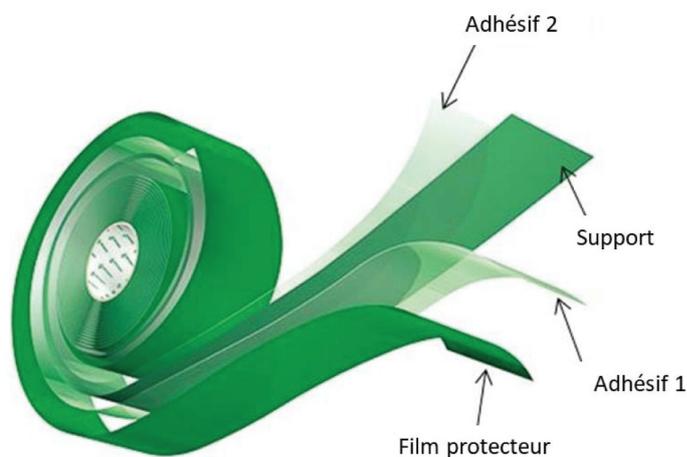


Les talents méconnus des bandes adhésives

De manière générale, les bandes adhésives semblent se résumer à ces rouleaux de films collants bon marché utilisés quotidiennement pour des applications d'appoint, ne réclamant pas de performances particulièrement spéciales. Néanmoins, elles sont dorénavant présentes à tous les niveaux, dans les automobiles et les moyens de transport en général, dans les produits électroménagers, les matériaux de construction, et le domaine médical évidemment, puisque ce fut leur première véritable application. La multiplication et la miniaturisation des systèmes électroniques en particulier demandent des performances spécifiques, tant du point de vue de l'adhésion que des fonctionnalités.

Les bandes adhésives comprennent généralement un support, pouvant être par exemple un film plastique ou une mousse polymère (polyéthylène, polypropylène, polyuréthane, pour les plus courants), une couche de substance collante (l'adhésif lui-même) et parfois un film protecteur. Ce support peut posséder une couche adhésive sur chacune de ses deux faces, la nature des deux adhésifs appliqués pouvant alors être différente selon l'application finale de la bande adhésive (voir figure). Dans la plupart des applications, la substance adhésive de choix est ce qui est communément appelé un adhésif sensible à la pression, ou PSA pour sa signification anglaise « pressure-sensitive adhesive » [1]. On pourra remarquer que cette terminologie peut être trompeuse car la pression à exercer pour obtenir un bon contact entre l'objet à fixer et la surface réceptrice n'est pas nécessairement forte, typiquement de l'ordre de la force exercée par la pression d'un doigt humain. La nature chimique des adhésifs utilisés pour faire des films est variable, les plus courants pouvant être à base caoutchouteuse, des polyacrylates, des polyuréthanes, voire des hybrides. Une grande partie de ces adhésifs sont encore préparés à base de solvants, mais du fait des contraintes environnementales grandissantes, de plus en plus d'adhésifs sont préparés en dispersion en milieu aqueux, ou bien en tant que systèmes dits 100 % solides (par exemple les colles thermofusibles ou « hot-melts »). Ainsi en 2018, pour la première fois, la plus grande partie des PSA produits étaient à base aqueuse, et en 2026, il est prévu que leur proportion atteigne 40 % contre 36 % de PSA préparés à partir de solvants [2].

Afin d'illustrer l'intérêt grandissant pour les bandes adhésives, il faut savoir que la prévision de la demande mondiale annuelle a été évaluée à plus de 105 milliards de dollars à l'horizon 2027 (contre environ 54 milliards en 2018), ce qui correspond à une surface globale d'environ 50 milliards de mètres carrés de films adhésifs [3]. Cette popularité croissante est due à leurs nombreux avantages par rapport aux fixations mécaniques (rivets, boulons, agrafes...), aux soudures ou aux glues liquides. Par exemple, le perçage d'un trou à travers une surface afin d'insérer un rivet entraîne un grand risque de fragilisation de la structure du matériau, risque réduit à néant avec l'utilisation d'une bande adhésive. Un autre avantage généralement mentionné est le gain de poids par rapport aux boulons et vis métalliques, mais nous pouvons également citer le gain d'étanchéité à l'humidité, la possibilité d'adhésion sur des matériaux difficiles comme le verre, ou encore l'élimination du besoin de finition de surface dans le cas de soudure. La construction même des bandes adhésives possédant un support en mousse polymère permet de réduire les vibrations, sources en particulier de nuisances sonores et de vieillissement accéléré, mais aussi une adaptation plus facile aux défauts de surface des éléments à joindre. Un bénéfice essentiel qu'apportent les bandes adhésives double-face par rapport aux glues liquides est le principe du 2-en-1 : deux adhésifs différents (un sur chaque face) pour un seul produit ! Il est ainsi possible d'assembler deux matériaux très dissemblables qu'il aurait été impossible de joindre avec une glue liquide efficace pour un matériau, mais pas pour l'autre (comme par exemple pour coller du bois à du plastique



Exemple de rouleau adhésif double-face et ses principaux composants. Selon les applications, l'épaisseur du support varie entre quelques dizaines de micromètres et quelques millimètres alors que les couches d'adhésifs dépassent rarement 250 μm . Le film protecteur a une épaisseur généralement comprise entre 50 et 100 μm (© Lohmann GmbH & Co. KG).

ou des métaux). Enfin, un aspect parfois oublié mais pourtant capital est la discrétion esthétique indéniable des bandes adhésives par rapport aux joints mécaniques et aux soudures, du fait de la possibilité d'adapter exactement la forme de l'adhésif aux dimensions des surfaces à assembler, mais aussi par rapport aux glues liquides pour lesquelles il existe toujours un risque de débordement.

Définitions

selon la définition donnée par l'association nord-américaine des fabricants de bandes adhésives sensibles à la pression (PSTC, Pressure-Sensitive Tape Council) et par ses homologues européens (AFERA, Association des fabricants européens de rubans auto-adhésifs), un PSA est caractérisé par les propriétés suivantes : un « tack » agressif et permanent, une adhérence avec simplement la pression d'un doigt, l'habilité à se maintenir sur un adhérent, et une force de cohésion suffisante pour pouvoir être retiré d'un adhérent sans résidus. Le tack, ou pégosité, en particulier est une propriété essentielle : une manière simple de le définir est de l'associer à la force que l'on doit exercer pour retirer son doigt d'une surface collante [4]. La force des adhésifs obtenus est très variable, pouvant atteindre quelques dizaines de newtons en force de pelage sur des matériaux classiques (acier, verre, polycarbonate...), mais également des matériaux à faible tension de surface comme certains plastiques (polyéthylène, polypropylène...) ou les peintures automobiles de nouvelle génération. On notera qu'il existe des films adhésifs ne présentant aucun tack (films pour collage structural), mais dont le pouvoir adhérent est décuplé sous l'effet de la chaleur et de la pression. Outre des propriétés adhésives finales remarquables (plusieurs gigapascals de résistance au cisaillement), un avantage indéniable de ce type d'adhésif est la possibilité de repositionner les éléments à joindre sans dommage avant la fixation définitive. Leurs applications se retrouvent essentiellement dans le domaine textile, mais également pour l'assemblage des objets de type cartes magnétiques et cartes à puces. Les adhésifs sans tack se retrouvent aussi dans les aéroports au moment de l'enregistrement des bagages, avec des étiquettes autocollantes dont les extrémités ne collent pas au doigt ou à tout autre support, mais forment un lien très fort lorsqu'elles sont assemblées l'une à l'autre [5].

À l'origine des PSA

Le concept de PSA est à l'origine lié au domaine médical. Au milieu du XIX^e siècle, Horace H. Day développe le précurseur des pansements adhésifs en appliquant un mélange caoutchouteux sur un tissu [6]. Il faudra cependant attendre trois quarts de siècle pour voir apparaître dans les années 1920 les premières applications industrielles pour le grand public, avec tout d'abord la création des premiers véritables pansements par Johnson & Johnson (J&J) avec la fameuse marque Band-Aid®, puis avec l'invention du célèbre ruban adhésif transparent Scotch® de l'entreprise Minnesota Mining and Manufacturing (3M) qui, quelques années plus tard, développera fortuitement l'application la plus populaire des PSA, une petite feuille de papier autoadhésive amovible. Spencer Silver travaillait alors à développer un adhésif ultra fort, mais malheureusement, ses résultats étaient très loin du but. Un de ses collègues, Art Fry, cherchant un système de marquage adhésif pour son recueil de cantiques qui puisse se détacher du papier sans le déchirer, appliqua l'adhésif de Silver sur un petit bout de papier, et le résultat fut exactement ce qu'il souhaitait : le Post-it® était né [7] !

Applications

Le rôle des bandes adhésives va bien au-delà du simple fait de joindre et de maintenir en contact deux objets. D'une part, ces adhésifs doivent en effet être suffisamment forts pour permettre une bonne adhésion, mais ils doivent également pouvoir offrir des capacités supplémentaires. Par exemple, afin de connecter les différents composants électroniques, il est indispensable de ne pas réduire la conductivité électrique entre eux, et le film adhésif doit donc être lui-même conducteur électrique. De même, la miniaturisation des systèmes implique une forte concentration en puces électroniques, et donc la nécessité de pouvoir dissiper la chaleur dégagée. À ces deux propriétés, il convient également d'ajouter le besoin d'un blindage des interférences électromagnétiques (EMI). La méthode de choix pour obtenir des adhésifs ayant les propriétés adéquates est d'insérer des molécules ou des particules à certaines concentrations. Ainsi, dans le cas de la conduction électrique, les matériaux de choix sont à base de métaux conducteurs comme l'argent ou le nickel, permettant d'obtenir des résistivités très faibles, en-deçà du milliohm. Pour la conduction thermique, des matériaux à base de céramiques ou de minéraux sont avantageux. Certains matériaux carbonés tels que le graphène ou les nanotubes de carbone sont connus pour présenter individuellement de hautes performances de conduction, tant électrique que thermique. Cependant, leur utilisation est relativement limitée car les deux propriétés, aussi intéressantes puissent-elles être, ne sont pas toujours souhaitées simultanément !

D'autres propriétés deviennent de plus en plus essentielles, en conséquence plus ou moins directe de cette multiplication des applications électroniques, en particulier le phénomène de retard de flamme, dont le principe est utilisé depuis des décennies mais qui est sujet à polémique du fait de nouvelles contraintes environnementales. Par exemple, les retardateurs de flamme bromés ou chlorés sont largement bannis, même s'ils sont toujours utilisés du fait de leur faible coût et leur efficacité éprouvée. Néanmoins, l'utilisation des bandes adhésives dans les dispositifs électroniques, propices aux surchauffes et départs de feu, nécessite de nouvelles stratégies, une des plus prometteuses étant l'utilisation de retardateurs de flamme directement intégrés à la structure du polymère constituant l'adhésif, comme par exemple le DOPO (9,10-dihydro-9-oxa-phosphaphénanthène-10-oxide) qui peut être greffé à la structure d'une résine époxy de type DGEBA (diglycidyl éther de bisphénol A) et ainsi résister à des températures de plusieurs centaines de degrés Celsius [8].

À venir

Parmi les propriétés les plus intéressantes, nous pouvons citer celles qui sont déjà utilisées dans le domaine des matériaux mais toujours balbutiantes dans le domaine des adhésifs, et surtout des bandes adhésives, en particulier les polymères à mémoire de forme, avec en perspective un détachement à la demande par simple application d'un stimulus externe, ou encore les polymères aux propriétés autocalcatrisantes qui présentent bien évidemment un grand intérêt en termes de durabilité, voire une combinaison des deux, en utilisant par exemple la réaction thermoréversible Diels-Alder entre un polyuréthane fonctionnalisé avec une fonction furane et un dérivé de maléimide. Le recouvrement de forme alors obtenu est supérieur à 99 % et l'autocalcatrisation permet de retrouver des résistances au cisaillement de plus de 65 % par rapport au matériau initial [9]. Enfin, concernant la conductivité électrique, de grands espoirs sont fondés sur les polymères intrinsèquement conducteurs, tels la polyaniline (PANI) ou le polypyrrole (PPy), avec comme principal défi de pouvoir appliquer ces polymères sous forme de films, par exemple en les alliant avec d'autres polymères comme des résines époxy, et de maintenir des propriétés mécaniques et d'adhésion satisfaisantes [10].

De fait, les possibilités d'applications nouvelles pour les bandes adhésives semblent illimitées du fait de leur versatilité, en particulier dans le domaine médical, comme le montre une étude récente de chercheurs du Massachusetts Institute of Technology (MIT) qui ont développé un pansement adhésif double-face applicable sur n'importe quel tissu humain, et se retirant tout aussi facilement, en combinant un biopolymère tel que la chitosane ou la gélatine avec un poly(acide acrylique) modifié par un ester de *N*-hydroxysuccinimide [11].

Cet intérêt pour les adhésifs, et en particulier les bandes adhésives, se traduit par le succès grandissant des Journées d'étude sur l'adhésion (JADH), manifestation biennale organisée par la Société Française de l'Adhésion (sous l'égide de la Société Française du Vide) dont la 20^e édition a eu lieu en décembre 2019 à Annecy [12].

- [1] C. Creton, Pressure-sensitive adhesives: an introductory course, *MRS Bull.*, **2003**, 28, p. 434-439.
- [2] K. Pulidindi, S. Chakraborty, *Pressure Sensitive Adhesives Market Size by Technology, by Product, by Application, by Sector, Industry Analysis Report, Regional Outlook, Growth Potential, Price Trends, Competitive Market Share & Forecast, 2019-2026*, **2020**, www.gminsights.com/industry-analysis/pressure-sensitive-adhesives-market
- [3] *Adhesive Tapes - Global Market Outlook (2018-2027)*, Statistics Market Research Consulting, **2018**, www.strategymrc.com/report/adhesive-tapes-market
- [4] C. Gay, L. Leibler, Theory of tackiness, *Phys. Rev. Lett.*, **1999**, 82, p. 936-939.
- [5] V. Leon *et al.* (Henkel), *Dry bonding acrylate adhesive layers*, Brevet EP 2607438 B1, **2014**.
- [6] W.H. Shecut, H.H. Day, *Improvement in adhesive plasters*, Brevet US 3965, **1845**.
- [7] S.F. Silver (3M), *Acrylate copolymer microspheres*, Brevet US 3691140 A, **1972** ; A.L. Fry (3M), *Repositionable pressure-sensitive adhesive sheet material*, Brevet US 5194299 A, **1993** ; www.3mfrance.fr/3M/fr_FR/post-it-notes/contact-us/about-us
- [8] Z. Li *et al.*, Simultaneously improving the thermal, flame-retardant and mechanical properties of epoxy resins modified by a novel multi-element synergistic flame retardant, *Macromol. Mater. Eng.*, **2019**, 304, art. 1800619 ; A.B. Morgan, The future of flame retardant polymers: unmet needs and likely new approaches, *Polym. Rev.*, **2019**, 59, p. 25-54.
- [9] K. Zheng *et al.*, Recyclable, shape-memory, and self-healing soy oil-based polyurethane crosslinked by a thermoreversible Diels-Alder reaction, *J. Appl. Polym. Sci.*, **2018**, 135, art. 46049 ; W. Liu *et al.*, Reversible adhesive based on self-repair behaviour, *J. Adhes. Sci. Technol.*, **2020**, sous presse, <https://doi.org/10.1080/01694243.2020.1792616> ; C.C. Hornat, M.W. Urban, Shape memory effects in self-healing polymers, *Prog. Polym. Sci.*, **2020**, 102, art. 101208.
- [10] H. Derakhshankhah *et al.*, Conducting polymer-based electrically conductive adhesive materials: design, fabrication, properties, and applications, *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.*, **2020**, 31, p. 10947-10961.
- [11] H. Yuk *et al.*, Dry double-sided tape for adhesion of wet tissues and devices, *Nature*, **2019**, 575, p. 169-174.
- [12] www.jadh-sfa.fr

Cette fiche a été réalisée par **Vincent LEON**, R & D Advanced Adhesives, Lohmann GmbH & Co. KG (Vincent.Leon@lohmann-tapes.com).
Les fiches « Un point sur » sont coordonnées par Jean-Pierre FOULON (jp foulon@wanadoo.fr). Elles sont regroupées et en téléchargement libre sur www.lactualitechimique.org/spip.php?rubrique11.