



L'ÉPISSAGE DE L'ARN : LE COUPÉ-COLLÉ DE L'INFORMATION GÉNÉTIQUE

Phillip A. Sharp ^{1,2*}

¹Département de Biologie, Institut de Technologie du Massachusetts, Cambridge, MA, États-Unis

²Institut Koch de Recherche Intégrative sur le cancer du MIT, Institut de Technologie du Massachusetts, Cambridge, MA, États-Unis

Le Professeur Phillip Sharp a obtenu le prix Nobel de Physiologie ou Médecine en 1993, avec le Professeur Richard Roberts, pour leur découverte des gènes « en plusieurs morceaux ».

Les sciences en général, et plus particulièrement les sciences de la vie, t'entraînent sur un chemin fascinant. Au fur et à mesure que tu approfondis ta compréhension d'un sujet particulier, tu prends conscience de choses que tu ne voyais pas du tout lorsque tu as commencé. Parfois, cette nouvelle vision te pousse même à reconsidérer et à redéfinir des concepts très fondamentaux que tu as appris en cours de route. C'est exactement ce qui s'est passé après la découverte d'un processus appelé épissage de l'ARN. Dans l'épissage de l'ARN, des morceaux de l'information génétique de nos cellules sont coupés et collés ensemble pour former les instructions finales pour la production d'une protéine. La découverte de l'épissage de l'ARN nous a amenés à reconsidérer ce que nous pensions auparavant des gènes, qui sont les unités d'information les plus fondamentales en biologie. Dans cet article, je vais t'expliquer ce que nous avons découvert sur l'épissage de l'ARN,

comment cela a influencé nos idées sur les gènes et comment nous utilisons aujourd'hui ces connaissances pour améliorer la vie des gens.

DES GÈNES AUX PROTÉINES : COMMENT L'ADN DIRIGE LE FONCTIONNEMENT DES CELLULES

Un des processus les plus fondamentaux de la vie consiste à lire l'information génétique, les instructions transmises de génération en génération stockées dans les cellules sous forme d'ADN, et à suivre ces instructions pour assurer l'organisation et le fonctionnement de l'organisme qui les porte (Figure 1).

ADN (ACIDE DÉSOXYRIBONUCLÉIQUE). Support de l'information génétique des cellules (ce qui est transmis de génération en génération). À partir de ces informations, les cellules peuvent fabriquer leurs protéines et assurer leurs activités.

PROTÉINES. Molécules fabriquées par les cellules, qui assurent de nombreuses fonctions dans les cellules et sont essentielles pour des fonctions telles que la contraction des muscles, la digestion, nos défenses immunitaires.

GÈNE. Segment d'ADN qui contient les informations pour fabriquer une protéine. Un gène contient une partie transcrite en ARNm, puis traduite en protéine, et des séquences régulatrices, qui contrôlent son expression.

TRANSCRIPTION. Première étape de l'expression d'un gène, au cours de laquelle un segment d'ADN est copié en une molécule d'ARN messenger.

ARN MESSAGER (ARNm). Type d'ARN (acide ribonucléique) qui transmet le message porté par un gène de l'ADN correspondant à la séquence d'une protéine particulière.

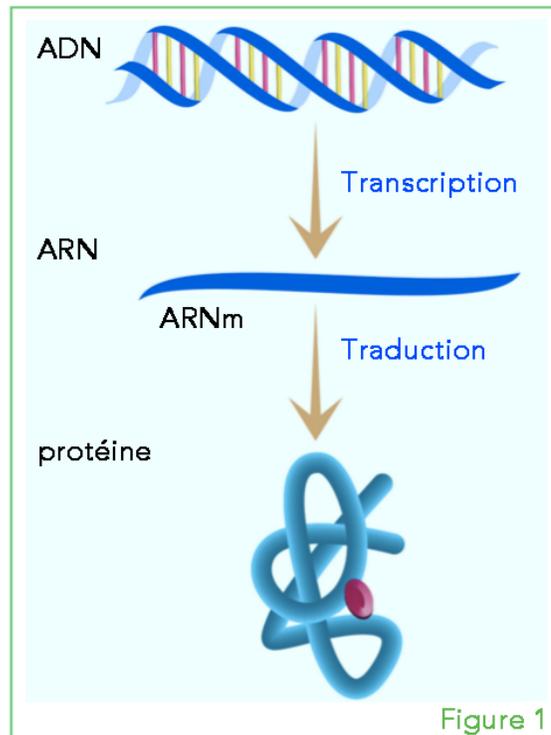


Figure 1. L'ADN contient les informations nécessaires à la synthèse des protéines. Les cellules utilisent l'information génétique pour fabriquer des protéines en deux étapes principales. L'information de l'ADN est tout d'abord copiée par un processus appelé transcription, au cours duquel est fabriqué un ARN messenger (ARNm) qui porte les informations pour la synthèse d'une protéine. L'ARNm porte cette information jusqu'à une petite fabrique de protéines, le ribosome, où la protéine est synthétisée selon un processus appelé traduction.

À partir des informations contenues dans l'ADN, les cellules fabriquent leurs **protéines**, de petites machines biologiques qui assurent beaucoup des fonctions les plus importantes de tout organisme. Les instructions pour la synthèse d'une protéine donnée sont stockées dans une petite partie de l'ADN appelée **gène**. Pour passer du gène à la protéine, une étape intermédiaire est essentielle : c'est la **transcription**. La transcription consiste à copier les instructions d'un gène sous la forme d'une molécule, l'**ARN messenger (ARNm)**, une molécule qui ressemble chimiquement à l'ADN et transporte l'information qu'elle contient aux petites machines qui

TRADUCTION. Processus de synthèse des protéines, assuré par les ribosomes en suivant les instructions portées par les ARN messagers.

EUCARYOTE. Organisme dont les cellules ont un noyau. Les êtres humains et les mammifères font partie des eucaryotes.

PROCARYOTE. Organisme unicellulaire et ne possédant pas de noyau. Les bactéries sont des procaryotes.

fabriquent les protéines dans les cellules, les ribosomes. On appelle **traduction** ce processus de synthèse des protéines par les ribosomes grâce aux informations de l'ARNm.

Au cours de l'évolution, l'ensemble des mécanismes menant de l'ADN à la synthèse des protéines est devenu plus complexe. Une étape totalement nouvelle est apparue entre la transcription et la traduction : c'est l'épissage de l'ARN. Au cours de cette étape, des morceaux distincts de l'ARNm sont coupés et collés ensemble pour produire la version finale de l'ARNm. Dans les prochains paragraphes, nous allons expliquer ce qu'est l'épissage de l'ARN, comment nous l'avons découvert, quels en sont les bénéfices et comment nous pouvons utiliser cette connaissance pour aider des personnes atteintes de certaines maladies.

POUR L'ÉPISSAGE DE L'ARN, LES NOYAUX SONT IMPORTANTS !

Les organismes les plus anciens qui ont vécu sur Terre étaient des organismes unicellulaires dont les cellules n'ont pas de noyau [1]. Chez ces organismes, l'ADN n'est donc pas séparé du reste de la cellule par une membrane. On estime que les cellules avec noyau sont apparues il y a 1 à 1,5 milliard d'années. Les organismes dont les cellules ont un noyau sont appelés **eucaryotes** ; ceux dont les cellules n'ont pas de noyau sont appelés **procaryotes**. Les bactéries sont un exemple bien connu de procaryotes. Les mammifères, dont nous faisons partie, sont tous des eucaryotes.

C'est chez les bactéries qu'a été découverte la manière dont le message porté par les gènes de l'ADN, est transmis au lieu où sont synthétisées les protéines. Les chercheurs ont montré qu'une copie ARN d'une petite partie de l'ADN (un gène) servait d'intermédiaire (**Figure 2**) [2].

À cette époque, la plupart des chercheurs pensaient que le processus était identique dans les cellules eucaryotes. Mais quelques années plus tard, nous avons découvert que dans les cellules eucaryotes, il y a une étape supplémentaire entre la transcription et la traduction [3]. Au cours de cette étape, l'ARNm produit par transcription est épissé (coupé et collé) pour produire l'ARNm final qui participe à la traduction. L'ARNm produit de la transcription est appelé ARN pré-messager (pré-ARNm) et la version finale, après épissage, est appelée ARNm mature (**Figure 2**).

L'ÉPISSAGE : COUPER ET COLLER L'ARN

On peut comparer l'épissage de l'ARN à l'édition d'un livre. Imagine que, dans le manuscrit fourni par l'auteur, les phrases soient interrompues par des mots qui ne veulent rien dire (du charabia). Pour que le livre soit lisible, il faut enlever tous ces passages de charabia et coller ensemble les mots qui forment une phrase qui a du sens pour le lecteur. Pour revenir à l'épissage de l'ARNm, l'ARN pré-messager est fait de l'assemblage de morceaux qui

EXON. Segment de l'ADN qui contient les informations dictant l'ordre des acides aminés d'une protéine ou d'une partie de protéine dans le cas où un gène contient plusieurs exons.

INTRON. Segment de l'ADN transcrit en ARN pré-messager puis excisé de l'ARN pré-messager lors de sa maturation en ARNm.

ont du sens, appelés **exons**, et de morceaux qui n'ont pas de sens pour la fabrication de la protéine, appelés les **introns**. L'épissage consiste à couper les introns (qui sont alors détruits) puis à coller ensemble les exons, ce qui forme l'ARN messager mature qui peut être traduit en protéine.

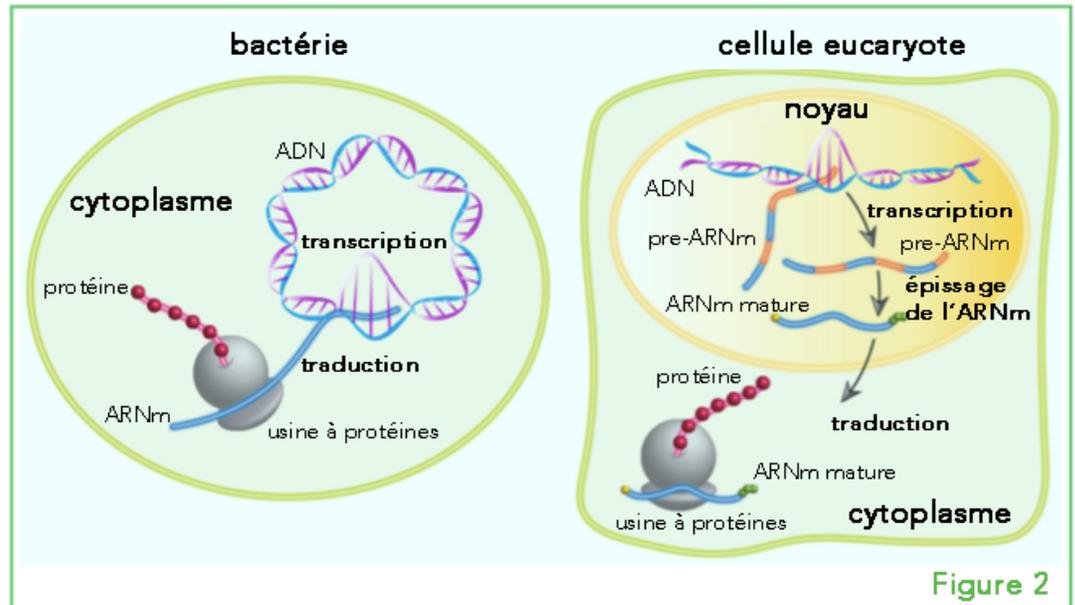


Figure 2

Figure 2. Production de protéines dans les cellules procaryotes et eucaryotes. Dans les cellules procaryotes comme les bactéries, qui n'ont pas de noyau, l'ARNm est produit à partir de l'ADN par transcription et est ensuite directement traduit en une protéine. Dans les cellules eucaryotes, un pré-ARNm est produit par transcription à partir de l'ADN, dans le noyau de la cellule. Le pré-ARNm passe par une étape supplémentaire appelée épissage de l'ARN. Ce n'est qu'ensuite que cet ARNm mature quitte le noyau et a accès à l'usine de production de protéines (un ribosome ; en gris), où a lieu la traduction (image adaptée de la Khan Academy).

Mais pourquoi les eucaryotes ont-ils ces introns qui n'ont pas de sens pour la fabrication d'une protéine ? C'est une question que se posent les scientifiques et pour laquelle ils n'ont pas encore de réponse définitive. Nous savons que les humains ont environ 23 000 gènes et que presque tous ces gènes sont constitués de nombreux exons qui sont assemblés selon différentes combinaisons (par exemple, au lieu de coller l'exon 1 et l'exon 2, l'épissage colle l'exon 1 avec l'exon 3) qui correspondent à des protéines différentes (la première protéine a l'information de l'exon 2, pas l'autre) donc ayant des fonctions différentes. C'est ce qu'on appelle l'**épissage alternatif** (Figure 3). Certains chercheurs proposent que l'épissage alternatif a été un des moteurs de l'évolution des organismes complexes, comme les humains. L'épissage alternatif permet des lectures différentes de l'ADN ; les organismes capables d'épissage alternatif ont la capacité de fabriquer des protéines variées et complexes assurant des fonctions complexes avec moins de gènes.

É

ÉPISSAGE ALTERNATIF. Production de plusieurs ARN messagers matures en combinant différemment les exons de l'ARN pré-messager, ce qui permet la synthèse de protéines distinctes à partir d'un seul gène.

L'ÉPISSAGE DE L'ARN A ÉTÉ DÉCOUVERT GRÂCE AUX VIRUS

Quand nous avons mis en évidence l'épissage de l'ARN, nous avons choisi de travailler sur l'adénovirus de type 2 [3] parce que son ADN est assez court et que ce virus infecte des cellules animales (donc eucaryotes) où des copies de son ADN sont fabriquées très rapidement. Ces deux caractéristiques en font un virus relativement facile d'utilisation pour la recherche, c'est un système simple qui produit naturellement de nombreuses copies de lui-même.

Après avoir fait le choix de ce virus, nous avons comparé son ADN aux ARNm viraux produits par les cellules infectées. Si la séquence d'un ARNm correspond exactement à celle d'un segment d'ADN, cela indique que cet ARNm a été produit directement par transcription, comme chez les bactéries. Mais si ce n'est pas le cas, cela indique que l'ARNm produit par transcription a subi des modifications avant de pouvoir être traduit.

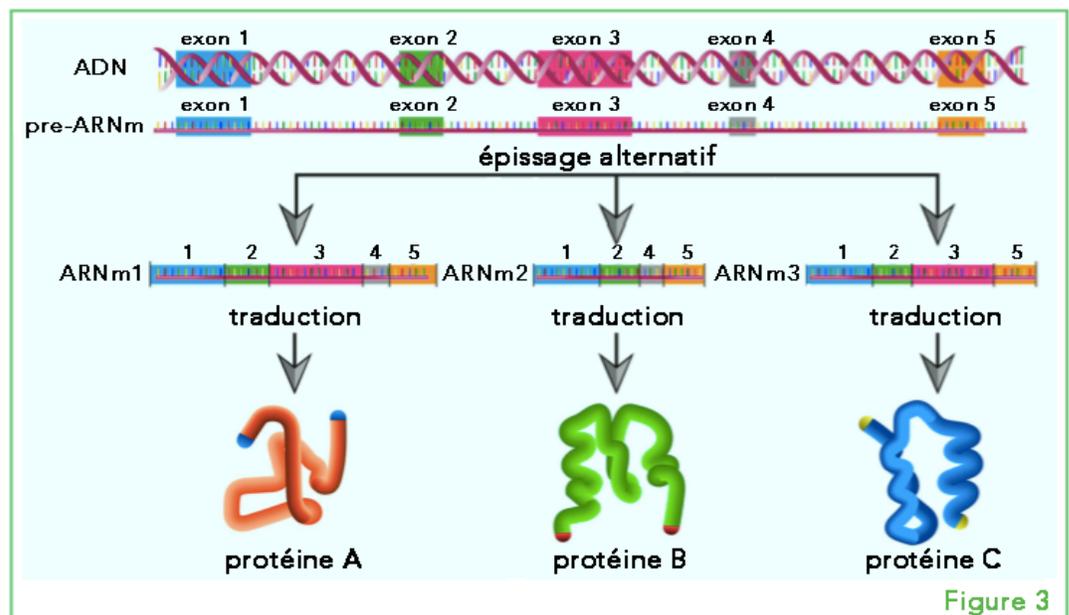


Figure 3. Épissage alternatif. L'ADN est transcrit en ARN pré-messager. Celui-ci subit l'épissage (les exons sont collés les uns aux autres après coupure des introns). Dans l'épissage alternatif, les exons sont assemblés selon différentes combinaisons, ce qui permet de produire, à partir du même gène, différents ARNm matures, et donc, par traduction différentes protéines (les protéines A, B et C) aux fonctions différentes. Il pourrait s'agir de l'avantage évolutif qui a permis à des organismes complexes comme *Homo sapiens* d'évoluer (image adaptée de Wikipedia).

Ce que tu dois savoir pour comprendre ce qui suit (tu peux aussi consulter [l'animation](#)) :

(1) Les acides nucléiques (ADN et ARN) sont constitués de l'enchaînement de petites unités appelées nucléotides. L'addition d'un nucléotide se fait toujours du même côté de la chaîne, appelé extrémité 3'. L'autre extrémité est appelée extrémité 5'.

(2) L'ADN est constitué de quatre désoxyribonucléotides qui diffèrent par une petite molécule appelée base ; il y en a quatre (A, T, G et C) formant la totalité de l'information génétique à partir d'un code à 4 lettres. L'ADN est constitué de deux chaînes de nucléotides dites complémentaires (un A sur une chaîne est lié à un T qui lui fait face sur l'autre chaîne, et un G est lié à un C).

(3) L'ARN est constitué de ribonucléotides portant également quatre bases différentes (A, U, G et C) ; il est transcrit à partir d'une seule chaîne de l'ADN, dont il est complémentaire (U en face de A, A en face de T, G en face de C et C en face de G).

(4) Deux chaînes d'acides nucléiques complémentaires peuvent s'associer (comme le font les deux chaînes de l'ADN), et former une molécule à deux brins, on dit qu'elles s'hybrident. C'est le cas entre l'ARN qui est transcrit et le brin d'ADN dont il est transcrit. C'est en réalisant des expériences d'hybridation ADN/ARNm que l'auteur a pu comparer l'ADN et l'ARNm.

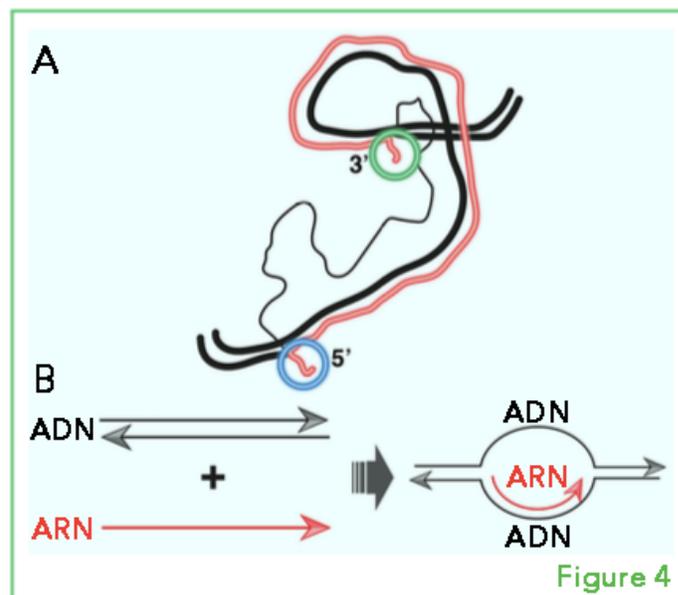


Figure 4. C'est en comparant l'ADN de l'adénovirus et son ARNm que nous avons découvert l'épissage de l'ARN. (A) L'ARNm de Hexon (en rouge) est la copie d'un segment d'un des deux brins de l'ADN (en noir), les deux acides nucléiques s'hybrident, sauf au niveau de l'extrémité 3' (la queue ; cercle vert) et de l'extrémité 5' (cercle bleu) de l'ARNm. (B) Représentation schématique montrant l'ADN à deux brins et l'ARNm à un seul brin et l'hybridation entre l'ARNm transcrit et la région de l'ADN dont il est transcrit [Image adaptée de Berk [4]].

Pour cette comparaison ADN/ARNm, nous avons choisi l'ARNm de l'adénovirus de type 2 le plus abondant, qui code pour une protéine appelée Hexon. Nous avons réalisé une expérience d'hybridation entre un segment d'ADN et l'ARNm de Hexon. Nous avons trouvé que la plus grande partie de l'ARNm de Hexon est bien la copie du segment de l'ADN du virus mais pas les deux extrémités. Pour l'extrémité 3' de l'ARNm de Hexon (Figure 4, cercle vert), ce n'était pas étonnant car on savait déjà qu'à

cette extrémité une petite séquence de nucléotides, appelée « queue », est ajoutée aux ARNm : elle les protège de protéines qui pourraient les détruire avant qu'ils soient traduits. Mais ce n'était pas du tout attendu pour l'extrémité 5' (Figure 4, cercle bleu), où surtout que c'était un assez long segment de l'ARNm qui ne correspondait pas à celui de l'ADN adjacent ! Et nous nous demandions bien d'où il pouvait venir ...

Pour résoudre cette énigme, il fallait trouver l'origine de cette région 5' de l'ARNm. Après bien des discussions, nous avons eu l'idée qu'elle venait peut-être d'une autre région de l'ADN. Cela signifiait qu'il y avait deux régions de l'ADN qui codaient pour Hexon. Pour tester cette hypothèse, nous avons fait de nouvelles expériences d'hybridation, avec d'autres parties de l'ADN du virus et ce que nous avons trouvé était stupéfiant : la partie 5' de l'ARNm s'hybridait avec trois autres segments de l'ADN ; entre ces segments, il n'y avait pas hybridation et l'ADN non hybridé formait des boucles (Figure 5). Cela montrait qu'au total, l'ARNm d'Hexon est issu de l'épissage de quatre segments (4 exons), séparés par trois introns.

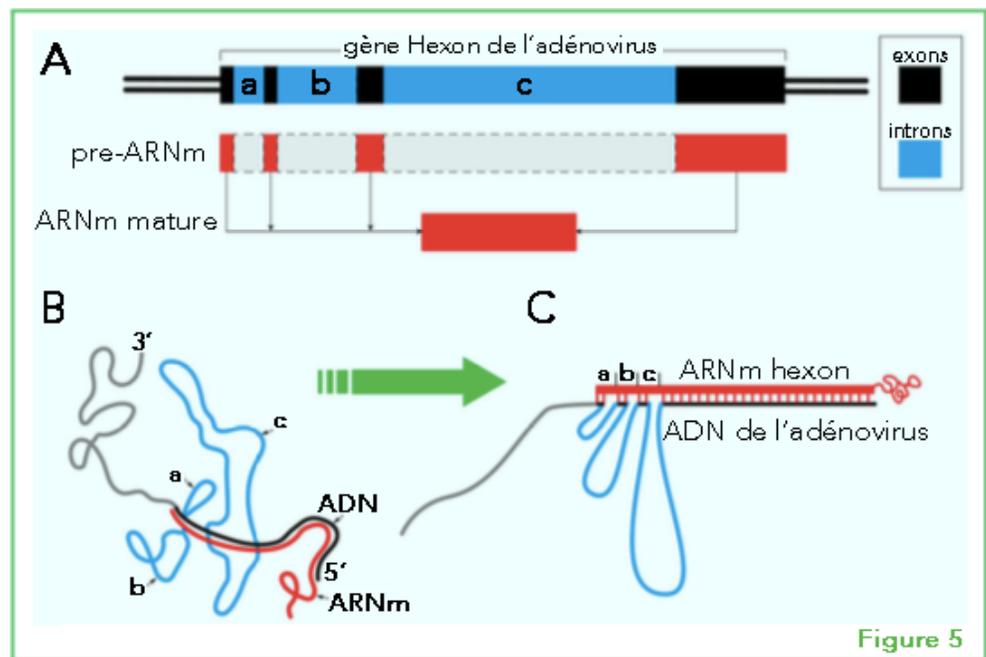


Figure 5. Épissage de l'ARNm de Hexon. (A) Le gène de Hexon contient quatre exons et trois introns et est transcrit en pré-ARNm (copie directe de l'ADN) qui subit deux types de modifications : l'épissage des introns qui réunit les quatre exons et l'ajout de la queue (du côté 3' ; non montré ici). (B) Dans notre expérience, certaines parties de l'ADN de l'adénovirus sont hybridées à l'ARNm (rouge), tandis que d'autres parties de l'ADN ne sont pas hybridées et forment trois boucles (a, b et c). Les parties hybridées sont des exons et les boucles sont des introns. (C) Schéma de l'hybridation de l'ARNm mature de Hexon avec l'ADN de l'adénovirus [Crédits image : A & B adaptés de Berget et al. [3] ; C Phillip A. Sharp].

C'était vraiment une découverte originale car personne jusque là n'avait suggéré que l'ARNm pouvait être coupé et collé en rassemblant différents segments transcrits. Cette découverte de l'épissage de l'ARN a changé

notre façon de concevoir les gènes.

REPENSER LE SENS DU MOT "GÈNE"

Avant de découvrir l'épissage de l'ARN, nous considérions qu'un gène était un morceau continu d'ADN qui codait pour une protéine spécifique. Mais la découverte de l'épissage de l'ARN nous a appris que de nombreux gènes sont fractionnés, c'est-à-dire qu'ils sont combinés à partir de différents segments d'ADN non continus (exons). Nous savons que ces exons peuvent être combinés de différentes façons ce qui permet de fabriquer pas seulement une, mais plusieurs protéines différentes. Il existe même des exemples de gènes codant pour des dizaines de milliers de protéines différentes [5] !

Alors, si un gène n'est pas une séquence d'ADN continue codant pour une unique protéine, c'est quoi ? Peut-être ne saurons-nous jamais définir ce qu'est un gène. Comme cela arrive fréquemment en sciences, nous sommes face à une telle complexité que nous n'aurons peut-être jamais toutes les réponses. Cela n'empêche pas de toujours chercher à étendre nos connaissances et de tirer le meilleur parti de ce que nous savons. Tu vas voir dans le prochain paragraphe que la découverte de l'épissage de l'ARN peut être utilisée pour améliorer la vie de certains malades, y compris des jeunes de ton âge.

L'ÉPISSAGE DE L'ARN POUR LE BIEN DE L'HUMANITÉ

L'épissage est un processus fondamental pour nous et pour tous les eucaryotes. Il permet à ces organismes d'activer ou désactiver certains gènes et d'assurer ainsi des processus complexes nécessaires à leur vie. Mais comme pour tout processus biologique important, des maladies peuvent apparaître en cas d'un mauvais fonctionnement. Pour pouvoir soigner ces maladies, il faut comprendre ce qui ne fonctionne pas, puis trouver comment le réparer.

L'épissage de l'ARN est à l'origine d'avancées médicales prometteuses. Il y a quelques années seulement, pour la première fois dans l'histoire, nous avons pu traiter avec succès des enfants atteints d'une maladie génétique appelée amyotrophie spinale. Cette maladie est due à une mutation dans l'ADN (une modification de la séquence de nucléotides) qui altère l'épissage de l'ARN d'un gène particulier de sorte qu'un exon important n'est pas présent dans l'ARNm mature. Cette mutation entraîne la perte lente des cellules de la moelle épinière qui contrôlent les muscles. Au fur et à mesure que ces cellules disparaissent, on observe la perte progressive de l'activité musculaire ce qui provoque de graves handicaps et réduit la qualité de vie des malades. Avant la découverte de l'épissage de l'ARN, l'amyotrophie spinale était une maladie mortelle. Nous sommes maintenant

capables de manipuler l'épissage défectueux de sorte que l'exon manquant est à nouveau inclus dans l'ARNm mature. Cela permet la synthèse d'une protéine fonctionnelle, restaure une activité musculaire aux malades et améliore raisonnablement la qualité de leur vie. Ce n'est qu'un exemple parmi d'autres de l'utilisation de nos connaissances sur l'épissage pour améliorer la vie des gens. J'ai fondé deux entreprises, Biogen et Alnylam Pharmaceuticals, qui développent dans ce domaine d'importantes applications médicales. Tu peux en apprendre plus sur leur activité en suivant ces liens (<https://www.biogen.com> et <https://www.alnylam.com>).

Découvrir l'épissage de l'ARN, étudier l'ensemble du processus d'épissage, réfléchir à sa signification et à son utilisation, puis, 30 à 40 ans plus tard, voir la science transformée en un traitement qui améliore la vie de jeunes enfants, a été vraiment passionnant. C'est un phénomène courant en science, et c'est l'une des raisons pour lesquelles la science, en particulier la science biomédicale, est si gratifiante. Non seulement les scientifiques découvrent des secrets biologiques enfouis, mais il arrive que ces découvertes débouchent sur des moyens d'aider les autres. L'une des choses les plus gratifiantes que l'on puisse faire dans la vie est d'aider les autres, notamment en les aidant à mieux comprendre le monde, qui ils sont et leur relation avec les autres. C'est cette compréhension qui rend les êtres humains uniques et intéressants.

RECOMMANDATIONS POUR LES JEUNES ESPRITS

Je souhaite partager avec toi ce que j'ai appris en grandissant, en allant à l'école et en cherchant ce que je voulais faire comme profession. J'ai découvert que si je suivais mes intérêts et mes passions, j'étais motivé pour en apprendre autant que possible sur ces domaines, ce qui pouvait me permettre d'apporter d'importantes contributions à la société. Si tu essaies d'être trop terre à terre et que tu ne consacres pas un peu de ton temps à rêver de ton avenir, tu risques de te priver de réaliser tes rêves. En revanche, si tu es trop rêveur, tu risques de ne jamais résoudre les problèmes que tu rencontreras dans la poursuite de tes objectifs. Suis donc ta curiosité et, si elle te mène à quelque chose qui te passionne, donne-toi à fond. Tu ne sais pas ce que sera le monde dans 20 ou 30 ans ; fais simplement ce qui te motive à apprendre et prends le temps de t'amuser pendant que tu le fais.

Il est également bon de se rappeler que la vie n'est pas toujours une ligne droite - elle n'avance souvent pas par étapes prévisibles, mais plutôt par des chemins détournés. À certains moments de ta vie, tu devras faire des choix. Selon ta décision, cela te mènera dans des directions qui peuvent être très différentes les unes des autres, en particulier lorsqu'il s'agit de prendre des décisions qui ont des implications à long terme, mais ce n'est pas grave. Alors, quand tu arriveras à l'une de ces bifurcations, suis ta passion !

Quelque soit la décision que tu as prise, n'oublie pas d'en profiter et de suivre ta passion.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Noa Segev pour avoir mené l'entretien qui a servi de base à ce document et pour en avoir été la co-auteure, ainsi que Zehava Cohen pour les figures.

LECTURE COMPLÉMENTAIRE

RNA Splicing: What is a Gene?—Phillip A. Sharp. Nobel Lecture: Split Genes and RNA Splicing—Phillip A. Sharp.

RÉFÉRENCES

1. Cooper, G. M. 2000. "The cell: a molecular approach," in *The Origin and Evolution of Cells, 2nd Edn* (Sunderland, MA: Sinauer Associates). Available online at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK9841/>
2. Jacob, F., and Monod, J. 1961. On the regulation of gene activity. *Cold Spring Harb. Symp. Quant. Biol.* 26:193–211. doi: 10.1101/SQB.1961.026.01.024
3. Berget, S. M., Moore, C., and Sharp, P. A. 1977. Spliced segments at the 5' terminus of adenovirus 2 late mRNA. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 74:3171–5. doi: 10.1073/pnas.74.8.3171
4. Berk, A. J. 2016. Discovery of RNA splicing and genes in pieces. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 113:801–5. doi: 10.1073/pnas.1525084113
5. Schmucker, D., Clemens, J. C., Shu, H., Worby, C. A., Xiao, J., Muda, M., et al. 2000. *Drosophila* Dscam is an axon guidance receptor exhibiting extraordinary molecular diversity. *Cell* 101:671–84. doi: 10.1016/S0092-8674(00)80878-8

VERSION FRANÇAISE

Cet article d'accès libre est une traduction avec modifications d'un article publié par Frontiers for Young Minds (doi: 10.3389/frym.2023.1063940 ; Sharp PA (2023) RNA Splicing—Cutting and Pasting Genes. *Front. Young Minds* 11:1063940).

TRADUCTION : Catherine Braun-Breton, Association Jeunes Francophones et la Science

ÉDITION : Nicole Pasteur, Association Jeunes Francophones et la Science

ARTICLE ORIGINAL (VERSION ANGLAISE)

SOU MIS le 7 Octobre 2022 ; **ACCEPTÉ** le 17 Janvier 2023

PUBLIÉ EN LIGNE le 31 Mai 2023.

ÉDITEUR : Robert T. Knight, University of California, Berkeley, United States

MENTORS SCIENTIFIQUES : Asma Bashir and Alexandra Dimitri

CITATION : Sharp PA (2023) RNA Splicing—Cutting and Pasting Genes. *Front. Young Minds* 11:1063940. doi: 10.3389/frym.2023.1063940

DÉCLARATION DE CONFLIT D'INTÉRÊT.

Les auteurs déclarent que les travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un conflit d'intérêt potentiel.

DROITS D'AUTEURS

Copyright © 2023 Sharp.

Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence Creative Commons Attribution (CC BY). Son utilisation, distribution ou reproduction sont autorisées, à condition que les auteurs d'origine et les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans cette revue soit citée conformément aux pratiques académiques courantes. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

JEUNES EXAMINATEURS

ANASTASIA, 14 ANS

Je m'appelle Anastasia et suis une élève en 10^{ème} année, captivée par les sciences ! J'adore apprendre et découvrir de nouvelles choses. Mon rêve est d'étudier la médecine car je suis très intéressée par le fonctionnement de notre corps et comment il peut être malade. En dehors de mes études, j'aime peindre, dessiner, faire des travaux manuels et participe à des tas d'autres ateliers. Mais ce que j'aime par dessus tout, c'est cuisiner des desserts (j'ai un penchant pour les sucreries) !

KENZO, 10 ANS

Bonjour, je m'appelle Kenzo, j'ai dix ans et suis toujours très dynamique et amical. J'ai beaucoup d'amis et me lie facilement. J'aime écouter des chansons et jouer à des jeux vidéo. J'aime aussi beaucoup la lutte et les arts martiaux. À l'école, j'aime le sport, les arts, les mathématiques et les récréations. J'aime bien dire ce que je pense et participe quand l'enseignant explique des choses, comme ça le temps passe plus vite. J'aime beaucoup lire des bandes dessinées.

MAXIME, 10 ANS

Je m'appelle Maxime. J'aime le sport, la musique et les sciences, surtout ce qui concerne l'espace. Je suis très curieux et prend plaisir à résoudre des énigmes. Je viens de commencer le « coding » et j'adore ça !

NOURA, 15 ANS

Je m'appelle Noura et j'ai de nombreux centres d'intérêt comme construire des robots, jouer du piano, mais les sciences ont une place particulière dans

mon cœur et je suis toujours à l'affût des dernières découvertes scientifiques et des derniers projets de recherche.

SAIF, 15 ANS

Bonjour ! Je m'appelle Saif et j'ai 15 ans. J'ai toujours été passionné par les sciences, particulièrement la Biologie et la Chimie. J'aime lire des livres scientifiques et des biographies sur des personnes fascinantes comme Steve Jobs. Je participe également à des programmes et des concours qui renforcent et augmentent ma passion pour les sciences, comme le fait d'avoir remporté le prix du meilleur projet de groupe à la National Science Fair en 2020. J'aime aussi faire des expériences avec mon professeur de sciences.

YOUNIS, 15 ANS

Bonjour, je m'appelle Younis et j'ai 15 ans. J'ai toujours été attiré par les matières scientifiques car elles sont fascinantes, en particulier la gestion de l'environnement, la géographie, la géologie et l'espace. Grâce à Frontiers for Young Minds, j'espère en apprendre davantage sur le monde dans lequel nous vivons.

AUTEUR

PHILLIP A. SHARP

Le Professeur Phillip Allen Sharp est un biologiste moléculaire états-unien, membre du département de Biologie et de l'Institut Koch pour la recherche intégrative sur le cancer au Massachusetts Institute of Technology (MIT), Massachusetts, États-Unis. Le professeur Sharp a étudié la chimie et les mathématiques à l'Union College et a obtenu son doctorat en chimie à l'Université de l'Illinois à Urbana-Champaign en 1969. Après son doctorat, le professeur Sharp a suivi une formation postdoctorale au California Institute of Technology, puis a étudié l'expression des gènes dans les cellules humaines au Cold Spring Harbor Laboratory. En 1974, le professeur Sharp est entré au MIT, où il a rejoint le Center for Cancer Research (aujourd'hui Koch Institute for Integrative Cancer Research) et a mené des recherches qui ont conduit à la découverte de l'épissage de l'ARN. Au cours de ses années au MIT, le professeur Sharp a été directeur du Centre de recherche sur le cancer (1985-1991), a dirigé le département de biologie (1991-1999) et a fondé et dirigé l'Institut McGovern pour la recherche sur le cerveau (2000-2004). Le professeur Sharp a reçu de nombreux prix et récompenses, dont le NAS Award in Molecular Biology (1980), le Louisa Gross Horwitz Prize (1998), le Dickson Prize (1991), le prix Nobel de Physiologie ou de Médecine (1993) et la National Medal of Science (2004). Le professeur Sharp a créé deux entreprises biomédicales prospères qui utilisent les connaissances sur l'épissage de l'ARN pour des applications médicales. [*kids@frontiersin.org](mailto:kids@frontiersin.org)