

Aptitude des colles au polyuréthane et à un composant à la construction de structures portantes en bois au vu de dix ans d'expérience

Borimir Radovic, Claus Rothkopf

Présentée par

Purbond AG

6203 Sempach-Station
Switzerland
Tel. +41 (0)41 469 6860
Fax +41 (0)41 469 6870

www.purbond.com

Purbond Inc.

P.O. Box 8039
Tacoma
Washington 98418
USA
Tel. +1 800 585 6390
Fax +1 866 585 7122

Purbond

Lot 8 Jalan Tukul 16/5
40000 Shah Alam
Selangor Malaysia
Tel. +603 5519 1105
Fax +603 5510 9718

Aptitude des colles au polyuréthane et à un composant à la construction de structures portantes en bois au vu de dix ans d'expérience

Borimir Radovic, Claus Rothkopf *)

1. Généralités

Les premières applications, pour la plupart expérimentales, de colles polyuréthane à un composant et dont la réticulation survient en milieu humide, dans la fabrication de structures portantes en bois datent du début des années soixante-dix et eurent lieu en Suisse. Durant la décennie suivante, le marché, en Allemagne, s'y intéressa également de plus en plus. L'intérêt de ces colles, est qu'elles fournissent des joints peu visibles compte tenu de leur propre couleur, qu'elles sont exemptes de formaldéhyde et que, monocomposant, elles ne nécessitent aucun mélange dans les ateliers d'assemblage du bois.

Par la suite, les fabricants suisses et allemands se sont intéressés à la vérification de l'aptitude desdites colles. Et l'Institut Otto Graf, le seul habilité à cette tâche en Allemagne, se vit confier en 1988 le premier examen de fiabilité des colles polyuréthane à un composant dans l'assemblage de structures portantes en bois.

Les applications initiales de ces colles en Suisse, tout comme les premiers tests effectués par l'Institut Otto Graf, s'avèrent insuffisants pour corroborer les résultats obtenus. Des essais plus approfondis apparurent alors indispensables.

2. Examen des premières colles polyuréthane à un composant

2.1 Tests de courte durée

L'examen des deux premières colles en question (appelées ci-après colles 1 et 2) quant à leur aptitude à la construction de charpentes en bois se fit en vertu de la norme jadis applicable aux colles de polycondensation pour structures portantes en bois (DIN 68 141:1969-10). Parallèlement, des tests de courte durée furent entrepris dans le but de juger des propriétés suivantes:

- influence de l'épaisseur des joints, du temps d'attente et des conditions thermo-hygrométriques sur la solidité des colles
- résistance des colles à la traction et au cisaillement pour différentes épaisseurs de joint à températures élevées et basses
- résistance au décollement interlaminaire.

*) Borimir Radovic. Ingénieur responsable de la section bois, matériaux à base de bois, constructions en bois et protection du bois à l'Institut Otto Graf de l'université de Stuttgart (FMFA).
Claus Rothkopf. Ingénieur responsable de l'examen des colles pour structures portantes en bois à la même adresse.

Une description détaillée des tests de courte durée réalisés et de leurs résultats parut dans la revue "Bauen mit Holz" 1/94.

2.2 Examen du comportement durable des colles sous une charge constante

Vu la connaissance insuffisante de ce comportement, il était également nécessaire de procéder à des tests en conséquence, décrits ci-après.

2.2.1 Résistance à la traction transversale d'échantillons en hêtre collé, soumis à une charge constante et à des conditions thermo-hygrométriques variables pendant différentes durées

Conformément à la norme DIN 68 141:1969-10, alinéa 2.5, des échantillons de hêtre collé ont été déposés dans une serre, conçue à cet effet sur un toit plat, dont toutes les faces excepté le sol étaient en verre transparent, pendant une durée variable de trois ans au maximum, soumis à une charge constante correspondant à une traction transversale de 1 N/mm². Dix des échantillons furent retirés de la serre après une durée d'exposition de 3 (colle 1 uniquement), 6, 12 et 36 mois, puis, acclimatés aux conditions normales de 20° C et 65% d'humidité relative, soumis à une traction transversale croissante jusqu'à rupture. Une description détaillée des tests d'une durée de 3, 6 et 12 mois, ainsi que des résultats obtenus, a été publiée dans la revue "Bauen mit Holz" 1/94. Les résultats de tous les tests, d'une durée maximale de trois ans et eux aussi à charge constante, sont réunis dans le tableau 1. Ce dernier comprend par ailleurs les résultats obtenus avec des échantillons de hêtre massif (sans colle) déposés antérieurement dans la serre pour connaître l'effet de la durée, de conditions thermo-hygrométriques variables et d'une charge constante sur leur résistance à la traction transversale.

Le relevé des conditions régnant à l'intérieur de la serre fait état d'une température minimale d'environ -10° C, d'une température maximale d'environ 45° C ainsi que d'une humidité relative de l'air oscillant entre 20 et 100% environ. Les écarts journaliers maximaux comportaient 30° C et 70% d'humidité relative.

Comme le montre le tableau 1, la résistance à la traction transversale des échantillons massifs (sans colle) baisse rapidement dans le temps. D'où l'explication principale de la

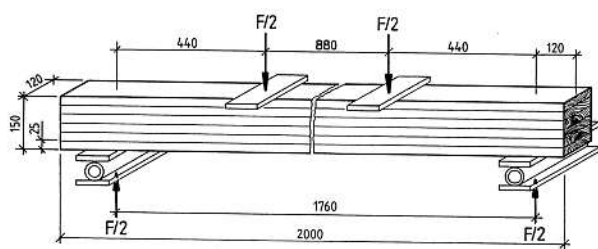


Illustration 1: disposition schématique d'une poutre dont on examine le comportement à la flexion

chute de la résistance à cette traction dans les échantillons collés également et du pourcentage de rupture élevé dans le bois. La perte de résistance en question pour les échantillons assemblés respectivement avec les deux colles examinées est même inférieure à celle mesurée pour les échantillons massifs. Il faut cependant préciser à cet égard que le hêtre ayant fourni les échantillons tant collés que sans colle provient de troncs distincts et que, par conséquent, la différence entre les valeurs obtenues est très probablement due à la fluctuation naturelle des spécifications du bois.

2.2.2 Essais de flexion d'une durée de dix ans sur des poutres en bois lamellé collé soumises à une charge constante

Ces essais ont nécessité la fabrication de six poutres au total: deux avec la colle 1, deux avec la colle 2 et deux avec une colle PRF agréée pour l'assemblage de structures portantes. Ces poutres ont ensuite été soumises à une charge constante de 2800 kg et entreposées dans un hangar latéralement ouvert.

L'illustration 1 montre la disposition schématique d'une poutre sollicitée par quatre points (F/2), l'illustration 2 un banc d'essai avec une poutre soumise à une charge constante. La disposition des poutres correspond à une force de flexion maximale d'environ 14 N/mm² et à une poussée maximale d'environ 1,2 N/mm², soit aux valeurs prescrites par la norme DIN 1052 pour bois lamellé collé de la classe de solidité BS 14. A partir du moment où les échantillons sont soumis à la charge, l'augmentation de leur flexion est mesurée à intervalles réguliers.

Les numéros 1/94 et 2/97 de la revue "Bauen mit Holz" publient un compte rendu de ces essais et de leurs résultats relatifs aux trois premières années. Aujourd'hui, nous connaissons les résultats de dix ans d'essais ininterrompus que nous résumons ci-après.

Selon le relevé des conditions thermo-hygrométriques auxquelles les échantillons étaient exposés sur les bancs d'essai, la température, dans les hangars latéralement ouverts, variait entre -11 et 32° C selon les jours et saisons. L'humidité relative de l'air, quant à elle, oscillait entre 15 et près de 100%. L'humidité mesurée au milieu de la longueur d'une poutre en lamellé collé de 1,5 m de long et de même section que les échantillons, exposée dix ans aux mêmes conditions thermo-hygrométriques, suit la courbe reproduite dans le diagramme 1.

Les flexions initiales f_0 et ultérieures f_t mesurées au moment t ont permis de déterminer l'évolution du rapport f_t/f_0 des poutres. Les valeurs correspondantes montrent l'accroissement de la flexion avec le temps, c'est-à-dire le fluage des poutres.

Type of storage before the test	Transverse tensile test specimens with adhesive 1				Residual strength in %, relative to unloaded test	Transverse tensile test specimens with adhesive 2				Residual strength in %, relative to unloaded test	Transverse tensile test specimens without adhesive joint		
	Transverse tensile strength		Failure type ¹⁾			Transverse tensile strength		Failure type ¹⁾			Transverse tensile strength		Residual strength in %, relative to unloaded test
	Range N/mm ²	Mean N/mm ²	H %	F %		Range N/mm ²	Mean N/mm ²	H %	F %		Range N/mm ²	Mean N/mm ²	
5 weeks unloaded in standard climate 20/65	7.16 ... 11.24	10.08	62	38/39	100	6.38 ... 8.54	7.60	75	25/74	100	8.28 ... 11.12	9.42	100
3 months in glass house with 1.0 N/mm ² permanent load	8.30 ... 11.56	9.96	85	15/67	98.8	-	-	-	-	-	-	-	-
6 months in glass house with 1.0 N/mm ² permanent load	8.36 ... 9.87	9.12	89	11/41	90.5	6.08 ... 8.22	6.95	77	23/81	91.4	-	-	-
1 year in glass house with 1.0 N/mm ² permanent load	8.51 ... 10.64	9.59	92	8/13	95.1	5.25 ... 8.12	6.41	92	8/75	84.3	3.64 ... 8.24	6.28	66.7
3 years in glass house with 1.0 N/mm ² permanent load	6.82 ... 8.42	7.75	93	7/36	76.9	3.22 ... 5.84	4.70	86	14/92	61.8	3.27 ... 5.44	4.67	49.6

Tableau 1: résultats des tests de traction transversale sur échantillons de hêtre soumis à une charge constante

1) H = rupture dans le bois. F = rupture dans le joint de colle, avec — à droite de la barre — proportion de ruptures (en %) entamant le bois

Diagramme 1: évolution de l'humidité intrinsèque d'une poutre comparative pendant tout la durée des essais.

de la déformation finale de bois lamellé collé homologué pour la classe d'utilisation 2 et soumis à une charge constante, un facteur de correction de la déformation $k_{d\acute{e}f}$ de 0,8. Or cinq des six poutres examinées, chargées durant dix ans, répondent amplement à ce critère; la sixième, pourvue de la colle 1, avec un $k_{d\acute{e}f}$ de 0,82, dépassant à peine la valeur maximale envisagée.

Les flexions mesurées ont également permis de déterminer, pour les six poutres, la progression annuelle de la flexion en % de l'augmentation de cette dernière en dix ans. Voir tableau 3.

Le diagramme 2 révèle à vrai dire une flexion à peine supérieure, de même que, par rapport aux intempéries, une oscillation un peu plus marquée de la flexion des échantillons dotés de la colle 1. Pourtant, durant les trois dernières années sur lesquelles les essais portèrent, l'accroissement de la flexion a presque été stoppé pour l'ensemble des poutres examinées (voir tableau 3).

Illustration 2: banc d'essai avec poutre sollicitée par une charge constante de 2800 kg.

Dans le tableau 2 figure le rapport f_t/f_0 de chaque poutre selon la durée des essais. A partir du rapport f_t/f_0 , on a calculé, toujours pour chaque poutre, le facteur de correction de la déformation $k_{d\acute{e}f}$ qui équivaut à $f_t/f_0 - 1$. L'évolution de ce facteur au cours des dix années considérées apparaît dans le diagramme 2.

Comme on le constate dans le diagramme 2 au terme des essais portant sur dix ans, le facteur de correction de la déformation $k_{d\acute{e}f}$ s'élève à 0,82 et 0,70 pour les poutres avec colle 1, à 0,56 et 0,54 pour les poutres avec colle 2 ainsi qu'à 0,64 et 0,56 pour les poutres avec colle PRF.

Le projet de la nouvelle norme DIN 1052 prévoit, pour le calcul

Poutre No	1	2	3	4	5	6
Colle utilisée	1	1	2	2	PRF	PRF
Flexion initiale f_0 en mm	4,4	5,0	5,0	4,6	4,6	4,8
$f_{(52 \text{ semaines})}/f_0$	1,52	1,40	1,34	1,37	1,41	1,35
$f_{(104 \text{ semaines})}/f_0$	1,59	1,50	1,40	1,39	1,48	1,46
$f_{(156 \text{ semaines})}/f_0$	1,64	1,52	1,44	1,43	1,52	1,48
$f_{(208 \text{ semaines})}/f_0$	1,68	1,58	1,46	1,48	1,56	1,50
$f_{(262 \text{ semaines})}/f_0$	1,73	1,64	1,50	1,54	1,59	1,52
$f_{(310 \text{ semaines})}/f_0$	1,75	1,68	1,52	1,57	1,61	1,56
$f_{(362 \text{ semaines})}/f_0$	1,80	1,70	1,56	1,59	1,61	1,56
$f_{(415 \text{ semaines})}/f_0$	1,80	1,69	1,55	1,53	1,63	1,56
$f_{(467 \text{ semaines})}/f_0$	1,81	1,71	1,55	1,54	1,64	1,56
$f_{(523 \text{ semaines})}/f_0$	1,82	1,70	1,56	1,54	1,64	1,56

Tableau 2: rapport f_t/f_0 selon la durée des essais.

Diagramme 2: évolution dans le temps du facteur de correction de la déformation $k_{d\acute{e}f}$

Poutre N°	Colle	Accroissement annuel de la flexion, en % de celui enregistré en dix ans									
		1 ^{ère} année	2 ^e année	3 ^e année	4 ^e année	5 ^e année	6 ^e année	7 ^e année	8 ^e année	9 ^e année	10 ^e année
1	1	63,9	8,3	5,6	5,6	5,6	2,8	5,6	0	1,4	1,4
2	1	57,1	14,3	2,9	8,6	8,6	5,7	2,9	-1,4	2,9	-1,4
3	2	60,7	10,7	7,1	3,6	7,1	3,6	7,1	-1,8	0	1,8
4	2	68,0	4,0	8,0	8,0	12,0	4,0	4,0	-10,0	2,0	0,0
5	PRF	64,4	10,2	6,8	6,8	3,4	3,4	0	3,4	1,7	0
6	PRF	63	18,5	3,7	3,7	3,7	7,4	0	0	0	0

Tableau 3: accroissement annuel de la flexion des poutres, en % de celui enregistré en dix ans.

3. Application industrielle de colles polyuréthane à un composant dans la fabrication allemande de structures portantes en bois

Entre-temps, d'autres colles polyuréthane à un composant ont été agréées pour la production de charpentes en bois lamellé collé. Et la proportion de ces colles a sensiblement augmenté dans ce domaine en Allemagne.

Le nombre de colles agréées dans la fabrication allemande de structures portantes en bois apparaît au tableau 4 (état 22.1.03). Il s'agit de 80 produits: 46 colles PRF, 13 à base de résine de mélamine, 9 d'origine urique, 9 au polyuréthane à un composant et 3 (une à base de mélamine, deux d'EPI) pour des applications spéciales. On remarquera que quelques colles PRF ne sont actuellement pas commercialisées, sinon en quantités relativement faibles.

Le tableau 5 indique, pour l'ensemble des 170 entreprises autorisées à fabriquer des structures portantes en bois collé, la répartition des colles selon leurs applications. Les chiffres fournis reposent sur les données en possession de l'Institut Otto Graf en janvier 2003. On y trouve les nombres et types de colles utilisées pour les aboutages à dents et les assemblages superficiels.

Applications	Bois lamellé collé selon homologation A		Bois lamellé collé selon homologation B		Poutres Duo ou Trio selon Z-9, 1-440		Bois massif abouté selon DIN 68 140-1	Divers		
	Nombre d'entreprises ¹⁾	81	35	24	52	21				
Application	Aboutage à dents	Aboutage superficiel	Aboutage à dents	Aboutage superficiel	Aboutage à dents	Aboutage superficiel	Aboutage à dents	Aboutage à dents	Aboutage superficiel	
Nombre de colles utilisées ²⁾	PRF	6	42	2	7	0	1	2	6	2
	MUF/MF	72	69	22	18	10	11	22	8	11
	UF	1	18	1	1	0	1	0	1	1
	PUR	10	10	10	13	14	15	32	2	5
total	89	139	35	39	24	28	56	17	19	

1) Certaines entreprises utilisent plusieurs colles: leur nombre est de ce fait supérieur à celui des entreprises effectivement agréées.

2) Selon les données de l'Institut Otto Graf, état janvier 2003.

Type de colle	Résines phénol-récorcine (PRF) ²⁾	Résines de mélamine (MF/MUF) ²⁾	Polyuréthane à un composant (PUR) ^{2),4)}	Résines d'urée (UF) ³⁾	Résines de mélamine ou d'EPI (applications spéciales)	Total
Nombre de colles testées ¹⁾	46	13	9	9	3	80

Tableau 4: nombre de colles homologuées pour la production allemande de structures portantes en bois (état 22.1.03).

1) Certaines résines ont été testées et agréées avec différents durcisseurs ajoutés à différentes doses.

2) Pour applications à l'intérieur et à l'extérieur.

3) Pour applications à l'intérieur.

4) Pour applications de 0,3 mm d'épaisseur maximale.

Comme certaines des entreprises répertoriées emploient différents types de colles et procèdent tant à des aboutages à dents qu'à des assemblages superficiels, le nombre total des entreprises et colles ne correspond pas ici à celui de 170 et 80 indiqué précédemment.

Les chiffres fournis au tableau 5 n'ont aucun rapport avec les quantités de colles utilisées et de structures portantes produites. Ils ne peuvent donc être considérés qu'à titre d'orientation. Néanmoins deux remarques s'imposent. D'une part, le grand nombre de colles PRF testées et approuvées ne correspond plus à la fréquence de leur utilisation. La plupart d'entre elles ont été remplacées ces dernières années par des adhésifs MUF qui, partiellement, depuis peu, moyennant application séparée de la résine et du durcisseur également, débouchent dans les assemblages superficiels. Seuls les fabricants de lamellés collés selon homologation A continuent à utiliser couramment les colles PRF. D'autre part, on remarquera que les colles polyuréthane à un composant sont fréquemment employées dans les aboutages à dents de bois massif et la production de poutres Duo ou Trio, alors que les adhésifs PRF et UF sont pratiquement absents dans ces applications.

Tableau 5: répartition des entreprises aptes à fabriquer des structures portantes en bois collé selon DIN 1052, en fonction des colles et de leurs applications.

4. Conclusions

Les résultats des tests en cours depuis plus de dix ans sur des structures en bois lamellé collé subissant une charge constante montrent que les assemblages obtenus avec les colles polyuréthane à un composant assument à long terme de manière satisfaisante les charges pour lesquelles ils sont conçus. Par ailleurs, ces colles, mises en œuvre conformément aux instructions de leurs fabricants, sont utilisées industriellement depuis près de huit ans en Allemagne: avec succès, sans qu'aucune défaillance n'ait pu leur être imputée.

L'emploi des colles polyuréthane à un composant est conditionné par l'observation de leurs propriétés particulières, surtout en ce qui concerne leur comportement au chauffage et leur réactivité à l'humidité. Il faut également savoir que leurs propriétés peuvent varier fortement d'un produit à l'autre. Cela explique par exemple

que, à cause des exigences liées à son utilisation, une des colles polyuréthane à un composant examinées à l'Institut Otto Graf n'ait pas percé dans la pratique en dépit des résultats probants des tests effectués. En Allemagne, les colles polyuréthane à un composant testées pour la fabrication de structures portantes en bois ne peuvent être homologuées que pour des joints d'une épaisseur maximale de 0,3 mm.

Depuis quelques années, ces colles sont aussi employées aux mêmes fins dans d'autres pays d'Europe. Au vu des expériences accumulées, une norme EN définissant la méthode de test et d'homologation des dites colles est maintenant en cours d'élaboration. On peut s'attendre à ce que cette nouvelle norme soit plus complète que la norme DIN EN 301/302 concernant les résines phénoplastes et aminoplastes, ainsi que, certainement, à ce que l'on continue à examiner le comportement des colles polyuréthane à un composant dans le temps.

Purbond AG

6203 Sempach-Station
Switzerland
Tel. +41 (0)41 469 6860
Fax +41 (0)41 469 6870

www.purbond.com

Purbond Inc.

P.O. Box 8039
Tacoma
Washington 98418
USA
Tel. +1 800 585 6390
Fax +1 866 585 7122

Purbond

Lot 8 Jalan Tukul 16/5
40000 Shah Alam
Selangor Malaysia
Tel. +603 5519 1105
Fax +603 5510 9718