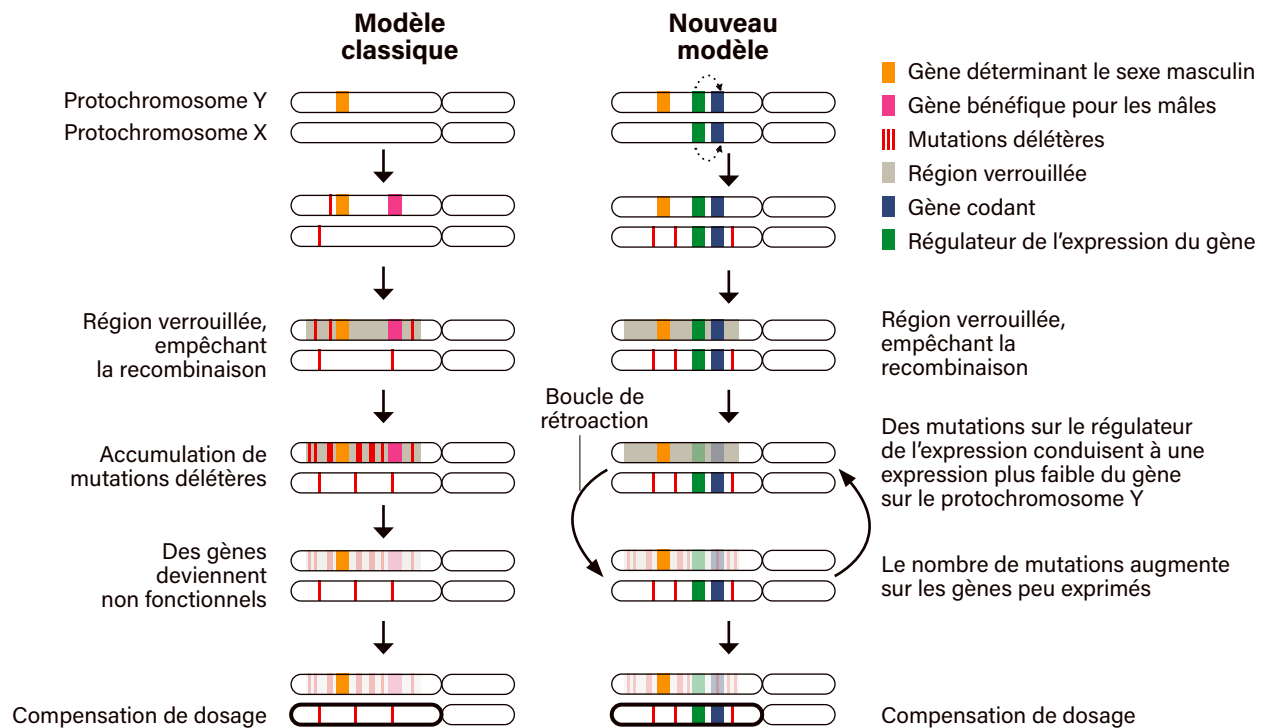




ensemble. L'absence de recombinaison entraîne alors une accumulation de mutations délétères dans la région «verrouillée»; les gènes touchés deviennent non fonctionnels et, progressivement, la taille du chromosome s'en trouve diminuée. Enfin, pour combler ce manque d'expression, les copies fonctionnelles des gènes situées sur le chromosome X sont surexprimées (et l'un des X est éteint chez les femelles) : c'est ce qu'on appelle «la compensation de dosage».

Si cette théorie a pendant longtemps été admise, elle souffre toutefois d'un manque de preuves empiriques, ce qui a progressivement éveillé un certain scepticisme au sein d'une part de la communauté scientifique. Thomas Lenormand et Denis Roze ont donc proposé un nouveau modèle. Ils suggèrent que la causalité est inversée. Selon eux, la dégénérescence découle de l'évolution précoce des régulateurs de l'expression des gènes, qui sont aussi portés par le chromosome Y. Ils proposent que des arrêts de recombinaisons fortuits se sont produits le long du protochromosome Y. Parmi les régions verrouillées, désormais transmises d'un seul bloc, certaines, par chance, étaient relativement dépourvues de mutations délétères, et se sont fixées

dans la population. Toutefois, du fait de l'arrêt des recombinaisons, les régulateurs gouvernant l'expression des gènes sur ces régions ont évolué, dès lors, de façon indépendante pour le X et pour le Y. Selon ce scénario, l'expression du Y a rapidement divergé de celle du X, avec une moindre expression (ce qui a entraîné une compensation de dosage). Les gènes du Y, moins exprimés, ont alors intégré des mutations, avec un impact limité, assurant leur diffusion dans la population. Par ailleurs, la compensation de dosage génère alors des effets antagonistes entre sexes, qui empêchent le rétablissement de la recombinaison. Cette situation conduit de façon inéluctable à la dégénérescence complète du Y, sauf pour les gènes ayant une fonction propre aux mâles. Grâce à des simulations informatiques, les chercheurs ont montré l'efficacité de ce nouveau modèle.

Comment tester ce scénario? Chez les mammifères, le chromosome sexuel Y est très dégénéré et son origine est ancienne. Ces cas ne permettent pas d'étudier comment s'est déroulée la formation des gonosomes. Les biologistes se penchent donc sur des systèmes chromosomiques plus jeunes, où la détermination du sexe a fait très récemment son

apparition, comme chez certaines plantes. Ils se tournent aussi vers des groupes d'animaux, comme certains poissons, chez lesquels les chromosomes responsables du sexe ont changé depuis peu de temps. Ce faisant, ils espèrent observer directement les premières étapes de l'évolution des gonosomes et tester les différents scénarios envisagés par l'ancien et le nouveau modèle.

Si les scientifiques veulent élucider l'origine des particularités des chromosomes sexuels, c'est pour mieux comprendre le fonctionnement des génomes, et en particulier étudier plus en profondeur les causes et les conséquences de l'arrêt de la recombinaison, mécanisme essentiel de la reproduction sexuée. Du reste, les monosomies (un chromosome en moins) et trisomies (un chromosome en trop) sont en général létales. Quels mécanismes assurent qu'un chromosome dégénéré n'est pas délétère? Il s'agit donc aussi d'élucider les effets, peu connus, des variations de dosage et de l'expression sur la santé. ■

William Rowe-Pirra

T. Lenormand et D. Roze, *Science*, 2022

PHYSIQUE DES MATÉRIAUX

DES BOÎTES QUANTIQUES POUR PANNEAUX SOLAIRES

En laboratoire, le rendement des cellules solaires à pérovskite dépasse 25 %. Mais sur des cellules de grande taille, il diminue fortement. Des structures quantiques changeront-elles la donne ?

Face aux enjeux de la production énergétique, la piste photovoltaïque présente de multiples atouts. Mais un des grands défis de cette filière est d'atteindre des rendements élevés.

Dans ce domaine, les cellules photovoltaïques à pérovskite (un assemblage hybride d'un composé organique et d'un halogénure de métal avec une structure cristalline spécifique) ont connu une évolution foudroyante. En 2021, leur rendement a dépassé 25%. Les cellules à pérovskite ont donc un rendement supérieur à celles, plus classiques, composées de silicium. En outre, leur fabrication est peu coûteuse. Malheureusement, en passant de dispositifs de laboratoire à des équipements pour un usage commercial, le changement d'échelle s'accompagne d'un effondrement du rendement. En effet, dans l'électrode (souvent du dioxyde de titane) qui collecte les électrons produits lorsque la lumière interagit avec la cellule photovoltaïque, la mobilité des particules est faible. Les électrons ont alors le temps de se recombiner avec les atomes de pérovskite. Et la conversion en courant est dès lors moins efficace. Pour améliorer le rendement, l'équipe de Michael Grätzel, de l'EPFL (l'École polytechnique fédérale de Lausanne), et de Dong Suk Kim, de l'Institut coréen de recherche sur l'énergie, propose de remplacer ces électrodes par une fine couche de boîtes quantiques (*quantum dots*).

Il s'agit de nanostructures semi-conductrices qui permettent de confiner un électron comme dans un atome. Les boîtes quantiques sont souvent qualifiées d'atomes artificiels. Comme pour les niveaux d'énergie d'un atome, les lois de la mécanique quantique indiquent alors comment ces boîtes interagissent avec la lumière. Simplement en contrôlant leur taille, il est possible de les faire émettre un rayonnement à des longueurs d'onde spécifiques. Les applications sont nombreuses : imagerie médicale, diodes émettrices de lumière, mais aussi cellules photovoltaïques. Dans ce dernier cas, les boîtes quantiques se substituent au silicium ou aux pérovskites et captent la lumière du soleil.

Dans le dispositif de Michael Grätzel, l'électrode de dioxyde de titane est remplacée



Dans des nanosphères semi-conductrices, ou boîtes quantiques, l'énergie des électrons est quantifiée et dépend du diamètre des structures. En contrôlant ce dernier paramètre, il est possible d'ajuster finement les longueurs d'onde absorbées et émises par fluorescence. Chacun des tubes contient une solution avec des nanosphères d'un diamètre spécifique, ce qui lui donne une couleur différente.

par une couche d'acide polyacrylique (un gel de polymère) contenant des boîtes quantiques de dioxyde d'étain (SnO_2). Les chercheurs ont constaté que la capacité de capture de la lumière était augmentée et la recombinaison des électrons avec la pérovskite était diminuée de 80%. Ils ont ensuite mesuré un rendement de 25,7% pour une cellule de 0,08 centimètre carré. En augmentant la taille, la perte de performance est limitée : le rendement atteint encore 20,6% pour une cellule de 64 centimètres carrés.

Un autre obstacle dans l'industrialisation des cellules à pérovskite est leur contenu en plomb, dont la toxicité est problématique pour la santé. De nombreuses stratégies sont à l'étude, consistant notamment à le remplacer par un autre métal. « Les travaux de recherche se concentrent actuellement sur les pérovskites à base d'étain, indique Michael Grätzel. Leur rendement progresse bien et atteint déjà 15%. » Ces cellules solaires pourraient alors devenir un concurrent sérieux sur le marché de l'énergie. ■

Sean Bailly

M. Kim et al., Science, 2022