

> en Asie du Sud-Est. La seconde serait un effort «de haut en bas», mené par un gouvernement ou un organisme mondial, à l'instar du World Wide Web Consortium. Les services de transport étant déjà fortement régulés dans la plupart des pays, cela ne devrait pas être trop compliqué. Dans le cadre de l'une ou l'autre de ces approches, il serait possible de créer une plateforme de transport et de logistique à la fois puissante et transparente.

Les véhicules autonomes risquent aussi d'aggraver l'étalement urbain

L'autonomie des véhicules et le covoiturage sont à même d'introduire des changements extrêmement positifs dans le transport urbain. Mais si la transition vers la ville sans conducteurs n'est pas gérée prudemment, elle pourrait aussi avoir des conséquences négatives.

DES ÉCUEILS À ÉVITER

Le premier souci est la sécurité. Nous savons tous qu'un virus peut mettre en panne un ordinateur. Que se passera-t-il si un virus affecte le fonctionnement d'une voiture autonome? Le piratage malveillant est difficile à combattre avec les outils classiques à la disposition des industriels et des gouvernants, et il est particulièrement dangereux dans le cas de systèmes, tels que les voitures autonomes, qui combinent des technologies numériques et matérielles.

Des problèmes supplémentaires pourraient naître de ce que l'on pourrait appeler l'«abus de position dominante» des véhicules autonomes. Le coût du trajet au kilomètre pourrait chuter de façon si substantielle que les gens abandonneraient les transports publics au profit des voitures autonomes. Ce phénomène entraînerait à son tour une augmentation du nombre de véhicules en ville, avec pour conséquence de terribles embouteillages. En outre, le fait de maintenir des voitures en mouvement à toute heure plutôt que parkées 96 % du temps pourrait accroître la pollution.

Les voitures autonomes risquent d'avoir un autre effet inattendu: l'aggravation de

l'étalement urbain. Ce ne serait pas la première fois qu'une innovation technologique dans le domaine des transports entraînerait un tel effet. Dans son ouvrage *Sur les quatre routes*, paru en 1941, Le Corbusier décrivait comment cela s'est déroulé dans les premières décennies du xx^e siècle: «Le chemin de fer a transformé les villes en véritables aimants; elles se remplissaient et enflaient sans contrôle, et la campagne était progressivement abandonnée. C'était un désastre. Heureusement, l'automobile, grâce à l'organisation de ses Os, va rétablir cette harmonie rompue et commencer le repeuplement de la campagne.» Dans l'avenir, qu'en sera-t-il si les gens, devenus capables de faire des allers et retours domicile-travail tout en dormant ou en travaillant, décident de déménager à l'extérieur de la ville, en consommant des terres et en développant des zones résidentielles non viables?

Quelques autres menaces méritent d'être mentionnées. Les amendes, les tickets de stationnement et les diverses taxes liées à l'automobile représentent une source substantielle de revenus pour les diverses autorités locales ou nationales. Une utilisation généralisée de véhicules autonomes risque d'éliminer cette manne financière. On peut aisément imaginer ce qui arriverait pour les infrastructures routières des États-Unis, déjà bien délabrées, si ce scénario se vérifiait!

Les villes pourraient peut-être compenser cela en réaménageant des parcs de stationnement devenus inutiles et en construisant de nouvelles infrastructures générant des revenus. Mais nous devons également avoir conscience que, dans le monde entier, des millions de chauffeurs travaillant aujourd'hui dans les métiers de la logistique et du transport urbain pourraient se retrouver au chômage.

Comme l'a écrit Robin Chase: «Supprimer simplement les conducteurs des voitures et conserver à l'identique tous les autres éléments de notre système sera un désastre.» Il est donc impératif que nous regardions ces nouvelles technologies avec un œil critique et que nous les guidions vers les objectifs sociétaux que nous souhaitons. Une bonne politique aiderait à éviter les fâcheuses conséquences que nous avons décrites. Comme cela a été le cas au xx^e siècle, beaucoup dépendra d'un cycle vertueux d'essais et d'erreurs.

Cependant, si nous parvenons à gérer cette transition de façon réfléchie, les voitures autonomes aideront à nous constituer une vie urbaine plus sûre et plus agréable. Ce faisant, elles pourraient finalement renforcer la principale mission de nos villes, qui remonte à l'apparition des premiers villages humains il y a quelque 10 000 ans: nous rassembler, indépendamment du type de véhicules avec lequel nous nous déplaçons. ■

BIBLIOGRAPHIE

R. Tachet et al., **Scaling law of urban ride sharing**, *Scientific Reports*, vol. 7, article 42868, 2017.

R. Tachet et al., **Revisiting street intersections using slot-based systems**, *PLoS One*, vol. 11(3), article e0149607, 2016.

C. Ratti et M. Claudel, **The City of Tomorrow**, Yale University Press, 2016.



les conférences

vendredi 15 septembre à 11h

à la Cité des sciences et de l'industrie
Entrée libre dans la limite des places disponibles.

Évènement en direct **Cassini-Huygens: le Grand Finale** Assistez à l'ultime plongeon de Cassini dans l'atmosphère de Saturne.

Dernières images captées au plus près des nuages saturniens.
Bilan d'une mission de 30 ans issue de la collaboration entre la Nasa, l'Agence spatiale européenne (Esa) et l'Agence spatiale italienne (Asi): les anneaux, l'atmosphère de Saturne et ses tempêtes géantes, sa magnétosphère et ses aurores spectaculaires, les lacs de méthane de Titan, l'océan sous la surface glacée d'Encelade...

En présence de scientifiques, à Paris, et en direct du Jet Propulsion Laboratory (JPL) à Pasadena, en Californie.

► **Conseillers scientifiques**: Régis Courtin, CNRS et Observatoire de Paris; Marcello Fulchignoni, université Paris-Diderot et Observatoire de Paris; Laurent Lamy, Observatoire de Paris; Jean-Pierre Lebreton, LPC2E CNRS-Université d'Orléans; Francis Rocard, Cnes.

► **Séance animée sur place** par Gilles Dawidowicz, Société astronomique de France, et Frédéric Castel, journaliste scientifique, en direct du JPL en Californie.

Évènement retransmis en direct dans le hall de la Cité et sur réservation obligatoire à l'auditorium (cite-sciences.fr - rubrique - Conférences)

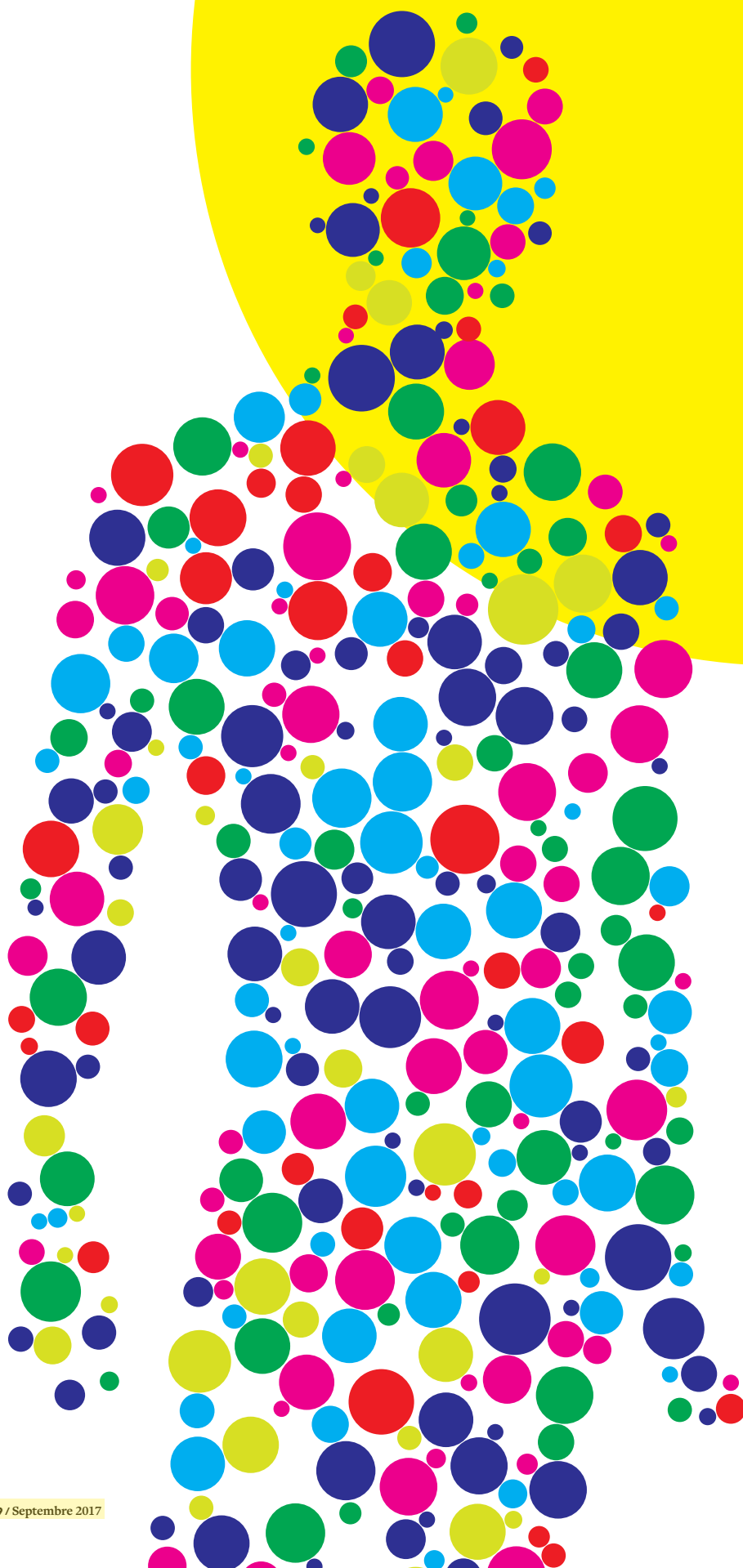
En partenariat avec



Avec le soutien de



programme complet sur cite-science.fr



L'ESSENTIEL

> Le premier arbre généalogique cellulaire a été obtenu dans les années 1980 par le Britannique John Sulston. À l'aide d'un microscope, il a retracé le lignage de chaque cellule du ver *Caenorhabditis elegans*.

> Aujourd'hui, des généticiens tentent d'établir la généalogie des cellules du corps humain.

> En comparant les génomes des cellules d'un individu, ils déterminent leurs liens de parenté.

> Étudier la filiation des cellules humaines devrait notamment aider à mieux comprendre l'apparition des cancers et leur évolution.

L'AUTEUR



EWEN CALLAWAY
journaliste
à *Nature*

Suivre le devenir de chaque cellule du corps

LES BIOLOGISTES S'ATTAQUENT AUJOURD'HUI À UN DÉFI TITANESQUE : RETRACER LA FILIATION DE CHAQUE CELLULE LORS DU DÉVELOPPEMENT D'UN INDIVIDU, DE L'EMBRYON À L'ADULTE.

Au début des années 1980, durant 18 mois, John Sulston a passé ses journées à regarder grandir des vers. Chaque jour, au cours de deux sessions de quatre heures, John Sulston observait un embryon de *Caenorhabditis elegans* à l'aide d'un microscope optique et dessinait ce qu'il voyait toutes les cinq minutes : d'abord un seul œuf fertilisé, puis les deux cellules résultantes, puis quatre, huit et ainsi de suite. Il travaillait seul, dans son minuscule bureau au Laboratoire de biologie moléculaire du Medical Research Council, à Cambridge, au Royaume-Uni. Entre deux observations, il s'occupait avec un Rubik's cube. « Je me suis trouvé des distractions », s'est remémoré le biologiste lauréat du prix Nobel, aujourd'hui retraité.

Ses centaines de dessins ont révélé l'inflexible ballet des premiers stades du développement du ver, au cours desquels 671 cellules naissaient et 111 mouraient (ou 113, selon le sexe du ver). On pouvait y relier chaque cellule à sa cellule-mère ainsi qu'à sa >

➤ «grand-mère» via une série d'étapes invariables. Grâce à cette cartographie et à d'autres qu'ils ont réalisées, John Sulston et ses collaborateurs ont construit le premier, et jusqu'à présent le seul, «arbre généalogique cellulaire» complet d'un organisme multicellulaire.

Si le désir de capter le développement d'un organisme avec un tel degré de détail a précédé

souches dans la régénération des tissus ou à lutter contre le cancer – une maladie entraînée par l'expansion incontrôlée de certaines lignées cellulaires. «Il y a un réel sentiment qu'une nouvelle ère s'ouvre», explique Alexandre Schier, un biologiste du développement à l'université Harvard, à Cambridge, dans le Massachusetts, qui utilise l'édition du génome pour retracer la généalogie cellulaire des poissons zèbres et d'autres espèces.

L'histoire d'une cellule est écrite dans son génome: chaque mutation acquise et transmise aux cellules-filles fait figure de sauvegarde. En 2005, l'informaticien Ehud Shapiro, de l'institut des sciences Weizmann à Rehovot, en Israël, a suggéré que les chercheurs utilisent les mutations naturelles des cellules humaines pour déterminer leurs liens de parenté. Il imagine un prolongement (au moins son concept) de la cartographie cellulaire de *C. elegans*, qu'il appela le *Human cell lineage project*. Mais la discipline n'était pas prête pour une telle avancée. «Quand nous avons proposé cette vision, ni le domaine de recherche ni le terme de génomique cellulaire n'existaient.»

Une décennie plus tard, les chercheurs ont développé une série d'outils puissants pour étudier la biologie de cellules individuelles, de leurs molécules d'ARN et leurs protéines jusqu'à leurs génomes, uniques et propres à chacune. Ehud Shapiro entrevoit maintenant un moyen de reconstituer le développement humain, image par image, de l'œuf fertilisé à l'adulte. «On veut le film complet en 3D, du début à la fin», clame-t-il. Pour réaliser un tel film, il n'est même pas nécessaire d'examiner le génome entier. L'équipe d'Ehud Shapiro se concentre sur des fragments répétitifs d'ADN disséminés à travers le génome, appelés microsatellites. Ces séquences ont tendance à muter plus fréquemment que le reste du génome. Son équipe travaille au séquençage de dizaine de milliers d'entre elles dans le génome de centaines de cellules humaines individuelles afin de déterminer comment elles sont reliées les unes aux autres.

UN NEURONE APPARENTÉ À UNE CELLULE DU CŒUR

Christopher Walsh, neuroscientifique et biologiste du développement à l'hôpital pour enfants de Boston et à la Harvard Medical School, doute que les chercheurs arrivent un jour à reconstruire une généalogie complète des cellules du corps humain comme ils l'ont fait pour *C. elegans*. Mais une cartographie incomplète serait déjà un progrès important. «J'étudie le lignage cellulaire dans le cortex depuis vingt-cinq ans et l'idée de le retracer directement dans le cerveau humain était un rêve inconcevable. Maintenant, c'est une réalité», explique-t-il.

Quand nous avons proposé cette vision, la génomique cellulaire n'existait pas

Ehud Shapiro,
de l'institut Weizmann, en Israël

les travaux de John Sulston d'au moins un siècle, il a toujours paru difficile de le faire sur un animal plus complexe. Personne ne peut suivre le destin de milliards de cellules humaines ou de souris avec simplement un microscope et un Rubik's cube pour passer le temps. Mais d'autres moyens existent aujourd'hui. Les révolutions dans l'édition et le séquençage du génome à l'échelle d'une cellule unique ont entraîné une renaissance de la cartographie des lignages cellulaires.

Ce domaine attire non seulement les biologistes du développement, mais aussi des généticiens convaincus que comprendre l'histoire d'une cellule – d'où elle vient et même ce qui lui est arrivé – est l'une des prochaines grandes étapes de la biologie. Pour le moment, les résultats ont mis en évidence des indices fascinants sur la manière dont les humains sont «construits». Par exemple, les cellules individuelles d'un organe comme le cerveau seraient plus proches de certaines cellules d'autres organes que des tissus qui les entourent. Et contrairement au développement bien balisé de *C. elegans*, celui des organismes plus complexes fait appel à un peu d'improvisation et de chance. Ce qui complique indéniablement les efforts pour en comprendre les rouages.

Mais même incomplète, la généalogie cellulaire peut-être utile. La cartographie de John Sulston a ouvert la voie à des découvertes concernant la mort cellulaire programmée ou les petites molécules d'ARN régulateurs. De nouvelles cartographies pourraient aider les chercheurs à élucider le rôle des cellules

Cet article a été publié initialement par *Nature* le 6 juillet 2017 sous le titre «The trickiest family tree in biology» (<https://www.nature.com/news/the-trickiest-family-tree-in-biology-1.22240>). Sa traduction et son édition ont été réalisées par *Pour la science*.