

# Les matériaux du futur

Bertrand FAURIE

## DES EMBALLAGES RÉSISTANTS ET BIODÉGRADABLES

Des chercheurs du MIT, aux Etats-Unis, ont testé l'efficacité de la soie pour protéger des fruits et légumes, et limiter ainsi leur dégradation. Evidemment, il ne s'agit pas d'emballer les fruits dans du tissu, cela coûterait beaucoup trop cher.

Les chercheurs ont utilisé directement la molécule à l'origine du fil de soie : la **fibroïne**. Il s'agit d'une **protéine fibreuse** présentant des motifs répétés des **trois mêmes acides aminés** : alanine, sérine et glycine. Les protéines s'empilent en **feuillets**, ce qui leur confère **résistance et élasticité**.

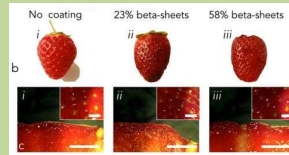
Généralement **insoluble** dans l'eau, elle est rendu soluble par un traitement acide doux associé à l'utilisation d'ultrasons : les chercheurs ont produit **des solutions de fibroïne**.

Ils ont ensuite enduit des fruits, fraise et banane, en les plongeant dans la solution de fibroïne : le nombre de bains et leur durée ayant une influence sur l'épaisseur de la couche de fibroïne déposée sur chaque fruit (1).

Sur les **fraises (2)** : plus l'épaisseur de fibroïne est épaisse, moins le fruit semble abîmé après 7 jours de stockage à température ambiante. Le fruit sans protection a été entièrement dégradé par des moisissures.

Sur les **bananes (3)** : les observations sont similaires à celles faites pour les fraises. Les fruits traités à la fibroïne sont plus résistants. La peau ne s'affaisse pas sous l'effet d'un poids.

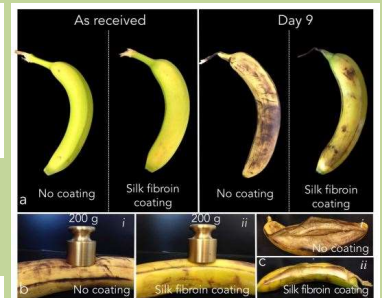
**Le traitement des fruits à la fibroïne semble réduire la possibilité d'attaque par un pathogène (moisissure), ainsi que la vitesse de maturation des fruits ; il assure également une protection mécanique. Il reste à déterminer la toxicité de cette couche de fibroïne pour le consommateur !**



1. Traitement des fraises par la solution de fibroïne. I) Absence de traitement ; II) Traitement court, peu de fibroïne (beta-sheet = feuillet bêta = structure protéique particulière) déposée sur le fruit ; III) Traitement plus long, beaucoup de fibroïne déposée sur le fruit.  
b) Aspect extérieur du fruit après traitement.  
c) Aspect du fruit en coupe, après traitement.



2. Aspect des fruits après 7 jours, à 22°C.  
« As received » correspond à l'état des fruits au temps 0 de l'expérience.  
« Day 7 » : correspond à l'état des fruits après 7 jours.  
No-coating : pas de traitement.



3. Essai de protection des bananes par pulvérisation d'une solution de fibroïne.  
a) Evolution des fruits sans traitement (no coating) ou avec traitement (silk fibroin coating) après 9 jours à température ambiante.  
b) Effet d'un poids posé sur le fruit durant 9 jours, avec ou sans traitement à la fibroïne.  
c) Etat de maturité de fruit après 9 jours à température ambiante, avec ou sans traitement à la fibroïne.

## LA LAINE AU SECOURS DE VOS DENTS

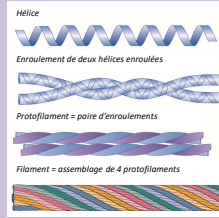
Rien n'est plus dissemblable que de la laine mérinos et une molaire d'adulte. Pourtant, la molécule qui compose les fibres de laine pourrait **aider à reconstituer** les tissus internes de la dent : il s'agit de la **kératine**. C'est une protéine **fibreuse**, hélicoïdale : les fibres de kératine s'associent entre elles pour former une structure en **cordage (1)**. La kératine est le principal constituant des **ongles, cheveux, cornes et laine**.

Lors de la progression d'une carie, il est possible que la pulpe dentaire (2), le tissu à l'intérieur de la dent, soit atteinte. Dans ce cas, la douleur ressentie est insomnante, en raison de son intensité : la pulpe est riche en terminaisons nerveuses, ce qui explique les douleurs vives. Le dentiste va alors enlever la pulpe pour stopper la douleur et la progression de la carie.

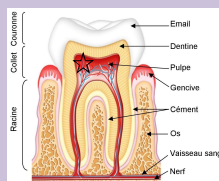
Pour l'instant, les dentistes utilisent des **matrices minérales**, à base de calcium et de silice, pour **remplacer la pulpe**. Cependant, ces matrices minérales sont de très **mauvais supports** pour assurer la **reconstitution de l'intérieur de la dent** (synthèse de dentine). En revanche, la **kératine** a déjà montré des capacités **intéressantes** pour la **reconstruction des os** : les **scientifiques ont voulu tester le pouvoir de la kératine sur un tissu différent, la dent**.

La kératine a été purifiée à partir de laine de mouton puis préparée sous la forme d'un hydrogel. Cette solution a ensuite été injectée dans des dents de rats dépulpées afin de mesurer la capacité de la dent à reconstituer la dentine, le tissu interne de la dent.

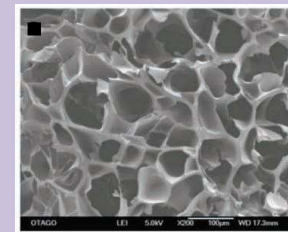
Bien que l'hydrogel soit favorable à la **prolifération cellulaire (3)** et que de la dentine soit **synthétisée** à proximité de l'hydrogel de kératine (4), il n'y pas de différences fondamentales avec des produits déjà existant. Il faudra donc attendre la mise au point d'un hydrogel plus efficace, mais la piste est très intéressante.



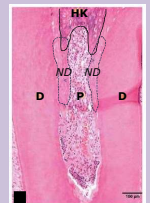
1. Structure de la kératine = filament.



2. Structure d'une dent humaine. L'étoile représente la position approximative de la figure 4.



3. Aspect de l'hydrogel de kératine au microscope électronique. La structure **poruse** est très favorable à la colonisation et la multiplication des cellules qui produisent la dentine : les **odontoblastes**.



4. Image en coupe d'une molaire de rat, après injection de l'hydrogel de kératine (HK), dans une zone dépulpée. Sous l'effet de l'hydrogel, de la dentine est synthétisée : néo-dentine (ND). D : dentine ; P : pulpe.

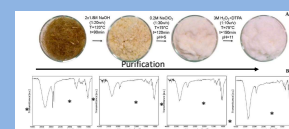
## DU LIN POUR LA GORGE

Un médicament est composé de deux éléments principaux : le **principe actif** qui est la molécule qui **soigne**, et les **excipients**. Ces derniers sont chargés **d'améliorer la diffusion** du principe actif dans l'organisme : ils peuvent par exemple faciliter sa dissolution dans l'estomac, ou au contraire, le protéger pour qu'il aille plus loin dans le tube digestif. Les excipients permettent également de **masquer un goût** trop fort du principe actif, ou de le **conserver dans le temps**. Cependant, de nombreux excipients peuvent provoquer des **effets secondaires** ou des **allergies**. Récemment, le remplacement d'un excipient dans le **Levothyrox®** a provoqué des effets secondaires intenses chez des centaines de patients.

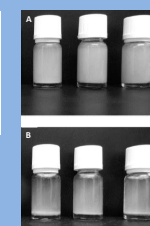
La **recherche de nouveaux excipients** est donc un sujet de recherche majeur pour l'industrie pharmaceutique. Des essais ont été conduits avec la **cellulose**, le composant principal des plantes. Il s'agit d'un **polymère de glucose**, présent dans les parois des cellules végétales. Déjà utilisée dans l'industrie textile, le bâtiment ou l'armement, ses principes de purification sont très bien maîtrisés. De plus, la cellulose est **biodégradable**, **tolérée** par l'organisme et **facile à produire**.

Les scientifiques ont donc recherché à utiliser la cellulose, sous forme de nanocristaux, pour **délivrer un antibiotique**. Ils ont extrait la cellulose de **fibres de lin (1)**, puis ont créé des suspensions de nanocristaux (2 et 3). Ils ont ensuite imbibé les nanocristaux avec l'antibiotique afin de déterminer la capacité des cristaux à libérer le produit actif au cours du temps (4).

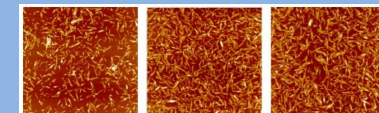
Les résultats montrent qu'il est possible de créer ces cristaux et d'y ajouter un antibiotique. Les cristaux **libèrent progressivement l'antibiotique** dans le milieu. Un essai réalisé sur des cultures bactériennes montre que **l'antibiotique est toujours actif**, et donc qu'il n'est pas altéré par son passage dans les nanocristaux.. Il reste cependant beaucoup de travail avant que les nanocristaux de cellulose soient utilisés dans les médicaments.



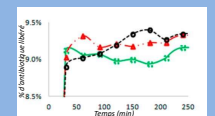
1. Evolution de la couleur et de la composition des fibres de lin, au cours de la purification de la cellulose. A) Protocole de purification et aspect de la fibre de lin : au fur et à mesure de la purification, la paille (jaune) disparaît au profit de la cellulose pure (blanche) ; B) Analyse de la composition de la fibre par spectroscopie infrarouge : les pics marqués d'un « \* » sont caractéristiques de la cellulose. Au fur et à mesure de la purification, leur taille augmente car les fibres ne sont plus constituées que de cellulose. Les pics « parasites » disparaissent peu à peu.



2. Suspension de nanocristaux de cellulose et capacité de solubilisation au cours du temps. Les différents tubes correspondent à des méthodes de purification différentes (température et concentration en acide variables). A) Jour 0 ; B) Jour 21. Une bonne stabilité en solution est nécessaire afin de garantir l'homogénéité du médicament. Tous les tubes montrent un dépôt après 21 jours ; cet aspect devra donc être réétudié par l'équipe de recherche.



3. Nanocristaux de cellulose observés au microscope électronique : leur taille est de l'ordre de 0,5 µm, soit 100 fois plus petits qu'une cellule humaine. Les différentes observations correspondent à des techniques de purification différentes.



4. Evaluation de la capacité des nanocristaux à libérer un produit actif : il s'agit d'un antibiotique dans ce cas. Les trois courbes correspondent à des concentrations différentes en antibiotique (incrément de 10). Les résultats sont assez proches pour les trois essais de concentrations : les nanocristaux libèrent environ 9 % de leur charge en antibiotique toutes les 30 minutes.

### Sources :

**Emballages résistants et biodégradables** : Marelli, B., Brenckle, M. A., Kaplan, D. L., & Omenetto, F. G. (2016). Silk Fibroin as Edible Coating for Perishable Food Preservation. *Scientific Reports*, 6(1), 25263. <https://doi.org/10.1038/srep25263>

**La laine au secours de vos dents** : Ajay Sharma, L., Love, R. M., Ali, M. A., Sharma, A., Macari, S., Avadhani, A., & Dias, G. J. (2017). Healing response of rat pulp treated with an injectable keratin hydrogel. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials*, 15(3), e244–e250. <https://doi.org/10.5301/jabfm.5000346>

**Du lin pour la gorge** : Barbosa, A. M., Robles, E., Ribeiro, J. S., Lund, R. G., Carreño, N. L. V., & Labidi, J. (2016). Cellulose Nanocrystal Membranes as Excipients for Drug Delivery Systems. *Materials (Basel, Switzerland)*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/ma9121002>

