

## Des crypto-monnaies émises par les banques centrales ?<sup>1</sup>

*De nouvelles crypto-monnaies apparaissent chaque jour ou presque, et nombreux sont ceux qui se demandent si les banques centrales devraient émettre ce type de monnaies. Mais à quoi pourraient-elles ressembler, et seraient-elles utiles ? Dans cet article, les auteurs proposent une taxonomie différenciant deux types de crypto-monnaies (de gros et de détail) susceptibles d'être émises par les banques centrales, tout en les distinguant des autres formes de monnaies (liquidités, réserves) des banques centrales. Ils présentent les différentes caractéristiques des crypto-monnaies de banques centrales et les comparent aux options de paiement existantes.*

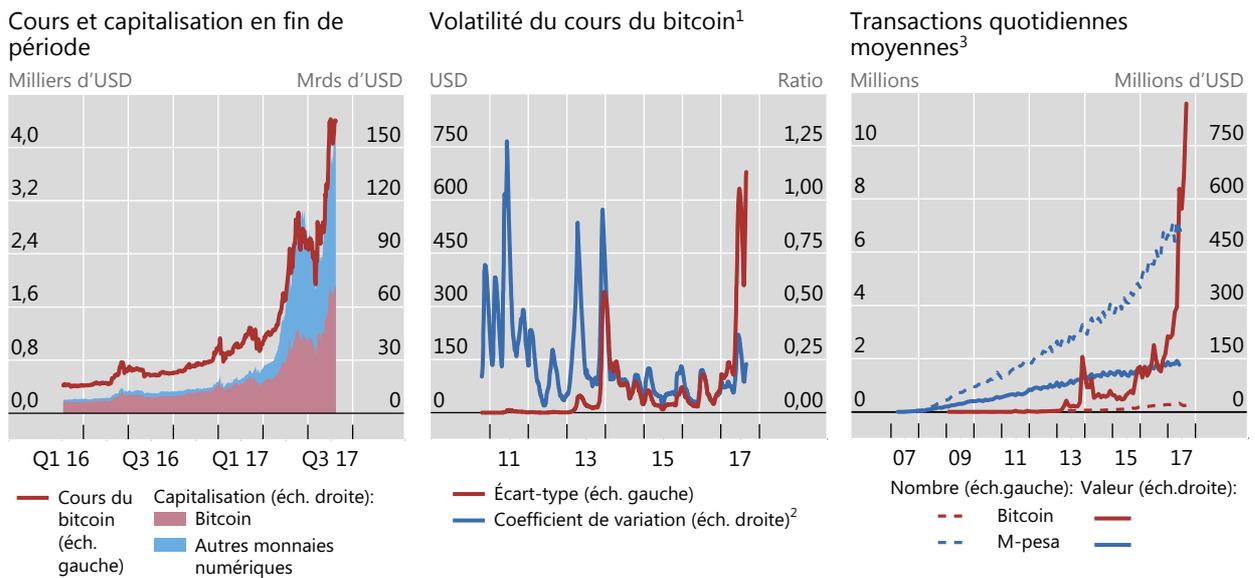
*JEL : E41, E42, E51, E58.*

Il y a moins de dix ans, le bitcoin n'était connu que de quelques initiés ; aujourd'hui, tout le monde en a entendu parler. Sa valeur, qui a certes connu des hauts et des bas, est passée de quelques centimes de dollar à plus de 4 000 dollars. Parallèlement, des centaines d'autres crypto-monnaies - dont la valeur de marché équivaut à celle du bitcoin - ont fait leur apparition (graphique 1, cadre de gauche). S'il semble peu probable que le bitcoin ou ses cousins prennent la place des monnaies souveraines, ils ont prouvé la viabilité de la chaîne de blocs, ou technologie de registre distribué (DLT), qui les sous-tend. Les spécialistes du capital-risque et les établissements financiers investissent massivement dans des projets de DLT qui visent à offrir de nouveaux services financiers tout en améliorant l'efficacité des services existants. Blogueurs, banquiers centraux et universitaires sont d'avis que ces évolutions technologiques perturberont ou transformeront les modes de paiement, l'activité des banques et le système financier au sens large<sup>2</sup>.

Dernièrement, les banques centrales sont entrées dans la danse, plusieurs d'entre elles annonçant qu'elles étudiaient ou expérimentaient la DLT, et la perspective de voir des banques centrales émettre leur propre monnaie numérique, ou crypto-monnaie, suscite un intérêt considérable. Il est toutefois difficile de s'y retrouver. Il existe une certaine confusion autour de la nature de ces nouvelles monnaies, les participants aux discussions n'ayant souvent pas la même idée de ce qui est proposé.

<sup>1</sup> Les opinions exprimées dans cette étude sont celles des auteurs et ne reflètent pas forcément celles de la BRI. Nous remercions Stijn Claessens, Benjamin Cohen, Dietrich Domanski, Hana Halaburda, Krista Hughes, Jochen Schanz et Hyun Song Shin pour leurs commentaires, ainsi que Aleksander Berentsen, James Chapman et Paul Wong pour leurs précieux éclairages. Nous sommes reconnaissants à Codruta Boar pour son excellent travail de recherche.

<sup>2</sup> Voir Andolfatto (2015, 2016), Broadbent (2016), Raskin et Yermack (2016) et Skingsley (2016).



<sup>1</sup> Moyennes mobiles sur 90 jours. <sup>2</sup> Ratio d'écart-type par rapport à la moyenne. <sup>3</sup> Moyennes mensuelles. Dans le cas du bitcoin, la valeur estimée des transactions est en USD ; dans le cas de M-pesa™, la valeur des transactions en KES est convertie en USD.

Sources : banque centrale du Kenya ; CoinDance ; CoinDesk ; [www.blockchain.info](http://www.blockchain.info) ; calculs des auteurs.

La présente étude entend clarifier les débats en répondant à une question d'apparence toute simple : de quoi parle-t-on lorsque l'on évoque des crypto-monnaies émises par les banques centrales (CBCC) ?

Pour ce faire, nous présentons une taxonomie de ces monnaies fondée sur quatre propriétés clés : l'*émetteur* (banque centrale ou autre) ; la *forme* (électronique ou physique) ; l'*accessibilité* (universelle ou limitée) ; et le *mécanisme de transfert* (centralisé ou décentralisé). Dans le cadre de cette taxonomie, une CBCC est une forme électronique de monnaie émise par une banque centrale, qui peut être échangée de façon décentralisée, c'est-à-dire entre pairs (*peer-to-peer*) : les transactions se font directement entre le donneur d'ordre et le bénéficiaire, sans nécessiter l'intervention d'un intermédiaire<sup>3</sup>. En cela, les CBCC se distinguent des formes existantes de monnaie électronique des banques centrales, telles que les réserves, lesquelles sont échangées de façon centralisée entre comptes détenus au sein d'une banque centrale. En outre, notre taxonomie établit une différence entre deux formes possibles de CBCC : d'un côté, un instrument de paiement pour les particuliers, largement disponible et destiné aux opérations de détail ; de l'autre, un jeton de règlement numérique à accès réservé, destiné aux paiements de gros<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> La forme la plus pure de transaction entre pairs est l'échange d'espèces. Dans le cadre d'un réseau informatique, le concept d'échange entre pairs renvoie à une transaction qui peut être traitée sans passer par un serveur central.

<sup>4</sup> On distingue habituellement les paiements de détail et les paiements de gros. Les paiements de détail recouvrent des transactions de valeur relativement faible, par exemple sous forme de chèque, transfert d'argent, prélèvement automatique ou règlement par carte. Les paiements de gros, pour leur part, renvoient à des transactions prioritaires de grande valeur, comme les transferts interbancaires. Cette distinction pourrait perdre de sa pertinence dans un monde où les banques centrales émettent des crypto-monnaies. Dans ce cas-là, notre utilisation du terme correspondrait aux types de paiement ciblés en premier lieu par les CBCC.

Mais que pourraient offrir de plus ces deux types de CBCC par rapport aux formes de monnaie alternatives émises par les banques centrales ? S'agissant des CBCC destinées aux particuliers, nous pensons que la composante « entre pairs » de la nouvelle technologie pourrait offrir des caractéristiques d'anonymat semblables à celles de l'argent liquide, mais sous forme numérique. Si l'anonymat n'est pas jugé important, alors la plupart des bénéfices prêtés aux CBCC de détail pourraient être obtenus en permettant au public de détenir des comptes auprès de banques centrales, ce qui est techniquement faisable depuis longtemps, même si les banques centrales s'y refusent pour la plupart.

L'évaluation est différente en ce qui concerne les CBCC de gros. Les paiements de gros n'offrent pas aujourd'hui le même anonymat que les paiements en espèces. En particulier, l'opérateur central peut voir les transactions qui ont lieu dans les systèmes de paiement de gros. Par conséquent, les CBCC de gros présentent un intérêt si elles permettent des gains d'efficacité et une réduction des coûts de règlement. Ceci dépend d'un certain nombre de questions techniques non encore résolues. Certaines banques centrales ont expérimenté des CBCC de gros, mais aucune n'a encore annoncé être prête à adopter cette technologie.

La première section de notre étude présente la taxonomie sur laquelle s'appuie notre définition. Les deux sections suivantes abordent les caractéristiques des deux principaux types de CBCC (de détail et de gros), sur la base d'exemples historiques et de projets en cours. La conclusion porte sur certains points que les banques centrales devront prendre en compte à l'avenir.

## Une nouvelle forme de monnaie pour les banques centrales

En 2015, le Comité sur les Paiements et les Infrastructures de Marché a publié un rapport sur les crypto-monnaies qui sert de base à notre définition des CBCC (CPIM (2015))<sup>5</sup>. Ce rapport visait à définir la nouvelle catégorie de monnaies que représentaient le bitcoin et ses alternatives, qui étaient issus de la même technologie. Il identifiait trois spécificités clés des crypto-monnaies : leur caractère *électronique* ; le fait qu'elles *ne sont le passif de personne en particulier* ; et les échanges *entre pairs* auxquels elles servent<sup>6</sup>.

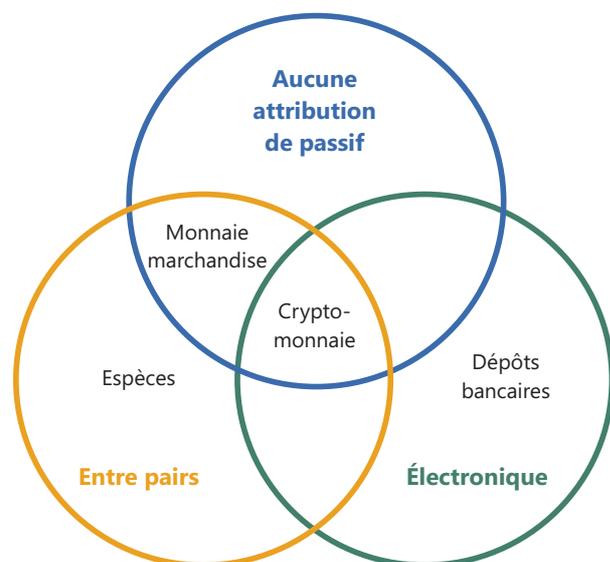
La technologie DLT (encadré A), sur laquelle se fondent les crypto-monnaies, permet le transfert entre pairs de valeur électronique sans lien de confiance entre les parties au contrat. D'habitude, les formes électroniques de l'argent (tels que les dépôts bancaires) sont échangées au moyen d'infrastructures centralisées, où un intermédiaire de confiance compense et règle les transactions. Auparavant, les échanges entre pairs étaient limités aux formes physiques de l'argent.

Certaines - mais pas la totalité - de ces caractéristiques sont partagées par d'autres formes de monnaie (graphique 2, cadre de gauche). Les espèces sont échangées entre pairs, mais ne sont pas électroniques, et sont un passif pour les banques centrales. Les dépôts auprès des banques commerciales constituent un

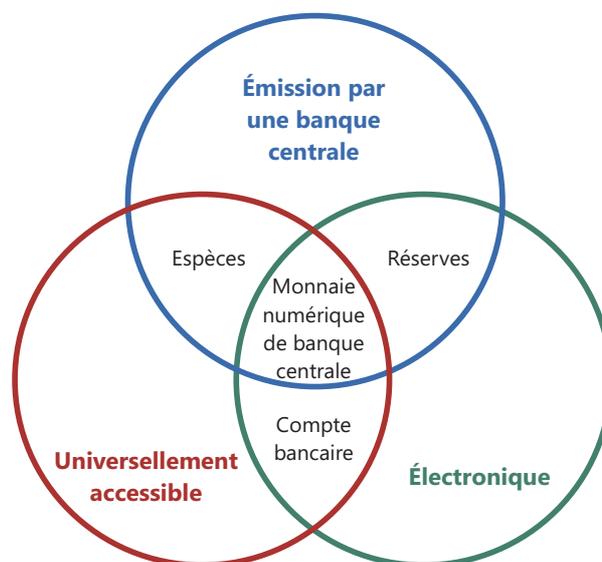
<sup>5</sup> Le rapport est intitulé *Digital currencies* (monnaies numériques), mais les auteurs notent que le terme « cryptocurrencies » (crypto-monnaies) est lui aussi souvent utilisé pour refléter l'aspect cryptographique de leur émission et de la validation des transactions.

<sup>6</sup> Les crypto-monnaies n'ont pas de valeur intrinsèque ; elles sont détenues uniquement dans l'idée qu'elles pourraient être ultérieurement échangées contre des biens ou des services.

Crypto-monnaie, CPIM (2015)



Monnaie numérique de banque centrale, Bjerg (2017)

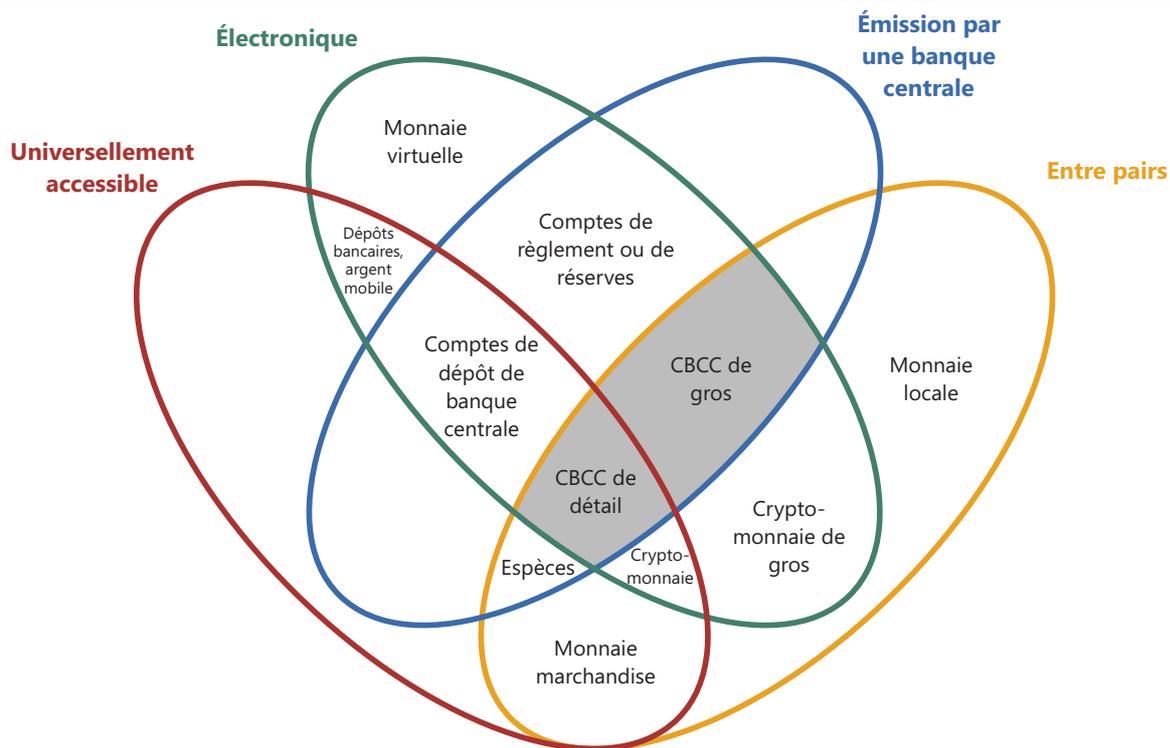


passif pour les banques qui les proposent. Aujourd'hui, ils revêtent une forme électronique et sont échangés de manière centralisée soit à travers les comptes d'une banque donnée, soit entre banques via la banque centrale. La plupart des monnaies marchandises, tels que les pièces d'or, peuvent aussi faire l'objet de transferts entre pairs mais ne constituent un passif pour personne, et ne sont pas électroniques<sup>7</sup>.

Il pourrait sembler naturel de définir les CBCC en adaptant la définition du CPIM et en disant qu'il s'agit de passifs électroniques des banques centrales pouvant servir à des échanges entre pairs. Mais on ignorerait alors une caractéristique importante d'autres formes de monnaies des banques centrales, à savoir l'*accessibilité*. Pour l'instant, une forme de monnaie de banque centrale - les espèces - est universellement accessible, tandis que les comptes de règlement des banques centrales ne sont généralement mis à la disposition que de certaines entités, essentiellement des banques (CSPR (2003, p. 3)). Dans cet esprit, Bjerg (2017) ajoute la caractéristique « universellement accessible » (c'est-à-dire facile à obtenir et à utiliser) aux spécificités « électronique » et « émise par les banques centrales » dans la définition du nouveau concept de monnaie numérique de banque centrale (graphique 2, cadre de droite).

Nous avons associé les différentes propriétés évoquées par le CPIM (2015) et par Bjerg (2017) afin d'établir une nouvelle taxonomie des monnaies. Les propriétés que nous retenons sont : l'*émetteur* (banque centrale ou autre) ; la *forme* (électronique ou physique) ; l'*accessibilité* (universelle ou limitée) ; et le *mécanisme de transfert* (centralisé ou décentralisé, c'est-à-dire entre pairs). Cette taxonomie reflète ce qui semble être en train de se dessiner en pratique, et distingue deux types potentiels de CBCC - toutes deux électroniques, émises par des banques centrales et échangeables entre pairs. L'une est à disposition du grand public (CBCC de détail), l'autre n'est destinée qu'aux établissements financiers (CBCC de gros). Un diagramme de Venn

<sup>7</sup> Au Moyen-Âge, les paiements pouvaient nécessiter le recours à un changeur, qui estimait la valeur des pièces utilisées.



peut servir ici d'illustration<sup>8</sup>. La version à quatre ellipses du graphique 3, que nous baptisons la *corolle des monnaies*, montre comment les deux types potentiels de CBCC s'intègrent dans l'ensemble du paysage financier.

En principe, il existe quatre différentes sortes de monnaie électronique de banque centrale : deux types de CBCC (zone grisée) et deux types de dépôts de banque centrale. Les formes les plus familières de dépôt de banque centrale sont celles que détiennent les banques commerciales, souvent nommées comptes de règlement ou réserves. L'autre forme renvoie, en théorie du moins, à des dépôts détenus par le grand public. Tobin (1987) a proposé la création de ce type de compte de dépôt ouvert auprès des banques centrales (*deposited currency accounts* (DCA))<sup>9</sup>. Jusqu'à présent, les banques centrales s'y sont généralement refusées.

Les formes de monnaies universellement accessibles qui ne sont pas émises par des banques centrales incluent les crypto-monnaies (créées de manière privée), les

<sup>8</sup> Un diagramme de Venn à quatre cercles ne couvre que 14 des  $2^4 = 16$  combinaisons possibles, c'est pourquoi dans le cas de quatre séries, Venn (1881) suggérait de recourir à des ellipses pour montrer l'ensemble des possibilités.

<sup>9</sup> Dans un discours tenu en 1987, le Prix Nobel James Tobin a affirmé que, pour éviter de s'en remettre de façon excessive à la garantie des dépôts dans le but de protéger le système des paiements, les banques centrales devraient « mettre à disposition du public un dispositif alliant la commodité des dépôts et la sécurité des espèces - essentiellement des dépôts d'espèces, transférables par chèque ou autre type d'ordre et ce, quel que soit le montant » (Tobin (1987, p. 6) ; voir aussi Tobin (1985)). En d'autres termes, les particuliers devraient pouvoir disposer d'un outil de conservation de valeur qui ne soit pas exposé au risque d'une faillite bancaire.

monnaies marchandises, les dépôts des banques commerciales et l'argent mobile<sup>10</sup>. Les crypto-monnaies se rapprochent des CBCC dans le sens où une seule de leurs caractéristiques n'est pas commune aux CBCC. Les trois autres formes de monnaie s'en éloignent davantage parce qu'elles sont soit physiques, soit non échangeables entre pairs. Un certain nombre d'autres formes de monnaie ne sont pas universellement accessibles. Les monnaies locales (physiques), c'est-à-dire celles qui peuvent être utilisées dans un lieu particulier par les organisations participantes, occupent le pétale le plus à droite de l'illustration. Le pétale en haut à gauche contient les monnaies virtuelles, qui sont des « monnaies électroniques émises et habituellement contrôlées par leurs développeurs, utilisées et acceptées parmi les membres d'une communauté virtuelle donnée » (BCE (2012)). Une version privée de crypto-monnaie de gros constitue aussi une possibilité. Elle serait transférable entre pairs au moyen d'un registre distribué, mais seulement entre certains établissements financiers.

L'encadré B s'appuie sur cette taxonomie pour classer différents exemples de monnaies passées, présentes et futures selon la manière dont elles s'intègrent à la corolle. Le reste de notre étude aborde dans le détail les deux types de CBCC et met en lumière les nombreux enjeux auxquels les banques centrales feraient face si elles devaient décider d'adopter ce type de monnaie. Nous évoquerons les CBCC de détail avant de passer aux CBCC de gros.

## Des crypto-monnaies de détail émises par les banques centrales

Les CBCC de détail n'existent nulle part. Ce concept constitue néanmoins un sujet de discussion courant parmi les blogueurs, les banquiers centraux et les universitaires. La proposition qui revient le plus souvent dans ces débats est peut-être le Fedcoin (Koning (2014, 2016), Motamedi (2014))<sup>11</sup>. L'idée, comme nous l'expliquons dans l'encadré B, est que la Réserve fédérale américaine crée une crypto-monnaie semblable au bitcoin. Toutefois, contrairement à la manière dont fonctionne le bitcoin, la Fed serait la seule à même de créer des Fedcoins, et ceux-ci seraient convertibles à parité avec le dollar en espèces et réserves. La création (destruction) de Fedcoins n'interviendrait que si un montant équivalent d'argent liquide ou de réserves était simultanément détruit (créé). À l'instar des espèces, le Fedcoin serait décentralisé en termes de transactions et centralisé en termes d'offre. La banque centrale suédoise, dans le cadre de son projet eKrona, semble être allée un peu plus loin dans ses réflexions sur l'émission potentielle d'une CBCC de détail (encadré C).

Une CBCC de détail de type Fedcoin éliminerait la forte volatilité que connaissent souvent les cours des crypto-monnaies (graphique 1, cadre central)<sup>12</sup>. En outre, comme le note Koning (2014), le Fedcoin pourrait alléger la contrainte du plancher

<sup>10</sup> L'argent mobile est un service de portefeuille électronique permettant aux usagers de conserver, envoyer et recevoir de l'argent au moyen de leur téléphone portable. La valeur ainsi conservée peut constituer un passif pour le fournisseur de service, ou une créance sur des fonds détenus en fiducie dans une banque commerciale.

<sup>11</sup> La Réserve fédérale n'a pas validé, ni officiellement commenté, cette proposition.

<sup>12</sup> Voir Yermack (2015), Bolt et van Oordt (2016), et Garratt et Wallace (2016), pour des analyses relatives aux monnaies numériques et à la volatilité des cours.

du taux zéro qui pèse sur la politique monétaire. Comme avec d'autres formes électroniques de monnaie de banque centrale, il est techniquement possible de payer des intérêts sur une CBCC fondée sur la technologie de registre distribué. Si une CBCC de détail devait remplacer totalement les espèces, les déposants ne pourraient plus éviter les taux d'intérêt négatifs tout en détenant de l'argent émis par la banque centrale.

Toute décision de mettre en place une CBCC de détail devrait être prise après avoir pesé les avantages et risques potentiels. Des paniques bancaires pourraient se produire plus rapidement si les particuliers étaient en mesure de convertir de l'argent de banque commerciale en passifs sans risque auprès de la banque centrale (Tolle (2016)). Les modèles d'entreprise des banques commerciales pourraient aussi courir des risques. En cas de désintermédiation bancaires, les banques pourraient être moins à même de remplir des fonctions économiques essentielles, comme le suivi des emprunteurs, si les consommateurs renonçaient aux dépôts bancaires au profit de CBCC de détail. Ces avantages et ces coûts ne sont toutefois pas limités aux CBCC de détail. Il en va de même des comptes de dépôt détenus auprès de banques centrales. Quelle est alors la différence fondamentale entre ces deux instruments ? La réponse tient au caractère de transférabilité entre pairs des CBCC et, plus précisément, à la question de l'anonymat.

## Anonymat

Le bitcoin visait à être une « version électronique de l'argent liquide [échangeable] entre pairs » (Nakamoto (2009, p. 1)), permettant l'anonymat des transactions. Toutes les transactions en bitcoin sont officiellement enregistrées à l'aide des adresses publiques de l'émetteur et du destinataire du paiement.<sup>13</sup> Néanmoins, à l'instar des adresses électroniques, les adresses bitcoin ne révèlent pas nécessairement l'identité réelle des utilisateurs<sup>14</sup>. Par conséquent, l'émetteur d'un paiement en bitcoin vers une adresse publique n'a pas à révéler sa véritable identité au destinataire (*anonymat de la contrepartie*) ni aux autres membres de la communauté bitcoin (ce qui est une forme d'*anonymat de la tierce partie*)<sup>15</sup>.

Kahn et al. (2005) et McAndrews (2017) mettent en avant des raisons légitimes d'assurer l'anonymat de la contrepartie dans le cadre de transactions. Émetteur et destinataire peuvent souhaiter réduire les risques de subir un vol d'identité ou de voir la contrepartie les suivre et les cambrioler ; ou éviter des désagréments plus anodins comme le ciblage publicitaire et autres sollicitations commerciales (« spamming »). De même, l'absence d'anonymat de la tierce partie peut être jugée comme trop révélatrice des activités privées d'une personne. Dans sa proposition d'un « Digicash », David Chaum (1983) avance cet argument en observant que « la connaissance du destinataire, du montant et de la date de paiement de chaque transaction effectuée par un individu peut donner à la tierce partie beaucoup

<sup>13</sup> Pour Luther et Olson (2015), le bitcoin est une application pratique du concept de « mémoire » en économie monétaire. Kocherlakota (1998) montre que monnaie et mémoire sont toutes deux des moyens de faciliter les échanges. La mémoire peut cependant procéder à davantage d'allocations que la monnaie, de sorte que si celle-ci peut être considérée comme une forme de mémoire, l'inverse n'est pas vrai.

<sup>14</sup> Voir Nakamoto (2009, section 10).

<sup>15</sup> L'anonymat de la tierce partie signifie que la véritable identité d'une personne n'est révélée à qui que ce soit non directement impliqué dans une transaction. Dans le cadre d'applications plus générales, cela inclurait un opérateur système.

d'informations sur les allées et venues, les habitudes et le style de vie de cette personne »<sup>16</sup>.

L'anonymat de la contrepartie paraît moins controversé que l'anonymat de la tierce partie. De nombreux observateurs estiment que l'anonymat de la tierce partie ne devrait pas être autorisé parce qu'il facilite les activités criminelles (fraude fiscale, financement du terrorisme, blanchiment d'argent, etc.). Rogoff (2016) invoque les mêmes raisons lorsqu'il appelle à retirer de la circulation les billets de 100 dollars.

On ne sait pas précisément quelle importance les consommateurs accordent à l'un ou l'autre type d'anonymat en ce qui concerne la protection de leur vie privée. Athey et al. (2017) ont étudié les efforts que les utilisateurs de monnaies numériques sont prêts à faire à cette fin. Dans un cadre expérimental, ils ont trouvé que les individus, de manière générale, ne prenaient pas le temps de lire la description du portefeuille électronique permettant de satisfaire les préférences qu'ils avaient déclarées en termes de données privées. Des conclusions similaires ont été tirées d'une étude réalisée par des étudiants en économie de l'Université de Californie, Santa Barbara, sur l'utilisation de Venmo (un portefeuille numérique ayant les caractéristiques d'un réseau social). Sur les 669 sondés, 80 % en étaient utilisateurs ; parmi eux, 44 % effectuaient leurs transactions via Venmo de manière publique (c'est-à-dire au vu et au su de tout-un-chacun sur internet), tandis que 21 % disaient laisser leurs amis sur Facebook voir leurs transactions. Enfin, si Digicash est considéré comme un précurseur du bitcoin, la demande n'était peut-être pas suffisante pour l'anonymat de tierce partie qu'il fournissait car il n'a jamais été largement adopté. Digicash a déposé le bilan en 1998<sup>17</sup>.

La technologie à la base des CBCC pourrait permettre aux banques centrales d'offrir un substitut numérique à l'argent liquide, présentant des caractéristiques similaires en termes d'anonymat. Il reviendrait à la banque centrale, dans son rôle d'émetteur, d'exiger ou non des informations sur les utilisateurs (leur véritable identité, au-delà de leur adresse publique). Ce faisant, elle déterminerait le degré d'anonymat de la tierce partie fourni par la CBCC de détail.

S'il peut sembler étrange pour une banque centrale d'émettre une crypto-monnaie garantissant l'anonymat, c'est précisément ce que font les banques centrales en émettant de la monnaie physique (de l'argent liquide). La principale différence est peut-être qu'avec une CBCC de détail, l'anonymat relève d'une décision consciente. Rappelons que dans le cas des espèces, l'anonymat est probablement apparu par commodité ou hasard historique, davantage que de manière intentionnelle.

<sup>16</sup> Digicash a été lancé dans les années 1990 comme moyen de transférer des dépôts bancaires d'un client vers un autre, sans révéler l'identité du payeur à sa banque (en assurant l'anonymat de la tierce partie). Le système recourait à des techniques cryptographiques pour créer une réserve de Digicash non traçable à partir des dépôts des clients. Le Digicash est intéressant en ce qu'il assurait l'anonymat de la tierce partie sans nécessiter d'autonomie vis-à-vis des banques commerciales. Celles-ci détenaient et transféraient encore les dépôts détenus par les clients utilisant le Digicash.

<sup>17</sup> Une raison potentielle de cet échec est qu'il n'assurait pas d'autonomie vis-à-vis d'une autorité centrale. Le « bit gold » proposé par Nick Szabo constitue une version autonome de l'or électronique utilisant des chaînes de validation. Le bit gold constitue une grande étape dans l'évolution des espèces numériques vers le bitcoin (<https://unenumerated.blogspot.ch/2005/12/bit-gold.html>).

## Des crypto-monnaies de gros émises par les banques centrales

Si les CBCC destinées aux paiements de détail en sont encore au stade conceptuel, certaines banques centrales ont procédé à des démonstrations de faisabilité d'applications de gros fondées sur la DLT<sup>18</sup>. L'une des raisons expliquant l'intérêt pour la DLT est que de nombreux systèmes de paiement de gros gérés par les banques centrales arrivent en fin de cycle de vie technologique. Ces systèmes sont programmés dans des langages obsolètes ou utilisent des modèles de base de données caducs et coûteux à entretenir.

### Les projets Jasper et Ubin

Le projet Jasper de la Banque du Canada (Chapman et al. (2017)) et le projet Ubin de l'Autorité monétaire de Singapour (MAS (2017)) simulent des systèmes à règlement brut en temps réel (RTGS) sur une plateforme DLT. Dans un système RTGS, les paiements sont traités individuellement, immédiatement et de manière définitive tout au long de la journée (CSPR (1997)).

À la différence des applications de paiement de détail évoquées plus haut, l'accès aux systèmes de gros est restreint (c'est-à-dire nécessite une autorisation). Généralement, l'accès est limité aux établissements financiers. En outre, le coûteux processus de validation (encadré A) qui est nécessaire pour empêcher les doubles dépenses dans les dispositifs de détail est ici remplacé par des alternatives moins gourmandes en énergie, comme une autorité de confiance (par exemple la banque centrale).

L'un des défis clés pour toute application de CBCC est de savoir comment transférer l'argent de la banque centrale au registre distribué<sup>19</sup>. Jasper comme Ubin ont opté pour une approche de certificat de dépôt numérique. Un certificat de dépôt numérique est une créance sur les réserves de la banque centrale détenue dans un compte séparé, en échange duquel la banque centrale émet des jetons numériques sur le registre distribué. Dans le cas de Jasper, les jetons numériques (initialement connus sous le nom de *CADcoins*<sup>20</sup>) sont créés en début de journée, et rachetés en fin de journée. Dans le cas d'Ubin, les banques achètent ou remboursent des jetons numériques à tout moment de la journée, et peuvent les conserver sur le registre distribué jusqu'au lendemain. Ainsi, les transferts sur la plateforme DLT dans le cadre de la démonstration de faisabilité à Singapour ne se limitent pas aux heures d'ouverture de la MAS.

Le projet Jasper met également en œuvre un mécanisme de réduction des besoins de liquidité sur la plateforme DLT. Si les systèmes RTGS minimisent le risque

<sup>18</sup> Les banques centrales ne se sont pas limitées aux applications de paiement de gros fondées sur la DLT. L'Autorité monétaire de Hong Kong (HKMA) a effectué des démonstrations de faisabilité pour le crédit commercial et les demandes de prêt hypothécaire, en collaboration avec des acteurs du secteur (HKMA (2016)). La Banque de France a mis au point une version fondée sur la DLT de sa base d'identification des créanciers utilisant le système SEPA d'espace unique de paiement en euro (Banque de France (2016)).

<sup>19</sup> Les Principes pour les infrastructures de marchés financiers du CPIM et de l'OICV prévoient que le règlement doit être réalisé autant que possible dans la monnaie de la banque centrale.

<sup>20</sup> Voir Garratt (2016).

de règlement, ils peuvent nécessiter beaucoup de liquidité. Par conséquent, de nombreux systèmes RTGS dans le monde sont renforcés par des mécanismes qui visent à compenser régulièrement des paiements entre eux dans une file, et à ne régler que les montants nets ((Bech and Soramäki (2001)). Les registres distribués sont décentralisés, de sorte que la mise en œuvre d'une file centralisée nécessite une solution ingénieuse (Project Jasper (2017)).

Les deux projets montrent que l'argent de banque centrale peut être transféré sur un registre distribué en temps réel, dans des volumes réalistes et avec un mécanisme de réduction des besoins de liquidité. Cependant, aucune des initiatives actuelles visant à mettre à jour ou à remplacer les systèmes de paiement de gros existants n'envisagent l'adoption de la DLT. La Banque d'Angleterre (2017) comme la Banque du Canada (Ho (2017)) concluent que la DLT n'est pas encore assez mûre pour être adoptée. Pourtant, pour la plupart des banques centrales qui réfléchissent à moderniser le cœur de leur infrastructure de paiement, il est nécessaire que les nouveaux systèmes puissent fonctionner avec les futures plateformes DLT.

## Règlement de titres

À plus long terme, de nombreux acteurs du secteur estiment que la DLT pourrait sensiblement augmenter l'efficacité, et réduire les coûts de rapprochement, dans le cadre de la compensation et du règlement de titres<sup>21</sup>. L'un des avantages potentiels des structures fondées sur la DLT est l'immédiateté de la compensation et du règlement des titres, contrairement au retard de plusieurs jours qui caractérise aujourd'hui les échanges entre espèces et titres<sup>22</sup>. Des progrès ont récemment été faits en la matière par une co-entreprise fondée par la Banque fédérale d'Allemagne et Deutsche Börse, et qui a mis au point un prototype fonctionnel de plateforme de règlement de titres fondée sur la DLT permettant le règlement-livraison contre paiement d'espèces numériques et de titres (Deutsche Bundesbank (2016)).

## Conclusion

À ce stade, l'argent liquide est la seule forme de monnaie de banque centrale que peuvent détenir les particuliers. Une personne souhaitant « numériser » ces fonds doit convertir le passif de banque centrale en passif de banque commerciale, en déposant l'argent dans une banque. Une crypto-monnaie de banque centrale permettrait aux consommateurs de détenir des passifs de banque centrale sous forme numérique<sup>23</sup>. Pour ce faire, les particuliers devraient cependant être autorisés à détenir un compte auprès de la banque centrale, idée qui existe depuis

<sup>21</sup> Mainelle et Milne (2016) estiment que les bases de données synchronisées peuvent permettre des réductions allant jusqu'à 50 % des coûts de back-office. Selon une étude de Santander InnoVentures (2015), 15 à 20 milliards de dollars pourraient être économisés chaque année à l'échelle du secteur bancaire.

<sup>22</sup> Grâce à l'utilisation de contrats intelligents, la technologie permet aussi de préciser aux différentes parties la date/l'heure du règlement d'une transaction.

<sup>23</sup> De fait, les particuliers pourraient vouloir se prémunir contre le risque de crédit associé aux passifs des banques commerciales.

longtemps<sup>24</sup>. Selon nous, le principal avantage d'une CBCC de détail destinée au grand public serait (au-delà du fait qu'elle donnerait accès à des comptes (centralisés) ouverts auprès des banques centrales) qu'elle pourrait offrir l'anonymat propre aux espèces. Les transferts entre pairs, notamment, permettent l'anonymat vis-à-vis de toute tierce partie. Si cet anonymat de la tierce partie ne constitue pas un aspect suffisamment important aux yeux du grand public, celui-ci pourrait profiter de la plupart des avantages prêtés aux CBCC de détail en ayant accès à des comptes ouverts auprès des banques centrales.

Trancher la question de savoir si une banque centrale devrait ou non offrir une alternative numérique aux espèces est particulièrement essentiel dans les pays comme la Suède, où l'utilisation des espèces est en fort déclin. Mais toutes les banques centrales pourraient à terme devoir décider si l'émission d'une CBCC de gros ou de détail est pertinente, en fonction du contexte local. Il leur faudrait alors tenir compte non seulement des préférences des consommateurs en termes de protection de la vie privée, et des gains potentiels d'efficacité (en termes de paiement, compensation et règlement), mais aussi des risques potentiels pour le système financier et l'économie au sens large, ainsi que de toute conséquence sur la politique monétaire (Bordo et Levin (2017)). Certains risques sont aujourd'hui difficiles à apprécier : ainsi, la question de la cyberrésilience des CBCC - que nous n'avons pas abordée dans la présente étude - reste largement à explorer.

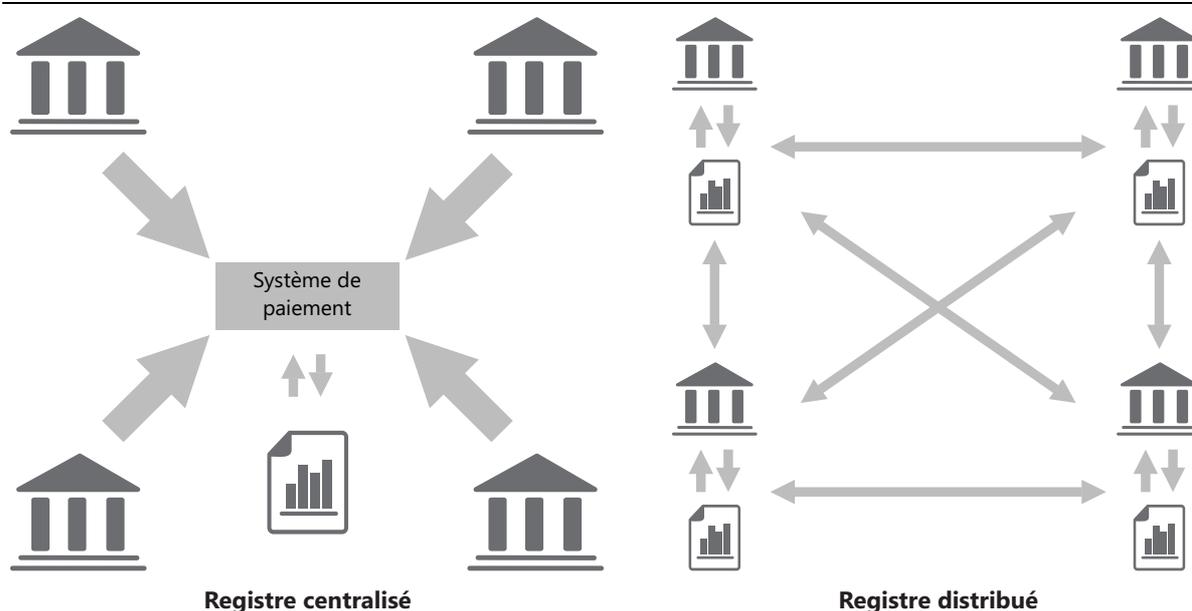
<sup>24</sup> La question de savoir qui devrait avoir accès à la monnaie de banque centrale revient souvent dans les discussions relatives à la politique monétaire. Voir CSPR (2003), CSFM (2015) et la Banque d'Angleterre (2017) pour davantage de précisions.

## Qu'est-ce que la technologie de registre distribué ?<sup>①</sup>

La technologie de registre distribué (DLT) renvoie aux protocoles et infrastructures sous-jacentes permettant à des ordinateurs situés dans différents endroits de proposer et de valider des transactions, et d'actualiser l'enregistrement de transactions de manière synchronisée à travers un réseau. Le concept de registre distribué - l'enregistrement commun d'une activité partagée par des ordinateurs dans différents lieux - n'est pas nouveau. Ce type de registre est utilisé par les organisations ayant des succursales ou des bureaux dispersés à travers un pays, ou dans différents pays (par exemple, les chaînes de supermarchés). Néanmoins, dans le cas d'une base de données distribuée classique, un administrateur système remplit généralement les fonctions clés nécessaires à la cohérence des *multiples exemplaires* du registre. La façon la plus simple d'y parvenir est de conserver un exemplaire centralisé du registre, qui est régulièrement mis à jour et partagé avec l'ensemble des participants au réseau.

### Système de registre distribué

Graphique A



Source : Santander InnoVentures (2015).

Les nouveaux systèmes fondés sur la DLT, et plus particulièrement le bitcoin et Ethereum, sont en revanche conçus pour fonctionner sans autorité de confiance. Dans le cas du bitcoin, une base de données distribuée est entretenue de manière décentralisée au moyen d'une procédure de validation fondée sur le consensus et de signatures cryptographiques. Dans des systèmes de ce type, les transactions sont effectuées entre pairs et diffusées auprès de l'ensemble des participants, qui les valident par lots appelés « blocs ». Comme le registre d'activité est organisé selon des blocs séparés mais connectés, ce type de DLT est souvent nommé « chaîne de blocs ».

La technologie de la chaîne de blocs assure depuis plusieurs années le bon fonctionnement du bitcoin. Toutefois, le système n'est pas sans inconvénients : il est coûteux à exploiter (pour empêcher les doubles dépenses sans recourir à une autorité de confiance, les validateurs de transaction doivent établir des preuves de transactions informatiques, ce qui requiert une puissance de calcul considérable)<sup>②</sup> ; le caractère définitif du règlement est seulement probabiliste ; et toutes les transactions sont publiques. Dans un grand nombre de cas, ces caractéristiques ne conviennent pas à une utilisation sur les marchés financiers. Les applications actuelles de paiement de gros fondées sur la DLT ont donc abandonné la technologie standard de la chaîne de blocs en faveur de protocoles modifiant le processus consensuel, pour permettre une meilleure confidentialité et évolutivité. Parmi les protocoles actuellement testés par les banques

centrales figurent Corda et Hyperledger Fabric. Corda remplace la chaîne de blocs par une architecture « notariale ». Celle-ci recourt à une autorité de confiance et permet de parvenir à un consensus par transaction, plutôt que par blocs de transactions, en limitant le partage d'informations.

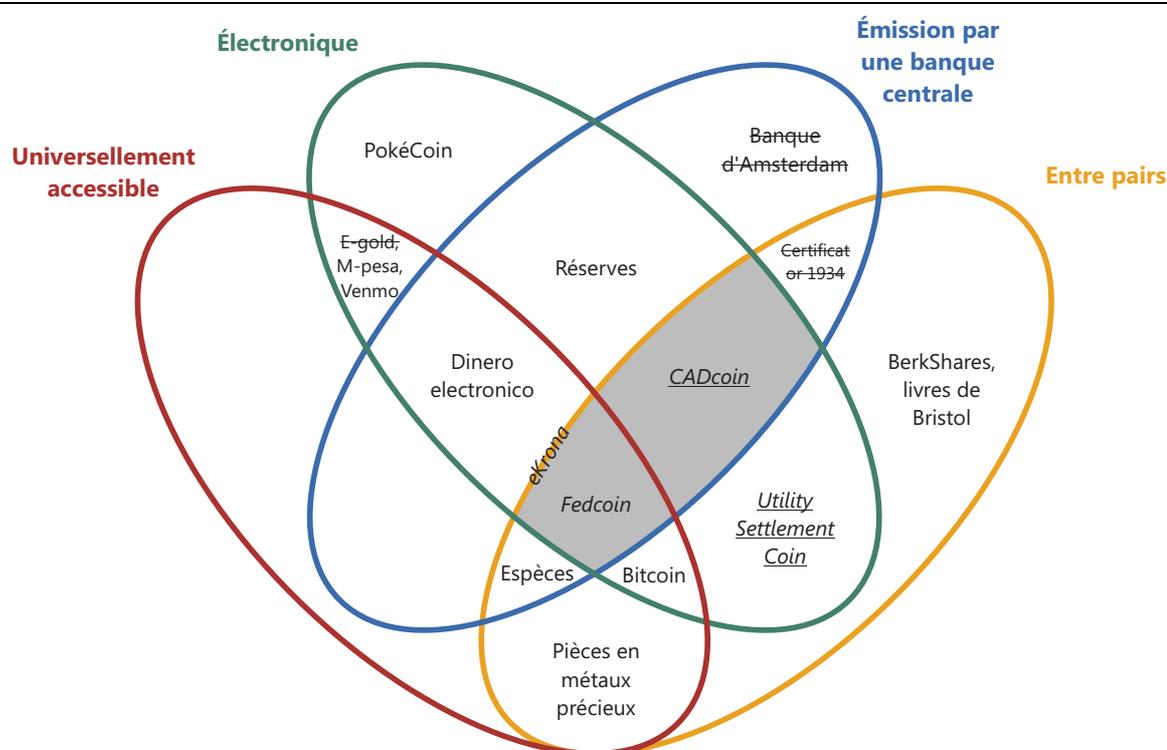
① Voir aussi Chapman et al. (2017), CPIM (2015) et Benos et al. (2017). ② La quantité d'énergie actuellement utilisée par les validateurs de transactions en bitcoin équivaut à la consommation d'énergie du Liban et de Cuba (voir <http://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>). Pour une description détaillée des preuves de transaction, voir [https://en.bitcoin.it/wiki/Proof\\_of\\_work](https://en.bitcoin.it/wiki/Proof_of_work).

## La corolle des monnaies : un échantillon

Dans l'illustration B, la corolle contient des exemples de monnaie passés, présents et potentiellement futurs. Au centre se trouve le **Fedcoin**, qui constitue un exemple de CBCC de détail. Le concept, proposé par Koning (2014) et que la Réserve fédérale n'a pas validé, consiste pour la banque centrale à créer sa propre crypto-monnaie. Celle-ci pourrait être convertie en dollar américain, à parité, dans les deux sens, et la conversion serait gérée par les Réserves fédérales régionales<sup>①</sup>. À la différence de l'offre de bitcoins, prédéterminée par principe, l'offre de Fedcoin fluctuerait, un peu comme celle des espèces, au gré de la demande des consommateurs. Le Fedcoin deviendrait une troisième composante de la base monétaire, aux côtés des espèces et des réserves. Contrairement au bitcoin, le Fedcoin ne serait pas une monnaie concurrente « extérieure » privée, mais plutôt une forme alternative de monnaie souveraine (Garratt et Wallace (2016)).

## La corolle des monnaies : exemple

Graphique B



L'utilisation d'une police normale indique que le système est actif ; une police *en italique* signale qu'il s'agit d'une proposition ; une police *en italique et soulignée* renvoie à une expérimentation ; enfin, les mentions rayées signifient que le projet a été abandonné ou que l'entreprise n'existe plus.

Le **CADcoin** constitue un exemple de CBCC de gros. C'est le nom d'origine d'actifs numériques constitutifs d'une monnaie utilisée par la Banque du Canada pour démontrer la faisabilité d'un système de paiement de gros fondé sur la DLT. Le CADcoin a servi dans des simulations effectuées par la Banque du Canada en coopération avec Paiements Canada, R3 (une fintech) et plusieurs banques canadiennes, mais il n'a pas été mis en place.

En Suède, la demande d'espèces a considérablement chuté au cours des dix dernières années (Skingsley (2016)). De nombreux commerces n'acceptent déjà plus l'argent liquide, et certaines agences bancaires ne délivrent ou ne collectent plus les espèces. Dans ce contexte, la banque centrale suédoise (Sveriges Riksbank) a lancé un projet visant à déterminer la viabilité d'une couronne électronique - **eKrona** - pour les paiements de détail. Aucune décision n'a encore été prise en termes technologiques (Sveriges Riksbank (2017)). L'eKrona est donc à la frontière entre les comptes de dépôt de banque centrale et les CBCC de détail.

**Dinero electrónico** est un service de paiement mobile équatorien, dont les comptes sous-jacents sont proposés par la banque centrale aux particuliers. Ceux-ci peuvent ouvrir un compte en téléchargeant une application, enregistrant leur numéro national d'identité et en répondant à des questions de sécurité. Ils peuvent ensuite déposer ou retirer leur argent dans certains centres de transaction. Il s'agit là d'un (rare) exemple de compte de dépôt proposé par une banque centrale. L'Équateur ayant le dollar comme monnaie officielle, les comptes sont libellés dans cette monnaie.

Le **bitcoin** est un exemple de monnaie numérique non émise par une banque centrale. Il a été inventé par un programmeur inconnu, utilisant le pseudonyme de Satoshi Nakamoto, et est apparu en 2009 sous forme de logiciel de source ouverte, accompagné d'un livre blanc décrivant les aspects techniques de sa conception (voir l'encadré A pour davantage de précisions).

**PokéCoin** est une monnaie utilisée pour les achats effectués dans le cadre du jeu Pokémon Go ; c'est un exemple de monnaie virtuelle.

L'**Utility Settlement Coin** (USC) constitue une tentative de la part du secteur privé d'offrir une crypto-monnaie de gros. Ce concept a été proposé par un groupe de grandes banques privées et une fintech pour créer une série de jetons numériques représentant les monnaies de différents pays pouvant faire l'objet d'échanges sur une plateforme de registres distribués (UBS (2016)). La valeur de l'USC de chaque pays sur la plateforme serait adossée à un équivalent en valeur de la monnaie locale, détenu sur un compte (de réserve) séparé de la banque centrale.

La **Banque d'Amsterdam** (the Amsterdamse Wisselbank) a été créée en 1609 par la Ville d'Amsterdam afin de faciliter les échanges. Elle est souvent vue comme le précurseur des banques centrales. À l'époque, la monnaie (c'est-à-dire les pièces) subissait des dégradations diverses (érosion, fissures). La banque prenait en dépôt des pièces locales et étrangères, à leur valeur intrinsèque réelle, après avoir encaissé de modestes frais de frappe et de gestion. Ces dépôts étaient connus en tant que monnaie de banque. La Wisselbank avait aussi établi un système d'écriture comptable permettant à ses clients de régler des paiements avec d'autres titulaires de compte. La banque centrale néerlandaise a vu le jour en 1814 et la Banque d'Amsterdam a été fermée en 1820 (Smith (1776), Quinn et Roberds (2014)).

Le **certificat or, série 1934**, était un billet de 100 000 dollars émis par le Trésor américain et utilisé uniquement pour les transactions officielles entre Réserves fédérales régionales. Il s'agissait du billet en dollar de la valeur la plus élevée jamais émis, et les particuliers n'y avaient pas accès. C'est un exemple de monnaie non électronique garantie par l'État, à usage restreint et destinée à des échanges entre pairs.

La **livre de Bristol** (Bristol Pound) et les **BerkShares**, dans le pétale droit, sont des exemples de monnaies locales émises de façon privée. Les commerçants de Bristol, au Royaume-Uni, concèdent un rabais aux consommateurs utilisant la livre de Bristol, tandis que les BerkShares s'achètent pour 0,95 dollar pièce et sont acceptés chez les détaillants, à leur valeur faciale, dans la région des Berkshires (Massachusetts).

Les **pièces en métaux précieux** sont des exemples de monnaie marchandise. Elles peuvent servir à la production ou à la consommation, et aussi faire office de moyen d'échange. Elles se distinguent de la monnaie fiat, qui n'a pas de valeur intrinsèque. Les monnaies marchandises appartiennent pour l'essentiel au passé, mais elles ont constitué le principal moyen d'échange durant plus de deux millénaires.

Les titulaires de comptes **e-gold** utilisaient la monnaie des banques commerciales pour acheter une part du stock d'or de la société holding, et transféraient de l'or à d'autres clients au moyen de messages textes envoyés par téléphone portable. Les paiements entre clients e-gold étaient des transactions « on-us » (entre membres du même groupe), qui nécessitaient uniquement l'actualisation des comptes clients. E-gold a fini par disparaître, mais avant d'être arrêté en 2009, le système comptait plus de 5 millions de titulaires de compte<sup>2</sup>. De nombreuses plateformes de paiement mobile, comme **Venmo** (un portefeuille numérique présentant les caractéristiques des réseaux sociaux populaires auprès des étudiants américains) et **M-pesa**<sup>TM</sup> (une plateforme d'argent mobile très utilisée au Kenya et dans d'autres pays d'Afrique de l'Est), recourent à un modèle « on-us » similaire. Les usagers transfèrent soit des dépôts bancaires, soit des espèces vers l'opérateur, qui leur fournit des crédits mobiles. Ces crédits peuvent être transférés entre usagers de la plateforme à l'aide d'appareils mobiles, ou rachetés à l'opérateur en échange d'espèces ou de dépôts. Le nombre quotidien de transactions M-pesa dépasse largement celui des opérations en bitcoin. Cependant, en termes de valeur, les transferts mondiaux en bitcoin ont récemment pris le pas sur ceux effectués via la plateforme M-pesa (graphique 1, cadre de droite).

① Il existe des arguments simples, inspirés de Friedman (1959) et Klein (1974), laissant entendre que si la Réserve fédérale devait maintenir la convertibilité à parité avec le Fedcoin, elle devrait également contrôler l'offre de Fedcoins. ② L'entreprise s'est vu reprocher par les autorités d'avoir enfreint les règles contre le blanchiment d'argent et de se livrer à des activités de transfert d'argent sans détenir la licence adéquate ; voir <http://legalupdate.e-gold.com/2008/07/plea-agreement-as-to-douglas-l-jackson-20080721.html>. Les statistiques sur les comptes e-gold sont disponibles à l'adresse <http://scbbs.net/craigs/stats.html>.

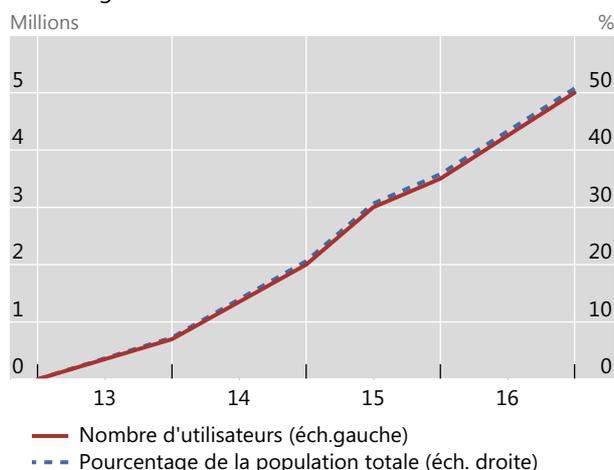
## L'exemple de la Suède

La Suède affiche l'un des taux les plus élevés au monde d'adoption des technologies modernes d'information et de communication. Elle possède en outre un système de paiement de détail particulièrement efficace. Fin 2016, plus de 5 millions de Suédois (soit plus de 50 % de la population) avaient installé l'application Swish sur leur téléphone portable, laquelle permet d'effectuer (jour et nuit) des virements immédiats à partir d'un compte ouvert dans une banque commerciale (graphique C, cadre de gauche ; voir également Bech et al. (2017)).

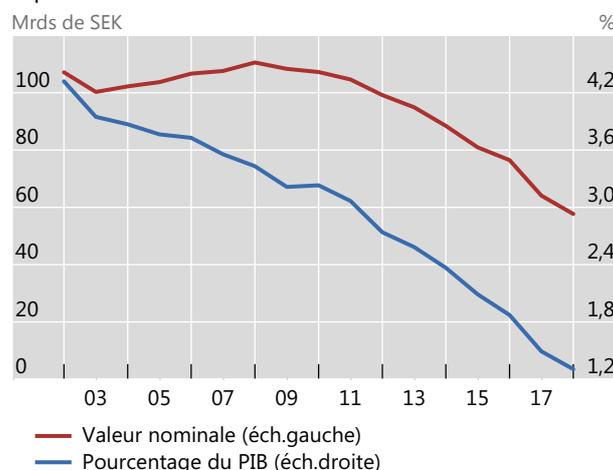
### Suède

Graphique C

#### Téléchargements de Swish



#### Espèces en circulation<sup>1</sup>



<sup>1</sup> En moyenne annuelle.

Sources : FMI, *Statistiques financières internationales* ; Nations Unies, *Perspectives de la population mondiale* ; [www.getswish.se](http://www.getswish.se) ; données nationales ; calculs des auteurs.

Dans ce pays, la demande d'argent liquide chute rapidement (graphique C, cadre de droite). De nombreux commerces n'acceptent déjà plus l'argent liquide, et certaines agences bancaires ne délivrent ou ne collectent plus les espèces. Ce phénomène est une source d'inquiétude pour la Riksbank (Skingsley (2016)). Le système de paiement peut-il rester sûr et efficace sans espèces ? Même s'il n'est pas utilisé tous les jours, l'argent liquide est une solution de rechange en cas de crise. Ceux qui n'ont pas accès aux services bancaires resteront-ils capables de gérer leurs paiements ?

La Riksbank mène actuellement un projet baptisé eKrona pour savoir si elle devrait proposer une monnaie numérique de banque centrale au grand public. Ce projet envisage diverses solutions techniques, mais aucune décision n'a été prise quant à la structure à privilégier (compte de dépôt de banque centrale ou CBCC de détail). Le projet devrait arriver à son terme fin 2019 (Sveriges Riksbank (2017)).

## Références

Andolfatto, D. (2015), « Fedcoin: on the desirability of a government cryptocurrency », *MacroMania* (blog), 3 février.

——— (2016), « Is bitcoin a safe asset? », *MacroMania* (blog), 27 mars.

Athey, S., Catalini, C. et Tucker, C. (2017), « The digital privacy paradox: small money, small costs, small talk », Stanford University Graduate School of Business, Research Papers, n° 17–24.

Autorité monétaire de Hong-Kong (2016), Whitepaper on distributed ledger technology, novembre.

Autorité monétaire de Singapour (2017), *The future is here – Project Ubin: SGD on distributed ledger*.

Banque d'Angleterre (2017), « Bank of England extends direct access to RTGS accounts to non-bank payment service providers », communiqué de presse, 19 juillet.

Banque du Canada (à paraître) : « White paper on Project Jasper ».

Banque centrale européenne (2012), *Virtual currency schemes*, octobre.

Banque fédérale d'Allemagne (2016), « Joint Deutsche Bundesbank and Deutsche Börse blockchain prototype », communiqué de presse, 28 novembre.

Banque de France (2016), « La Banque de France mène une expérimentation de 'blockchain' interbancaire », communiqué de presse, 15 décembre.

Banque de Suède (2017), Project plan for the eKrona, 14 mars.

Bech, M., Shimizu, Y. et Wong, P. (2017), « The quest for speed in payments », *Rapport trimestriel BRI*, mars.

Bech, M., et Soramäki, K. (2001), « Gridlock resolution in payment systems », Danmarks Nationalbank, *Monetary Review*, décembre.

Benos, E., Garratt, R. et Gurrola-Perez, P. (2017), « The economics of distributed ledger technology for securities settlement », Banque d'Angleterre, *Staff Working Papers*, n° 670, août.

Bjerg, O. (2017), « Designing new money – the policy trilemma of central bank digital currency », *Copenhagen Business School (CBS) Working Paper*, juin.

Bolt, W. et van Oordt, M. (2016), « On the value of virtual currencies », Banque du Canada, *Document de travail*, n° 42, août.

Bordo, M. et Levin, A. (2017), « Central bank digital currency and the future of monetary policy », *NBER Working Papers*, n° 23711, août.

Broadbent, B. (2016), « Central banks and digital currencies », discours à la London School of Economics, 2 mars.

Chapman, J., Garratt, R., Hendry, S., McCormack, A. et McMahon, W. (2017), « Project Jasper: are distributed wholesale payment systems feasible yet? », Banque du Canada, *Revue du système financier*, juin, pp. 1–11.

Chaum, D. (1983), « Blind signatures for untraceable payments », *Advances in Cryptology*, proceedings of Crypto '82, pp. 199–203.

- Comité sur les paiements et les infrastructures de marché (2015), *Digital currencies*, novembre.
- Comité sur le système financier mondial (2015), « Central bank operating frameworks and collateral markets », *CGFS Papers*, n° 53, mars.
- Comité sur les systèmes de paiement et de règlement (1997) : *Real-time gross settlement systems*, mars.
- (2003), *The role of central bank money in payment systems*, août.
- Friedman, M. (1959), « The demand for money: some theoretical and empirical results », *The Journal of Political Economy*, vol. 67, n° 4, pp. 327–51.
- Garratt, R. (2016), « CAD-coin versus Fedcoin », *R3 Report*, 15 novembre.
- Garratt, R. et Wallace, N. (2016), « Bitcoin 1, bitcoin 2, ... : an experiment in privately issued outside monies », Université de Californie, Santa Barbara, Département d'économie, *Departmental Working Paper*, octobre.
- Ho, S. (2017), « Canadian trial finds blockchain not ready for bank settlements », *Reuters Business News*, 25 mai.
- Kahn, C., McAndrews, J. et Roberds, W. (2005), « Money is privacy », *International Economic Review*, vol. 46, n° 2, pp. 377–99.
- Klein, B. (1974), « The competitive supply of money », *Journal of Money, Credit and Banking*, vol. 6, n° 4, pp. 423-53.
- Kocherlakota, N. (1998), « Money is memory », *International Economic Review*, vol. 81, n° 2, pp. 232-51.
- Koning, J. (2014), « Fedcoin », *Moneyness* (blog), 19 octobre.
- (2016): « Fedcoin: a central bank issued cryptocurrency », *R3 Report*, 15 novembre.
- Luther, W. et Olson, J. (2015), « Bitcoin is memory », *The Journal of Prices & Markets*, vol. 3, n° 3, pp. 22–33.
- Mainelle, M. et Milne, A. (2016), « The impact and potential of blockchain on the securities transaction lifecycle », *SWIFT Institute Working Papers*, n° 7.
- McAndrews, J. (2017), « The case for cash », *Asian Development Bank Institute Working Paper Series*, n° 679.
- Motamedi, S. 2014, « Will bitcoins ever become money? A path to decentralised central banking », *Tannu Tuva Initiative* (blog).
- Nakamoto, S. (2009), « Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system ».
- Project Jasper (2017), « Une expérience canadienne de la technologie du grand livre distribué pour le règlement des paiements interbancaires au pays », livre blanc préparé par Paiements Canada, R3 et la Banque du Canada.
- Quin, S. et Roberds, W. (2014), « How Amsterdam got fiat money », *Journal of Monetary Economics*, vol. 66, septembre, pp. 1–12.
- Raskin, M. et Yermack, D. (2016), « Digital currencies, decentralized ledgers and the future of central banking », *NBER Working Papers*, n° 22238, mai.
- Rogoff, K. (2016), *The curse of cash*, Princeton University Press.
- Santander InnoVentures (2015), *The Fintech 2.0 Paper: rebooting financial services*.

Skingsley, C. (2016), « Should the Riksbank issue e-krona? », discours à FinTech Stockholm 2016, 16 novembre.

Smith, A (1776), *An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations*, W. Strahan & T. Cadell, Londres.

Tobin, J. (1985), « Financial innovation and deregulation in perspective », *Bank of Japan Monetary and Economic Studies*, vol. 3, n° 2, pp. 19–29.

——— (1987), « The case for preserving regulatory distinctions », *Proceedings of the Economic Policy Symposium*, Jackson Hole, Federal Reserve Bank of Kansas City, pp. 167–83.

Tolle, M. (2016), « Central bank digital currency: the end of monetary policy as we know it? », *Bank Underground* (blog), 25 juillet.

UBS (2016), « Utility settlement coin concept on blockchain gathers pace », communiqué de presse, 24 août.

Venn, J. (1881), *Symbolic logic*, MacMillan and Co, Londres.

Yermack, D. (2015), « Is bitcoin a real currency? », Lee, D. (ed), *The Handbook of Digital Currency*, Elsevier, pp. 31–44.