

**ISAP 86**

# **Adhesion between Polymers and Concrete**

**Bonding · Protection · Repair**



# **Adhesion between polymers and concrete**

bonding · protection · repair

# **Adhésion entre polymères et béton**

revêtement · protection · réparation

*Proceedings of an international symposium organized by  
RILEM Technical Committee 52 – Resin Adherence to  
Concrete and Laboratoire Central des Ponts et Chaussées,  
Paris.*

*Palais des Congrès  
Aix-en-Provence  
France  
September 16 – 19, 1986*

*Editor*

**H.R. Sasse**

LONDON NEW YORK  
CHAPMAN AND HALL



# INFLUENCE DE LA NATURE ET DE LA GRANULARITE DE LA CHARGE SUR L'ADHERENCE DES RESINES EPOXYDES AU BETON DURCI SEC ET HUMIDE

A.M. PAILLERE Laboratoire Central des Ponts et Chaussées PARIS  
J.J. SERRANO Laboratoire Central des Ponts et Chaussées PARIS  
J.L. AGUIAR Université de Minho PORTUGAL  
R. LAMOURI Laboratoire Central des Ponts et Chaussées PARIS

## Résumé

Les recherches menées au LCPC en vue d'étudier l'adhérence des résines époxydes sur des surfaces de béton durci, sèches ou humides ont permis de constater que les polymères non chargés (résines pures) peuvent adhérer de façon satisfaisante au support béton à condition que celui-ci soit sec. En effet lorsque il y a présence d'eau (support humide) les résines pures présentent dans le collage du béton durci sur béton durci une rupture adhésive, alors que les mêmes produits convenablement chargés conduisent à une bonne adhérence puisqu'il y a rupture dans le béton.

Par ailleurs les modes de ruptures adhésive, dans le béton ou cohésive sont fonction de la nature minéralogique de la charge, de sa granularité et de l'épaisseur du joint.

De même l'adhérence sur support humide serait liée à l'absorption, plus ou moins élevée, de l'eau présente sur la surface du béton et mise en contact avec le polymère.

**Mots clés** : Polymère, époxyde, adhérence, béton durci, support, humidité, charge, granularité, épaisseur, joint, absorption, rupture.

## Introduction

Dans les techniques de réparation les polymères sont utilisés purs ou chargés avec des fillers divers. Habituellement on injecte les fines fissures avec une résine pure et l'on procède au collage structural béton durci/béton durci ou béton frais/béton durci à l'aide d'une résine chargée,

Les arguments avancés pour l'utilisation d'une charge sont d'ordre économique (plus il y a de filler moins il y a de résine), d'ordre tixotropique, ou d'ordre modérateur de certaines caractéristiques des polymères, en effet, on cherche presque toujours à modifier, voire même à diminuer, le module d'élasticité, le coefficient de dilatation linéique, le retrait, le fluage, l'exothermie etc. Ainsi les charges jouent un rôle non négligeable dans le comportement des polymères. Nous avons donc voulu, dans la présente recherche connaître si lesdites charges intervenaient

aussi dans les mécanismes conditionnant l'adhérence des polymères au support béton.

Dans ce but, nous avons étudié d'une part, l'influence d'une charge donnée sur l'adhérence du système béton durci - polymère - béton durci et d'autre part, l'adhérence en fonction des caractéristiques et dosage de la charge.

### Conduite des essais

Toutes les déterminations de l'adhérence des polymères au béton ont été effectuées à l'aide de l'essai de traction directe, conformément à la norme française NFP 18-871, relative aux produits pour collage structural entre deux éléments en béton avec surface d'application horizontale.

Le béton durci utilisé dans le collage structural avait plus de 90 jours d'âge et sa résistance à la compression, sur cylindres, 16 x 32 cm, 28 jours était de l'ordre de 48 MPa.

Afin de minimiser, ou d'annuler, l'effet d'une hétérogénéité ponctuelle dans la couche de polymère mis en oeuvre en vue de collage, nous avons travaillé sur des demi prismes 14 x 9 x 30 cm. L'application des polymères a eu lieu sur des surfaces de 126 cm<sup>2</sup> sciées ou sablées, sèches ou humides. On a reconstitué le prisme 14 x 18 x 30 cm par collage de l'autre demi prisme de béton durci correspondant (fig. 1).

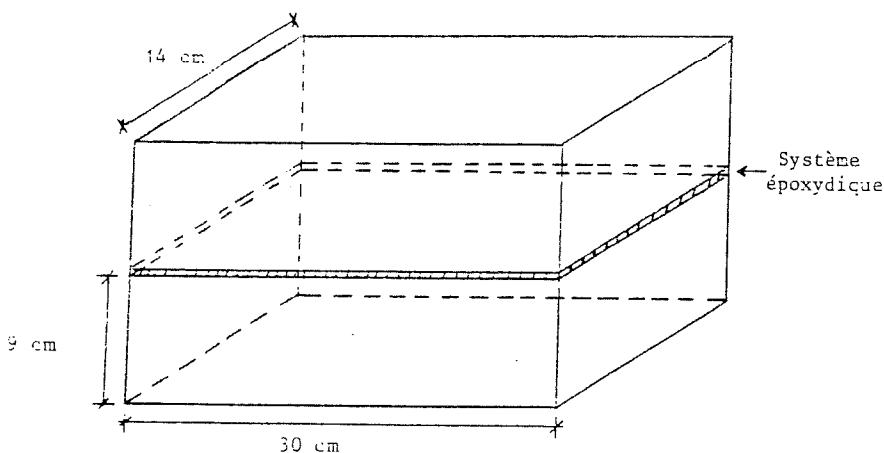


Fig. 1. Epreuve prismatic reconstituée par collage, à l'aide d'un système époxydique, de deux demi-prismes 14 x 9 x 30 cm de béton durci.

Les éprouvettes destinées à la détermination de l'adhérence ont été obtenues à 28 jours d'âge de l'assemblage, par carottage de cylindres 8 x 16 cm dans le prisme reconstitué (fig. 2).

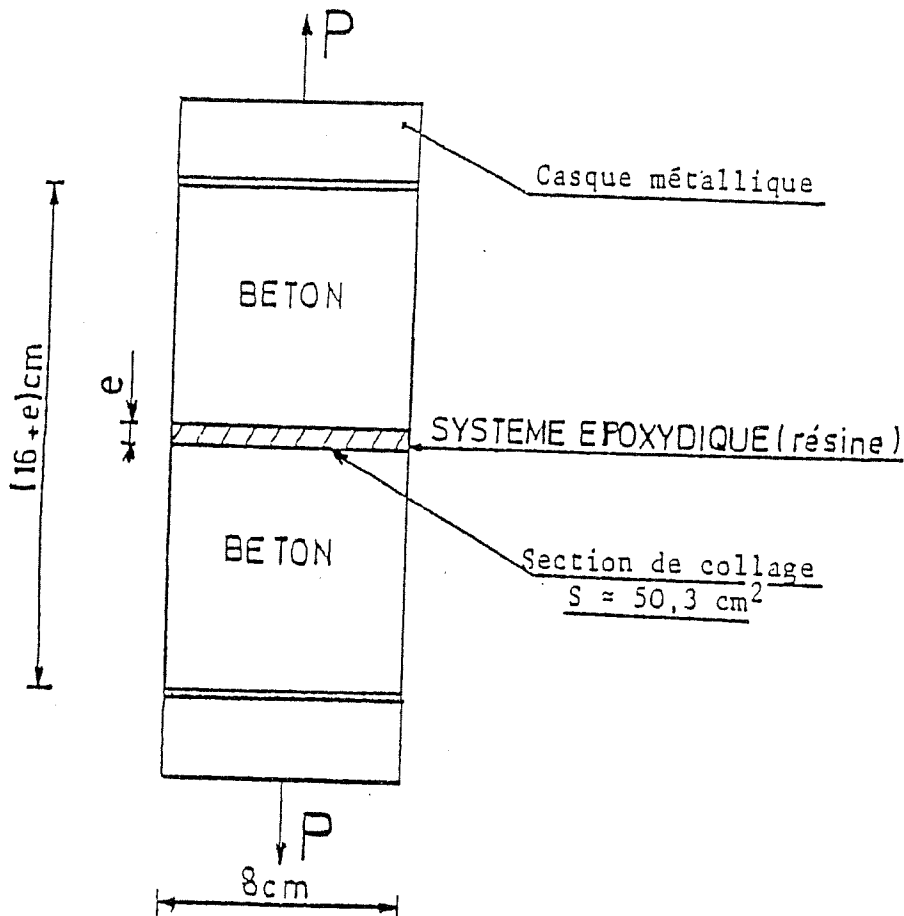


Fig. 2. Eprouvette cylindrique béton - résine - béton

Dans la détermination de l'influence de la charge sur l'adhérence on a utilisé les systèmes époxydiques suivants :

Système A Résine époxydique A + Durcisseur A<sub>1</sub> à base de polyamine aliphatique

Système B Résine époxyde A + Durcisseur A<sub>1</sub> + 10 % de diluant réactif.

Le diluant réactif a été utilisé dans le but d'augmenter la mouillabilité du système époxydique A ( $\theta \sim 40^\circ$  pour A et  $\sim 30^\circ$  pour B).

Dans la deuxième partie concernant l'étude de l'adhérence en fonction du dosage et de la nature de la charge nous avons utilisé le même système epoxydiques.

Système A (Résine epoxydique A + Durcisseur A<sub>1</sub>)

et le système X Résine époxydique X

Durcisseur Y à base d'un mélange d'amines cycliques et d'alcool benzilique.

Les modes de rupture des éprouvettes reconstituées ont été classés en quatre type (fig. 3).

. Type 1 : Rupture plein béton



Le cylindre reconstitué ne se sépare pas suivant le plan de collage horizontal. Le béton casse sous l'effet des contraintes de traction exercées sur l'éprouvette, dans le cas du collage de béton frais sur béton durci, soit du côté du béton durci servant de support, soit du côté du béton rapporté frais.

. Type 2 : Rupture mixte béton-plan de collage



La cassure intéresse à la fois le béton et le plan de collage.

. Type 3 : Rupture cohésive dans le produit de collage



Le produit reste adhérent sur chaque demi-éprouvette de béton et la rupture a lieu dans l'épaisseur du produit de collage suivant un plan parallèle au plan d'assemblage.

. Type 4 : Décollement (Rupture adhésive)



La rupture se produit à l'une des interfaces produit de collage-béton par défaut d'adhérence du produit soumis aux essais.

Fig. 3. Différents types de rupture

Type I - rupture dans le béton, type II rupture mixte béton - plan de collage Type III- rupture cohésive, type IV rupture adhésive (décollement).

A. Influence de la charge sur l'adhérence de l'ensemble Béton durci - polymère -béton durci. Support béton sec ou humide

La charge expérimentée était du filler calcaire à 99,7 % de  $\text{CaCO}_3$  présentant 10 % d'éléments compris entre 20 et 100  $\mu\text{m}$  et 80 % d'éléments fins < 20  $\mu\text{m}$ .

Chaque système a été chargé avec 116 parties de ce filler calcaire. L'expérimentation a porté sur quatre produits

Système A et Système E (Système A + 116 parties de charge)

Système B et Système F (système B + 116 parties de charge)

Conformément à la norme NF P 18-871 les surfaces d'application ont été obtenues : pour les surfaces sèches, en sortant de l'eau les  $20 \pm 2^\circ \text{C}$  et  $50 \pm 5\%$  de HR ; pour les surfaces humides en sortant les 1/2 éprouvettes de l'eau un quart d'heure avant application du polymère et les protégeant de la dessiccation en les recouvrant d'un linge humide essoré.

L'étude de l'influence de la charge sur l'adhérence a été effectuée en fonction de l'épaisseur de film de polymère

**A.1 Principaux résultats**

**A.1.1 Rôle joué par la charge**

Les figures 4 et 5 montrent que dans le cas des surfaces d'application sèches les ruptures ont toujours lieu dans le béton et que par conséquent il n'y a aucune influence de la charge.

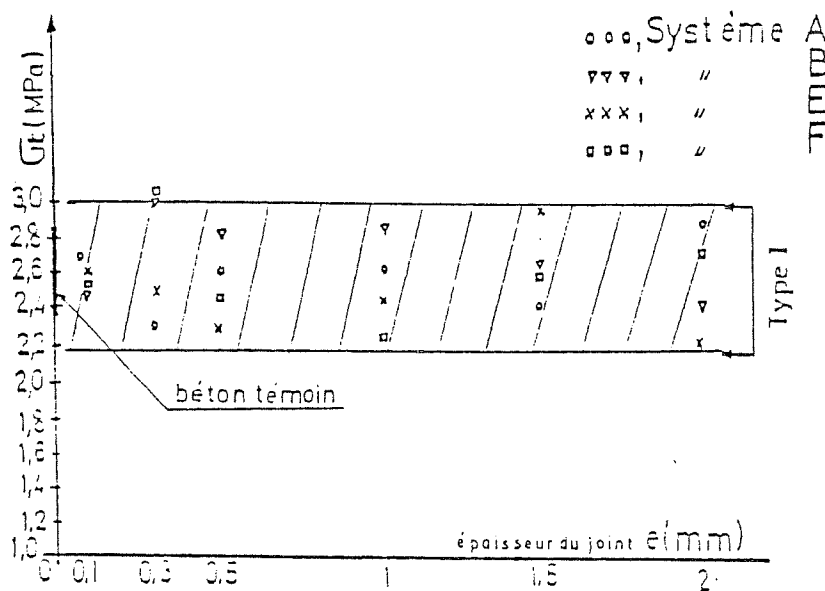


Fig. 4. Contraintes de rupture des éprouvettes béton-résine-béton à surface de collage sciée - sèche

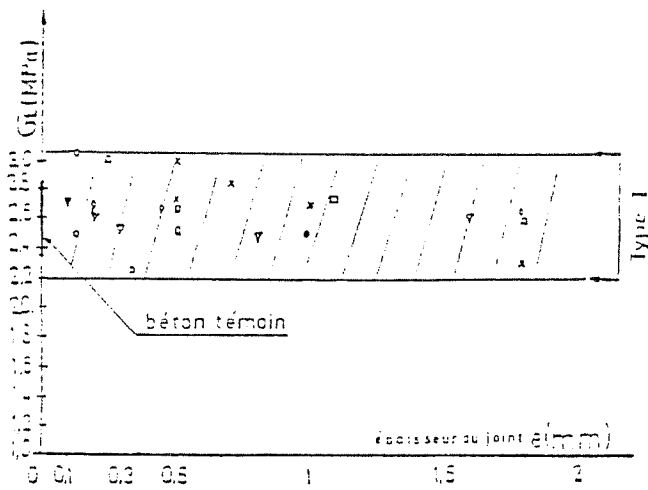


Fig. 5. Contraintes de rupture des éprouvettes béton-résine - béton à surface de collage sablée - sèche

Il en est tout autrement dans le cas des surfaces humides. Ainsi qu'il apparaît dans la figure 6, les systèmes chargés conduisent dans la plupart des cas à des ruptures dans le béton ou à prédominance dans le béton (type I et II). Par contre les systèmes A et B se placent dans les types de rupture adhésive. Il semble donc que la charge est indispensable pour obtenir une bonne adhérence sur surface humide

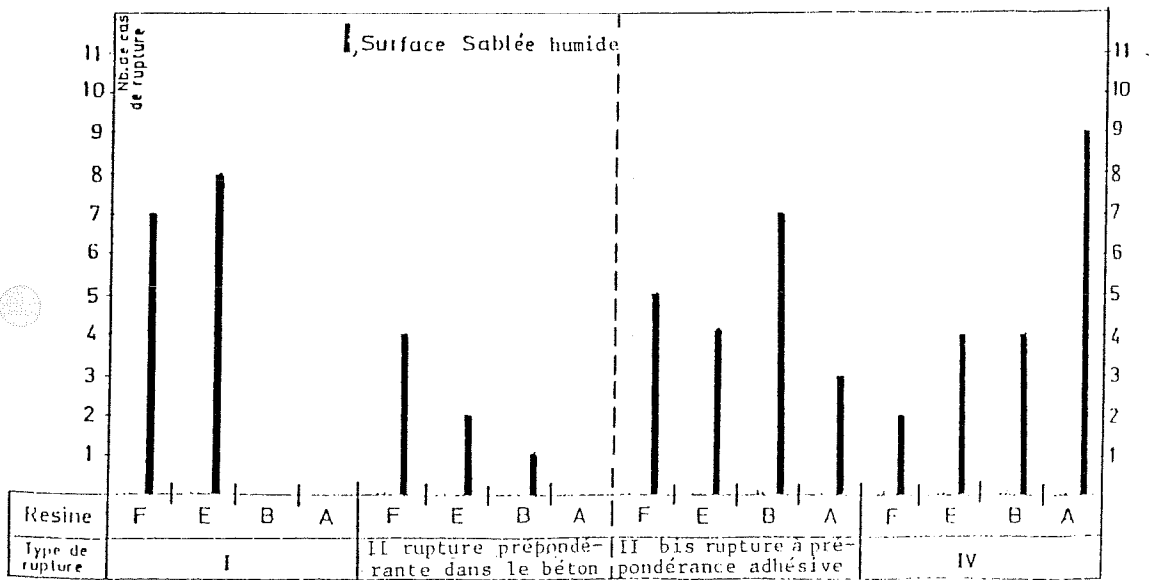


Fig. 6. Nombre de cas de rupture correspondant à chaque système époxydique



### A.1.2 influence de l'épaisseur du film de polymère

Le positionnement d'un bloc de béton sur un autre revêtu d'un film, plus ou moins épais, de résine époxydique chargée ou non, ne permet pas de maîtriser l'épaisseur du "joint" de polymère. Celui-ci est extrudé sous l'effet d'un poids du bloc de béton et l'on aboutit pratiquement à une épaisseur de film toujours constante quel que soit le polymère utilisé.

Nous avons donc fait varier l'épaisseur de ce film artificiellement, en maintenant les deux blocs de béton à assembler, à des hauteurs variables, l'un de l'autre et en remplissant l'interstice, ainsi aménagé, avec le système époxydique choisi.

Les figures 7 et 8 confirment les résultats précédents. Les modes de rupture se placent toujours dans le type II (mixte à prépondérance adhésive) et IV (rupture adhésive) lorsque les polymères ne sont pas chargés. De même la présence de charge entraîne, au fur et à mesure que l'épaisseur du joint de collage augmente, un accroissement de la la rupture qui semble se stabiliser entre 2,4 et 3 MPa pour des épaisseurs comprises entre 1 et 2,3 mm. C'est dans cette zone de valeurs que toutes les ruptures ont lieu dans le béton (type I).

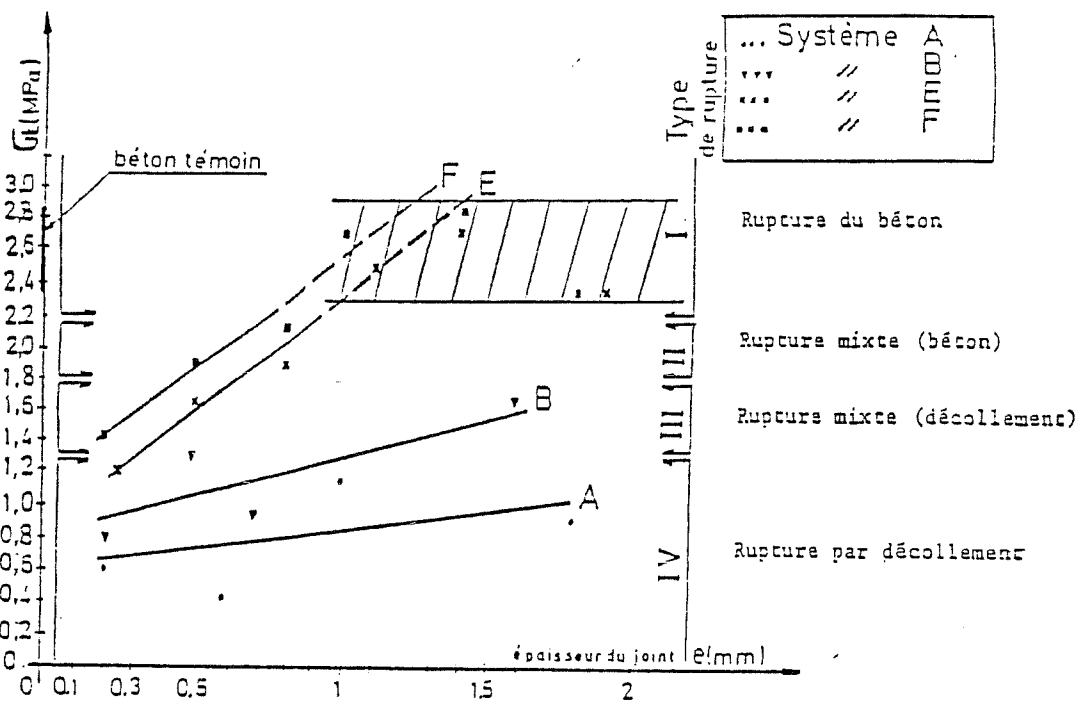


Fig. 7. Contraintes de ruptures en fonction de l'épaisseur du joint - collage sur surface brossée-humide.

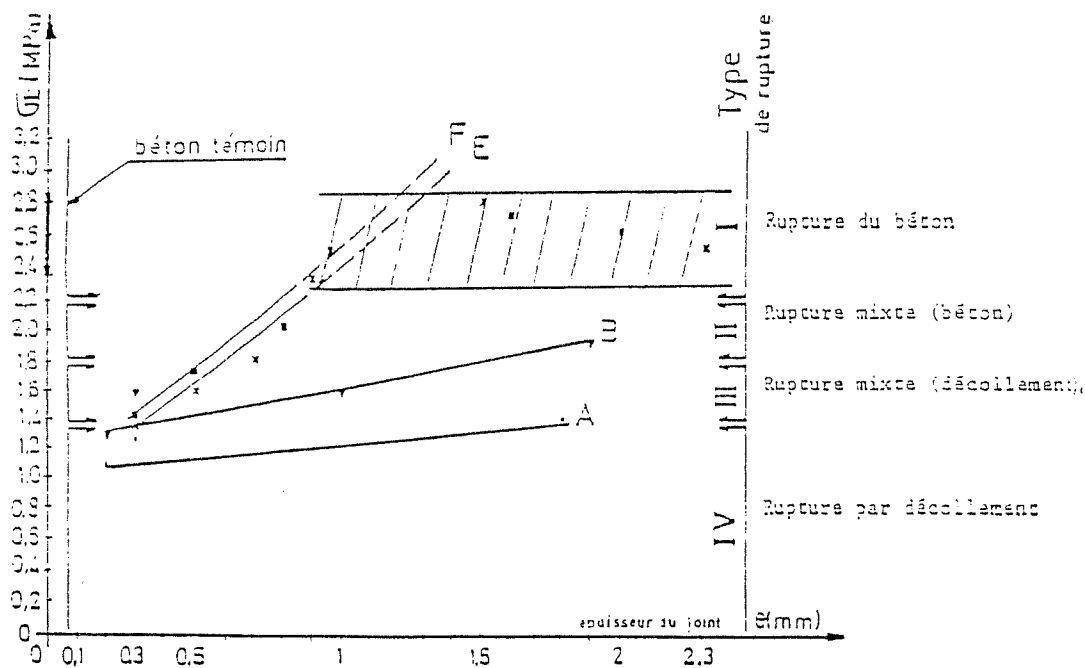


Fig. 8. Contraintes de rupture en fonction de l'épaisseur du joint - collage sur surface sablée-humide

### A.1.3 Interaction entre la charge du polymère et l'humidité du support

Compte tenu que la charge était du calcaire et du caractère hydrophyle de celui-ci, il était permis de penser qu'il se produisait une absorption ou succion progressive de l'eau présente sur la surface du béton par ledit calcaire, ce qui entraînait le transport de celle-ci dans le film de colle et un assèchement superficiel du sujetif. Ceci permettrait donc une meilleure adhérence du polymère au béton.

Les observations effectuées au microscope électronique à balayage semblent confirmer cette hypothèse.

La figure 9 montre l'adhérence parfaite de la résine époxydique A, non chargée, sur un béton à surface d'application sèche. Par contre en présence d'humidité fig. 10 on constate des fissures longitudinales sur le plan de collage et une perturbation du polymère par l'eau avec présence de bulles d'eau emprisonnées par la résine.

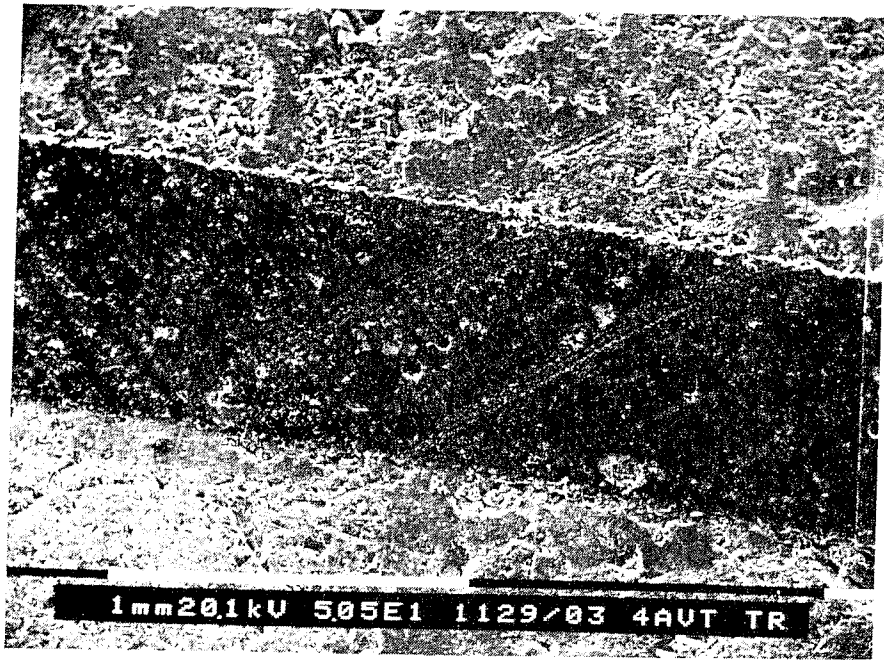


Fig. 9. Collage béton durci/béton durci sur surface sèche - bonne adhérence du polymère non chargé A

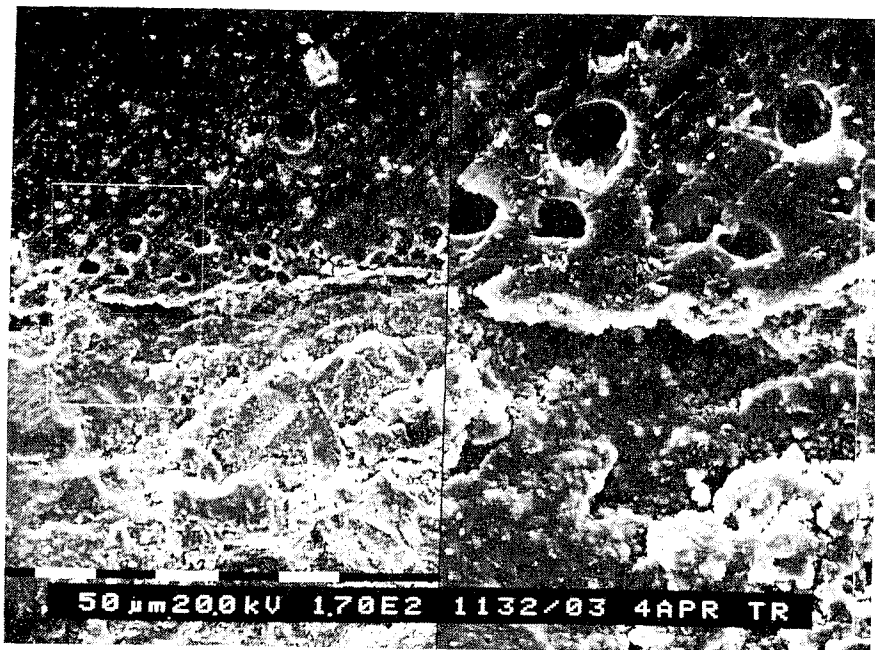


Fig. 10. Collage béton durci/béton durci avec système A non chargé et surface humide. On note des fissures et des bulles à l'interface

La présence de charge dans le système époxydique A modifie l'aspect de la surface de contact ainsi dans les figures 11 et 11 bis on ne constate ni fissures, ni bullages, mais tout au plus (fig. 11) une bande blanche constituée par le système époxydique chargé et l'eau absorbée.

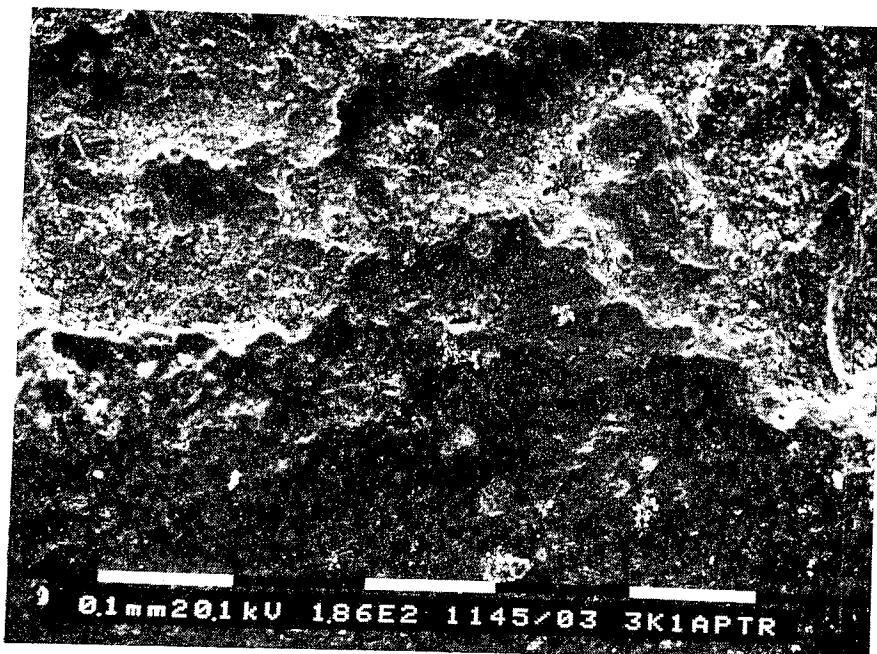


Fig. 11. Bonne adhérence béton -liant par la pénétration de la résine dans les interstices du béton. Apparition d'une bande blanche d'eau absorbée par la résine + charge

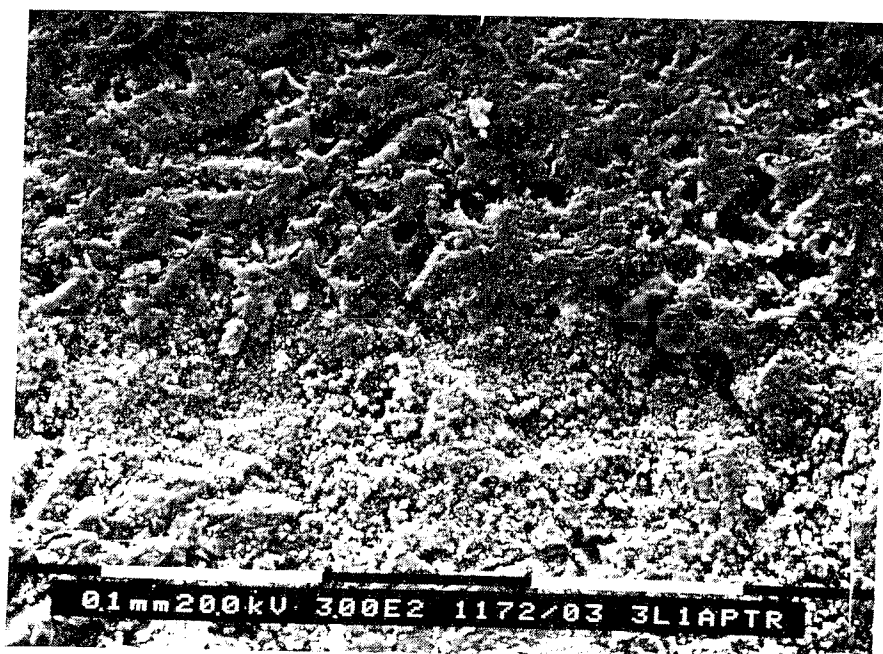


Fig. 11 bis. Très bonne adhérence entre le liant et le béton - l'interface est très peu marquée. Pas de bande blanche visible.

## B. Etude de l'adhérence en fonction du dosage et de la nature de la charge

Cette absorption d'eau par la charge semble donc être un des facteurs favorisant l'adhérence des époxydes aux supports de béton humides. Toutefois, il fallait approfondir cette étude afin de connaître, dans quelle mesure cet effet "buvard" était lié à la nature minéralogique du filler, à sa granularité et au pourcentage présent dans le système époxydique. De même il était intéressant de savoir quelle était la quantité d'eau absorbée par la charge qui été compatible avec une bonne adhérence béton durci - polymère - béton durci.

Nous avons donc étudié cette adhérence en expérimentant, avec les deux systèmes epoxydiques A et X définis précédemment, trois fractions granulométriques différentes, d'une charge calcaire et d'une charge 100 % siliceuse.

Ces fractions étaient les suivantes

| Nature de la charge | Filler ultrafin           | Filler fin                | Filler moyen               |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Calcaire            | 80 % < 4 m<br>92 % < 20 m | 68 % < 4 m<br>85 % < 20 m | 35 % < 4 m<br>75 % < 30 m  |
| Siliceux            | 72 % < 4 m<br>95 % < 20 m | 61 % < 4 m<br>95 % < 20 m | 39 % < 4 m<br>100 % < 30 m |

### B.1 Détermination de la quantité de charge incorporable aux polymères

Ainsi qu'il apparaît dans la figure 12, la quantité de filler qu'il est possible d'ajouter aux systèmes époxydiques A et X est décroissante au fur et à mesure que la finesse augmente.

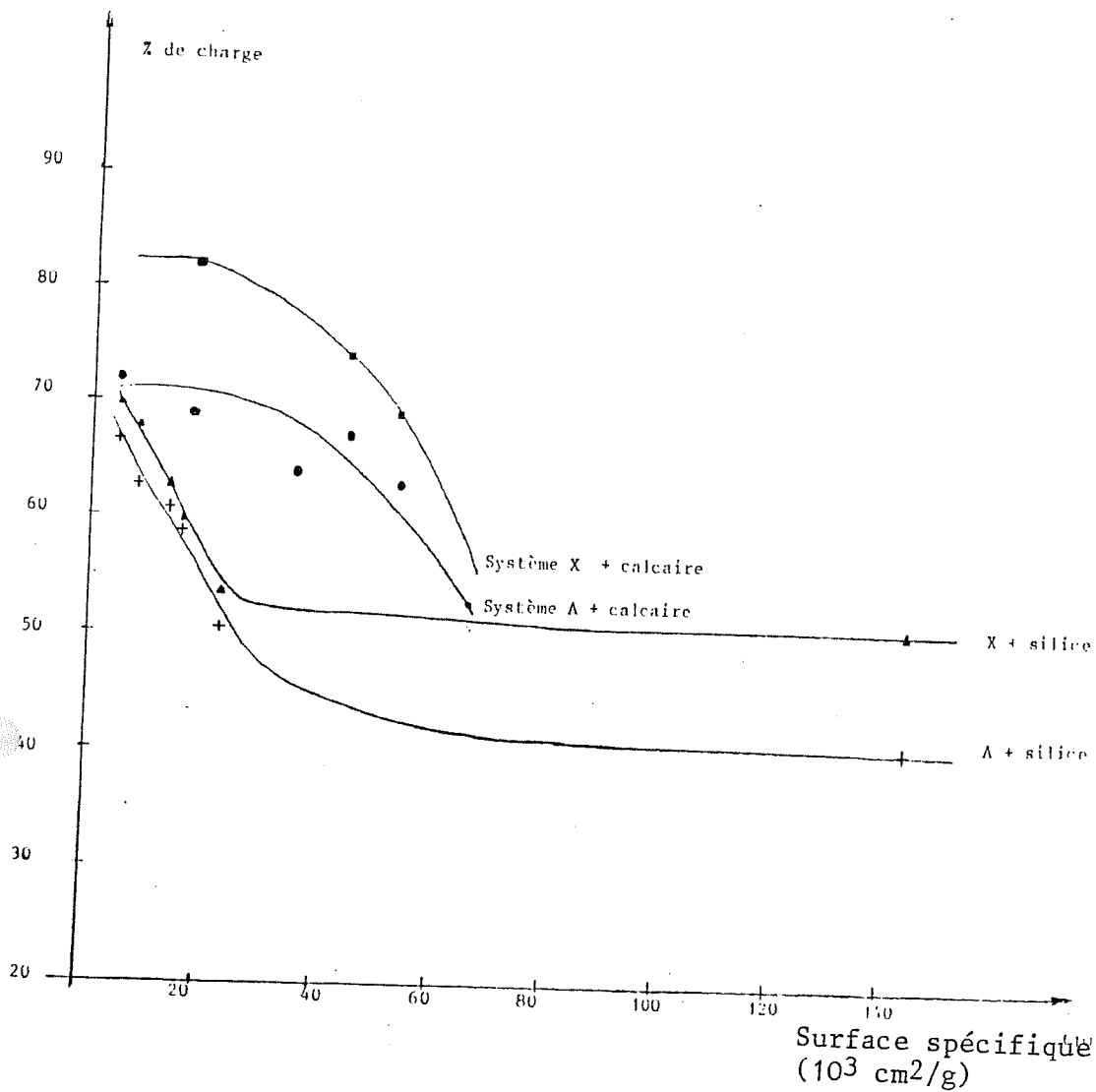


Fig. 12. Quantité maximale de filler incorporable aux deux types de résines époxydiques en fonction de la surface spécifique du filler.

Cette quantité est plus faible dans le cas du filler siliceux. Ainsi pour les fillers moyens ( $SS < 20\ 000 \text{ cm}^2/\text{g}$ ) on peut atteindre 80 % pour le système X et 70 % pour le A avec du filler calcaire et environ 70 % maximum pour le filler siliceux quelle que soit l'époxyde utilisée. Pour cette dernière charge on constate qu'à partir d'une surface spécifique de  $38\ 000 \text{ cm}^2/\text{g}$  le teneur maximum de charge est toujours de l'ordre de 52 % pour le polymère X. Dans le cas du polymère A, le palier se situe aux environs de 42 % pour les fillers à  $SS > 60\ 000 \text{ cm}^2/\text{g}$ .

B.2 Influence du pourcentage, de la nature et de la granularité de la charge, sur l'adhérence du polymère.  
 Il est apparu (fig. 13 et 13 bis) qu'il existe un dosage optimum de filler conduisant à un maximum de résistance et d'adhérence. Cet optimum varie suivant la nature du filler, sa granularité et le système epoxyde expérimenté.

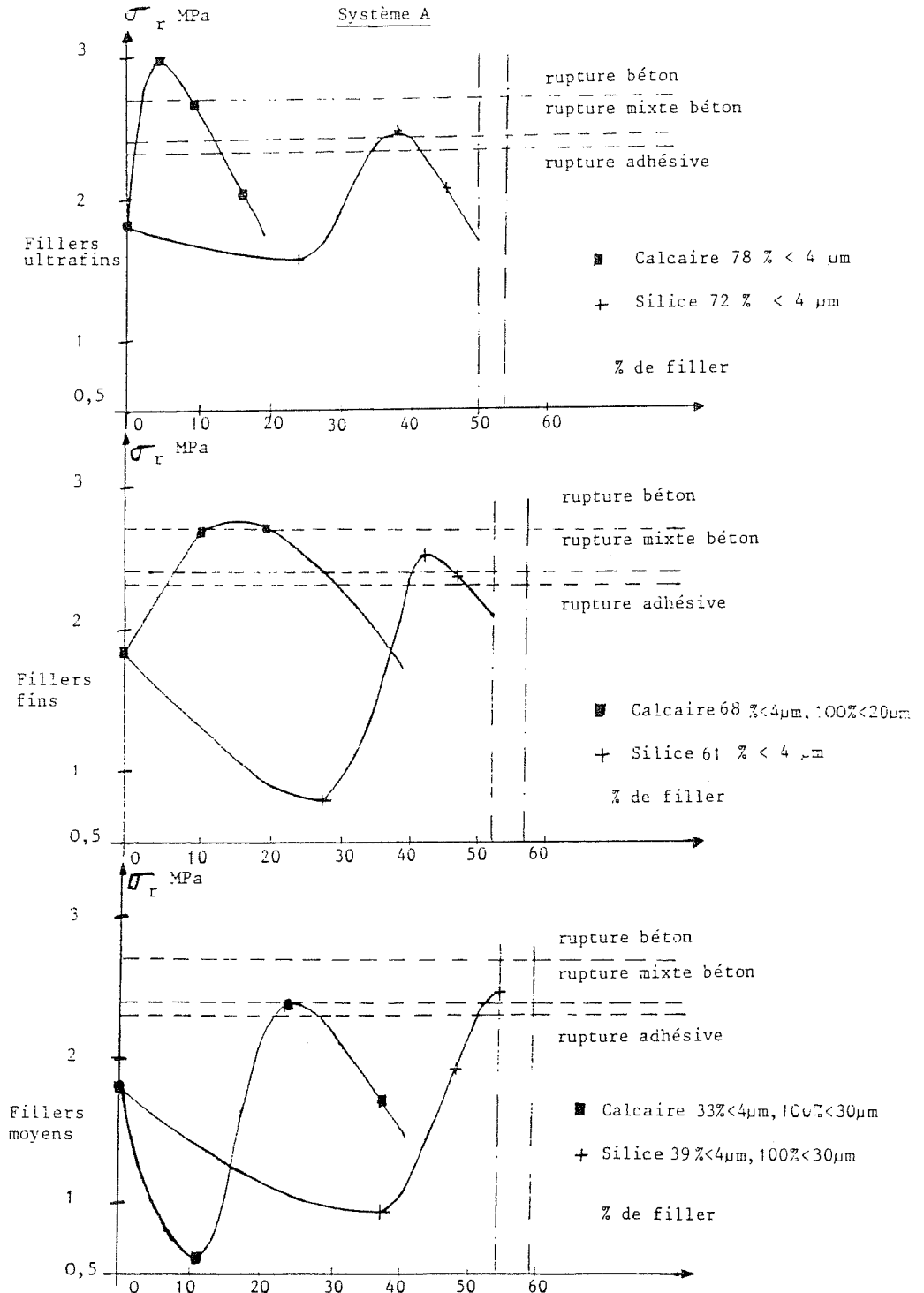


Fig. 13. Adhérence en fonction du dosage en filler (surface humide - épaisseur  $\approx 0,6$  mm)

Systeme X

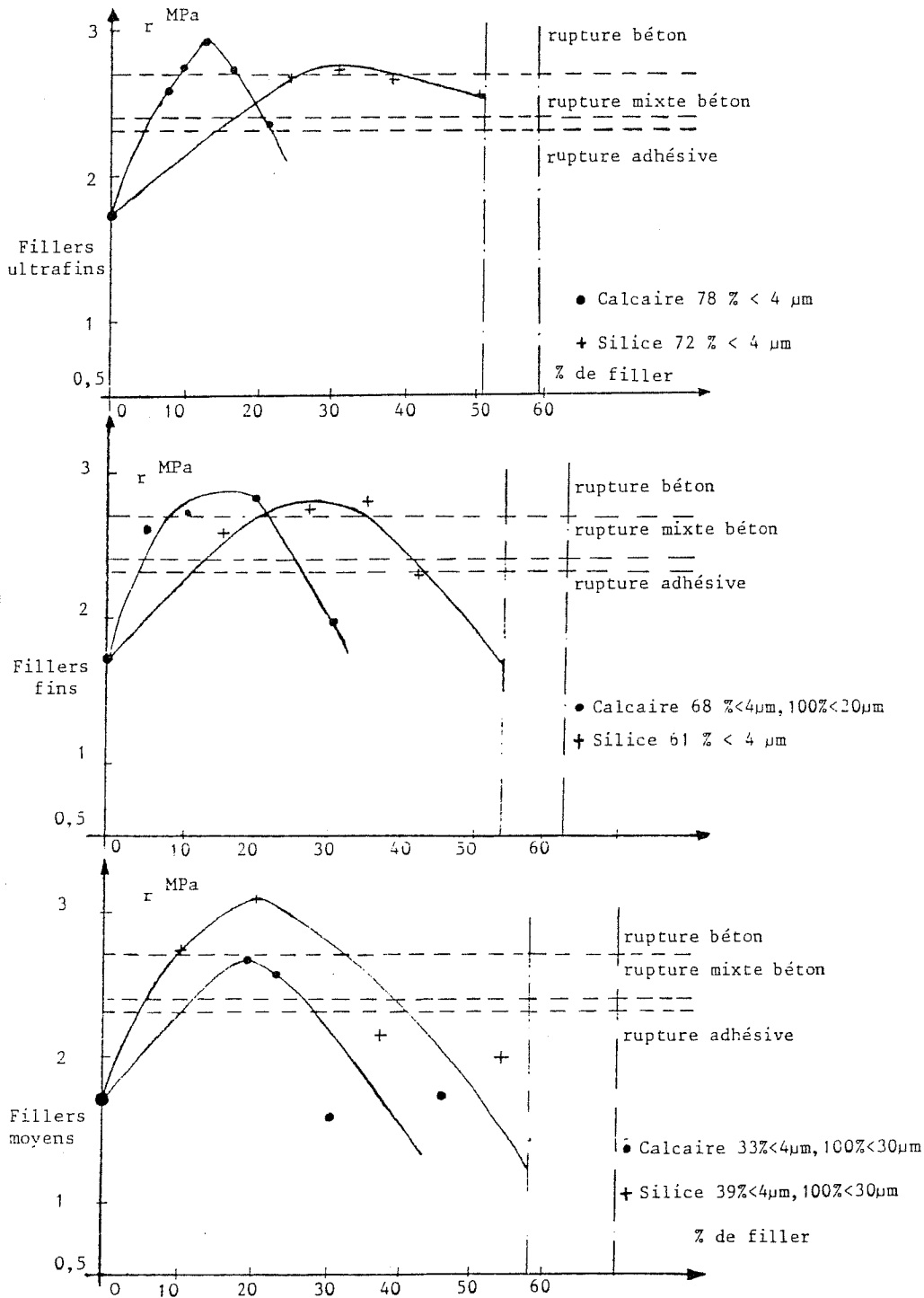


Fig. 13 bis. Adhérence en fonction du dosage en filler (surface humide-épaisseur  $\approx 0,6$  mm)



Pour la résine A les meilleurs résultats (rupture dans le béton) sont obtenus avec le filler calcaire fin et ultrafin et des dosages compris entre 5 et 16 %. Les fillers calcaire et siliceux semblent conférer le même comportement à la résine X quelle que soit leur granularité, mais les pourcentages optimums, du point de vue de l'adhérence sont compris entre 12 et 18 % pour le calcaire et contre 20 et 30 % pour le siliceux.

Ces résultats sont synthétisés dans la fig. 14 où il apparaît

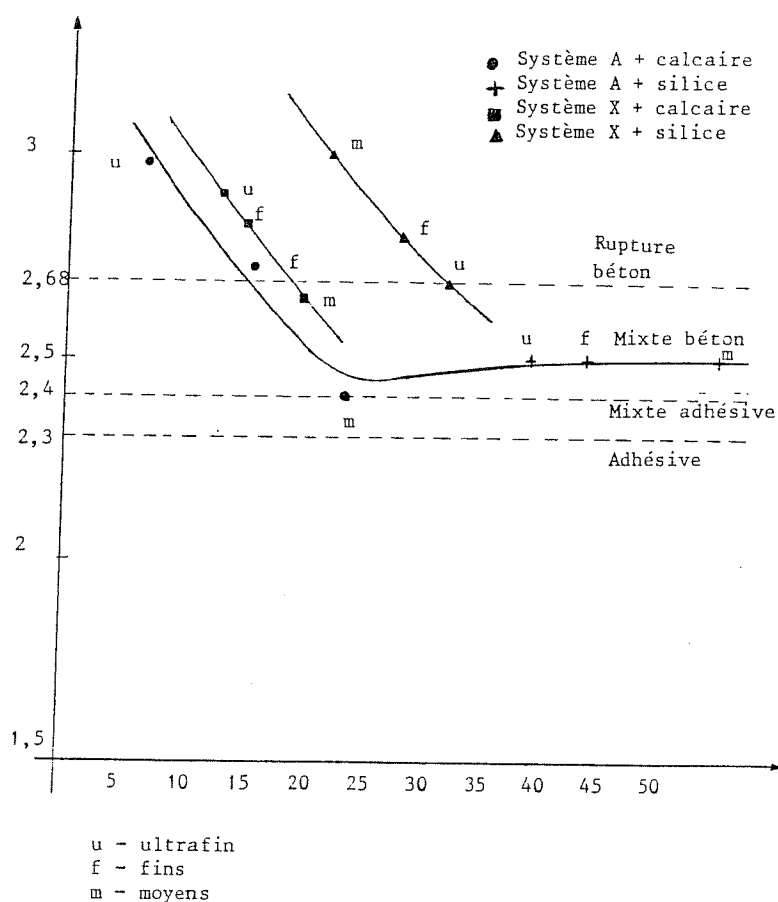


Fig. 14. contraintes maximales à la rupture en fonction du dosage en filler

que les contraintes maximum entraînant une rupture dans le béton, enregistrées avec le système X ont eu lieu indifféremment avec les fillers calcaires ou siliceux, avec une tendance à de meilleures performances dans le cas des éléments moyens. Il en est tout autrement avec le système époxydique A, dont les performances décroissent au fur et à mesure que la dimension des fines calcaires augmente. Les fines siliceuses conduisent, quelle que

soit leur granularité, à des ruptures mixtes, pour des résistances de l'ordre 2,5 MPa.

Ces résultats confirment donc l'existence d'un couple optimum polymère charge. L'adhérence d'un système époxydique à un béton humide semble bien être, entre autres, fonction de la nature et granularité de ladite charge.

### B.3 Influence de l'aptitude à l'absorption d'eau du système polymère-charge sur l'adhérence

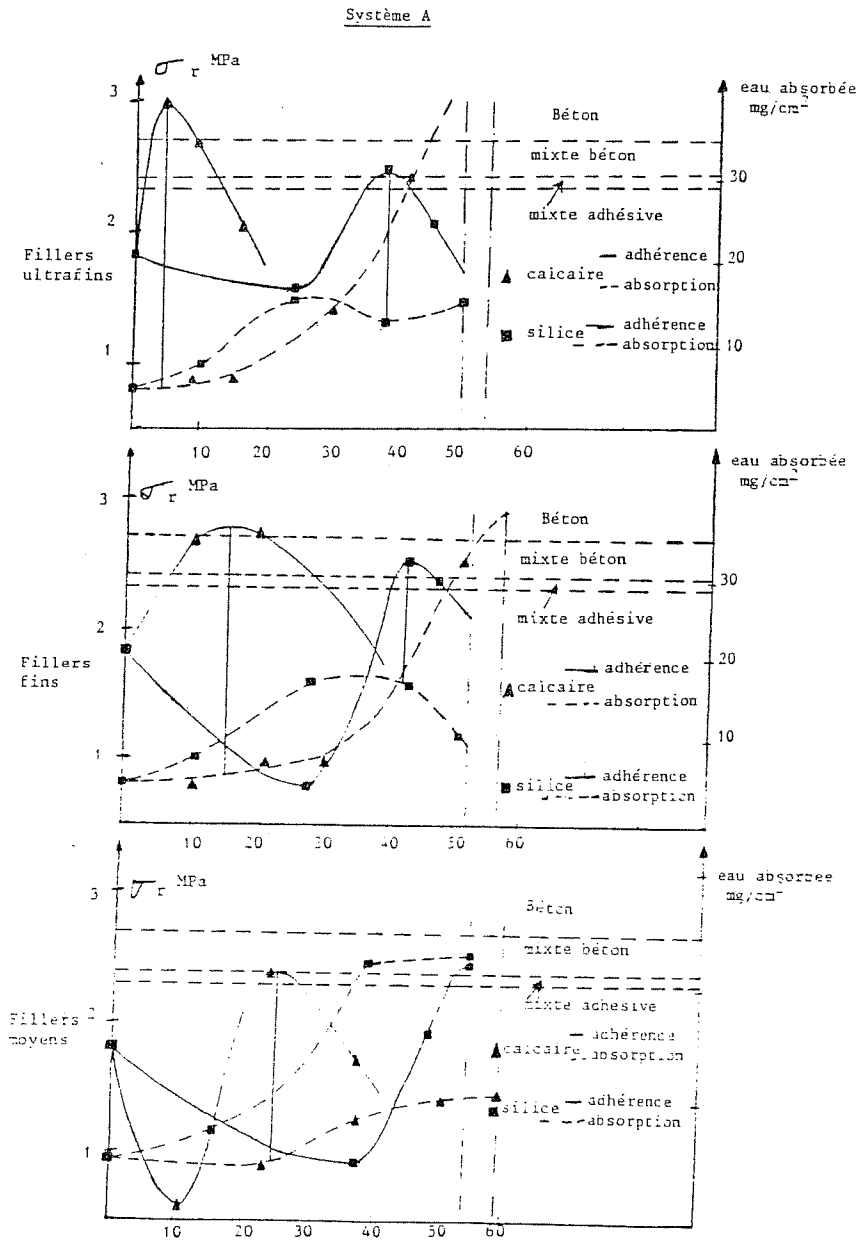


Fig. 15. Adhérence et absorption d'eau en fonction du dosage en filler (surface humide - épaisseur  $\approx$  0,6 mm)

Système X

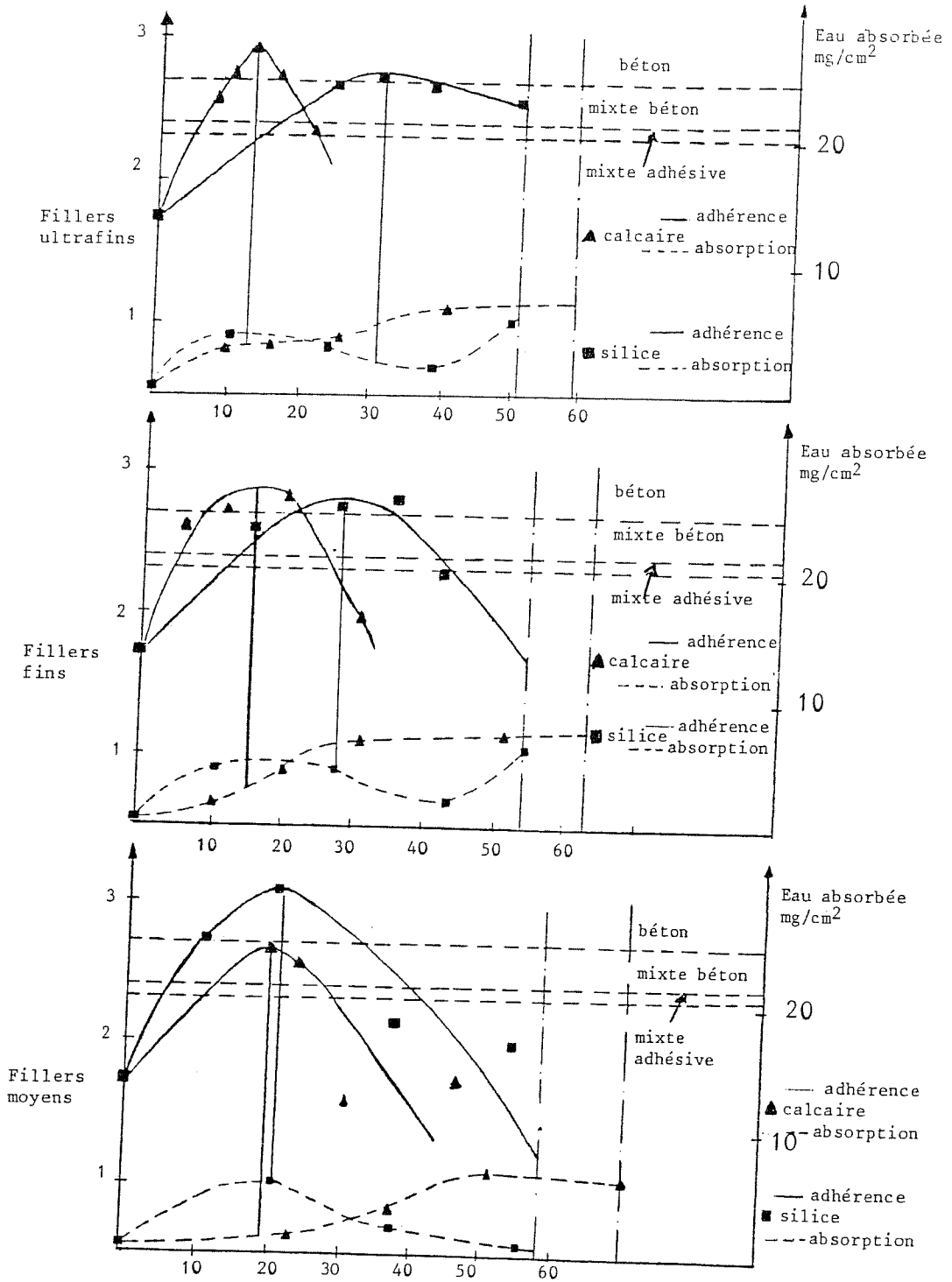


Fig. 15 bis Adhérence et absorption d'eau en fonction du dosage en filler (surface humide - épaisseur  $\approx 0,6$  mm)

L'étude de l'absorption d'eau des polymères chargés montre (fig. 15 et 15 bis) que la quantité d'eau absorbée croît d'une façon générale, avec le dosage en charge. Mais, toutes choses étant égales par ailleurs, le système A conduit à de plus fortes absorptions d'eau que le système X, dont les quantités mesurées ne dépassent en aucun cas 10 mg/cm<sup>2</sup> alors qu'avec le polymère A + calcaire elles atteignent jusqu'à 50 mg/cm<sup>2</sup>.

Par ailleurs la figure 16 montre, que les adhérences maximum obtenues avec les divers polymères, correspondent à des pourcentages de charges qui conduisent à des absorptions d'eau très limitées, de 3,5 m à 7,5/cm<sup>2</sup>.

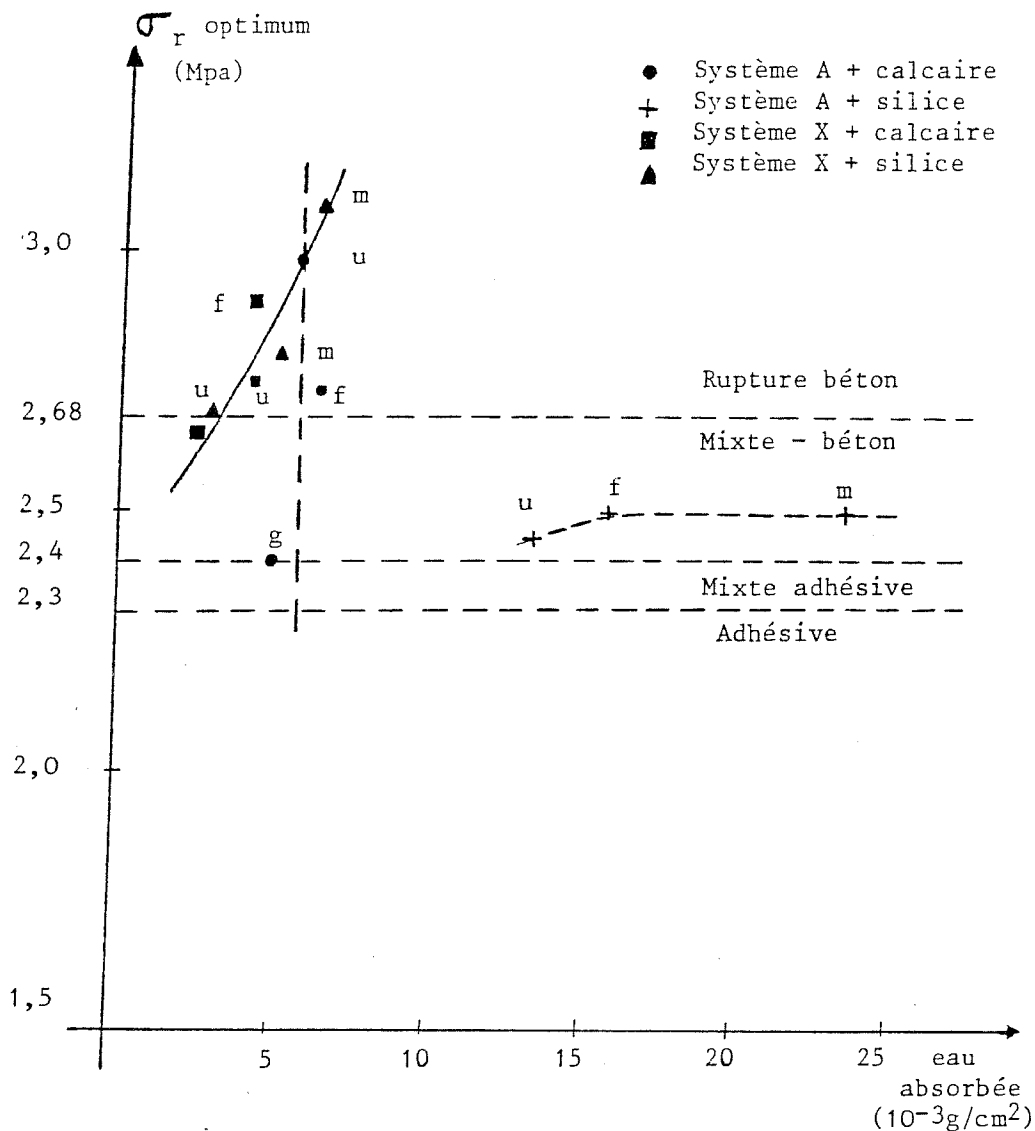
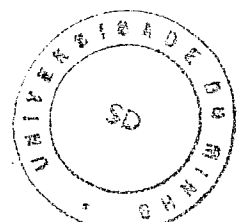


Fig. 16. Contraintes maximales à la rupture en fonction de l'absorption d'eau



Ceci est très marqué pour le système epoxydique A où tous les points maximum se trouvent placés aux environs de  $5\text{mg}/\text{cm}^2$ , valeur très faible, si l'on tient compte de l'aptitude élevée à l'absorption d'eau que présente ce polymère chargé. Ces résultats semblent montrer que l'effet bénéfique produit par le pouvoir absorbant de la charge sur l'adhérence est limité et qu'une trop grande quantité d'eau transférée du support au polymère peut être nuisible.

### Conclusions

La charge introduite dans un polymère joue un rôle important dans son adhérence sur le béton humide, du fait qu'elle absorbe l'eau superficielle et permet un contact plus direct du polymère sur le subjectile.

Par ailleurs il importe d'étudier la compatibilité polymère-charge sans la limiter à la nature minéralogique et pourcentage de cette dernière, mais en l'étendant aussi à la granularité.

Il faut aussi signaler que l'absorption de l'eau superficielle par le système, polymère plus charge, n'est bénéfique, du point de vue de l'adhérence, qu'à la condition que la quantité d'eau "déplacée" soit limitée et ne perturbe pas de façon notable, les caractéristiques du polymère durci.