

sont au milieu, et ceux qui contrôlent les détails de la morphogenèse sont à la périphérie. Corrélativement, les modules des GRN diffèrent dans leur labilité évolutive. Les composants les plus permanents – appelés « noyaux » – structurent les interactions de régulation les plus conservées. Ce sont eux qui opèrent pendant la phase initiale du développement, par exemple la régionalisation de l'embryon. Une organisation qui, pour Eric Davidson et nombre de biologistes du développement à sa suite, suggère que la conservation de la structure des noyaux des GRN développementaux est la cause directe de la stabilité des plans des animaux depuis le début du Cambrien, il y a 520 millions d'années.

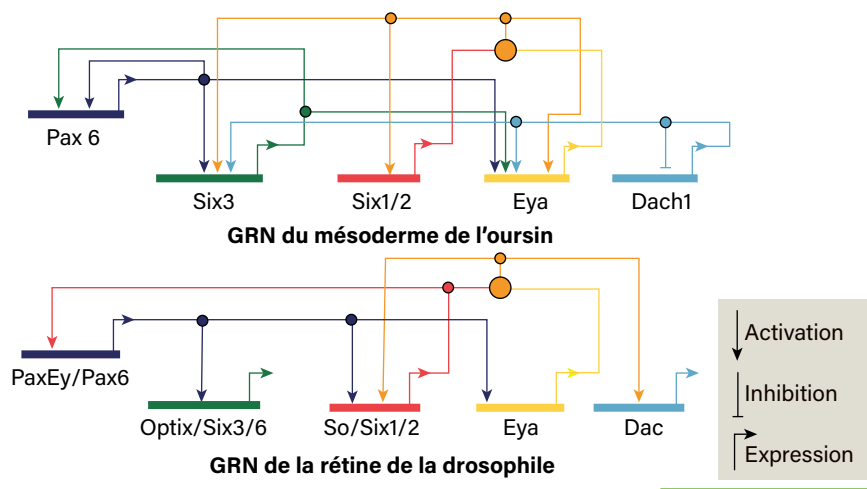
Le séquençage complet du génome de l'oursin pourpre, en 2006, a été une étape capitale. Toutefois, une question subsistait : comment de tels modules logiques pouvaient-ils se transformer ? Veronica Hinman, ancienne collaboratrice d'Eric Davidson actuellement à l'université Carnegie-Mellon, aux États-Unis, et ses collègues ont apporté un élément de réponse en 2020 en comparant les GRN de deux animaux proches, l'oursin pourpre et l'étoile de mer *Patiria miniata*. Dans un module parmi les plus permanents, ils ont mis en évidence qu'un sous-module, postulé identique chez ces deux échinodermes, présente l'activation d'un gène supplémentaire chez l'étoile de mer, ce qui mène à une possibilité de commutation entre deux modes stables. En d'autres termes, un même module pourrait fonctionner suivant plusieurs modes. La stabilité des GRN permettrait ainsi d'accepter de nouveaux gènes, et les multiples modes de fonctionnement d'amener de la nouveauté. De plus, l'équipe a montré que des GRN présentent des motifs très conservés dans le monde animal, ce qui corrobore cette hypothèse (voir l'encadré ci-contre).

LA LARVE DE L'OURSIN CELLULE PAR CELLULE

C'est dans ce contexte que l'équipe de Maria Arnone a réalisé une prouesse technique. Alors qu'Eric Davidson et Veronica Hinman travaillaient sur des tissus ou leurs ébauches, c'est-à-dire un ensemble de cellules qui ne présentent pas nécessairement les mêmes différenciations, elle a déterminé l'ensemble des gènes exprimés sur quelque 20 000 cellules isolées du *pluteus* de l'oursin pourpre. En fonction de leurs profils d'expression, elle a montré que ces cellules se répartissent en seulement

DES CIRCUITS LOGIQUES TRÈS SIMILAIRES

Pour le biologiste américain Eric Davidson, le réseau de régulation des gènes ou GRN, c'est-à-dire la façon dont l'activation de chacun agit sur les autres au fil du développement, peut être vu comme un circuit logique constitué de modules élémentaires que l'évolution redéploie, comme un électronicien modifierait l'agencement des modules d'un circuit électronique. L'équipe de Veronica Hinman a conforté cette idée en montrant que le réseau de gènes en action dans des cellules qui participent à la spécification d'un feuillet de l'embryon de l'oursin pourpre, le mésoderme, est très semblable à celui de la différenciation de la rétine chez la drosophile.



21 groupes, chacun caractérisé par un GRN propre, que l'équipe est en train de préciser. Néanmoins, une curiosité est déjà apparue.

La moitié de ces groupes concernent des cellules nerveuses, avec leurs propres spécificités. Or, parmi ces neurones, un groupe présente un GRN identique à celui des cellules qui sécrètent l'insuline dans le pancréas des vertébrés, les cellules β . Les échinodermes étant un groupe frère des chordés, dont font partie les vertébrés, une telle fonction endocrine est forcément héritée de leur ancêtre commun. Problème : les cellules β pancréatiques ne sont pas d'origine nerveuse ! Or dans l'arbre du vivant, les neurones sont apparus d'abord, comme en atteste leur présence chez des organismes très éloignés. Les cellules digestives exprimant l'insuline, précurseurs des cellules β , sont arrivées plus tard, peut-être selon le scénario suivant, que propose l'équipe de Maria Arnone : à un moment donné, les précurseurs des cellules β ont « adopté » le GRN d'une cellule nerveuse préexistante, comme si une cellule embryonnaire était capable de redéployer le GRN d'une autre cellule.

Si cette hypothèse se confirme, suivre l'histoire des lignées cellulaires et des filiations d'organes et de tissus ne suffira plus pour comprendre le développement. Une découverte qui pourrait avoir un impact aussi fort que celui du transfert horizontal de gènes d'un organisme à un autre. ■

BIBLIOGRAPHIE

P. Paganos et al., *Single cell RNA sequencing of the *Strongylocentrotus purpuratus* larva reveals the blueprint of major cell types and nervous system of a non-chordate deuterostome*, *Biorxiv*, 2021.

G. A. Cary et al., *Systematic comparison of sea urchin and sea star developmental gene regulatory networks explains how novelty is incorporated in early development*, *Nat. Commun.*, vol. 11, article 6235, 2020.

E. V. Rothenberg, Eric Davidson : *steps to a gene regulatory network for development*, *Dev. Biol.*, vol. 412, pp. S7-S19, 2016.

D. Erwin et E. Davidson, *The evolution of hierarchical gene regulatory networks*, *Nat. Rev. Genet.*, vol. 10, pp. 141-148, 2009.

POUR LA SCIENCE HORS-SERIE

Édition française de Scientific American

COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION DÈS MAINTENANT!



N° 111 (mai. 21)
réf. DO111



N° 110 (fév. 21)
réf. DO110



N° 109 (nov. 20)
réf. DO109



N° 108 (sept. 20)
réf. DO108



N° 107 (mai 20)
réf. DO107



N° 106 (févr. 20)
réf. DO106



N° 105 (nov. 19)
réf. DO105



N° 104 (juil. 19)
réf. DO104



N° 103 (avr. 19)
réf. DO103



N° 102 (fév. 19)
réf. DO102



N° 101 (nov. 18)
réf. DO101



N° 100 (août 18)
réf. DO100

RETROUVEZ L'ENSEMBLE DES ANCIENS NUMÉROS SUR BOUTIQUE.GROUPEPOURLASCIENCE.FR

À renvoyer accompagné de votre règlement à :

Service abonnement Pour la Science – 56 rue du Rocher – 75008 Paris – email : serviceclients@groupepourlascience.fr



OUI, je commande des numéros de Pour la Science Hors-série, au tarif unitaire de 10,40 €.

1 / JE REPORTE CI-DESSOUS LES RÉFÉRENCES à 5 chiffres correspondant aux numéros commandés :

1^{re} réf. x 10,40 € = €
 2^e réf. x 10,40 € = €
 3^e réf. x 10,40 € = €
 4^e réf. x 10,40 € = €
 5^e réf. x 10,40 € = €
 6^e réf. x 10,40 € = €

TOTAL À RÉGLER €

Offre valable jusqu'au 31/12/21 en France Métropolitaine.
Les prix affichés incluent les frais de port et les frais logistiques.

Les informations que nous collectons dans ce bon de commande nous aident à personnaliser et à améliorer les services que nous vous proposons. Nous les utiliserons pour gérer votre accès à l'intégralité de nos services, traiter vos commandes et paiements, et vous faire part notamment par newsletters de nos offres commerciales moyennant le respect de vos choix en la matière. Le responsable du traitement est la société Pour la Science. Vos données personnelles ne seront pas conservées au-delà de la durée nécessaire à la finalité de leur traitement. Pour la Science ne commercialise ni ne loue vos données à caractère personnel à des tiers. Les données collectées sont exclusivement destinées à Pour la Science. Nous vous invitons à prendre connaissance de notre charte de protection des données personnelles à l'adresse suivante : <https://rebrand.ly/charte-donnees-pls> Conformément à la réglementation applicable (et notamment au Règlement 2016/679/UE dit « RGPD ») vous disposez des droits d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, à la portabilité et à la limitation de vos données personnelles. Pour exercer ces droits (ou nous poser toute question concernant le traitement de vos données personnelles), vous pouvez nous contacter par courriel à l'adresse protection-donnees@pourlascience.fr.

2 / J'INDIQUE MES COORDONNÉES

☐ M. ☐ Mme

Nom :

Prénom :

Adresse :

Code postal Ville :

Téléphone

J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON

3 / JE CHOISIS MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science
en nous retournant ce bulletin complété



Pour retrouver tous nos numéros
et effectuer un paiement par carte bancaire,
rendez-vous sur boutique.groupepourlascience.fr