

Caractérisation du collage béton-béton par essais push-out

A. Koaik ⁽¹⁾, I. Alachek ⁽²⁾, N. Reboul ⁽³⁾, S. Bel ⁽⁴⁾, B. Jurkiewicz ⁽⁵⁾

¹ alaa.koaik@univ-lyon1.fr, Laboratoire des Matériaux Composites pour la Construction (LMC²), Université Lyon 1, 82 boulevard Niels Bohr, 69622 Villeurbanne

² ibrahim.alachek@univ-lyon1.fr, Laboratoire des Matériaux Composites pour la Construction (LMC²), Université Lyon 1, 82 boulevard Niels Bohr, 69622 Villeurbanne

³ nadege.reboul@univ-lyon1.fr, Laboratoire des Matériaux Composites pour la Construction (LMC²), Université Lyon 1, 82 boulevard Niels Bohr, 69622 Villeurbanne

⁴ sylvain.bel@univ-lyon1.fr, Laboratoire des Matériaux Composites pour la Construction (LMC²), Université Lyon 1, 82 boulevard Niels Bohr, 69622 Villeurbanne

⁵ bruno.jurkiewicz@univ-lyon1.fr, Laboratoire des Matériaux Composites pour la Construction (LMC²), Université Lyon 1, 82 boulevard Niels Bohr, 69622 Villeurbanne

RÉSUMÉ. Nous présentons des résultats d'essais push-out de collage béton-béton par adhésif époxydique, dans les conditions ambiantes ou après vieillissement accéléré. Les résultats montrent l'influence des différents paramètres étudiés, en particulier le type de béton, le type d'adhésif, la longueur de collage ou le type de vieillissement accéléré. Sans vieillissement, le mode de ruine est systématiquement cohésif dans le béton. De plus, la contrainte de cisaillement moyenne à rupture τ_u augmente avec la résistance du béton mais, dans certaines conditions, varie peu avec la longueur de collage ou la hauteur libre. Le vieillissement accéléré, quel que soit son protocole, modifie systématiquement le mode de ruine qui devient mixte : adhésif et cohésif dans la colle. Les chutes de performances enregistrées varient en fonction du protocole et des substrats. Par exemple, les cycles gel / dégel semblent les moins agressifs pour la connexion alors que les chutes de τ_u sont les plus importantes pour les températures élevées : ceci est en lien direct avec la Tg de l'adhésif.

ABSTRACT. Concrete-to-concrete bonding push-out test results are presented. Specimens have been stored either under ambient conditions or have been subjected to accelerated ageing. The results show the influence of several parameters such as the concrete properties, the nature of the resin, the bonding length or the ageing characteristics. Without any accelerated ageing, the failure mode is cohesive in concrete. The ultimate average shear stress increases as the strength of concrete increases but does not vary significantly with the bonding length or the free height in the specimen. The tests results show that, because of accelerated ageing, the failure mode becomes adhesive or cohesive in the resin, whatever the conditions of ageing, but the decrease in the shear strength depends on the type of ageing: freezing cycles are less harmful than a temperature close or greater than the glass transition temperature of the resin.

MOTS-CLÉS : Collage, Béton, Essais push-out, Vieillissement accéléré, Durabilité.

KEY WORDS: Bonding Connection, Concrete, Push-Out Tests, Accelerated ageing, Durability

1. Introduction

Du fait des progrès importants ces dernières années dans leur formulation et dans leur fabrication, les adhésifs sont de plus en plus utilisés dans l'industrie et en particulier dans le domaine du Bâtiment et des Travaux Publics, à des fins structurales ou pas. Dans tous les cas, ce mode de connexion a besoin d'être caractérisé sur le plan expérimental afin d'en connaître les limites d'utilisation.

Dans cet article, nous nous intéressons au collage béton-béton par adhésif époxydique qui pourrait être utilisé dans le domaine de la préfabrication d'éléments neufs ou dans la réhabilitation et constituer une voie d'accroissement de productivité et de réduction d'impact environnemental. L'étude présentée porte sur la caractérisation par essais push-out, dans les conditions ambiantes ou après vieillissement accéléré. Ce type d'essais est préféré aux autres essais possibles pour sa simplicité de mise en œuvre [SAL 13, AFG 11, TOU 14].

Dans la première partie de l'article, nous décrivons les matériaux utilisés, les corps d'épreuve, la méthodologie de fabrication et les différents protocoles de vieillissement. Dans une deuxième partie, nous présentons et discutons les principaux résultats d'essais obtenus en termes de mode de ruine et de contrainte de cisaillement moyenne à rupture τ_u . Ces résultats montrent l'influence des différents paramètres étudiés, en particulier le type de béton, le type d'adhésif, la longueur de collage ou le type de vieillissement accéléré.

2. Présentation de la campagne d'essais

2.1. Organisation des essais et géométrie des corps d'épreuve

La campagne comprend 22 séries d'essais avec au moins 5 corps d'épreuve identiques par série. Une partie des séries d'essais a fait l'objet de vieillissement accéléré (séries vieilles), l'autre pas (séries non vieilles). Pour la caractérisation des matériaux, chaque série est accompagnée d'éprouvettes en béton et, pour certaines séries, des éprouvettes d'adhésif sont confectionnées en complément. L'ensemble des essais est présenté dans le tableau 2.

Pour chaque série sauf la série 44, chaque corps d'épreuve est constitué de 3 prismes en béton assemblés par collage, de section transversale $7 \times 7 \text{ cm}^2$ et de longueur variant entre 14 et 28 cm selon les séries (figure 1). En l'absence de norme, la géométrie est inspirée des essais push-out dans le cas de la connexion acier-béton [EUR 05] et adaptée de telle sorte à avoir un volume de prisme en béton suffisant pour être représentatif et compatible avec la dimension du plus gros granulats (ici environ 10 mm). De plus, la hauteur libre (voir figure 1) a été choisie inférieure à 50 mm conformément aux résultats de [MEA 12] de telle sorte à limiter les effets parasites dus au frottement entre les prismes en béton et le plateau de la presse. Les prismes ont été obtenus par bétonnage dans des moules métalliques standards $7 \times 7 \times 28 \text{ cm}^3$ puis découpés selon les besoins. Cette méthode permet de limiter les défauts de rectitude entre les faces collées et les faces d'appui.

Dans le cas de la série 44, aucun collage n'est utilisé et chaque éprouvette est bétonnée en une seule fois (dans des moules fabriqués spécialement) de telle sorte que sa géométrie soit la même que celle des éprouvettes collées de la série 42 (voir figure 1).

2.2. Matériaux constitutifs, traitements de surface et fabrication des corps d'épreuve

Dans cette campagne, trois bétons différents ont été utilisés : un béton ordinaire prémix de type C25/30 (béton C1), un béton de hautes performances (béton C4) et un béton fibré (béton C3). De même, deux adhésifs époxydiques structuraux du commerce ont été testés : un adhésif avec solvant (adhésif T1) et un adhésif sans solvant (adhésif T2) au comportement mécanique semblable à celui de T1 mais plus intéressant sur le plan écologique. Les températures de transition vitreuse sont annoncées dans les fiches techniques de ces produits comme étant supérieures à 40°C mais ne sont pas précisées.

Le traitement de surface du béton est un sablage sous eau, préconisé dans le cas des structures en béton utilisant le collage [AFG 11, MIK 10]. Chaque prisme est ensuite soigneusement séché et dépoussiéré.

La fabrication des corps d'épreuve collés se fait en 2 étapes principales : collage des deux premiers prismes au moins 2 semaines après le bétonnage suivi, 24 h après au moins, du collage du troisième prisme. Dans les deux étapes, on procède par double encollage et une pression de collage est obtenue au moyen de serre-joints. Les essais sont réalisés plusieurs semaines après le dernier collage.

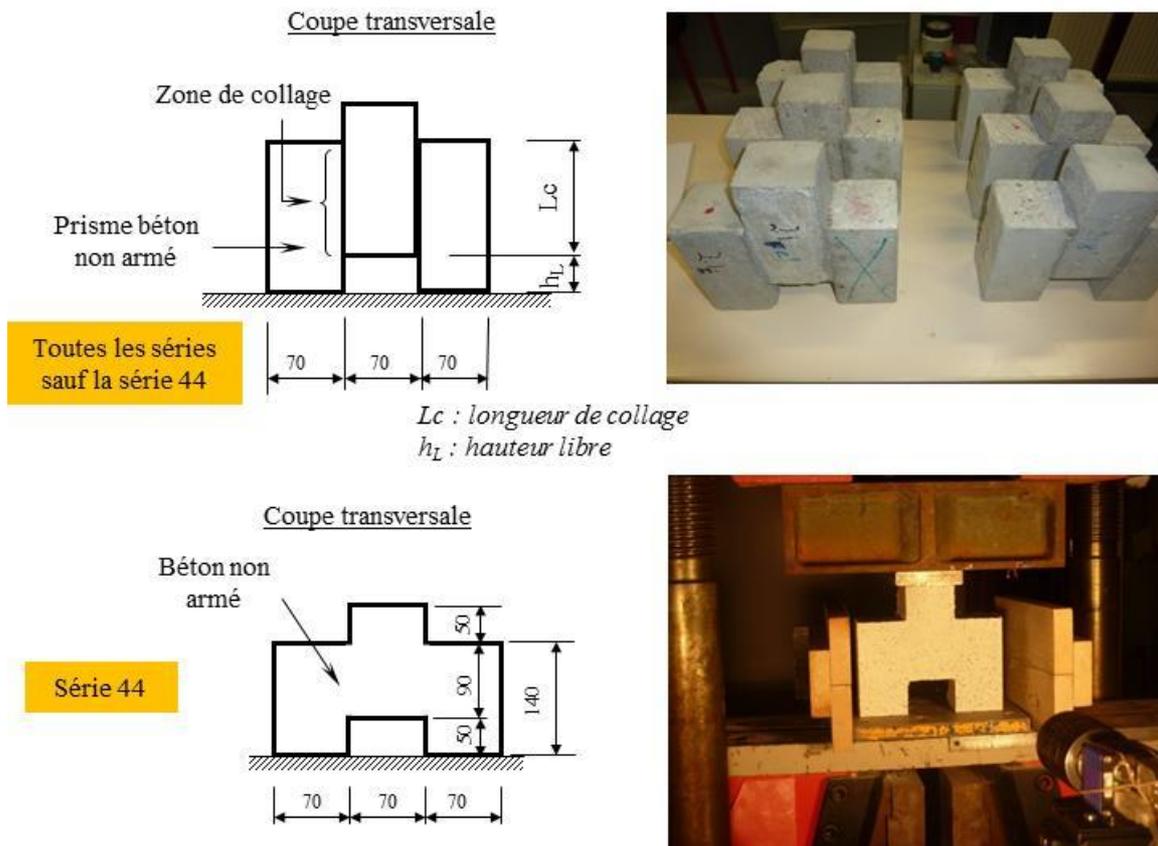


Figure 1. Géométrie des corps d'épreuve push-out

2.3. Protocoles de vieillissement

Les séries non vieilles ont été stockées à l'air ambiant du laboratoire et n'ont donc pas subi de vieillissement particulier autre que le vieillissement naturel des matériaux. Celui-ci peut être considéré comme très faible car, au moment des essais push-out, l'âge des bétons et celui des adhésifs n'excèdent pas 88 et 62 jours respectivement.

Les protocoles de vieillissement des surfaces de béton collées sont nombreux dans la littérature, notamment sur la problématique de la réparation [LAU 10] [CRO 11] [HAB 12]. Si la température et l'humidité sont les principaux facteurs, aucun protocole ne fait réellement l'unanimité. Pour cette étude, quatre protocoles de vieillissement accéléré ont été utilisés :

- protocole P0 : bain thermostatique à 45 ± 2 °C pendant 7 semaines (séries V21v, V31v et V53) ;
- protocole P1 : cycles gel / dégel, -20 ± 2 °C pendant 3 jours puis 4 jours à l'air ambiant - température non mesurée mais estimée à 20°C (série V61v) ;
- protocole P2 : bain thermostatique à 35 ± 2 °C pendant 5 jours puis bain thermostatique à 50 ± 2 °C pendant 1 jour et mise en étuve à 70 ± 2 °C pendant 1 jour (série V62v) ;
- protocole P3 : bain thermostatique à 35 ± 2 °C pendant 4 jours puis gel à -20 ± 2 °C pendant 2 jours et mise en étuve à 70 ± 2 °C pendant 1 jour (série V63v) ;

Les protocoles P1 à P3 durent 5 semaines. Chaque série subissant un vieillissement accéléré est accompagnée d'une série référence réalisée en même temps et stockée à l'air ambiant du laboratoire (séries V21nv, V31nv,..., V63nv) ainsi que d'éprouvettes de béton et d'adhésif ayant subi les mêmes protocoles de vieillissement.

3. Résultats des essais et analyse

3.1. Essais non vieillis

3.1.1. Caractérisation des matériaux

Des essais de caractérisation des matériaux ont d'abord été réalisés : essais de traction sur éprouvettes prismatiques d'adhésif (de section variant entre 40 et 50 mm² selon les éprouvettes), essais de compression sur éprouvettes béton (cubes 100 mm ou cylindres 11 x 22 cm²) et essais de fendage sur éprouvettes béton (cylindres 11 x 22 cm²). Les résultats de ces essais sont synthétisés dans les tableaux n°1 et n°2.

Le comportement des deux adhésifs utilisés est élastique (légèrement non linéaire) jusqu'à rupture. La contrainte moyenne à rupture de l'adhésif sans solvant (T2) atteint 23,1 ± 1,6 MPa contre 15,6 ± 2,0 MPa pour l'adhésif avec solvant (T1) mais cet adhésif « écologique » est beaucoup plus souple : son module élastique tangent est environ 3 fois plus faible que celui de l'adhésif T1.

Par ailleurs, le jour des essais push-out, la résistance des bétons C3 et C4 vaut environ 52 MPa en compression et entre 3,0 et 3,5 MPa en traction. Pour le béton C1, la résistance en compression varie entre 32 et 41 MPa, cette dernière variation ne pouvant être expliquée que par la variation des constituants des sacs pré-mélangés de ce béton plutôt bas de gamme. Sa résistance en traction, mesurée lors d'autres campagnes, varie entre 2,5 et 3,0 MPa [TOU 14].

Adhésif - Protocole	Contrainte moyenne à rupture (MPa)	Module sécant (MPa)
T1 - non vieilli	15,6 ± 2,0	4935 ± 627
T2 - non vieilli	23,1 ± 1,6	1723 ± 203
T1 - P0	11,8 ± 1,3	2996 ± 680
T2 - P0	5,5 ± 1,2	41 ± 1
T1 - P1	15,2 ± 3,2	5267 ± 686
T1 - P2	12,4 ± 2,7	3589 ± 682
T1 - P3	14,0 ± 2,4	3957 ± 631

Le module sécant est le rapport entre la contrainte à rupture et la déformation à rupture

Tableau 1. Bilan des essais sur adhésif

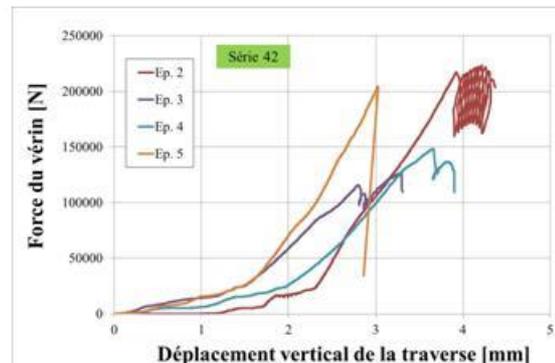


Figure 2. Exemple d'essais de traction d'adhésif

3.1.2. Essais push-out

Les essais push-out sont pilotés en déplacement avec une vitesse de déplacement de la traverse de 2 mm / mn. Lors des essais, seuls la force appliquée et le déplacement de la traverse sont enregistrés. La charge augmente de façon monotone croissante jusqu'à la rupture qui se produit de façon brutale. La figure 2 illustre le comportement observé.

On sait que la contrainte de cisaillement à l'interface n'est pas uniforme mais présente des pics aux extrémités de la zone de collage dont l'amplitude dépend de nombreux paramètres. La contrainte moyenne de cisaillement à rupture τ_u , égale au rapport de la force à rupture et de la surface collée est un indicateur de performance très utilisé. La valeur de cet indicateur et le mode de ruine observé sont synthétisés dans le tableau 2. Sans vieillissement, le comportement observé est élastique jusqu'à la rupture fragile et les faciès de ruine traduisent principalement une rupture cohésive par cisaillement dans le béton à proximité de l'interface collée (figure 3). La contrainte τ_u varie entre 6,4 et 13,9 MPa selon les séries ce qui est largement supérieur à la résistance en traction du béton (mesurée ou estimée) qui est proche de sa résistance en cisaillement. Il est à noter que l'écart-type peut-être assez élevé sur certaines séries.

Les résultats tendent à montrer également l'influence de certains paramètres. En effet, on peut remarquer que τ_u est légèrement plus faible dans le cas de l'adhésif T2 et les écarts-types un peu plus forts. La résistance en traction de T2 étant plus élevée que celle de T1, ces résultats d'essais push-out traduisent principalement une association avec le béton moins efficace liée en partie à la fabrication des corps d'épreuve : T2 étant beaucoup plus fluide que T1, il est moins aisé d'obtenir une épaisseur de collage uniforme.

En tenant compte des écarts-types, on peut dire également que τ_u varie peu avec la hauteur libre h_L et la longueur de collage L_c à condition que ces 2 distances soient inférieures à 50 mm et 120 mm respectivement. Dans le cas où la longueur de collage est importante (pour la série 25 : la longueur de collage vaut 230 mm), τ_u semble diminuer de façon importante : on peut faire l'hypothèse que cette baisse est liée à la réalisation du collage plus difficile dans ce cas et à la présence statistiquement plus grande de défauts.

Par ailleurs, la comparaison des séries 42 et 44 montre que la présence d'un joint d'adhésif ne constitue pas un point de faiblesse (par rapport à une continuité de béton) puisque le mode de ruine est quasiment inchangé et τ_u n'est pas plus faible (figure 3).

Enfin, les résultats concernant le béton C3 ne montrent pas d'apport significatif des fibres sur les performances du collage dans le cas non vieilli ce qui est assez surprenant car on aurait pu s'attendre à une augmentation de τ_u puisque la ruine est cohésive dans le béton et que les fibres sont censées augmenter la résistance en traction (donc en cisaillement) du béton. Toutefois, il est difficile de conclure en l'absence d'essai de traction sur le béton fibré. De plus, notons que l'homogénéité du béton n'était pas parfaite (certaines pelotes de fibres restaient visibles après rupture) et que la formulation de ce béton fibré pourrait donc être améliorée.

Protocole de vieillissement	Série (1)	Adhésif (2)	Type béton (3)	Age du béton au moment des essais [jours]	Hauteur libre [mm]	Longueur collée [mm]	Aire collée (4) [mm ²]	Contrainte de cisaillement moyenne à rupture des push-out [MPa]		f_c béton [MPa]	f_t béton [MPa]
								Moyenne	Mode de ruine		
Non vieilli	21	T1	C1	73	50	90	12600	10,3 ± 1,7 ₍₅₎	Cohésif béton	37,8 ± 1,1	-
	22	T1	C1	73	20	90	12600	11,8 ± 1,9	Cohésif béton	41,0 ± 2,9	-
	23	T1	C1	73	20	120	16800	10,6 ± 2,0	Cohésif béton	-	-
	24	T1	C1	74	35	90	12600	12,3 ± 1,8	Cohésif béton	40,5 ± 1,7	-
	25	T1	C1	76	50	230	32200	6,4 ± 0,5	Cohésif béton	32,5 ± 0,6	-
	31	T2	C1	74	50	90	12600	9,1 ± 2,5	Cohésif béton	-	-
	32	T2	C1	74	20	90	12600	8,1 ± 2,9	Cohésif béton	32,5 ± 0,7	-
	33	T2	C1	74	20	120	16800	7,5 ± 2,1	Cohésif béton	-	-
	53	T1	C3	75	50	90	12600	9,7 ± 1,5	Adhésif et cohésif béton	52,6 ± 1,6	-
	42	T1	C4	55	50	90	12600	13,9 ± 3,6	Cohésif béton	52,3 ± 0,9	3,5 ± 0,3
44	Sans objet	C4	55	50	Sans objet	Sans objet	11,2 ± 1,6	Cisaillement béton	52,0 ± 0,9	3,5 ± 0,3	
Non vieilli	V21nv	T1	C1	75	50	90	12600	6,9 ± 1,6	Cohésif béton	-	-
P0	V21v	T1	C1	75	50	90	12600	5,3 ± 0,8	Cohésif colle ou béton	33,1 ± 0,3	-
Non vieilli	V31nv	T2	C1	73	50	90	12600	8,6 ± 2,8	Cohésif béton	31,9 ± 0,4	-
P0	V31v	T2	C1	73	50	90	12600	3,6 ± 0,5	Cohésif colle	30,1 ± 0,7	-
P0	V53	T1	C3	75	50	90	12600	9,9 ± 2,4	Adhésif et cohésif colle	63,2 ± 0,4	-
Non vieilli	V61nv	T1	C4	64	50	90	12600	14,5 ± 0,7	Cohésif béton	51,5 ± 3,0	3,1 ± 0,6
P1	V61v	T1	C4	64	50	90	12600	16,6 ± 1,0	Adhésif et cohésif colle	55,2 ± 2,6	3,1 ± 0,9
Non vieilli	V62nv	T1	C4	72	50	90	12600	14,4 ± 3,1	Cohésif béton	44,3 ± 1,4	3,6 ± 1,0
P2	V62v	T1	C4	72	50	90	12600	6,5 ± 1,8	Cohésif colle	59,3 ± 2,2	5,1 ± 0,4
Non vieilli	V63nv	T1	C4	77	50	90	12600	13,0 ± 1,9	Cohésif béton	53,6 ± 1,7	3,3 ± 0,3
P3	V63v	T1	C4	77	50	90	12600	11,2 ± 1,9	Adhésif et cohésif colle	72,6 ± 1,3	4,1 ± 0,5

(1) Série xx=série non vieillie – Série Vxxv=série vieillie – Série Vxxnv=série non vieillie réalisée en même temps que la série Vxxv

(2) T1=Epoxy avec solvant ; T2=Epoxy sans solvant

(3) C1=béton prémix type C25/30 ; C3=béton fibré ; C4=béton HP

(4) Toutes les éprouvettes présentent une largeur collée de 70 mm

(5) La contrainte a été calculée sans tenir compte de deux valeurs anormalement basses (avec ces deux valeurs, elle vaut 8,2 ± 3,4 MPa)

Tableau 2. Résultats des essais push-out



Mode de ruine cohésif dans le béton
(série 21 par exemple)



Mode de ruine : cisaillement du béton
(série 44)

Figure 3. Faciès de ruine sans vieillissement

3.2. Essais après vieillissement accélérés

3.2.1. Caractérisation des matériaux

Les essais de caractérisation des matériaux ayant subi les mêmes protocoles de vieillissement ont été effectués dans les mêmes conditions que dans le cas non vieilli. Les résultats de ces essais sont synthétisés dans les tableaux n°1 et n°2. Les effets des vieillissements accélérés diffèrent selon les protocoles et les matériaux.

L'adhésif T1 ne présente aucune chute de performance significative dans le cas du gel-dégel (P1). Dans les autres cas (où le vieillissement comprend une mise en température proche ou supérieure à la température de transition vitreuse T_g), une chute de performances mécaniques est enregistrée : elle varie entre 10 et 25 % pour la résistance et entre 20 et 39 % pour le module élastique. Il semble que la durée d'exposition ait plus d'effet que la valeur de la température. On peut toutefois se demander si la présence d'eau, indépendamment de la température, a un effet significatif sur les propriétés du collage.

Dans le cas de l'adhésif T2 (qui n'a subi que P0), les performances mécaniques s'effondrent. Nous n'avons à ce jour aucune explication pour cette chute, mais compte tenu des résultats, on peut supposer que la valeur de la T_g de T2 (non connue à ce jour) est certainement à l'origine de ce comportement.

Pour le béton, on observe que les résistances baissent légèrement pour P0 / C1 (moins de 10 %), augmentent pour P0 / C3 (environ 21 %), augmentent légèrement pour P1 / C4 (environ 8 %) et de façon plus marquée pour P2 / C4 et P3 / C4 (environ 25 %). L'augmentation des performances mécaniques avec la température enregistrées étant attendue (effet de cure), la légère chute pour P0 / C1 est quelque peu surprenante et contradictoire avec les autres observations. Aucune explication ne peut être avancée. Les cycles gel – dégel n'ont en revanche pas d'effet néfaste.

3.2.2. Essais push-out

Les essais sont conduits de façon identique à ceux décrits en 3.1.2. On observe que les protocoles de vieillissement accéléré induisent un comportement analogue aux cas non vieilli (voir figure 2) mais modifient les faciès / modes de ruine et les performances mécaniques mais ces modifications dépendent du protocole.

Dans le cas de P0 (7 semaines à 45 °C), en comparant V21nv/V21v, V31nv/V31v et 53/V53, on constate que le vieillissement imposé modifie systématiquement le mode de ruine et ce, quels que soient l'adhésif ou le type de béton (figure 4) : il passe d'un mode cohésif dans le béton à mode mixte adhésif / cohésif dans la colle pour l'époxy avec solvant (T1) et à un mode cohésif dans la colle pour l'époxy sans solvant (T2). Pour C1, les τ_u sont réduites à peu près dans les mêmes proportions que celles observées lors des essais de traction sur adhésif : la chute des performances des adhésifs est donc la cause principale des chutes de performances du collage dans les essais push-out. Pour le béton fibré (C4), on n'observe pas de diminution : on peut faire l'hypothèse que l'augmentation des performances du béton vieilli compense la perte de résistance de l'adhésif vieilli. Cette assertion devra être vérifiée expérimentalement.



Mode de ruine cohésif dans la colle
(série V21)



Mode de ruine mixte adhésif et cohésif dans la colle
(série V63v)

Figure 4. Faciès de ruine après vieillissement

Dans le cas de P1 (cycles gel – dégel), la série V61v présente un comportement semblable à V61nv. Toutefois, les faciès de ruine sont sensiblement différents : dans le cas de V61v, on observe essentiellement des zones de rupture adhésive et des zones de rupture cohésive dans la colle. La contrainte moyenne de cisaillement à rupture est de 16,6 MPa soit environ 15 % de plus que la référence V61nv. Cette petite amélioration est donc principalement due à la légère augmentation des performances du béton.

Dans le cas de P2 (5 j. à 35 °C, 1 j. à 50 °C et 1 j. à 70 °C), la série V62v présente également un comportement semblable en allure à V62nv. Toutefois, les faciès de ruine sont très différents : dans le cas de V62v, on observe une rupture principalement cohésive dans la colle et la contrainte moyenne de cisaillement à rupture est de 6.5 MPa soit 45 % de moins que V62nv. Comme les cycles de vieillissement imposés induisent une augmentation des performances du béton, on peut donc conclure que c'est principalement la diminution des propriétés de l'adhésif (et probablement de son adhérence sur le béton) qui explique la chute de performances lors des essais push-out. Il serait intéressant de savoir si c'est la température de 70 °C qui est pénalisante ou si la température de 50°C seule aurait conduit aux mêmes effets. Dans le premier cas, on peut se demander si 70°C n'est pas trop sévère pour le vieillissement accéléré et donc pas représentatif de la réalité. Dans le deuxième cas, une température de 50 °C ponctuellement atteinte étant tout à fait envisageable pour un ouvrage en service, une amélioration doit être trouvée : modification de l'adhésif ou protection du collage par exemple.

Dans le cas de P3 (4 j. à 35 °C, 2 j. à -20 °C et 1 j. à 70 °C), la série V63v présente un comportement semblable à la série V63nv mais, là encore, la contrainte moyenne à rupture est de 11,2 MPa soit 16 % plus faible (l'écart est donc nettement plus faible que dans le cas de la série V62) et le mode de ruine devient un mode mixte cohésif dans la colle et adhésif (figure 4). Les caractéristiques du béton vieilli sont ici aussi nettement plus élevées que celles du béton non vieilli, la résistance en traction de l'adhésif vieilli est un peu plus faible que celle de l'adhésif non vieilli (l'écart n'est ici que de 8 %). Ainsi, ce mode de vieillissement est moins pénalisant que le protocole 2 probablement parce que le gel n'est pas sévère pour le collage (conclusion du protocole 1) et que la durée pendant laquelle on dépasse la Tg est 2 fois moins longue.

4. Conclusions

Cette étude présente les performances mécaniques du collage béton-béton obtenus par essais push-out dans différentes conditions. Elle a permis de montrer par exemple que la contrainte moyenne de cisaillement à rupture est nettement supérieure à la résistance en traction du béton. Cette étude confirme également que les résultats sont assez sensibles à la réalisation des corps d'épreuve (traitement de surface, défaut de rectitude ou aire collée). Enfin, le vieillissement accéléré semble être plus néfaste dans le cas de cycles de température proches ou supérieurs à la Tg que dans le cas de cycles gel-dégel mais ces résultats devront être confirmés pour des durées d'exposition supérieures.

5. Bibliographie

- [AFG 11] *Association Française de Génie Civil, Réparation et renforcement des structures en béton au moyen des matériaux composites*, Paris, 2011.
- [CRO 11] CROMWELL J.R., HARRIES K.A., SHAHROOZ B.M., « Environmental durability of externally bonded FRP materials intended for repair of concrete structures », *Construction and Building Materials*, 25 (2011) p. 2528-2539
- [EUR 05] *Eurocode 4, Calculation of the steel-concrete composite structures and National Application Document, part 1: general rules and buildings rules*, 2005.
- [HAB 12] HABER Z.B., MACKIE K.R., Zhao L., « Mechanical and environmental loading of concrete beams strengthened with epoxy and polyurethane matrix carbon fiber laminates », *Construction and Building Materials*, 26 (2012) p. 604-612.
- [LAU 10] LAU D., BUYUKOZTURK O., « Fracture characterization of concrete/epoxy interface affected by moisture », *Mechanics of Materials*, 42 (2010) 1031-1042.
- [MEA 12] MEAUD C., *Analyse multi-échelle des connexions par collage - Application aux éléments structuraux multi-matériaux fléchis*, Thèse de doctorat, Université Lyon 1, 2012.
- [MIK 10] *PROJET NATIONAL MIKTI., «Ponts Mixtes Acier - Béton – Un guide pour des ouvrages innovants»*, Presses des Ponts, 2010.
- [SAL 13] SALDANHA R., JULIO E., DIA-DA-COSTA D., SANTOS P., « A modified slant shear test designed to enforce adhesive failure », *Construction and Building Materials*, vol. 41, n° 2013, p. 673-680.
- [TOU 14] TOUT F., *Etude expérimentale des éléments structuraux multi-matériaux collés sollicités en flexion - Effet de fluage, fatigue et durabilité*, Thèse de doctorat, Université Lyon 1, 2014.