

les utilisateurs). Même si les fortes variations de cours aujourd'hui masquent ce coût, il faudra le prendre en compte à moyen terme. Les commissions directement versées aux nœuds validateurs du réseau, ou d'autres systèmes encore, organisent ce paiement des utilisateurs vers les nœuds validateurs. Dans le cas des monnaies cryptographiques utilisant la preuve de travail, le coût des matériels de minage et de l'électricité sera ainsi payé par les utilisateurs. Ces sommes payées ne sont pas des bénéfices nets pour les nœuds validateurs, car ils doivent payer leur matériel et leur électricité. Aujourd'hui, après la baisse des cours du bitcoin, les nœuds validateurs perdent souvent en amortissement de leur matériel et en électricité plus de 90% de ce qu'ils gagnent: une cryptomonnaie à base de preuve de travail coûtera à terme beaucoup plus aux utilisateurs qu'une monnaie qui s'en passera.

Les autres systèmes les plus utilisés pour remplacer les preuves de travail sont les «preuves d'enjeu». Dans le système des preuves d'enjeu, les nœuds validateurs du réseau (parfois appelés *masternodes*) sont rémunérés en proportion des sommes qu'ils déposent et qui sont séquestrées par le réseau. Ce dépôt temporaire d'argent remplace l'investissement en matériel et la dépense en électricité des preuves de travail. Finalement, il ne coûte rien aux nœuds validateurs qui peuvent récupérer les sommes séquestrées (le protocole prévoit qu'à sa demande, celui qui a déposé l'agent puisse le retirer). Un nœud validateur sur une blockchain fonctionnant par preuve d'enjeu est moins coûteux qu'avec le système des preuves de travail.

Les cryptomonnaies fonctionnant avec ces preuves d'enjeu détiennent aujourd'hui plusieurs milliards de dollars et résistent aussi bien aux attaques que les cryptomonnaies fonctionnant par les preuves de travail. Un autre avantage de ces preuves d'enjeu est que le nombre de nœuds validateurs peut être limité, ce qui accélère le fonctionnement des échanges et conduit à une plus grande capacité en nombre de transactions par seconde.

D'autres systèmes n'entraînant pas la consommation démente des preuves de travail sont aussi utilisés, dont celui des «jetons brûlés»: pour utiliser les services de la blockchain, vous devez acheter des jetons et ils sont détruits quand vous utilisez ses services, ce qui est comparable au système des timbres-poste... utilisés depuis des siècles dans le monde entier.

L'un des plus graves défauts des cryptomonnaies est leur volatilité. Le cours du bitcoin est par exemple passé de 1000 dollars environ début 2017 à 20000 dollars en décembre 2017, avant de redescendre vers 4000 dollars actuellement. Il se peut que cela soit lié à la relative jeunesse de ces monnaies,

mais de nombreux experts considèrent que la volatilité est inévitable du fait de l'absence de régulation par une autorité émettrice. L'existence d'une contrepartie directe, quand par exemple une monnaie est adossée à l'or, ou indirecte quand elle est liée à un État qui s'en porte garant, est aussi évoquée comme facteur de stabilité des cours, dont les cryptomonnaies sont dépourvues.

DES CRYPTOMONNAIES PEU VOLATILES: LES STABLECOINS

D'où l'idée de créer et d'adosser une cryptomonnaie à une réserve de valeurs. Cela a été fait, donnant naissance à ce qu'on nomme des *stablecoins* («jetons stables»). La plus importante est tether, émise par la société Tether Unlimited qui assure que pour chaque unité tether émise, elle garde en réserve 1 dollar. Même si la réalité de cette contrepartie a parfois été mise en doute, elle semble suffisamment sérieuse pour que plus de 2 milliards de dollars circulent aujourd'hui sous forme de tethers. Une autre preuve de la confiance qui s'est établie à propos de cette cryptomonnaie stable est que le cours du tether est de 1,00 dollar (29 mars 2019) et que depuis plus d'un an, il est toujours resté entre 0,96 dollar et 1,03 dollar. L'année 2018 a été celle de ce nouveau type de cryptomonnaies qui se développera en 2019. Des systèmes d'audit scrupuleux assurent que les contreparties annoncées sont réelles.

Le fait qu'une firme soit liée et garante de l'émission d'une telle cryptomonnaie s'oppose à l'idéal de décentralisation totale qui était l'une des motivations des créateurs du bitcoin. Cependant, l'échec relatif des monnaies cryptographiques classiques, dû notamment à la volatilité extrême de leur cours, et la solidité des procédures de contrôle de la contrepartie qu'offrent les *stablecoins* suggèrent qu'elles vont prochainement jouer un rôle important dans cette période nouvelle de l'histoire des monnaies, commencée il y a dix ans avec les bitcoins.

Notons aussi qu'à part l'adossement à une réserve de valeur, un *stablecoin* tel que le tether est décentralisé pour le suivi des transactions et que des modèles de *stablecoins* totalement décentralisés sont expérimentés, qui, s'ils se révèlent satisfaisants, répondront aux attentes de ceux qui accordent de l'importance à la décentralisation totale.

La combinaison des *smart contracts* et des *stablecoins* est sur le point de créer le véritable départ d'un monde de monnaies numériques programmables pouvant circuler rapidement de manière sûre, irréversible, sans presque aucun coût de fonctionnement, sans dépense énergétique exagérée, éventuellement anonyme et dont les cours ne sont plus sujets aux folles variations du bitcoin et de ses émules. ■

BIBLIOGRAPHIE

J. Favier et al., **Bitcoin - Métamorphoses. De l'or des fous à l'or numérique ?** Dunod, 2018.

OPECST (Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques), **Les enjeux technologiques des blockchains**, 2018 : <http://www.senat.fr/rap/r17-584/r17-5841.pdf>

J.-P. Landau et A. Genais, **Les crypto-monnaies**, rapport au ministre de l'Économie et des Finances, 4 juillet 2018 : <https://bit.ly/2UXAZqn>

Article **Stablecoin** sur Wikipedia (consulté en février 2019) : <https://en.wikipedia.org/wiki/Stablecoin>

J.-P. Delahaye, **Consommation électrique des crypto-monnaies et des blockchains**, document pour la réunion de travail de France-Stratégie sur « La consommation électrique des technologies disruptives » le 4 juin 2018 : <https://bit.ly/2FvENSe>

L'AUTEUR



LOÏC MANGIN
rédacteur en chef adjoint
à *Pour la Science*

LE COLIBRI, LES DENTS DE LA GUERRE

Le colibri jouit d'une image flatteuse dans le grand public. C'est pourtant un bagarreur, et son bec, parfois hérissé de «dents», a évolué en ce sens. Les Aztèques ne s'y étaient pas trompés et avaient fait de cet oiseau leur dieu de la guerre.

S

ouvent richement coloré, admiré pour ses vols stationnaires, le colibri a bonne presse. Surtout depuis qu'il est devenu l'emblème d'un mouvement en faveur de la transition écologique dont le credo est une légende amérindienne: lors d'un incendie, un colibri tente d'éteindre le feu avec le peu d'eau qu'il peut transporter. Quand les autres animaux, terrifiés, questionnent son entêtement vain, il répond: «Je fais ma part.» Selon certains, à la fin de l'histoire, le colibri meurt d'épuisement, le feu sévissant toujours.

Cette bonne réputation n'est-elle pas usurpée? Probablement, et les Aztèques avaient une autre image du petit oiseau: ils avaient fait du colibri leur dieu de la guerre, sous le nom de Huitzilopochtli! Cette divinité est représentée dans de nombreux codex, et notamment celui de Florence: il s'agit de *L'Histoire générale des choses de la Nouvelle Espagne*, une encyclopédie du monde aztèque, établie par le franciscain Bernardino de Sahagún entre 1558 et 1577. Le manuscrit est conservé à la bibliothèque Laurentienne de Florence, en Italie.

Huitzilopochtli, également dieu du Soleil, était le patron de la ville de Tenochtitlán. Selon la légende, l'ancienne capitale aztèque (aujourd'hui devenue Mexico) fut fondée en un lieu indiqué par la divinité. À partir du xv^e siècle, celle-ci devint prédominante dans le panthéon aztèque, et on attribue à son culte le développement des sacrifices humains à grande échelle.

Huitzilopochtli (ici dans le codex florentin du xvi^e siècle), dieu aztèque de la guerre, était orné de plumes de colibri (en nahuatl, *Huitztzilin* signifie «oiseau-mouche»). Un bon choix tant l'oiseau est agressif!





Huitzilopochtli est facile à reconnaître (*voir ci-contre*) : il arbore des plumes de colibri, un bouclier souvent marqué des cinq directions spatiales (les quatre points cardinaux et le ciel) et un propulseur en forme de serpent. Cette arme, le « serpent de feu », est Xiuhtecuhtli, l'incarnation du dieu Xiuhtecuhtli.

Autant des armes et un bouclier semblent pertinents pour un dieu de la guerre, autant la symbolique du colibri peut surprendre. C'est que vous avez rarement observé des colibris... Ces oiseaux sont très agressifs, les mâles n'hésitant pas à s'attaquer violemment à coups de becs et à défendre leur territoire.

Avec des collègues, Alejandro Rico-Guevara, de l'université de Californie à Berkeley, a pris le temps de les étudier de près. Et ce qu'il a découvert remet en cause des idées reçues sur les colibris. On pensait que la forme de leur bec résultait d'une coévolution avec l'anatomie des fleurs, qui leur fournissent du nectar et qui sont ainsi pollinisées.

C'était négliger le penchant des oiseaux pour la rixe. De fait, l'examen attentif des becs montre qu'ils sont aussi adaptés au combat. Par exemple, certains sont hérissés de pointes semblables à des dents de requins. Et sur la représentation de Huitzilopochtli, on peut deviner de telles dents sur le masque que porte sur son dos le dieu. D'autres becs de colibris sont crochus. D'autres encore sont acérés comme des épées. De quoi voler dans les plumes, au sens propre, d'un rival !

Ces deux fonctions, boire et se battre, s'opposent et se traduisent par un compromis dans la morphologie des becs. C'est particulièrement vrai en Amérique tropicale, où la compétition pour la nourriture est rude. La forme des becs n'est donc pas uniquement façonnée pour l'alimentation. Autre découverte, les colibris ne comptent pas sur la seule capillarité pour aspirer le nectar : la langue, fourchue, jouerait également le rôle de pompe.

Chez les Aztèques, les colibris symbolisaient les âmes des guerriers tombés au combat. Même sous cette forme ailée, ils n'ont rien perdu de leur tempérament ! ■

A. Rico-Guevara et al., *Integrative Organismal Biology*, vol. 1(1), article oby006, 2019.



L'auteur a publié :
**Pollock, Turner, Van Gogh,
Vermeer et la science...**
(Belin, 2018)

LES AUTEURS



JEAN-MICHEL COURTY et ÉDOUARD KIERLIK
professeurs de physique à Sorbonne Université, à Paris

DES SALLES QUI RÉSONNENT

La bonne qualité acoustique d'une pièce nécessite un compromis entre la durée de réverbération, due aux échos successifs du son, et l'amplification sonore caractéristique des volumes clos.

Chacun a pu le constater : un appartement vide résonne beaucoup plus qu'un appartement meublé, tandis que certaines pièces sont rapidement bruyantes dès que plusieurs personnes y discutent. Ces sensations acoustiques traduisent la réverbération de la pièce, due à la superposition des multiples échos des sons qui se réfléchissent sur ses parois. La forme de la pièce, la nature de ses parois et son contenu façonnent ces phénomènes acoustiques. Quels sont leurs rôles respectifs ?

DES SONS QUI REBONDISSENT

Pour simplifier, imaginons-nous postés dans un couloir qui canalise les sons dans le sens de la longueur. Si nous frappons dans nos mains, le son, très bref, va se propager jusqu'aux extrémités, s'y réfléchir et revenir vers nous, et ainsi de suite, en

effectuant des allers et retours. Si le couloir est très long, le premier écho qui nous revient est suffisamment séparé du claquement initial pour que nous puissions distinguer les deux sons. Tel est le cas si l'intervalle de temps dépasse un dixième de seconde, ce qui, compte tenu de la vitesse du son dans l'air, 340 mètres par seconde, nous oblige à être éloigné de plus de 17 mètres de l'extrémité du couloir.

Dans un couloir plus court, nous ne distinguerons pas le son du premier écho, ni la succession des autres échos réfléchis. Nous entendrons plutôt un son continu dont l'intensité décroît, à cause de l'amortissement des ondes sonores sur les parois : c'est la «réverbération».

Pour caractériser ce phénomène, on utilise par convention la durée que met un son pour voir son intensité diminuer de 60 décibels (dB), c'est-à-dire d'un facteur 1 million (10^6). C'est la différence entre un klaxon et un chuchotement, ou entre



l'ambiance sonore d'une discothèque et celle d'une bibliothèque.

Dans le cas du béton lisse ou peint, ou encore du marbre, l'absorption de l'intensité sonore à chaque réflexion est de l'ordre de 1% (donc 99% de l'intensité est réfléchi). Il faut alors plus de 1370 réflexions pour atteindre une réduction de 60 dB ; ce qui, pour un couloir de 10 mètres de long, fait un temps de réverbération de l'ordre de 40 secondes. Cette valeur est évidemment très surestimée, car les ondes sonores ne se réfléchissent pas uniquement sur les extrémités, mais aussi sur les murs latéraux. Elle suggère cependant une durée bien trop longue