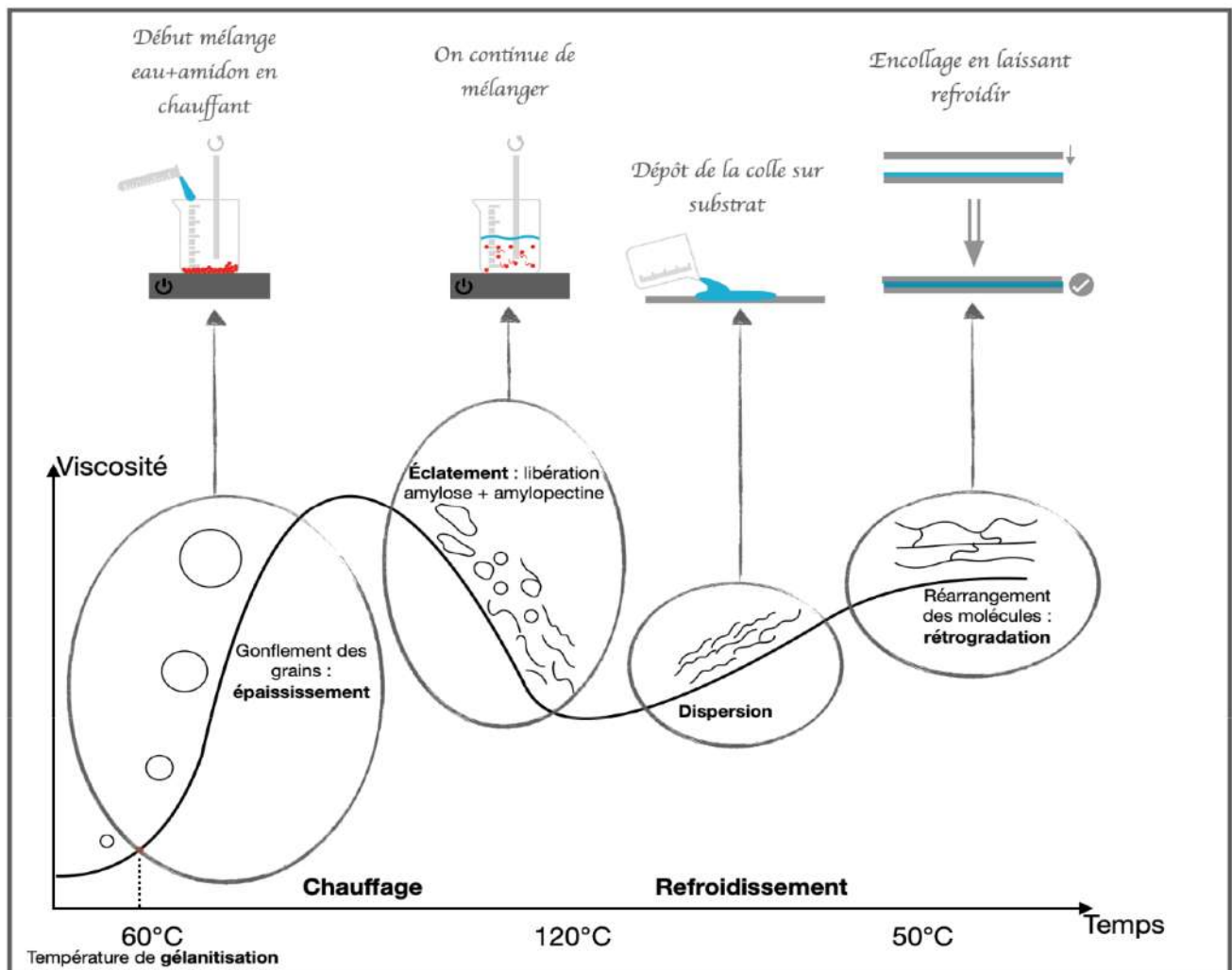


L'amidon : un adhésif naturel

Résumé : comment se forme et s'utilise la colle d'amidon ?



I/ Histoire de l'adhésif

Informations générales :

L'amidon appartient à la famille des polysaccharides. Il s'agit d'une molécule de réserve présente chez de nombreux végétaux comme les céréales (maïs, blé, riz ...) et la pomme de terre que l'on peut extraire sous forme d'une poudre blanche. En Europe, 73% de la production mondiale d'amidon vient du maïs, 21 % de la pomme de terre. [1]

La colle d'amidon est utilisée depuis longtemps en Orient pour coller le papier. Elle a été popularisée en France dans les années 70 avec la colle Cléopâtre, composée de farine et d'huile d'amande, et utilisée pour les activités manuelles des enfants. Elle est aujourd'hui employée dans le domaine de la restauration, de l'emballage mais aussi pour coller les papiers-peints. Les colles à base d'amidon sont fabriquées à partir d'amidon dispersé dans de l'eau chaude dont la solubilité est de 50 g/L dans de l'eau à 90°C [5]. Elles présentent une teneur en extrait sec généralement comprise entre 18% à 20 % et une viscosité d'environ 500 mPa.s [1]. Ces colles sont principalement utilisées pour coller les composés à base de cellulose comme le papier et le carton. L'inconvénient de ces colles est leur courte période de conservation, du fait du caractère biodégradable de l'amidon. Ce problème surtout rencontré lorsque l'on fabrique sa colle "maison" est atténué par des modifications chimiques ou ajout d'additifs dans les colles industrielles.

II/ Chimie, rhéologie

Structure de l'amidon :

Comme dit précédemment, l'amidon se présente sous forme d'une poudre blanche extraite des organes de réserve des végétaux. Cette poudre est constituée de grains blancs, plutôt allongés et de forme irrégulière dont la taille varie de 1 à 100 µm. La forme générale des grains dépend de la provenance de l'amidon. Il y a donc bien plusieurs amidon et donc plusieurs adhésif réalisable.[3]

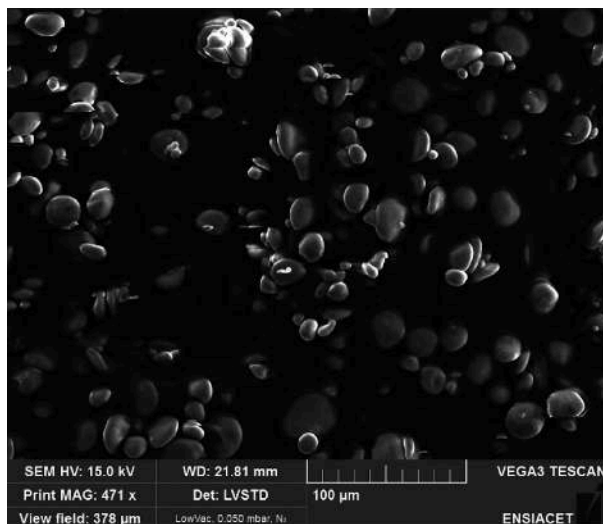


Figure 1 : Amidon de blé, MEB environnemental

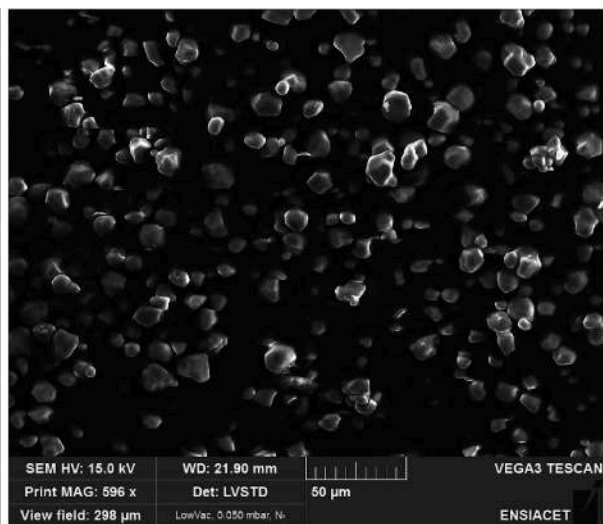


Figure 2 : Amidon de maïs, MEB environnemental

Ces grains sont constitués essentiellement de deux homopolymères de D-glucose, l'amylose (molécule linéaire) et l'amylopectine (molécule ramifiée). Le ratio amylose/amylopectine dépend de l'origine botanique de l'amidon : maïs (1:2.5), pomme de terre (1:3).

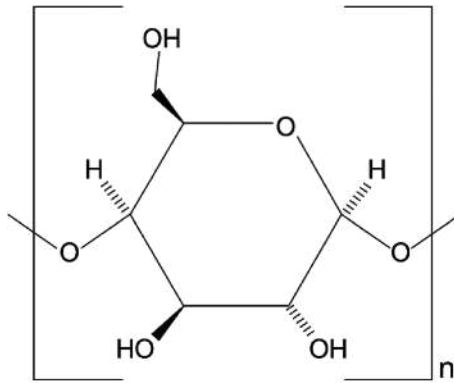


Figure 3 : Amylose

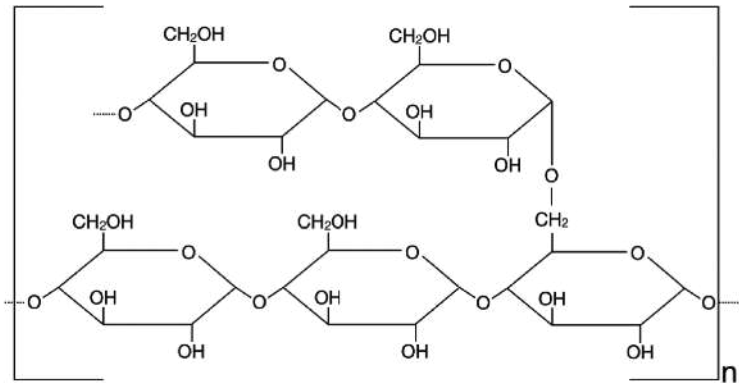


Figure 4 : Chaîne d'amylopectine

Lorsque l'on observe ces grains au microscope optique, on observe une alternance de zones claires et de zones sombres sous forme de couches concentriques. Les zones claires correspondent aux parties amorphes et les zones sombres aux parties semi-cristallines composées de lamelles cristallines (chaînes polymères repliées en accordéon). [1] [2]

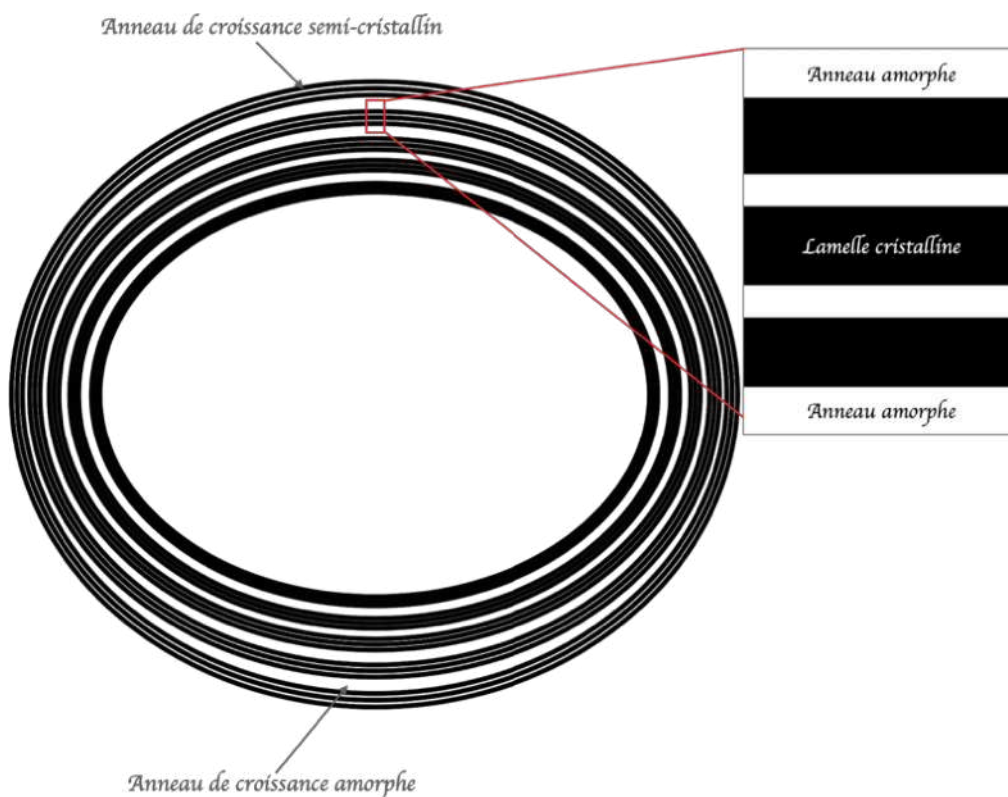


Figure 5 : Structure d'un grain d'amidon

Rhéologie :

Suspension instable : avec l'eau, on obtient du lait d'amidon mais à une température de 70 °C, elle devient visqueuse et translucide. [3]

En présence d'eau chaude (60-80°C), l'amidon forme une solution colloïdale qui s'épaissit progressivement pour former un gel, que l'on appelle empois. L'organisation de ce gel lui permet de former des liaisons hydrogènes avec d'autres composés notamment les composés à base de cellulose comme le papier, le carton, le bois ... Cette réorganisation est due à un changement de structure du grain d'amidon. Il subit d'abord un gonflement qui entraîne alors une dilatation du réseau macromoléculaire, ce phénomène est appelé **sorption**. Puis s'ensuit la **gélatinisation**. Les chaînes d'amylose migrent à l'extérieur du grain par diffusion, l'espace ainsi libéré permet la fusion de la phase cristalline (désorganisation des hélices formées par les longues chaînes d'amylopectine). La gélatinisation est un phénomène irréversible. Ce phénomène de dispersion se produit, en milieu aqueux à partir d'une température appelée température de gélatinisation. [3]

Amidon	Températures de gélatinisation (en °C)
Manioc	66 à 78
Maïs	68 à 79
Pomme de terre	58 à 71
Riz	66 à 82

Figure 6 : Comparaison des températures de gélatinisation entre différents amidons

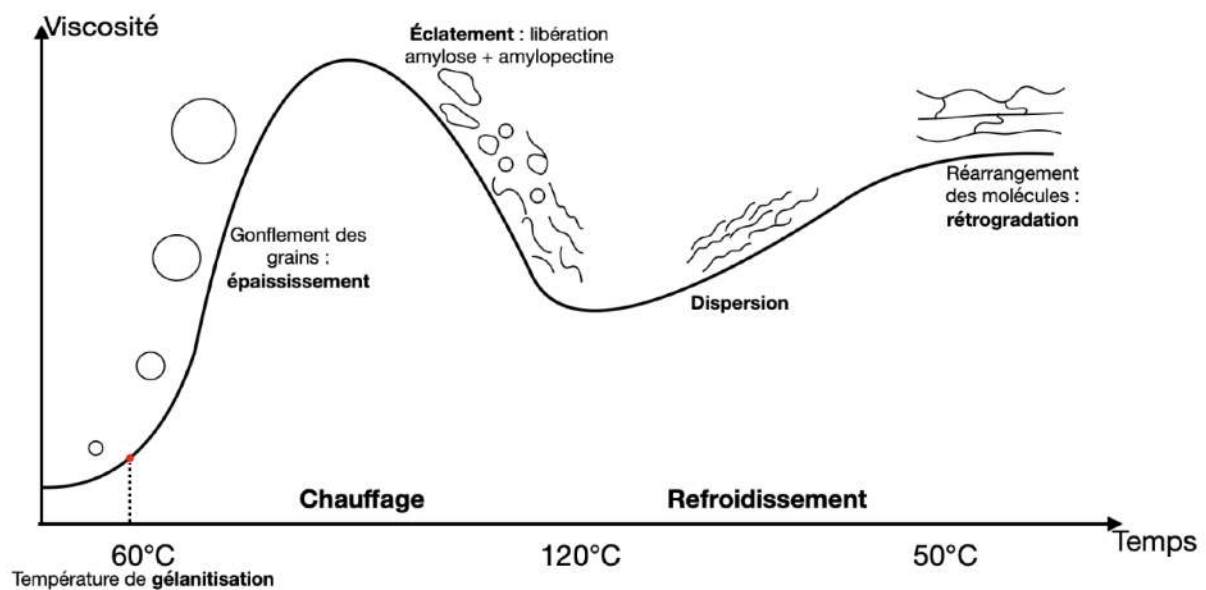


Figure 7 : Évolution de la viscosité de la colle d'amidon en fonction du temps

Lorsque la dispersion d'amidon est refroidie, la solubilité des macromolécules diminue et on assiste à une réorganisation des chaînes d'amylose et d'amylopectine. Un gel blanc opaque et poreux ayant des propriétés viscoélastiques se forme alors, cette phase s'appelle la **gélification**.

Température de gel : 50°C, dépend de l'agitation moléculaire, la taille des grains, la nature de l'amidon et sa concentration, de l'eau utilisée.

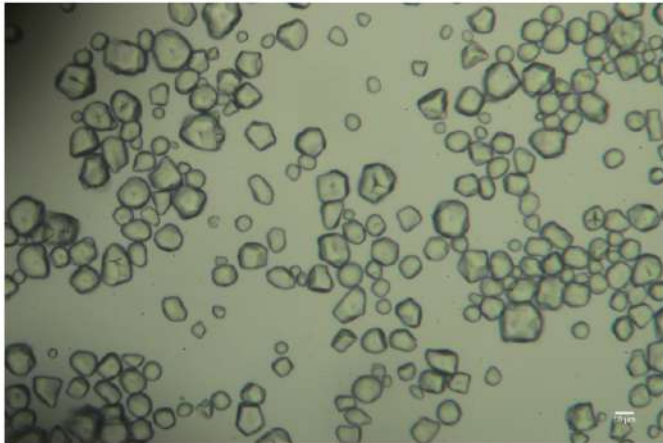


Figure 8 : Amidon de maïs avant gélatinisation, microscope optique

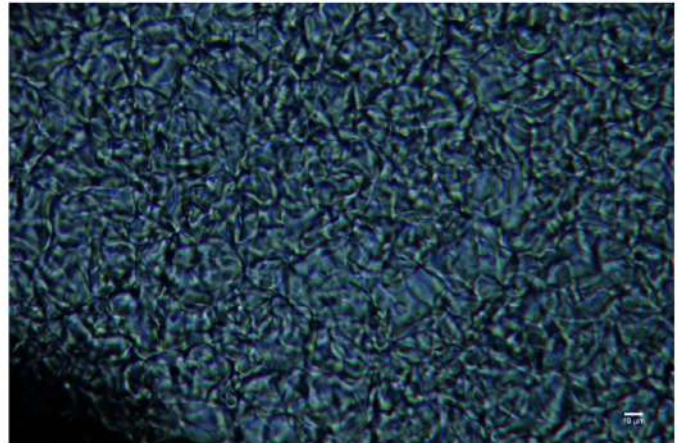


Figure 9 : Amidon de maïs après gélatinisation (grains fortement éclatés), microscope optique lumière polarisée

III/ Théorie(s) de l'adhésion mise(s) en jeux

Pour le collage on utilise dans la plupart des cas des **colles d'amidons modifiées** qui permettent une meilleure solubilité de l'amidon dans l'eau froide, un meilleur collage et de moduler la viscosité. Différentes techniques de modification de l'amidon existent comme la cuisson ou l'hydrolyse par des agents acides [1].

L'ajout de soude par exemple permet de baisser la température de gélatinisation et donc on obtient un collage plus rapide.

Étapes du collage [4]:

Étape 1 - L'encollage : application et étalement de la colle sur le substrat. Lors de cette étape l'amidon est sous forme dispersée, ce qui confère à la colle une faible viscosité et permet un bon étalement sur le substrat.

Étape 2 - L'assemblage : Après un certain temps, appelé temps de gommage, la colle a atteint un niveau de viscosité suffisamment élevé pour procéder à l'assemblage; c'est-à-dire la mise en contact des deux substrats avec la colle. En effet, la colle commence à refroidir et la gélification (réorganisation des chaînes d'amylose et d'amylopectine) a commencé. La colle pénètre alors dans chacun des substrats en formant des liaisons hydrogènes avec celui-ci. Cette étape est cruciale pour la qualité du collage : si la pénétration n'est pas suffisante, le joint de colle sera trop fragile.

Étape 3 - La prise : Une fois l'assemblage effectué, il faut attendre un certain temps avant de pouvoir manipuler l'objet, c'est-à-dire que le système ait obtenu des propriétés mécaniques suffisantes. Ce temps est appelé temps d'assemblage fermé. On qualifie généralement cette étape comme la "prise" même si celle-ci commence souvent des l'encollage. Une fois que la cohésion à l'interface est assurée, l'objet est prêt à être utilisé.

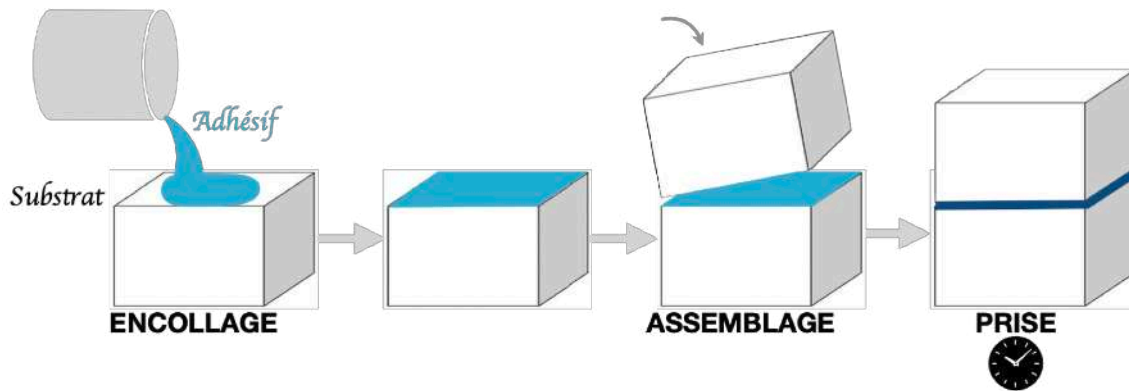


Figure 10 : Étapes du collage

Théories de l'adhésion mises en jeu :

- **Théorie mécanique [6]** : L'amidon et les substrats généralement utilisés comme le papier et le carton présentent une bonne affinité. En effet ces substrats sont naturellement poreux et rugueux ce qui permet un bon ancrage de la colle ainsi qu'un bon mouillage de la surface du substrat. L'affinité chimique entre colle et substrat permet ainsi une pénétration en profondeur de la colle.
- **Théorie de la diffusion [7]** : L'amidon et la cellulose (qui compose les substrats) sont d'un point de vue chimique assez similaires. En effet, ce sont des chaînes polymères issues du monde végétal avec des groupements hydroxyl. La diffusion de l'amidon de la colle dans le substrat de cellulose (et inversement) est ainsi favorisée, et permet de former une interphase homogène lors du séchage. On parle de physisorption.
- **Théorie thermodynamique [8]** : La présence de nombreux groupements OH sur l'amidon de la colle et la cellulose du substrat va entraîner la formation de liaisons hydrogène (10 à 40 kJ.mol), qui sont à la base de l'adhérence de la colle d'amidon.

IV/ Applications/utilité de l'adhésif, avantages et inconvénients (« grand public »)

Utilisations :

- Emballage alimentaire :
 - Étiquetage: la colle autorise des collages corrects à des cadences moyennes à lentes (20 000 flacons par heure maximum).
 - Fabrication de sacs et sachets papier : la colle d'amidon épaisse garnit bien le joint entre les deux feuilles ou plis de papier, est incolore après séchage et ne tache pas.
- Décoration intérieur : Contre collage papier décor/carton, papier-peints

Avantages : son coût, l'absence de risques au cours de sa manipulation et son inertie vis-à-vis du substrat (pas d'altération chimiques).

Inconvénients : ces colles sont pauvres en propriétés mécaniques (utilisable seulement sur des substrat légers et non soumis à des sollicitations mécaniques) et présentent un faible extrait sec du fait de leur forte teneur en eau (risque que la surface du substrat reste humide après le séchage)[1].

V / Forces mise en jeu

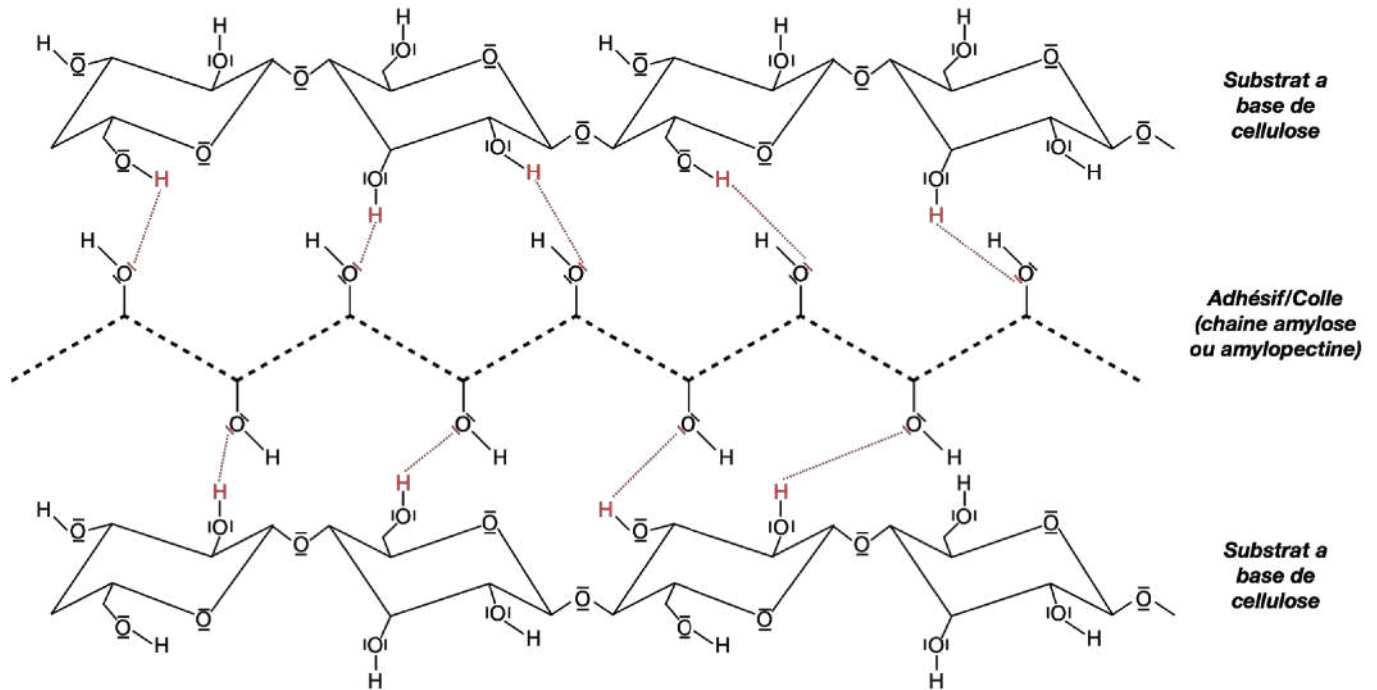


Figure 11 : Liaisons hydrogènes à l'interface substrat/colle

Les seules forces mises en jeu lors du collage avec de la colle d'amidon résulte des liaisons hydrogènes à l'interface entre l'adhésif et le substrat.

Pendant ces liaisons sont dites "faibles" car elles permettent une faible cohésion entre les molécules. Les propriétés mécaniques de l'interface adhésif/substrat sont donc assez faibles ; c'est pourquoi, comme décrit précédemment, cet adhésif est surtout utilisé pour des substrats légers comme le papier et le carton.

Bibliographie

1. MADDI Lydia, TOUAHRIA Cherifa. *Étude comparative entre deux types de colles à base d'amidon. Mémoire de fin de cycle. Université A.MIRA de Bejaia (2013).*
2. MBOUGUENG Pierre Désiré. *Influence des amidons natifs ou acétylés de manioc et de pomme de terre sur les propriétés physico-chimiques et texturales du pâté de bœuf. Thèse. Institut National Polytechnique de Lorraine (2009).*
3. RABEARISOA Solotiana Rija. *Procédé de fabrication des colles amyliées. Thèse. Université d'Antananarivo (2015).*
4. R. Deterre, B.Lestriez. *Introduction aux matériaux polymères. Technique de l'ingénieur. 2016.Lavoisier Tec&Doc. Chapitre 5 :application des polymères au collage.*
5. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Amidon>, consultée le 21 novembre 2020
6. J. W. McBain and D. G. Hopkins. *On Adhesives and Adhesive Action. The Journal of Physical Chemistry 1925 29, 188-204.*
7. Voyutskii SS. *The Diffusion Theory of Adhesion. Rubber Chem. Technol. 1960 ; Vol. 33 (3) : 748–756*
8. Sharpe LH, Schonhorn H. *Thermodynamic adhesion. Chem. Eng. News. 1963 ; Vol. 41 (15) : 67–88.*

Logiciel utilisé pour les diverses images : Keynote, MacOS.