

Vulgariser la chimie : obstacles et solutions

Jean-François Le Maréchal, Caroline Joyce, Olivier Jean-Marie et Danielle Vincent

Résumé Le vulgarisateur, en s'adressant à un large public, peut ne pas s'apercevoir que son message reste incompris. Quels pièges doit-il éviter quand la communication met en jeu la chimie ? Des éléments de réponse sont fournis suite à une analyse des connaissances mises en jeu dans quelques exemples.

Mots-clés **Modèle, métaphore, didactique, obstacles, équivalence, vulgarisation, chimie.**

Introduction

La vulgarisation et l'enseignement de la science possèdent des différences et des points communs. Les différences proviennent essentiellement du caractère institutionnel de l'enseignement qui fixe des contraintes mais, dans les deux cas, une personne communique les éléments d'un savoir scientifique à un public qui construit de nouvelles connaissances. Il est donc intéressant d'analyser, du point de vue du savoir mis en jeu, les difficultés rencontrées pour ces deux activités de communication.

Enseignement et vulgarisation

En France, l'enseignement de la chimie est réservé aux étudiants scientifiques. L'enseignant sait ce que son public est censé connaître. Son discours s'appuie sur un corpus de connaissances de base pour en proposer de nouvelles, pas trop « éloignées ». L'enseignant se place ainsi dans ce que L.S. Vigotsky appelle la « zone proximale de développement » des étudiants [1] (voir *figure 1*). En revanche, dans le cas de la vulgarisation, à la radio ou à la

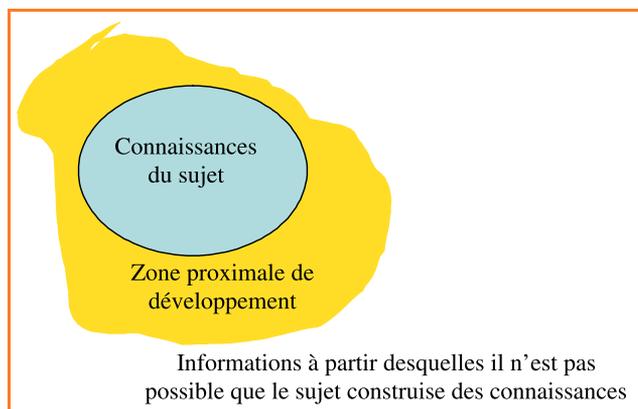


Figure 1 - Représentation de la notion de zone proximale de développement. Dans cette zone, on peut attayer le « chemin cognitif » qui permet, à partir des connaissances d'un sujet, de construire de nouvelles connaissances. Au delà, le chemin serait trop long et la construction impossible.

télévision, il faut intéresser un public dont les connaissances sont hétérogènes mais qui, comme les étudiants, ne peut s'intéresser au sujet vulgarisé que si les connaissances mises en jeu lui sont accessibles. La tentation de diminuer la difficulté de compréhension du discours doit se faire dans des conditions telles qu'à terme, il puisse encore être considéré comme relevant du domaine de la chimie.

Les connaissances constituant la chimie

En considérant que les modèles constituent l'un des principaux outils de développement de la connaissance scientifique, J. Gilbert estime qu'impliquer les étudiants dans des activités de modélisation doit être une part essentielle de l'enseignement [2]. En chimie, l'utilisation des modèles mettant en jeu la grandeur quantité de matière et la loi de la stœchiométrie est incontournable. Les chimistes fonctionnent au travers d'une reconstruction (et pas seulement d'une modélisation, même s'il y a des points communs) des systèmes qu'ils décrivent pour appréhender leur transformation. Par exemple, une allumette qui brûle n'est pas pour le chimiste un objet chaud, c'est de la cellulose qui réagit avec une partie de l'air qui l'entoure (l'oxygène) ; en fin de combustion, la cellulose n'existe plus ; du dioxyde de carbone et de l'eau ont été créés. De plus, pour communiquer, le chimiste a développé un langage symbolique dont il méconnaît la difficulté pour les novices.

La notion de reconstruction permet de considérer trois groupes de connaissances en chimie :

- les objets microscopiques : atomes, molécules, ions, etc.,
- les modèles empruntés à la physique, mettant en jeu des grandeurs, des lois et des théories,
- les transformations de la matière.

Pour articuler ces connaissances, les chimistes utilisent des représentations de différentes natures. Une notation symbolique permet de représenter les objets de la chimie en mettant en valeur certaines de leurs propriétés (charge, forme, arrangement spatial, etc.). Les modèles, empruntés à la physique, utilisent des représentations que l'on retrouve en mathématiques : calculs, graphes... Pour ce qui relève des transformations chimiques, les deux types de représentations précédentes sont utilisés.



Figure 2 - Les cruciverbistes connaissent bien les symboles. Deferne J., *Le monde étrange des atomes*, La Nacelle, 1994. Illustration : Alain Gassener, DR.

L'obstacle de la représentation symbolique

La notation symbolique utilisée en chimie n'est compréhensible que si les concepts représentés ont du sens. Si la notion d'élément chimique n'est pas connue, comment comprendre la différence entre CO_3^{2-} et Co^{32-} ? Si celle de charge n'est pas acquise, comment justifier que l'on ne peut « simplifier par deux » SO_4^{2-} pour obtenir SO_2^- ? Si celle de réaction chimique n'a jamais été abordée, comment faire admettre que $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{O}$ est une énormité ?

La chimie doit donc être vulgarisée sans utiliser de notations symboliques. C'est un effort qu'il faut consentir pour être compris par un large public.

Communiquer

Nous allons voir comment des opérations de communication de la chimie ont pu être réalisées, en évoquant successivement les cas où il s'agit essentiellement des objets de la chimie, puis des modèles physico-chimiques et enfin des transformations.

Les objets de la chimie

Décrire des objets de la chimie, pour vulgariser ou pour enseigner, consiste à évoquer une partie de leurs propriétés. La difficulté provient du fait que ces objets ne sont pas montrables. Ils ont été créés par la pensée scientifique pour rendre compte d'observations nombreuses et complexes. Comme l'indique H.-S. Lin, « il a fallu 50 ans aux chimistes pour réaliser la distinction entre atomes et molécules, il n'est pas étonnant qu'en 50 minutes d'enseignement, les élèves éprouvent des difficultés à s'approprier le concept » [3].

Il est possible de faire comprendre certaines propriétés plus facilement que d'autres et la vulgarisation scientifique

peut s'en nourrir. H. This prouve qu'on peut décrire les objets de la chimie aux enfants en proposant une description structurale des molécules, des protéines, des micelles, en évitant prudemment d'évoquer leur transformation chimique [4]. Il joue de la métaphore et communique les caractéristiques d'une notion difficile à conceptualiser, la *cible*, avec les mots d'une autre, familière, qui convoque des connaissances bien établies, la *source* [5].

H. This décrit par exemple la matière grasse ainsi : « les molécules de matière grasse sont comme des peignes à trois dents. Le manche est une molécule qui se nomme le glycérol. [...] les dents, ce sont des molécules que l'on nomme des acides gras » ([4], p. 42). La source (le peigne à trois dents) donne une image de la cible (la molécule de matière grasse). L'enfant peut se faire une idée d'une des propriétés de la matière grasse, la forme de la molécule correspondante.

En revanche, l'auteur évite de décrire des réactions chimiques. Il précise que la molécule de matière grasse est constituée d'une molécule de glycérol et de molécules d'acide gras, là où un chimiste dirait que la molécule correspondant à la matière grasse résulte de la réaction entre molécules de glycérol et d'acide gras. En décrivant la molécule de matière grasse comme la juxtaposition des molécules de glycérol et d'acide gras, le problème de la réaction chimique est éludé.

Les modèles physico-chimiques utilisés en chimie

Nous avons enseigné la chimie pendant plusieurs années à des étudiants de lettre et de sciences humaines de l'université Lyon 2 en nous interdisant d'utiliser les représentations symboliques et certains concepts reconnus difficiles, comme la grandeur quantité de matière ou la loi de la stœchiométrie. Nous avons reconsidéré l'enseignement traditionnel de la chimie qui commence par des notions fondamentales (atome, molécule, réaction chimique, etc.) et qui les développe en thèmes généraux.

Thèmes issus des problèmes de société

L'approche retenue, de type vulgarisation, a été de partir d'un fait de société concernant l'Homme et son environnement, et de le décrire avec le point de vue du chimiste. Dans le cadre d'un thème motivant – les problèmes que soulève l'usage du nucléaire, l'utilisation des matières plastiques, etc. –, il a été possible de mettre en jeu des connaissances scientifiques relevant de la modélisation : masse volumique, température, énergie... De nombreux faits d'actualité ont pu nourrir l'enseignement ; on peut hélas compter sur l'apparition régulière de marées noires, dégâts chimiques, pollution... D'autres drames écologiques rémanents comme les pluies acides permettent d'introduire des notions liées aux oxydes de soufre et d'azote, à leur acidité, etc. On a ainsi proposé à cette occasion des éléments de modélisation physico-chimique permettant des prévisions ou des interprétations (*tableau I*).

L'histoire des sciences

L'histoire des sciences a été utilisée de longue date dans l'enseignement scientifique. L.E. Klopfer et W.W. Cooley rapportent une expérimentation sur des milliers d'élèves de lycées montrant que leurs performances après enseignement sont aussi bonnes que celles d'élèves suivant un enseignement traditionnel [6].

Tableau I - Exemples de concepts utilisables en relation avec des thèmes concernant l'Homme et son environnement ou l'histoire des sciences.

*Abréviation utilisée en toxicologie pour désigner la dose entraînant la mort de 50 % de la population examinée.

Thèmes	Concepts abordés dans le cours
Naufrage du chimiquier <i>Levoli Sun</i> (2000) (voir <i>figure 2</i>) Naufrage de l' <i>Erika</i> (1999) Naufrage du <i>Prestige</i> (2002)	Solubilité, espèces ioniques et non ioniques, ions, cristaux, unité de solubilité, densité, point d'éclair, flamme, chaleur de vaporisation, chaleur de combustion, pression de vapeur saturante, modèle microscopique d'un gaz, limite d'inflammabilité.
Rupture d'une réserve de solution de cyanure de sodium et déversement jusque dans le Danube (2000) Explosion du nitrate d'ammonium, AZF (2001)	Stockage des produits chimiques, domestique ou de laboratoire, icônes de sécurité, toxicité, DL50*, influence du poids de la personne intoxiquée, extraction d'un minéral, toxicité aiguë, toxicité à long terme, cas des métaux lourds, valeur limite d'exposition.
Vie de Marie Curie (voir <i>figure 3</i>)	Élément chimique, principe d'isolement d'un élément chimique, réaction de précipitation, filtration, structure de l'atome, isotope, radioactivité, rayonnement α , β , γ , chaîne radioactive, conservation et non-conservation des éléments chimiques, danger de la radioactivité, utilisation des radioéléments, électrolyse, étalon de radioactivité, purification, quantité d'électricité.

Cependant, dans notre cas, plus proche de la vulgarisation que de l'enseignement traditionnel, ce thème ne s'est pas révélé systématiquement intéressant. Développer les notions d'élément chimique et d'atome à travers les idées de la révolution Lavoisienne ou de l'histoire de Mendeleïev a dû être abandonné. La nécessité d'articuler simultanément trop de concepts éloigne de la zone proximale de développement notre public non scientifique qui se désintéresse alors du discours [1].

En revanche, introduire au moyen de la biographie de Marie Curie ce qu'il faut savoir pour comprendre les notions liées à la structure de l'atome, à la radioactivité, à la médecine nucléaire, etc. s'est révélé attractif. La personnalité de cette femme d'exception n'est probablement pas étrangère à l'intérêt porté à ce cours.

Le *tableau I* détaille des exemples de concepts dont on peut parler dans le cas particulier de quelques thèmes utilisés. Dans chaque cas, l'objectif n'était pas de traiter de façon approfondie le thème, ni même les concepts associés, mais d'utiliser les notions abordées dans un contexte spécifique.

Aspects généraux et spécifiques des concepts

Évidemment, l'abondance des concepts évoqués lors des cours n'a pas permis de les approfondir tous. Ils n'ont pas été définis dans un cadre général. En revanche, tous ont été utilisés et explicités dans le contexte spécifique du thème concret utilisé. C'est au travers de ces cas particuliers que

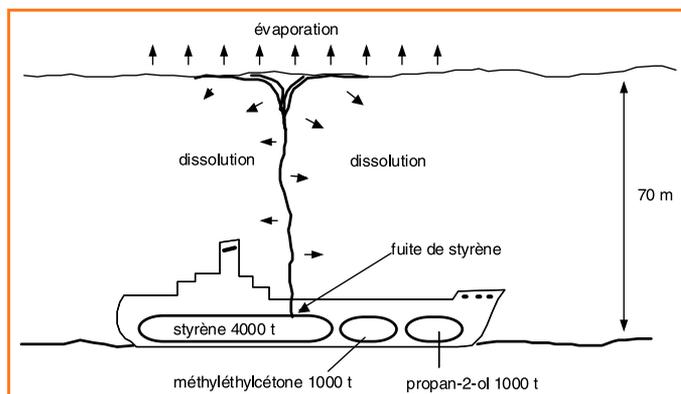


Figure 3 - Représentation approximativement à l'échelle du naufrage du chimiquier *Levoli Sun* en Manche le 11 octobre 2000 à 9 heures.

ces concepts ont trouvé du sens. Cette approche, souvent écartée par l'enseignement général qui s'attribue le rôle de formaliser le savoir, a permis de tenir un langage scientifique simplifié mais correct.

La réaction chimique

La difficulté de parler de réaction chimique est reconnue à cause des nombreux aspects (microscopiques, macroscopiques) indispensables à sa compréhension et de la variété des faits que ce concept unifie [7].

Nous avons expérimenté un nouvel enseignement de la réaction chimique en classe de première littéraire en respectant le programme officiel ainsi que les contraintes que nous nous étions fixées pour la vulgarisation, à savoir : pas d'utilisation de la notation symbolique, pas de grandeur quantité de matière, pas d'utilisation de la notion de stœchiométrie. Il s'est donc posé le problème de la modélisation des situations envisagées.



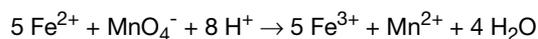
Figure 4 - Marie et Irène Curie : deux femmes, trois prix Nobel.



Figure 5 - Où sont les réactifs et les produits de la réaction ? Le chimiste et le non-chimiste ne « voient » pas la même chose.

Exemple de difficultés

Afin de comprendre les difficultés qu'il a fallu surmonter pour évoquer une réaction de titrage en dehors du cadre théorique habituel de la chimie, nous allons analyser les notions mises en jeu quand on parle d'équivalence. En l'absence de modèle scientifique, l'équivalence n'est qu'un moment particulier (le moment où la couleur de la solution change). Pour le chimiste, c'est bien plus : c'est l'état d'un système pour lequel des quantités de matière de certains des réactifs ont été introduites en proportions stœchiométriques. Le niveau de complexité devient immense pour le novice. Par exemple, dans un titrage représenté par :



- les grandeurs observables (volume, masse) ne permettent pas de comprendre l'expérience qui doit être traitée en termes de quantité de matière (mole), ce qui relève le niveau d'abstraction ;
- les quantités de matière de Fe^{2+} et de MnO_4^- ne sont pas égales, mais introduites en proportions stœchiométriques, ce qui nécessite de donner du sens à l'équation chimique : c'est un obstacle supplémentaire ;
- il ne s'agit pas de traiter tous les réactifs sur un pied d'égalité puisque H^+ n'est pas stœchiométrique mais en excès dans un tel titrage ; cela complique la formulation pour l'enseignement.

L'enjeu fut donc de pouvoir développer un contexte qui évite ces types de difficultés.

Modèle simplifié d'une réaction de titrage

Nous avons repensé la modélisation d'une réaction chimique de titrage en définissant en quelques phrases les concepts nécessaires à sa compréhension. Afin d'éviter d'évoquer la difficile notion d'équivalence, nous avons introduit la notion de « quantité équivalente ». *On appelle quantité équivalente d'un dosage la quantité de réactif 2 qu'il faut ajouter pour faire disparaître tout le réactif 1.* Dans cette définition, la quantité équivalente peut être une masse, un volume. Elle ne met en jeu ni la quantité de matière, ni la stœchiométrie et distingue trois cas pour la quantité de réactif 2 ajoutée :

- 1^{er} cas : sa quantité est la quantité équivalente ;

- 2^e cas : sa quantité est plus grande que la quantité équivalente ;
- 3^e cas : sa quantité est plus petite que la quantité équivalente.

Un tel modèle permet de considérer qu'un titrage est une réaction chimique, dépassant ainsi le niveau algorithmique scolaire qui consiste à appliquer une relation du type « $c_A V_A = c_B V_B$ ».

Le fonctionnement des élèves

Il est apparu que les élèves utilisaient effectivement le modèle simplifié de la réaction chimique qui leur était fourni. Ce n'est pas surprenant puisque dès le plus jeune âge, les enfants utilisent des modèles pour apprendre [8]. En leur absence, les élèves limitent leur description aux objets qui sont devant eux et ne donnent pas un sens scientifique aux expériences qu'ils réalisent. En revanche, grâce au modèle, certains objets manipulés acquièrent une fonction de réactif, de produit ou d'indicateur de la réaction chimique.

Du point de vue de la vulgarisation, on peut donc penser que le public auquel on s'adresse pourra tirer profit d'un outil théorique adapté à la fois à son niveau et à la situation en jeu. Cette approche diffère de celle qui interpréterait un phénomène en évoquant une métaphore qui peut être comprise au détriment du phénomène auquel elle se réfère, et qui peut ne pas être réutilisable dans d'autres contextes. En revanche, un modèle, au sens où nous l'avons utilisé, fixe son propre cadre d'utilisation en dehors duquel il n'est plus applicable. De plus, il permet de réfléchir sur la science avec un comportement scientifique, ce que n'autorise pas la métaphore. Bien que presque tout modèle possède une composante métaphorique, surtout en chimie [9], un modèle n'est pas qu'une métaphore ou une analogie, il possède aussi une dimension théorique qui le met en relation avec d'autres domaines de la science d'où il tire sa puissance.

Pour conclure

La vulgarisation de la chimie pose le problème de la simplification qui doit être suffisante pour que les propos tenus soient compréhensibles, sans être excessive pour rester dans le registre de cette discipline. L'analyse didactique de plusieurs situations d'enseignement impliquant des étudiants non scientifiques a permis de mettre en évidence trois types de difficultés, relatives : (1) aux objets mis en jeu en chimie (molécules, protéines, etc.), (2) aux modèles physico-chimiques nécessaires à la description des systèmes chimiques et (3) à la transformation de la matière. L'utilisation de modèles simplifiés, préférée à l'usage de métaphores, permet non seulement d'être compris, mais également de rester ancré plus fortement dans le discours scientifique. Une telle approche ne peut être confiée qu'à des communicateurs qui connaissent bien la chimie et qui ont fait un effort de réflexion suffisant pour utiliser des modèles simplifiés et compréhensibles, évitant ainsi l'usage de représentations symboliques, de la grandeur quantité de matière ou de la loi de la stœchiométrie.

Références

- [1] Vygotski L.S., Le problème de l'enseignement et du développement mental à l'âge scolaire, *Vygotski aujourd'hui*, B. Shneuwly, J.P. Bronckart (eds.), Delachaux & Niestlé, Paris, 1985/1933, p. 95.
- [2] Gilbert J. (eds.), *Models & Modelling in Science Education*, The Association for Science Education, Hatfield, UK, 1993.

- [3] Lin H.-S., The effectiveness of teaching chemistry through the history of science, *Journal of Chemical Education*, **1998**, 75, p. 1326.
- [4] This H., *La casserole des enfants*, Belin, **1998**.
- [5] Gregory P.T., McRobbie C.J., Using a metaphor for learning to improve students' metacognition in the chemistry classroom, *Journal of Research in Science Teaching*, **2001**, 38(2), p. 222.
- [6] Klopfer L.E., Cooley W.W., The history of science cases for high schools in the development of student understanding of sciences and scientists: a report on the HOCS instruction project, *Journal of Research in Science Teaching*, **1963**, 1, p. 33.
- [7] Carretto J., Viovy R., Relevé de quelques obstacles épistémologiques dans l'apprentissage du concept de réaction chimique, *Aster*, **1994**, 18, p. 11.
- [8] Gilbert J., Boulter C. (eds), *Developing Models in Science Education*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, **2000**.
- [9] Bhushan N., Rosenfeld S., Metaphorical Models in Chemistry, *Journal of Chemical Education*, **1995**, 72(7), p. 578.

Pour en savoir plus

Le lecteur intéressé par la didactique de la chimie pourra également se référer aux deux articles suivants :

- Barlet R., L'espace épistémologique et didactique de la chimie, *L'Act. Chim.*, 4, avril **1999**, p. 23.
 - Dumon A., Laugier A., L'équation de réaction : approche historique et didactique de la modélisation de la transformation chimique, *Le Bup*, numéro spécial *Regards didactiques*, juillet-août-sept. **2004**, 866, p. 1131.
- Par ailleurs, sur le thème des modèles scientifiques et pédagogiques, on pourra également consulter :
- Giordan A., La modélisation dans l'enseignement et la vulgarisation des sciences, *Impact Science et Société*, 164, p. 337.
 - Muscarì P.G., The metaphor in science and in the science classroom, *Science Education*, **1988**, 72(4), p. 423.



J.-F. Le Maréchal

Jean-François Le Maréchal

enseigne la chimie inorganique en tant que maître de conférence à l'École Normale Supérieure de Lyon et effectue de la recherche en didactique de la chimie au sein de l'UM ICAR (interaction, corpus, apprentissage, représentation) rattachée à l'université Lyon 2, au CNRS, à l'École normale supérieure de Lyon*, à l'École normale supérieure de Lettres et sciences humaines (ENS LSH, Lyon) et à l'Institut national de recherche pédagogique (INRP, Lyon).

Caroline Joyce

est professeur de sciences physiques et était étudiante du DEA Didactique et interactions de l'université Lyon 2, rattachée à l'UMR ICAR au moment de ce travail.



O. Jean-Marie

Olivier Jean-Marie

est professeur au lycée Aragon de Givors. Il est responsable d'un groupe de travail au sein du projet de recherche et de développement SESAMES (Séquences d'Enseignement Scientifique : Activités de Modélisation, d'Évaluation, de Simulation) financé et soutenu par l'INRP.

Danielle Vincent

est professeur au lycée Albert Camus de Rillieux. Elle est membre d'un groupe de travail au sein du projet de recherche et de développement SESAMES financé et soutenu par l'INRP.

* Courriel : lemarech@ens-lyon.fr



C. Joyce



D. Vincent

Des réponses simples aux questions compliquées...

Question posée au réseau de consultants de *La Main à la Pâte* par Lisa B. à Paris :

Qu'est-ce qui colle dans la colle ? Comment ça colle ?

Réponse de Martin Shanahan, consultant scientifique pour les Sciences de la matière

Ah là là ! Cette question est à la fois... simple et compliquée !

Essayons tout de même de rester simple et posons la question complémentaire : pourquoi la plupart des choses mises en contact ne collent-elles pas ? Quand vous posez une tasse sur une soucoupe sèche, par exemple, et que vous la reprenez ensuite, pourquoi la soucoupe ne vient-elle pas avec la tasse ? Ça ne colle pas !

La raison est simplement liée au fait que tasse et soucoupe sont plus ou moins... sales. De fines poussières, ou même de la vapeur de l'eau de l'atmosphère, se trouvent « dans le chemin ».

Vous pouvez tenter vous-même une expérience : prenez un morceau de ruban adhésif et collez-le à la fenêtre. Maintenant, décollez-le lentement. Vous ressentez une certaine résistance. Prenez-en un second morceau, saupoudrez-le légèrement de talc et essayez de le coller. Cette fois, la résistance au décollement est faible ! Voilà la clef du problème : la contamination. Donc si vous collez des choses, faites toujours attention à ce qu'elles soient bien propres avant ! Le bricoleur l'oublie souvent...

Deuxième problème : même si la tasse semble être bien en contact avec la soucoupe, en réalité, le vrai contact est faible au niveau microscopique. C'est un peu comme si l'on mettait une lime contre une autre : il y a beaucoup de « trous », sauf que, dans notre cas, ces trous sont très difficiles à voir, car très petits. Et si ça ne se touche pas beaucoup, ça ne colle pas beaucoup !

Je n'ai pas encore vraiment répondu à la question, sauf pour dire que la plupart des choses colleraient si elles le « pouvaient », mais que la contamination et la rugosité les en empêchent. Car il existe en fait de très divers types de colles ! Contentons-nous des plus « simples ». D'abord, elles sont presque toutes plus ou moins liquides (ou plus ou moins molles). Ainsi, si la surface à coller est propre (1^{ère} condition !), la colle peut couler et établir un bon contact dans les creux et les aspérités de la surface (on dit qu'elle « mouille » la surface). Il en résulte un meilleur contact et dans certains cas, après « solidification » (perte de solvant ou réaction chimique ou refroidissement), la colle peut « s'accrocher » au solide.

Bien sûr, ce moyen « d'accrochage » est complémentaire à celui qui fait intervenir les forces interatomiques ou intermoléculaires (physiques et chimiques), un peu similaires aux forces qui empêchent la tasse de tomber en poudre toute seule. Je n'irai pas plus loin sur cet aspect.

Dernier point : du chewing-gum frais ne colle pas (il est dur et fragile), mais du chewing-gum fraîchement mâché colle. Pourquoi ? D'abord parce qu'il est mou et épouse bien la surface de contact. Ensuite, parce qu'il est extensible, un peu comme du caoutchouc : lorsque l'on tire dessus, il s'étend et « refuse » de se séparer de la surface.

Le collage est donc une combinaison de forces à la surface et une souplesse de la masse !

- Retrouvez toutes les questions des enseignants et toutes les réponses des scientifiques sur les pages du réseau de consultants scientifiques de La Main à la Pâte à l'adresse : <http://www.inrp.fr/lamap/>