



LES SECRETS DE LA SÉCRÉTION : LE TRANSPORT DES PROTÉINES DANS LES CELLULES

Randy Schekman

Département de Biologie Moléculaire et Cellulaire, Institut médical Howard Hughes, Université de Californie, Berkeley, CA, États-Unis.

La sécrétion est un processus fondamental au cours duquel les cellules libèrent des substances dans leur environnement extérieur. La sécrétion est essentielle à de nombreuses fonctions de l'organisme, notamment la croissance, la digestion et la communication cellulaire. Pour être sécrétées, les protéines doivent passer par différentes stations à l'intérieur des cellules, qui forment ensemble ce qu'on appelle la voie sécrétoire. Dans cet article, je vais te parler de cette voie sécrétoire et des étapes par lesquelles passent les protéines depuis leur production jusqu'à leur sécrétion. Ensuite, je présenterai le travail original que nous avons fait dans notre laboratoire pour identifier les gènes liés à la voie sécrétoire dans les cellules de levure. Enfin, j'expliquerai l'importance de nos travaux pour l'étude globale de la voie sécrétoire, tant dans les cellules de levure que dans les cellules de mammifères.

Conjointement avec le professeur James Rothman et le professeur Thomas Südhof, Le professeur Randy Schekman a remporté le prix Nobel de Physiologie ou de Médecine en 2013, pour leurs découvertes sur les machines régulant le trafic des vésicules, un système de transport majeur dans nos cellules.

LES SECRETS DE LA SÉCRÉTION

SÉCRÉTION. Processus essentiel par lequel les cellules libèrent de manière contrôlée des substances, telles que des hormones et des enzymes.

EUCARYOTES. Organismes dont les cellules contiennent un noyau.

Nos corps complexes remplissent diverses fonctions, dont beaucoup nécessitent le transport de substances d'un endroit à un autre. Un processus clé impliqué dans le déplacement des substances dans le corps est appelé **sécrétion** [1]. La sécrétion est la libération contrôlée de substances de l'intérieur d'une cellule à son environnement extérieur comme le sang ou vers d'autres cellules. Ainsi, les cellules du tube digestif sécrètent des enzymes digestives qui aident à décomposer les aliments que nous mangeons, et les cellules de nos glandes sécrètent des hormones nécessaires à notre croissance et notre développement. Un autre type de sécrétion se produit dans le cerveau, où les cellules nerveuses sécrètent des messagers appelés neurotransmetteurs pour communiquer avec d'autres cellules nerveuses.

Avant qu'une cellule ne sécrète une substance, celle-ci doit d'abord être produite à l'intérieur de la cellule, puis transférée à l'intérieur de la cellule et à travers sa membrane pour être libérée à l'extérieur de la cellule. Cela semble simple, n'est-ce pas ? Eh bien, ce processus est en fait assez complexe. Comme tu le sais peut-être déjà, les cellules de tous les **eucaryotes**, y compris les humains, sont structurées par divers compartiments appelés « organites », ([Figure 1A](#)).

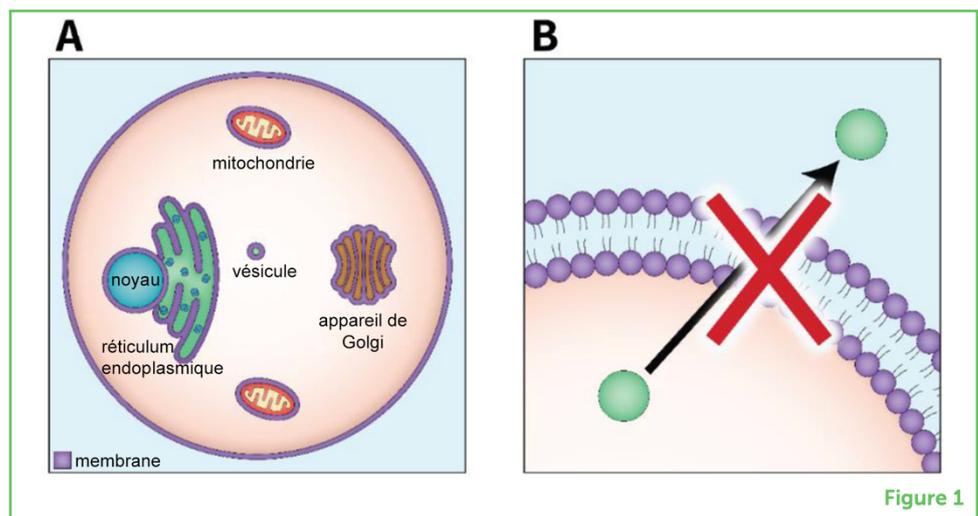


Figure 1. Les organites d'une cellule sont importants pour le transport des matériaux. (A) Une cellule eucaryote est définie comme une cellule avec un noyau et plusieurs organites qui sont séparés les uns des autres par des membranes. Les cellules ont également une membrane plasmique qui sépare le contenu de la cellule de l'environnement extérieur. Les membranes d'une cellule empêchent de nombreuses substances de les traverser. (B) Le processus de sécrétion nécessite le passage de matériaux entre les organites et à l'extérieur de la cellule. Mais la plupart des matériaux ne peuvent pas passer librement à travers les membranes recouvrant les organites et la cellule, de sorte que les cellules doivent avoir un processus spécial de sécrétion.

VÉSICULES. Sacs limités par une membrane qui transportent des substances à l'intérieur de la cellule.

RÉTICULUM ENDOPLASMIQUE (RE). Organite dans lequel les protéines sécrétées sont produites et placées dans les vésicules.

BOURGEONNEMENT. Processus par lequel une partie de la membrane du RE est pincée et forme une vésicule.

Chaque organite remplit des fonctions spécifiques et nécessite son propre environnement spécial pour fonctionner de manière optimale. Cet environnement peut être très différent et souvent en concurrence avec les environnements d'autres organites ou d'autres zones de la cellule. Ceci est permis grâce à la membrane qui entoure chaque organite et le sépare du reste de la cellule. Cette membrane est comme une barrière qui empêche la libre circulation des substances à l'intérieur et à l'extérieur de l'organite, de la même manière que la membrane de la cellule empêche la libre circulation des substances à l'intérieur et à l'extérieur de la cellule. Il semble donc que nous ayons un problème : comment les substances se déplacent-elles à travers ces membranes pour être sécrétées, si le travail de la membrane est d'empêcher les substances de passer ([Figure 1B](#)) ?

Il s'avère qu'il existe un mécanisme spécial qui permet le passage des substances entre les organites et hors de la cellule. Ce mécanisme implique de petits transporteurs appelés **vésicules**, qui sont comme de petites voitures qui transportent un colis à sa destination [1, 2]. Dans la section suivante, je te parlerai de la production et de l'action des vésicules qui participent à la sécrétion de molécules appelées protéines, les « ouvrières » qui pilotent de nombreux processus dans le corps.

LA VOIE SÉCRÉTOIRE DES PROTÉINES

Environ 30 % des protéines fabriquées dans le corps humain sont des protéines sécrétoires, c'est-à-dire des protéines conçues pour être sécrétées par les cellules. Comme toutes les protéines, les protéines sécrétoires sont produites dans des particules ressemblant à des machines à coudre appelées ribosomes (le [prix Nobel de chimie en 2009](#) a été décerné à trois chercheurs qui ont étudié la structure et la fonction des ribosomes). Les ribosomes qui produisent les protéines sécrétoires sont accolés à un canal spécial de la membrane d'un organite appelé **réticulum endoplasmique (RE)**. Une fois que les protéines sécrétrices sont produites, elles passent par ce canal puis par le réseau de tubules du RE réparti dans la cellule. Là, d'autres protéines appelées protéines du manteau recouvrent une petite surface de la membrane du RE, ce qui forme une structure spéciale, un peu comme un dôme. Ce dôme recueille les protéines sécrétoires, puis pince de petites sphères de la membrane, les vésicules, qui contiennent la cargaison de protéines sécrétoires transférées dans le RE. Ce processus de formation de vésicules, dans lequel une partie de la membrane du RE est pincée, est appelé **bourgeonnement** [1, 2]. Après le bourgeonnement, les protéines du manteau se détachent des vésicules et les vésicules nues contenant les protéines sécrétoires sont transmises à un organite appelé appareil de Golgi. Le Golgi trie et dirige la cargaison sécrétoire vers sa destination finale : la membrane cellulaire (également appelée membrane plasmique).

EXOCYTOSE. Processus par lequel une substance est libérée de l'intérieur de la cellule vers l'environnement extérieur par la fusion d'une vésicule avec la membrane plasmique de la cellule.

VOIE SÉCRÉTOIRE. Voie utilisée pour sécréter des protéines de l'intérieur vers l'extérieur de la cellule. Elle met en œuvre des organites (RE et appareil de Golgi), la membrane cellulaire et des vésicules.

Dans la membrane plasmique, à l'aide de protéines supplémentaires (telles que **SNARE** et **RAB**), les vésicules libérées du Golgi passent par les deux dernières étapes avant la sécrétion de protéines : l'amarrage et la fusion [3]. À ces stades, les vésicules se rapprochent très près de la membrane selon un alignement spécifique, un peu comme du velcro. Lorsqu'une vésicule et la membrane sont suffisamment proches l'une de l'autre, elles fusionnent spontanément, un peu comme deux bulles de savon. Ainsi, la cargaison de protéines sécrétoires est libérée de l'autre côté de la membrane, à l'extérieur de la cellule ; ce processus est appelé **exocytose**.

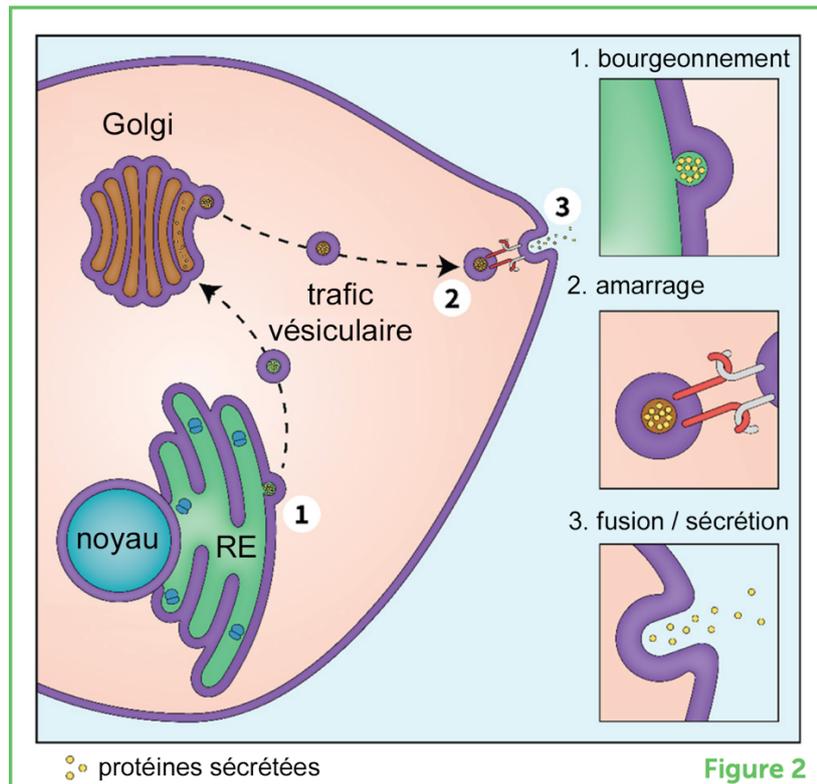


Figure 2. La voie de sécrétion. La voie sécrétoire dans les cellules comporte plusieurs étapes. Tout d'abord, les protéines sécrétrices sont produites par des ribosomes accolés à la membrane du RE (ER). Des vésicules contenant les protéines bourgeonnent de la membrane du RE (étape 1) et se déplacent vers l'appareil de Golgi, qui les dirige vers leur destination finale : la membrane plasmique. La membrane de la vésicule et la membrane plasmique s'accrochent ensemble comme du velcro, dans une étape appelée amarrage (étape 2), puis fusionnent comme deux bulles de savon, libérant le contenu de la vésicule à l'extérieur de la cellule (étape 3)

Comme tu peux le constater, le processus de production, de transport et de sécrétion des protéines est assez complexe. Tu peux le considérer comme une usine d'assemblage automobile, dans laquelle l'automobile est assemblée pièce par pièce le long d'une chaîne de montage avant de pouvoir être expédiée hors de l'usine. La « chaîne d'assemblage » des protéines sécrétoires s'appelle la **voie sécrétoire** [4], et le processus par lequel les vésicules

TRAFIC

VÉSICULAIRE

Processus par lequel les vésicules transportent des substances entre les compartiments de la cellule et entre la cellule et son environnement extérieur.

transportent des substances entre les compartiments à l'intérieur de la cellule et hors de la cellule est appelé **trafic vésiculaire** (Figure 2).

Tu seras peut-être surpris d'apprendre que bon nombre des mécanismes qui contrôlent le trafic des vésicules dans la voie sécrétoire existent dans les cellules depuis plus de 2 milliards d'années ! Cela signifie que les cellules de notre corps, y compris les cellules nerveuses de notre cerveau, partagent la machinerie de sécrétion de base avec des organismes plus simples, tels que les levures [5, 6]. En fait, les premières découvertes sur la machinerie qui fait fonctionner la voie sécrétoire ont été faites chez la levure, dans mon laboratoire [7–9]. Dans la section suivante, je te parlerai de ces premières découvertes qui m'ont valu le prix Nobel de Physiologie ou de Médecine.

LA VOIE SÉCRÉTOIRE CHEZ LA LEVURE

Lorsque j'ai commencé à étudier la voie sécrétoire avec mes étudiants, il y avait quelques hypothèses sur la machinerie contrôlant le trafic des vésicules, mais personne n'avait identifié les gènes impliqués dans ce processus. Nous pensions que l'étude des gènes impliqués dans la voie sécrétoire serait un moyen puissant d'en apprendre davantage sur le trafic des vésicules. Nous avons choisi de travailler sur la levure de boulanger, un micro-organisme simple qui sert à faire du pain et de la bière. La levure de boulanger nous attirait parce que nous pouvions facilement la cultiver en laboratoire et que nous disposions de techniques simples pour analyser ses gènes avec précision.

Pour identifier les gènes liés à la voie sécrétoire chez la levure, nous avons exposé les cellules de levure à des produits chimiques qui provoquent des changements aléatoires dans l'ADN, appelés mutations. Les mutations aléatoires affectent au hasard un gène, parmi les quelque 5 000 gènes de cette levure. Comment, alors, avons-nous réussi à identifier un gène spécifique de la voie sécrétoire dans cette botte de foin de gènes ? Tout d'abord, nous recherchions des gènes essentiels, c'est-à-dire des gènes dont les cellules ont besoin pour survivre. Nous savions que si nous introduisions une mutation dans un gène essentiel qui inactivait complètement ce gène, la cellule mourrait et nous n'aurions plus de cellules avec lesquelles travailler. Par conséquent, nous devions d'une manière ou d'une autre repérer une mutation qui permettait à la cellule, dans certaines conditions, de rester en vie assez longtemps pour que nous puissions l'étudier. En effet, parmi les nombreuses mutations introduites au hasard, certaines modifient la protéine spécifiée par ce gène en la rendant instable à la température du corps humain. Les cellules de levure normales sont parfaitement heureuses à cette température mais, à cause de ces mutations particulières, les

MUTATIONS SENSIBLES À LA TEMPÉRATURE. LÉTALES À LA TEMPÉRATURE.

Mutations qui n'affectent pas la cellule à basse température mais provoquent sa mort à des températures plus élevées.

PAROI CELLULAIRE. Couche la plus externe de la cellule qui recouvre la membrane plasmique.

protéines ne peuvent fonctionner qu'à une température plus basse, comme la température ambiante. C'est ce qu'on appelle des **mutations létales sensibles à la température** [10]. Ainsi, en recherchant ce type de mutations, nous avons pu réduire notre recherche à environ 1 500 gènes essentiels sur les 5 000 gènes de la levure. Il s'agit encore d'un nombre important ; nous avons donc besoin d'un autre paramètre pour nous aider à trouver les gènes responsables du trafic des vésicules. Pour cela, nous avons basé notre recherche sur une hypothèse formulée par George Palade, lauréat du prix Nobel et pionnier de l'étude de la voie de sécrétion. Palade a émis l'hypothèse que la sécrétion est liée à la croissance cellulaire par fusion de vésicules avec la membrane plasmique. C'est une hypothèse logique car lorsque les vésicules fusionnent avec cette membrane, celle-ci devrait grandir. Nous avons donc utilisé un autre critère pour notre étude : nous avons recherché des mutations qui empêchaient les cellules de levure de grandir et qui provoquaient également l'accumulation de protéines sécrétrices à l'intérieur des cellules.

Plus précisément, nous recherchions l'empilement d'une protéine appelée invertase qui se trouve dans la **paroi** des cellules de levure et assure (à la surface de la levure) la décomposition du saccharose (sucre de table) en deux sucres plus petits : le fructose et le glucose. Lorsque le processus de sécrétion fonctionne correctement, nous nous attendons à obtenir la même quantité de fructose et de glucose lorsque nous incubons des cellules *entières* dans du saccharose que lorsque nous ouvrons les cellules et incubons cet extrait dans du saccharose. Par contre, lorsque le processus de sécrétion ne fonctionne *pas* correctement et que l'invertase s'accumule à l'intérieur des cellules, nous devrions obtenir une plus grande quantité de fructose et de glucose avec les cellules ouvertes qu'avec les cellules entières. C'est exactement le résultat que nous avons obtenu dans une expérience menée par mon brillant étudiant Peter Novick. Nous l'avons publiée en 1979 [7]. Nous avons appelé *sec1* le gène qui a été modifié par cette mutation. Lorsque nous avons examiné des cellules portant une mutation *sec1* à l'aide d'un microscope puissant appelé microscope électronique, nous avons constaté que de nombreuses vésicules contenant de l'invertase s'étaient accumulées à l'intérieur de la cellule (**Figure 3A**). C'était très excitant – c'était la première fois qu'on voyait une accumulation de vésicules à l'intérieur d'une cellule. Cette découverte a également fourni des preuves solides à l'appui de l'hypothèse de George Palade selon laquelle la sécrétion et la croissance cellulaire sont liées. À partir de là, il fallait poursuivre notre travail pour comprendre le rôle spécifique que la protéine SEC1 (produite à partir des instructions du gène *sec1*) jouait dans le trafic des vésicules.

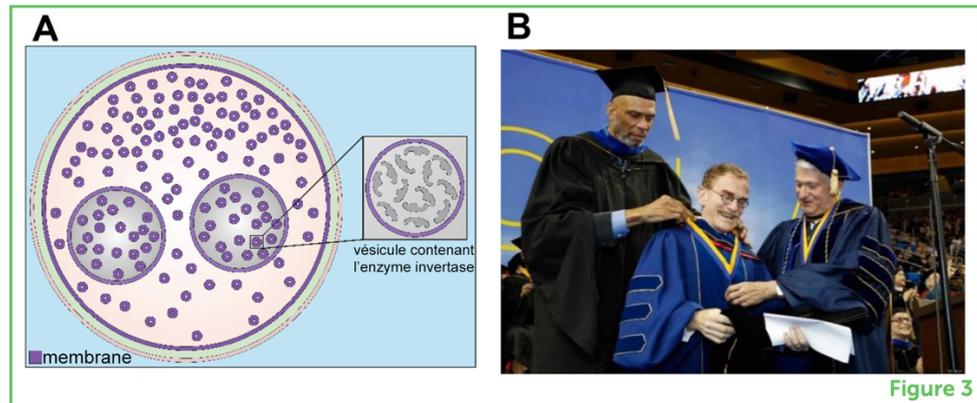


Figure 3

Figure 3. La découverte de *sec1* chez la levure de boulanger. (A) La découverte qui a conduit au prix Nobel se traduit par l'accumulation de vésicules contenant une protéine, appelée enzyme invertase, à l'intérieur d'une cellule de levure de boulanger contenant une mutation dans un gène appelé *sec1* (image adaptée de [7]). (B) Après avoir remporté le prix Nobel, j'ai été invité par mes collègues de l'UCLA, où j'ai obtenu mon diplôme de premier cycle, à prononcer le discours de remise des diplômes. Je suis arrivé dans le même pavillon où mon idole de basket-ball, Kareem Abdul Jabbar (anciennement Lewis Alcindor), avait l'habitude de jouer. Il m'a présenté devant 20 000 personnes, puis m'a mis une médaille honorifique autour du cou. C'était un moment surréaliste que je n'oublierai jamais (Crédit image : UCLA).

Finalement, nous avons découvert que la protéine SEC1 est impliquée dans la dernière étape du processus de sécrétion, à savoir l'amarrage et la fusion. Peu de temps après avoir identifié le mutant *sec1*, nous avons identifié d'autres mutants impliqués dans le processus de sécrétion de la levure [8], et nous avons commencé à comprendre l'ordre des événements qui se produisent dans la voie sécrétoire de la levure [9]. Nos découvertes de gènes impliqués dans la voie de sécrétion de la levure ont également fait progresser la compréhension de la façon dont ce processus se produit chez les mammifères, y compris chez les humains [6]. Plus précisément, bon nombre des gènes et des protéines que nous avons découverts se sont avérés avoir des équivalents dans les cellules de mammifères. L'un des principaux scientifiques qui a trouvé certaines de ces contreparties chez les cellules de mammifères est le professeur James Rothman, avec qui j'ai partagé le prix Nobel de physiologie ou médecine en 2013. Grâce à ce prix Nobel, j'ai eu l'occasion de rencontrer mon idole de basket-ball Kareem Abdul Jabbar ! (Figure 3B).

Notre travail a été pionnier pour deux raisons : en raison de nos découvertes spécifiques sur les gènes impliqués dans la voie sécrétoire mais aussi en raison de notre utilisation novatrice et réussie de la génétique microbienne pour étudier la voie sécrétoire. Nos résultats ont ouvert une nouvelle ligne de recherche, que beaucoup de mes étudiants et leurs étudiants ont suivie au fil des ans. Une fois que la voie sécrétoire de la levure a été bien comprise, les gens ont

commencé à utiliser ces connaissances pour des applications médicales. Un exemple important auquel j'ai participé est l'utilisation de la voie de sécrétion de la levure pour produire de l'insuline humaine pour traiter le diabète [10]. Comme la sécrétion est un processus fondamental dans le corps humain, il existe de nombreux autres exemples de problèmes médicaux qui pourraient être traités en fonction de notre compréhension croissante de la voie de sécrétion, telles que des maladies cardiaques et des problèmes de digestion. Bien qu'à l'origine, ma recherche ne visait pas au développement d'applications médicales, je suis heureux qu'elle contribue à des traitements qui aident les gens partout dans le monde.

RECOMMANDATIONS POUR LES JEUNES ESPRITS

Je pense que l'un des traits les plus fondamentaux qu'un scientifique devrait avoir et essayer de développer est l'excitation de la découverte. À mon avis, la science est le processus de découverte par excellence, et pas seulement une liste de détails sur ce qui est déjà connu et établi. Si tu as une passion pour la science, tu devrais trouver une façon indépendante d'explorer – ne te limite pas à la matière que tu apprends en classe. Lorsqu'il s'agit d'élargir tes connaissances, je crois qu'une étude indépendante, comme dans un laboratoire, est tout aussi importante que la lecture de manuels scolaires. Pour réaliser si tu peux être un bon chercheur, tu dois faire toi-même l'expérience de la recherche. La recherche est souvent très frustrante – beaucoup de choses échouent et tu dois apprendre à persévérer face aux échecs répétés. Tu ne peux t'en donner les moyens qu'en faisant l'expérience directe de la recherche en laboratoire. C'est aussi ainsi que tu pourras développer la foi en toi-même et en tes compétences, ce qui te permettra de d'être confiant que les choses peuvent s'arranger et que tu pourras atteindre ton objectif, même lorsque le processus est très compliqué. C'est pourquoi je conseille à tous les jeunes étudiants de commencer immédiatement à travailler dans un laboratoire ou dans une forme d'étude indépendante.

Un autre aspect d'un bon scientifique est sa capacité d'identifier un problème passionnant à étudier et de s'y engager pleinement. Cela signifie que tu dois continuer à te concentrer sur ce problème spécifique et réfléchir de manière indépendante à la conception et à l'exécution d'expériences, d'observations ou de théories qui peuvent t'aider à le résoudre. Même si tu rencontres des difficultés en cours de route, tu dois continuer à penser au problème, à le retourner dans ta tête jusqu'à ce que tu trouves une nouvelle façon de l'aborder. Je sais qu'il peut être difficile de se concentrer, surtout pour les personnes créatives qui ont beaucoup de nouvelles idées tout le temps. Mais chacun de nous n'a qu'une quantité limitée de temps et d'énergie, et si nous ne nous concentrons pas, nous ne sommes pas

en mesure de progresser. Par conséquent, mon conseil est de garder les yeux sur la récompense et de persévérer jusqu'à ce que tu trouves une solution à un problème important auquel tu as décidé de te consacrer.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Noa Segev d'avoir mené l'interview qui a servi de base à cet article, et d'avoir co-écrit l'article, ainsi que Netta Kasher d'avoir fourni les chiffres.

RÉFÉRENCES

- [1] ↑ Jena, B. P. 2007. Secretion machinery at the cell plasma membrane. *Curr. Opin. Struct. Biol.* 17:437–43. doi: 10.1016/j.sbi.2007.07.002
- [2] ↑ Schekman, R., and Orci, L. 1996. Coat proteins and vesicle budding. *Science* 271:1526–33. doi: 10.1126/science.271.5255.1526
- [3] ↑ Verhage, M., and Sørensen, J. B. 2008. Vesicle docking in regulated exocytosis. *Traffic* 9:1414–24. doi: 10.1111/j.1600-0854.2008.00759.x
- [4] ↑ Shikano, S., and Colley, K. J. 2013. "Secretory pathway," in *Encyclopedia of Biological Chemistry*, ed J. Jez (New York, NY: Elsevier). p. 203–9. doi: 10.1016/b978-0-12-378630-2.00507-7
- [5] ↑ Bennett, M. K., and Scheller, R. H. 1993. The molecular machinery for secretion is conserved from yeast to neurons. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 90:2559–63. doi: 10.1073/pnas.90.7.2559
- [6] ↑ Rothman, J. E., and Orci, L. 1992. Molecular dissection of the secretory pathway. *Nature* 355:409–15. doi: 10.1038/355409a0
- [7] ↑ Novick, P., and Schekman, R. 1979. Secretion and cell-surface growth are blocked in a temperature-sensitive mutant of *Saccharomyces cerevisiae*. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 76:1858–62. doi: 10.1073/pnas.76.4.1858
- [8] ↑ Novick, P., Field, C., and Schekman, R. 1980. Identification of 23 complementation groups required for post-translational events in the yeast secretory pathway. *Cell* 21:205–15. doi: 10.1016/0092-8674(80)90128-2
- [9] ↑ Novick, P., Ferro, S., and Schekman, R. 1981. Order of events in the yeast secretory pathway. *Cell* 25:461–9. doi: 10.1016/0092-8674(81)90064-7
- [10] ↑ Schekman, R. A. N. D. Y. 2013. *Genes and Proteins That Control the Secretory Pathway*. Nobel Lecture, 7.

MATERIEL SUPPLÉMENTAIRE

1 A pathway of a hundred genes starts with a single mutant: Isolation of sec1-1 :

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4078845/>

2 Publishing important work in the life sciences: Randy Schekman at TEDxBerkeley :

https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=-N4Mb8tsyT8&ab_channel=TEDxTalks

3 Rothman and Schekman: Uncovering the Secretary Pathway – Youtube : <https://www.youtube.com/watch?v=1P-Jwk1kidc>

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.2023.1063926 ; Schekman R (2023) The Secrets of Secretion: Protein Transport in Cells. *Front. Young Minds.* 11:1063926).

TRADUCTION : Jean-Marie Clément, Association Jeunes Francophones et la Science

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

ARTICLE ORIGINAL (VERSION ANGLAISE)

SOUMIS le 7 octobre 2022 ; **ACCEPTÉ** le 1er mars 2023 ;
PUBLIÉ EN LIGNE le 19 septembre 2023.

ÉDITEUR : Robert T. Knight, Université de Californie, Berkeley, États-Unis

MENTORS SCIENTIFIQUES : Anjan Debnath , Jeeyon Jeong

CITATION

Schekman R (2023) The Secrets of Secretion: Protein Transport in Cells. *Front. Young Minds.* 11:1063926. doi : 10.3389/frym.2023.1063926

DÉCLARATION DE CONFLIT D'INTÉRÊTS

L'auteur déclare 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'AUTEUR

Copyright © 2023 Schekman

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

JOUNSAH, 10 ANS

Bonjour, je m'appelle Joonsah. J'ai 10 ans. J'aime faire du sport, comme le foot, le tennis et le ski. Mon animal préféré est un serpent.

Je joue de trois instruments : le piano, l'alto et la trompette. Je parle également quatre langues : l'anglais, le coréen, le chinois et un peu d'allemand. J'aime beaucoup la science

ELISA, 11 ANS

Salut ! Je m'appelle Elisa. J'ai 11 ans et je suis en 6^e année. Je joue du violon et au tennis depuis l'âge de 5 ans. J'aime faire beaucoup de choses, comme être dehors avec des amis, lire, être avec des animaux, jouer du violon et pratiquer le tennis, et jouer à des jeux. Mes animaux préférés sont les chiens (DOGS RULE).

ANJISHNU, 15 ANS

Bonjour, je m'appelle Anjishnu et je suis en dixième année. J'ai une passion pour l'écriture, la lecture et la science. J'aime jouer au tennis. Je veux étudier la biologie quand je serai grande afin de pouvoir poursuivre une carrière scientifique.

AUTEUR

RANDY SCHEKMAN

Le professeur Randy Schekman est professeur de biologie moléculaire et cellulaire à l'Université de Californie à Berkeley, aux États-Unis. Il a obtenu un baccalauréat à l'Université de Californie à Los Angeles, où il a mené un projet de recherche sur la réplication des bactériophages. Il a ensuite effectué ses recherches de troisième cycle dans le laboratoire du professeur Arthur Kornberg, lauréat du prix Nobel, à l'Université de Stanford, dans le domaine de la réplication de l'ADN. Après avoir obtenu son diplôme en 1974, Il a poursuivi ses études à l'Université de Californie à San Diego, où il a étudié la membrane cellulaire. En 1976, Il est devenu professeur à l'Université de Californie à Berkeley, où il travaille encore aujourd'hui. Il y a étudié la voie sécrétoire chez la levure, travail pour lequel il a reçu le prix Nobel de physiologie ou médecine en 2013. Il a remporté de nombreux autres prix et distinctions tout au long de sa carrière, notamment le prix international de la Fondation Gairdner (1996), le prix Lasker (2002), le prix Louisa Gross Horwitz (2002), le prix Massry (2010) et la médaille E. B. Wilson (2010). Il est un fervent partisan de la publication en accès libre, et le promeut depuis des décennies. Après le décès de sa femme il y a quelques années suite à la maladie de Parkinson, Il a mobilisé le monde scientifique sur un programme collaboratif de Science fondamentale afin de découvrir le mécanisme de cette maladie. *schekman@berkeley.edu