

- > développement de la photosynthèse qui a oxygéné les océans. La vie sur Terre n'a plus jamais été la même.

Toutefois, les interactions microbiennes pourraient ne pas toujours reposer sur des partenariats harmonieux. Certains scientifiques pensent même que les relations stables et mutuellement bénéfiques constitueraient l'exception plutôt que la règle. «C'est un monde impitoyable, met en garde le biologiste John McCutcheon de l'université du Montana. Des relations bénéfiques dans un contexte donné peuvent mener, dans des conditions légèrement différentes, au parasitisme ou à la compétition.» La loi de la jungle que John McCutcheon se plaît à voir dans le monde microbien est influencée en partie par le phénomène qu'il étudie : l'endosymbiose, autrement dit l'assimilation d'un organisme complet par un autre. Par exemple, les mitochondries qui produisent l'énergie à l'intérieur de nos cellules ont été il y a longtemps des cellules à part entière et membres d'un groupe connu sous le nom d'alphaprotéobactéries.

L'ENDOSYMBIOSE, PAS SI SYMBIOTIQUE ?

L'endosymbiose a conduit à certaines des innovations les plus importantes de l'histoire de la vie, car elle a produit les composants qui caractérisent les cellules complexes et ainsi ouvre la voie à l'évolution des plantes et des animaux. Compte tenu de ces exemples positifs, «il est facile d'imaginer les endosymbioses comme une sorte de relation symbiotique, presque amicale, entre les deux organismes, alerte John McCutcheon, mais je pense que c'est une interaction relevant davantage de l'exploitation». Et le chercheur de noter que l'histoire de l'évolution est probablement jonchée de tentatives infructueuses d'endosymbiose tenant davantage de la prédation ou du parasitisme.

Des biologistes ont en outre constaté des taux élevés de renouvellement des endosymbiotes (les organismes qui vivent à l'intérieur d'autres cellules). De la même manière qu'un colocataire indélicat finira par être mis à la porte, une espèce incorporée peut elle aussi être remplacée par un autre postulant. Cela est souvent observé dans le phénomène d'endosymbiose, ce qui dénote une relation compliquée pour les deux partenaires. Les recherches de John McCutcheon confirment que les interactions des organismes sont bien une force dominante. Elles pointent aussi les vraies motivations de leurs acteurs : «Chaque organisme ne voit que son intérêt et toutes les interactions ne sont pas bénéfiques pour tout le monde.»

Les communautés microbiennes interconnectées ont un autre inconvénient plus fondamental : si jamais un membre du groupe faiblit,

le reste du réseau qui dépend de lui peut s'effondrer. En théorie, l'existence de dépendances métaboliques au sein des communautés bactériennes collaboratives rend celles-ci plus fragiles que les colonies composées d'organismes autonomes où chacun s'occupe de ses affaires.

En 2012, la microbiologiste Ashley Shade, de l'université d'État du Michigan, et ses collègues ont examiné 378 études de microbiotes (l'ensemble des microorganismes d'un milieu) du sol, de la mer, d'eau douce, de l'intestin d'animaux ou utilisés dans l'industrie afin de dégager des principes généraux sur la résistance des communautés aux perturbations externes et sur leur aptitude à revenir à l'état initial. Les chercheurs ont découvert que 56% des analyses faisaient état de modifications métaboliques généralisées après une perturbation – par exemple, l'exposition à la chaleur a poussé une communauté de microbes extraits du sol à cesser de consommer de l'azote. Seulement 10% de ces communautés perturbées ont finalement retrouvé un fonctionnement normal.

Ces résultats doivent être interprétés avec prudence, car bon nombre des études compilées portant sur la résistance des communautés n'ont pas examiné leur éventuel rétablissement. Et pour celles qui l'ont fait, les chercheurs qui les ont menées n'ont peut-être pas attendu suffisamment longtemps pour observer un rétablissement. Néanmoins, une chose est sûre : la biosphère est incroyablement résiliente et se relève toujours après une perturbation majeure – nous ne serions pas là autrement –, même s'il reste encore beaucoup à comprendre sur le fonctionnement des processus de récupération, leur rapidité et les changements qui persistent à long terme.

L'étude des communautés microbiennes et du rôle de ces coopérations n'en est qu'à ses débuts. Les résultats obtenus à ce jour suggèrent que les partenariats métaboliques sont des moteurs de l'évolution et ouvrent aux organismes des territoires nouveaux à coloniser. Mais on commence tout juste à étudier les interactions au-delà de l'échelle microscopique, et replacer ces nouvelles découvertes dans leur contexte réel reste un défi majeur. Combien d'espèces peuvent interagir de façon efficace ? Comment les principes généraux qui façonnent ces interactions changent-ils dans différents environnements ou à différentes échelles d'espace et de temps ? Existerait-il un réseau global de microbes en interaction ? Dans ce cas, les influences de l'homme sur l'environnement se propageraient à travers tout la chaîne et entraîneraient des conséquences mondiales imprévisibles. Continuer à décoder ces réseaux microbiens est d'une importance cruciale à l'heure du changement climatique. ■

BIBLIOGRAPHIE

J. W. Becker et al., **Co-culture and biogeography of *Prochlorococcus* and SAR11**, *The ISME Journal*, en ligne le 11 février 2019.

R. Braakman et al., **Metabolic evolution and the self-organization of ecosystems**, *PNAS*, vol. 114(15), pp. E3091-E3100, 2017.

J. J. Marlow et al., **Carbonate-hosted methanotrophy represents an unrecognized methane sink in the deep sea**, *Nature Communications*, vol. 5, article 5094, 2014.

Le monde selon JACQUES DEVAULX

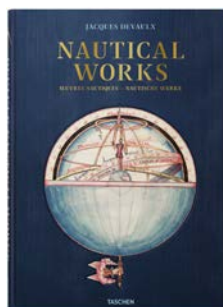
En 1583, un jeune pilote et cartographe rassembla, dans un magnifique manuscrit enluminé, toute la science de la « navigation aux étoiles » de son temps, de l'art de se repérer en mer aux cartes les plus récentes du monde.

LE CANOMÈTRE

Jacques Devaulx proposa une utilisation originale de cet instrument. Le Normand Toussaint de Bessard l'avait conçu en 1574 pour déterminer l'écart angulaire entre les nords géographique et magnétique. Devaulx imagina de s'en servir pour déterminer la longitude en l'utilisant pour relever la position des astres et en faisant appel à une règle magique.



© Taschen / Bibliothèque nationale de France



J. Devaulx, *Nautical Works* (Taschen, 2018), fac-similé intégral du manuscrit de 1583

L'ESSENTIEL

> En 1583, Jacques Devaulx, jeune marin havrais, présenta au duc de Joyeuse, gouverneur de Normandie et mignon du roi Henri III, un ensemble de livrets qu'il avait conçus sur la science nautique.

> Encouragé par le duc, Devaulx en fit un somptueux ouvrage enluminé.

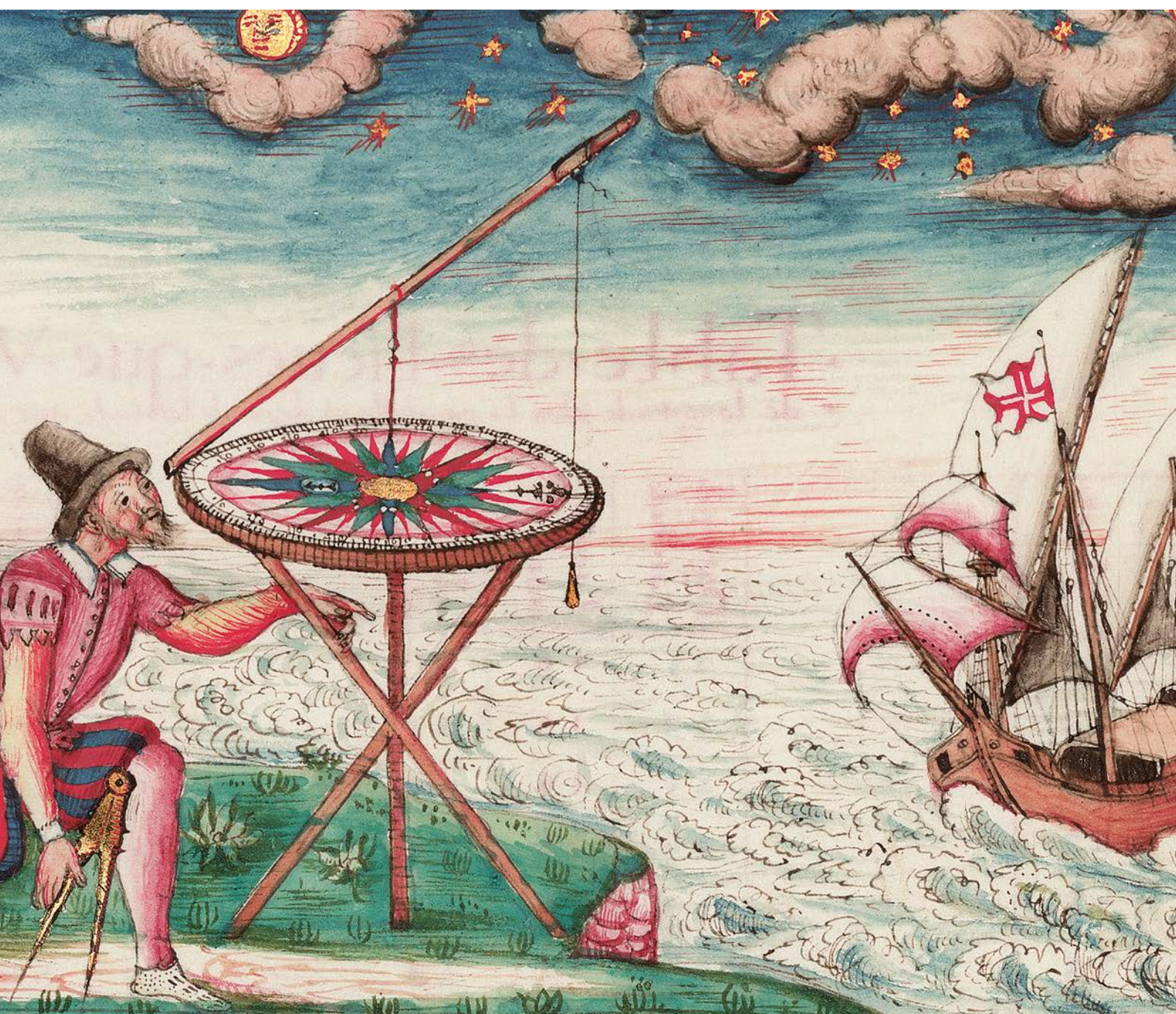
> Devaulx y compila avec talent les savoirs et savoir-faire du pilote et cartographe, s'appuyant sur les traités les plus récents.

> Il proposa aussi une piste nouvelle pour déterminer la longitude en mer, la grande difficulté des marins de l'époque.

L'AUTEURE



ÉLISABETH HÉBERT
agregée de mathématiques,
présidente de l'ASSP,
association d'histoire des
sciences de l'IREM de Rouen



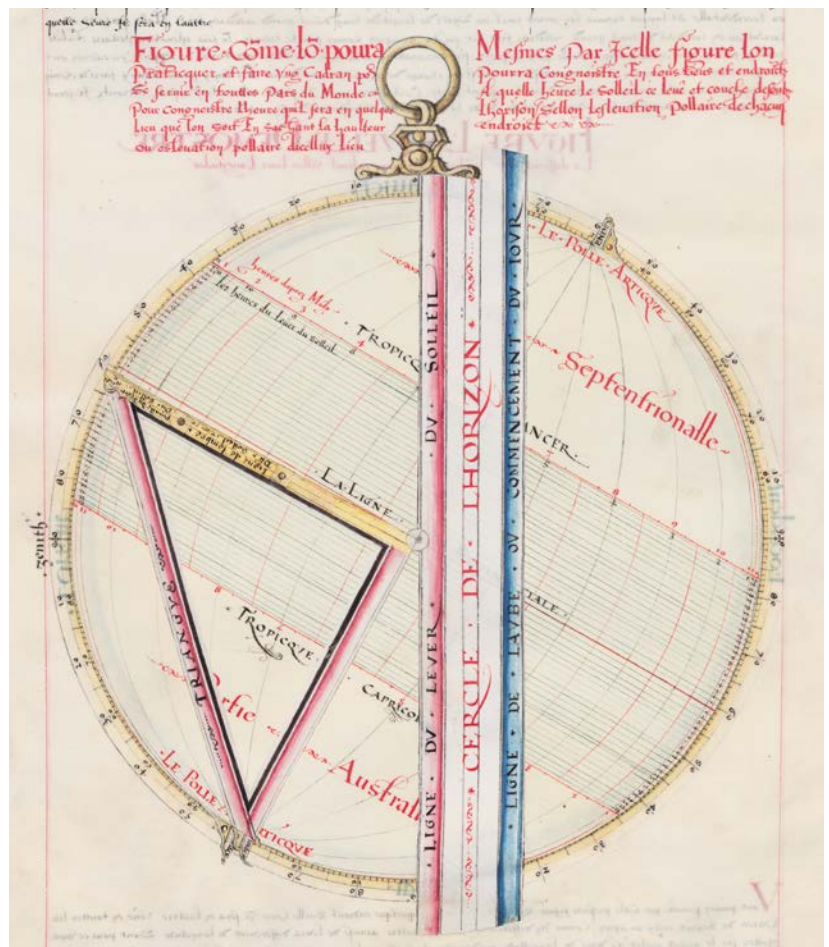
Pour qui s'intéresse à l'histoire de la navigation, *Les Premières œuvres de Jacques Devaulx, pilote en la Marine* constituent un trésor incontournable, car sans équivalent. Daté de 1583, ce manuscrit met en scène la «navigation aux étoiles». Servie par une iconographie soignée et esthétique, cette science en plein essor en ce xvi^e siècle, mais assez obscure pour le lecteur non spécialiste, devient séduisante, et de multiples auteurs et éditeurs puisent dans ses images pour illustrer des articles touchant à la navigation. Mais au-delà du charme de ces images, quels messages scientifiques précis portent-elles? À quels textes s'articulent-elles?

C'est à ces questions que l'association sciences en Seine et patrimoine, à Rouen, s'est attachée à répondre ces dernières années. Cette équipe d'amateurs, dont je fais partie, est habituée à explorer les fonds anciens des bibliothèques de Haute-Normandie, et tout particulièrement ceux de Dieppe et Rouen. Ces derniers recèlent de nombreux manuscrits de navigation, des traités rédigés par des marins qui ont laissé les traces de leur savoir, des notes de cours, des textes mis en forme lors de captivités, des copies de documents... Manuscriles, ces traces font entrer dans l'intimité de marins investis dans une science nautique qui se décline sur le papier, révélant des personnalités où bravoure et délicatesse s'entrecroisent.

UNE FAMILLE DE CORSAIRES

En 2008, nos recherches avaient ainsi conduit à la publication d'un traité de navigation du xviii^e siècle, le manuscrit qu'un marin dieppois, Jean-Baptiste Denoville, avait rédigé en 1760 durant sa captivité en Angleterre. Conservé à la Bibliothèque municipale de Rouen et ignoré jusqu'alors, ce document a contribué à forger l'histoire maritime de la région. Dans cette dynamique, nous souhaitons dévoiler le savoir du pilote havrais Jacques Devaulx, consigné dans le manuscrit de 1583. La rencontre à l'automne 2011 du regretté Jean-Yves Sarazin, un chartiste éclectique, soucieux de donner à la science la possibilité de séduire par la beauté picturale, sonna le lancement de cette nouvelle aventure éditoriale. Son statut de directeur des Cartes et Plans à la Bibliothèque nationale de France (BnF), où le manuscrit est conservé, nous fournit par ailleurs l'occasion de créer un partenariat avec les éditions Taschen et de publier en décembre dernier le fac-similé commenté du manuscrit sous le titre *Nautical Works*. Notre enquête a révélé un texte créatif à la pointe de la modernité de l'époque.

Jacques Devaulx est né entre 1555 et 1560 dans une toute jeune ville portuaire, Le Havre, au sein d'une famille de corsaires. Au fil des siècles, la Manche avait façonné la Normandie.



Les invasions vikings, les conflits avec les Anglais, mais aussi les échanges commerciaux avaient forgé des marins aguerris à la navigation, désireux de participer à des expéditions vers des terres lointaines, capables de traverser les océans pour devenir corsaires ou pêcheurs à Terre-Neuve. Ainsi, dès le début du xvi^e siècle, des marins normands avaient rivalisé avec les Portugais.

Dieppe avait vu son heure de gloire quand les navires du riche armateur dieppois Jean Ango avaient atteint l'Indonésie, Sumatra, ou encore le Brésil et le Canada. Le bois du Brésil, l'ivoire de Guinée, puis la morue de Terre-Neuve et l'or des corsaires assuraient d'énormes bénéfices aux armateurs dieppois et rouennais. Rouen, alors deuxième ville du royaume de France, était un port à la fois maritime et fluvial et une cité commerçante cosmopolite. Mais le chenal de la Basse-Seine qui approvisionnait Rouen s'ensablait, alors que la taille des nefs ne cessait de croître. Pour faciliter cet approvisionnement et augmenter le pouvoir défensif de la côte de l'Atlantique, François I^{er} avait donc décidé, en 1517, la création d'un port et d'une ville, plus tard dénommée Le Havre.

Le Havre avait cependant émergé très difficilement des marais, la population ayant du mal

LA SPHÈRE PLATE UNIVERSELLE

Cette volvelle, constituée de quatre pièces de papier et munie d'une ficelle portant un plomb, est un instrument qui sert à lire sans calcul de nombreuses mesures astronomiques qui lient la date, la latitude, l'heure et la hauteur du Soleil. Elle peut donc servir de cadran solaire.