

- > 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

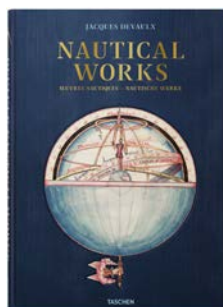
En 1583, un jeune pilote et cartographe rassembla, dans un magnifique manuscrit enluminé, toute la science de la « navigation aux étoiles » de son temps, de l'art de se repérer en mer aux cartes les plus récentes du monde.

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.

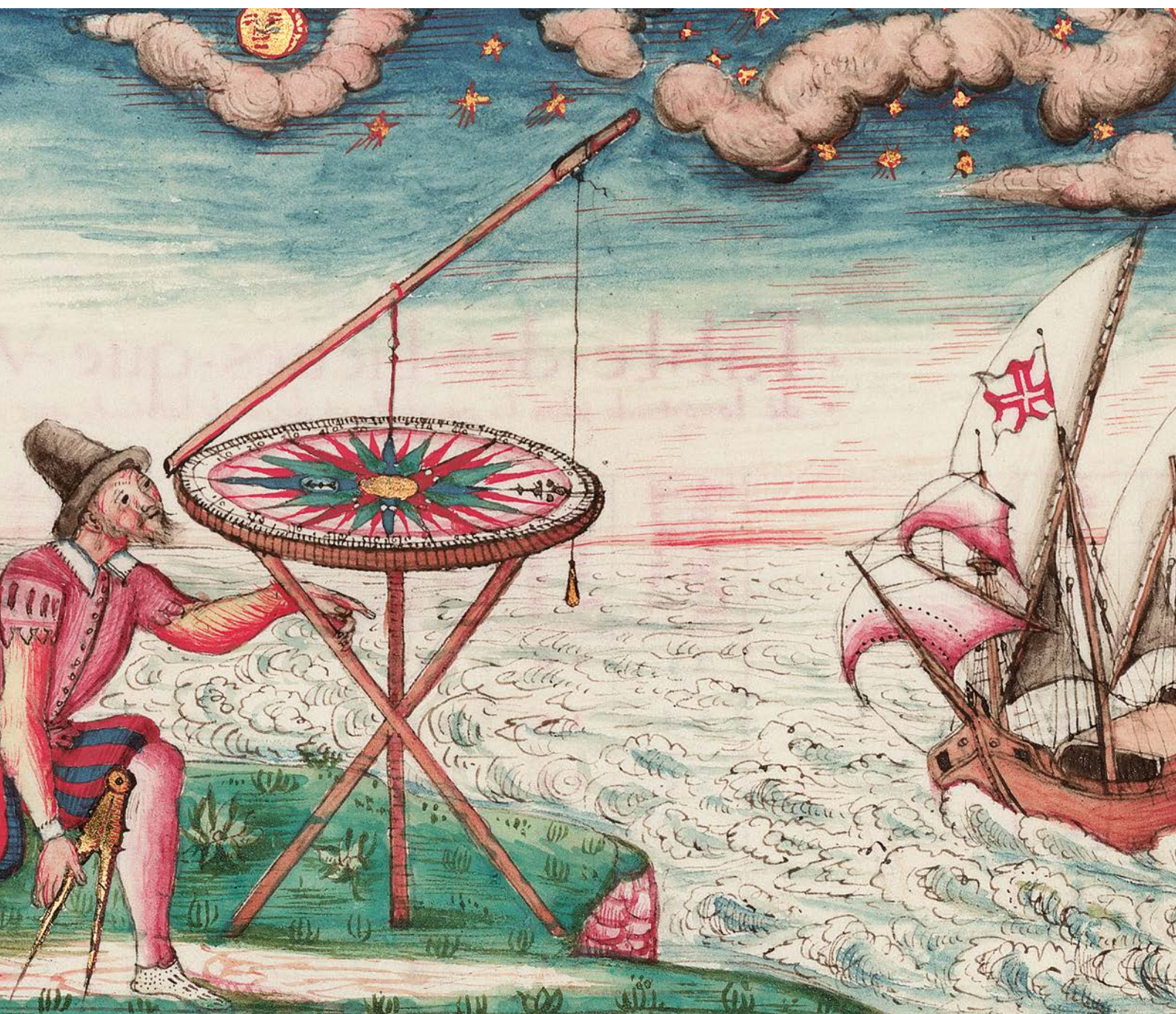
> Devaulx y compila avec talent les savoirs et savoir-faire du pilote et cartographe, s'appuyant sur les traités les plus récents.

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

L'AUTEURE



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





LE MIROIR DU MONDE

Cette volvelle a une double fonction. D'une part, placée sur une projection du globe terrestre, une araignée mobile bordée d'un écliptique doré indique en quels lieux on peut trouver, un jour donné, le Soleil au zénith. D'autre part, en l'absence de l'écliptique, elle permet de préciser la longitude et la latitude des lieux et remplace les longues listes de coordonnées publiées dans les cosmographies. Elle informe aussi sur les décalages horaires entre divers points du globe. Encore faut-il que les continents soient correctement représentés...

à croître malgré la volonté politique. Venus du Calvados, les grands-parents de Devaulx s'installèrent au Havre en 1525 et bénéficièrent des conditions favorables offertes aux nouveaux habitants. On sait que leurs fils, donc les oncle et père de Devaulx, commerçaient avec la Flandre et s'emparaient à l'occasion de navires anglais, et que Devaulx lui-même épousa en 1584 une fille de corsaire.

Au milieu du xvi^e siècle, Le Havre est tout à la fois arsenal, chantier naval, port de pêche, de commerce et de transit. Du Havre embarquent plusieurs expéditions vers les nouvelles terres d'Amérique. Celles-ci sont composées principalement de huguenots susceptibles de fonder des colonies. Car depuis les années 1530, plusieurs foyers protestants se sont implantés en Normandie, particulièrement à Dieppe, mais aussi à Rouen et au Havre. Le havrais Guillaume Le Testu, tout à la fois explorateur, cartographe, voire corsaire lui aussi, est d'ailleurs l'un d'eux.

Devaulx grandit ainsi dans une ville marquée par de violents conflits entre catholiques et protestants, mais aussi entre Français et Anglais. On connaît peu de choses sur lui. On sait néanmoins qu'il était pilote en charge de missions officielles à travers l'Atlantique et qu'il soutenait fermement la Ligue, cette

«union» dont l'objectif était de maintenir le pouvoir des catholiques et contrecarrer celui des protestants, en particulier lors de la désignation du successeur d'Henri III.

Le 14 avril 1583, Devaulx présente ses travaux au duc Anne de Joyeuse, un mignon du roi Henri III, alors grand amiral de France et gouverneur de Normandie, bientôt gouverneur du Havre. Ses livrets séduisent ce personnage influent, qui engage le jeune homme à produire une œuvre. Le luxueux exemplaire de 1583 lui est dédié; il est très probablement rédigé à partir des livrets originaux, regroupés dans un second manuscrit conservé lui aussi à la BnF. De moindre facture, ce dernier, daté de 1584, mentionne une évolution de son auteur, devenu «pilote pour le roy en la marine». Il est dédié à un membre influent de la Ligue locale, Nicolas de Moy, un militaire terrestre, que Devaulx, dans son hommage, invite à prendre la mer.

NAVIGUER: TOUT UN ART

En 1583, voilà un siècle que, partant à la conquête de terres nouvelles, les navigateurs de pleine mer se familiarisent avec les astres et intègrent les connaissances astronomiques des anciens. Le modèle géocentrique, matérialisé par la sphère armillaire, convient parfaitement aux marins et le modèle héliocentrique révélé en 1543 par l'astronome polonais Nicolas Copernic n'a donc pas cours parmi ceux-ci.

Mais la science nautique englobe bien d'autres aspects: la bonne gestion de la boussole, le tracé de la route, l'usage des instruments permettant le relevé de la hauteur des astres, le calcul des marées, le bon usage des tables de déclinaison du soleil, la détermination de la hauteur du pôle, le calcul ou méthodes de calcul du calendrier... Des savoirs que les Espagnols et Portugais ont fait émerger au début du xvi^e siècle. Les premiers écrits, portugais, ont été copiés et étudiés par les Espagnols. Deux ouvrages espagnols marquent ainsi le développement de la science nautique dans la seconde moitié du xvi^e siècle: le *Breve compendio* de Martin Cortés de 1551, diffusé en Angleterre, et *Arte de navegar*, de Pierre de Médine, publié en 1545 et plusieurs fois réédité en France, Flandre et Italie.

Avec la découverte de nouveaux territoires, la cartographie devient un élément central dans la formation du pilote. Les techniques de relevés topographiques, la connaissance des divers types de projection plane de la sphère, les informations les plus récentes sur le tracé des côtes, leur repérage avec des réseaux de roses des vents ou des quadrillages en latitude et longitude, le tracé précis, soigné et esthétique des cartes et, bien sûr, le dessin, sont les savoirs et savoir-faire du cartographe. Plusieurs Normands, souvent regroupés sous le nom de l'école de Dieppe, ont brillé dans ce domaine. Devaulx est l'un de ces pilotes cartographes. ➤

> Son manuscrit de 1583 présente une iconographie extrêmement riche. Si les lettrines peuvent être la réalisation d'une tierce personne, le texte scientifique et son illustration sont d'une telle homogénéité dans les graphies et les couleurs qu'il est plausible qu'un même personnage soit l'auteur du texte et de l'image. Plusieurs arguments vont en faveur de l'hypothèse d'un marin aux multiples compétences – pilote, cartographe et artiste. En premier lieu, Devaulx, marin et fils de marin, ne vivait pas dans un univers qui l'invitait à prendre des artistes talentueux à son service. Ensuite, pendant plusieurs décennies, les cartes manuscrites de l'école de Dieppe, mais aussi les multiples traités de navigation manuscrits, témoignent de la diversité des compétences de leurs auteurs, qu'il s'agisse du travail de Guillaume Le Testu ou de la carte de l'Atlantique réalisée en 1613 par Pierre Devaulx, le jeune frère de Jacques.

La valeur scientifique des dessins qui mettent en scène la science nautique fait de ce manuscrit un « best-seller » des livres sources dans ce domaine. Devaulx tire profit des rares gravures sur bois qui illustrent sobrement les traités imprimés de l'époque. Il réalise des calques qu'il colorise avec éclat ou complète par des décors convenus. En plusieurs occasions, il fait preuve de plus de créativité encore. Ainsi, il met en scène un texte portant sur l'usage d'un instrument dans des conditions délicates – texte souvent imprimé, mais jamais illustré jusqu'alors. Et à plusieurs reprises, il peint des bandeaux extrêmement pédagogiques, véritables bandes dessinées où se succèdent les usages ordinaires d'un même instrument dans diverses situations.

Devaulx s'appuie sur des ouvrages imprimés, traités de navigation ou d'astronomie largement diffusés en Europe, mais aussi sur quelques textes peu diffusés, publiés par d'autres Normands. Pour partie, ce savoir livresque lui a été transmis par voie orale, ce qui donne une certaine originalité à plusieurs formulations et approches. Tant pour l'iconographie que pour le savoir, deux ouvrages imprimés lui servent de référence : la *Cosmographie* de l'Allemand Pierre Apian (1524) et *L'Art de naviguer*, l'ouvrage de Médine en français (1554).

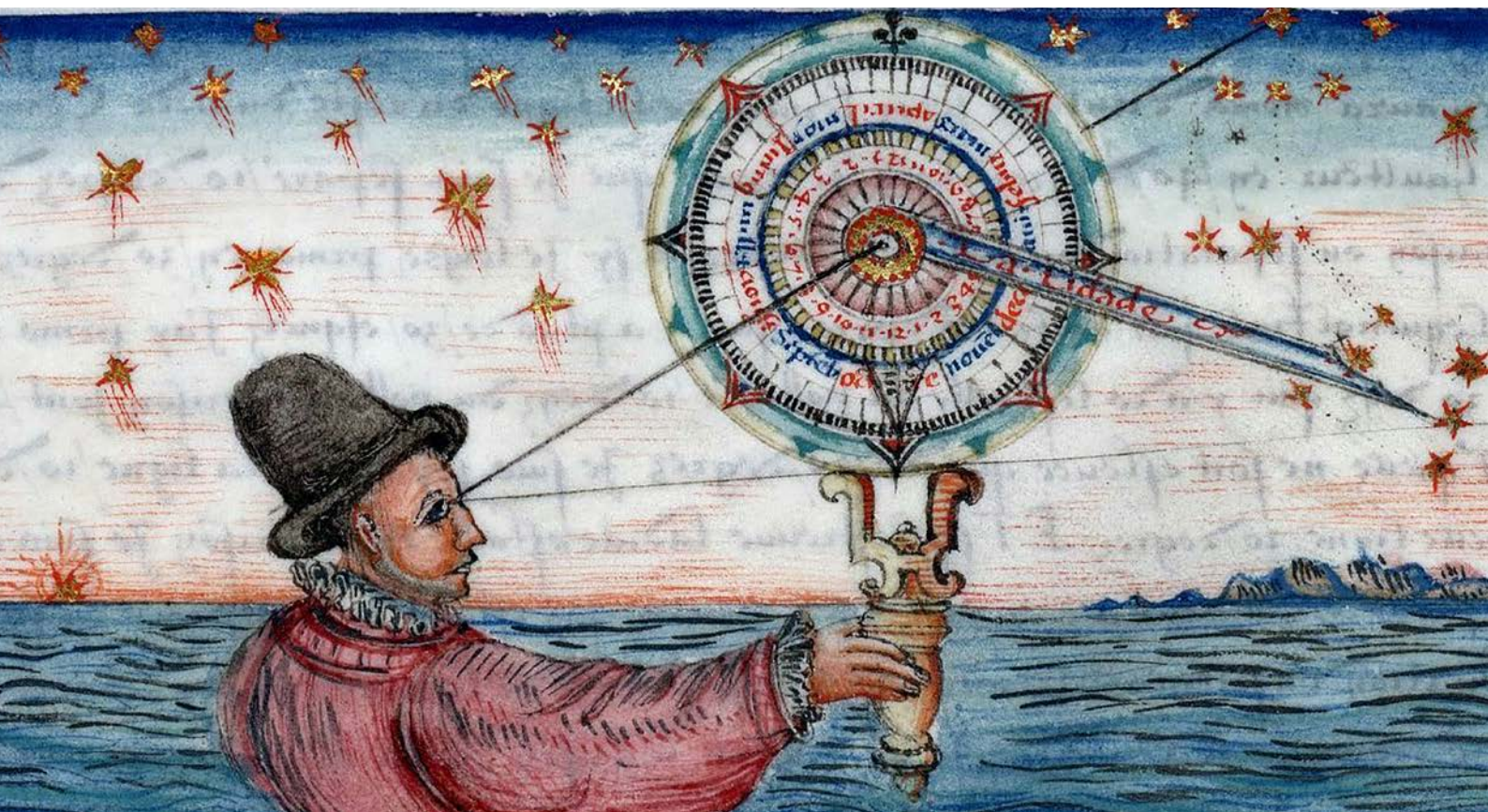
À LA POINTE DE LA MODERNITÉ

Ce dernier fournit la trame du savoir de base que développe Devaulx. Il y est question de cosmographie, rhumbs (une unité de mesure d'angles), routes, latitude, déclinaison et hauteur du Soleil, hauteur de l'Étoile polaire et du Pôle, marées et Lune, calendrier – des éléments en usage depuis quelques décennies en navigation et reformulés à plusieurs reprises. Hormis quelques passages qui sont la copie exacte de Médine, il est d'ailleurs difficile de repérer la provenance des formulations parfois confuses que Devaulx adopte.

Car la navigation de ce xvr^e siècle est une « navigation aux étoiles », où le Soleil, la Lune et l'Étoile polaire jouent un rôle essentiel. En prenant appui sur ces astres mobiles, les lois de la navigation ne peuvent qu'être complexes. Et parce que le marin ne dispose que des seules informations délivrées par le ciel, tout naturellement, le traité de Devaulx commence par des considérations astronomiques, inspirées de Médine, un auteur qui puise sa cosmographie

LE NOCTURLABE

Cet instrument inspiré de Michel Coignet, contemporain de Devaulx, permet de connaître l'heure la nuit en observant la position de certaines étoiles. Après un réglage de la date de l'observation, on vise l'Étoile polaire par le trou central et on tourne la règle mobile ou alidade vers Kochab, une étoile de la Petite Ourse. Aux côtés de sa mise en scène (ci-dessous), reprise du cosmographe Pierre Apian, Devaulx présente l'instrument sous forme de volvelle : un disque de papier accompagné d'une alidade mobile.



aux mêmes sources qu'Apian. C'est souvent ce cosmographe que Devaulx copie pour réaliser ses volvelles, instruments constitués de disques mobiles en papier, qui se trouvent ainsi à la disposition des lecteurs. Plusieurs volvelles, comme la «Sphère plate universelle» (voir la figure page 76) ou le «Miroir du monde» (voir la figure page 77), concernent les phénomènes liés aux cycles du Soleil.

Installé dans un port où se croisent des marins venus de toute l'Europe, Devaulx bénéficie par ailleurs des dernières nouveautés. Il produit des cartes où les découvertes de terres nouvelles coexistent avec certaines élucubrations de ses prédécesseurs sur des territoires quasiment inexplorés. La carte essentielle, celle de l'océan Atlantique, extrêmement détaillée, s'étale sur une double page. On remarque aussi une carte des côtes de l'Europe orientée vers le sud, annotée de données spécifiques aux marées, un type d'informations rarement précisé. Le manuscrit met aussi en valeur la nouvelle cartographie du globe terrestre en jouant sur quelques-unes des multiples projections explorées au xvr^e siècle. Notamment, la carte servant de support à la volvelle «Miroir du monde» présente un hémisphère Nord élargi jusqu'au tropique du Capricorne, tandis que deux demi-globes mettent en valeur l'Ancien et le Nouveau Monde.

C'est avec beaucoup de zèle que Devaulx introduit la très récente réforme du calendrier grégorien mise en place en France en décembre 1582. Il s'attarde peu sur le calcul des éléments calendaires des marins, calcul devenu encore plus complexe. Mais il adapte à

ce nouveau calendrier le tableau des nouvelles lunes, deux volvelles mettant en correspondance les calendriers zodiacal et grégorien, et les tables de déclinaison du Soleil.

Devaulx puise aussi abondamment dans *L'Instruction nouvelle* de Michel Coignet, texte tout récent, publié en flamand en 1580 et en français en 1581. Les hauteurs du Soleil et de l'Étoile polaire, utiles à la détermination de la latitude, sont, au xvr^e siècle, relevées d'ordinaire avec un astrolabe nautique ou, depuis peu, une arbalestrille, un bâton muni de curseurs. Devaulx, comme Coignet, propose des évolutions de ces instruments, en augmentant le nombre de curseurs et en représentant l'astrolabe avec une règle mobile ou alidade qui permet de tenir compte de la déclinaison du Soleil.

BIBLIOGRAPHIE

J. Devaulx, *Nautical Works* (dir. J.-Y. Sarazin et E. Hébert), Taschen, 2018.

J.-B. Denoville, *Le Traité de navigation*, Point de vues, 2008.

Le manuscrit de Jacques Devaulx numérisé sur le site Gallica :
<https://bit.ly/2UfAeNa>

Le site de l'ASSP consacré à Jacques Devaulx :
assprouen.free.fr/devaulx/

Des maquettes en papier et animations sur les volvelles :
assprouen.free.fr/dossiers/volvelles.php

Une maquette en plastique de la volvelle « Sphère plate universelle » :
www.astromaquettes21.com/5.html

MESURER LA LONGITUDE

Avec plus de fantaisie, il s'approprie «l'hémisphère nautique» inventé par ce même Coignet. Cette demi-sphère armillaire équipée d'un curseur et d'une alidade permet des relevés astronomiques. L'instrument est toutefois si encombrant et complexe qu'il est resté plus théorique que pratique. Néanmoins, alors que son concepteur l'affectait à la détermination de la latitude, Devaulx l'utilise pour trouver la longitude... Une reconversion surprenante. En effet, la détermination de la longitude est la grande difficulté à laquelle se heurtent les marins jusqu'à la fin du xviii^e siècle. Les théories les plus fantaisistes circulent, et Devaulx a aussi la sienne: la longitude est le double de la déclinaison magnétique – une proposition totalement erronée, mais qui a le mérite de croiser deux problèmes non élucidés, les mesures de la longitude et de la déclinaison magnétique. Cette dernière, qui est l'écart angulaire entre les nords géographique et magnétique, est alors reconnue et souvent quantifiée, mais demeure inexpliquée. Plusieurs auteurs tentent en vain de la maîtriser, comme le Normand Toussaint de Bessard, en 1574, dont s'inspire Devaulx d'une curieuse façon (voir la figure page 74).

On le voit, pour séduire les puissants à travers son manuscrit, Devaulx est soucieux de se présenter comme un pilote compétent, maîtrisant la science nautique de base. Mais il soigne aussi son image de pilote informé des dernières découvertes tant en cartographie qu'en hydrographie et se plaît à jouer le précurseur. Le zèle qu'il mit à adopter le tout nouveau calendrier grégorien et à produire un document d'une rare beauté ne put que plaire au très catholique Duc de Joyeuse et contribua sans doute à sa promotion. Devaulx n'en profita pas beaucoup, cependant. Il mourut en 1597 âgé d'une quarantaine d'années. Ne subsisteront sous forme manuscrite que quelques rares traités de navigation, témoins d'une science objet de fascination pour les pilotes. ■



© Taschen / Bibliothèque nationale de France

R

ENDEZ-VOUS

P. 80 Logique & calcul
 P. 86 Art & science
 P. 88 Idées de physique
 P. 92 Chroniques de l'évolution
 P. 96 Science & gastronomie
 P. 98 À picorer

AU-DELÀ DU BITCOIN

L'idée des cryptomonnaies, concrétisée pour la première fois avec le bitcoin, a donné naissance à une industrie foisonnante et variée, qui propose nombre d'améliorations.

L'AUTEUR



JEAN-PAUL DELAHAYE
 professeur émérite
 à l'université de Lille
 et chercheur au Centre
 de recherche en
 informatique, signal
 et automatique de Lille
 (Cristal)

I est rare qu'une invention technique soit parfaite à sa naissance. Nos automobiles et nos avions ressemblent assez peu aux premiers exemplaires. C'est vrai aussi des machines à laver, des téléviseurs, des téléphones et surtout des ordinateurs. Le domaine des monnaies cryptographiques, ou cryptomonnaies, bénéficie aussi de cette diversification et de ce perfectionnement progressif. Le bitcoin fut la première de ces monnaies numériques et si, bizarrement, certains le considéraient comme indépensable, le foisonnement de variantes montre qu'il n'est que le premier pas d'un processus évolutif technique.

CE QU'EST UNE CRYPTOMONNAIE

Nous décrivons un modèle simplifié des cryptomonnaies, parfois prudemment dénommées cryptoactifs, et nous verrons comment en dérivent les variantes qui s'écartent du modèle de base.

La première caractéristique d'une cryptomonnaie est d'être numérique: jamais vous ne tiendrez en main un bitcoin, un ripple ou un ether (du réseau Ethereum), qui sont les trois plus importantes cryptomonnaies, dans une famille qui en compte plus de deux mille.

L'existence d'une telle monnaie se fonde sur celle de comptes informatiques et d'une base de données, appelée *blockchain*, ou «chaîne de pages», détenant toutes les informations sur l'état de tous les comptes. Cette base de données des comptes est recopiée dans la mémoire d'une multitude d'ordinateurs, les nœuds validateurs (ou nœuds complets), organisés en

réseau et communiquant par Internet. La base de données permet à chaque nœud validateur de connaître l'état de tous les comptes: le compte A détient n unités de la monnaie, le compte B en détient m , etc. Tout le monde peut connaître l'état de tous les comptes en interrogeant certains nœuds validateurs.

Cette recopie de la blockchain dans la mémoire de chaque nœud validateur la rend infalsifiable: si un détenteur de la blockchain veut la modifier en sa faveur, par exemple pour s'attribuer plus d'unités monétaires, les autres refuseront sa version falsifiée et s'en tiendront à la version commune. La monnaie est décentralisée et sans autorité centrale: personne n'a seul le pouvoir d'en perturber le fonctionnement, qui s'appuie sur un consensus.

UN PROTOCOLE, DES COMPTES, DES TRANSACTIONS

Le protocole de fonctionnement d'une cryptomonnaie est déterminé avant son émission et en indique les propriétés particulières, par exemple en fixant la fréquence d'ajout de nouvelles pages à la blockchain. Le protocole organise le rythme des émissions de nouvelles unités monétaires et leur circulation d'un compte à un autre. Ce protocole est initialement choisi par un ou plusieurs spécialistes, mais une fois programmé et lancé, plus personne en particulier ne le contrôle et il ne peut être modifié qu'après un accord général, selon les règles d'un protocole.

Détenir un compte, c'est connaître la clé secrète du compte, qui est délivrée au



Jean-Paul Delahaye a récemment publié: **Les Mathématiciens se plient au jeu**, une sélection de ses chroniques parues dans *Pour la Science* (Belin, 2017).