

Les pâtes à modeler

Hélène Bouvrais

Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Rennes, Av. Général Leclerc, 35700 Rennes

Soumis le 25.3.2005, accepté le 12.5.2005

Résumé : Les pâtes à modeler ! Qui n'a jamais eu l'occasion de jouer avec celles-ci pour modeler un serpent, une souris, un bonhomme... Il faut savoir qu'il existe toutes sortes de pâtes à modeler, avec des compositions qui sont très variées. Les pâtes à modeler ont beaucoup évolué. Il suffit de revenir quelques années en arrière : celles-ci étaient collantes, tâchaient, ne sentaient pas très bons, ... Maintenant, un point essentiel doit être respecté par toutes les pâtes à modeler. En effet, il est primordial que celles-ci soient sans danger pour les enfants, qui en sont les premiers manipulateurs. Ainsi, elles doivent être non irritantes pour la peau et les yeux, mais aussi non toxiques en cas d'ingestion. D'autre part, elles ne doivent pas causer de dommages pour les vêtements, les tissus d'ameublement et les moquettes. Là, ce sont plus les exigences des parents qui entrent en compte. Les pâtes à modeler classiques seront abordées dans un premier temps, puis nous nous pencherons sur celles qui sont innovantes grâce à deux brevets et enfin nous citerons l'exemple d'une pâte à modeler de formulation "maison".

Les classiques

Passons tout d'abord en revue ce qui se fait classiquement au niveau des pâtes à modeler, ainsi que les avantages et les inconvénients de ces différents produits. Généralement, les pâtes à modeler sont des produits d'origine végétale ou minérale (argiles). Elles ne sont pas très élastiques et étirables au-delà d'une certaine longueur. De plus, elles sont salissantes et contiennent fréquemment des huiles et d'autres ingrédients qu'il est difficile d'enlever des tissus. Les compositions à base de farine de grains ou de bois sont très utilisées pour les enfants car elles ne sont pas nocives en cas d'ingestion. De plus, elles n'ont pas d'odeur ou de toucher désagréable et elles peuvent être retirées facilement des tissus. Cependant, ces pâtes à modeler présentent un inconvénient : elles sont denses et donc lourdes. Elles sont à base d'eau et il peut donc y avoir une perte de volume due au dessèchement. Une solution pour faire face à ce problème de dessèchement était d'incorporer en large proportion des matières de remplissage telles que la farine à la mixture de la pâte. Mais, cela s'est avéré inefficace pour retenir l'eau. En plus, une quantité importante de matière de remplissage dans la composition de la pâte provoquait des effritements, des

Marina Jolivet ©2005



fissures et des émiettements de celle-ci. Quant aux pâtes à modeler d'origine synthétique dont la composition est à base de silicones élastomériques, elles peuvent être aussi bien étirées que mises en boule. Mais, ces produits ne sont pas agréables au toucher et présentent des capacités d'étirement limitées, tout en s'enlevant difficilement des tissus et des moquettes.

L'inconvénient commun à toutes ces pâtes à modeler est leur densité élevée. Or il est essentiel que les pâtes à modeler soient légères surtout lorsque les principaux utilisateurs sont les enfants. En effet, une pâte à modeler lourde est peu commode et difficile à manipuler. Par exemple, lorsque les enfants créent une figure, celle-ci peut tomber en morceau sous l'effet du poids.

Face à ces différents problèmes, il a fallu concevoir de nouvelles pâtes à modeler. Celles-ci devaient être suffisamment pétrissables, modelables, pliables et ductiles pour éviter de se déchirer pendant l'utilisation. De plus, il fallait pouvoir les utiliser pendant une longue période sans qu'elles ne souffrent de dessèchement au point de ne plus pouvoir être utilisées. Enfin, il fallait que le matériel soit plaisant au contact et ne présente pas une mauvaise odeur. Il devait aussi être léger et pouvoir être facilement enlevé des tissus. Mais bien sûr, toutes ces caractéristiques devaient être présentes dans une pâte à modeler avec un coût modéré. C'est à ce moment que le formulateur entra en piste !!!

Quelques innovations

Brevet de Mattel

Parlons de quelques innovations qui sont apparues ces derniers temps dans les pâtes à modeler. Une de ces innovations a la particularité d'introduire des microbilles de verre dans la pâte à modeler. C'est un brevet de Mattel, qui date de 1999 [1]. Cette pâte à modeler est étirable, ductile et peut former des objets permanents. De plus, elle est agréable au toucher, elle ne colle pas aux mains et retient l'eau pendant une période relativement longue. D'autre part, elle peut être facilement lissée, et on peut rejoindre deux pièces entre elles sans qu'un pli soit vu. Plus précisément, la composition de la pâte à modeler est la suivante : farine, eau, microbilles de verre, émoullissants, agents liants ou épaississants, conservateurs et colorants. L'utilisation de microbilles de verre (8 à 20 % du poids total) est le point primordial de cette invention. Cela permet de rendre le matériel léger et acceptable du point de vue de la tactilité et de la ductilité pour le modelage. De plus, bien que mieux conservée dans un récipient fermé, cette pâte à modeler met longtemps à se durcir si elle est laissée à l'air pendant un moment.

Rentrons maintenant plus en détail dans la composition de cette pâte à modeler en essayant de

comprendre le rôle de chaque ingrédient. Les ingrédients primaires sont la farine, l'eau, un agent liant ou épaississant et une certaine quantité de microbilles de verre légères. Les problèmes habituels accompagnant les pâtes à modeler à base de farine et d'eau sont une densité élevée et un rétrécissement de volume par dessèchement, mais ils peuvent être résolus par l'incorporation de microbilles de verre dans la composition de la pâte à modeler. En effet, celles-ci se lient avec la structure polysaccharide de la farine et forment une matrice

Marina Jolivet ©2005



Tableau 1 : Formulation d'une pâte à modeler

Ingrédients	Pourcentages massiques
Eau	35%
Billes de verre	13%
Farine	32%
Glycérine	10%
Pigment	3%
Conservateur	3%
Liant	2%
Agents masquants, stabilisateurs et autres pigments	3%

On peut noter qu'une faible quantité de lubrifiant peut être ajoutée afin d'aider à combiner les différents ingrédients. Il peut s'agir d'huile minérale, de paraffine, de cire...

adéquate. Par la suite, une évaporation d'eau par dessèchement de la pâte à modeler n'entraîne pas un rétrécissement de celle-ci. D'autre part, les microbilles sont très légères : elles ont une densité de 0,13 g/cm³, ce qui permet de diminuer la densité de la pâte à modeler elle-même. Bien que le pourcentage massique en eau de cette invention soit élevé (30 à 40 %), le volume partiel de l'eau est relativement faible à cause de la densité assez élevée de l'eau (1 g/cm³). Par conséquent, les microsphères constituent la majorité du volume de la pâte à modeler. La farine et les billes de verre sont liées ensemble pour donner une intégrité structurale suffisante pour le modelage. Ainsi, lorsque l'eau s'évapore, la pâte ne perd pas un gros pourcentage de son volume total.

Il a été trouvé que la gamme fonctionnelle idéale de microsphères est de 8 à 20 % du poids total de la composition, ce qui correspond à une occupation volumique de 35 à 60 %. Si elles sont présentes en quantité inférieure à 8 % du poids total, la pâte devient poisseuse à cause d'un excès d'eau, alors que si leur quantité est supérieure à 20 % du poids total, il apparaît un effritement, une perte de volume de la pâte et des flexibilités et des malléabilités limitées. Les concentrations optimales déterminées en microbilles sont comprises entre 10 et 15 % du poids de la composition totale de la pâte. Le diamètre des microsphères utilisées joue aussi un rôle important. Ainsi, il faut qu'il soit compris entre 30 et 60 microns et le diamètre idéal pour la présente invention est de 50 microns. Des microbilles plus larges donnent un aspect granuleux à la pâte à modeler, alors que des microbilles plus petites résultent en la formation d'une pâte plus lourde, mais d'un autre côté plus lisse. Par conséquent, le choix de la taille des microbilles utilisées dépend des propriétés finales de malléabilité désirées par l'utilisateur. D'autre part, les microsphères utilisées possèdent un revêtement mouillant, qui facilite le mouillage des microbilles par les ingrédients liquides aqueux de la pâte à modeler. Cela contribue au côté lisse et non poisseux du produit final, permettant une manipulation facile de la pâte. Le revêtement préféré est le carbonate de calcium, mais on peut aussi utiliser le talc et l'aluminium trihydraté.

Une des microsphères préférées est vendue sous le nom commercial "K-25" par "3M Corporation" : il s'agit d'une microbille ultra légère, élastique, polymérique et recouverte de carbonate de calcium. Ce composé léger réduit la densité de la pâte à modeler et occupe le volume non attribué à l'eau et à la résine. Ces microsphères polymériques sont stables à la découpe, résistantes aux impacts

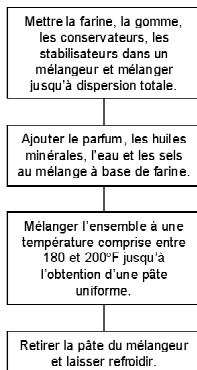


Figure 1 : Mode opératoire pour la fabrication d'une pâte à modeler

et restent donc intactes lors des conditions de formulation. D'autres microbilles peuvent être exploitées. Il peut s'agir de microsphères céramiques dont le diamètre est compris entre 15 et 40 microns et dont la densité est de $0,7 \text{ g/cm}^3$. Cependant, celles-ci donnent un aspect granuleux et une coloration brune à la pâte à modeler. On peut aussi utiliser des microsphères à base de silicate d'aluminium, dont le diamètre est compris entre 1 et 1000 microns et dont la densité est comprise entre $2,1$ et $2,5 \text{ g/cm}^3$. Les microbilles plastiques faites d'une variété de matériaux sont aussi valables, pour des diamètres compris entre 1 et 1000 microns et des densités variant entre $0,13$ et $0,95 \text{ g/cm}^3$. On peut s'étonner que des microbilles dont la densité est supérieure à 2 g/cm^3 soient utilisées alors que le but de leur incorporation est de diminuer la densité de la pâte à modeler. En réalité, elles peuvent être employées avec d'autres matériaux pour aboutir à des combinaisons particulières des propriétés.

Il est nécessaire qu'une certaine quantité d'eau soit présente dans la pâte à modeler afin que celle-ci présente un toucher agréable, lisse, non collant et une bonne élasticité. La quantité minimale d'eau doit être de 30 % en poids alors que la quantité maximale doit être de 40 % en poids. Une teneur en eau inférieure au minimum rend la composition trop sèche avec une perte d'étirement alors qu'un excès d'eau entraîne la formation d'un produit coulant et visqueux. Enfin, il faut utiliser un liant aqueux tel qu'une gomme guar, la cellulose hydroxypropylique, l'alginate de glycol propylène, la gomme de karaya ou des matériaux similaires, dans une quantité comprise entre 1 à 5 % du poids total. La pâte à modeler peut contenir d'autres composants additionnels qui sont optionnels : un émollissant, un conservateur et un colorant.

Les émollissants ne sont pas des composants essentiels, mais il est préférable de les additionner pour aider à plastifier le mélange. Ils permettent de conserver les qualités de douceur et d'étirement des compositions. De plus, ils empêchent la perte d'eau d'une façon importante. Sans émollissant, la pâte à modeler serait plus fragile. Il existe une grande variété d'émollissants exploitables mais les préférés sont le triglycérol et la glycérine car ce sont de très bons plastifiants qui permettent d'obtenir une pâte avec une texture lisse. L'idéal est que la composition contienne entre 5 et 10 % d'émollissants.

Un autre additif utile est un conservateur qui permet d'augmenter la durée de vie de la pâte à modeler. Il en existe une grande variété : ainsi, on peut utiliser les formes méthylque, éthylique, butylique et propylique du paraben (les parabens sont des esters de l'acide parahydroxybenzoïque qui

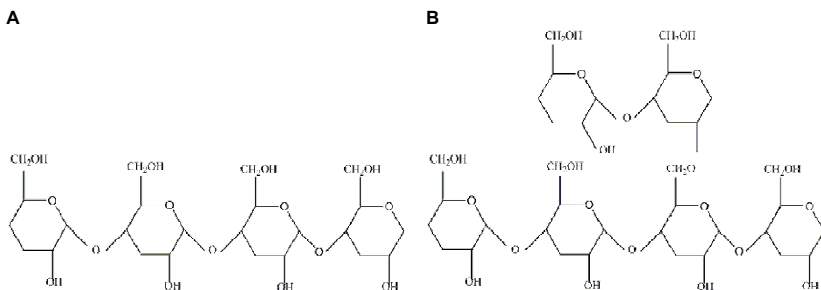


Figure 2 : Structure de l'amylose (A) et structure de l'amylopectine (B)

empêchent la croissance des champignons et des bactéries [2]). D'autre part, on peut additionner des sels tels que le carbonate de sodium, le chlorure de sodium ou le sulfate d'aluminium pour leur emploi en tant que conservateurs. Les sels présentent aussi un autre rôle : ils permettent de retenir l'eau. En général, la quantité de conservateurs avoisine les 3 % du poids total de la pâte à modeler.

Si aucun colorant n'est utilisé, la pâte obtenue est blanche, ce qui peut convenir à certaines applications. Cependant, si l'on désire avoir une pâte colorée, il existe de nombreux pigments et teintes possibles. Les pâtes à modeler fluorescentes sont très à la mode en ce moment et particulièrement attractives pour les enfants. On peut trouver par exemple des pigments fluorescents commercialisés sous les marques "Aurora Pink T-1 1-3", "Saturn Yellow T-17-N" et "Signal Green T-18-3". La composition en colorant de la pâte à modeler peut aller jusqu'à 6 % du poids total. Les pigments typiques sont les colorants vendus sous le nom de série T par "Day Glow Corporation of South Gate City, Calif" [1]. C'est donc la combinaison de tous ces ingrédients dans les proportions citées précédemment qui confère à la pâte à modeler ses caractéristiques uniques d'étirement et de flexibilité (Tableau 1).

Dans ce brevet de Mattel, un mode opératoire a aussi été présenté pour produire cette pâte à modeler. Il faut tout d'abord introduire la farine, la gomme, les pigments, les conservateurs ainsi que les stabilisateurs dans un mélangeur et les mélanger jusqu'à ce que tous les ingrédients soient bien dispersés. Ensuite sont ajoutés l'huile minérale, le parfum, l'eau et des sels. L'ensemble est mélangé et porté à une température comprise entre 180 et 200°F, jusqu'à l'obtention d'une pâte uniforme. Finalement, la pâte est retirée du mélangeur et refroidie (Figure 1).

Brevet Hasbro

Étudions un brevet de Hasbro cette fois-ci, qui traite du problème de l'amidon dans les pâtes à modeler pour enfants [3]. Il est important de bien connaître la structure de l'amidon pour pouvoir comprendre l'intérêt de ce brevet [4-8]. L'amidon est formé de deux types de polymères de glucose : l'amylose et l'amylopectine. Chaque molécule peut contenir de 100 à 20 000 glucoses. L'amylose est formée de chaînes linéaires de glucoses liés par une liaison α -(1,4)-D-glucosidique (Figure 2a). Cette longue chaîne prend la forme d'une hélice (6 résidus par tour d'hélice), stabilisée par des liaisons hydrogènes entre les groupes hydroxyles et les molécules d'eau. L'amylopectine quant à elle est

Tableau 2 : Pourcentages d'amylose et d'amylopectine dans différents types d'amidon

Source	Pourcentage d'amylose	Pourcentage d'amylopectine
Maïs	25	75
Waxy maïs	<1	>99
Pomme de terre	20	80
Riz	19	81
Waxy riz	<1	>99
Tapioca	17	83
Blé	25	75
Sorgho	25	75
Waxy sorgho	<1	>99

formée de chaînes ramifiées. Les glucoses des chaînes sont liés par des liaisons α -(1,4)-D-glucosidiques alors que les ramifications se font par des liaisons α -(1,6)-D-glucosidiques (Figure 2b).

L'amylose et l'amylopectine, de structures chimiques différentes, possèdent aussi des caractéristiques distinctes. Les solutions aqueuses d'amylopectine sont caractérisées par une forte viscosité, une stabilité et une résistance à la formation de gel. Les chaînes d'amylose, qui sont droites, donnent des solutions moins visqueuses que les solutions d'amylopectine. Elles sont également plus solubles que les chaînes d'amylopectine qui sont ramifiées. L'amylose forme ainsi des gels à cause de ses longues chaînes. Les solutions aqueuses d'amylose sont très instables : ce phénomène est dû à l'attraction et à l'association intermoléculaires des molécules d'amylose voisines, ce qui conduit à une augmentation de la viscosité, à la rétrogradation et sous des conditions spécifiques à la précipitation des particules d'amylose. Mais notons un élément très important : l'amylopectine interfère sur l'interaction entre les chaînes d'amylose.

Il existe plusieurs types d'amidon auxquels correspondent différents pourcentages d'amylose et d'amylopectine (Tableau 2). Par exemple, l'amidon dit "waxy" (en français "cireux") contient presque 100% d'amylopectine, ces pâtes "waxy" étant typiquement considérées comme non gélifiantes. Il est important de noter que les propriétés physico-chimiques de l'amidon influent sur la texture de la pâte à modeler. A température ambiante, l'amidon absorbe peu d'eau et son pouvoir gonflant est également faible en raison de sa structure cristalline. Par contre, lorsque la température augmente, l'absorption d'eau croît ce qui entraîne une solubilisation de l'amylose et de l'amylopectine pour former une solution colloïdale. La structure cristalline des granules d'amidon est perturbée et la phase de gélatinisation apparaît. L'emploi d'amidon dans les pâtes à modeler pose le problème de la rétrogradation qui correspond au passage de l'amidon d'un état soluble, dispersé et amorphe à un état cristallin insoluble. Autrement dit, c'est l'insolubilisation irréversible de la pâte d'amidon avec la formation d'un gel ou d'un précipité suivant la concentration. La rétrogradation est donc un processus impliquant la réassociation des granules d'amidon, qui apparaît lorsqu'un gel à base d'amidon qui vient juste d'être produit est refroidi. La rétrogradation est principalement due à la présence d'amylose dans l'amidon. En effet, les molécules linéaires d'amidon se lient les unes aux autres et forment un ensemble de chaînes parallèles de polysaccharides grâce à la création de liaisons hydrogènes entre les groupements hydroxyles des molécules voisines. L'amylopectine, qui possède une structure ramifiée,

Tableau 3 : Composition d'un pâte à modeler décrit dans le brevet de Hasbro [3]

Ingrédients	Pourcentages massiques
Eau	20- à 50 %
Sel (NaCl, KCl, CaCl ₂)	5 à 15 %
Lubrifiant (huiles minérales ou végétales)	2 à 4,5 %
Tensioactifs (HLB* entre 12 et 15)	0,2 à 1 %
Liants à base d'amidon issus de la farine (blé, riz, tapioca, seigle)	30 à 42 %
Conservateurs (propionate de calcium, benzoate de sodium, méthyl-, éthyl- ou butyl-parabens, borax)	0,1 à 1 %
Durcisseur (sulfate d'aluminium et de sodium, sulfate d'aluminium et de potassium, sulfate d'aluminium et d'ammonium et sulfate d'aluminium)	0 à 1 %
Inhibiteur de rétrogradation (amylopectine ou amidon "waxy")	2 à 10 %
Emollients (glycérine ou polyéthylène glycol)	0 à 25 %
Parfum	0 à 0,5 %
Colorant	0 à 3,5 %

* HLB : balance hydrophile lipophile

a moins tendance à subir la rétrogradation. Grâce à sa structure ramifiée, elle empêche la formation d'un gel et la rétrogradation est plus lente qu'avec l'amylose. On peut émettre l'hypothèse que l'amylopectine, comprenant des ramifications, est moins apte à reformer un réseau cristallin que l'amylose.

Ainsi, ces processus de gélatinisation et de rétrogradation affectent les caractéristiques des produits contenant de l'amidon. Pendant la fabrication des pâtes à modeler à base d'amidon, la gélatinisation apparaît formant des produits à modeler qui sont doux et faciles à manipuler et à façonner. Cependant, la rétrogradation commence à apparaître assez rapidement après la fabrication, ce qui cause un durcissement et une augmentation de la viscosité de la pâte à modeler. Ces deux caractéristiques sont indésirables car des produits plus durs sont plus difficiles à manipuler et à modeler, en particulier pour des jeunes enfants.

Il a donc fallu trouver une solution pour résister à la rétrogradation du produit [3]. Cette invention préconise l'introduction d'un inhibiteur de rétrogradation. Comme nous l'avons montré précédemment, l'amylopectine peut jouer ce rôle, mais aussi l'amidon "waxy" de blé, de riz ou de pomme de terre qui contient un fort pourcentage en amylopectine (> 99 %). La composition de la pâte à modeler peut être celle décrite dans le tableau 3. Ce brevet de Hasbro montre que la combinaison d'un amidon "waxy", tel que l'amidon de maïs "waxy", avec un agent liant à base d'amidon, tel que la farine de blé, permet d'obtenir une pâte à modeler qui est douce, flexible, peu visqueuse, non collante et résistante à la rétrogradation, ce qui rend le produit facile d'utilisation pour le modelage de figures ou de formes.

A vous maintenant...

Avec ces deux brevets, on peut se rendre compte qu'il n'est pas si facile d'élaborer une pâte à modeler lorsque l'on veut essayer d'obtenir les meilleures caractéristiques possibles. Cependant quelques professeurs des écoles (*remarque de l'éditeur : il ne s'agit pas des professeurs de l'ENSCR*)



Figure 3 : Pâte à modeler "maison" fourni généreusement par une professeur des écoles.

essaient de se transformer en formulateur en créant leur propre pâte à modeler [9]. Une des "recettes" qui circule dans le milieu de l'enseignement comprend les ingrédients suivants : 2 tasses de farine de blé, 2 cuillères à soupe d'huile, 2 tasses d'eau froide, 1/2 cuillère à soupe d'alun de potassium, 2 tasses de sel fin, 1/2 tasse de maïzena et du colorant alimentaire. Le tout est introduit dans une casserole et chauffé à feu doux en mélangeant régulièrement. La casserole est retirée du feu lorsque la pâte se détache des parois de celle-ci (figure 3).

Maintenant vous ne verrez peut-être plus la pâte à modeler de la même façon. On peut se rendre compte du travail qui peut être effectué par un formulateur pour essayer de satisfaire aussi bien l'enfant, qui est le principal utilisateur, que les parents. Les enfants souhaitent une pâte à modeler qui soit modelable facilement, légère, agréable au toucher et sans odeur, alors que les exigences des parents ou des enseignants sont plutôt du point de vue de la toxicité et du caractère non tâchant et propre du produit. Quelles nouveautés pourrait-on s'attendre à découvrir dans les futures pâtes à modeler ? On ne le sait pas encore mais des améliorations seront sûrement encore apportées aux prochaines pâtes à modeler qui seront commercialisées.

Références

- [1] Brevet US 5,972,092 du 26/10/99 de Mattel
- [2] www.weballergies.com/fiches/parabens.html (consulté en Mars 2005)
- [3] Brevet US 6,713,624 du 30/03/04 de Hasbro
- [4] www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/T0818F/T0818F09.htm (consulté en Avril 2005)
- [5] www.bakingbusiness.com/refbook_results.asp?ArticleID=54240 (consulté en Avril 2005)
- [6] ead.univ-angers.fr/~jaspard/Page2/COURS/3CoursdeBiochSTRUCT/1Glucides.htm (consulté en Avril 2005)
- [7] www.lsbu.ac.uk/water/hysta.html (consulté en Avril 2005)
- [8] www.foodinnovation.com/pdfs/Selecting%20Optimal%20Starch.pdf (consulté en Avril 2005)
- [9] auxpetitesmains.free.fr/bricopatamodeler.htm (consulté en Février 2005)