

d'acides aminés qui composent les principales protéines des capsides des deux sortes de virus ne se ressemblent pas du tout, ce qui sous-entend que ces protéines ont divergé il y a très longtemps, ne conservant de leur origine commune que leur structure spatiale et leur capacité à s'associer pour former des icosaèdres.

Apparus avant les bactéries, archées et eucaryotes ?

Par la suite, des protéines de type DJR ont été découvertes dans les capsides de virus infectant des archées présentes dans les sources chaudes de Yellowstone et dans celles d'autres virus d'archées des lacs salés. Des protéines de type DJR forment aussi la capsid de la plupart des virus

géants icosaédriques qui infectent des eucaryotes, et même celle de leurs virophages. La présence de ces protéines et des pompes d'emballage correspondantes définit donc aujourd'hui une grande lignée évolutive virale commune aux trois domaines du vivant. Ce n'est pas la seule.

Dans les années 2000, les virologistes se sont aperçus avec encore plus de surprise que les protéines de capsid de bactériophages de type tête-queue, ceux dont les virions ressemblent à de petits modules lunaires (voir l'article de Laurent Debarbieux pages 92 à 97), sont apparentées à celles du virus de l'herpès. Bien que ces protéines s'assemblent en une capsid icosaédrique qui ressemble à celles de PRD1 et des adénovirus, leur repliement, dit de Hong Kong (ville où on l'a mis en évidence) n'a rien à voir avec celui des protéines de type DJR. Les virus de type Hong Kong forment

donc une seconde lignée universelle de virus qui étaient déjà présents, eux aussi, à l'époque de LUCA.

Le fait que plusieurs grandes lignées puissent d'ores et déjà être identifiées sur la base de protéines homologues au sein d'une même lignée nous apprend déjà une chose importante : les virus sont polyphylétiques, c'est-à-dire qu'ils ne descendent pas tous d'un même ancêtre. Il n'existe donc pas de LUCA viral ou plutôt il en existe plusieurs, un à l'origine de chacune des grandes lignées virales, et la plupart de ces LUCA viraux sont certainement apparus avant notre LUCA cellulaire.

Cela ne signifie pas pour autant que les virus sont les plus anciennes formes de vie apparues sur Terre. De mon point de vue, c'est tout à fait impossible puisque les virus ne peuvent exister sans parasiter une cellule et ses ribosomes, les unités

Les virus ont-ils joué un rôle dans l'apparition du noyau ?

L'usine que les virus à ADN déploient dans les cellules eucaryotes qu'ils infectent n'est pas sans rappeler le noyau cellulaire. Ce microorganisme transitoire qui se développe à l'intérieur de la cellule – le virus proprement dit – produit aux dépens de celle-ci des particules virales – ou virions –, lesquelles se propagent dans le milieu extracellulaire à la recherche d'un nouvel hôte.

Si tous les virus dépendent de la machinerie de traduction cellulaire, les ribosomes, parmi les virus à ADN infectant les eucaryotes, il existe différents types de cycles infectieux correspondant à des niveaux de dépendance au noyau cellulaire allant d'un simple recrutement de protéines vers l'usine virale à l'utilisation de toutes les fonctions nucléaires (transcription des gènes pour la synthèse des protéines virales, réplication de l'ADN). C'est le cas de tous les virus qui ne chargent pas leurs virions d'une machinerie de transcription fonctionnelle.

Ils doivent acheminer leur ADN au noyau cellulaire, où la transcription des gènes nécessaires à l'initiation du cycle infectieux est réalisée grâce à la machinerie nucléaire. Certains vont même s'installer dans le noyau, laissant à la cellule le

soin de répliquer leur ADN. Dans tous les cas, les ARN produits sont exportés vers le cytoplasme où ils sont traduits, et un ensemble de protéines virales parfois très restreint orchestre alors l'assemblage de nouveaux virions et leur chargement en ADN viral avant leur exportation hors de la cellule.

Les virus les moins dépendants (comme le mimivirus) sont ceux qui chargent dans leurs virions toute la machinerie nécessaire pour réaliser les fonctions nucléaires ou qui sont capables de recruter les quelques protéines qui pourraient leur manquer en soutien des protéines qu'ils possèdent déjà, comme cela semble être le cas pour les *Marseilleviridae*.

Une fois à l'intérieur de la cellule, le virus enclenche le développement d'une « usine virale » au sein de laquelle il fabrique les

composants nécessaires à sa reproduction. Ce microorganisme transitoire est un véritable compartiment, excluant tous les organites de la cellule tels les mitochondries et les ribosomes. Il est parfois délimité par une membrane lipidique, comme dans le cas des *poxvirus*, ou par une frontière de nature encore inconnue comme chez les *Mimiviridae* et les *pitovirus*.

Que fait un noyau au cours de la vie d'une cellule ? Il exprime et multiplie l'ADN qu'il contient (« son » génome) en utilisant les ressources (métabolites, énergie, ribosomes) du cytoplasme qui l'entoure. L'usine virale et le noyau ont ainsi en commun de confiner la transcription et la réplication dans un compartiment bien défini duquel les organites produisant de l'énergie sont exclus.

On peut les voir tous deux comme des parasites du cytoplasme, dont ils ont besoin pour produire les protéines codées dans leur matériel génétique. Dans l'usine virale comme dans le noyau s'effectuent les transcriptions précoce, intermédiaire et tardive nécessaires au cycle

réplicatif. De même, seules des enzymes virales ayant des spécificités bien différentes des enzymes cellulaires (promoteurs, arrêt de transcription, polyadénylation) reconnaissent les signaux viraux de régulation, tout comme les enzymes nucléaires ne répondent qu'à certains signaux spécifiques.

La façon dont les messagers matures s'exportent de l'usine virale vers le cytoplasme doit encore être élucidée. Une chose est sûre : ces transcrits sont optimisés pour une traduction préférentielle des messagers viraux au détriment des messagers cellulaires.

Ces similitudes entre l'usine virale et le noyau suggèrent que le noyau pourrait être le vestige d'un virus ancestral qui, comme la bactérie qui a donné les mitochondries des cellules, aurait été capturé par une cellule ancestrale et y serait resté pour leur bénéfice réciproque.

– Chantal Abergel
et Jean-Michel Claverie,
Laboratoire IGS,
institut de microbiologie
de la Méditerranée
(CNRS et Aix-Marseille université)