

# LES COLLES THERMOFUSIBLES

*Ce travail fait suite au rendu effectué par Méline Tournay et Clément Vary...  
Diffusion du document autorisée*

Les colles thermofusibles sont des colles qui sont déposées à chaud (état fondu) et qui réalisent une adhérence au refroidissement par adhésion mécanique. Elles sont utilisées aujourd'hui dans de nombreux domaines mais particulièrement dans l'industrie de l'emballage et l'assemblage de pièces plastiques. Leur prise rapide ainsi que leur facilité d'application permettent d'augmenter les cadences de production de certaines pièces. Cependant, dû à leur faible résistance à la chaleur, au fluage et à la traction, elles ne peuvent en aucun cas remplacer des colles plus techniques comme les époxy ou les polyuréthane dans des applications avec de plus fortes contraintes mécaniques et thermiques.

## L'HISTOIRE

Dans l'Égypte antique, les Hommes utilisaient la cire d'abeille afin de coller les bandelettes entourant les momies et pour sceller les cercueils : c'était la première utilisation d'un adhésif thermofusible.[1] Depuis, ces colles ont bien évidemment évolué, mais le principe est toujours utilisé par l'Homme et leur utilisation a connu un véritable essor ces dernières décennies.

Qu'est-ce qu'une colle thermofusible ?

C'est un matériau thermoplastique, et cette famille d'adhésif à part entière a un fonctionnement commun à prise physique (aucune réaction chimique). Elles appartiennent donc à la famille des *adhésifs à mise en œuvre physique solide*. Cette colle, entièrement solide à température ambiante, est déposée à l'état liquide (fondue) et l'adhérence à la surface se réalise une fois le refroidissement effectué. Les phénomènes de fusion et solidification sont donc très importants pour ces colles, cela explique leurs noms de thermofusibles, hot-melt en anglais.[1][2][3]



<https://www.istockphoto.com/fr/photo/canon-chaud-de-colle-de-fonde-sur-un-fond-noir>

On peut différencier deux catégories de thermofusibles : [1][4][5]

- **Les temporaires** : adhésifs qu'une seule fois (au moment du collage). Utilisés le plus souvent pour le montage, démontage, usinage.
- **Les permanents** : ils conservent leur caractère adhésif même après leur application, ce sont des adhésifs sensibles à la pression (aussi appelés auto-adhésifs). Les collages se font en appliquant de la pression sur la couche d'adhésif (plus la pression est forte, meilleure est l'adhésion).

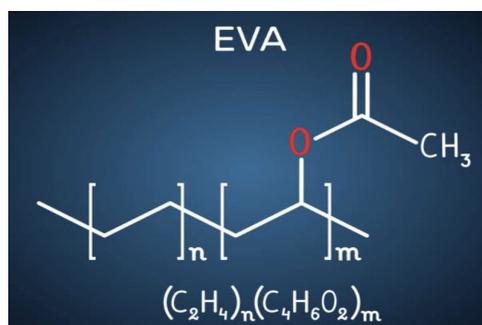
## LA CHIMIE ET LES CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES

### Composition

Les colles thermofusibles sont généralement composées de 3 « grands » composants : [1][3][6][7]

- **Le polymère** : Thermoplastique, c'est l'élément de base car c'est lui qui va donner les caractéristiques principales à la colle finale (viscosité, résistance à la température, cohésion...). Les polymères utilisables sont divers et variés. Le choix du polymère dépend de certains facteurs mais il est principalement dépendant des matériaux que l'on souhaite faire adhérer. En effet, le plus souvent, l'EVA (copolymère éthylène - acétate de vinyle) est utilisé, mais dans certaines colles des polyamides, polyuréthanes ou des époxydes peuvent être utilisés pour leurs caractéristiques différentes. C'est en partie ce choix qui permettra d'obtenir une colle temporaire ou permanente. L'EVA s'est imposé de par sa cohésion, sa ténacité et sa souplesse le tout associé à sa très bonne compatibilité avec les agents tackifiants et cires, qui, on le verra plus tard, sont des constituants des adhésifs thermofusibles.

Les polymères sont responsables de la polarité ou de l'adhésion sur les supports à assembler. En effet, la formule développée du polyacétate de vinyle éthylène montre que les atomes d'oxygène sont porteurs de doublets d'électrons. Ils sont donc donneurs d'électrons. Ces électrons sont mobiles, et ils créent une polarité avec les atomes voisins. La polarité augmente ici avec la teneur en acétate de vinyle (il va de soi que la polarité d'un polyéthylène est nulle). [7]



<https://www.istockphoto.com/fr/vectoriel/éthylène-acétate-de-vinyle-cest-le-copolymère-déthylène-vinyle-acétate-formule->

- **Des agents tackifiants** : Un ou plusieurs par colle, naturelles ou synthétiques, ils sont toujours thermoplastiques amorphes et de faible masse moléculaire. Ils entraînent un important tack à chaud. Le tack est le caractère collant de l'adhésif qui va permettre un collage rapide entre deux pièces dès lors qu'ils entrent en contact. Ils permettent également d'abaisser la viscosité afin d'améliorer la mise en œuvre. Ces agents jouent donc un rôle primordial.
- **Les cires et paraffines** : Ils vont améliorer les propriétés mécaniques de la colle ainsi que sa souplesse et sa résistance aux chocs.
- **Les plastifiants** : Ils seront plus ou moins utilisés en fonction du type d'adhésif souhaité ( temporaire ou permanent ). Ils vont permettre d'améliorer la flexibilité et le mouillant de la colle. On distingue trois catégories : les huiles minérales, les phtalates et les polyisobutènes.

On peut également noter que dans certains cas, des additifs n'appartenant pas à ces 3 catégories peuvent être ajoutés afin de conférer certaines propriétés à la colle (antioxydant, colorants...).

## Rhéologie

D'après la norme NF EN 12092 qui indique comment mesurer la viscosité des adhésifs à l'état liquide, la viscosité est l'aptitude d'un matériau à résister à la déformation en fonction du niveau de déformation.[8] La courbe suivante (**Figure 1**) nous montre les divers comportements des adhésifs thermofusibles.[9]

La première zone AB correspond au moment où l'adhésif est liquide. On constate qu'en diminuant la température, la viscosité augmente petit à petit dans cette zone. Même si on est liquide dans cette zone, la zone pour appliquer la colle se situe uniquement entre A et A', après, on sera trop visqueux.

En abaissant la température, on constate une seconde zone entre B et C : la zone de figeage. C'est dans cette zone que l'on pourra déterminer la vitesse de figeage ( pente de la courbe ). La connaissance de cette vitesse est importante car c'est lors de ce figeage, de cette solidification que l'adhésion s'effectue.

De plus, dans cette zone on peut retrouver le point de ramollissement. La tenue en température des colles thermofusibles peut être caractérisée par leur point de ramollissement. Ce point correspond à la température qui ramollit suffisamment une quantité d'adhésif donnée contenue dans un anneau pour permettre à une bille d'acier de la traverser. Cette méthode dite "bille et anneau" est décrite dans la norme NF EN 1238.[7][10][11]

En continuant le refroidissement, on entre dans une nouvelle zone entre C et D. Cette partie correspond au développement de la cohésion et du tack. Cette partie est aussi intéressante à exploiter car on observe que plus la viscosité est importante, plus le tack sera fort. Cela est important notamment lorsque l'on souhaite appliquer la colle à de très grandes cadences.

Enfin, on distingue une dernière zone, entre D et E : c'est le développement de la dureté. C'est ici que l'on peut étudier le comportement au fluage et la tenue au froid de l'adhésif. On sait que généralement vers 90°C les colles commencent à ramollir. Le phénomène de fluage (pour l'EVA) se déroule entre 60 et 70 °C. Ces températures augmentent avec d'autres polymères (environ 120°C pour les polyamides et PU). [3] La connaissance du comportement au fluage est importante notamment pour étudier le stockage des pièces à chaud (ex : transport de pièces l'été).

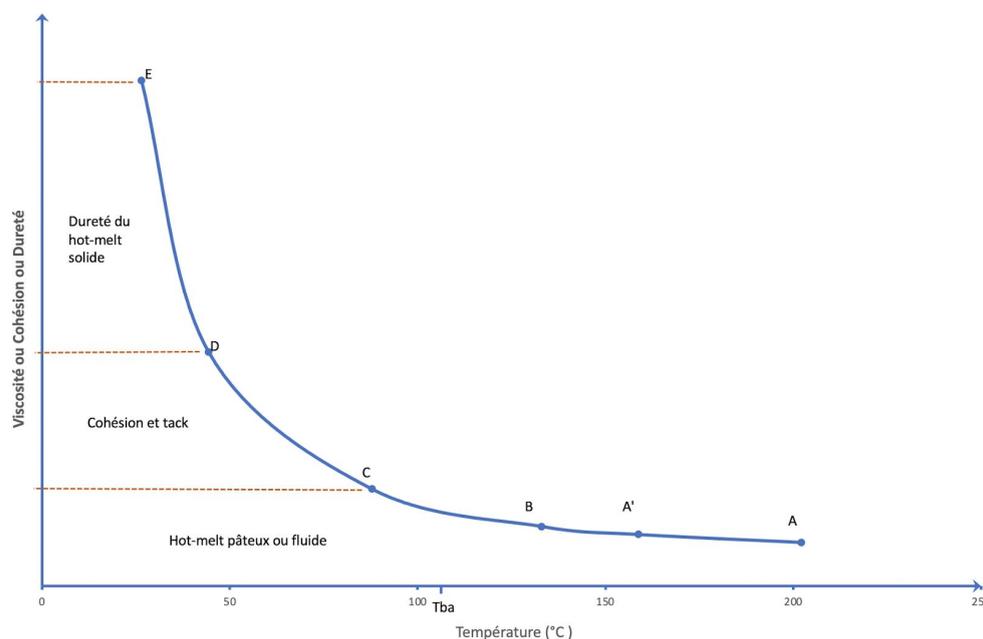


Figure 1 : Évolution de la viscosité et de la cohésion en fonction de la température pour les adhésifs thermofusibles

L'objectif au moment de l'application est d'avoir une colle fluide, facile à déposer et avec un bon mouillant. Grâce à cette courbe, on peut dire que la température idéale se situe entre 160 et 210 °C.

## Théorie de l'adhésion

L'adhésion est une liaison interfaciale pour laquelle agissent des forces soit physiques, soit chimiques. Le phénomène d'adhérence fait intervenir plusieurs facteurs. [12]

Comme nous l'avons vu précédemment, les hot-melt appartiennent à la famille des *adhésifs à mise en œuvre physique solide*. En effet, le mode de prise des colles thermofusibles est le refroidissement puis la solidification de la colle fondue au contact des deux matériaux à assembler. Les molécules se lient par des liaisons intermoléculaires mais sans réaction chimique.

L'adhésion des hot-melt se fait grâce à deux phénomènes physiques :

- les liaisons intermoléculaires électrostatiques
- l'ancrage mécanique de l'adhésif devenu solide

Il faut noter que pour toute adhésion, il faut un très bon mouillage. Le mouillage se définit par le contact très intime entre la colle et les matériaux à assembler. En effet, pour que les liaisons puissent se faire, il faut d'abord un contact très rapproché entre la colle et les matériaux. Certains matériaux sont difficilement "mouillables" (ex : cartons, papiers traités) et seuls les adhésifs thermofusibles permettent un mouillage convenable : c'est une des forces de ces colles.[12]

La théorie de l'ancrage mécanique est donc la théorie de l'adhésion qui correspond le mieux aux colles thermofusibles. En effet, le "collage" dû aux adhésifs thermofusibles résulte d'un accrochage mécanique entre les deux matériaux. Cette théorie, qui confirme l'importance du mouillage, considère que l'origine de cette adhésion est l'ancrage physique du polymère dans les aspérités situées à la surface du substrat.[13]

## LA PRODUCTION

Les différents composants des colles thermofusibles sont mélangés à chaud dans des réacteurs à des températures comprises entre 150 et 200°C. Ce mélange est ensuite mis en forme en fonction de l'appareillage qui permettra l'application de l'adhésif. Au final, l'adhésif est 100% solide sous la forme de granulés, de lentilles, de blocs, de plaquettes, de cordons, de bâtonnets...[1]



<https://www.istockphoto.com/fr/photo/bâtons-de-colle-thermofusible-transparent-gm>

## LA MISE EN FORME ET LES APPLICATIONS

Le processus de collage avec ces colles peut se résumer en 3 étapes :[3]

**1-** Pour appliquer ces adhésifs, on les fait fondre à des températures se situant entre 150 et 210 °C. Ces températures dépendent de la formulation, composition et de l'application souhaitée. L'adhésif deviendra ainsi plus ou moins fluide mais il sera liquide.

**2-** On applique l'adhésif fondu sur un des deux matériaux. La température d'application est comprise entre 140 et 220 °C.

**3-** On assemble immédiatement et on presse. L'abaissement de température va entraîner la solidification de la colle. C'est lors de cette étape que l'adhésion se fait.

Pour appliquer ce type d'adhésif, différents outils peuvent être utilisé : [2][3][9]

- Le plus courant pour ce type d'adhésif est l'utilisation de pistolets spéciaux, de buses
- Application par filière plate ( pour l'enduction de larges surfaces)
- Injection par plaque chauffante percée de trous ( industrie de la chaussure )
- Rouleau chauffant sur plaqueuse de chants (meubles)

Les adhésifs thermofusibles sont utilisés dans de nombreux domaines.[1][3][11] Ils sont utilisés pour la fabrication de meubles ( collage des chants, collage bois/bois..), mais aussi dans toutes les applications pour lesquelles une cadence de production élevée est demandée mais que ni une cohésion importante ni une bonne tenue à la chaleur est souhaitée ( emballage, reliure, textiles, couches pour bébés...). Ces colles sont utilisées dans l'assemblage des chaussures, dans les processus d'enduction (autoadhésives et thermocollantes), collage de filtres, de bobines...Plus récemment, de nouvelles techniques d'application ont été développé ou sont encore en cours de développement ( application sous forme de mousse, par pulvérisation, applicateur avec vis d'extrusion pour les produits à haute viscosité...), des nouveaux marchés se sont ouverts ( ou vont s'ouvrir) pour ces adhésifs tels que l'automobile, la construction ou encore l'électronique aussi bien pour des pièces polymères, plastiques que pour des pièces métalliques ; pour assurer des collages définitifs ou provisoires, pour aider à la conception d'une pièce ou encore pour réaliser un joint d'étanchéité....[1][5]

Bref, les colles thermofusibles présentent des avantages indéniables. Elles sont donc rapidement devenues omniprésentes dans notre quotidien et ont permis de multiples innovations.

## LES AVANTAGES ET LES INCONVÉNIENTS

Les principaux avantages et inconvénients des adhésifs thermofusibles sont récapitulés dans le tableau suivant (**Tableau 1**) : [1][2][3][4][11][12][14]

<b>AVANTAGES</b>	<b>INCONVÉNIENTS</b>
<p><b>Une prise quasi immédiate</b> (1 à 30 secondes) Cela va avoir de nombreuses répercussions :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- gain de place ( convoyeurs plus courts...)</li> <li>- cadence élevée</li> <li>- facilement automatisable sur chaînes</li> </ul>	<p><b>Besoin de cadences très rapides car temps ouvert très court</b> ( 2 à 10 secondes selon la formule) Temps ouvert = le temps maximum entre l'application de la colle sur son support et le passage des deux pièces à coller, sans qu'il apparaisse de dégradation du pouvoir collant</p>

<p><b>Livré sous forme solide à 100 % d'extrait sec</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- facilite le stockage, le transport et la manutention</li> <li>- améliore la sécurité car pas de solvant</li> <li>- insensible à l'humidité ou au gel</li> </ul>	<p><b>Tenue à la chaleur et au fluage médiocre</b></p>
<p><b>Réactivable à la chaleur à volonté</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- utilisable pour des pré-revêtement</li> <li>- facilite le recyclage (joint ouvrable par chauffage)</li> </ul>	<p><b>Pas utilisable pour les matériaux sensibles à la chaleur</b></p>
<p><b>Prise sans aucun dégagement</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- collage de substrats imperméable (ex: plastiques)</li> </ul>	<p><b>Vitesse de solidification sensible à la température du support</b> Cela peut entraîner un problème de collage si le matériau est trop froid de par la formation d'un glacié (couche mince)</p>
<p><b>Facilité d'utilisation</b></p>	<p><b>Collages résultant souvent non structuraux</b> (sauf pour les polyamides et les polyuréthanes)</p>
<p><b>Adhésion sur de nombreux supports, large gamme de matériaux "collables"</b></p>	<p><b>Besoin d'un matériel de mise en oeuvre spécifique et adapté</b></p>
<p><b>Economie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- prix accessible</li> <li>- pas besoin de matériel pour maintenir les joints, pas besoin de fours...</li> </ul>	

Tableau 1 : Avantages et Inconvénients des colles thermofusibles

## MESURE DE L'ADHÉRENCE

L'adhérence est souvent mesurée à l'aide d'un test de pelage. Or, nous avons vu que les colles thermofusibles de par leurs applications ne sont pas uniquement sollicitées en pelage mais elles peuvent aussi être sollicitées en cisaillement ou en clivage. Pour les adhésifs utilisés dans les emballages, papiers, carton, des tests de traction allongement sont aussi réalisés selon la norme NF EN 1896 .[15]

Les adhésifs thermofusibles présentent des caractéristiques mécaniques suivantes (**Tableau 2**).[16][17] Elles dépendent forcément de leur composition et plus particulièrement du polymère qui les constitue.

Test	EVA	Polyamide
Pelage	5 à 25 N/cm de large	25 à 45 N/cm de large
Cisaillement	1 à 5 MPa	5 à 10 MPa
Traction	1 à 5 MPa	10 à 15 MPa

Tableau 2 : Principales caractéristiques mécaniques de deux types d'adhésifs thermofusibles

Ces caractéristiques mécaniques peuvent paraître dérisoires par rapport à d'autres adhésifs...

Par exemple, pour une colle néoprène, le comportement en pelage est de 109 N/cm de large (selon un test ISO 8510-2) [19], pour une colle structurale epoxy, le comportement en pelage est de 84,4 N/cm de large (test de norme ISO 2243-2) et un comportement au cisaillement compris entre 20 et 30 MPa (test selon la norme ISO 4587) [20].

## BIBLIOGRAPHIE

[1] Patrick Borg, Les adhésifs thermofusibles, Matériaux et techniques, Centre d'Étude de Recherche et Développement, Sté Atochem, Mars/Avril 1987, p 77-78

[2] Meler gluing solutions - Informations complètes sur les colles thermofusibles  
<https://www.meler.eu/fr/assistance/informations-sur-les-colles/>

[3] Philippe Cognard, Collage des matériaux - Mécanismes. Classification des colles , Techniques de l'ingénieur , 10 juillet 2002 / BM7615V1

[4] Jowat colles - Adhésifs thermofusibles  
<https://www.jowat.com/fr-FR/colles/colles-thermofusibles/>

[5] G. Magnaud, Les colles thermofusibles de structure, Matériaux et techniques, Juin/juillet 1980, p 237-238

[6] A. Kallel - Étude d'un procédé innovant de contre-collage d'emballages flexibles par des colles thermofusibles, Mécanique des matériaux, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2015 / 2015ENMP0016

[7] R. Steimes, Facteurs physiques et comportement thermique des colles fusibles, Matériaux et techniques, Juin/juillet 1980, p 238-241

- [8] NF EN 12092, Adhésifs - Détermination de la viscosité , août 2002
- [9] Philippe Cognard, Colles et adhésifs pour emballages - Généralités, Génie industriel-Emballages, Techniques de l'ingénieur, 10 avril 2004 / AG6750V1
- [10] NF EN 1238, Adhésifs – Détermination du point de ramollissement des adhésifs thermoplastiques (méthode bille et anneau ), juin 2011
- [11] G.Longeville, Les colles thermofusibles à grande performance pour l'industrie de l'emballage et du conditionnement, Matériaux et techniques, Juin/juillet 1980, p 235-237
- [12] ECAM Lyon - Les colles  
<https://www.ecam.fr/materiaux-structures/ressources-scientifiques-techniques/le-collage/les-colles/>
- [13] Fascicule : Adhésion et adhérence des matériaux - Maëlen Aufray - 4 février 2019  
<http://maelenn.aufray.free.fr/cours/fascicule-cours-adhesion-site-web.pdf>
- [14] Philippe Cognard, Colles et adhésifs pour emballages - Applications, Génie industriel-Emballages, Techniques de l'ingénieur, 10 octobre 2004 / C960V2
- [15] NF EN 1896, Adhésifs pour papier et carton, emballage et produits sanitaires jetables - Détermination de la résistance à la traction et de l'allongement
- [16] Fiche technique 3M - Colle Thermofusible 3792 - Octobre 2010
- [17] Fiche Technique 3M - Colle Thermofusible 3779 - Octobre 2010
- [18] Adhésion et adhérence dans les polymères : la colle thermofusible - Méline Tournay et Clément Vary
- [19] Fiche Technique 3M - Colle Polychloroprène Scotch - Weld 1357 - Novembre 2014
- [20] Fiche Technique 3M - Colle Structurale Epoxyde Scotch - Weld DP490 - Mars 2020