



## Nouer des molécules aussi facilement que ses lacets

Des chercheurs de l'UNIGE sont parvenus à nouer des molécules entre elles, ce qui leur a permis de modifier leurs propriétés mécaniques intrinsèques.

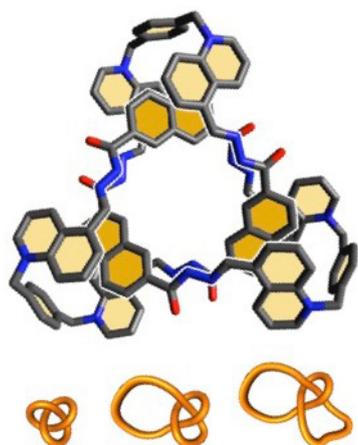
**Les nœuds sont partout autour de nous: câbles d'ordinateurs, écouteurs, cordes. Parfois agaçants, ils n'en sont pas moins utiles lorsqu'il s'agit de lacer ses chaussures ou de naviguer. En mathématique, on ne dénombre pas moins de six billions de possibilités différentes de nœuds, mais qu'en est-il en chimie? Depuis les années 70, les scientifiques essaient de nouer des molécules afin de pouvoir créer de nouvelles propriétés mécaniques sur mesure, et donc de nouveaux matériaux. Les premières réussites ont eu lieu vingt ans plus tard, mais le processus reste laborieux. Aujourd'hui, des chercheurs de l'Université de Genève (UNIGE) ont mis au point une technique simple et efficace permettant de nouer des molécules, et ont pour la première fois constaté les changements de propriétés qui découlent de ces entrelacs. Ces résultats, à lire dans la revue *Chemistry – A European Journal*, ouvrent de nouvelles perspectives dans la conception des matériaux et du transfert d'information par voie moléculaire.**

L'utilité des nœuds n'est plus à démontrer. Mais qu'en est-il pour la chimie? Peut-on nouer des molécules entre elles? L'idée apparaît en 1971, avec pour objectif la création de nouveaux matériaux induits pas les changements de propriétés mécaniques et physiques qui découleraient de ces entrelacs. Mais il faudra attendre 1989 pour que le français Jean-Pierre Sauvage, Prix Nobel de chimie 2016, y parvienne. Depuis, les scientifiques s'évertuent à former des nœuds, non sans difficulté: «Pour nouer des molécules entre elles, il faut utiliser des métaux qui s'attachent à la molécule et la dirigent sur un chemin très précis qui permettra de faire les croisements nécessaires à la confection du nœuds, explique Fabien Cougnon, chercheur au Département de chimie organique de la Faculté des sciences de l'UNIGE. Mais ce procédé complexe aboutit souvent à une perte de matière première de plus de 90% ! Les nœuds moléculaires ne constituent plus que quelques milligrammes au maximum, pas de quoi confectionner de nouveaux matériaux.»

### Des molécules hydrophobes qui se nouent toutes seules

Les chimistes de l'UNIGE ont alors mis au point une nouvelle technique qui permet de créer des entrelacs moléculaires facilement. «Nous utilisons des molécules huileuses que nous trempions dans de l'eau chauffée à 70 degrés. Hydrophobes, elles cherchent à fuir à tout prix l'eau, se rassemblent et forment un nœud par auto-assemblage», s'enthousiasme Tatu Kumpulainen, chercheur au Département de chimie physique de la Faculté des sciences de l'UNIGE.

Grâce à cette nouvelle technique, les chimistes genevois réalisent des nœuds moléculaires sans effort, et surtout sans perte de matière: «Nous transformons jusqu'à 90% des réactifs de base en nœud, ce qui permet d'envisager une véritable analyse des changements de



© UNIGE

Structure chimique de l'un des nœuds moléculaires étudiés. En dessous, on montre avec une représentation simplifiée que le même nœud peut être serré ou lâche. Dans le monde moléculaire, les nœuds serrés ont des propriétés différentes des nœuds lâches.

**Illustrations haute définition**

propriétés mécaniques induits par les nœuds, ce qui n'a encore jamais été fait!», relève Fabien Cougnon. Certes, ils ne peuvent pas choisir comment les molécules se nouent entre elles, mais ils peuvent par contre reproduire un même nœud à volonté, car une même structure chimique formera toujours un nœud identique sous l'action de l'eau.

### **A chaque nœud ses propriétés mécaniques**

Maintenant que nouer des molécules devient facile, que peut-on faire de ces nœuds? Y a-t-il un intérêt à en constituer? Pour vérifier l'impact des entrelacs, les chimistes genevois ont choisi une famille de molécules qui contiennent toutes un même motif: elles absorbent l'ultra-violet, sont fluorescentes et très sensibles à l'environnement général, notamment à la présence d'eau. «Nous avons ensuite créé quatre nœuds, du plus simple au plus complexe (0, 2, 3 et 4 croisements), que l'on a comparé à une molécule de référence qui constitue leur base, détaille Fabien Cougnon. Pour ce faire, nous avons utilisé en premier la résonance magnétique nucléaire (RMN) afin d'observer la rigidité des différentes parties des nœuds et la vitesse et la façon dont elles bougent les unes par rapport aux autres.» Les scientifiques ont constaté un premier changement des propriétés mécaniques : plus les nœuds sont complexes, moins ils bougent.

Dans un deuxième temps, les chimistes ont utilisé la spectroscopie pour comparer les spectres des quatre nœuds entre eux. «Très vite, nous avons remarqué que les nœuds simples (0 et 2 croisements), plus lâches, se comportaient de la même manière que la molécule source, relève Tatu Kumpulainen. Mais dès que les nœuds se complexifient, les molécules, plus serrées, changent de propriétés physiques et changent de couleur ! Leur manière d'absorber et d'émettre de la lumière diffèrent de la molécule source.» Ce changement de couleur permet aux scientifiques de visualiser les propriétés mécaniques propres à chaque assemblage, que ce soit son élasticité, sa conformation, ou encore son mouvement ou sa position.

Pour la première fois, les chimistes genevois ont prouvé que les molécules nouées changeaient de propriétés mécaniques. «Nous souhaitons à présent pouvoir contrôler ces changements de A à Z, pour que ces nœuds nous servent par exemple d'indicateurs des propriétés de l'environnement», continue Tatu Kumpulainen. Ils projettent également de construire de nouveaux matériaux, par exemple élastiques, à partir de ces réseaux de nœuds, maintenant qu'il n'y a plus de perte de matière lors de la confection des entrelacs. «Enfin, nous pouvons envisager de transférer de l'information à l'intérieur même d'un nœud grâce à un simple changement de position sur une partie du nœud qui se répercuterait dans toute la structure et ferait passer l'information», conclut Fabien Cougnon.

## contact

### **Fabien Cougnon**

Collaborateur scientifique  
Département de chimie  
organique  
Faculté des sciences  
+41 22 379 65 33  
Fabien.Cougnon@unige.ch

### **Tatu Kumpulainen (anglais)**

Collaborateur scientifique  
Département de chimie  
physique  
Faculté des sciences  
+41 22 379 65 30  
Tatu.Kumpulainen@unige.ch

**DOI:** 10.1002/chem.201905702

## **UNIVERSITÉ DE GENÈVE** **Service de communication**

24 rue du Général-Dufour  
CH-1211 Genève 4

Tél. +41 22 379 77 17

media@unige.ch

www.unige.ch