

Bac to basics  
**LA COLLE**

P. 85



**LIVRES  
POUR  
JEUNES**

P. 89

Comment ça  
marche ?  
**LE TEP-  
SCANNER**

P.90



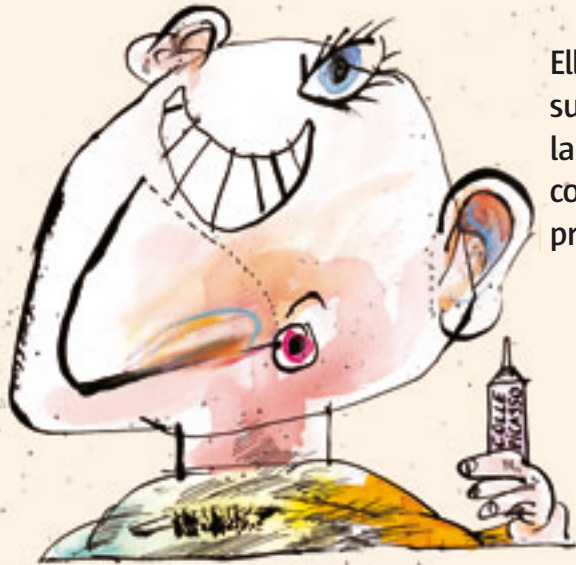
Wxyz  
**DES STATISTIQUES  
CONTRE  
LA POLLUTION**

P. 92

Chercher jouer trouver  
**CRAYONS DE  
COULEUR VIRTUELS**

P. 94

## BAC TO BASICS



Elle relie les pages de ce numéro de *La Recherche*. Elle assemble vos chaussures, votre mobile, votre siège... En tube, en bâton, en ruban adhésif, la colle est omniprésente. Les responsables ? Les physico-chimistes qui, comprenant de mieux en mieux les principes fondamentaux de l'adhésion, proposent des colles toujours mieux adaptées à des usages spécifiques.

# La colle

### ■ Pourquoi la colle ne colle-t-elle pas dans le tube ?

En général, les tubes de colle sont assez étanches, et la colle n'y sèche pas. En revanche, si on referme mal le bouchon, le contenu sèche et durcit. Une autre bonne raison de bien refermer les tubes ou les pots de colle est l'odeur forte que celle-ci dégage, bien souvent. Odeur et séchage sont d'ailleurs liés. La colle en tube est en effet constituée de longues molécules polymères, dissoutes dans un solvant, un liquide volatil. Lorsque la colle est étalée, ou que le tube est ouvert, le solvant s'évapore. Lorsque ses molécules parviennent à nos narines, nous les percevons comme une odeur, plus ou moins agréable. Dans le même temps, les molécules polymères, qui restent en place, ont moins d'espace pour bouger et finissent par se coincer les unes les autres : la colle devient solide. Dans certaines colles, il se produit même une réaction chimique entre les molécules polymères lorsqu'elles se rapprochent au cours du séchage, ce qui a pour effet de les attacher irréversiblement les unes aux autres en certains points. Dans tous les cas, la colle devient solide, et l'assemblage bien difficile à défaire. Bref, ça colle !

**Cyprien Gay**, chargé de recherche au centre de recherche Paul-Pascal du CNRS et de l'université Bordeaux I. [cgay@crpp-bordeaux.cnrs.fr](mailto:cgay@crpp-bordeaux.cnrs.fr)

**Martine Regert**, chargée de recherche au centre de recherche et de restauration des Musées de France.

### ■ Est-ce que ça colle mieux si on en met beaucoup ?

**Ne mets pas trop de colle ! Appuie bien ! Ces conseils de nos grand-mères sont fondés, comme on peut le constater aisément.** Mettons une goutte de shampoing sur une table bien lisse, appliquons une plaque transparente, par exemple le couvercle d'un coffret de disque compact, et maintenons la pression : la goutte s'étale bien régulièrement en un film mince. Si nous essayons de faire glisser la plaque sur la table, nous y parvenons assez facilement : le shampoing n'est pas un bon adhésif. Néanmoins, si nous essayons de soulever la plaque, elle résiste et adhère obstinément à la table. Pourquoi ? Comme le shampoing est incompressible, son volume ne peut pas varier pendant le décollement, et il est nécessaire qu'il s'écoule vers le centre pendant que la plaque se soulève. Or, dans un si mince interstice, l'écoulement est malaisé, car il s'accompagne, comme le long d'une conduite très fine, d'une forte chute de pression. Du coup, la pression est fortement abaissée sous la plaque, et nous devons exercer une force élevée pour la soulever. C'est essentiellement pour la même raison que deux objets collés par une mince couche de colle sont difficiles à décoller : l'adhésif, comme le shampoing, est incompressible et est utilisé sous la forme d'un film mince. Mais ces deux

matériaux viscoélastiques diffèrent sur un point essentiel. Le shampoing est liquide, alors que l'adhésif ne s'écoule pas, même si on lui en laisse le temps. Autrement dit, c'est un solide viscoélastique : avec un adhésif, pas moyen de faire glisser la plaque sur la table.

### ■ Pourquoi le ruban adhésif ne colle-t-il pas trop sur le rouleau ?

Lorsque le ruban adhésif est enroulé sur lui-même, le côté collant est en contact avec le dos du ruban de la couche immédiatement inférieure. Il devrait donc bien y adhérer. Pour qu'il ne soit tout de même pas trop difficile de les décoller l'un de l'autre lorsqu'on déroule le ruban, il faut que le côté collant, en quelque sorte, « n'aime pas trop » le dos du ruban. Pour cela, le mouillage des liquides offre une piste : une goutte d'eau s'étale sur du verre propre, mais se rétracte et roule facilement, presque comme une bille, sur une poêle antiadhésive ou sur un objet en plastique. Cette variété de comportements provient du degré d'affinité entre le liquide et la surface du solide. Le revêtement d'une poêle antiadhésive contient souvent des molécules fluorées, qui favorisent le contact à la fois avec l'eau et avec les corps gras. De même, le côté non collant d'un ruban adhésif est souvent revêtu de molécules fluorées, de manière



⇒ à affaiblir les interactions intimes avec le matériau adhésif qui constitue le côté collant du ruban. Le décollement est alors favorisé.

### ■ ■ Que se passe-t-il lorsqu'on décolle ce ruban adhésif ?

**Gardons notre rouleau de ruban adhésif et déroulons-le rapidement sur quelques tours : il produit un son strident.** Sur le côté collant, l'adhésif apparaît désormais strié, trace des saccades qu'il vient de subir et qui sont à l'origine du bruit du décollement. Dans les zones encore transparentes, le décollement s'est fait en douceur, sans dommage pour l'adhésif. À l'inverse, dans les zones qui ont blanchi, le matériau adhésif a été déformé de manière importante. Et du fait de son incompressibilité, il n'a pu le faire que de façon hétérogène : des bulles ont grossi, jusqu'à un diamètre de l'ordre de la centaine de micromètres, et ont ainsi fourni le volume requis pour le décollement. À cette taille, leurs surfaces réfractent la lumière dans toutes les directions : l'adhésif apparaît blanc, plutôt que transparent. Si nous reprenons notre plaque collée à la table par du shampoing, nous pouvons également observer des déformations très hétérogènes, quoique sous une forme légèrement différente. Lorsque, à force de persévérance, nous avons réussi à soulever la plaque, le shampoing s'est retiré en une magnifique figure arborescente, poussé par l'air qui s'est infiltré en de nombreux endroits, parfois presque jusqu'au centre : c'est de cette manière que, pour s'accommoder de la traction exercée, l'air a pu fournir du volume partout sous la plaque sans devoir pousser le shampoing sur de longues distances dans le mince interstice. Vu de loin, l'arbre de shampoing est blanc, lui aussi.



### ■ ■ Un collage peut-il vieillir ?

**En explorant votre grenier, vous avez déniché un vieux livre rafistolé il y a quelques années avec un ruban adhésif.** Pourquoi celui-ci a-t-il maintenant jauni ? Pourquoi se décolle-t-il plus facilement, voire ne colle-t-il plus du tout ? Alors que la colle est faite pour sécher en quelques minutes ou en quelques heures, le ruban adhésif doit demeurer stable. Mais avec le temps, certaines molécules diffusent, certaines réactions chimiques lentes avancent dans le matériau adhésif qui le constitue et peuvent, à la longue, altérer de façon appréciable ses propriétés mécaniques. Selon la nature de l'adhésif, cette évolution peut être accélérée par la présence d'eau (l'air est toujours un peu humide) ou d'un autre agent chimique,

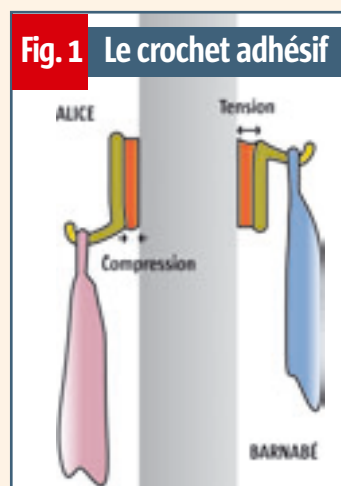
aux embruns, etc. La conception d'objets courants répond aussi à cette exigence. Dans sa salle de bains, Alice a fixé au mur un crochet adhésif classique [fig.1]. Le poids du gant de toilette déforme très légèrement le matériau plastique du crochet et comprime fortement la partie inférieure du film de matériau adhésif, tandis qu'il tire modérément sur le reste du film. Celui-ci n'est donc pas endommagé. De l'autre côté du mur, Barnabé a voulu tester une autre forme de crochet, afin de pouvoir suspendre plus haut son gant de toilette. La déformation de son crochet comprime modérément la plus grande part du film adhésif, mais cette fois-ci, pas de chance, elle tire fortement sur sa partie supérieure. Le gant de toilette de Barnabé affaiblira cette partie de l'adhésif, et son crochet vieillira plus rapidement que celui d'Alice.

### ■ ■ Les colles liquides sont-elles les plus efficaces ?

**Les fermes construites en granit sont rarement en pierre sèche.** Cette roche étant difficile à tailler, les blocs empilés sont rugueux et ne se touchent qu'en quelques points. Non seulement l'assemblage ne serait pas très solide, mais il laisserait passer l'air froid du dehors. Ce n'est qu'avec le mortier que l'on obtient un contact continu entre les pierres. La même chose est vraie dans la vie courante, à l'échelle microscopique : vue de près, une surface qui nous paraît lisse ressemble bien souvent à du granit, et si l'on met en contact deux objets, ils ne se touchent pas sur la totalité de la surface de contact. Si on les enduit de colle, on obtient un bon contact, et finalement une bonne adhésion, comme avec du mortier. Une colle pâteuse (bâton de colle blanche) établit un bon contact, mais elle ne durcit pas beaucoup, et le collage résultant se révèle souvent médiocre. Une colle liquide s'étale encore mieux et durcit souvent beaucoup plus, elle est donc finalement plus efficace.

### ■ ■ Existe-t-il une colle universelle ?

**Les colles présentées comme universelles par leurs fabricants fonctionnent assez bien sur presque toutes les surfaces.** Elles ne sont toutefois pas les plus



par la chaleur ou par la lumière. Mais plus encore que les seules modifications physico-chimiques, leur association avec la fatigue mécanique est parfois redoutable : si le joint adhésif est sollicité de manière répétitive et suffisamment forte, un décollement partiel peut se produire chaque fois au bord de la zone de collage. L'humidité de l'air pénètre alors plus avant et accélère l'évolution physico-chimique. Ainsi, les pales des hélicoptères étant des assemblages collés, on évite que leur bord d'attaque ne présente un joint de colle, car il vieillirait rapidement, soumis au vent, au sable,

efficaces. Certes, elles sont suffisamment fluides pour pouvoir être étalées et former un contact intime avec les objets malgré leur rugosité de surface. Mais cela ne suffit pas. Ainsi, la rigidité de la colle doit être adaptée à celle des objets collés. Une colle qui demeure trop molle après séchage risque d'autoriser un jeu mécanique entre deux objets rigides, et cela fragilise progressivement le joint de colle, surtout s'il est un peu trop épais. À l'inverse, une colle qui durcit beaucoup, comme la colle à moquette, ne convient pas pour coller des objets flexibles. Si vous collez ensemble deux morceaux de moquette, le mince film de colle se rompra en mille morceaux lorsque vous déformerez l'ensemble après séchage ! Un autre élément important est la nature des objets à coller. La formulation des colles prévues pour un usage bien précis (métal, papier, cuir, céramique, etc.) est choisie en fonction de la nature chimique de l'objet, de manière à susciter un surcroît de liaisons avec sa surface, par des réactions chimiques. Comme la chimie de surface d'un objet évolue spontanément, par exemple par oxydation, on peut la préparer juste avant l'encollage, soit mécaniquement (polissage), soit par nettoyage (avec un détergent), soit par un

traitement chimique élaboré. Cette dernière méthode, utilisée surtout dans l'industrie, suppose un encollage immédiat, car une surface moléculairement propre se pollue très rapidement.

### ■ ■ Pourquoi les vieux chewing-gums collent-ils aux semelles ?

Le chewing-gum est mou dans la bouche, tandis que son goût s'affadit, et il durcit rapidement une fois au-dehors.

Pourquoi ? Il est constitué de composés solubles qui passent peu à peu dans la salive (sucre, arômes), et d'une gomme. Laquelle est un matériau polymère aux propriétés soigneusement ajustées pour que l'on puisse à la fois profiter d'une mastication pas trop malaisée (ce qui suppose une bonne déformabilité), et épater la galerie avec de grosses bulles (ce qui suppose une résistance du matériau aux très grandes déformations). Il s'agit souvent de polyacétate de vinyle. Il est mou →



Fig. 2 Peut-on réellement coller quelqu'un au plafond comme dans la publicité ?

#### ON PEUT COLLER QUELQU'UN AU PLAFOND...

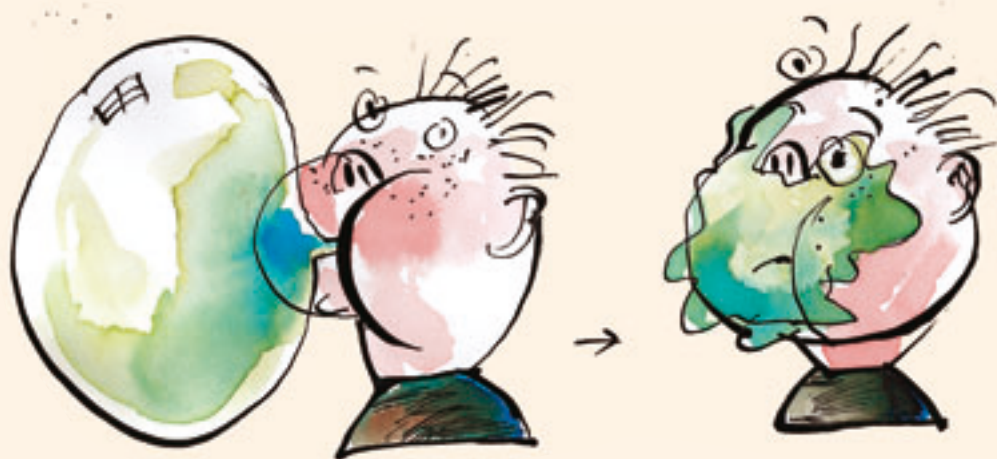
à condition de prendre des précautions : les semelles doivent être plutôt lisses que crénelées, et les chaussures très rigides. Si on colle sur la même surface les chaussures rigides de Barnabé, dont la semelle droite est crénelée et la gauche lisse (ci-dessus) avec un liquide très visqueux (cent mille fois plus que l'eau) étalé en un film d'un dixième de millimètre d'épaisseur, la chaussure de droite ne tient que trente secondes. Heureusement, celle de gauche tient presque une heure !



⇒ dans la bouche grâce à la température et à la salive : l'agitation thermique et la présence des molécules d'eau contribuent à la mobilité des macromolécules et donc à la déformabilité de la gomme. Une fois que le chewing-gum est dehors, c'est tout autre chose. Il refroidit, et l'eau de la périphérie s'évapore : il se forme une croûte dure qui retient de l'humidité au centre. C'est ainsi que sur le tard, le chewing-gum devient vieux singe : il semble dur, et ne colle pas au toucher, mais gare à qui posera le pied dessus ! La chaussure casse la croûte, elle établit un bon contact avec le cœur du chewing-gum encore mou, elle l'écrase en un film mince, et ça colle ! Quand l'imprudent lève sa chaussure, il apparaît des fibrilles, souvent impressionnantes. En fait, elles ne résistent pas beaucoup et ne contribuent guère à la force d'adhésion, mais elles sont la trace des déformations très hétérogènes (digitation ou cavitation) survenues au début de la séparation.

### ■ La colle repositionnable, est-ce vraiment de la colle ?

Puisqu'elle se solidifie lors du séchage, la colle ne peut pas être étalée de nouveau : elle ne sert qu'une fois. À l'inverse, l'étiquette repositionnable que l'on colle sur son bureau ou sur son écran est réutilisée dans le même état. Dans une certaine mesure, c'est vrai aussi d'un ruban adhésif. Du côté collant de l'étiquette, le matériau adhésif proprement dit est donc conçu pour sécher le moins possible, afin que ses propriétés mécaniques demeurent à peu près inchangées au cours du temps. Quelles sont-elles ? L'adhésif repositionnable ne peut être liquide, sans quoi, comme le shampoing, il ne résisterait pas au glissement. Il ne peut pas non plus être trop dur, sans quoi il serait impossible d'établir un bon contact. Conséquence, les fabricants formulent le polymère pour que l'adhésif repositionnable soit un solide viscoélastique assez mou. Peut-il alors réaliser une aussi bonne adhésion qu'une colle ? Paradoxalement, oui. Tirez sur une languette de papier, elle rompt sous une force importante après s'être déformée de seulement 3%. Mais tirez sur un ruban élastique, il s'étire de 100% sous une force modérée, et lors-



qu'il rompt, vous vous en mordez les doigts ! La même chose est vraie d'une colle et d'un adhésif. Une colle durcie par le séchage supporte une force élevée, puis rompt d'un coup : c'est un matériau fragile, comme le verre ou la languette de papier. Un adhésif repositionnable, plus mou, supporte de grandes déformations avant de rompre (c'est un matériau plus ductile). La force exercée est plus faible que pour une colle, mais la déformation est plus grande : décoller un adhésif repositionnable peut fort bien requérir davantage d'énergie que de rompre un assemblage collé. À tel point que l'un des objets peut rompre avant l'adhésif. C'est le cas de l'étiquette sur votre poêle toute neuve, que vous avez tant de mal à ôter : elle se déchire dans l'épaisseur au lieu de se décoller.

### ■ De quand datent les premières colles ?

Elles ont plus de 40000 ans et ont été fabriquées par l'homme de Neandertal, en Europe. L'analyse chimique de petits agrégats noirs et informes retrouvés sur le site paléolithique de Königsau, en Allemagne, a montré qu'il s'agissait des plus anciennes colles connues. Cette sorte de goudron végétal est du brai de bouleau, fabriqué par un chauffage

contrôlé d'écorce. Le même matériau a ensuite été très utilisé au Néolithique, il y a environ 6000 ans pour emmancher des pointes de flèche, réparer des céramiques et, plus tard, pour imperméabiliser des récipients ou calfater des bateaux. Au Proche-Orient en revanche, c'est du bitume naturel qu'on utilisait il y a 40000 ans, et jusqu'à des périodes récentes. Par la suite, les substances naturelles employées dans la production des colles se sont diversifiées, en particulier à partir des âges des métaux, probablement en raison d'une meilleure maîtrise des arts du feu. Ainsi, les résines de conifère sont utilisées en Europe et les résines de pistachier dans le monde méditerranéen. On commence aussi à mélanger divers matériaux : de la cire d'abeille est par exemple ajoutée au brai de bouleau comme plastifiant pour améliorer les propriétés des adhésifs. Ces diverses substances naturelles plus ou moins transformées ont, elles aussi, été employées jusqu'à nos jours, en particulier dans les pays nordiques. La technique de fabrication du brai de bouleau est toujours transmise en Finlande de génération en génération et entretenue lors de fêtes traditionnelles, bien que les colles synthétiques aient remplacé les adhésifs de nos ancêtres depuis le XIX<sup>e</sup> siècle. ■



#### POUR EN SAVOIR PLUS

Cyprien Gay et Ludwik Leibler

■ *Physics Today*, 52, 48, 1999

[www.crpp-bordeaux.cnrs.fr/~cgay/adhesion.php](http://www.crpp-bordeaux.cnrs.fr/~cgay/adhesion.php)

■ Le site de Cyprien Gay, au centre de recherche

Paul-Pascal du CNRS, avec d'autres explications pédagogiques.

[lclark.edu/~autumn/climbing/climb.html](http://lclark.edu/~autumn/climbing/climb.html)

■ Comment geckos et salamandres réussissent à grimper aux murs.