

"TROMBONE STORY"

OU

COMMENT UTILISER DES ATTACHE-TOUT POUR PRESENTER LES POLYMERES

Bernard JORIS

Centre d'Ingénierie des Protéines

Institut de Chimie B6A, Université de Liège, Sart Tilman, B4000 Liège.

Email : bjoris@ulg.ac.be, Tel : + 32 (0) 4 366 29 54

Pour initier "en douceur" des néophytes à la découverte des polymères et à l'exploration de la structure des protéines, le pédagogue a besoin d'un objet susceptible de former des chaînettes. Il rêve aussi d'un objet qui puisse être montré au moyen d'un rétroprojecteur et, surtout, de quelque chose qui ne soit pas coûteux. Pédagogue, tu peux arrêter de rêver, cet objet existe. Il suffit de donner une nouvelle vie à l'attache-tout ou "trombone", cet objet anodin qui traîne sur les bureaux et au fond de bien des poches.

Caractéristiques d'une chaînette de trombones ordonnés.

Une chaînette de trombones assemblés de façon régulière comme dans la figure 1, présente les caractéristiques énoncées dans le tableau ci-après.



Figure 1. Chaînette de trombones assemblés de façon régulière

Caractéristiques de la chaînette de trombones représentée dans la figure 1.

- la chaînette est linéaire et orientée; elle possède deux extrémités différentes : un début et une fin.
- la chaînette est composée de trombones identiques que l'on appelle maillons.
- chaque trombone possède deux extrémités, une extrémité plate (ou bout plat) et une autre pointue (ou bout pointu).
- à l'exception des deux trombones qui sont aux extrémités, chaque trombone interne est lié au précédent et au suivant; c'est la condition nécessaire pour former la chaînette.
- pour tous les trombones internes, un bout plat est attaché à un bout pointu.
- aux extrémités de la chaînette, un bout plat et un bout pointu ne sont pas attachés à un autre trombone; ils sont "libres" comme ceux d'un trombone isolé.

La chaînette de trombones pour définir les mots-clefs des polymères et comprendre la structure des protéines

Imaginons qu'un trombone soit une molécule et que le lien qui unit deux molécules trombones l'une à l'autre soit une liaison chimique. Ensuite, transposons à la molécule trombone, les caractéristiques reprises dans le tableau ci-dessus. Dans la chaînette de molécules trombones, une liaison chimique existe entre un bout pointu et un bout plat. Dans le langage du chimiste, les bouts plats et pointus séparés sont appelés des **fonctions chimiques**¹ et il en découle que la molécule trombone est une **molécule bifonctionnelle**². Cette propriété est indispensable pour former une chaîne. A chaque extrémité de la

¹ Les mots en gras et soulignés sont soit des définitions ou des notions que l'on peut introduire au cours de la manipulation d'une chaînette de trombones.

² Dans la molécule trombone présentée dans la figure 1, les deux fonctions chimiques sont différentes. Ce n'est pas toujours le cas. Voir plus loin, la molécule trombone à deux bouts ronds.

chaîne, on retrouve une des deux fonctions chimiques non impliquée dans une liaison (la fonction est dite libre), comme dans la molécule trombone isolée.

A ce stade de la transposition, il est possible d'introduire les définitions suivantes :

- le trombone isolé qui constituera un maillon de la chaîne, est appelé **monomère**;
- la chaînette de trombones, faite de plusieurs maillons associés, constitue un **polymère** (par opposition au maillon isolé appelé monomère);
- la chaînette de la figure 1 est un polymère **linéaire** (il possède deux extrémités, un début et une fin) et on peut numéroter les maillons à partir d'une des extrémités, par exemple le bout plat;
- tous les maillons de la chaînette de la figure 1 sont identiques, c'est un **homopolymère linéaire**.

Si nous voulons parler de la structure des protéines, la molécule trombone représente conventionnellement un **acide α -aminé**. En choisissant comme exemple d'acide α -aminé la glycine, on peut facilement établir une analogie entre cette molécule et le trombone (figure 2 A) et dire que le bout plat correspond à la fonction chimique **amine primaire** et le bout pointu à la fonction **acide carboxylique**. Le corps du trombone est l'atome de carbone central (appelé "**carbone alpha**") et c'est lui qui porte les deux fonctions chimiques (NH_2 et COOH). En expliquant que la fonction amine primaire d'un acide α -aminé peut former, avec une fonction carboxylique d'un autre acide α -aminé, une liaison chimique appelée **liaison amide**, on peut établir la formule de la polyglycine (figure 2 B). Pour être complet, il faut signaler que, dans le cas particulier des acides aminés, la liaison amide entre deux acides α -aminés est appelée: **liaison peptidique**.

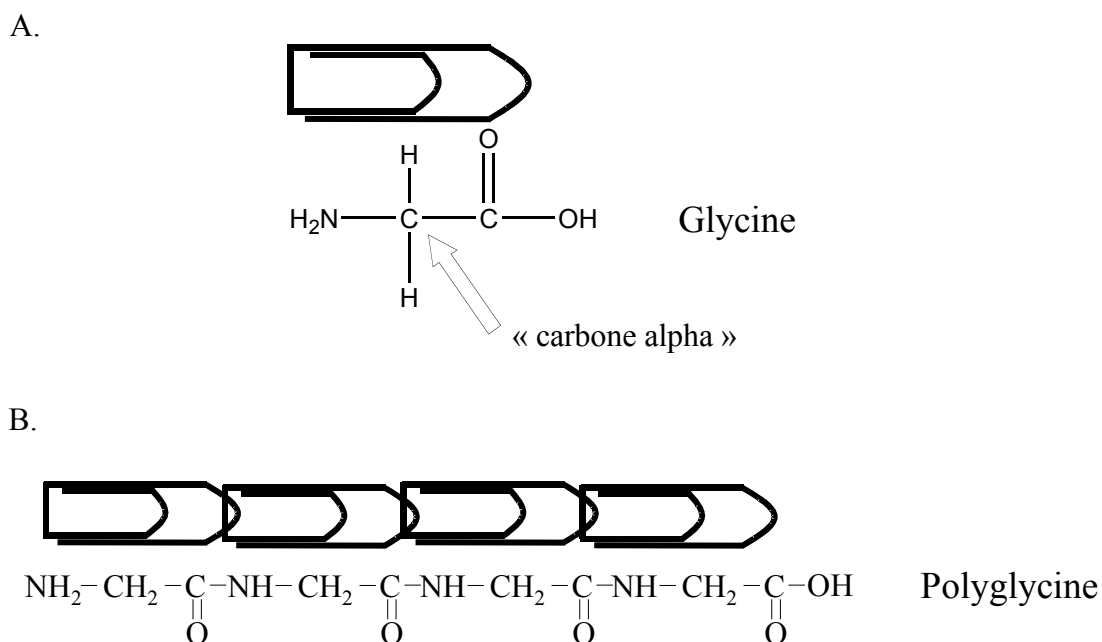


Figure 2. L'acide α -aminé glycine (A) et le polymère de polyglycine (B) et leurs correspondants trombones

Les autres acides α -aminés peuvent être présentés, en pliant de diverses façons plusieurs trombones comme dans la figure 3A,. Ensuite, à partir des 20 acides α -aminés, on peut déduire la formule générale d'un acide α -aminé (figure 3B), dans laquelle le groupement R, généralement composé de plusieurs atomes, est appelé **chaîne latérale**. Dans le cas particulier de la glycine, le groupement R est un atome d'hydrogène et cet acide α -aminé possède donc la chaîne latérale la moins volumineuse. On peut même dire qu'elle est inexistante. L'assemblage de trombones porteurs de groupements "R" variés, mime une chaînette faite d'acides aminés différents (figure 3C). L'examen de cette chaînette, met en évidence, la **chaîne principale** constituée des liaisons peptidiques + des "carbones α " et les **chaînes latérales** composées des groupements R, liés aux "carbones α " de la chaîne principale. Contrairement à celle de la figure 1, la chaînette de la figure 3C contient des maillons qui ne sont plus identiques c'est un **hétéropolymère linéaire** ou **copolymère linéaire**.

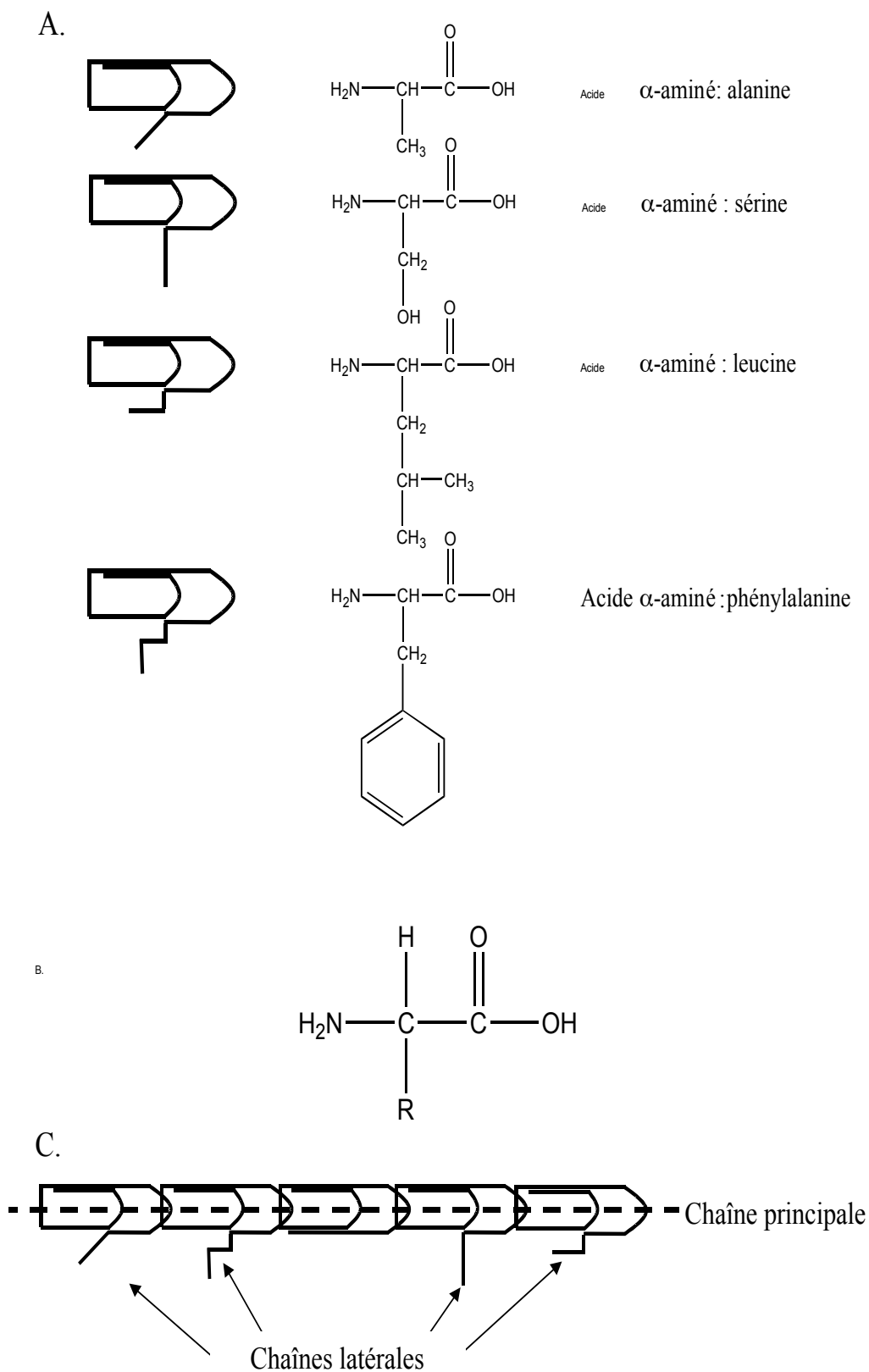


Figure 3. Différents acides α -aminés et leurs correspondants trombones (A). La formule générale d'un acide α -aminé (B). Le polymère polytrombone représentant la chaîne linéaire d'une protéine (C)

Par définition, on appelle **protéine** un hétéropolymère linéaire composé d'au moins 100 maillons d'acides α -aminés. L'usage veut que la chaîne principale soit appelée **chaîne polypeptidique** et que chaque acide α -aminé la constituant porte le nom de **résidu**. A ce stade, on peut définir la notion de **structure primaire** ou **séquence en acides aminés** d'une protéine comme la succession des acides aminés à partir de l'extrémité amine primaire libre (bout plat).

La chaînette de trombones peut se replier et se disposer dans l'espace pour former des boucles (**coil** et **β -turns**), des hélices (**hélices α**) et des zigzags (**brins β**). Ces trois conformations de la chaîne principale sont les éléments de la **structure secondaire** d'une protéine. On peut enfin définir la **structure tertiaire** d'une protéine comme le repliement de la chaîne polypeptidique d'une protéine dans les trois dimensions de l'espace (figure 4).

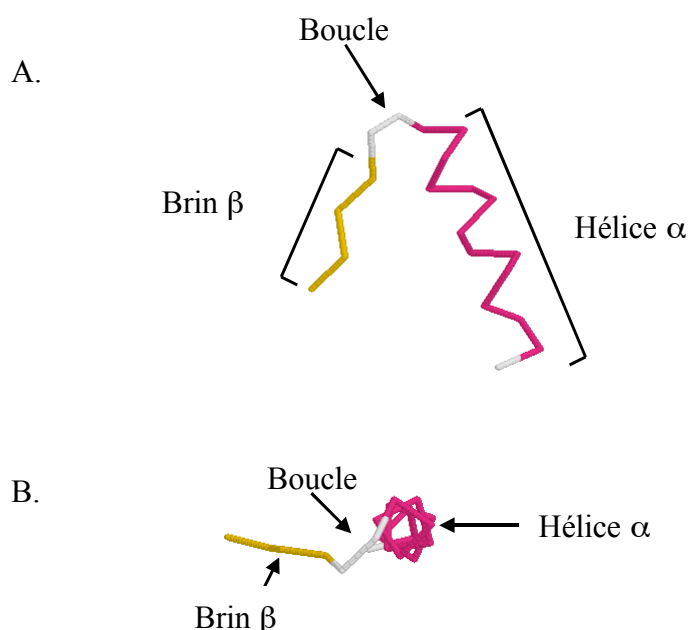


Figure 4. *Vue partielle de la structure tridimensionnelle d'une protéine*

Dans cette représentation, uniquement les carbones α de la chaîne principale sont représentés et reliés entre eux par un segment de droite. Dans cette figure, une hélice alpha et un brin bêta sont reliés entre eux par une boucle. Dans la vue A, l'axe de l'hélice α est parallèle au plan de la feuille et dans la vue B, il est perpendiculaire à ce dernier.

Dans cette description des protéines, il ne faudra pas oublier de rappeler que les acides aminés eux-mêmes sont des molécules tridimensionnelles et qu'elles ne sont pas planes comme les trombones (figure 5).

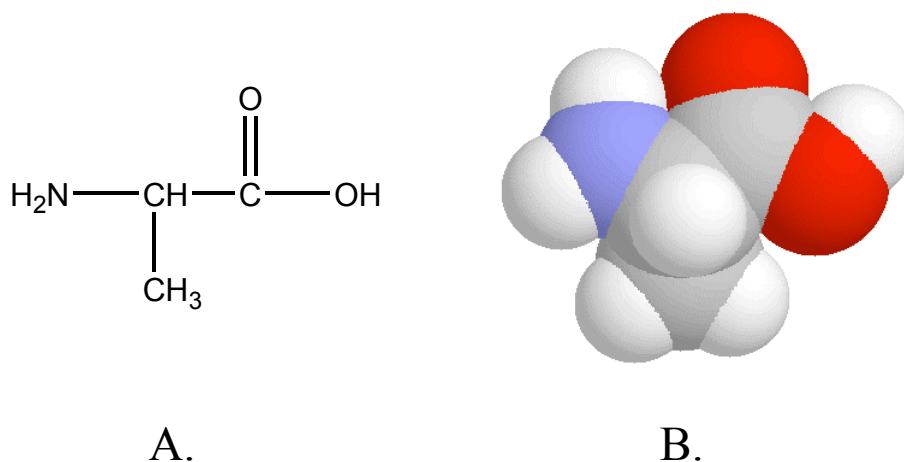


Figure 5. Formule chimique de l'acide α -aminé alanine (A) et sa représentation tridimensionnelle (B, modèle compact)

Un peu de "stéréotrombonie" à la rescousse **de la stéréochimie**

Une chaînette de trombones possédant une chaîne latérale peut être utilisée pour illustrer d'autres propriétés des polymères. C'est ainsi que l'on peut disposer les chaînes latérales les unes par rapport aux autres de trois façons différentes (figure 6). On met ainsi en évidence la disposition en **cis** et **trans** des chaînes latérales les unes par rapport aux autres. Dans les protéines, pour des raisons d'encombrement des chaînes latérales, celles-ci se disposent le plus souvent en trans.

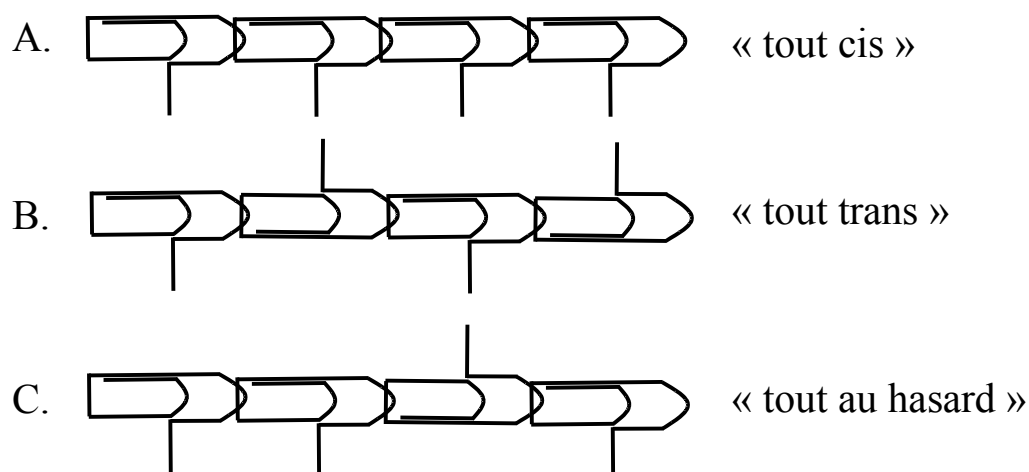


Figure 6. *Disposition en cis ou en trans des chaînes latérales d'un polymère.*

- A : toutes les chaînes latérales sont en cis les unes par rapport aux autres;
- B : toutes les chaînes latérales sont en trans les unes par rapport aux autres;
- C : les chaînes latérales sont disposées au hasard en cis ou en trans les unes par rapport aux autres.

Deux trombones identiques et possédant une chaîne latérale peuvent être utilisés pour introduire la notion de **chiralité**. En effet, si on place sur ces trombones, un petit bout de papier collant noté "UP" pour différencier la face supérieure de la face inférieure, on peut démontrer qu'un objet **asymétrique** ou **chiral** n'est pas superposable à son image dans un miroir (figure 7). Par analogie avec nos deux mains qui sont des objets chiraux, on peut faire des trombones dits gauches ou **lévogyres** (λ) et d'autres dits droits ou **dextrogyres** (d) (figure 6). Avec la boîte "Chiralité" de la mallette pédagogique "La complémentarité ..." ³, on pourra approfondir cette notion de chiralité et découvrir quand un atome de carbone est asymétrique.

³ Mallette pédagogique : « La complémentarité clef de la diversité et de la spécificité », Prix des Compagnons de la Recherche 1996.

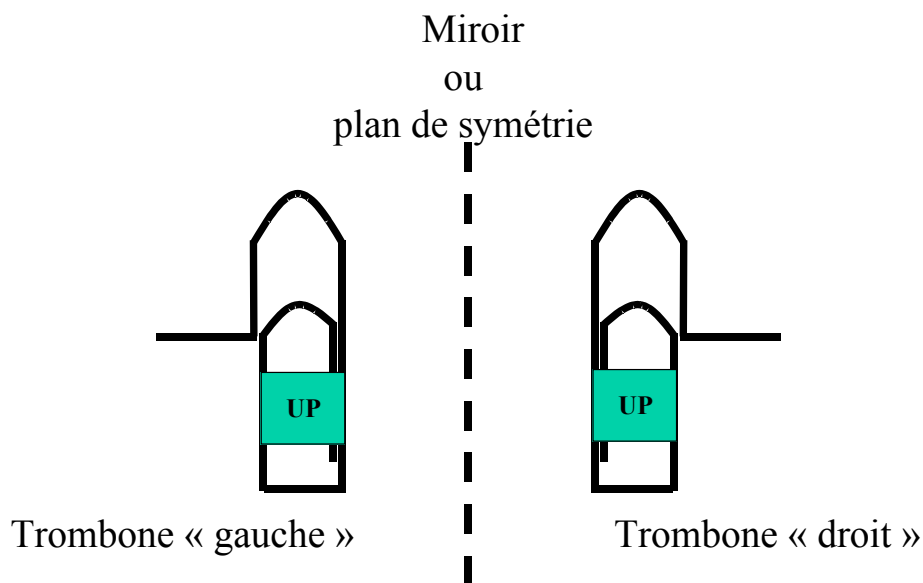


Figure 7. *Deux trombones asymétriques*

Si dans une chaînette de trombones, nous intégrons des trombones chiraux, trois cas sont possibles. En associant uniquement des trombones droits ou gauches, on obtient un polymère linéaire dit **isotactique** dont la séquence "chirale" peut s'écrire $d d d d d d$ ou $\lambda \lambda \lambda \lambda \lambda \lambda$. Si nous avons une alternance régulière de trombones gauches et droits, nous avons un polymère **syndiotactique** (séquence "chirale" : $\lambda d \lambda d \lambda d \lambda d$). Si la succession des maillons chiraux est réalisée au hasard pour obtenir la séquence chirale : $\lambda d d \lambda \lambda d \lambda d d$, le polymère résultant est dit **atactique**.

Dans une protéine, les résidus d'acides aminés sont tous des molécules de type λ ⁴, c'est ainsi que l'on peut déclarer qu'une protéine est un hétéropolymère linéaire isotactique.

⁴A l'exception de la glycine qui n'est pas une molécule asymétrique..

Et encore bien d'autres choses ...

Pour présenter un polymère linéaire **branché**, il suffit de façonner le trombone adéquat possédant à la fois deux bouts pointus et un bout plat (figure 8). Un trombone possédant deux extrémités rondes permettra de décrire un polymère comme le polyéthylène. Dans ce dernier cas, les deux fonctions chimiques permettant la formation de la liaison entre les différents maillons sont identiques.

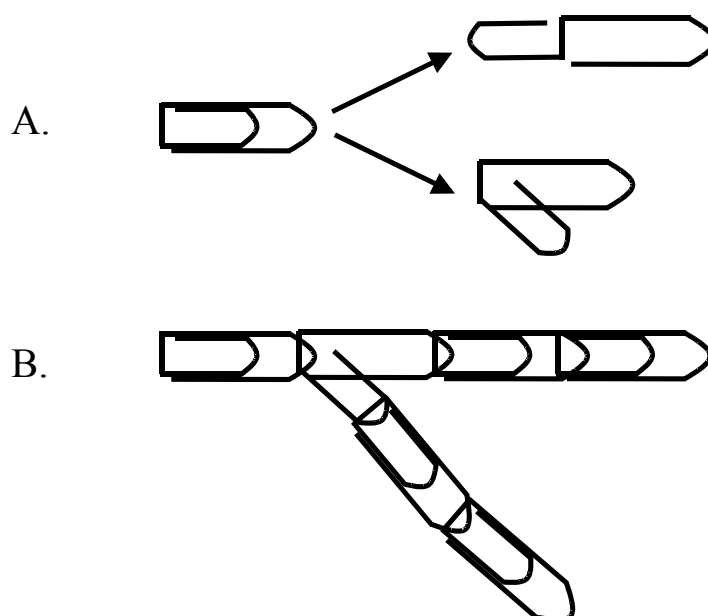


Figure 8. Autres exemples d'utilisation des trombones

A : Modification d'un trombone possédant un bout plat et un bout pointu pour obtenir un trombone à un bout plat et à deux bouts pointus ou à deux bouts pointus.

B : un polymère branché.

Il existe d'autres possibilités d'exploitation des trombones. Par exemple, on peut illustrer la polymérisation "tête - queue", "tête - tête" (figure 9) ou faire intervenir un trombone à deux bouts pointus qui permet, avec le trombone à

deux bouts ronds, d'illustrer les polymères obtenus par la copolymérisation de deux monomères différents (par exemple, le Nylon-6-10 obtenu par la polymérisation de l'hexane-1,6-diamine et de l'acide hexane-1,6-dioïque).

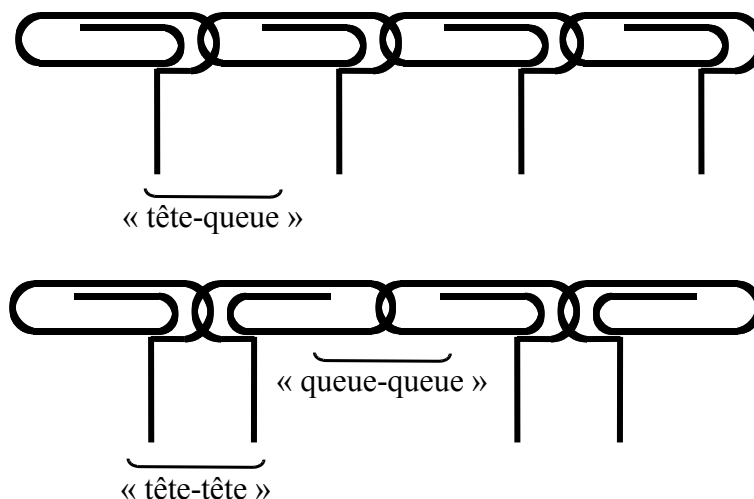


Figure 9. *Polymérisation "tête-queue" et "queue-queue"*

Ce type de polymérisation peut être illustré à l'aide d'un trombone possédant deux bouts ronds et une chaîne latérale. Cette dernière ne doit pas être placée au centre du trombone.

Le mot de la fin

Si vous ne souhaitez pas parler de la structure des protéines, mais uniquement des polymères, vous pouvez utiliser la molécule trombone : acide 6-amino-hexanoïque ($\text{NH}_2\text{-(CH}_2\text{)}_5\text{-COOH}$) en lieu et place de la glycine. Elle vous permettra de présenter une variété du Nylon : le Nylon-6 ou Perlon.

Si vous doutez encore des qualités didactiques du trombone pour présenter les polymères, voici quelques uns de ses atouts pour vous convaincre :

- il intrigue, essayez, pour voir, de débiter un cours en présentant un trombone;

- il permet par la manipulation d'un objet simple, de découvrir l'organisation d'un polymère en général et la structure des protéines en particulier;
- il est peu coûteux et chaque élève de la classe peut en disposer;
- il peut être placé sur la plate-forme d'un rétroprojecteur (très esthétique !).

Evidemment, comme tout modèle, le trombone n'est pas parfait et il ne peut remplacer un modèle moléculaire. Mais qu'importe, s'il permet de donner le goût de découvrir la chimie des polymères et la structure des protéines.

Enfin, si vous aviez toujours souhaité jouer d'un instrument de musique, vous aurez enfin la satisfaction de jouer du trombone.

Remerciement

Merci à Brigitte Monfort, René Cahay et André Cornélis qui par leur enthousiasme et leurs suggestions, ont permis à cet article de voir le jour. Merci à mes collègues pour leurs critiques.

BJ. est chercheur qualifié du FNRS.