



donner les moyens. Selon les estimations à peu près consensuelles, pour aider les pays du Sud à se placer sur une trajectoire de développement durable, il faudrait 2,5 trillions – mille milliards – de dollars par an. C'est un peu plus de 10 % de l'investissement annuel mondial économique et financier qui est autour de 23 trillions de dollars et moins de la moitié de l'impact total, direct et indirect, des subventions aux combustibles fossiles. L'enjeu est donc d'orienter des moyens publics et privés suffisants vers le développement durable !

Pouvez-vous nous donner un exemple concret ?

Prenons celui de la surpêche et de la surexploitation des écosystèmes marins. Il y a quelques années, les aires marines protégées (l'équivalent des parcs nationaux en mer) passaient encore pour des projets écologiques idéologiques. Aujourd'hui, les scientifiques sont unanimes : à condition d'être bien gérées avec les bons niveaux de réglementation, elles sont vraiment le moyen d'assurer la bonne santé des écosystèmes marins tout en continuant à procurer des services aux humains.

Mais cela ne fonctionne que si les pêcheurs sont impliqués en amont et ne se retrouvent pas sans revenus. Si les pêcheurs ne survivent pas, on rate l'objectif ! La science est indispensable pour définir le temps et les moyens nécessaires au dispositif afin d'atteindre les bénéfices écologiques et économiques visés.

Est-ce cela la *Sustainability science* ?

Oui, ce champ scientifique a émergé en lien avec les réflexions sur le développement durable et la nécessité de partir des problèmes posés et non plus des seules questions disciplinaires, pour proposer des solutions et anticiper les arbitrages difficiles et complexes qu'impliquent les ODD. La *Sustainability science*, la science de la durabilité, est montée en puissance au tournant des années 2000, au moment où la globalisation s'est heurtée au problème des limites des ressources planétaires. On pourrait la définir comme la science des interactions entre environnement et société qui recherche les moyens de créer un équilibre durable entre santé planétaire et bien-être humain. Comme elle s'attache à comprendre toute la chaîne causale des phénomènes écologiques et sociaux qu'elle étudie, elle doit intégrer les effets clés à toutes les échelles, du local au global, et est donc par nature interdisciplinaire. Elle a aussi une autre caractéristique, celle d'inciter les scientifiques à travailler avec les communautés impliquées et à élaborer des solutions pour et avec tous les acteurs sur le terrain (*lire les encadrés*).

En 1999, l'Académie des sciences américaine a fait de la *Sustainability science* une priorité, ainsi que l'Académie chinoise, en 2009. Depuis, la production scientifique consacrée à ce domaine ne cesse de croître de façon exponentielle.

Beaucoup d'objectifs paraissent antagonistes. En quoi la *Sustainability science* peut-elle aider à résoudre ces contradictions ?

Tous les objectifs sont potentiellement contradictoires et ils sont tous potentiellement synergiques ! Si on travaille seulement objectif par objectif, on risque d'en améliorer un au détriment de l'autre. Une étude publiée récemment dans *Nature Sustainability* montrait par exemple comment, si on n'y prend garde, des politiques mal conçues d'atténuation des émissions de CO₂ pourraient augmenter le nombre de personnes souffrant de faim, via des effets sur l'usage des terres. C'est d'ailleurs sur ces interdépendances des différents objectifs que la littérature spécialisée s'est concentrée ces cinq dernières années. C'est aussi sur le terrain à l'échelle locale qu'on peut lever les contradictions, d'où la nécessité des collaborations avec des scientifiques des pays impliqués, notamment dans la zone intertropicale et méditerranéenne comme nous le faisons par essence à l'IRD : plus de 60 % de nos publications sont cosignées par des partenaires des pays du Sud. ■

LA NOUVELLE DONNE DU QUINOA BOLIVIEN

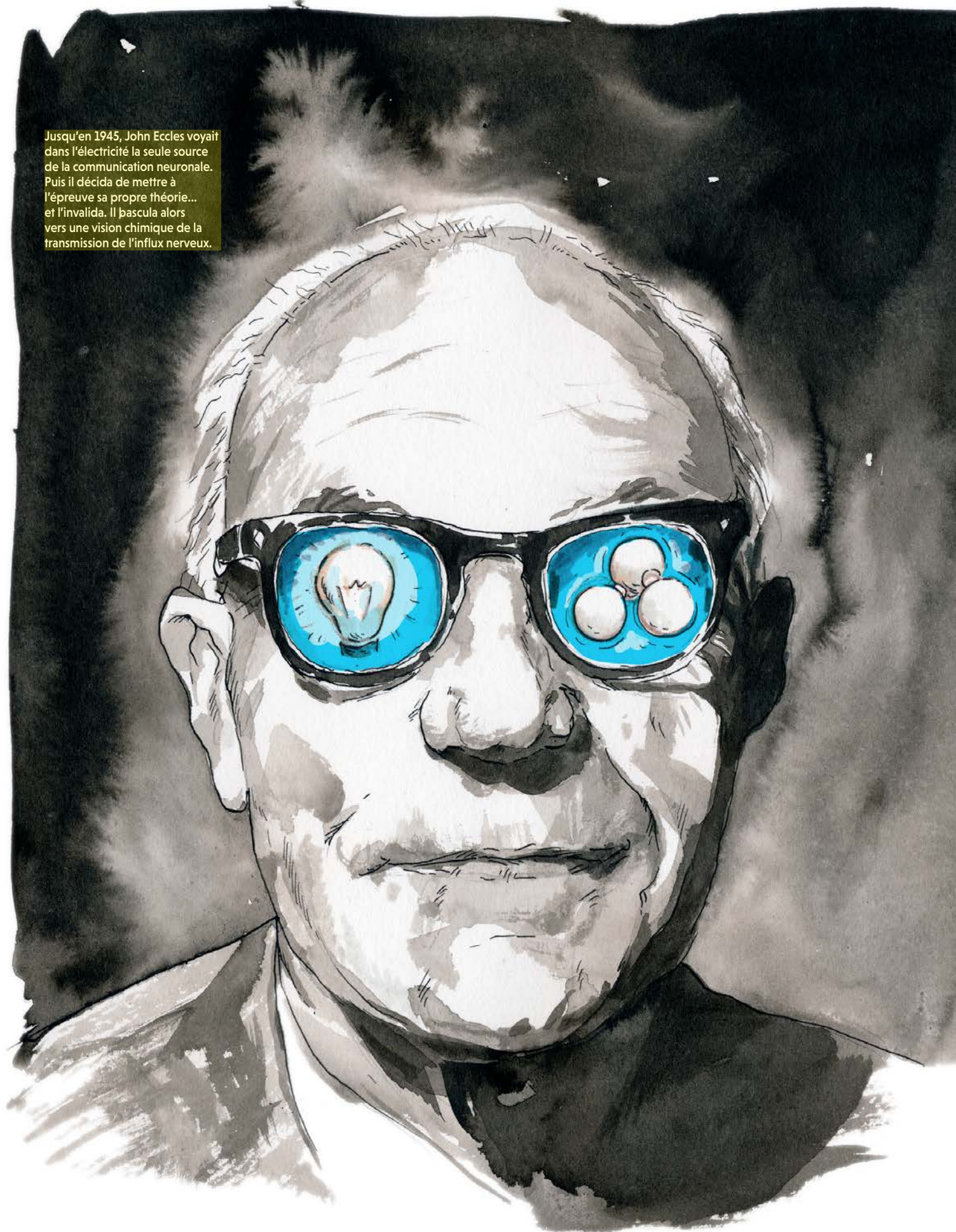
L'engouement planétaire pour le quinoa et ses répercussions sur les communautés rurales pauvres du sud de la Bolivie sont un cas exemplaire des transformations de pratiques ancestrales locales qui accompagnent la globalisation. Saines, bio, équitables, en 40 ans, les « graines des Incas » ont vu leur consommation exploser à l'échelle mondiale. Entre 2012 et 2014, les exportations vers les États-Unis et l'Europe ont augmenté de 260 % et le prix de la tonne a atteint les 9000 dollars. Une aubaine économique pour les familles qui cultivent le quinoa dans les

conditions extrêmes des hauts plateaux andins arides et froids. Un risque aussi : celui de déstabiliser tout leur système agricole, écologique et social. Comment gérer un tel changement d'échelle et de mode de production tout en conciliant durabilité et justice sociale ? Le projet de recherche immersive coordonné par Thierry Winkel, agroécologue à l'IRD, et coconstruit avec ces communautés rurales, avait pour but de les aider à élaborer elles-mêmes des solutions pérennes. Durant 3 ans, chercheurs et producteurs ont analysé et anticipé ensemble et sur le terrain les scénarios possibles. Ces communautés ont alors choisi de rénover les normes d'usage de leur bien commun – les terres – afin de protéger la ressource, garantir un accès juste pour tous et répondre ainsi aux critères internationaux du commerce équitable. Selon ces travaux, c'est la cohésion sociale, l'autonomie de la gouvernance et la tradition de mobilité qui, comme dans d'autres régions arides dans le monde, confèrent à ces communautés leur capacité d'adaptation.



© IRD - J.-P. Raffalliac

Jusqu'en 1945, John Eccles voyait dans l'électricité la seule source de la communication neuronale. Puis il décida de mettre à l'épreuve sa propre théorie... et l'invalida. Il bascula alors vers une vision chimique de la transmission de l'influx nerveux.



L'ESSENTIEL

> John Eccles, le chercheur qui a montré que les neurones communiquent par des substances chimiques, avait commencé par combattre ardemment cette théorie.

> Son revirement doit beaucoup à sa rencontre avec Karl Popper, le philosophe qui avait établi qu'une théorie doit être réfutable pour être scientifique.

> Cet épisode marquant de l'histoire des sciences montre que, pour atteindre la vérité, nous devons critiquer nos propres opinions.

L'AUTEUR



JEAN-GAËL BARBARA
chercheur en histoire des neurosciences au CNRS, au laboratoire Neurosciences Paris-Seine et Sorbonne-Paris-Cité – laboratoire Sciences, philosophie, histoire

La volte-face du professeur Eccles

Pendant vingt ans, le neurophysiologiste australien John Eccles a défendu l'idée que les neurones communiquent par des courants électriques. Puis, soudainement, il invalida sa propre théorie et prouva que la communication est chimique. Un modèle de pensée autocritique...

Quoi de plus difficile que de reconnaître que l'on a tort? Pire: comment parvenir à adopter le point de vue de ses adversaires en attaquant ses propres positions? C'est pourtant de cette façon qu'a eu lieu une des découvertes les plus fondamentales des neurosciences: le fait que les connexions entre neurones (les synapses) fonctionnent avec des molécules chimiques et pas seulement avec des signaux électriques.

La nouvelle fait l'effet d'un coup de tonnerre. Lors de la réunion de la Physiological Society de Londres en 1951, l'éminent neurophysiologiste australien John Eccles renie publiquement sa propre théorie sur le fonctionnement des synapses. Une théorie qui stipule que nos

neurones sont censés communiquer entre eux par des phénomènes électriques directs au niveau des synapses. Sous les yeux de l'assistance médusée, lui, le plus ardent défenseur de cette théorie, l'adversaire déclaré de tous ceux qui soutenaient un mécanisme chimique de neurotransmission, reconnaît que ce sont eux qui avaient raison.

Évidemment, en annonçant publiquement son revirement, Eccles passe pour un fou qui décrédibilise l'ensemble de son œuvre. On pense à Galilée reniant sa thèse selon laquelle la Terre tourne autour du Soleil – mais c'est pire que cela, car c'est sous la contrainte que le savant florentin avait reconnu les égarements de sa doctrine, agenouillé devant les cardinaux inquisiteurs de son tribunal ecclésiastique. En ce sens, l'abjuration de la théorie électrique qu'Eccles semble s'infliger librement est >

➤ d'autant plus incompréhensible, vu la véhémence et l'efficacité de ses attaques de jadis contre la théorie chimique, défendue alors par son éminent rival, sir Henry Dale.

Henry Dale avait déjà démontré que certains neurones (ceux qui relient la moelle épinière aux muscles, et ceux présents dans les ganglions nerveux) communiquaient par des substances chimiques. Eccles s'était efforcé de prouver que, si ce mécanisme était envisageable au niveau des muscles et des ganglions, ce ne saurait être le cas à l'intérieur du cerveau. Il avait échafaudé pour cela, dès les années 1930, une théorie selon laquelle les neurones dans le cerveau communiquent comme de purs conducteurs électriques, le courant passant de l'un à l'autre sans intervention de neuromédiateurs au niveau des synapses. Son argument ? La transmission neuronale se produit avec une telle rapidité qu'il ne peut s'agir que d'un phénomène électrique. Il a d'ailleurs mesuré cette vitesse grâce aux nouveaux oscillographes cathodiques dont il dispose à partir de 1935.

UN BRETTEUR VIRULENT ET OBSTINÉ, MAIS PAS OBTUS

Dans ses manœuvres pour décrédibiliser ses adversaires, Eccles ne ménage ni ses efforts ni sa hargne. C'est un bretteur, un intellectuel passionné de philosophie des sciences, de joutes verbales aussi bien que sportives – il invite souvent ses hôtes à disputer une partie de tennis sur le court privé de sa propriété. Dans son milieu, on connaît son caractère difficile, voire entêté, prompt à croiser le fer dans les débats scientifiques, se faisant volontiers l'avocat du diable.

Alors qu'est-ce qui a bien pu l'amener à changer d'avis ? Deux choses. D'abord, Eccles était certes virulent et obstiné, mais pas obtus. Il était aussi connu pour sa hargne que pour une étonnante capacité à adopter brusquement, après avoir cherché à déstabiliser un adversaire, le point de vue de ce même adversaire. Ensuite, il y a son histoire. Une histoire qui porte la marque d'un long cheminement et qui l'amènera à conceptualiser la notion d'autocritique appliquée à ses théories.

Eccles a tout d'abord cru à la théorie de la neurotransmission électrique pour des raisons philosophiques et expérimentales. Il a été un des derniers élèves d'un des grands noms de la recherche en neurosciences, sir Charles Sherrington au Magdalen College d'Oxford. Un scientifique renommé, chef de file de l'école de neurophysiologie britannique d'Oxford et Prix Nobel de médecine en 1932, auquel Eccles a voué une admiration sans bornes, allant jusqu'à déclarer qu'il était la seule personne au monde dont il pouvait accepter d'être l'élève, tant sa dimension intellectuelle et sa vision personnelle des rapports entre le corps et l'esprit lui correspondaient.

John Eccles (1903-1997)
photographié en 1963
dans son laboratoire.
C'est cette année-là qu'il reçut
le prix Nobel de physiologie
ou médecine, partagé avec Alan
Hodgkin et Andrew Huxley.



Eccles cherchait à ridiculiser ses adversaires. Et puis un jour, il adopta leur point de vue

Or Sherrington a toujours favorisé une théorie électrique de la neurotransmission, lui-même en partie pour des raisons philosophiques : il avait une vision dualiste de l'esprit et du corps, considérant que la composante immatérielle de l'esprit est d'une nature essentiellement distincte du corps. L'esprit interagit si rapidement avec le cerveau qu'il doit le faire par des processus électriques.

Comment s'étonner qu'Eccles adopta cette même vision ? Sous sa direction, il commença par étudier, dans les années 1930, la transmission synaptique dans les ganglions nerveux, puis dans la moelle épinière. Les deux hommes étaient alors en concurrence directe avec l'école de neurophysiologie américaine, qui avait commencé à prendre le pas sur l'école