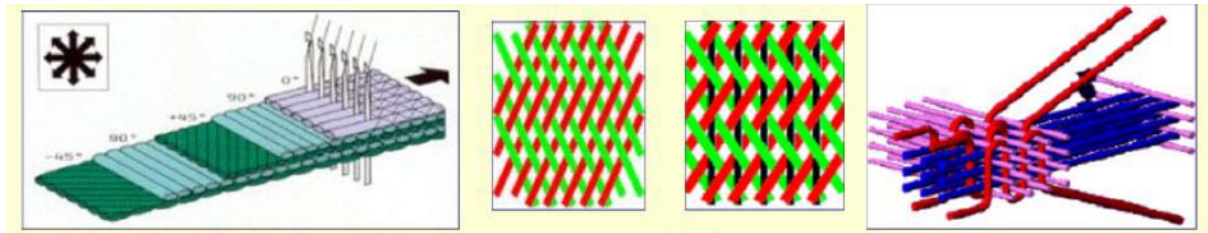


**Figure 3-8:** Éléments composants de la structure multidimensionnelle

### 3.1.2.2 Matrice :

Il existe deux types principaux de matrices :

- **Les résines thermodurcissables (TD) :**

Qui sont en général associées avec des fibres longues. Les polymères thermodurcissables ont la forme d'un réseau tridimensionnel. En génie civil, les résines thermodurcissables sont utilisées presque exclusivement.

- **Les résines thermoplastiques (TP) :**

Renforcés avec des fibres courtes (et prochainement avec des fibres longues) se développe fortement. Les polymères thermoplastiques ont une structure linéaire. Les résines thermoplastiques présentent l'aptitude à l'état ramolli, de se mouler aisément par plasticité. La transformation est réversible.

Tableau 3-1: Principales différences entre matrices TP et TD

| Matrices                   | TD (thermodurcissables)        | TP (thermoplastiques)       |
|----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Etat de base               | Liquide visqueux à polymériser | Solide prêt à l'emploi      |
| stockage                   | Réduit                         | Illimité                    |
| Mouillabilité des renforts | Aisée                          | Difficile                   |
| Moulage                    | Chauffage continu              | Chauffage + refroidissement |
| Cycle                      | Long (polymérisation)          | Court                       |
| Tenue thermique            | Meilleure                      | Réduite (sauf nouveau TP)   |
| Tenue au choc              | Limitée                        | Assez bonne                 |
| Chutes et déchets          | Perdus ou utilisés en charges  | recyclables                 |
| Conditions de travail      | Emanations se solvants         | Propreté                    |

- On peut résumer les différentes familles de matrices dans l'organigramme ci dessous :

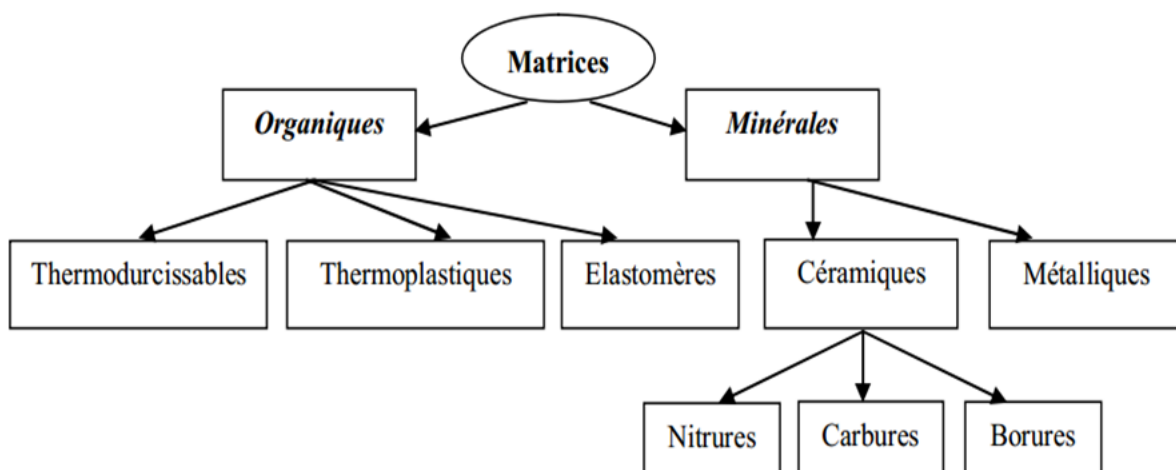


Figure 3-9: illustrant les différentes familles de matrice

- Selon les fibres utilisées, les composites sont classifiés en trois types:
  - Fibres de verre renforcées de polymères (GFRP: Glass fibre renforce polymère).
  - Fibres de carbone renforcées de polymères (CFRP: Carbone fibre renforce polymère).
  - Fibres d'aramide renforcées de polymères (AFRP: Aramide-fibre-renforce polymère)

### 3.1.3 Propriétés mécaniques des composites :

Les propriétés mécaniques des matériaux composites varient considérablement. Ces propriétés dépendent des fibres contenues dans le composite (type, quantité et direction), de la matrice utilisée, et du rapport volume-fibre, c'est à dire le ratio du volume des fibres par rapport au volume total du composite. Elles sont aussi affectées par le volume ou la dimension du composite lui-même (Carolin 2003). En général, les composites de fibres de carbone sont plus solides et plus rigides que les composites de fibres de verre [25]

Le Tableau suivant résume les principales propriétés mécaniques des matériaux composites couramment utilisés en génie civil

**Tableau 3-2:** Propriétés mécaniques typiques des composites (PRFV), (PRFC) et (PRFA) [26]

| Matériaux composites unidirectionnel      | Contenu en fibres (%par poids) | Densité ( $K_g / m^3$ ) | Module d'élasticité longitudinale (Gpa) | Résistance à la traction (Mpa) |
|-------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|
| Fibres de verre / polyester (GFRP laminé) | 50 - 80                        | 1600 - 2000             | 20 - 55                                 | 400 - 1800                     |
| Carbone / époxy (CFRP laminé)             | 65 - 75                        | 1600 - 2000             | 120 - 250                               | 1200 – 2250                    |
| Aramide / époxy (FRP laminé)              | 60 - 70                        | 1050 - 1250             | 40 - 125                                | 1000 - 1800                    |

Concernant le module d'élasticité ou la résistance axiale d'un composites 'FRP' unidirectionnels diffère selon la charge appliquée soit en compression ou en tension, et la plupart des 'FRP' sont nettement plus résistants en tension (d'où leur utilisation courante en tant que renforcement en traction pour le béton). [23]

### **3.1.4 Avantages et inconvénient des matériaux composites :**

#### **3.1.4.1 Avantages :**

- Gain de masse.
- Mise en forme de pièces complexes (principe du moulage) et réduction du nombre d'interfaces (boulonnage, rivetage et soudure sur structures métalliques).
- Grande résistance à la fatigue.
- Faible vieillissement sous l'action de la corrosion.
- Insensibles aux produits chimiques « mécaniques » comme les graisses, huiles, liquides hydrauliques, peintures, solvant, pétrole.

#### **3.1.4.2 Inconvénients :**

- Vieillissement sous l'action de l'eau et de la température.
- Attention aux décapants de peinture qui attaquent les résines époxydes.
- Tenue à l'impact moyenne par rapport aux métalliques.
- Meilleure tenue au feu que les alliages mais émission de fumées parfois toxiques pour certaines matrices.
- Coût parfois prohibitifs, le gain en coût est surtout valable pour des grandes séries.

### **3.1.5 Intérêt des matériaux composites 'PRF' dans les bâtiments et les travaux publics :**

L'intérêt des utilisations des polymères renforcés de fibres dans le génie civil se trouve Essentiellement dans (Luyckx 1999) :

- Sa faible densité.
- Ses propriétés mécaniques longitudinales.
- L'absence de corrosion.
- Sa très bonne tenue à la fatigue.

- Sa facilité de manipulation.

Les principaux inconvénients sont en contrepartie :

- Une anisotropie très marquée.
- Un comportement à la rupture de type fragile des composites.
- Un prix de matière élevé comparé à celui de l'acier.

### **3.1.6 Comportement du béton confiné à la compression :**

La littérature est riche d'analyse pour différentes structures et différentes contraintes mais nous nous limitons volontairement à l'exemple d'éléments de structure type colonne ou

poteaux en béton (armé ou non) soumis à une charge uni axiale de compression. En effet, c'est cette configuration qui sera testée dans la phase expérimentale de ce programme. Une éprouvette en béton soumise à une charge uni axiale de compression se dilate latéralement sous la contrainte

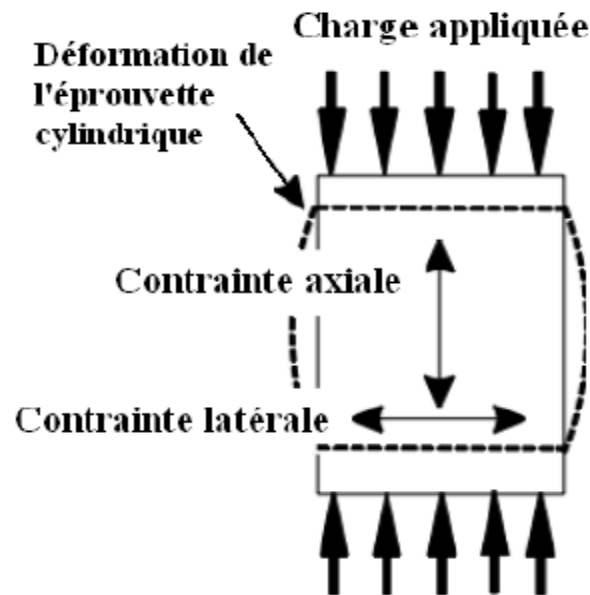


**Figure 3-10 :** Contrainte et déformation d'une éprouvette cylindrique soumise à une charge uni axiale de compression .

L'enchemisèrent par un FRP permet donc de retarder la dilatation latérale de l'éprouvette de béton en la confinant, limitant la propagation de fissures internes ce qui repousse la charge nécessaire à la rupture du béton.

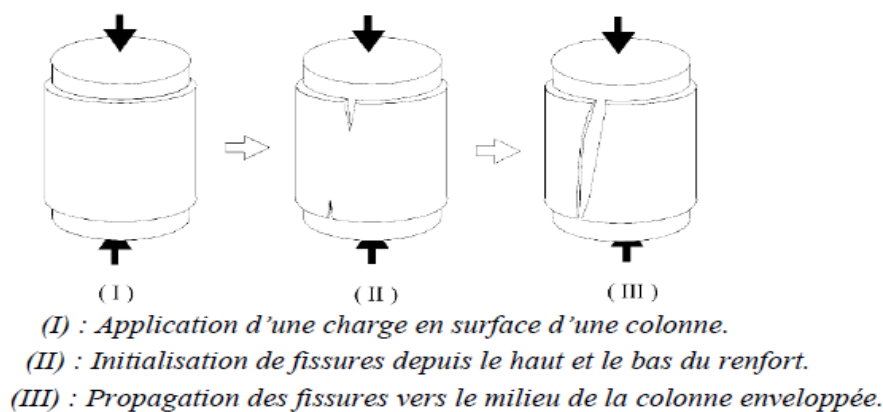


**Figure 3-11 :** Mécanisme de rupture d'un béton enveloppé d'un FRP soumis à une charge de compression .

Le mécanisme de rupture suggère que le dimensionnement du renfort ne devrait pas être basé uniquement sur la résistance à la rupture ou sur la déformabilité de l'enveloppe de renfort et que les gains de résistance devraient être réduits selon l'augmentation de la friabilité et de l'excentricité du béton [27].



**Figure 3-12:** Modes de rupture d'un béton renforcé par un FRP à base de fibres de verre et de résine époxy soumis à une charge de compression [28]

Les courbes de déformation en fonction de la contrainte de compression d'éprouvettes de béton renforcées présentent trois régions distinctes [29] :

- Une première zone similaire à celle d'un béton non renforcé, elle représente donc la réponse du béton à la sollicitation.
- Une zone intermédiaire de transition plus ou moins importante selon la présence d'armatures.
- Une troisième zone pseudo-plastique caractéristique du FRP : une fois seulement le béton endommagé le renforcement prend le contrôle des déformations de l'éprouvette et sa participation à la résistance peut être mesurée. La forme et la pente de cette droite dépendent de la rigidité du renforcement. L'effet du renforcement sur la résistance limite à la rupture est d'autant plus important que le béton initialement est résistant [27]

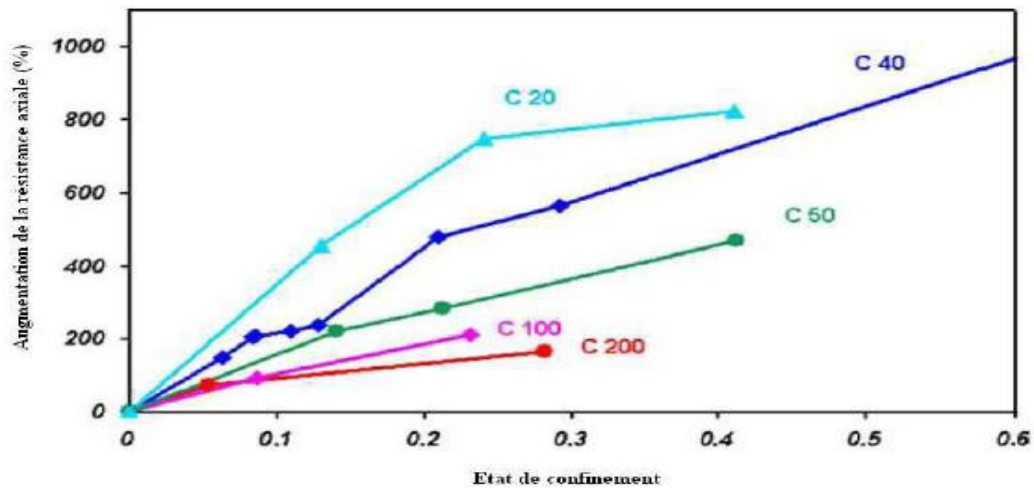


**Figure 3-13:** Influence de la résistance initiale du béton sain sur la résistance axiale du béton renforcé pour différents confinements [30]

### 3.1.7. Méthodes de confinement des poteaux :

#### 3.1.7.1. Stratification au contact :

Sur chantier la stratification au contact (stratification directe) est la technique la plus utilisée pour le renforcement des colonnes en utilisant les composites 'PRF'. Dans cette méthode les draps de fibres unidirectionnelles ou tissées sont imprégnés par les résines du polymère et enveloppés ensuite autour des colonnes dans un processus de moulage au contact, avec l'orientation des fibres principales dans la direction de confinement.



**Figure 3-14 :** Stratification au contact

Une colonne peut être enveloppée complètement par des tissus 'PRF' avec une ou plusieurs couches ou bien partiellement enveloppée en utilisant des lanières 'PRF' sous forme d'une spirale continue ou des anneaux discrets.

L'amélioration de la force de compression du béton suite au confinement externe de 'PRF' a été démontrée en premier par Fardis et Khalili (1981 et 1982). Ce concept a été appliqué pour la première fois au renforcement de vraies colonnes en B.A au Japon au milieu des années 1980.

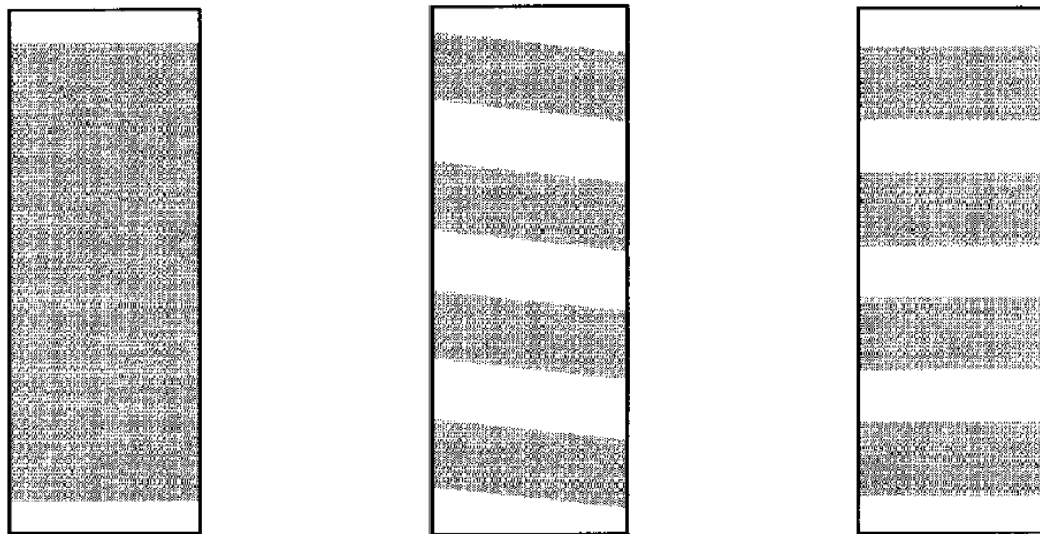


**Figure 3-15 :** Enveloppée totalement partiellement enveloppée partiellement enveloppée  
en utilisant des tissus 'PRF' en utilisant des lanières en utilisant des lanières  
sous formes d'anneaux 'PRF' discrets.

• **Avantages :**

- Flexibilité d'adaptation avec les différentes formes de colonnes.
- Facilité de manutention et de mise en oeuvre sur chantier sans le besoin d'équipements spéciaux .

• **Inconvénients :**

- Un bas niveau de contrôle de la qualité.
- Demande beaucoup de main d'œuvre par rapport aux autres techniques.

*Mise en place du confinement par tissu PRF : [4]*



**Figure 3-16 :** ponçage au disque diamant des différentes faces du poteau et meulage des angles pour les arrondir.



**Figure 3-17 :** Evacuation des poussières au moyen d'air comprimé.



**Figure 3-18 :** Application d'une couche de résine .



**Figure 3-19 :** Pose des bandes de PRF .



**Figure 3-20 : Marouflage au rouleau .**



**Figure 3-21 : Pose d'une couche de résine de couverture**

#### **3.1.7.2. Enroulement filamentaire :**

Le principe de l'enroulement filamentaire est semblable à celui de la stratification directe, sauf que la technique de l'enroulement filamentaire utilise la fibre continue au lieu des tissus ou des lanières afin que l'enroulement des filaments puisse être traité automatiquement au moyen d'une machine contrôlée par ordinateur. Une telle technique permet la précision de l'épaisseur du 'PRF', l'orientation de la fibre et le control de la fraction du volume ce qui mène à une meilleure performance. L'idée de confiner le béton par enroulement des fibres continues imprégnées par la résine a été mentionnée pour la première fois par Fardis et Khalili (1981).

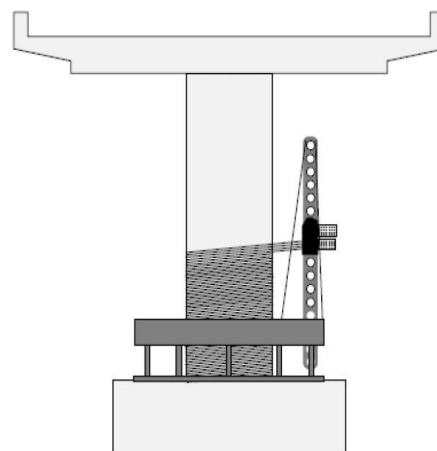


**Figure 3-22 : Enroulement filamentaire .**

**• Avantages :**

- Un contrôle amélioré de la qualité.
- Une main d'œuvre réduite sur chantier.

**• Inconvénients :**

- Moins de flexibilité d'adaptation avec les différentes formes de colonnes.
- Exige un équipement spécial.

**3.1.7.3. Chemisage par coquille préfabriquée en 'PRF' :**

Les colonnes et poteaux en BA peuvent aussi être renforcés en utilisant des chemises en 'PRF' sous forme des coquilles préfabriquées. Les coquilles sont fabriquées sous conditions contrôlées en utilisant la fibre en voile ou bonde avec l'imprégnation de résine effectuée avant l'installation. Elles peuvent être fabriquées en demi cercles ou demi rectangles (Nanni et Norris 1995, Ohno et al. 1997), en cercles avec une fente ou en rouleaux continus (Xiao et Ma 1997), afin qu'elles puissent être ouvertes et puissent être placés autour des colonnes.

Pour un confinement efficace un contact total entre la colonne et la coquille en 'PRF' est essentiel. Cela peut être assuré soit en liant la coquille à la colonne par adhésives (Xiao et Ma 1997) ou en injectant un coulis ou mortier de ciment dans l'espace entre la coquille et la colonne (Nanni et Norris 1995, Ohno et al. 1997).



**Figure 3-23 :** Chemisage par coquille préfabriquée en 'PRF'.

On utilise cette méthode surtout dans les travaux de modification de forme des colonnes comme partie des mesures de renforcement. Cela a été discuté par Teng et Lam (2002). Ils ont suggérés que les colonnes carrés ou rectangulaires peuvent être renforcées en les reformant dans des colonnes circulaires ou elliptiques dans lesquelles une coquille préfabriquée en 'PRF' est utilisée. Cela permet de fournir à la fois la forme au béton supplémentaire et le confinement exigé après le durcissement du béton.

- **Avantages :**

- Meilleur contrôle de la qualité.
- Une main d'œuvre réduite sur chantier.
- Utile pour modification de la forme des colonnes.

- **Inconvénients :**

- Flexibilité d'adaptation limitée avec les différentes formes de colonnes.
- Le coût de la préfabrication.

La stratification au contact c'est la méthode la plus utilisée vu les avantages qu'elle procède. Le filament enroulé ressemble à la première méthode car les deux impliquent un processus de stratification directe .[23]

En général, le «FRP» avec une stratification au contact paraît être la méthode la plus populaire car elle possède des avantages pratiques tels que la flexibilité et la facilité de mise en œuvre. Le filament enroulé ressemble à la première méthode car les deux impliquent un processus de stratification directe . Chacune des trois méthodes discutées ci-dessus à ses avantages et ses inconvénients (Tableau 2-3).

**Tableau 3-3:** Comparaison entre les différentes méthodes de renforcement des colonnes par matériaux composites .

| Méthodes                  | Avantages                                                                                                                                                                                                                         | Inconvénients                                                                                                                                                               |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Stratification au contact | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Flexibilité d'adaptation avec les différentes formes de colonnes.</li> <li>- Facilité de manutention et de mise en œuvre sur chantier, sans le besoin d'équipements spéciaux.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Un bas niveau de contrôle de la qualité.</li> <li>- Demande beaucoup de main d'œuvre par rapport aux autres techniques.</li> </ul> |
| Enroulement filamentaire  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Un contrôle amélioré de la qualité.</li> <li>- Une main d'œuvre réduite sur chantier.</li> </ul>                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Moins de flexibilité d'adaptation avec les différentes formes de colonnes.</li> <li>- Exige un équipement spécial.</li> </ul>      |
| Coquille préfabriquée     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Meilleur contrôle de la qualité.</li> <li>- Une main d'œuvre réduite sur chantier.</li> <li>- Utile pour modification de la forme des colonnes</li> </ul>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Flexibilité d'adaptation limitée avec les différentes formes de colonnes.</li> <li>- Le coût de la préfabrication</li> </ul>       |

## 3.2. Modèles de confinement :

### 3.2.1. Revu de littérature :

Le confinement du béton par matériaux composites n'a été utilisé que dans les débuts des années 1980 et depuis de nombreuses chercheurs proposent plusieurs modèles pour ce type de renforcement.

Les modèles proposés sont très nombreux dans la littérature. On ne citera que quelques uns, notamment ceux de :

- **Fardis et Khalili** : (1981), qui ont réalisé des essais de compression uni-axiale sur des cylindres en béton de dimensions Ø 76 mm x152 mm et 102 mm x204 mm enveloppés dans différents tissus de matériaux composites à base de fibres de verre avec un rapport de confinement  $\frac{f_l}{f_{co}}$  compris entre 0,1 et 0,6,. Ils rapportent une augmentation de la résistance en compression et une amélioration de la ductilité. Dans un autre

article (Fardis et Khalili 1982), proposent un modèle hyperbolique pour décrire la résistance en compression du béton confiné.

- **Saadat manesh et al:** (1994), qui ont conduit une analyse paramétrique portant sur le comportement des colonnes circulaires et rectangulaires renforcées à l'aide de lamelles en matériaux composites à base de fibres de verre et de carbone, collées en surface. Ils modélisent le confinement procuré par les lamelles à l'aide du modèle de Mander et al. (1988). Quatre paramètres sont considérés en particulier: la résistance du béton, l'épaisseur de la lamelle en 'PRF', l'espacement des lamelles et les propriétés des lamelles. Et en 1996 ils ont étudié le comportement sismique des colonnes en béton armé, dix modèles réduits de colonnes à l'échelle 1\5, dont 5 sont circulaire de diamètre 305mm et 5 rectangulaires de section 241mm x 368mm, ils sont réhabilités à l'aide de lamelles 'PRFV' pré –imprégnées.

- **Miyauchi et al:** (1997), qui ont réalisé des essais de compression uni-axiale sur des colonnes en béton de dimensions Ø100 mm x 200 mm et Ø150 mm x 300 mm, résistance en compression 20 et 100MPa et renforcées à l'aide de tissus en fibres de carbone avec un nombre de couches (1, 2 et 3 couches) avec un rapport de confinement  $\frac{f_l}{f_{co}}$  compris entre 0,1 et 0,5. Les résultats ont montré que :

La résistance en compression du béton renforcé à l'aide des tissus en fibres de carbone augmente linéairement avec le nombre de couches du matériaux composites, mais pas avec la résistance en compression du béton non confiné et les dimensions de l'échantillon.

La déformation axiale correspondant à la contrainte maximale du béton confiné à l'aide des matériaux composites augmente de façon exponentielle avec le nombre de couches de 'FRPC' et est influencée par la résistance du béton non confiné.

- **Shehata et al:** (2002), qui ont réalisé des essais sur 54 spécimens de formes circulaire, carrée et rectangulaire de section égale, leurs dimension respectivement sont Ø 150 mm x 300 mm et 150 mm x 150 mm x 300 mm et 94 mm x 188 mm x 300 mm confinés par un matériau PRFC et testés en compression uni-axiale, la variable étudiées été sur la forme et le nombre de couches. Les résultats de cette étude ont montré que l'efficacité de confinement est très influencée par la géométrie de la section des colonnes, et la pression de confinement est exprimée par le nombre de couches du composites 'PRFC'.

• **Lam et Teng :** (2002), qui ont réalisé des essais sur 199 éprouvettes en béton de résistance à la compression comprise entre 18 et 100 MPa, ces derniers sont confinés par des matériaux composites de carbone, verre et d'aramide. la différence principale entre ces éprouvettes c'est la méthode de confinement. Selon l'origine des propriétés mécaniques du 'PRF', les auteurs proposent trois groupes d'essais, le 1<sup>er</sup> est celui dont les propriétés mécaniques ont été obtenues par essai de traction sur éprouvettes planes, le 2<sup>ème</sup> groupe est celui dont les propriétés ont été obtenues par traction circonférentielle obtenue par dilatation d'éprouvettes annulaires et le 3<sup>ème</sup> groupe comprend le reste des éprouvettes (propriétés données par le fournisseur des fibres). Les résultats sont groupés dans le tableau suivant :

**Tableau 3-4 :** Résultats statistique de la base de données expérimentale .[31]

| Groupe                  | Nombre d'éprouvette | Coefficient d'efficacité du confinement<br>$k_1 = (f'_{cc} - f'_{co}) / f_l$ |            | Meilleur régression                                                                           |                |
|-------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
|                         |                     | Moyenne                                                                      | Ecart Type | Equation                                                                                      | R <sup>2</sup> |
| 1 <sup>er</sup> groupe  | 83                  | 2,10                                                                         | 0,59       | $\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = 1,05 + 2,04 \frac{f_l}{f'_{co}}$                                   | 0,95           |
| 2 <sup>ème</sup> groupe | 47                  | 2,31                                                                         | 0,60       | $\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = 0,95 + 2,62 \frac{f_l}{f'_{co}}$                                   | 0,83           |
| 3 <sup>ème</sup> groupe | 89                  | 3,45                                                                         | 1,46       | $\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = 1,24 + 2,52 \frac{f_l}{f'_{co}}$<br>Pour $\frac{f_l}{f'_{co}} < 1$ | 0,93           |
| Total                   | 199                 | 2,62                                                                         | 1,15       | $\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = 1,15 + 2,16 \frac{f_l}{f'_{co}}$                                   | 0,87           |

R<sup>2</sup> : coefficient de corrélation

A partir du tableau les auteurs montrent que la relation entre le gain en résistance et le niveau de confinement est linéaire pour les trois groupes étudiés et aussi que pour le 3<sup>ème</sup> groupe  $k_1$  prends la plus grande valeur, cela s'explique par le fait que les fournisseurs donnent des caractéristiques garanties donc avec une marge de sécurité, et pour le 1<sup>er</sup> groupe,  $k_1$  est inférieur à celui du 2<sup>ème</sup> groupe et que cette différence peut être attribuée aux différents essais de mesure de la résistance en traction du composite 'PRF'.

En 2003, ils ont réalisé des essais sur 171 éprouvettes de béton confiné par 'PRF' pour tracer la courbe contrainte-déformation.[32]

Xiao et Wu (2003), qui ont utilisé plus de 200 éprouvettes cylindrique de béton de dimension Ø152 mm x 300 mm avec 9 types de composite 'PRF' avec variation de

l'épaisseur. Ces éprouvettes ont été sollicitées en compression axiale. Le but de cette étude est d'étudier le comportement fondamental contrainte-déformation.

A partir de cette étude les conclusions suivantes sont formulées par les auteurs :

Une augmentation de la résistance et la ductilité du béton.

Le module de confinement  $C_j$  et la pression de confinement latérale de l'enveloppe 'PRF' ont été identifiés comme deux paramètres critiques influençant l'efficacité du système de confinement. Ce module de confinement est défini de la manière suivante :

$$C_j = 2 t_{prf} / d E_{PRF}.$$

La résistance ultime du béton confiné est déterminée par la rupture de l'enveloppe composite. Mais il faut noter que la contrainte de rupture de l'enveloppe 'PRF' est nettement inférieure à la contrainte de rupture obtenue à partir d'essai de traction sur des coupons plats en 'PRF' .[32]

Youssef et al. (2007), qui ont réalisé des essais sur 117 éprouvettes de forme différentes circulaires ( $\varnothing 406 \times 813$  mm et  $\varnothing 152 \times 305$  mm), carrées ( $381 \text{ mm} \times 381 \text{ mm} \times 762 \text{ mm}$ ) et rectangulaires ( $254 \text{ mm} \times 381 \text{ mm} \times 762 \text{ mm}$ ) avec une résistance à la compression du béton non confiné ( $f_c$ ) qui varie entre 28 et 34MPa, confinées par deux types de matériaux composites PRFC et PRFV testées sous chargement axial pour développer un modèle contrainte-déformation pour le béton confiné.

L'analyse des résultats d'essai montre que :

La contrainte ultime, la déformation de rupture, les paramètres de l'enveloppe composite et la géométrie de la section sont les facteurs significatifs affectant le comportement contrainte-déformation du béton confiné avec des matériaux composites 'PRF'.

Les courbes contrainte-déformation du béton confiné avec des matériaux composites 'PRF' sont bilinéaires ascendantes ou descendantes en fonction de la géométrie de la section et du rapport de confinement.

Kumutha et al. (2007), qui ont Réalisé des essais sur 9 éprouvettes rectangulaire renforcées avec des fibres de verre 'PRFV' de couche différentes 0, 1, 2. Les objectifs de l'étude étaient de : (1) évaluer l'efficacité de l'enveloppe en 'PRFV' renforçant des colonnes rectangulaires en béton armé, (2) évaluer l'effet du nombre de couches du composite sur la charge ultime et la ductilité du béton confiné et (3) évaluer l'effet du rapport des dimensions de la section ( $a/b$ ) sur la section du béton effectivement confinée. trois rapports  $a/b$  ont été étudiés 1,0;1,25 et 1,66 soumis à la compression axiale jusqu'à la rupture tout en enregistrant le comportement axial et radial sous forme de diagramme contrainte-déformation.[23]

### 3.2.2 Renforcement de poteau par confinement à l'aide du procédé SikaWrap : [33]

#### 3. 2.2.1 Domaine d'utilisation et principe de dimensionnement :

Le confinement par matériau composite PRFC permet d'augmenter l'effort normal que peut supporter un poteau (sain ou endommagé).

L'application circonférentielle du procédé SikaWrap (Tissu de fibres de carbone associé à la résine époxydique Sikadur) permet, en limitant les déformations transverses du béton, d'améliorer de façon significative le comportement en compression des poteaux.

L'effet du confinement est une augmentation de la capacité portante ultime du poteau.

Le principe de calcul retenu est basé sur les recommandations de l'AFGC.

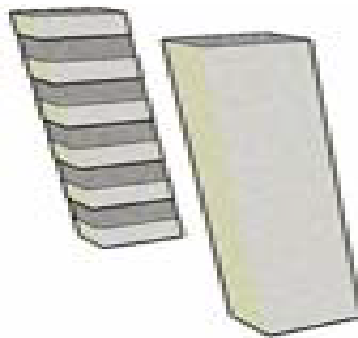


**Figure 3-24 :** Confinement discontinu et Confinement total

#### 3. 2.2.1.1 Elancement :

La procédure de dimensionnement concerne uniquement des poteaux de section circulaire, carrée ou rectangulaire (dans la limite où le grand côté 'b' est supérieur ou égal à 1,5 fois le petit côté 'a') et dont l'élancement est réduit.

Pour que la méthode puisse être appliquée, les poteaux devront vérifier la condition suivante :  $\lambda \leq 50$  (recommandations de l'AFGC de juin 2010).

Lorsque l'élancement est supérieur à cette valeur limite, les calculs lors du dimensionnement devront faire l'objet d'une étude plus approfondie (calculs de flambement par exemple ; Les renforts longitudinaux, seront placés sous les renforts de confinement. Ceux-ci permettront de diminuer le risque de flambement des poteaux si nécessaire et leur ancrage sera grandement augmenté).

#### 3. 2.2.1.2 Conditions de continuité :

Les renforts de poteaux devront également respecter des dispositions constructives en ce qui concerne les ancrages et les longueurs de recouvrement, les rayons de courbure des renforts, et l'espacement entre bandes de renfort.

### 3. 2.2.2 Résistance du béton confiné :

La pression de confinement  $f_l$  provenant du renfort PRFC SikaWrap s'exprime par

$$\text{avec : } f_l = E_p \times \varepsilon_{fud} \quad (1)$$

$\varepsilon_{fud}$  : déformation à rupture du renfort PRFC

$E_p$  : module de confinement (traduit la rigidité du confinement)

$$E_p = \frac{2 \times t_f \times n_p}{D} E_f \quad \text{Section circulaire} \quad (2)$$

$$E_p = \frac{2 \times t_f \times n_p}{b} E_f \quad \text{Section rectangulaire} \quad (3)$$

avec

- $E_f$  : le module d'élasticité en traction du renfort PRFC SikaWrap;
- $t_f$  : l'épaisseur du renfort PRFC SikaWrap ;
  - Epaisseur  $t_f$  d'une couche de renfort SikaWrap 230C : 0.129mm
  - Epaisseur  $t_f$  d'une couche de renfort SikaWrap 600C : 0.331mm
- $b$  : le grand coté pour un poteau de section rectangulaire ;
- $D$  : le diamètre pour une section circulaire ;
- $n_p$  : le nombre de plis.

### 3. 2.2.3 La résistance de calcul en compression du béton confiné est :

$$f_{cd,c} = f_{cd} + \Psi_f \times \alpha \times k_c \times k_h \times f_l \quad (4)$$

- $f_{cd}$  : résistance de calcul en compression du béton .
- $\Psi_f$  : coefficient de performance .  
 $\Psi_f = 0.8$  pour une section circulaire  
 $\Psi_f = 0.6$  pour une section rectangulaire (avec angles arrondis de rayon  $R \geq 35\text{mm}$ )
- $\alpha$  : coefficient d'efficacité du confinement ( $\alpha = 3.45$  pour  $f_{ck} \leq 60\text{MPa}$ ) .
- $f_{ck}$  : résistance donnée en compression du béton.
- $k_c$  : coefficient minorateur pour prise en compte de la forme de la section .  
 dans les poteaux de section circulaire , la pression de confinement est considérée uniforme . par contre , dans le cas des poteaux présentant des section rectangulaires ou carrées, seule une partie du noyau de béton est effectivement confinée , ce qui réduit l'efficacité du confinement .

|                                              |                       |     |
|----------------------------------------------|-----------------------|-----|
| $k_c = 1$                                    | section circulaire    | (5) |
| $k_c = 1 - \frac{h'^2 + b'^2}{3 \times A_c}$ | section rectangulaire | (6) |

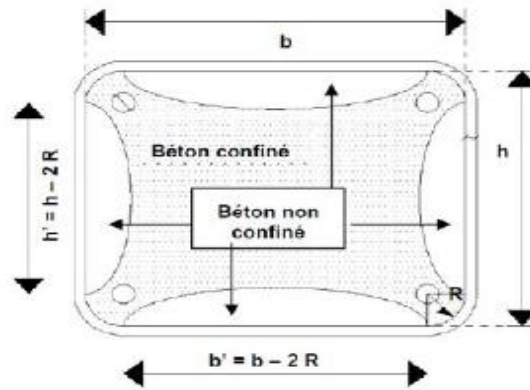


**Figure 3-25:** Distribution non uniforme de la pression de confinement sur une section rectangulaire.

$k_h$  : coefficient minorateur pour prise en compte du type de confinement (continu, discontinu), la largeur  $w_f$  du renfort PRFC SikaWrap, l'espacement  $S_f$  entre bandes et leur orientation (fonction de l'angle d'inclinaison  $\beta$ ).

Cas du renforcement continu :

Pour un confinement total continu,

$$k_h = 1 \quad (7)$$

Cas du renforcement discontinu :

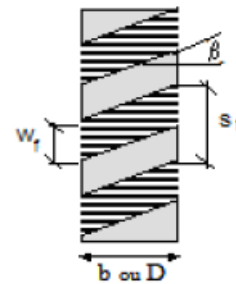


**Figure 3-26 :** Dimensions renforcement discontinu

|                                                                                                               |                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----|
| $k_h = \frac{1}{1 + \frac{S_f}{\pi D}} \times \frac{\left(1 - \frac{S_f - w_f}{2D}\right)^2}{1 - \rho_l}$     | section circulaire    | (8) |
| $K_h = \frac{\left(1 - \frac{S_f - w_f}{2h}\right) \times \left(1 - \frac{S_f - w_f}{2b}\right)}{1 - \rho_l}$ | section rectangulaire | (9) |

Avec  $\rho_l$  le taux de ferrailage longitudinal ( $A_s / B$ ), avec  $S_f$  fonction de  $\beta$  l'angle d'inclinaison des bandes et  $b$ , la longueur droite du coté ( $b' = b - 2R$ )

### 3. 2.2.4 Calcul de la portance d'un poteau confiné :

Un poteau renforcé par confinement à l'aide de renfort en PRFC SikaWrap peut reprendre la charge maximum :

$$N_u \leq \gamma_\lambda (B \times f_{cd,c} + A_s \times f_{su}) \quad (10)$$

Avec  $\gamma_\lambda$  coefficient qui dépend de l'élancement  $\lambda$  :

$$\gamma_\lambda = \frac{0,85}{1+0,2 \times \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} \quad \text{pour } \lambda \leq 50 \quad (11)$$

### 3. 2.2.5 Dimensionnement :

L'élancement du poteau à renforcer doit satisfaire la condition suivante :  $\lambda \leq 50$

❖ Calcul de la résistance de calcul de béton confiné :

$$f_{cd,c} = \frac{1}{B} \left( \frac{N_u}{\gamma_\lambda} - A_s \times f_{su} \right) \quad (12)$$

❖ Calcul de la résistance de calcul du béton confiné :

$$f_l = \frac{f_{cd,c} - f_{cd}}{\Psi_f \times K_c \times K_h \times \alpha} \quad (13)$$

❖ Calcul du nombre de plis nécessaire de renfort sika wrap :

|                                                                                  |                                |      |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------|
| $n_p \geq \frac{D \times f_l}{2 \times t_f \times E_f \times \varepsilon_{fud}}$ | Pour une section circulaire    | (14) |
| $n_p \geq \frac{b \times f_l}{2 \times t_f \times E_f \times \varepsilon_{fud}}$ | Pour une section rectangulaire | (15) |

Pour mémoire, les caractéristiques des tissus sont comme suit :

|                                           |                   |
|-------------------------------------------|-------------------|
|                                           | Sika wrap – 230 c |
| Module d'élasticité $E_f$                 | 225000 Mpa        |
| Allongement de calcul $\varepsilon_{fud}$ | 0,6 %             |
| Epaisseur $t_f$                           | 0,129 mm          |
|                                           | Sika wrap – 600 c |
| Module d'élasticité $E_f$                 | 235000 Mpa        |
| Allongement de calcul $\varepsilon_{fud}$ | 0,6 %             |
| Epaisseur $t_f$                           | 0,331 mm          |

### 3. 2.2.6 Dispositions constructives :

Rayon de courbure des renforts Sika Wrap Les angles des poteaux doivent être préparés de manière satisfaisante un rayon de courbure  $R \geq 35 \text{ mm}$ .

Espacement entre bandes de renfort Sika Wrap L'espacement maximal entre bandes de renfort ( $s_f - w_f$ ) sera limité à la plus petite des valeurs :

$$s_f - w_f < \min (40\text{cm}; 15\varnothing ; St) \quad (16)$$

$\varnothing$  : diamètre minimal des armatures longitudinales comprimées afin de limiter le risque de flambement de ces armatures

$St$  : distance entre les cadres d'armatures transversales.

Conditions d'ancrage et longueur de recouvrement ( $l_{rec}$ ) des renforts composites

Un soin particulier doit être apporté à la zone de recouvrement du composite car elle assure l'ancrage du renfort.

Dans tous les cas, il faut au moins 10 cm de longueur de recouvrement pli sur pli.

Afin d'éviter toute rupture par décollement / cisaillement interlaminaire, la longueur de recouvrement doit satisfaire la condition suivante :

$$l_{rec} \geq \left\{ \frac{f_{fud} \times t_f}{\tau_{fd,d}} ; 10\text{cm} \right\} \quad (17)$$

$l_{rec}$  : longueur de recouvrement

$f_{fud}$  : contrainte limite en traction du renfort

$t_f$  : épaisseur du renfort

$\tau_{fd,d}$  : contrainte de cisaillement inter laminaire du renfort (16 MPa pour le SikaWrap 230C et 32MPa pour le SikaWrap 600C) Dans le cas d'un confinement avec renforts inclinés (renforcement en spirale), l'ancrage du renfort PRFC SikaWrap doit être complété par une bande de renfort horizontal continu (au sommet et à la base du poteau), ancrée suivant la condition précédente, et dont la largeur est au moins égale à  $w_f$ .



## **CHAPITRE 4**

# **ETUDE DU RENFORCEMENT D'UN POTAUX EN BETON ARME PAR LES MATERIAUX COMPOSITES (Étude d'un cas)**

#### 4.1 INTRODUCTION :

Ce chapitre est consacré a la détermination des facteurs qui influent sur la performance des poteaux confinés avec des PRFC (polymère renforcé par fibre de carbone) en utilisant l'avis technique 3/10-669 qui est mise en conformité avec L'EUROCODE et qui est exploité par la société SIKA.

D'abord, on va dimensionner deux poteaux en béton armé (carré et circulaire). Ensuite, on va faire une étude paramétrique pour comprendre l'effet du renforcement des colonnes par les matériaux composite. Les résultats trouvées sont comparé avec celle qui trouvées par une autre méthode traditionnelle de renforcement, c'est la méthode de chemisage par béton armé. On termine ce chapitre par un exemple de renforcement et réparation de deux poteaux par les matériaux composites.

#### 4.2 Présentation de la méthode de calcul de la portance d'un poteau confiné :

La procédure de dimensionnement concerne seulement les colonnes de section rectangulaire , carrée ou circulaire . En plus pour que cette dimensionnement soit applicable , il faudra que les colonnes vérifient la condition suivante :  $\lambda \leq 50$

Dans le cas où l'élancement est supérieur à 50 qui est la valeur limite, une étude plus approfondie doit être faite.

Le poteau renforcé par le PRFC peut supporter la charge maximale :

$$Nu \leq \gamma_{\lambda}(B \times f_{cd,c} + As \times f_{su})$$

❖ Avec  $\gamma_{\lambda}$  coefficient qui dépend de  $\lambda$  :

$$\gamma_{\lambda} = \frac{0,85}{1 + 0,2 \times \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} \quad \text{pour } \lambda \leq 50$$

❖ La Résistance en compression du béton confiné :

$$f_{cd,c} = f_{cd} + \Psi_f \times \alpha \times k_c \times k_h \times f_l$$

❖ La Pression de confinement provenant du renfort composite :

$$f_l = E_p \times \varepsilon_{fud}$$

$\varepsilon_{fud}$  : déformation à rupture du renfort PRFC

$E_p$  : module de confinement (traduit la rigidité du confinement)

$$E_p = \frac{2 \times t_f \times n_p}{b} E_f \quad \text{Section rectangulaire}$$

$$E_p = \frac{2 \times t_f \times n_p}{D} E_f \quad \text{Section circulaire}$$

$E_f$  : le module d'élasticité en traction du renfort PRFC SikaWrap

- $t_f$  : l'épaisseur du renfort Sika Wrap
- $n_p$  : nombre de plis nécessaire de renfort SikaWrap
- $D$  : le diamètre de la section circulaire du poteau.
- $b$  : le grand côté pour un poteau rectangulaire

$f_{cd}$  : résistance de calcul en compression du béton

$\psi_f$  : coefficient de performance

- $\psi_f = 0.8$  pour une section circulaire
- $\psi_f = 0.6$  pour une section rectangulaire (avec angles arrondis de rayon  $R \geq 35\text{mm}$ )

$\alpha$  : coefficient d'efficacité du confinement ( $\alpha = 3.45$  pour  $f_{ck} \leq 60\text{MPa}$ )

$k_c$  ,  $k_h$  coefficients minorateurs :

- $k_c = 1$  section circulaires.
- $k_c = 1 - \frac{h'^2 + b'^2}{3 \times A_c}$  section rectangulaire.
- $h' = h - 2R$  (h petit côté du poteau)
- $b' = b - 2R$  (b grand côté du poteau)
- $k_h$  : renforcement continu ou discontinue

- $K_h = \frac{\left(1 - \frac{S_f - w_f}{2h}\right) \times \left(1 - \frac{S_f - w_f}{2b}\right)}{1 - \rho_l}$  renforcement discontinu pour une section rectangulaire
- $K_h = \frac{1}{1 + \frac{S_f}{\pi D}} \times \frac{\left(1 - \frac{S_f - w_f}{2D}\right)}{1 - \rho_l}$  renforcement discontinu pour une section circulaire

- $k_h = 1$  renforcement continu .
  - $\rho_l$  : taux de ferrailage longitudinal ( $A_s/A_c$ )
  - $W_f$  : largeur du renfort PRFC SikaWrap
  - $S_f$  : escapement entre bandes

Espacement entre bandes de renfort SikaWrap :

L'espace maximal entre bandes de renfort ( $S_f - W_f$ ) est :

- $S_f - W_f < \min(40 \text{ cm}, 15\phi, S_t)$ 
  - $\phi$  : diamètre minimal des armatures longitudinales.
  - $S_t$  : distance entre les cadres d'armatures transversales.

Pour faire le calcul on a crée des programmes avec Excel qui nous permet de calculer :

- La capacité ultime d'un poteau renforcé par sika warp circulaire ou rectangulaire.
- La section de chemisage par béton armé équivalent à la section renforcée par sika warp.
- La section de matériaux composites nécessaire pour renforcé ou réparé d'un poteau circulaire ou rectangulaire.

|                                                                                     |        |             |                                                                                     |        |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|
| poteau en confinement total continu OU DISCONTINU a l'aide du procédé SikaWrap600-C |        |             | poteau en confinement total continu OU DISCONTINU a l'aide du procédé SikaWrap600-C |        |              |
| $\lambda \leq 50$                                                                   |        |             | $\lambda \leq 50$                                                                   |        |              |
| 1) Renforcement de Poteau par Confinement a l'aide du procédé SikaWrap              |        |             | 1) Renforcement de Poteau par Confinement a l'aide du procédé SikaWrap              |        |              |
| POTEAU CIRCULAIRE CONFINE DISCONTENU - SikaWrap 600-C                               |        |             | POTEAU CIRCULAIRE CONFINE CONTENU - SikaWrap 600-C                                  |        |              |
| Données (Cas pour calculer la capacité portante)                                    |        |             | Données (Cas pour calculer la capacité portante)                                    |        |              |
| Hauteur d'étage                                                                     | Lo =   | 3.6 m       | Hauteur d'étage                                                                     | Lo =   | 3.6 m        |
| Diamètre du poteau                                                                  | D =    | 25 cm       | Diamètre du poteau                                                                  | D =    | 25 cm        |
| Conditions aux limites                                                              | Lr =   | 2.52 m      | Conditions aux limites                                                              | Lr =   | 2.52 m       |
| Béton                                                                               |        |             | Béton                                                                               |        |              |
| Contrainte du béton à 28 jours                                                      | Fc28 = | 20 Mpa      | Contrainte du béton à 28 jours                                                      | Fc28 = | 20 Mpa       |
| Enrobage                                                                            | d' =   | 3 cm        | Enrobage                                                                            | d' =   | 3 cm         |
| Acier                                                                               |        |             | Acier                                                                               |        |              |
| Contrainte de l'acier utilisé                                                       | FeE =  | 400 Mpa     | Contrainte de l'acier utilisé                                                       | FeE =  | 400 Mpa      |
| Section d'armatures                                                                 | As =   | 6.79 cm2    | Section d'armatures                                                                 | As =   | 6.79 cm2     |
| Matériaux composites                                                                |        |             | Matériaux composites                                                                |        |              |
| Module d'élasticité en traction                                                     | Ef =   | 235000 Mpa  | Module d'élasticité en traction                                                     | Ef =   | 235000 Mpa   |
| Déformation a rupture                                                               | εfud = | 0.6 %       | Déformation a rupture                                                               | εfud = | 0.6 %        |
| Epaisseur du renfort                                                                | tf =   | 0.331 mm    | Epaisseur du renfort                                                                | tf =   | 0.331 mm     |
| Largeur du renfort PRFC                                                             | Wf =   | 30 cm       | Largeur du renfort PRFC                                                             | Wf =   | 30 cm        |
| Coefficient d'efficacité du confinement                                             | α =    | 3.45        | Coefficient d'efficacité du confinement                                             | α =    | 3.45         |
| Coefficient de performance (pour une section circulaire)                            | ψf =   | 0.8         | Coefficient de performance (pour une section circulaire)                            | ψf =   | 0.8          |
| Espacement entre bande Sf-Wf<min(40 cm, 15 φ, St)                                   | Sf =   | 40 cm       | Espacement entre bande Sf-Wf<min(40 cm, 15 φ, St)                                   | Sf =   | 40 cm        |
|                                                                                     | Sf-Wf= | 10 cm       |                                                                                     | Sf-Wf= | 10 cm        |
| Elancement                                                                          | λ =    | 40.32 cm    | Elancement                                                                          | λ =    | 40.32 cm     |
| Les Resulta des Calculers                                                           |        |             | Les Resulta des Calculers                                                           |        |              |
| Module de confinement                                                               | Ep=    | 622.280 Mpa | Module de confinement                                                               | Ep=    | 3111.400 Mpa |
| Pression de confinement                                                             | fi=    | 3.734 Mpa   | Pression de confinement                                                             | fi=    | 18.668 Mpa   |
| $(\pi(D-2)^2)/4$                                                                    | ρB     | 415.476 cm2 | $(\pi(D-2)^2)/4$                                                                    | ρB     | 415.476 cm2  |
| taux de ferrailage longitudinal (As/B)                                              | I =    | 0.016       | taux de ferrailage longitudinal (As/B)                                              | I =    | 0.016        |
| Coefficient de forme du composite                                                   | Kh=    | 0.528       | Coefficient de forme du composite                                                   | Kh=    | 1.000        |
| Coefficient de forme de la section (section circulaire)                             | Kc=    | 1.00        | Coefficient de forme de la section (section circulaire)                             | Kc=    | 1.00         |
| Résistance de calcul du béton confiné                                               | fcd,c= | 25.439 Mpa  | Résistance de calcul du béton confiné                                               | fcd,c= | 71.525 Mpa   |
| Coefficient dépend de l'elancement                                                  | γλ=    | 0.672       | Coefficient dépend de l'elancement                                                  | γλ=    | 0.672        |
| Capacité portante                                                                   | Nu=    | 572.094 KN  | Capacité portante                                                                   | Nu=    | 572.094 KN   |
| Capacité portante pour (NplIS)                                                      | Nu=    | 892.403 KN  | Capacité portante pour (NplIS)                                                      | Nu=    | 2178.555 KN  |
| np                                                                                  |        |             | np                                                                                  |        |              |
| 1                                                                                   |        |             | 5                                                                                   |        |              |
| 2                                                                                   |        |             | 1                                                                                   |        |              |
| 3                                                                                   |        |             | 2                                                                                   |        |              |
| 4                                                                                   |        |             | 3                                                                                   |        |              |
| 5                                                                                   |        |             | 4                                                                                   |        |              |
| 5                                                                                   |        |             | 5                                                                                   |        |              |

|                                                                        |         |              |                                                                        |         |              |
|------------------------------------------------------------------------|---------|--------------|------------------------------------------------------------------------|---------|--------------|
| poteau en confinement total continu                                    |         |              | poteau en confinement total continu                                    |         |              |
| $\lambda \leq 50$                                                      |         |              | $\lambda \leq 50$                                                      |         |              |
| 1) Renforcement de Poteau par Confinement a l'aide du procédé SikaWrap |         |              | 1) Renforcement de Poteau par Confinement a l'aide du procédé SikaWrap |         |              |
| POTEAU RECTANGULER CONFINE DISCONTENU - SikaWrap 600-C                 |         |              | POTEAU RECTANGULER CONFINE CONTENU - SikaWrap 600-C                    |         |              |
| Données (Cas pour calculer la capacité portante)                       |         |              | Données (Cas pour calculer la capacité portante)                       |         |              |
| Hauteur d'étage                                                        | Lo =    | 3.6 m        | Hauteur d'étage                                                        | Lo =    | 3.6 m        |
| Diamètre du poteau                                                     | h =     | 30 cm        | Diamètre du poteau                                                     | h =     | 30 cm        |
|                                                                        | b =     | 30 m         |                                                                        | b =     | 30 m         |
| Conditions aux limites                                                 | Lr =    | 2.52 m       | Conditions aux limites                                                 | Lr =    | 2.52 m       |
| Béton                                                                  |         |              | Béton                                                                  |         |              |
| Contrainte du béton à 28 jours                                         | Fc28 =  | 20 Mpa       | Contrainte du béton à 28 jours                                         | Fc28 =  | 20 Mpa       |
| Enrobage                                                               | d' =    | 3 cm         | Enrobage                                                               | d' =    | 3 cm         |
| Acier                                                                  |         |              | Acier                                                                  |         |              |
| Contrainte de l'acier utilisé                                          | FeE =   | 400 Mpa      | Contrainte de l'acier utilisé                                          | FeE =   | 400 Mpa      |
| Section d'armatures                                                    | As =    | 6.79 cm2     | Section d'armatures                                                    | As =    | 6.79 cm2     |
| Matériaux composites                                                   |         |              | Matériaux composites                                                   |         |              |
| Module d'élasticité en traction                                        | Ef =    | 235000 Mpa   | Module d'élasticité en traction                                        | Ef =    | 235000 Mpa   |
| Déformation a rupture                                                  | εfud =  | 0.6 %        | Déformation a rupture                                                  | εfud =  | 0.6 %        |
| Epaisseur du renfort                                                   | tf =    | 0.331 mm     | Epaisseur du renfort                                                   | tf =    | 0.331 mm     |
| Largeur du renfort PRFC                                                | Wf =    | 30 cm        | Largeur du renfort PRFC                                                | Wf =    | 30 cm        |
| Coefficient d'efficacité du confinement                                | α =     | 3.45         | Coefficient d'efficacité du confinement                                | α =     | 3.45         |
| Coefficient de performance (pour une section circulaire)               | ψf =    | 0.6          | Coefficient de performance (pour une section circulaire)               | ψf =    | 0.6          |
| Espacement entre bande Sf-Wf<min(40 cm, 15 φ, St)                      | Sf =    | 40 cm        | Espacement entre bande Sf-Wf<min(40 cm, 15 φ, St)                      | Sf =    | 40 cm        |
|                                                                        | Sf-Wf=  | 10 cm        |                                                                        | Sf-Wf=  | 10 cm        |
| Elancement                                                             | λ =     | 29.09 cm     | Elancement                                                             | λ =     | 29.09 cm     |
| Les Resulta des Calculers                                              |         |              | Les Resulta des Calculers                                              |         |              |
| Module de confinement                                                  | Ep=     | 2592.833 Mpa | Module de confinement                                                  | Ep=     | 2592.833 Mpa |
| Pression de confinement                                                | fi=     | 15.557 Mpa   | Pression de confinement                                                | fi=     | 15.557 Mpa   |
| $(\pi(D-2)^2)/4$                                                       | ρB      | 784.000 cm2  | $(\pi(D-2)^2)/4$                                                       | ρB      | 784.000 cm2  |
| taux de ferrailage longitudinal (As/B)                                 | I =     | 0.009        | taux de ferrailage longitudinal (As/B)                                 | I =     | 0.009        |
| Coefficient de forme du composite                                      | Kh =    | 0.860        | Coefficient de forme du composite                                      | Kh =    | 1.000        |
| Coefficient de forme de la section (section circulaire)                | Kc =    | 0.550        | Coefficient de forme de la section (section circulaire)                | Kc =    | 0.550        |
| Résistance de calcul du béton confiné                                  | fcd,c = | 35.235 Mpa   | Résistance de calcul du béton confiné                                  | fcd,c = | 37.717 Mpa   |
| Coefficient dépend de l'elancement                                     | γλ =    | 0.747        | Coefficient dépend de l'elancement                                     | γλ =    | 0.747        |
| Capacité portante                                                      | Nu =    | 1043.796 KN  | Capacité portante                                                      | Nu =    | 1043.796 KN  |
| Capacité portante pour (NplIS)                                         | Nu =    | 2265.864 KN  | Capacité portante pour (NplIS)                                         | Nu =    | 2411.199 KN  |
| np                                                                     |         |              | np                                                                     |         |              |
| 5                                                                      |         |              | 5                                                                      |         |              |
| 1                                                                      |         |              | 1                                                                      |         |              |
| 2                                                                      |         |              | 2                                                                      |         |              |
| 3                                                                      |         |              | 3                                                                      |         |              |
| 4                                                                      |         |              | 4                                                                      |         |              |
| 5                                                                      |         |              | 5                                                                      |         |              |

Fugire 4 - 1: programme créé avec Excel pour le calcul d'un poteau renforcé par Sika Wrap.

### 4.3 Présentation de cas :

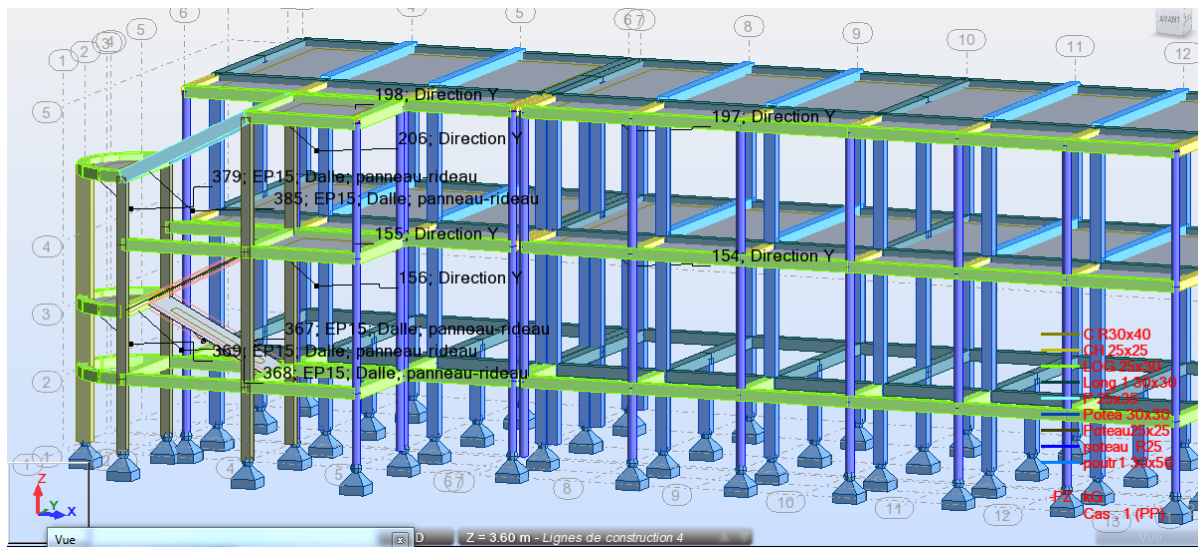
#### 4.3.1 Présentation d l'ouvrage

Les poteaux utilisés pour cette analyse sont un poteau circulaire avec un diamètre de 250 mm et un autre de section carré de dimension (30 x 30) cm, ces deux colonnes ont une hauteur de 3.60 m (sous dalle) avec une résistance de compression de béton de 20MPa et un acier FeE400. Ces deux poteaux se trouvent dans un **classe ( R+1 )** avec les dimension en plan suivantes:

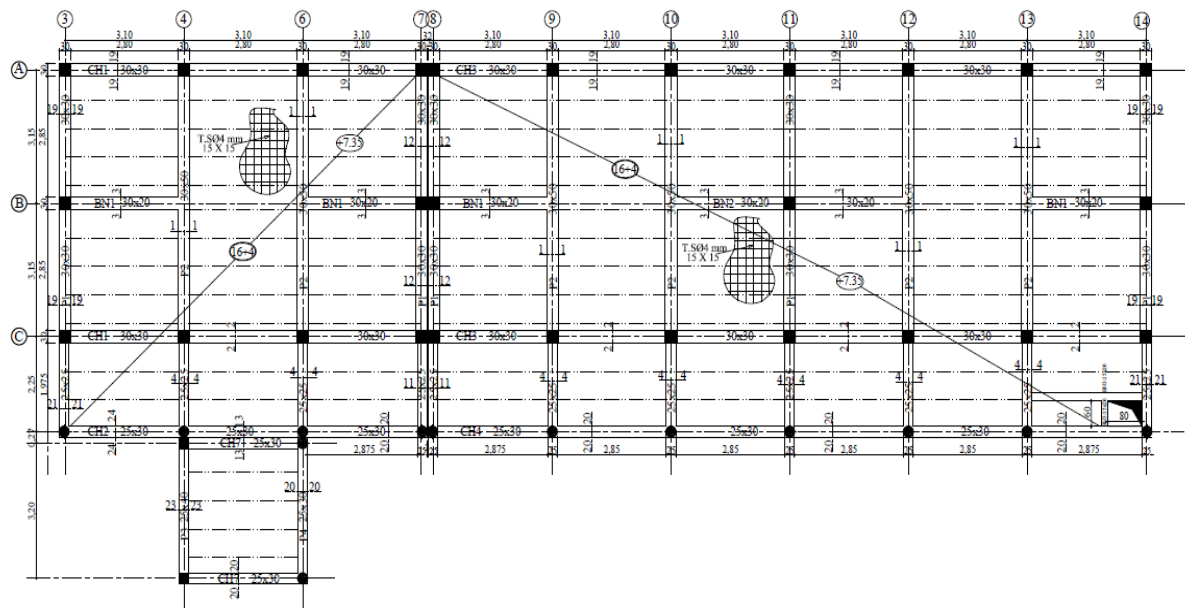
- Largeur max.....8.80 m
- Longueur max.....19.00m
- Hauteur totale.....+7.20 m

Pour les matériaux composites, le renforcement est fait par des matériaux composites à bases de fibre de carbone (Sika warp).

Pour le calcul des charges on a utilisé logiciel Robot2010.



**(a)** Vue en 3D du modèle de l'ouvrage robot 2010



### (b) Coffrage de plancher

**Figure 4-2 : présentation de l'ouvrage**

## 4.3.2 Calcul de poteau sans renforcement

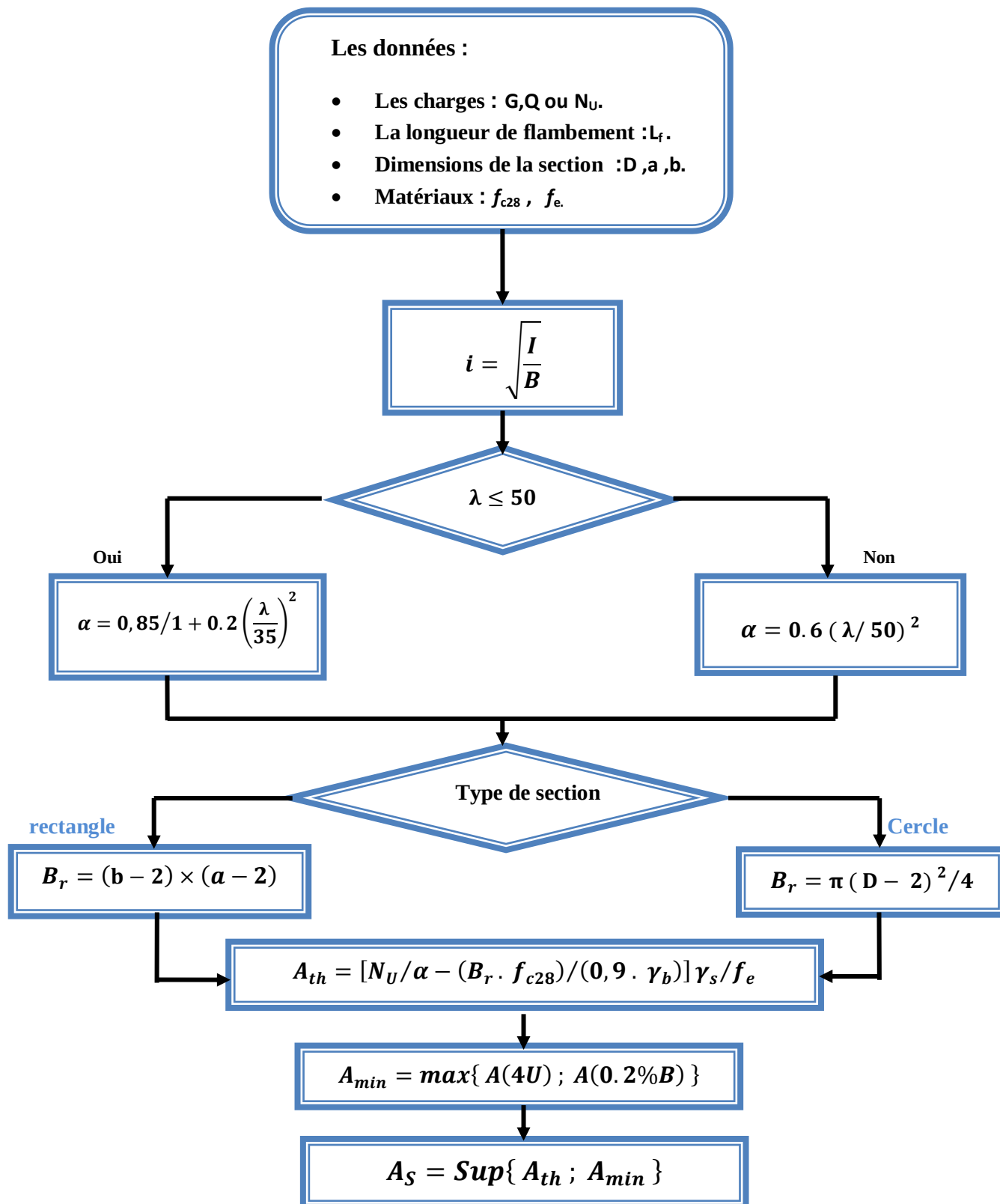


Figure 4 – 3: Organigramme de calcul d'un poteau en béton armé

## 4.3.2.1 Poteau circulaire R 25 :

$$L_0 = 3,60 \text{ m} \quad N_U = 66,28 \text{ KN}$$

$$I = \frac{\pi \times D^4}{64} = \frac{3,14 \times 25^4}{64} = 19165,03 \text{ cm}^4$$

$$B = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{3,14 \times 25^2}{4} = 490,62 \text{ cm}^2$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{B}} = 6,25 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{Lf}{i} = \frac{0,7 \times 360}{6,25} = 40,32 \leq 50 \quad OK$$

Et à partir de là, la colonne est une petite pièce qui fonctionne sur une simple compression .

$$\alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \left( \frac{40,32}{35} \right)^2} = 0,67$$

$$B_r = \frac{3,14 (25 - 2)^2}{4} = 415,47 \text{ cm}^2$$

$$A_{th} = \left[ \frac{66,28 \times 10^3}{0,67} - \frac{415,47 \times 10^2 \times 20}{0,9 \times 1,5} \right] \frac{1,15}{400} = -1485 \text{ mm}^2 = -14,85 \text{ cm}^2$$

$$A_{min} = \max\{ A(4U) ; A(0.2\%B) \}$$

$$A(4U) = 4 \left( 2\pi \frac{D}{2} \right) = 4 \left( 3,14 \frac{25}{2} \right) = 3,14 \text{ cm}^2$$

$$A(0.2\%B) = 490,62 \times 0,002 = 0,98 \text{ cm}^2$$

$$A_{min} = 3,14 \text{ cm}^2$$

$$A_S = \text{Sup}\{ -14,85 ; 3,14 \} = 3,14 \text{ cm}^2$$

- Puisque la section est circulaire, nous prenons 6 T 12 Sa zone  $6,79 \text{ cm}^2$

$$A_S = 6,79 \text{ cm}^2$$

## 4.3.2.2 Poteau Carré 30 X 30 :

$$L_0 = 3,60 \text{ m} \quad N_U = 301,59 \text{ KN}$$

$$I = \frac{b^4}{12} = \frac{30^4}{12} = 67500 \text{ cm}^4$$

$$B = 30 \times 30 = 900 \text{ cm}^2$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{B}} = 8,66 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{Lf}{i} = \frac{0,7 \times 360}{8,66} = 29,09 \leq 50 \quad OK$$

Et à partir de là, la colonne est une petite pièce qui fonctionne sur une simple compression .

$$\alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \left( \frac{29,09}{35} \right)^2} = 0,74$$

$$B_r = (30 - 2)(30 - 2) = 784 \text{ cm}^2$$

$$A_{th} = \left[ \frac{301,59 \times 10^3}{0,74} - \frac{784 \times 10^2 \times 20}{0,9 \times 1,5} \right] \frac{1,15}{400} = -3222,08 \text{ mm}^2 = -32,22 \text{ cm}^2$$

$$A_{min} = \max\{ A(4U) ; A(0.2\%B) \}$$

$$A(4U) = 4(4b) = 4(4 \times 0,3) = 4,8 \text{ cm}^2$$

$$A(0.2\%B) = 900 \times 0,002 = 1,8 \text{ cm}^2$$

$$A_{min} = 4,8 \text{ cm}^2$$

$$A_S = \text{Sup}\{ -32,22 ; 4,8 \} = 4,8 \text{ cm}^2$$

- Puisque la section est circulaire, nous prenons 6 T 12 Sa zone  $6,79 \text{ cm}^2$

$$A_S = 6,79 \text{ cm}^2$$

## 4.4 capacité d'un poteau circulaire confiné par matériaux composites:

Les caractéristiques du poteau utilisées dans le calcul sont les suivants :

$$f_{c28} = 20 \text{ Mpa} , L_0 = 3,6 \text{ m} , D = 25 \text{ cm} , , \lambda = 40,32 \leq 50 , A_S = 6,79 \text{ cm}^2 (6HA12) , \\ \gamma_b = 1,5 \text{ Mpa} , \gamma_s = 1,15 \text{ Mpa} , f_e E400.$$

La capacité d'un poteau sans renforcement soumis à une compression simple est donnée par la formule suivante:

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad N_U &= \alpha \left( \frac{B_r \times f_{c28}}{0,9 \times \gamma_b} + A \times \frac{f_e}{\gamma_s} \right) \\ \alpha &= \frac{0,85}{1 + 0,2 \times \left( \frac{\lambda}{35} \right)^2} = \frac{0,85}{1 + 0,2 \times \left( \frac{40,32}{35} \right)^2} = 0,67 \\ B_r &= \frac{\pi(D-2)^2}{4} = \frac{\pi(25-2)^2}{4} = 415,47 \text{ cm}^2 \\ N_U &= 0,67 \left( \frac{415,47 \cdot 10^2 \times 20}{0,9 \times 1,5} + 6,79 \cdot 10^2 \times \frac{400}{1,15} \right) = 572094 \text{ N} = \mathbf{572,09 \text{ kN}} \end{aligned}$$

#### 4.4.1 Capacité d'un poteau circulaire renforcé par sika warp 230-c :

Afin d'étudier l'effet de renforcement du poteau sur sa capacité on a choisi le sika warp 230-c comme un renfort, ce matériau possède les propriétés suivantes :

$$E_f = 225000 \text{ Mpa}, t_f = 0,129 \text{ m}, \varepsilon_{fud} = 0,6 \%, w_f = 30 \text{ cm}$$

##### 4.4.1.1 Renforcement discontinu :

Dans ce cas le poteau est renforcé par des bandes (le poteau est partiellement enveloppée) de sika warp 230-c ont une largeur de 30cm et le calcul comme suit :

$$\checkmark \quad k_c = 1$$

$$\checkmark \quad K_h = \frac{1}{1 + \frac{s_f}{\pi D}} \times \frac{\left(1 - \frac{s_f - w_f}{2D}\right)}{1 - \rho_l}$$

$$S_f - W_f < \min(40 \text{ cm}, 15\varphi, St)$$

$$S_f < \min(40 \text{ cm}, 18, 15) + 30$$

$$S_f < \min(15) + 30$$

$$S_f = 40 \text{ cm}$$

$$\rho_l = \frac{A_s}{A_c} = \frac{6,79}{415,47} = 0,016$$

$$K_h = \frac{1}{1 + \frac{40}{\pi 25}} \times \frac{\left(1 - \frac{40 - 30}{2 \times 25}\right)}{1 - 0,016} = 0,53$$

$$\checkmark \quad \Psi_f = 0,8$$

1) La Pression de confinement provenant du renfort composite :

$$f_l = E_p \times \varepsilon_{fud}$$

$$\text{Avec } E_p = \frac{2 \times t_f \times n_p}{D} \times E_f = \frac{2 \times 0,129 \times 1}{25 \times 10} \times 225000 = 232,20 \text{ Mpa}$$

$$f_l = 232,2 \times 0,6 \% = 1,393 \text{ Mpa}$$

2) La Résistance en compression du béton confiné :

$$f_{cd,c} = f_{cd} + \Psi_f \times \alpha \times k_c \times k_h \times f_l$$

$$f_{cd,c} = 20 + (0,8 \times 3,45 \times 1 \times 0,528 \times 1,393) = 22,03 \text{ Mpa}$$

3) Le poteau renforcé par le PRFC peut supporter la charge maximale :

$$N_u \leq \gamma_\lambda (B \times f_{cd,c} + A_s \times f_{su})$$

Avec  $\gamma_\lambda$  coefficient qui dépend de  $\lambda$  :  $\alpha = \gamma_\lambda = 0,67$

$$N_u \leq 0,67(415,47.10^2 \times 22,03 + 6,79.10^2 \times 400) = 797243 \text{ N} = 797,24 \text{ KN}$$

**Tableau 4-1 :** section circulaire avec sika warp 230-c un renforcement discontinu.

| Nombre de couche | $t_f$<br>(mm) | $E_p$<br>(Mpa) | $f_{cd}$<br>(Mpa) | $F_l$<br>(Mpa) | $f_{cd,c}$<br>(Mpa) | $N_u$<br>(KN) | Taux % |
|------------------|---------------|----------------|-------------------|----------------|---------------------|---------------|--------|
| sans plis        | –             | –              | 20                | –              | –                   | 572,09        | 0      |
| 1 pli            | 0, 129        | 232, 20        | 20                | 1, 39          | 22, 03              | 797,24        | 39,35  |
| 2 plis           | 0, 258        | 464, 40        | 20                | 2, 79          | 24, 06              | 853,89        | 49, 25 |
| 3 plis           | 0, 387        | 697,60         | 20                | 4,18           | 26,09               | 910 ,53       | 59, 15 |
| 4 plis           | 0,516         | 928,80         | 20                | 5,57           | 28,12               | 967, 18       | 69, 75 |
| 5 plis           | 0, 645        | 1161           | 20                | 6. 97          | 30,15               | 1023, 82      | 78, 96 |

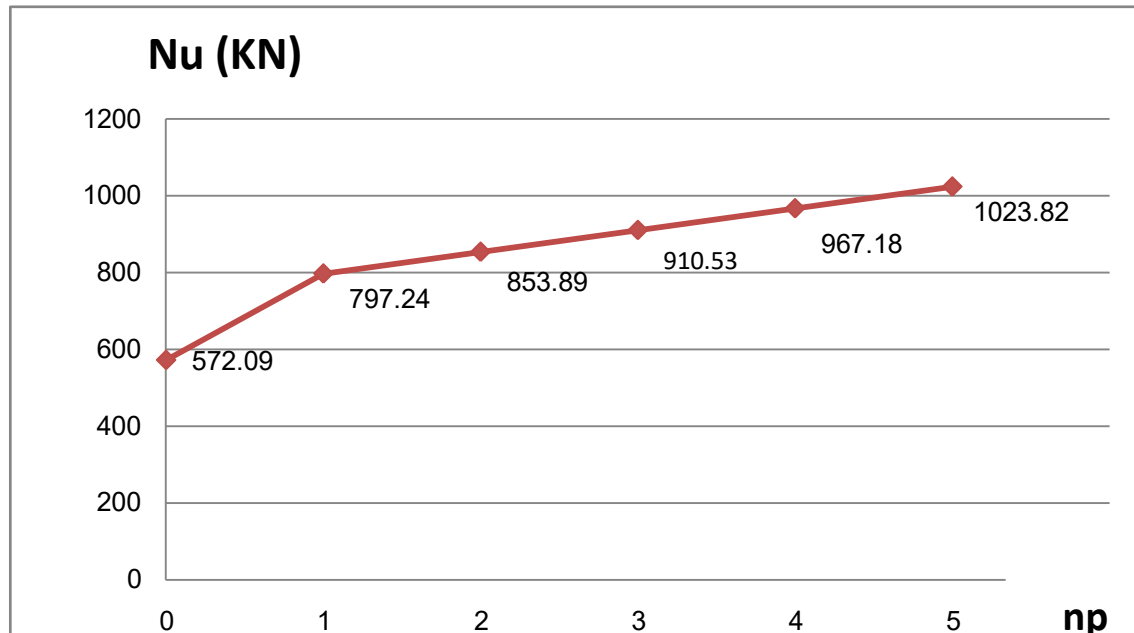


**Figure 4-2 :** variation de  $N_U$  en fonction de nombre des couches de PRFC

(Section circulaire avec sika warp 230-c un renforcement discontinu)

À partir du tableau 4-1 et la Figure 4-2, on peut remarquer que la capacité portante du poteau ( $N_U$ ) augmente avec l'augmentation de nombre des couches de PRFC ( $n_p$ ).

Cette augmentation est importante pour la première couche par rapport les autres cas.

#### 4.4.1.2 Renforcement continu:

Dans ce le poteau est entièrement enveloppée en utilisant le sika warp 230-c et le calcul comme suit :

$$\checkmark \quad k_c = 1$$

$$\checkmark \quad K_h = 1$$

$$\checkmark \quad \Psi_f = 0,8$$

1) La Pression de confinement provenant du renfort composite :

$$f_l = E_p \times \varepsilon_{fud}$$

$$\text{Avec} \quad E_p = \frac{2 \times t_f \times n_p}{D} \times E_f = \frac{2 \times 0,129 \times 1}{25 \times 10} \times 225000 = 232,20 \text{ Mpa}$$

$$f_l = 232,2 \times 0,6 \% = 1,39 \text{ Mpa}$$

2) La Résistance en compression du béton confiné :

$$f_{cd,c} = f_{cd} + \Psi_f \times \alpha \times k_c \times k_h \times f_l$$

$$f_{cd,c} = 20 + (0,8 \times 3,45 \times 1 \times 1 \times 1,39) = 23,84 \text{ Mpa}$$

3) Le poteau renforcé par le PRFC peut supporter la charge maximale :

$$N_u \leq \gamma_\lambda (B \times f_{cd,c} + A_s \times f_{su})$$

Avec  $\gamma_\lambda$  coefficient qui dépend de  $\lambda$  :  $\alpha = \gamma_\lambda = 0,67$

$$N_u \leq 0,67(415,47.10^2 \times 23,84 + 6,79.10^2 \times 400) = 84791 \text{ N} = 847,91 \text{ KN}$$

**Tableau 4-2 :** Section circulaire avec sika warp 230-c un renforcement continu.

| Nombre de couche | $t_f$<br>(mm) | $E_p$<br>(Mpa) | $f_{cd}$<br>(Mpa) | $F_l$<br>(Mpa) | $f_{cd,c}$<br>(Mpa) | $N_u$<br>(KN) | Taux<br>% |
|------------------|---------------|----------------|-------------------|----------------|---------------------|---------------|-----------|
| sans plis        | –             | –              | 20                | –              | –                   | 572,09        | 0         |
| 1 pli            | 0,129         | 232,20         | 20                | 1,39           | 23,85               | 847,91        | 48,21     |
| 2 plis           | 0,258         | 464,40         | 20                | 2,79           | 27,69               | 955,22        | 66,96     |
| 3 plis           | 0,387         | 697,60         | 20                | 4,18           | 31,54               | 1062,54       | 85,72     |
| 4 plis           | 0,516         | 928,80         | 20                | 5,57           | 35,38               | 1169,85       | 104,48    |
| 5 plis           | 0,645         | 1161           | 20                | 6,97           | 39,23               | 1277,16       | 123,24    |

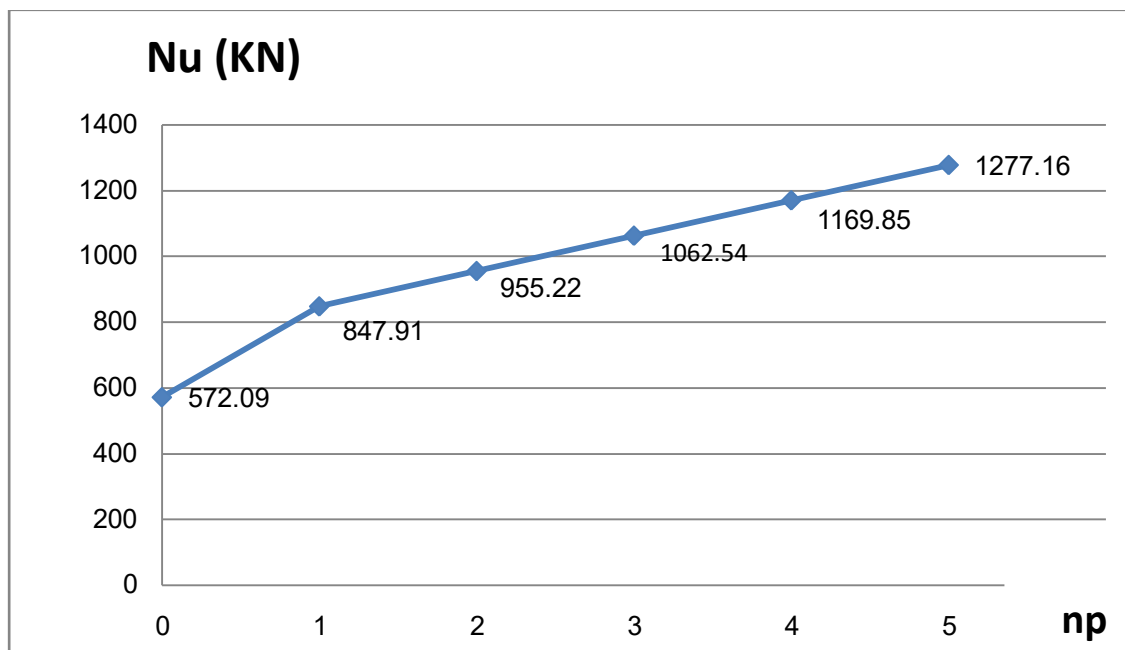


**Figure 4-3 :** variation de  $N_U$  en fonction de nombre des couches de PRFC

(section circulaire avec sika warp 230-c un renforcement continu)

Dans le cas de renforcement continu le tableau 4-1 et la Figure 4-2 indiquent les mêmes remarques ont été notées dans le cas de renforcement discontinu sauf que l'augmentation de  $N_U$  fonction de nombre des couches de PRFC est plus important.

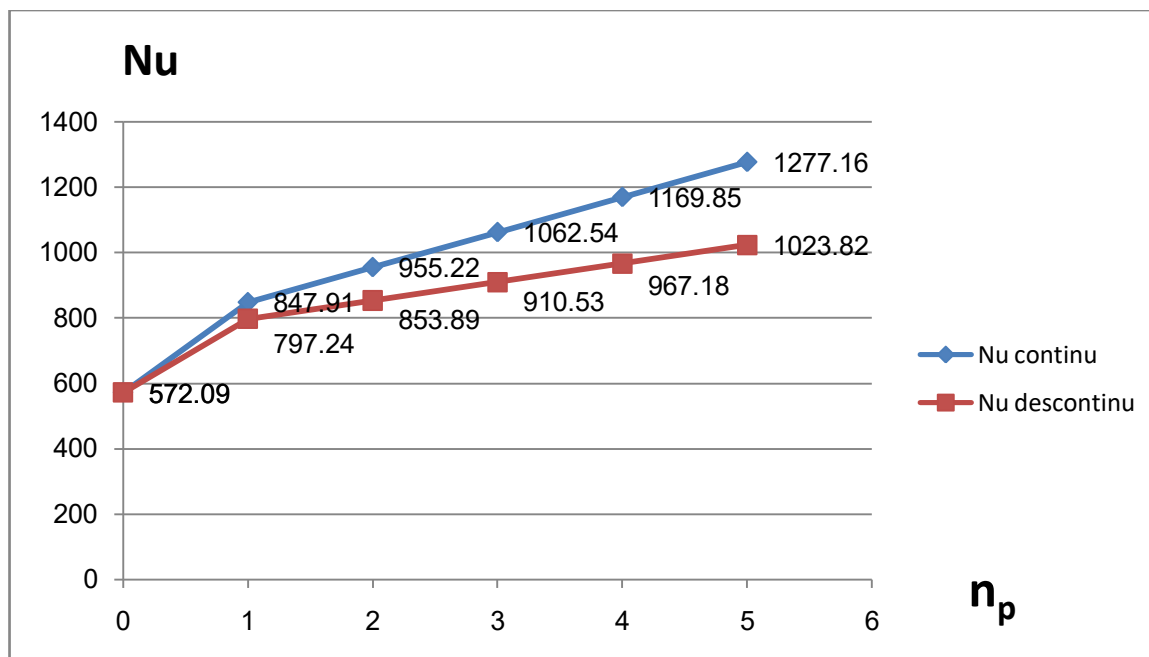


**Figure 4-4 :** variation de  $N_U$  en fonction de nombre des couches de PRFC (section circulaire avec sika warp 230-c un renforcement continu et renforcement discontinu)

La figure 4-4 présente une comparaison entre le renforcement continu et renforcement discontinu concernant la variation de  $N_U$  en fonction de nombre des couches de PRFC pour une section circulaire renforcé par sika warp 230-c. Ces résultats indiquent que l'augmentation de  $N_U$  par le renforcement continu mieux que le renforcement discontinu mai pour dans le cas de renforcement par une seule couche les résultats sont proches.

#### 4.4.2 Capacité d'un poteau circulaire renforcé par sika warp 600-c :

Pour étudier l'influence de type de renforcement nous avons choisi un autre type de composite, c'est le sika warp 600-c. ce composite ayant les propriétés suivantes :

$$E_f = 235000 \text{ Mpa} , t_f = 0,331 \text{ m} , \varepsilon_{fud} = 0,6 \% , w_f = 30 \text{ cm}$$

##### 4.4.2.1 Renforcement discontinu :

$$\checkmark \quad k_c = 1$$

$$\checkmark \quad K_h = \frac{1}{1 + \frac{s_f}{\pi D}} \times \frac{\left(1 - \frac{s_f - w_f}{2D}\right)}{1 - \rho_l}$$

$$S_f - W_f < \min (40 \text{ cm}, 15\varphi, St)$$

$$S_f < \min (40 \text{ cm}, 18, 15) + 30$$

$$S_f < \min (15) + 30$$

$$S_f = 40 \text{ cm}$$

$$\rho_l = \frac{A_s}{A_c} = \frac{6,79}{415,47} = 0,016$$

$$K_h = \frac{1}{1 + \frac{40}{\pi 25}} \times \frac{\left(1 - \frac{40 - 30}{2 \times 25}\right)}{1 - 0,016} = 0,53$$

$$\checkmark \quad \Psi_f = 0,8$$

1) La Pression de confinement provenant du renfort composite :

$$f_l = E_p \times \varepsilon_{fud}$$

$$\text{Avec} \quad E_p = \frac{2 \times t_f \times n_p}{D} \times E_f = \frac{2 \times 0,331 \times 1}{25 \times 10} \times 235000 = 662,28 \text{ Mpa}$$

$$f_l = 662,28 \times 0,6 \% = 3,73 \text{ Mpa}$$

2) La Résistance en compression du béton confiné :

$$f_{cd,c} = f_{cd} + \Psi_f \times \alpha \times k_c \times k_h \times f_l$$

$$f_{cd,c} = 20 + (0,8 \times 3,45 \times 1 \times 0,53 \times 3,73) = 25,44 \text{ Mpa}$$

3) Le poteau renforcé par le PRFC peut supporter la charge maximale :

$$N_u \leq \gamma_\lambda (B \times f_{cd,c} + A_s \times f_{su})$$

Avec  $\gamma_\lambda$  coefficient qui dépend de  $\lambda$  :  $\alpha = \gamma_\lambda = 0,67$

$$N_u \leq 0,67(415,47.10^2 \times 25,44 + 6,79.10^2 \times 400) = 892403N = 892,40 \text{ KN}$$

**Tableau 4-3:** section circulaire avec sika Wrap 600-c avec un renforcement discontinu.

| Nomb<br>re de<br>couch<br>e | $t_f$<br>(mm) | $E_p$<br>(Mpa) | $f_{cd}$<br>(Mpa) | $F_l$<br>(Mpa) | $f_{cd,c}$<br>(Mpa) | $N_u$<br>(KN) | Taux<br>% |
|-----------------------------|---------------|----------------|-------------------|----------------|---------------------|---------------|-----------|
| Sans plis                   | –             | –              | 20                | –              | –                   | 572,09        | 0         |
| 1 pli                       | 0,331         | 662,28         | 20                | 3,73           | 25,44               | 892,40        | 55,99     |
| 2 plis                      | 0,662         | 1244,56        | 20                | 7,47           | 30,88               | 1044,21       | 82,52     |
| 3 plis                      | 0,993         | 1866,84        | 20                | 11,20          | 36,32               | 1196,01       | 109,05    |
| 4 plis                      | 1,32          | 2489,12        | 20                | 14,94          | 41,76               | 1347,82       | 135,59    |
| 5 plis                      | 1,65          | 3111,40        | 20                | 18,67          | 47,20               | 1499,62       | 162,12    |

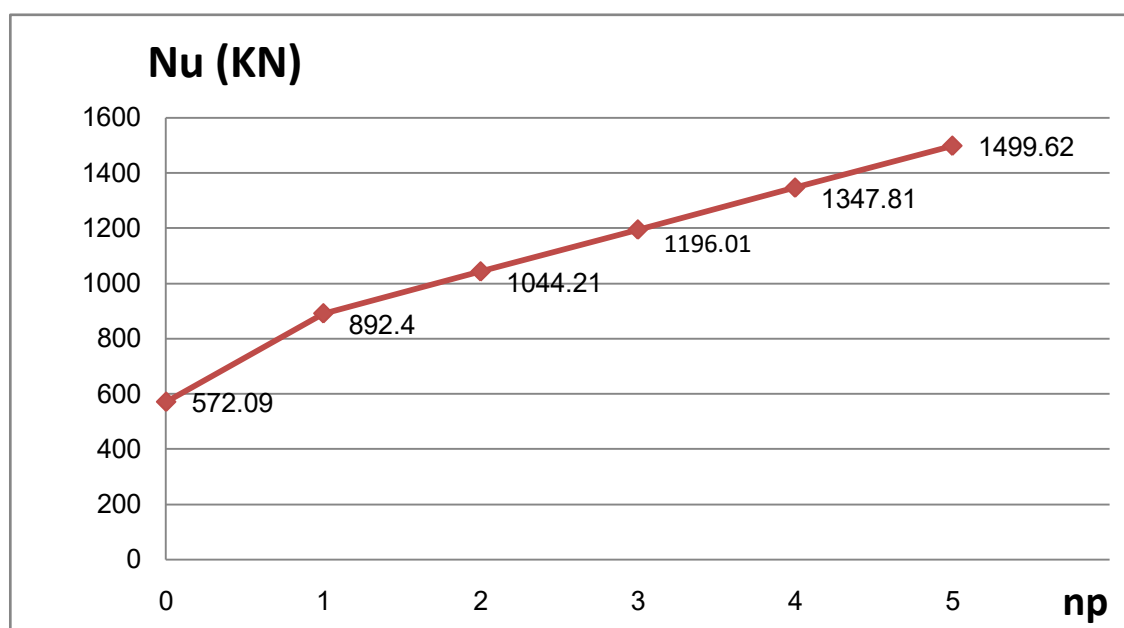


**Figure 4-5 :** variation de  $N_U$  en fonction de nombre des couches de PRFC (section circulaire avec sika warp 600-c un renforcement discontinu)

À partir du tableau 4-3 et la Figure 4-5, on peut remarquer que la capacité portante du poteau ( $N_U$ ) augmente considérablement avec l'augmentation de nombre des couches de PRFC ( $n_p$ ). Cette augmentation est importante pour la première couche par rapport les autres cas. Comparativement au cas de confinement par sika warp 230-c, l'augmentation de  $N_U$  est plus grande.

#### 4.4.2.2 Renforcement continu :

$$\checkmark \quad k_c = 1$$

$$\checkmark \quad K_h = 1$$

$$\checkmark \quad \Psi_f = 0,8$$

1) La Pression de confinement provenant du renfort composite :

$$f_l = E_p \times \varepsilon_{fud}$$

$$\text{Avec} \quad E_p = \frac{2 \times t_f \times n_p}{D} \times E_f = \frac{2 \times 0,331 \times 1}{25 \times 10} \times 235000 = 662,280 \text{ Mpa}$$

$$f_l = 662,28 \times 0,6 \% = 3,73 \text{ Mpa}$$

2) La Résistance en compression du béton confiné :

$$f_{cd,c} = f_{cd} + \Psi_f \times \alpha \times k_c \times k_h \times f_l$$

$$f_{cd,c} = 20 + (0,8 \times 3,45 \times 1 \times 1 \times 3,73) = 30,30 \text{ Mpa}$$

3) Le poteau renforcé par le PRFC peut supporter la charge maximale :

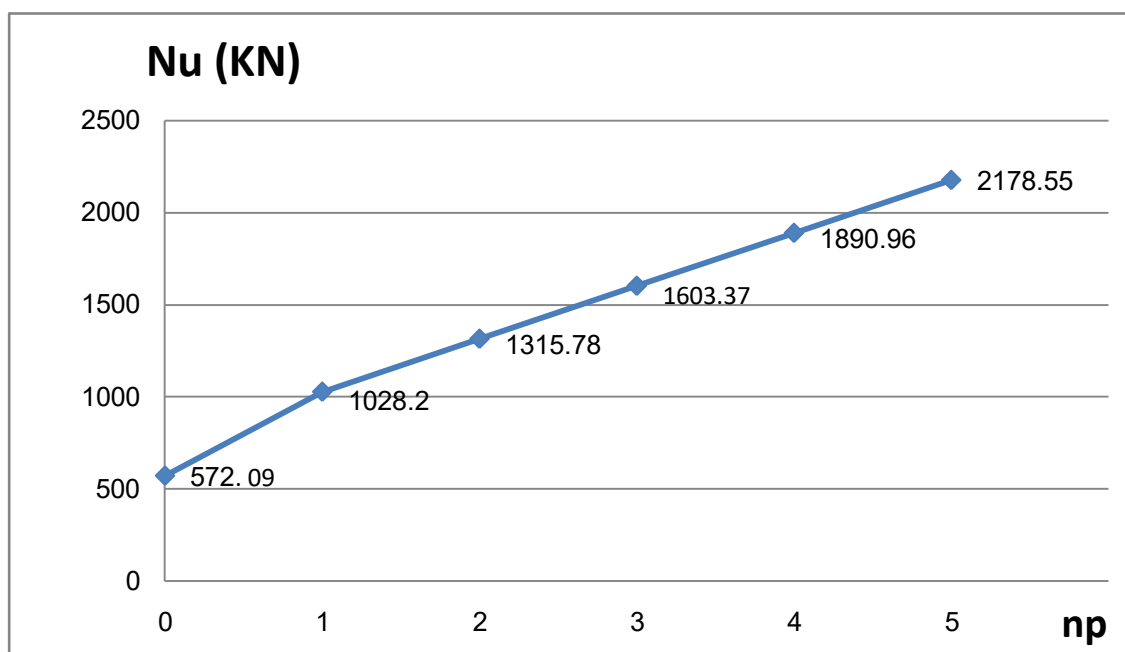
$$N_u \leq \gamma_\lambda (B \times f_{cd,c} + A_s \times f_{su})$$

$$\text{Avec} \quad \gamma_\lambda \text{ coefficient qui dépend de } \lambda : \quad \alpha = \gamma_\lambda = 0,67$$

$$N_u \leq 0,67(415,47.10^2 \times 30,30 + 6,79.10^2 \times 400) = 1028190 \text{ N} = 1028,19 \text{ KN}$$

**Tableau 4-4 :** Section circulaire avec sika warp 600-c un renforcement continu.

| Nombre de couche | $t_f$<br>(mm) | $E_p$<br>(Mpa) | $f_{cd}$<br>(Mpa) | $F_l$<br>(Mpa) | $f_{cd,c}$<br>(Mpa) | $N_u$<br>(KN) | Taux<br>%      |
|------------------|---------------|----------------|-------------------|----------------|---------------------|---------------|----------------|
| Sans plis        | –             | –              | 20                | –              | –                   | 572,09        | 0              |
| 1 pli            | 0, 331        | 662, 28        | 20                | 3, 73          | 30, 30              | 1028,19       | 79,723         |
| 2 plis           | 0, 662        | 1244, 56       | 20                | 7, 47          | 40, 61              | 1315, 78      | 129, <b>99</b> |
| 3 plis           | 0, 993        | 1866, 84       | 20                | 11, 20         | 50, 91              | 1603, 37      | 180, <b>26</b> |
| 4 plis           | 1, 32         | 2489, 12       | 20                | 14, 93         | 61, 22              | 1890, 96      | 230, <b>53</b> |
| 5 plis           | 1, 65         | 3111, 40       | 20                | 18, 67         | 71, 52              | 2178, 55      | 280, <b>80</b> |

**Figure 4-6 :** variation de  $N_u$  en fonction de nombre des couches de PRFC

(section circulaire avec sika warp 600-c un renforcement continu)

Dans le cas de renforcement continu le tableau 4-1 et la Figure 4-2 indiquent les mêmes remarques ont été notées dans le cas de renforcement discontinu sauf que l'augmentation de  $N_u$  fonction de nombre des couches de PRFC est plus important. Le renforcement du poteau par 5plis permet d'augmenter sa capacité ultime  $N_u$  de voisinage de 300 %

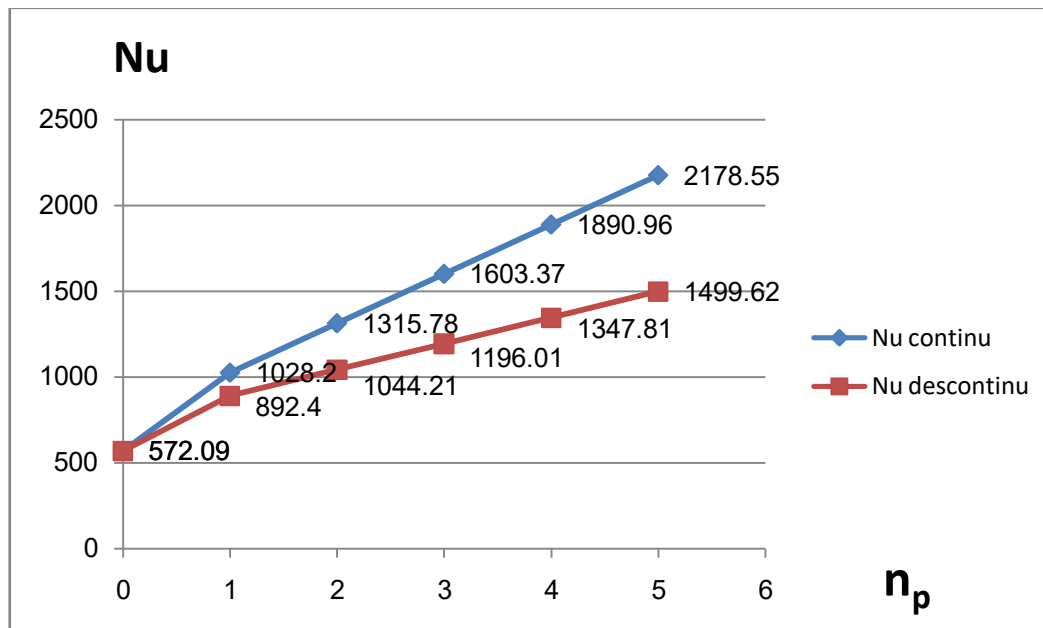


**Figure 4-7 :** variation de  $N_U$  en fonction de nombre des couches de PRFC (section circulaire avec sika warp 600-c un renforcement continu et renforcement discontinu)

La figure 4-7 présente une comparaison entre le renforcement continu et renforcement discontinu concernant la variation de  $N_U$  en fonction de nombre des couches de PRFC pour une section circulaire renforcé par sika warp 600-c. Ces résultats indiquent que l'augmentation de  $N_U$  par le renforcement continu mieux que le renforcement discontinu notamment dans les cas de renforcement par plusieurs couches.

#### 4.5 Capacité d'un poteau carré confiné par matériaux composites:

Les caractéristiques du poteau carré utilisées dans le calcul sont les suivants :

P (30×30):  $f_{c28}=20 \text{ Mpa}$  ,  $L_0 = 3,6 \text{ m}$  , ,  $\lambda = 29,09 \leq 50$  ,  $A_S = 6,79 \text{ cm}^2 \rightarrow 6HA12$  ,

$\gamma_b = 1,5 \text{ Mpa}$  ,  $\gamma_s = 1,15 \text{ Mpa}$  ,  $f_e E400$  ,  $R \geq 35\text{mm}$

La capacité d'un poteau sans renforcement soumis à une compression simple est donnée par la formule suivante:

$$\blacksquare \quad N_U = \alpha \left( \frac{B_r \times f_{c28}}{0,9 \times \gamma_b} + A_S \times \frac{f_e}{\gamma_s} \right)$$

$$\alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \times \left( \frac{\lambda}{35} \right)^2} = \frac{0,85}{1 + 0,2 \times \left( \frac{29,09}{35} \right)^2} = 0,75$$

$$B_r = (b - 2) \times (h - 2) = (30 - 2) \times (30 - 2) = 784 \text{ cm}^2$$

$$N_U = 0,75 \left( \frac{784.10^2 \times 20}{0,9 \times 1,5} + 6,79.10^2 \times \frac{400}{1,15} \right) = 1043796 \text{ N} = \mathbf{1043,80 \text{ kN}}$$

#### 4.5.1 Capacité d'un poteau carré renforcé par sika warp 230-c :

Afin d'étudier l'effet de renforcement du poteau carré sur sa capacité on a choisi le sika warp 230-c comme un renfort, ce matériau possède les propriétés suivantes :

$$E_f = 225000 \text{ Mpa}, t_f = 0,129 \text{ m}, \varepsilon_{fud} = 0,6 \%, w_f = 30 \text{ cm}$$

##### 4.5.1.1 Renforcement discontinu :

Dans ce cas le poteau est renforcé par des bandes de sika warp 230-c ont une largeur de 30cm et le calcul comme suit :

$$\checkmark \quad k_c = 1 - \frac{h'^2 + b'^2}{3 \times A_c} = 1 - \frac{(h - (2R))^2 + (b - (2R))^2}{3 \times A_c} = 1 - \frac{\left(30 - \left(2 \times \frac{35}{10}\right)\right)^2 + \left(30 - \left(2 \times \frac{35}{10}\right)\right)^2}{3 \times 784} = 0,55$$

$$\checkmark \quad K_h = \frac{\left(1 - \frac{S_f - w_f}{2h}\right) \times \left(1 - \frac{S_f - w_f}{2b}\right)}{1 - \rho_l}$$

$$S_f - W_f < \min(40 \text{ cm}, 15\varphi, St)$$

$$S_f < \min(40 \text{ cm}, 18, 15) + 30$$

$$S_f < \min(15) + 30$$

$$S_f = 40 \text{ cm}$$

$$\rho_l = \frac{A_s}{A_c} = \frac{6,79}{784} = 0,009$$

$$K_h = \frac{\left(1 - \frac{40 - 30}{2 \times 30}\right) \times \left(1 - \frac{40 - 30}{2 \times 30}\right)}{1 - 0,009} = 0,86$$

$$\checkmark \quad \Psi_f = 0,6$$

1) La Pression de confinement provenant du renfort composite :

$$f_l = E_p \times \varepsilon_{fud}$$

$$\text{Avec } E_p = \frac{2 \times t_f \times n_p}{b} \times E_f = \frac{2 \times 0,129 \times 1}{30 \times 10} \times 225000 = 193,50 \text{ Mpa}$$

$$f_l = 193,5 \times 0,6 \% = 1,16 \text{ Mpa}$$

2) La Résistance en compression du béton confiné :

$$f_{cd,c} = f_{cd} + \Psi_f \times \alpha \times k_c \times k_h \times f_l$$

$$f_{cd,c} = 20 + (0,6 \times 3,45 \times 0,86 \times 0,55 \times 1,16) = 21,14 \text{ Mpa}$$

3) Le poteau renforcé par le PRFC peut supporter la charge maximale :

$$N_u \leq \gamma_\lambda (B \times f_{cd,c} + A_s \times f_{su})$$

Avec  $\gamma_\lambda$  coefficient qui dépend de  $\lambda$  :  $\alpha = \gamma_\lambda = 0,75$

$$N_u \leq 0,75(784.10^2 \times 21,14 + 6,79.10^2 \times 400) = 1440419 \text{ N} = 1440,42 \text{ KN}$$

**Tableau 4-5** : section carré avec sika wrap 230- c un renforcement discontinu .

| Nombre de couche | $t_f$<br>(mm) | $E_p$<br>(Mpa) | $f_{cd}$<br>(Mpa) | $F_l$<br>(Mpa) | $f_{cd,c}$<br>(Mpa) | $N_u$<br>(KN) | Taux<br>% |
|------------------|---------------|----------------|-------------------|----------------|---------------------|---------------|-----------|
| Sans plis        | –             | –              | 20                | –              | –                   | 1043,80       | 0         |
| 1 pli            | 0,129         | 193,50         | 20                | 1,16           | 21,14               | 1440,42       | 37,99     |
| 2 plis           | 0, 258        | 387            | 20                | 2,32           | 22,27               | 1506,99       | 44,37     |
| 3 plis           | 0, 387        | 580,50         | 20                | 3,48           | 23,41               | 1573,56       | 50,75     |
| 4 plis           | 0,516         | 774            | 20                | 4,64           | 24,55               | 1640,13       | 57,13     |
| 5 plis           | 0,645         | 967,50         | 20                | 5,805          | 25,68               | 1706,70       | 63,50     |

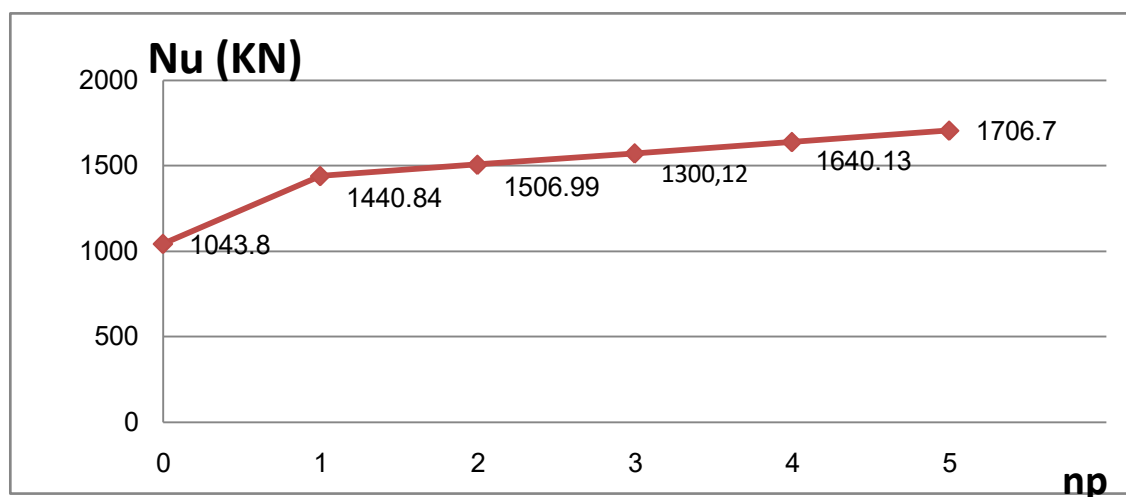


**Figure 4-8** : variation de  $N_U$  en fonction de nombre des couches de PRFC

(section Carré avec sika warp 230-c un renforcement discontinu)

Les résultats obtenus dans le tableau 4-5 et la Figure 4-8 , montre que la capacité portante du poteau ( $N_U$ ) augmente avec l'augmentation de nombre des couches de PRFC ( $n_p$ ). Cette augmentation est importante pour la première couche par rapport les autres cas .

La comparaison entre ces résultats et les résultats de poteau circulaire indique que l'amélioration de la capacité du poteau renforcée par PRFC, est considérable dans le cas d'un poteau circulaire, comparativement à l'amélioration dans le cas d'un poteau rectangulaire.

#### 4.5.1.2 Renforcement continu :

Dans ce le poteau est entièrement enveloppée en utilisant le sika warp 230-c et le calcul comme suit :

$$\checkmark \quad k_c = 1 - \frac{h'^2 + b'^2}{3 \times A_c} = \frac{(h - (2R))^2 + (b - (2R))^2}{3 \times A_c} = 1 - \frac{\left(30 - \left(2 \times \frac{35}{10}\right)\right)^2 + \left(30 - \left(2 \times \frac{35}{10}\right)\right)^2}{3 \times 784} = 0,55$$

$$\checkmark \quad K_h = 1$$

$$\checkmark \quad \Psi_f = 0,6$$

1) La Pression de confinement provenant du renfort composite :

$$f_l = E_p \times \varepsilon_{fud}$$

$$\text{Avec} \quad E_p = \frac{2 \times t_f \times n_p}{b} \times E_f = \frac{2 \times 0,129 \times 1}{30 \times 10} \times 225000 = 193,50 \text{ Mpa}$$

$$f_l = 193,5 \times 0,6 \% = 1,16 \text{ Mpa}$$

2) La Résistance en compression du béton confiné :

$$f_{cd,c} = f_{cd} + \Psi_f \times \alpha \times k_c \times k_h \times f_l$$

$$f_{cd,c} = 20 + (0,6 \times 3,45 \times 0,55 \times 1 \times 1,16) = 21,32 \text{ Mpa}$$

3) Le poteau renforcé par le PRFC peut supporter la charge maximale :

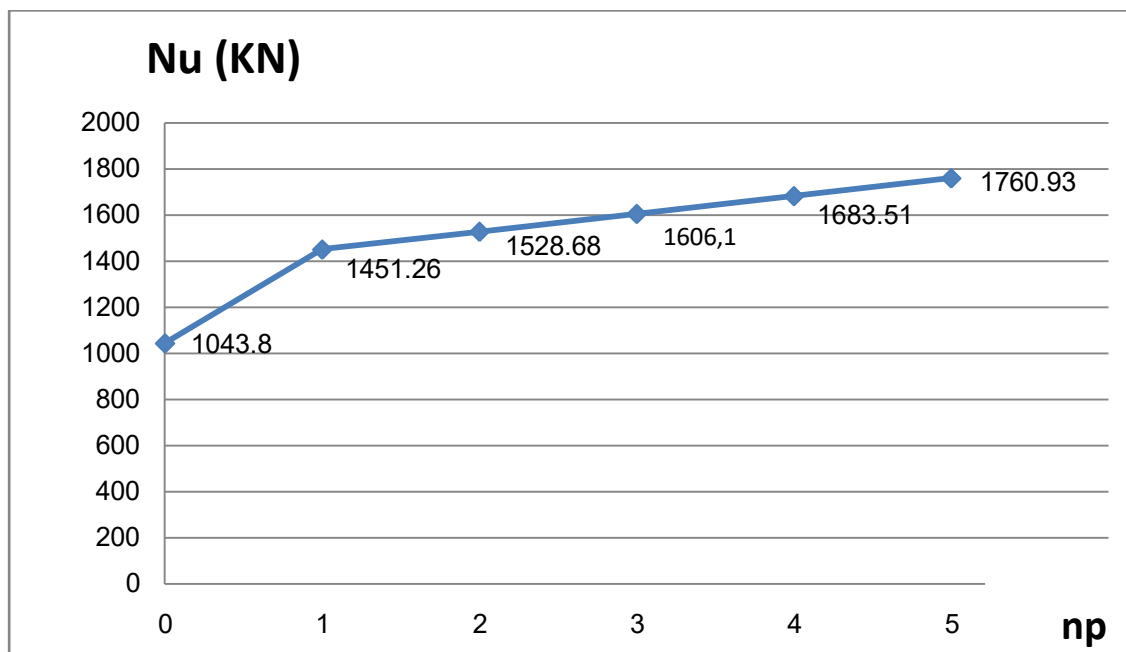
$$N_u \leq \gamma_\lambda (B \times f_{cd,c} + A_s \times f_{su})$$

Avec  $\gamma_\lambda$  coefficient qui dépend de  $\lambda$  :  $\alpha = \gamma_\lambda = 0,75$

$$N_u \leq 0,75(784.10^2 \times 21,32 + 6,79.10^2 \times 400) = 14451265 \text{ N} = 1451,26 \text{ KN}$$

**Tableau 4- 6:** Section carré avec sika warp 230-c un renforcement continu.

| Nombre de couche | $t_f$<br>(mm) | $E_p$<br>(Mpa) | $f_{cd}$<br>(Mpa) | $F_l$<br>(Mpa) | $f_{cd,c}$<br>(Mpa) | $N_u$<br>(KN) | Taux % |
|------------------|---------------|----------------|-------------------|----------------|---------------------|---------------|--------|
| Sans plis        | –             | –              | 20                | –              | –                   | 1043,80       | 0      |
| 1 pli            | 0,129         | 193,50         | 20                | 1,16           | 21,32               | 1451,26       | 39,04  |
| 2 plis           | 0, 258        | 387            | 20                | 2,32           | 22,64               | 1528,68       | 46, 33 |
| 3 plis           | 0, 387        | 580,50         | 20                | 3,48           | 23,97               | 1606,10       | 53,06  |
| 4 plis           | 0,516         | 774            | 20                | 4,64           | 25,29               | 1683,51       | 61,28  |
| 5 plis           | 0,645         | 967,50         | 20                | 5,81           | 26,61               | 1760,93       | 68,70  |

**Figure 4-9 :** variation de  $N_U$  en fonction de nombre des couches de PRFC

(section Carré avec sika warp 230-c un renforcement continu et renforcement continu)

Dans le cas de renforcement continu le tableau 4-6 et la Figure 4-9 indiquent les mêmes remarques ont été notées dans le cas de renforcement discontinu.

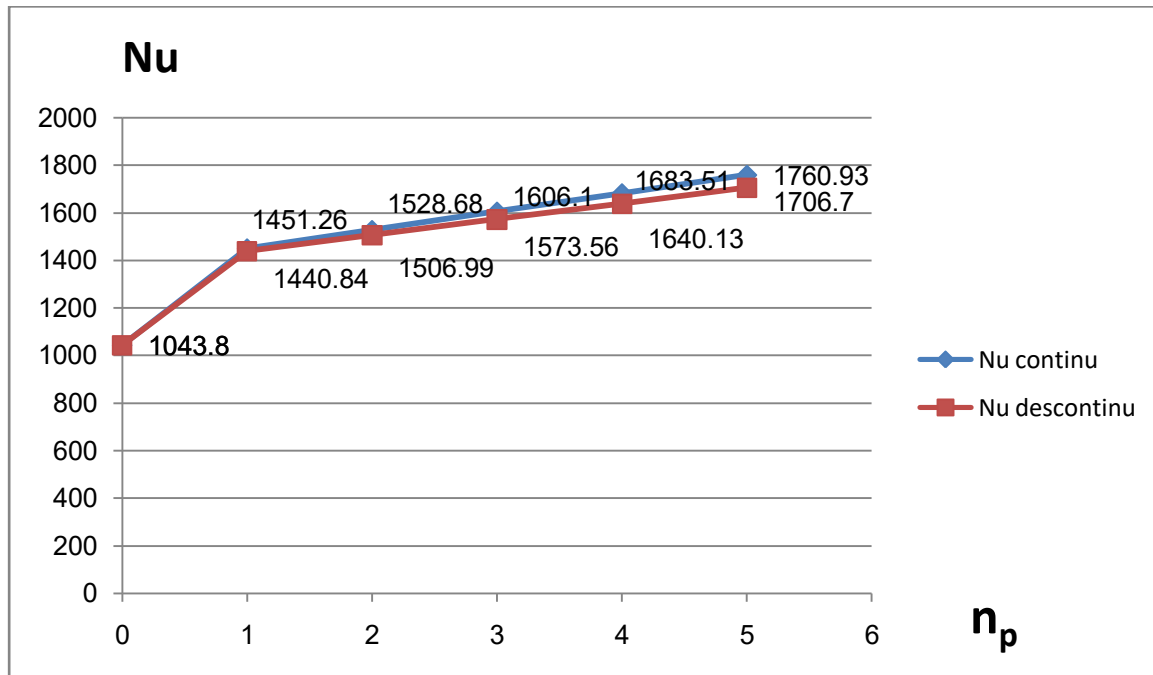


**Figure 4-10** : variation de  $N_U$  en fonction de nombre des couches de PRFC

(section Carré avec sika warp 230-c un renforcement continu et renforcement discontinu)

La figure 4-10 présente une comparaison entre le renforcement continu et renforcement discontinu concernant la variation de  $N_U$  en fonction de nombre des couches de PRFC pour une section carré renforcé par sika warp 230-c. Ces résultats indiquent que l'augmentation de  $N_U$  par le renforcement continu proche au renforcement discontinu.

#### 4.5.2 Capacité d'un poteau carré renforcé par sika warp 600-c :

Afin d'étudier l'influence de type de renforcement sur un poteau carré nous avons choisi un autre type de composite, c'est le sika warp 600-c. ce composite ayant les propriétés suivantes :

$$E_f = 235000 \text{ Mpa}, t_f = 0,331 \text{ m}, \varepsilon_{fud} = 0,6 \%, w_f = 30 \text{ cm}$$

##### 4.5.2.1 Renforcement discontinu :

$$\checkmark k_c = 1 - \frac{h'^2 + b'^2}{3 \times A_c} = \frac{(h - (2R))^2 + (b - (2R))^2}{3 \times A_c} = 1 - \frac{(30 - (2 \times \frac{35}{10}))^2 + (30 - (2 \times \frac{35}{10}))^2}{3 \times 784} = 0,55$$

$$\checkmark K_h = \frac{(1 - \frac{s_f - w_f}{2h}) \times (1 - \frac{s_f - w_f}{2b})}{1 - \rho_l}$$

$$S_f - W_f < \min (40 \text{ cm}, 15\varphi, St)$$

$$S_f < \min (40 \text{ cm}, 18, 15) + 30$$

$$S_f < \min (15) + 30$$

$$S_f = 40 \text{ cm}$$

$$\rho_l = \frac{A_s}{A_c} = \frac{6,79}{784} = 0,009$$

$$K_h = \frac{\left(1 - \frac{40 - 30}{2 \times 30}\right) \times \left(1 - \frac{40 - 30}{2 \times 30}\right)}{1 - 0,009} = 0,86$$

$$\checkmark \Psi_f = 0,6$$

1) La Pression de confinement provenant du renfort composite :

$$f_l = E_p \times \varepsilon_{fud}$$

$$\text{Avec } E_p = \frac{2 \times t_f \times n_p}{b} \times E_f = \frac{2 \times 0,331 \times 1}{30 \times 10} \times 235000 = 518,57 \text{ Mpa}$$

$$f_l = 518,56 \times 0,6 \% = 3,11 \text{ Mpa}$$

2) La Résistance en compression du béton confiné :

$$f_{cd,c} = f_{cd} + \Psi_f \times \alpha \times k_c \times k_h \times f_l$$

$$f_{cd,c} = 20 + (0,6 \times 3,45 \times 0,55 \times 0,86 \times 3,11) = 23,05 \text{ Mpa}$$

3) Le poteau renforcé par le PRFC peut supporter la charge maximale :

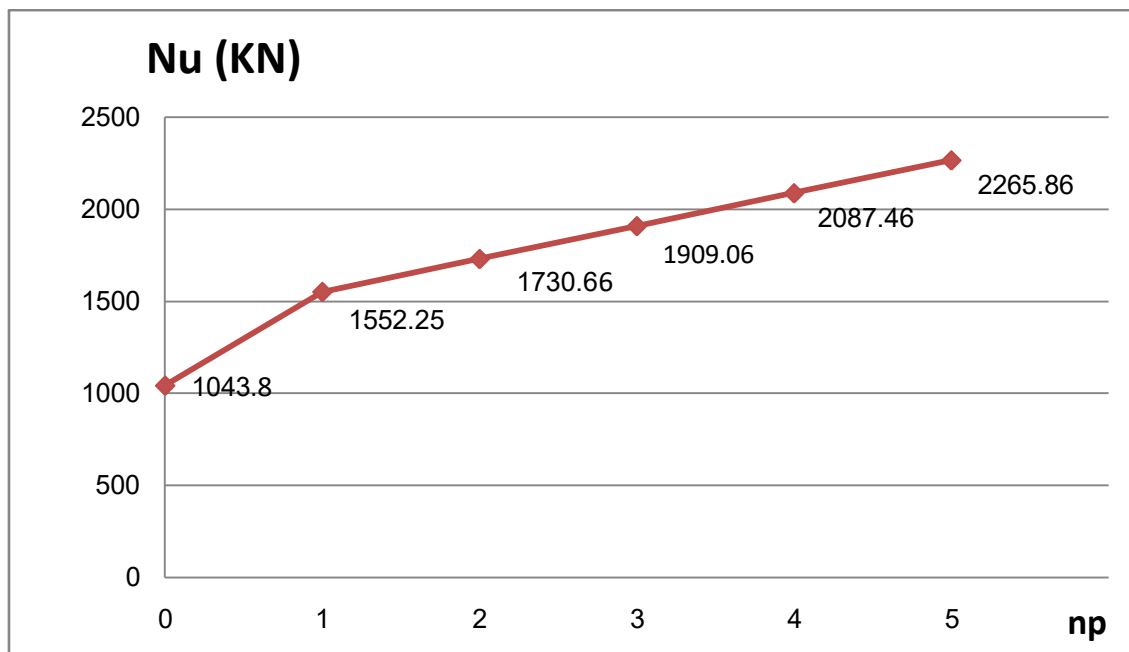
$$Nu \leq \gamma_\lambda (B \times f_{cd,c} + A_s \times f_{su})$$

Avec  $\gamma_\lambda$  coefficient qui dépend de  $\lambda$  :  $\alpha = \gamma_\lambda = 0,75$

$$Nu \leq 0,75(784.10^2 \times 23,05 + 6,79.10^2 \times 400) = 1552252,32 \text{ N} = 1552,25 \text{ KN}$$

**Tableau 4- 7:** Section carré avec sika warp 600-c un renforcement discontinu.

| Nombre de couche | $t_f$<br>(mm) | $E_p$<br>(Mpa) | $f_{cd}$<br>(Mpa) | $F_l$<br>(Mpa) | $f_{cd,c}$<br>(Mpa) | $N_u$<br>(KN) | Taux %  |
|------------------|---------------|----------------|-------------------|----------------|---------------------|---------------|---------|
| Sans plis        | –             | –              | 20                | –              | –                   | 1043,80       | 0       |
| 1 pli            | 0, 331        | 518,57         | 20                | 3,11           | 23,05               | 1552,25       | 49,13   |
| 2 plis           | 0, 662        | 1037,13        | 20                | 6,22           | 26,10               | 1730,66       | 65, 80  |
| 3 plis           | 0, 993        | 1555,70        | 20                | 9,33           | 29,14               | 1909,06       | 82, 89  |
| 4 plis           | 1, 324        | 2074,27        | 20                | 12,45          | 32,19               | 2087,46       | 99, 98  |
| 5 plis           | 1, 655        | 2592, 83       | 20                | 15,56          | 35,23               | 2265,86       | 110, 70 |

**Figure 4-11:** variation de  $N_u$  en fonction de nombre des couches de PRFC

(section Carré avec sika warp 600-c un renforcement discontinu)

À partir du tableau 4-7 et la Figure 4-11, on peut remarquer que la capacité portante du poteau ( $N_u$ ) augmente considérablement avec l'augmentation de nombre des couches de PRFC ( $n_p$ ). Cette augmentation est importante pour la première couche par rapport les autres cas. Comparativement au cas de confinement par sika warp 230-c, l'augmentation de  $N_u$  est plus grande.

## 4.5.2.2 Renforcement continu :

$$\checkmark \quad k_c = 1 - \frac{h'^2 + b'^2}{3 \times A_c} = \frac{(h - (2R))^2 + (b - (2R))^2}{3 \times A_c} = 1 - \frac{\left(30 - \left(2 \times \frac{35}{10}\right)\right)^2 + \left(30 - \left(2 \times \frac{35}{10}\right)\right)^2}{3 \times 784} = 0,55$$

$$\checkmark \quad K_h = 1$$

$$\checkmark \quad \Psi_f = 0,6$$

1) La Pression de confinement provenant du renfort composite :

$$f_l = E_p \times \varepsilon_{fud}$$

$$\text{Avec} \quad E_p = \frac{2 \times t_f \times n_p}{b} \times E_f = \frac{2 \times 0,331 \times 1}{30 \times 10} \times 235000 = 518,57 \text{ Mpa}$$

$$f_l = 518,56 \times 0,6 \% = 3,11 \text{ Mpa}$$

2) La Résistance en compression du béton confiné :

$$f_{cd,c} = f_{cd} + \Psi_f \times \alpha \times k_c \times k_h \times f_l$$

$$f_{cd,c} = 20 + (0,6 \times 3,45 \times 0,55 \times 1 \times 3,11) = 23,54 \text{ Mpa}$$

3) Le poteau renforcé par le PRFC peut supporter la charge maximale :

$$N_u \leq \gamma_\lambda (B \times f_{cd,c} + A_s \times f_{su}) \text{ Avec } \gamma_\lambda \text{ coefficient qui dépend de } \lambda : \alpha = \gamma_\lambda = 0,75$$

$$N_u \leq 0,75(784.10^2 \times 23,54 + 6,79.10^2 \times 400) = 1581319,6 \text{ N} = 1581,32 \text{ KN}$$

**Tableau 4 - 8:** Section carré avec sika warp 600-c un renforcement continu.

| Nombre de couche | $t_f$<br>(mm) | $E_p$<br>(Mpa) | $f_{cd}$<br>(Mpa) | $F_l$<br>(Mpa) | $f_{cd,c}$<br>(Mpa) | $N_u$<br>(KN) | Taux % |
|------------------|---------------|----------------|-------------------|----------------|---------------------|---------------|--------|
| Sans plis        | –             | –              | 20                | –              | –                   | 1043,80       | 0      |
| 1 pli            | 0,331         | 518,57         | 20                | 3,11           | 23,54               | 1581,32       | 52,89  |
| 2 plis           | 0,662         | 1037,13        | 20                | 6,22           | 27,09               | 1788,79       | 71,14  |
| 3 plis           | 0,993         | 1555,70        | 20                | 9,33           | 30,63               | 1996,26       | 91,34  |
| 4 plis           | 1,32          | 2074,27        | 20                | 12,45          | 34,37               | 2203,73       | 111,23 |
| 5 plis           | 1,65          | 2592,83        | 20                | 15,56          | 37,72               | 2411,20       | 130,12 |

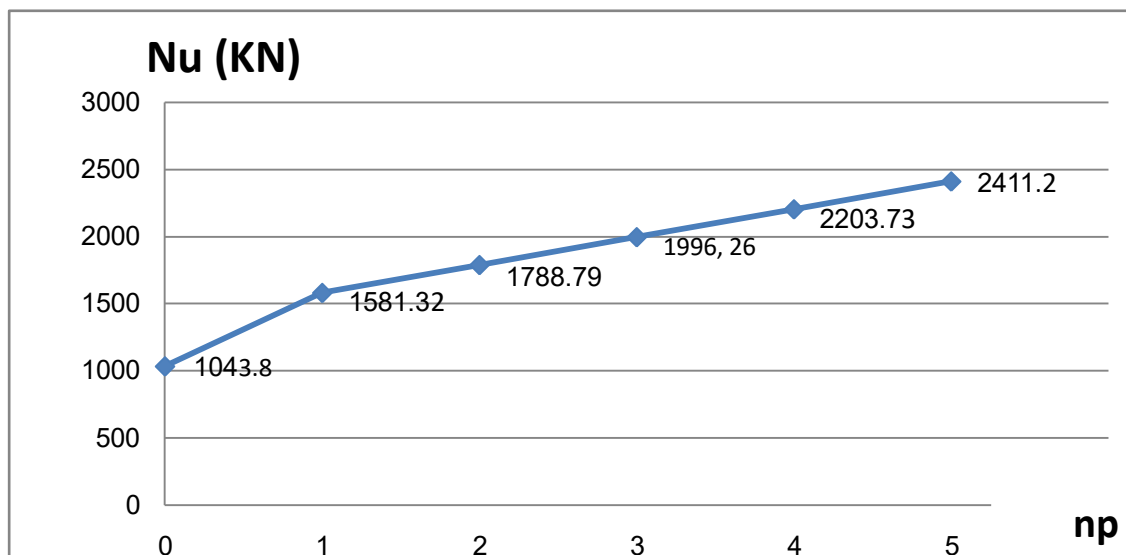


**Figure 4-12 :** variation de  $N_U$  en fonction de nombre des couches de PRFC  
(section Carré avec sika warp 600-c un renforcement continu)

Dans le cas de renforcement continu le tableau 4-8 et la Figure 4-12 indiquent les mêmes remarques ont été notées dans le cas de renforcement discontinu sauf que l'augmentation de  $N_U$  fonction de nombre des couches de PRFC est légèrement supérieur dans le cas de renforcement continu.

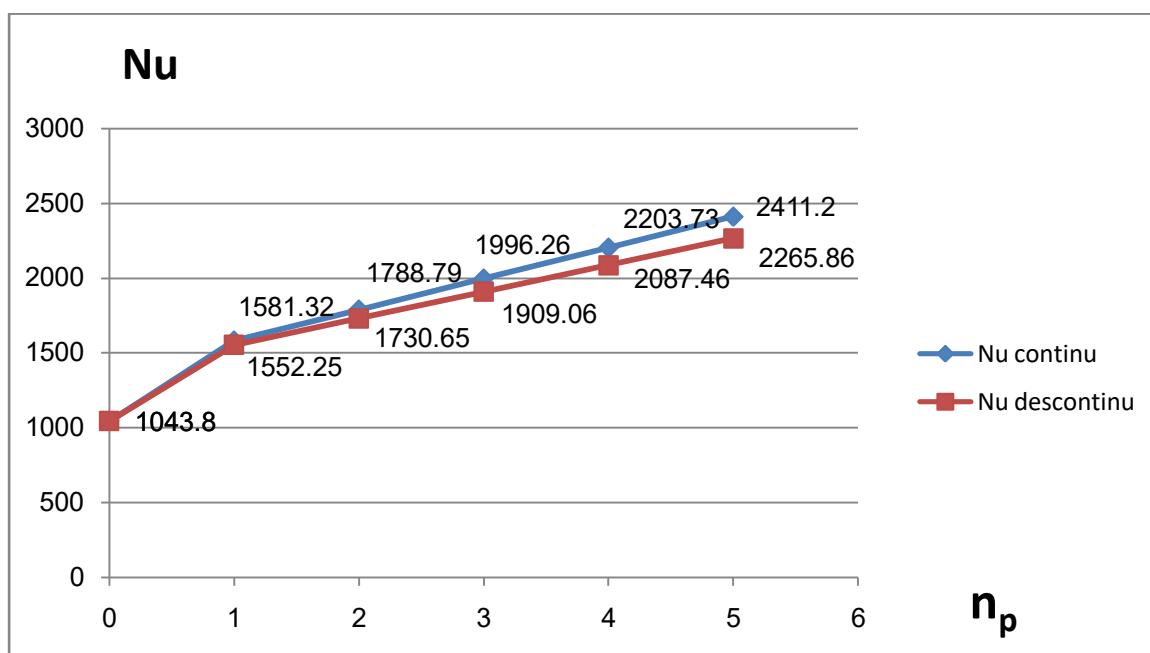


**Figure 4-13 :** variation de  $N_U$  en fonction de nombre des couches de PRFC (section Carré avec sika warp 600-c un renforcement continu et renforcement discontinu)

La figure 4-13 présente une comparaison entre le renforcement continu et renforcement discontinu concernant la variation de  $N_U$  en fonction de nombre des couches de PRFC pour une section carré renforcé par sika warp 600-c. Ces résultats indiquent que l'augmentation de  $N_U$  par le renforcement continu mieux que le renforcement discontinu mais dans ce cas (poteau carré) avec faible déférence comparativement au cas de poteau circulaire.

#### 4.6 Comparaison entre le renforcement par les matériaux composites et le chemisage par béton armé :

Afin de comparer entre le renforcement par les matériaux composites et le renforcement par chemisage on va calculer pour chaque nombre de couches composites la section de béton équivalente (avec chemisage par béton) qui donne la même capacité ultime ( $N_U$ ).

Pour cela on propose d'augmenter la capacité de nos deux poteaux (poteau circulaire D25 et poteau carré P30x30) par les deux méthodes (renforcement par composite et par chemisage).

La procédure consiste à calculer d'abord la capacité ultime de poteau confiné par le matériau composite, puis on détermine la section de béton équivalente (la section après le chemisage par béton) qui donne la même capacité ultime.

##### 4.6.1 Cas d'un poteau circulaire :

La section réduit d'un poteau circulaire en béton armé nécessaire pour une charge ultime est calculé comme suit :

$$A_{th} = \left[ \frac{N_U}{\alpha} - \frac{(B_r \times f_{c28})}{(0,9 \times \gamma_b)} \right] \frac{\gamma_s}{f_e}$$

$$\longrightarrow B_r = \left[ \frac{N_U \times 0,9 \times \gamma_b}{\alpha \times f_{c28}} - \frac{A_{th} \times 0,9 \times \gamma_b \times f_e}{f_{c28} \times \gamma_s} \right]$$

$$B_r = \frac{\pi (D - 20)^2}{4}$$

$$\rightarrow D = \sqrt{\frac{\pi B_r}{4}} + 20$$

- **Poteau circulaire renforcé par SIKa WRAP 230 – C :**

Les tableaux 4-9 et 4-10 présentent la section du poteau (après le chemisage) équivalente à la section renforcée par matériaux composites (SIKA WRAP 230 – C) pour le cas de renforcement continue et discontinue respectivement.

**Tableau 4 - 9:** Section circulaire équivalente de chemisage par béton armé (section circulaire avec sika wrap 230-c cas de renforcement discontinu).

| Nbre de plis   | 1pli     | 2plis    | 3plis    | 4plis    | 5plis    |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Nu(N)</b>   | 797243   | 853888   | 910533   | 967178   | 1123822  |
| <b>Br(mm)</b>  | 64138.47 | 69828.26 | 75518.05 | 81207.84 | 96942.17 |
| <b>D(cm)th</b> | 30.58    | 31.82    | 33.01    | 34.16    | 37.13    |
| <b>D(cm)</b>   | 35       | 35       | 35       | 35       | 40       |

**Tableau 4 - 10:** Section équivalente de chemisage par béton armé (section circulaire avec sika wrap 230-c cas de renforcement continu).

| Nbre de plis   | 1pli     | 2plis    | 3plis    | 4plis     | 5plis     |
|----------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| <b>Nu(N)</b>   | 847911   | 955224   | 1062537  | 1169850   | 1277163   |
| <b>Br(mm)</b>  | 69227.89 | 80007.10 | 90786.31 | 101565.52 | 112344.72 |
| <b>D(cm)th</b> | 31.69    | 33.92    | 35.10    | 37.96     | 39.82     |
| <b>D(cm)</b>   | 35       | 35       | 40       | 40        | 40        |

- **Poteau circulaire renforcé par SIKa WRAP 600 – C :**

Les tableaux 4-11 et 4-12 présentent la section du poteau (après le chemisage) équivalente à la section renforcée par matériaux composites (SIKA WRAP 600 – C) pour le cas de renforcement continue et discontinue respectivement.

**Tableau 4 - 11:** Section équivalente de chemisage par béton armé (section circulaire avec sika warp 600-c cas de renforcement discontinu).

| Nbre de plis | 1pli     | 2plis    | 3plis     | 4plis     | 5plis     |
|--------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Nu(N)        | 892403   | 1044207  | 1196011   | 1347815   | 1499619   |
| Br(mm)       | 73696.96 | 88945.12 | 104193.29 | 119441.46 | 134689.63 |
| D(cm)th      | 32.63    | 35.65    | 38.42     | 40.10     | 43.41     |
| D(cm)        | 35       | 40       | 40        | 45        | 45        |

**Tableau 4 – 12:** Section équivalente de chemisage par béton armé (section circulaire avec sika warp 600-c cas de renforcement continu).

| Nbre de plis | 1pli     | 2plis     | 3plis     | 4plis     | 5plis     |
|--------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Nu(N)        | 1028190  | 1315781   | 1603372   | 1890963   | 2178555   |
| Br(mm)       | 87336.27 | 116223.76 | 145111.25 | 173998.74 | 202886.33 |
| D(cm)th      | 35.35    | 40.47     | 44.98     | 49.07     | 52.83     |
| D(cm)        | 40       | 45        | 45        | 50        | 55        |

#### 4.6.2 Cas d'un poteau carré :

La section réduit d'un poteau carré en béton armé nécessaire pour une charge ultime est calculé comme suit :

$$B_r = (D - 20)^2$$

$$\longrightarrow D = \sqrt{B_r} + 20$$

- Poteau carré renforcé par SIKa WRAP 230 – C :**

Les tableaux 4-13 et 4-14 présentent la section du poteau (après le chemisage) équivalente à la section renforcée par matériaux composites (SIKA WRAP 230 – C) pour le cas de renforcement continue et discontinue respectivement.

**Tableau 4 - 13:** Section équivalente de chemisage par béton armé (section carré avec sika wrap 230-c cas de renforcement discontinu).

| Nbre de plis   | 1pli      | 2plis     | 3plis     | 4plis     | 5plis     |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Nu(N)</b>   | 1440419   | 1506989   | 1573559   | 1640129   | 1706699   |
| <b>Br(mm)</b>  | 114216.60 | 120231.97 | 126247.33 | 132262.69 | 138278.05 |
| <b>D(cm)th</b> | 35.80     | 36.67     | 37.53     | 38.37     | 39.19     |
| <b>D(cm)</b>   | 40        | 40        | 40        | 40        | 40        |

**Tableau 4 - 14:** Section équivalente de chemisage par béton armé (section carré avec sika wrap 230-c cas de renforcement continu).

| Nbre de plis   | 1pli      | 2plis     | 3plis     | 4plis     | 5plis     |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Nu(N)</b>   | 1451265   | 1528682   | 1606098   | 1683514   | 1760930   |
| <b>Br(mm)</b>  | 115196.66 | 122192.18 | 129187.60 | 136183.02 | 143178.44 |
| <b>D(cm)th</b> | 35.94     | 36.96     | 37.943    | 38.90     | 39.84     |
| <b>D(cm)</b>   | 40        | 40        | 40        | 40        | 40        |

- Poteau carré renforcé par SIKA WRAP 600 – C :**

Les tableaux 4-15 et 4-164 présentent la section du poteau (après le chemisage) équivalente à la section renforcée par matériaux composites (SIKA WRAP 600 – C) pour le cas de renforcement continue et discontinue respectivement.

**Tableau 4 - 15:** Section équivalente de chemisage par béton armé (section carré avec sika wrap 600-c cas de renforcement discontinu).

| Nbre de plis   | 1pli      | 2plis     | 3plis     | 4plis     | 5plis     |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Nu(N)</b>   | 1552252   | 1730655   | 1909058   | 2087461   | 2265864   |
| <b>Br(mm)</b>  | 124321.10 | 140442.75 | 156563.50 | 172684.26 | 188805.01 |
| <b>D(cm)th</b> | 37.26     | 39.48     | 41.57     | 43.56     | 45.45     |
| <b>D(cm)</b>   | 40        | 40        | 45        | 45        | 50        |

**Tableau 4 - 16:** Section équivalente de chemisage par béton armé (section carré avec sika warp 600-c cas de renforcement continu).

| Nbre de plis | 1pli      | 2plis     | 3plis     | 4plis     | 5plis     |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Nu(N)        | 1581319   | 1788789   | 1996259   | 2203729   | 2411199   |
| Br(mm)       | 126948.53 | 145695.82 | 164443.11 | 183190.40 | 201937.69 |
| D(cm)th      | 37.63     | 40.17     | 42.55     | 44.80     | 46.94     |
| D(cm)        | 40        | 45        | 45        | 45        | 50        |

Les résultats obtenus dans les tableaux ci-dessus (4-9 à 4-16) indiquent pour obtenir la même capacité ultime d'un poteau renforcé par matériaux composites par la méthode de chemisage par béton armé il faut augmenter la section de poteau d'une façon considérable. A titre d'exemple pour obtenir la capacité ultime d'un poteau carré (30\*30) renforcé par 5 Plis de sika warp 600-c il faut augmenter la section de poteau de 178 % c'est-à-dire le poteau 30x30 devient un poteau 50x50.

A noter que le renforcement du poteau par l'augmentation de sa section de béton (chemisage), influe directement sur la masse de la structure ce qui nécessite généralement le redimensionnement des fondations. Par contre le renforcement par les matériaux composites permet de renforcer la structure avec un effet négligeable sur le poids de la structure renforcée.

#### 4.7 Calcul de la section nécessaire de matériaux composites pour le renforcement d'un poteau:

Cette partie est consacrée au calcul de la section nécessaire de matériaux composites pour le renforcement et la réparation d'un poteau en béton armé. Pour cela on suppose que notre structure nécessite une extension et En plus, le béton de la structure a subi une dégradation.

Donc la structure devient R+3 au lieu de R+1, cela signifie que notre poteau doit être supporter un nouveau charge estimer  $N_{U\text{ app}} = 601,59 \text{ KN}$ . La nouvelle résistance à la compression du béton (après la dégradation) sera prise  $f_{c28} = 10 \text{ Mpa}$

La méthode de Calcul de nombre de plis nécessaire de renfort SikaWrap est comme suit :

- Calcul de la résistance de calcul du béton confiné:

$$f_{cd,c} = \frac{1}{B_r} \left[ \frac{N_U}{\gamma_\lambda} - A_s f_{su} \right]$$

- Calcul de la pression de confinement requise:

$$f_l = \frac{f_{cd,c} - f_{cd}}{\Psi_f \times k_c \times k_h \times \alpha}$$

- Calcul du nombre de plis nécessaire de renfort SikaWrap:

$$n_p \geq \frac{D \times f_l}{2 \times t_f \times E_f \times \varepsilon_{fud}} \quad \text{Pour une section circulaire}$$

$$n_p \geq \frac{b \times f_l}{2 \times t_f \times E_f \times \varepsilon_{fud}} \quad \text{Pour une section carrée}$$

#### 4.7.1 Cas d'un poteau circulaire :

Les données de calcul sont les suivantes :

$$f_{c28} = 10 \text{ Mpa} \quad D = 25 \text{ cm} \quad A_s = 6,79 \text{ cm}^2 \quad N_{U \text{ app}} = 601,59 \text{ KN}$$

$$I = \frac{\pi \times D^4}{64} = \frac{3,14 \times 25^4}{64} = 19165,03 \text{ cm}^4$$

$$B = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{3,14 \times 25^2}{4} = 490,62 \text{ cm}^2$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{B}} = 6,25 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{L_f}{i} = \frac{0,7 \times 360}{6,25} = 40,32 \leq 50 \quad OK$$

Et à partir de là, la colonne est une petite pièce qui fonctionne sur une simple compression

$$\alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \left( \frac{40,32}{35} \right)^2} = 0,67$$

$$B_r = \frac{3,14 (25 - 2)^2}{4} = 415,47 \text{ cm}^2$$

$$N_{U \text{ cap}} = \alpha \left[ \frac{B_r \times f_{c28}}{0,9 \times \gamma_b} + A_s \frac{f_e}{\gamma_s} \right]$$

$$N_{U\ cap} = 0,67 \left[ \frac{415,47 \times 10^2 \times 10}{0,9 \times 1,5} + 6,79 \times 10^2 \left( \frac{400}{1,15} \right) \right] = 365520,60\ N$$

$$\Rightarrow N_{U\ cap} = 365,52\ KN$$

$$N_{U\ cap} < N_{U\ app} = 601,59\ KN$$

Donc le poteau nécessite un renforcement pour supporté la charge appliquée.

Pour renforcé le poteau on propose les quatre solutions suivantes :

- Renforcement continue par SIKA WRAP 230 – c
- Renforcement discontinue par SIKA WRAP 230 – c
- Renforcement continue par SIKA WRAP 600 – c
- Renforcement discontinue par SIKA WRAP 600 – c

• **Renforcement discontinue par SIKA WRAP 230 – c**

$$\gamma_\lambda = 0,67$$

$$f_{cd,c} = \frac{1}{B_r} \left[ \frac{N_U}{\gamma_\lambda} - A_s f_{su} \right]$$

$$f_{cd,c} = \frac{1}{415,47 \times 10^2} \left[ \frac{601,59 \times 10^3}{0,67} - 6,79 \times 10^2 \times 400 \right] = 15,01\ Mpa$$

$$f_l = \frac{f_{cd,c} - f_{cd}}{\Psi_f \times k_c \times k_h \times \alpha} = \frac{15,01 - 10}{0,8 \times 1 \times 0,53 \times 3,45} = 3,44\ Mpa$$

$$n_p \geq \frac{D \times f_l}{2 \times t_f \times E_f \times \varepsilon_{fud}} \geq \frac{250 \times 3,44}{2 \times 0,129 \times 225000 \times 0,6\%} \geq 2,47$$

Donc le nombre de plis nécessaire pour renforcer le poteau est:  $n_p = 3\ plis$

• **Renforcement continue par SIKA WRAP 230 – c**

$$f_l = \frac{f_{cd,c} - f_{cd}}{\Psi_f \times k_c \times k_h \times \alpha} = \frac{15,01 - 10}{0,8 \times 1 \times 1 \times 3,45} = 1,81\ Mpa$$

$$n_p \geq \frac{D \times f_l}{2 \times t_f \times E_f \times \varepsilon_{fud}} \geq \frac{250 \times 1,81}{2 \times 0,129 \times 225000 \times 0,6\%} \geq 1,30$$

Donc le nombre de plis nécessaire pour renforcer le poteau est:  $n_p = 2\ plis$

- **Renforcement discontinue par SIKA WRAP 600 – c**

$$\gamma_\lambda = 0,67$$

$$f_{cd,c} = \frac{1}{B_r} \left[ \frac{N_U}{\gamma_\lambda} - A_s f_{su} \right]$$

$$f_{cd,c} = \frac{1}{415,47 \times 10^2} \left[ \frac{601,59 \times 10^3}{0,67} - 6,79 \times 10^2 \times 400 \right] = 15,01 \text{ Mpa}$$

$$f_l = \frac{f_{cd,c} - f_{cd}}{\Psi_f \times k_c \times k_h \times \alpha} = \frac{15,01 - 10}{0,8 \times 1 \times 0,53 \times 3,45} = 3,44 \text{ Mpa}$$

$$n_p \geq \frac{D \times f_l}{2 \times t_f \times E_f \times \varepsilon_{fud}} \geq \frac{250 \times 3,44}{2 \times 0,331 \times 235000 \times 0,6\%} \geq 0,92$$

Donc le nombre de plis nécessaire pour renforcer le poteau est:  $n_p = 1 \text{ pli}$

- **Renforcement continue par SIKA WRAP 600 – c**

$$f_l = \frac{f_{cd,c} - f_{cd}}{\Psi_f \times k_c \times k_h \times \alpha} = \frac{15,01 - 10}{0,8 \times 1 \times 1 \times 3,45} = 1,81 \text{ Mpa}$$

$$n_p \geq \frac{D \times f_l}{2 \times t_f \times E_f \times \varepsilon_{fud}} \geq \frac{250 \times 1,81}{2 \times 0,331 \times 235000 \times 0,6\%} \geq 0,49$$

Donc le nombre de plis nécessaire pour renforcer le poteau est:  $n_p = 1 \text{ pli}$

La comparaison entre les 4 solutions indique que le renforcement discontinu par 1 seul pli de SIKA WRAP 600 – c présente de nombreux avantages comparé aux autres choix, car le renforcement discontinu est plus économique par rapport au renforcement continu et le renforcement par un seul pli mieux que 2 ou 3 plis.

#### 4.7.2 Cas d'un poteau carré :

Les données de calcul sont les suivantes :

$$f_{c28} = 10 \text{ Mpa} \quad a = b = 25 \text{ cm} \quad A_s = 6,79 \text{ cm}^2 \quad N_{U \text{ app}} = 601,59 \text{ KN}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{25 \times 25^3}{12} = 32552,08 \text{ cm}^4$$

$$B = a \times b = 25 \times 25 = 62 \text{ cm}^2$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{B}} = 7,22 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{Lf}{i} = \frac{0,7 \times 360}{7,22} = 34,92 \leq 50 \quad OK$$

Et à partir de là, la colonne est une petite pièce qui fonctionne sur une simple compression

$$\alpha = \frac{0.85}{1 + 0,2 \left( \frac{34,92}{35} \right)^2} = 0,71$$

$$B_r = (25 - 2)^2 = 529 \text{ cm}^2$$

$$N_{U \text{ cap}} = \alpha \left[ \frac{B_r \times f_{c28}}{0,9 \times \gamma_b} + A_s \frac{f_e}{\gamma_s} \right]$$

$$N_{U \text{ cap}} = 0,71 \left[ \frac{529 \times 10^2 \times 10}{0,9 \times 1,5} + 6,79 \times 10^2 \left( \frac{400}{1,15} \right) \right] = 444642,24 \text{ N}$$

$$\Rightarrow N_{U \text{ cap}} = 444,642 \text{ KN}$$

$$N_{U \text{ cap}} < N_{U \text{ app}}$$

Donc le poteau nécessite un renforcement pour supporté la charge appliquée.

Pour renforcé le poteau on propose les quatre solutions suivantes :

- Renforcement continue par SIKA WRAP 230 – c
  - Renforcement discontinue par SIKA WRAP 230 – c
  - Renforcement continue par SIKA WRAP 600 – c
  - Renforcement discontinue par SIKA WRAP 600 – c
- **Renforcement discontinue par SIKA WRAP 230 – c**

$$\gamma_\lambda = 0,71$$

$$f_{cd,c} = \frac{1}{B_r} \left[ \frac{N_U}{\gamma_\lambda} - A_s f_{su} \right]$$

$$f_{cd,c} = \frac{1}{529 \times 10^2} \left[ \frac{601,59 \times 10^3}{0,71} - 6,79 \times 10^2 \times 400 \right] = 10,93 \text{ Mpa}$$

$$f_l = \frac{f_{cd,c} - f_{cd}}{\Psi_f \times k_c \times k_h \times \alpha} = \frac{10,93 - 10}{0,6 \times 0,55 \times 0,86 \times 3,45} = 0,95 \text{ Mpa}$$

$$n_p \geq \frac{b \times f_l}{2 \times t_f \times E_f \times \varepsilon_{fud}} \geq \frac{250 \times 0,95}{2 \times 0,129 \times 225000 \times 0,6\%} \geq 0,68$$

Donc le nombre de plis nécessaire pour renforcer le poteau est:  $n_p = 1 \text{ pli}$

- **Renforcement continue par SIKA WRAP 230 – c**

$$f_l = \frac{f_{cd,c} - f_{cd}}{\Psi_f \times k_c \times k_h \times \alpha} = \frac{10,93 - 10}{0,6 \times 0,55 \times 1 \times 3,45} = 0,81 \text{ Mpa}$$

$$n_p \geq \frac{b \times f_l}{2 \times t_f \times E_f \times \varepsilon_{fud}} \geq \frac{250 \times 0,81}{2 \times 0,129 \times 225000 \times 0,6\%} \geq 0,58$$

Donc le nombre de plis nécessaire pour renforcer le poteau est:  $n_p = 1 \text{ pli}$

- **Renforcement discontinue par SIKA WRAP 600 – c**

$$\gamma_\lambda = 0,71$$

$$f_{cd,c} = \frac{1}{B_r} \left[ \frac{N_U}{\gamma_\lambda} - A_s f_{su} \right]$$

$$f_{cd,c} = \frac{1}{529 \times 10^2} \left[ \frac{601,59 \times 10^3}{0,71} - 6,79 \times 10^2 \times 400 \right] = 10,93 \text{ Mpa}$$

$$f_l = \frac{f_{cd,c} - f_{cd}}{\Psi_f \times k_c \times k_h \times \alpha} = \frac{10,93 - 10}{0,6 \times 0,55 \times 0,86 \times 3,45} = 0,95 \text{ Mpa}$$

$$n_p \geq \frac{b \times f_l}{2 \times t_f \times E_f \times \varepsilon_{fud}} \geq \frac{250 \times 0,95}{2 \times 0,331 \times 235000 \times 0,6\%} \geq 0,25$$

Donc le nombre de plis nécessaire pour renforcer le poteau est:  $n_p = 1 \text{ pli}$

- Renforcement continue par SIKA WRAP 600 – c

$$f_l = \frac{f_{cd,c} - f_{cd}}{\Psi_f \times k_c \times k_h \times \alpha} = \frac{10,93 - 10}{0,6 \times 0,55 \times 1 \times 3,45} = 0,81 \text{ Mpa}$$

$$n_p \geq \frac{b \times f_l}{2 \times t_f \times E_f \times \varepsilon_{fud}} \geq \frac{250 \times 0,81}{2 \times 0,331 \times 235000 \times 0,6\%} \geq 0,22$$

Donc le nombre de plis nécessaire pour renforcer le poteau est:  $n_p = 1 \text{ pli}$

La comparaison entre les 4 solutions indique que le renforcement discontinu par 1 seul pli de SIKA WRAP 230 – c plus économique comparé aux autres choix, car le renforcement discontinu est plus économique par rapport au renforcement continu et le SIKA WRAP 230 moins chère que le SIKA WRAP 600-c.

## 4.8 Conclusion

Dans ce chapitre on a dimensionné deux poteaux en béton armé (carré et circulaire), par la suite, on a fait une étude paramétrique pour comprendre l'effet du renforcement des colonnes par les matériaux composite. les résultats trouvées sont comparé avec celle qui trouvées par une autre méthode traditionnelle de renforcement, c'est la méthode de chemisage par béton armé.

Cette étude paramétrique a permis de mettre en évidence l'influence des plusieurs paramètres comme la géométrie de section et le type de confinement sur dans l'évolution de la capacité ultime des poteaux en béton armé. Les conclusions déduites de cette étude sont :

La géométrie de la section confinée a joué un rôle dans l'efficacité et la performance du renforcement des colonnes par les matériaux composite et d'après les résultats l'amélioration de la résistance à la compression est plus important pour les poteaux de section circulaire autant que pour ceux de sections rectangulaires.

Les résultats présentés confirment l'intérêt de renforcement des colonnes par les matériaux composites non seulement en termes de légèreté, mais également en l'amélioration de la capacité ultime du poteau, à titre d'exemple le renforcement d'un poteau 30x30cm par 5plis de SIKA WRAP 600-c permet d'augmenter sa capacité ultime  $N_u$  de l'ordre de 300%

Comparativement au renforcement du poteau par l'augmentation de sa section de béton (chemisage), qui influe directement sur la masse de la structure ce qui nécessite généralement le redimensionnement des fondations, le renforcement par les matériaux composites permet d'obtenir les même résultats mais avec un effet négligeable sur le poids de la structure renforcée.

## Conclusion générale:

La nécessité de développer des méthodes de renforcement efficaces dans les ouvrages en génie civil dans les plus brefs délais pour les mettre en œuvre sur site, a nécessité des études et des recherches pour découvrir de nouvelles techniques de renforcement.

Parmi ces techniques, on trouve le renforcement avec des matériaux composites qui sont très prometteurs. Plusieurs études ont démontré le potentiel de cette technique en renforçant des poteaux en béton armé.

Notre étude se concentre sur l'évaluation du comportement des poteaux en béton armé circulaires ou rectangulaires renforcées avec des composites en fibre de carbone.

L'étude bibliographique menée par la première partie a permis de mettre en évidence les points suivants :

Nous avons vu l'importance du diagnostic dans l'opération de réhabilitation d'un ouvrage en béton armé ainsi que des différents moyens disponibles pour le réaliser.

On a présenté les différentes techniques de réparation et de renforcement avec une comparaison entre elles afin de connaître les avantages et les inconvénients de chaque méthode.

L'étude paramétrique qui a été réalisé dans ce travail avec des petits programmes d'Excel permet de déduire les principales conclusions suivant :

Les résultats présentés confirment l'intérêt de renforcement des colonnes par les matériaux composites non seulement en termes de légèreté, mais également en l'amélioration de la capacité ultime du poteau, à titre d'exemple le renforcement d'un poteau 30x30cm par 5plis de SIKa WRAP 600-c permet d'augmenter sa capacité ultime  $N_u$  de l'ordre de 300%.

La géométrie de la section confinée a joué un rôle dans l'efficacité et la performance du renforcement des colonnes par les matériaux composite et d'après les résultats l'amélioration de la résistance à la compression est plus important pour les poteaux de section circulaire autant que pour ceux de sections rectangulaires.

Comparativement au renforcement du poteau par l'augmentation de sa section de béton (chemisage), qui influe directement sur la masse de la structure ce qui nécessite généralement le redimensionnement des fondations, le renforcement par les matériaux composites permet d'obtenir les même résultats mais avec un effet négligeable sur le poids de la structure renforcée.

## Références

- [1] renforcement des poutres en béton armé à l'aide de matériaux composites, mémoire Magister sous la direction de Mohamed Guenfoud (2004).
- [2] Wikipedia .
- [3] <https://www.echoroukonline.com>.
- [4] mémoire le diplôme d'ingénieur cnam par abou chakra farid  
renforcement des poteaux en béton armé au moyen de polymère renforcé par fibre de carbone - comparaison des codes soutenu le 09 mars 2016 .
- [5] Lees, T. P. (1992). "Chapter 2". In Mays, G. C. (ed.). *Deterioration Mechanisms. Durability of Concrete Structures Investigation, repair, protection*. E. & F. N. Spon Press. pp. 10–36. ISBN 978-0-419-15620-8.
- [6] Borrow, P. (2006). "Chemistry Outdoors. School Science Review". *Outdoor Science. Hartfield, Herts, UK: Association of Science Education*. 87 (320): 24–25.
- [7] Fiches techniques. Corrosion des aciers dans le béton armé. Xand Solutions for Durability. Bricard, C. (2012). *Pathologies du béton armé. Journée Technique OA mode doux* .
- [8] site internet « [www.anco.pro/constnct-parasismique-les-fissure/](http://www.anco.pro/constnct-parasismique-les-fissure/)http.
- [9] Maizi Ibtissam ,Benjoudi Mouslam, mémoire de master II « réhabilitation de structures en béton armé » , université 08 Mai 1945 Guelma , Année 2013.
- [10] FELDMAN (1977).
- [11] NEVILLE (2000).
- [12] NF EN 12504-2 .  
Essais pour béton dans les structures - Partie 2 : essais non destructifs - Détermination de l'indice de rebondissement .
- [13] STURRUP, VECCHIO ET CARATIN (1984).
- [14] Les normes P 18-414 de 1993, P 18-418 de 1989, ASTM C 597- 83 réapprouvée en 1991 et BS 1881 : partie 203 : 1986 spécifient les modes opératoires sans pour autant donner d'interprétation des résultats obtenus.
- [15] Lapierre, P. "Modélisation de poutres en béton armé renforcées de matériaux composites", Mémoire de maîtrise, Spécialité génie civil, Université de Sherbrooke, Québec, Canada(1999).

- [16] ACI 440 R-96 “State-of-the-art report on fiber reinforced plastic FRP reinforcement for concrete structures”, American Concrete Institute Committee 440, Farmington Hills, Michigan, USA(1996).
- [17] Massicotte, B. Boucher-Proulx, G. “Seismic retrofitting of bridge piers with UHPFRC”, Designing and Building with: State of the Art and Development, ISTE-Wiley, (2010) pp. 531540.
- [18] De Lorenzis L., Nanni A. “ Shear strengthening of reinforced concrete beams with near surface mounted fiber-reinforced polymer rods”, J. ACI Structural, (2001) p. 60-68, January February.
- [19] Mosallam, A. “Strengthening of two-way concrete slabs with FRP composite laminates”, Construction and Building Materials, (2003) Vol. 17, pp.43-54.
- [20] Fardis, M.N. et Khalili, H.H. “Concrete encased in fiber glass-reinforced plastic”, ACI Material Journal Proceedings, (1981) Vol. 78, No. 6, pp. 440-446.
- [21] Calgaro, J. Lacroix, R. “Maintenance et réparation des ponts”, Presses de l’Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, (1997)p.11-19.
- [22] Freyssinet, E. (1936): Aspects nouveaux des problèmes du ciment armé. Dans: IABSE Publications, v. 4 . <https://doi.org/10.5169/seals-5084> .
- [23] contribution à l’étude des matériaux composites dans le renforcement et la réparation des élément structuraux linéaires en béton Riad Benzaid, Habib Abdelhak Mesbah ? Nesr Eddine Chikh . „HAL ID: Hal-00782103” ( <http://hal-archives-ouvertes.fr>). Submitted on 30 juillet 2013.
- [24] site internet “Ndif mémoire” .
- [25] Foo et al.( 2001).
- [26] Teng et al. (2002) .
- [27] Parvin et al (2006).
- [28] Lau *et al.*( 2001).
- [29] Li et al. (2003).
- [30] Berthet et al.( 2005).
- [31] lam et teng .(2002).
- [32] cours s.kesteloot „pathologie” IUT Béthune.
- [33] Avis Technique 3/10-669, Sika CarboDur,SikaWrap, <http://www.cstb.fr/pdf/atec/GS03-D/AD100669> .



## **Les Annexes**

# Les Fiches techniques

BUILDING TRUST



## FICHE TECHNIQUE SikaWrap®-230 C

TISSU DE FIBRES DE CARBONE UNIDIRECTIONNELLES POUR LE RENFORCEMENT STRUCTUREL FAISANT PARTIE DU SYSTÈME DE RENFORCEMENT SIKa

### DESCRIPTION DU PRODUIT

SikaWrap®-230 C est un tissu de fibres de carbone unidirectionnelles à résistance moyenne développé pour être appliqué par la méthode sèche ou humide.

### DOMAINES D'APPLICATION

Renforcement de structures en béton armé, en maçonnerie et en bois, pour augmenter la résistance en flexion et cisaillement pour:

- Amélioration de la résistance parasismique des murs maçonnés.
- Remplacement du manque de fers d'armature.
- Augmentation de la résistance contre la déformation des colonnes.
- Augmentation de la capacité portante des constructions.
- Modification de destination de la construction.
- Réparation d'erreurs constructives et/ou de design.
- Augmentation de la résistance aux tremblements de terre.
- Augmentation de la durée de vie de la construction.
- Mise en conformité structurelle pour répondre aux normes actuelles.

### CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

- Fabriqué avec une trame pour maintenir la stabilité du tissu (heat-set proces).
- Tissu multifonctionnelle pour utilisation dans de nombreux types de renforcement.
- Flexible et convenant pour des surfaces de différents formes et géométries (balcons, colonnes, cheminées, poteaux, murs, plafonds, silos, etc.).
- Disponible en différentes largeurs pour une application optimale.
- Faible densité pour un excédent de poids minimum.
- Economique par rapport aux techniques traditionnelles.

Fiche technique  
SikaWrap®-230 C  
29/11/2013, VERSION 1  
02 04 01 02 002 0 000025

FR/Belgique

ESSAIS

AGRÈMENTS / NORMES

France: CSTB - Avis Technique 3/10-669

Slovaquie: TSUS, Building Testing and research institutes, Technical Approval TO-09/0080, 2009

Pologne:

- Technical Approval ITB AT-15-5604/2011:

- Technical Approval IBDiM Nr AT/2008-03-0336/1

USA: ACI 440.2R-08, Guide for the Design and construction of Externally Bonded FRP Systems for strengthening concrete structures, July 2008

UK: Concrete Society Technical Report No. 55, Design guidance for strengthening concrete structures using fiber composite material, 2012 (UK)

Italie: CNR-DT 200/2004 - Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures

INFORMATION PRODUIT

FORME

TYPE DE FIBRE

Fibres de carbone sélectionnées à résistance moyenne

STRUCTURE DE LA FIBRE

Orientation de la fibre 0° (unidirectionnelle)

Chaîne: fibres de carbone noires (99% du poids par unité de surface)

Trame: fibres blanches thermoplastiques (1% du poids par unité de surface)

EMBALLAGE

|                      | Longueur du tissu / rouleau | Largeur du tissu |
|----------------------|-----------------------------|------------------|
| 4 rouleaux par boîte | ≥ 50 m                      | 300 / 600 mm     |

STOCKAGE

CONDITIONS DE STOCKAGE / CONSERVATION

24 mois à partir de la date de fabrication si stocké dans les emballages d'origine fermés dans un endroit sec à une température comprise entre +5°C et +35°C. Protéger de l'exposition directe au soleil.

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

POIDS

235 g/m² ± 10 g/m² (uniquement les fibres de carbone)

ÉPAISSEUR DU TISSU

0,129 mm (basé sur la teneur en fibres)

DENSITÉ (FIBRE)

1,82 g/cm³

## PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES / PHYSIQUES

### PROPRIÉTÉ DE LA FIBRE SÈCHE

Valeurs dans le sens longitudinal des fibres (selon ISO 10618)

|                          |                 |                        |
|--------------------------|-----------------|------------------------|
| Module d'élasticité      | Valeur minimale | 230 kN/mm <sup>2</sup> |
| Résistance à la traction | Valeur minimale | 4000 N/mm <sup>2</sup> |
| Allongement à la rupture |                 | 1,7%                   |

**PROPRIÉTÉ DE LA LAMELLE DURCIE** (En rapport avec l'épaisseur du tissu)  
Couche unique, minimum 27 échantillons (selon EN 2561\*)  
par série de tests

|                                           |                 |                        |
|-------------------------------------------|-----------------|------------------------|
| Épaisseur de la lamelle (nominale)        |                 | 0,129 mm               |
| Coupe transversale par 1000 mm de largeur |                 | 129 mm <sup>2</sup>    |
| Module d'élasticité                       | Moyen           | 225 kN/mm <sup>2</sup> |
|                                           | Caractéristique | 220kN/mm <sup>2</sup>  |
| Résistance à la traction                  | Moyenne         | 3500 N/mm <sup>2</sup> |
|                                           | Caractéristique | 3200 N/mm <sup>2</sup> |

\*acier adapté avec 50 mm

### VALEURS DE CALCUL

La contrainte réelle de conception doit être déterminée conformément aux normes de conception pertinentes.

Les valeurs données sont relatives à une imprégnation avec Sikadur®-330 et Sikadur®-300.

|                                       |                 |          |
|---------------------------------------|-----------------|----------|
| Résistance à la traction              | Moyenne         | 452 kN/m |
|                                       | Caractéristique | 413 kN/m |
| Force de traction à 0,4% d'élongation | Moyenne         | 116 kN/m |
|                                       | Caractéristique | 114 kN/m |
| Force de traction à 0,6% d'élongation | Moyenne         | 174 kN/m |
|                                       | Caractéristique | 170kN/m  |

## INFORMATION SUR LE SYSTÈME

### DÉTAILS D'APPLICATION

### STRUCTURE DU SYSTÈME

La configuration du système telle que décrite ici doit être implémentée dans sa totalité et ne peut être modifiée.

Primaire pour béton: Sikadur®-330

Résiné d'imprégnation: Sikadur®-330

Tissu de renforcement structurel: SikaWrap®-230 C.

Pour informations détaillées sur le Sikadur®-330, ainsi que l'application de la résine et du tissu, consulter la notice technique du Sikadur®-330 et les directives pour l'application sèche du SikaWrap® (Ref. 850 41 02).

Fiche technique  
SikaWrap®-230 C  
29/11/2013, VERSION 1  
02 04 01 02 002 0 000025

FR/Belgique

BUILDING TRUST



## CONSOMMATION

### Application sèche avec Sikadur®-330:

Première couche, primaire inclus: 0,8 – 1,2 kg/m<sup>2</sup>

Couches suivantes: 0,7 kg/m<sup>2</sup>

### Application humide avec Sikadur®-300:

Première couche, primaire inclus: 0,8 – 1,2 kg/m<sup>2</sup>

Couches suivantes: 0,7 kg/m<sup>2</sup>

Pour plus d'informations, consulter également les directives pour l'application du SikaWrap® pour application sèche (Réf. 850 41 02), SikaWrap® pour application humide (Réf. 850 41 03) ou l'application humide à la machine du SikaWrap® (Réf. 850 41 04).

## QUALITÉ DU SUPPORT

L'adhérence du support doit être de minimum 1,0 N/mm<sup>2</sup> ou telle que spécifiées dans le calcul).

Pour plus d'informations, consulter également les directives pour l'application du SikaWrap® pour application sèche (Réf. 850 41 02), SikaWrap® pour application humide (Réf. 850 41 03) ou l'application humide à la machine du SikaWrap® (Réf. 850 41 04).

## PRÉPARATION DU SUPPORT

Le béton doit être nettoyé et préparer afin d'obtenir une texture de surface ouverte, exempte de laitance et de produits contaminants.

Pour plus d'informations, consulter également les directives pour l'application du SikaWrap® pour application sèche (Réf. 850 41 02), SikaWrap® pour application humide (Réf. 850 41 03) ou l'application humide à la machine du SikaWrap® (Réf. 850 41 04).

---

## INSTRUCTIONS POUR L'APPLICATION

---

## MÉTHODE D'APPLICATION / OUTILLAGE

Le tissu peut être coupé sur mesure à l'aide d'un ciseau ou couteau spécial. Le tissu ne peut jamais être plié !

SikaWrap®-230 C est utilisé aussi bien pour la méthode sèche que pour la méthode humide.

Pour plus d'informations, consulter également les directives pour l'application du SikaWrap® pour application sèche (Réf. 850 41 02), SikaWrap® pour application humide (Réf. 850 41 03) ou l'application humide à la machine du SikaWrap® (Réf. 850 41 04).

---

**REMARQUES RELATIVES À  
L'APPLICATION / LIMITATIONS**

Le produit ne peut être appliqué que par des professionnels qualifiés.

Le tissu SikaWrap®-230 C est traité avec un produit afin d'obtenir une adhérence avec les colles/résines Sikadur® et une longévité maximale. Pour assurer la compatibilité totale des produits entre eux, la structure du système ne peut en aucun cas être modifiée.

Le SikaWrap®-230 C peut être recouvert d'un matériau à base de ciment ou d'un revêtement, ceci à des fins esthétiques et/ou de protection, en fonction de la situation. Pour une protection complémentaire contre les UV, les Sikagard® Elastic - Decadex 550, Sikagard® AcrylDeco, ou Sikagard®-680 S peuvent être appliqués.

Pour plus d'informations, consulter également les directives pour l'application du SikaWrap® pour application sèche (Réf. 850 41 02), SikaWrap® pour application humide (Réf. 850 41 03) ou l'application humide à la machine du SikaWrap® (Réf. 850 41 04).

**BASE DES VALEURS**

Toutes les caractéristiques spécifiées dans cette Fiche technique sont basées sur des tests de laboratoire.

Les mesures effectives peuvent varier en raison de circonstances échappant à notre contrôle.

**RESTRICTIONS LOCALES**

Les performances de ce produit peuvent varier d'un pays à l'autre en raison de réglementations locales spécifiques. Veuillez consulter la fiche technique locale pour la description exacte des champs d'application.

**INFORMATIONS EN MATIÈRE DE  
SANTÉ ET DE SÉCURITÉ**

Pour des informations et des conseils concernant la manipulation, le stockage et la mise au rebut de produits chimiques en toute sécurité, veuillez consulter la fiche de sécurité la plus récente du matériau concerné, qui comporte ses données physiques, écologiques, toxicologiques, etc.

**RAPPEL**

Nos produits doivent être stockés, manipulés et appliqués correctement.

**NOTICE LÉGALE**

Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits Sika, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. L'utilisateur du produit doit tester la compatibilité du produit pour l'application et but recherchés. Sika se réserve le droit de modifier les propriétés du produit. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique locale correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.

Fiche technique  
SikaWrap®-230 C  
29/11/2013, VERSION 1  
02 04 01 02 002 0 000025

FR/Belgique

**BUILDING TRUST**



**POUR PLUS D'INFORMATION SUR LES SOLUTIONS SIKA POUR LE  
RENFORCEMENT STRUCTUREL:**



**SIKA SA**  
Refurbishment  
Rue Pierre Dupont 167  
1140 Bruxelles  
Belgium  
[www.sika.be](http://www.sika.be)

Tél.: +32 (0)2 726 16 85  
Fax: +32 (0)2 726 28 09  
E-mail: [info@be.sika.com](mailto:info@be.sika.com)

Fiche technique  
SikaWrap®-230 C  
29/11/2013, VERSION 1  
02 04 01 02 002 0 000025

FR/Belgique

© 2013 Sika sa Belgique

**BUILDING TRUST**



## NOTICE PRODUIT

## SikaWrap®-600 C

## TISSU DE FIBRES DE CARBONE POUR RENFORCEMENT DE STRUCTURES

**INFORMATIONS SUR LE PRODUIT**

SikaWrap®-600 C est un tissu de renforcement de structures, à base de fibres de carbone assemblées de façon unidirectionnelle, applicable sur le support après imprégnation préalable. (application dite « humide »).

**DOMAINES D'APPLICATION**

SikaWrap®-600 C ne peut être utilisé que par des professionnels expérimentés.

Renforcement de structures en béton armé, en maçonnerie et en bois, soumises à des contraintes de flexion, de cisaillement, de traction, de torsion :

Renforcement des structures en flexion et en effort tranchant

Augmentation de la résistance et de la ductilité de poteaux par confinement (section circulaire, rectangulaire, carrée)

Augmentation de la capacité portante (complément des aciers internes existants)

Augmentation de la tenue des maçonneries vis-à-vis des efforts sismiques

Renforcement suite à un changement de destination, réaménagement de locaux

Réparation de dommages (chocs, incendies, corrosion aciers internes,8)

Reprises des défauts des structures (problème de conception, de calcul,8)

Mise en conformité suite à l'évolution de la réglementation (renforcement parasismique, ...), augmentation de la durée de vie et de la durabilité des ouvrages.

**CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES**

Facile à appliquer sur des surfaces planes ou courbes (poteaux, poutres, voutes, cheminées, dômes, silos, ...)

Multifonctions : renforcement vis-à-vis des efforts de flexion, de cisaillement, de traction, de torsion

Insensible à la corrosion

Épaisseur faible, même dans le cas d'application de plusieurs couches de tissu

Légèreté, permet un renforcement sans alourdir la structure

**AGRÈMENTS / NORMES**

- Avis Technique CSTB n°3/16-875 Sika® CarboDur® SikaWrap.
- Royaume Uni : Concrete Society Technical Report No. 55, Design guidance for strengthening concrete structures using fibre composite material, 2012.
- Recommandations AFGC février 2011.

## DESCRIPTION DU PRODUIT

|                                                         |                                                                                                                                                            |                            |                         |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| <b>Construction</b>                                     | Tissu de fibres de carbone, cousu et collé, présentant une orientation unidirectionnelle des fibres dans le sens de la longueur du tissu                   |                            |                         |
|                                                         | Chaîne                                                                                                                                                     | Fibres de carbone 96 %     |                         |
|                                                         | Trame                                                                                                                                                      | Fibres de verre 2 %        |                         |
|                                                         | Fil de couture                                                                                                                                             | Polyester 1 %              |                         |
|                                                         | Adhésif                                                                                                                                                    | 1 %                        |                         |
| <b>Conditionnement</b>                                  |                                                                                                                                                            | <b>Longueur du rouleau</b> | <b>Largeur du tissu</b> |
|                                                         | Carton de 2 rouleaux                                                                                                                                       | ≥ 50 m                     | 300 mm                  |
| <b>Durée de Conservation</b>                            | 24 mois à partir de la date de production (Date Limite d'Utilisation sur étiquette : "best before").                                                       |                            |                         |
| <b>Conditions de Stockage</b>                           | Stocker en emballage d'origine intact et non ouvert à l'abri d'une exposition directe au soleil, au sec et à une température comprise entre +5°C et +35°C. |                            |                         |
| <b>Densité de Fibre Sèche</b>                           | 1,81 g/cm <sup>3</sup>                                                                                                                                     |                            |                         |
| <b>Épaisseur de la Fibre Sèche</b>                      | 0,331 mm                                                                                                                                                   |                            |                         |
| <b>Masse Surfactive</b>                                 | 600 g/m <sup>2</sup> ± 30 g/m <sup>2</sup> (de fibres de carbone)                                                                                          |                            |                         |
| <b>Résistance en Traction de la Fibre Sèche</b>         | 3 800 MPa                                                                                                                                                  |                            | (ISO 10618)             |
| <b>Module d'Elasticité en Tension de la Fibre Sèche</b> | 242 GPa                                                                                                                                                    |                            | (ISO 10618)             |
| <b>Allongement à la Rupture de Fibre Sèche</b>          | 1,43 %                                                                                                                                                     |                            | (ISO 10618)             |

## INFORMATIONS TECHNIQUES

|                                                                                                                                                      |                                    |                 |                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------|
| Épaisseur nominale du Stratifié                                                                                                                      | 0,331 mm                           |                 |                 |
| Section nominale du Stratifié                                                                                                                        | 331 mm² par mètre de largeur       |                 |                 |
| Résistance en Traction du Stratifié                                                                                                                  | Moyenne                            | Caractéristique | (EN 2561*)      |
|                                                                                                                                                      | 3 000 MPa                          | 2 400 MPa       |                 |
| Module d'Élasticité en Traction du Stratifié                                                                                                         | Moyenne                            | Caractéristique | (EN 2561*)      |
|                                                                                                                                                      | 225 GPa                            | 200 GPa         |                 |
| * échantillon de largeur 50 mm.<br>Valeurs dans le sens longitudinal des fibres.<br>Une couche de tissu, minimum 27 échantillons par série de tests. |                                    |                 |                 |
| Allongement à la Rupture en Traction du Stratifié                                                                                                    | 1,33 %                             |                 | (selon EN 2561) |
| Résistance à la Traction                                                                                                                             | Effort repris par mètre de largeur |                 |                 |
|                                                                                                                                                      | Moyenne                            | Caractéristique | (selon EN 2561) |
|                                                                                                                                                      | 990 kN/m                           | 792 kN/m        |                 |

Notice Produit  
SikaWrap®-600 C  
Mai 2018, Version 02.01  
020206020010000045

**BUILDING TRUST**



## INFORMATIONS SUR LE SYSTÈME

### Structure du Système

Le système décrit ci-après doit être intégralement suivi et ne faire l'objet d'aucune modification.

|                                  |                                                                                                    |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Primaire sur le support béton    | Sikadur®-330 ou Sikadur®-300 (suivant la rugosité du support, le nombre prévu de couches de tissu) |
| Résine d'imprégnation du tissu   | Sikadur®-300                                                                                       |
| Tissu de renforcement structural | SikaWrap®-600 C                                                                                    |

Pour obtenir des détails sur la résine, sur l'application du tissu et sur d'autres informations générales, consulter la Notice Produit du Sikadur®-300 et l'Avis Technique n°3/16-875 du CSTB.

## RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

### Consommation

**Consommation de résine pour l'application du tissu SikaWrap®-600 C**  
La consommation peut varier suivant la rugosité et la planéité du support. Consulter l'Avis Technique du CSTB n°3/16-875.

#### Application "humide" avec Sikadur®-300

|                                      |               |
|--------------------------------------|---------------|
| Première couche incluant le primaire | 0,8–1,2 kg/m² |
|--------------------------------------|---------------|

|                   |                |
|-------------------|----------------|
| Couches suivantes | 0,85–1,0 kg/m² |
|-------------------|----------------|

#### Application "humide" avec Sikadur®-300 et Sikadur®-330 comme primaire sur le support

|                         |               |
|-------------------------|---------------|
| Primaire (Sikadur®-330) | 0,4–0,6 kg/m² |
|-------------------------|---------------|

|                                          |                |
|------------------------------------------|----------------|
| Pour les couches de tissu (Sikadur®-300) | 0,85–1,0 kg/m² |
|------------------------------------------|----------------|

## INSTRUCTIONS POUR L'APPLICATION

### QUALITÉ DU SUPPORT

Consulter l'Avis Technique du CSTB n°3/16-875.  
La qualité du support doit être contrôlée dans tous les cas. Un diagnostic de l'ouvrage est recommandé (norme NF EN 1504-9, Réparation des structures en béton).

Support en béton : la résistance moyenne en traction directe de la surface de béton préalablement préparée doit être de 1 MPa au minimum ou conforme aux spécifications du dossier de consultation.

### PRÉPARATION DU SUPPORT

Consulter l'Avis Technique du CSTB n°3/16-875.

- Le support doit recevoir une préparation de surface adaptée pour le rendre propre, sain, exempt de laitance, d'agents polluants, de graisse, d'huile, de particules friables, d'anciens revêtements, ...
- Le support ne doit pas être gelé, ni présenter de film d'eau en surface au moment de la mise en oeuvre de la colle.
- Ne pas réaliser d'opération de collage en cas de risque de condensation sur le support. Contrôle à faire préalablement au démarrage du mélange du kit de résine Sikadur®-330 ou Sikadur®-300.
- Réparation et reprofilage : si des défauts (carbonatation, faible enrobage) doivent être réparés ou si un reprofilage est nécessaire, les systèmes suivants peuvent être utilisés : Consulter les notices Produits pour obtenir des détails sur l'application.

- Protection des barres d'armatures apparentes corrodées : Sika Monotop®-910 N
- Produits de réparation ou reprofilage : mortier à base de résine époxy Sikadur®-41F, Sikadur®-30, ou les mortiers hydrauliques de réparation Sika Monotop®-412 N, 410 R (application horizontale, verticale, sous face) ou Sika Monotop®-432 R (application horizontale par coulage).

### MÉTHODE D'APPLICATION / OUTILS

Consulter l'Avis Technique du CSTB n°3/16-875 et la notice Produit du Sikadur®-300 pour la procédure d'imprégnation et de marouflage du tissu. En raison de son grammage, SikaWrap®-600 C doit être appliqué suivant la procédure dite « humide » (imprégnation du tissu préalable à la mise en oeuvre sur le support).

## LIMITATIONS

### Dimensionnement des renforts

Il est conseillé de faire appel à un Bureau d'Etudes qualifié en calcul de structures pour réaliser le dimensionnement des renforts à base de tissu SikaWrap®. Nous consulter.

### Traitement des angles

Pour l'application dans des angles (poutres, poteaux), le rayon minimum requis est : > 20 mm.

### Qualification de l'entreprise

Le Maître d'ouvrage, le Maître d'oeuvre, doivent faire appel à une entreprise qualifiée pour la réalisation des travaux de réparation et de renforcement des structures. L'entreprise retenue doit être expérimentée, assurée pour la réalisation de ces travaux spéciaux. Le

Notice Produit  
SikaWrap®-600 C  
Mai 2018, Version 02.01  
020206020010000045

BUILDING TRUST



personnel doit être spécialement formé à l'application des composites PRFC et des produits associés.

• **Plan Assurance Qualité sur chantier (autocontrôle)**

L'entreprise doit mettre en place un plan d'autocontrôle: en particulier pour vérifier l'état du support et mesurer sa résistance à la traction superficielle, vérifier la non condensation sur le support, mesurer régulièrement la dureté shore D des mélanges de résine Sikadur®-330 et Sikadur®-300.

Consulter l'Avis Technique du CSTB n°3/16-875 pour un exemple de fiche d'autocontrôle.

- Lors des applications bords à bords du tissu (reprise effort tranchant de poutres, confinement de poteaux) les lés de tissu sont juxtaposés et ne nécessitent pas de recouvrement.
- Dans le cas de renforcement de poteau (par confinement), si plusieurs couches de tissu sont nécessaires, il y a lieu de répartir le recouvrement des couches uniformément sur le périmètre du poteau.
- Pendant l'application du système, la température du support doit rester au moins 3°C au-dessus du point de rosée. Veiller à noter cet élément dans le plan d'autocontrôle.

• **Protection vis-à-vis des rayons directs solaires**

Le système SikaWrap®-600 C - Sikadur®-300 doit être protégé du rayonnement solaire direct permanent. Le revêtement de protection vis-à-vis des rayons UV est soit un produit à base de résine tel que Sikagard®-550 W Elastic, Sikagard®-680 S BetonColor, ou Sikagard®-675 W ElastoColor (Coloris disponibles suivant nuancier RAL), soit un produit à base de liant hydraulique modifié (Sikatop®-121 ou 107).

Nous consulter.

## VALEURS DE BASE

Toutes les valeurs indiquées dans cette Notice Produit sont basées sur des essais effectués en laboratoire. Les valeurs effectives mesurées peuvent varier du fait de circonstances indépendantes de notre contrôle.

## RESTRICTIONS LOCALES

Veuillez noter que du fait de réglementations locales spécifiques, les données déclarées pour ce produit peuvent varier d'un pays à l'autre. Veuillez consulter la Notice Produit locale pour les données exactes sur le produit.

## ÉCOLOGIE, SANTÉ ET SÉCURITÉ

Ce produit est un article au sens de l'article 3 du règlement (CE) n° 1907/2006 (REACH). Il ne contient pas de substances qui sont susceptibles d'être libérées dans des conditions normales ou raisonnablement prévisibles d'utilisation. Une fiche de données de sécurité conforme à l'article 31 du même règlement n'est pas nécessaire pour la mise sur le marché, le transport ou l'utilisation de ce produit. Pour une utilisation en toute sécurité, les instructions sont données dans cette notice produit. Basé sur nos connaissances actuelles, ce produit ne contient pas de substances extrêmement préoccupantes (SVHC) comme indiqué à l'annexe XIV du règlement REACH ou sur la liste candidate publiée par l'Agence européenne des produits chimiques

(ECHA) à une concentration supérieure à 0,1% (m/ m).

## INFORMATIONS LÉGALES

Les informations, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou recommandations écrites, ou autre conseil donné, n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés, ni aucune garantie de conformité à un usage particulier, ni aucune responsabilité découlant de quelque relation juridique que ce soit. L'utilisateur du produit doit vérifier par un essai sur site l'adaptation du produit à l'application et à l'objectif envisagés. Sika se réserve le droit de modifier les propriétés de ses produits. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont soumises à nos conditions générales de vente et de livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la Notice Produit correspondant au produit concerné, accessible sur internet ou qui leur sera remise sur demande.

Notice Produit  
SikaWrap®-600 C  
Mai 2018, Version 02.01  
020206020010000045

BUILDING TRUST



SIKA FRANCE S.A.S.  
84 rue Edouard Vaillant  
93350 LE BOURGET  
FRANCE  
Tél.: 01 49 92 80 00  
Fax: 01 49 92 85 88  
[www.sika.fr](http://www.sika.fr)



Notice Produit  
SikaWrap®-600 C  
Mai 2018, Version 02.01  
020206020010000045

SikaWrap-600C-fr-FR-(05-2018)-2-1.pdf

**BUILDING TRUST**



# FICHE TECHNIQUE DU PRODUIT

## Sikadur®-30

COLLE BICOMPOSANTE, THIXOTROPE, À BASE DE RÉSINE ÉPOXY



### DESCRIPTION DU PRODUIT

Colle d'armature bicomposante, thixotrope, à base de résine époxy avec charges spéciales, développée pour des températures d'application de +8 °C à +35 °C.

### EMPLOI

Sikadur®-30 ne devrait être utilisé que par des spécialistes expérimentés.

Colle pour les collages structuraux, en particulier pour les collages structuraux dans les applications suivantes:

- Bandes en PRFC Sika® CarboDur® sur béton, maçonnerie, bois et acier
- Plats d'acier sur béton

### AVANTAGES

- Très bonnes propriétés de malaxage et d'ouvrabilité
- Primaire superflu
- Très bonne adhérence sur le béton, la maçonnerie, la pierre, l'acier, la fonte, l'aluminium, le bois et les bandes Sika® CarboDur®

- L'humidité n'a pas d'influence défavorable sur le durcissement
- Durcissement sans retrait
- Thixotropie: Pas d'affaissement lors de l'utilisation sur les surfaces verticales ou en surplomb
- Composants de couleur différente (contrôle du mélange)
- Résistance élevée au fluage sous charge permanente
- Résistances initiale et finale élevées
- Bonne résistance à l'abrasion et aux chocs
- Étanche à l'eau et à la vapeur d'eau

### CERTIFICATS

- Déclaration de performance (DoP) no 0204010400100000011001: Marquage CE selon les exigences de la norme EN 1504-4:2004 par les surveillants externes certifiés 0921
- IBMB, TU Braunschweig, Braunschweig (DE): Essais du mortier de reprofilage époxy Sikadur®-41 en combinaison avec la colle époxy Sikadur®-30 Normal pour le collage de plats d'acier - Rapport d'essai no 1734/6434, 1995
- IBMB, TU Braunschweig, Braunschweig (DE): Essais pour l'agrément de la colle époxy Sikadur®-30 Normal - Rapport d'essai no 1871/0054, 1994

### INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

|                 |                                   |                                                      |
|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------|
| Base chimique   | Résine époxy                      |                                                      |
| Conditionnement | <b>Emballages perdus prédosés</b> |                                                      |
|                 | Comp. A + B:                      | 6 kg                                                 |
|                 | Palette:                          | 90 x 6 kg (540 kg)                                   |
|                 | <b>Emballages industriels</b>     |                                                      |
|                 | Comp. A:                          | 30 kg                                                |
|                 | Comp. B:                          | 10 kg                                                |
|                 | Palette:                          | 560 kg (Comp. A: 14 x 30 kg;<br>Comp. B: 14 x 10 kg) |

Fiche technique du produit  
Sikadur®-30  
Mai 2019, Version 03.03  
020206040010000001

|                               |                                                                                                                            |                      |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| <b>Couleurs</b>               | Comp. A:                                                                                                                   | Blanc                |
|                               | Comp. B:                                                                                                                   | Noir                 |
|                               | Comp. A + B:                                                                                                               | Gris clair           |
| <b>Conservation</b>           | En emballage d'origine non entamé: 24 mois à partir de la date de production                                               |                      |
| <b>Conditions de stockage</b> | Stocker à des températures entre +5 °C et +30 °C. Entreposer au sec. Protéger de l'influence directe des rayons du soleil. |                      |
| <b>Densité</b>                | Comp. A + B:                                                                                                               | ~ 1.65 kg/l (+23 °C) |

## INFORMATIONS TECHNIQUES

|                                     |                                  |                                                  |                                               |                         |                     |
|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------|---------------------|
| Résistance à la compression         | Temps de durcissement            |                                                  | Température de durcissement                   |                         | (EN 196)            |
|                                     |                                  | +10 °C                                           | +35 °C                                        |                         |                     |
|                                     | 12 heures                        | -                                                | ~ 85 N/mm²                                    |                         |                     |
|                                     | 1 jour                           | ~ 55 N/mm²                                       | ~ 90 N/mm²                                    |                         |                     |
|                                     | 3 jours                          | ~ 70 N/mm²                                       | ~ 90 N/mm²                                    |                         |                     |
|                                     | 7 jours                          | ~ 75 N/mm²                                       | ~ 90 N/mm²                                    |                         |                     |
| Module d'élasticité (compression)   |                                  |                                                  |                                               |                         |                     |
|                                     | ~ 9 600 N/mm²                    | ( +23 °C )                                       |                                               | (ASTM D695)             |                     |
| Résistance à la traction            | Temps de durcissement            |                                                  | Température de durcissement                   |                         | (ISO 527)           |
|                                     |                                  | +15 °C                                           | +35 °C                                        |                         |                     |
|                                     | 1 jour                           | ~ 20 N/mm²                                       | ~ 26 N/mm²                                    |                         |                     |
|                                     | 3 jours                          | ~ 23 N/mm²                                       | ~ 27 N/mm²                                    |                         |                     |
|                                     | 7 jours                          | ~ 26 N/mm²                                       | ~ 29 N/mm²                                    |                         |                     |
|                                     | Module d'élasticité (traction)   |                                                  |                                               |                         |                     |
|                                     | ~ 11 200 N/mm²                   | ( +23 °C )                                       |                                               | (ISO 527)               |                     |
| Contrainte d'adhérence de traction  | Durée de durcissement            | Support                                          | Température de durcissement                   | Adhérence à la traction | (EN 1542, EN 12188) |
|                                     | 7 jours                          | Béton sec                                        | +23 °C                                        | > 4 N/mm²*              |                     |
|                                     | 7 jours                          | Acier                                            | +23 °C                                        | > 21 N/mm²              |                     |
|                                     | * 100 % de cassure dans le béton |                                                  |                                               |                         |                     |
|                                     |                                  |                                                  |                                               |                         |                     |
| Résistance au cisaillement          | Temps de durcissement            |                                                  | Température de durcissement                   |                         | (FIP 5.15)          |
|                                     |                                  | +15 °C                                           | +23 °C                                        | +35 °C                  |                     |
|                                     | 1 jour                           | ~ 4 N/mm²                                        | -                                             | ~ 17 N/mm²              |                     |
|                                     | 3 jours                          | ~ 15 N/mm²                                       | -                                             | ~ 18 N/mm²              |                     |
|                                     | 7 jours                          | ~ 16 N/mm²                                       | ~ 18 N/mm²                                    | ~ 18 N/mm²              |                     |
|                                     | Retrait                          |                                                  |                                               |                         |                     |
|                                     | ~ 0.04 %                         |                                                  |                                               | (FIP)                   |                     |
| Coefficient de dilatation thermique |                                  |                                                  |                                               |                         |                     |
|                                     | ~ 2.5 * 10 <sup>-5</sup> /K      | (Gamme de température: Min. -20 °C, max. +40 °C) |                                               | (EN 1770)               |                     |
| Température de transition vitreuse  | Durée de durcissement            | Température de durcissement                      | T <sub>g</sub> (Glass transition temperature) |                         | (EN 12614)          |
|                                     | 30 jours                         | +30 °C                                           | +52 °C                                        |                         |                     |
|                                     |                                  |                                                  |                                               |                         |                     |

Fiche technique du produit  
Sikadur®-30  
Mai 2019, Version 03.03  
020206040010000001

**BUILDING TRUST**



| Température de déformation à la chaleur | Durée de durcissement    | Température de durcissement | HDT (Heat deflection temperature)      | (ASTM D648) |
|-----------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|-------------|
|                                         | 3 heures                 | +80 °C                      | +53 °C                                 |             |
|                                         | 6 heures                 | +60 °C                      | +53 °C                                 |             |
|                                         | 7 jours                  | +35 °C                      | +53 °C                                 |             |
|                                         | 7 jours                  | +10 °C                      | +36 °C                                 |             |
| Température de service                  | Min. -40 °C, max. +45 °C |                             | (> +23 °C température durant la prise) |             |

## INFORMATIONS SUR L'APPLICATION

|                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                    |                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Rapport de mélange                                                                                                                                                                                                                                         | Comp. A : B: 3 : 1 % en poids<br>Si le mélange ne comprend pas les emballages complets, il faut assurer un rapport de mélange exact en pesant et dosant les différents composants.                                                                                                       |                                    |                                   |
| Épaisseur de couche                                                                                                                                                                                                                                        | Max. 30 mm<br>Lors de plus grandes épaisseurs, il est nécessaire d'appliquer plusieurs couches.<br><br>Afin d'éviter un raccourcissement du temps d'application, il faut utiliser complètement les emballages déjà entamés et ne jamais les mélanger avec du matériau fraîchement gâché. |                                    |                                   |
| Résistance au fluage                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Surfaces verticales</b><br>Pas d'affaissement jusqu'à une épaisseur de couche de 3 - 5 mm (+35 °C). (EN 1799)                                                                                                                                                                         |                                    |                                   |
| Compressibilité                                                                                                                                                                                                                                            | ~ 4 000 mm <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                  | (+15 °C, 15 kg)                    | (FIP)                             |
| Température du matériau                                                                                                                                                                                                                                    | Min. +8 °C, max. +35 °C                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                    |                                   |
| Température de l'air ambiant                                                                                                                                                                                                                               | Min. +8 °C, max. +35 °C                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                    |                                   |
| Point de rosée                                                                                                                                                                                                                                             | Pas de condensation!<br>Lors de l'application, la température du support doit être au minimum de 3 °C supérieure au point de rosée.                                                                                                                                                      |                                    |                                   |
| Température du support                                                                                                                                                                                                                                     | Min. +8 °C, max. +35 °C                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                    |                                   |
| Humidité du support                                                                                                                                                                                                                                        | ≤ 4 % (Humidité CM)<br><br>Le support doit être sec ou humide-mat (pas d'eau stagnante). Bien faire pénétrer le mortier-collé dans le support au moyen d'une spatule.                                                                                                                    |                                    |                                   |
| Durée de vie en pot                                                                                                                                                                                                                                        | <b>Température</b>                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Durée de vie en pot (200 g)</b> | <b>Temps ouvert</b> (EN ISO 9514) |
|                                                                                                                                                                                                                                                            | +8 °C                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ~ 120 minutes                      | ~ 150 minutes                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                            | +20 °C                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ~ 90 minutes                       | ~ 110 minutes                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                            | +35 °C                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ~ 20 minutes                       | ~ 50 minutes                      |
| La durée de vie en pot débute lors du malaxage. Plus les températures sont élevées et plus la quantité de mélange est grande, plus la durée de vie en pot est courte.                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                    |                                   |
| Pour obtenir un temps ouvert plus long par des températures élevées, il est recommandé de diviser la quantité mélangée en petites portions. Une autre mesure efficace consiste à refroidir les composants avant de les mélanger (pas au-dessous de +5 °C). |                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                    |                                   |

Fiche technique du produit  
Sikadur®-30  
Mai 2019, Version 03.03  
020206040010000001

BUILDING TRUST



## INSTRUCTIONS POUR LA MISE EN ŒUVRE

### NATURE DU SUPPORT

Voir les fiches techniques des produits Sika® CarboDur® Bandes et Sika® CarboDur® BC Rods.

### PRÉPARATION DU SUPPORT

Voir les fiches techniques des produits Sika® CarboDur® Bandes et Sika® CarboDur® BC Rods.

### MALAXAGE DES PRODUITS

#### Emballages perdus prédosés

Mélanger les composants A et B à l'aide d'un mélangeur manuel électrique tournant à faible vitesse (max. 300 t/min.) durant au minimum 3 minutes jusqu'à ce que la masse présente une structure lisse et une couleur grise régulière.

Éviter l'inclusion d'air. Transvaser ensuite le matériau mélangé dans un récipient propre et mélanger une nouvelle fois durant environ 1 minute. Mélanger à faibles tours afin d'éviter l'introduction d'air. Ne mélanger que la quantité qui pourra être appliquée durant la durée de vie en pot.

#### Emballages industriels

Mélanger soigneusement les différents composants dans les récipients respectifs. Doser les composants dans les bonnes proportions et mélanger de façon similaire aux produits prédosés dans un récipient approprié.

### OUTILLAGE/APPLICATION

Pour des informations détaillées, consulter la fiche technique du produit Sika® CarboDur® Bandes.

### NETTOYAGE DES OUTILS

Nettoyer les outils immédiatement après utilisation avec Sika® Colma Nettoyant. Le matériau durci ne peut être enlevé que mécaniquement.

## AUTRES REMARQUES

Sous charge permanente, les résines époxy Sikadur® présentent un fluage faible. Néanmoins, le comportement au fluage doit être pris en compte pour le dimensionnement. Pour le dimensionnement sous charge permanente et charge à long terme, les résistances doivent être réduites au niveau de rupture de 20 - 25 %.

**Le dimensionnement doit être effectué par un ingénieur compétent.**

## VALEURS MESURÉES

Toutes les données techniques indiquées sur cette fiche produit se fondent sur des tests de laboratoire. Les données réelles mesurées peuvent être différentes pour des raisons indépendantes de notre volonté.

## RESTRICTIONS LOCALES

Veuillez noter qu'en raison d'une réglementation locale spécifique, les données déclarées pour ce produit peuvent différer d'un pays à l'autre. Veuillez vous reporter à la fiche produit locale pour obtenir des informations exactes sur le produit.

## ÉCOLOGIE, PROTECTION DE LA SANTÉ ET SÉCURITÉ AU TRAVAIL

Pour obtenir des informations et des conseils sur la manipulation, le stockage et l'élimination sans danger des produits chimiques, les utilisateurs doivent se reporter à la Fiche Produit de Sécurité la plus récente (FPS) contenant des données physiques, écologiques, toxicologiques et d'autres données liées à la sécurité.

## RENSEIGNEMENTS JURIDIQUES

Les informations contenues dans la présente notice, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou recommandations écrites, ou autre conseil donné, n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés, ni aucune garantie de conformité à un usage particulier. L'utilisateur du produit doit vérifier par un essai sur site l'adaptation du produit à l'application et à l'objectif envisagés. Sika se réserve le droit de changer les propriétés de ses produits. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont soumises à nos Conditions générales de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la notice technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.

Fiche technique du produit  
Sikadur®-30  
Mai 2019, Version 03.03  
020206040010000001

BUILDING TRUST



**Sika Schweiz AG**  
Tüffenwies 16  
CH-8048 Zürich  
Tel. +41 58 436 40 40  
sika@sika.ch  
www.sika.ch



Fiche technique du produit  
**Sikadur®-30**  
Mai 2019, Version 03.03  
020206040010000001

**Sika Suisse SA**  
Tüffenwies 16  
CH-8048 Zurich  
Tel. +41 58 436 40 40  
sika@sika.ch  
www.sika.ch

Sikadur-30-fr-CH-(05-2019)-3-3.pdf

**BUILDING TRUST**

