HAL
open science

Blockchain et Immobilier : Le Smart Bail

Cathy Zadra-Veil, Valentin Blanc, Erika Dewald, Marc Durand, Benjamin Fragny, Youness Garah, Lolita Gillet, Benoît Lopez, Isabelle Maleyre, Fernanda Sabrinni-Chatelard, et al.

To cite this version:

Cathy Zadra-Veil, Valentin Blanc, Erika Dewald, Marc Durand, Benjamin Fragny, et al. (Dir.). Blockchain et Immobilier : Le Smart Bail. 2021. hal-03419938

HAL Id: hal-03419938

https://hal.science/hal-03419938v1

Submitted on 8 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

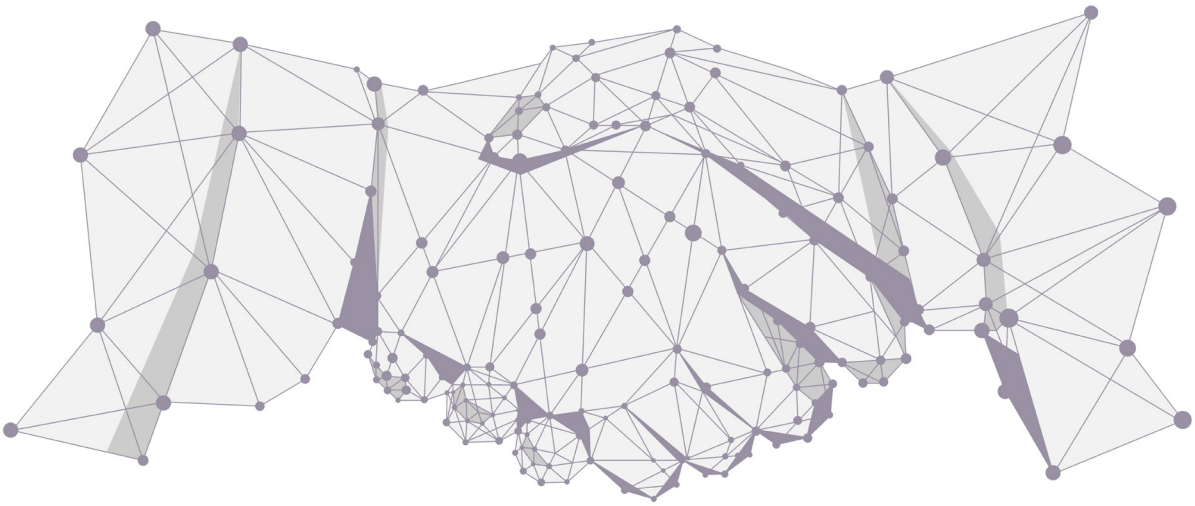
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LIVRE BLANC - COLLECTION ESPI2R

BLOCKCHAIN & IMMOBILIER

LE SMART BAIL

Octobre 2021



UNE PUBLICATION DU LABORATOIRE ESPI2R
ÉCOLE SUPÉRIEURE DES PROFESSIONS IMMOBILIÈRES
EN PARTENARIAT AVEC OLARCHY, LPA-CGR AVOCATS,
MATA CAPITAL, KAPALT ET LA FABRIQUE DU FUTUR

Contacts

Groupe ESPI
Cathy ZADRA-VEIL, enseignante-chercheuse
c.veil@groupe-espi.fr – 01 82 73 26 04
www.groupe-espi.fr

LPA-CGR avocats
François-Régis FABRE-FALRET, avocat associé
ffabre-falret@lpalaw.com – 01 53 93 39 10
www.lpalaw.com

Olarchy
Michael SIGDA, président-fondateur
msigda@olarchy.com – 06 50 69 30 43
www.olarchy.com

BLOCKCHAIN & IMMOBILIER

LE SMART BAIL

Octobre 2021

UNE PUBLICATION DU LABORATOIRE ESPI2R
ÉCOLE SUPÉRIEURE DES PROFESSIONS IMMOBILIÈRES
SOUS LA DIRECTION DE CATHY ZADRA-VEIL

EN PARTENARIAT AVEC OLARCHY, LPA-CGR AVOCATS, MATA CAPITAL, KAPALT ET LA FABRIQUE DU FUTUR

LABORATOIRE ESPI2R L' ÉCOLE SUPÉRIEURE DES PROFESSIONS IMMOBILIÈRES

Olarchy Innovative solutions for Real Estate

LPA-CGR avocats

matacapital

kapalt.

LA FABRIQUE DU FUTUR

Pour citer ce *Livre blanc*
Zadra-Veil, C. (dir.). (2021). *Blockchain & immobilier : le* smart bail. Groupe ESPI.

© Groupe ESPI, octobre 2021.
ISBN format PDF : 9782957474974

Éditeur : Groupe ESPI. 23, rue de Cronstadt 75015 Paris • Les contributions publiées dans la Collection ESPI2R et figurant sur le site www.groupe-espi.fr et sur www.cahiers-espi2r.fr n'engagent que leurs auteurs, qui sont libres de leurs propos. Elles ne constituent en aucun cas des prises de position de la profession ou de l'éditeur.
Ce document est publié sous la licence CC BY-NC-ND 2.0.

Les contributeurs

Valentin Blanc
Étudiant
Mastère Manager en ingénierie
de la finance immobilière (MIFIM)
Groupe ESPI

Erika Dewald
Juriste
LPA-CGR avocats

Marc Durand
Cofondateur et CEO
Kapalt

Benjamin Fragny
Enseignant-chercheur
Groupe ESPI

Youness Garah
Étudiant
Mastère Manager en aménagement
et promotion immobilière (MAPI)
Groupe ESPI

Lolita Gillet
Éditrice
Groupe ESPI

Benoît Lopez
Maître de conférences
Université de Versailles
Saint-Quentin-en-Yvelines

Isabelle Maleyre
Directrice académique
et de la recherche (2018-2021)
Groupe ESPI

Fernanda Sabrinni-Chatelard
Enseignante-chercheuse
Groupe ESPI

Baptiste Saint-Martin
Directeur
Mata Capital

Éric Seulliet
Président
La Fabrique du Futur

Michael Sigda
Président-fondateur
Olarchy

Jérôme Tixier
Étudiant
Mastère Manager en ingénierie
de la finance immobilière (MIFIM)
Groupe ESPI

Inès Trojette
Enseignante-chercheuse
Groupe ESPI

Yannick Vincent
Diplômé notaire
Groupe Lasaygues

Cathy Zadra-Veil
Enseignante-chercheuse
Groupe ESPI

SOMMAIRE

INTRODUCTION 8

1 – QU'EST-CE QUE LA BLOCKCHAIN ? 11

La blockchain, le plus connu des types de DLT 12

Les principales caractéristiques de la blockchain 13

Les origines et les fondements de la blockchain 14

2 – LE FONCTIONNEMENT DES BLOCKCHAINS 17

Blockchains publiques, privées et permissionnées 18

La transaction au sein d'une blockchain 20

Deux méthodes de cryptographie des transactions 22

Consensus et systèmes de preuve 24

3 – LE *SMART CONTRACT* DANS LA BLOCKCHAIN ET APPLIQUÉ À L'IMMOBILIER 27

Définition et fonctionnement du *smart contract* 28

Les principaux avantages du *smart contract*... 32

... appliqués à l'immobilier : d'abord, la réduction des délais de transaction 34

Vers un marché immobilier plus transparent 36

Le renforcement de la sécurité des deals 37

L'avènement de la désintermédiation ? 38

La tokenisation de l'immobilier 39

4 – EXEMPLES INSPIRANTS DE DÉVELOPPEMENT DE LA BLOCKCHAIN ET DES *SMART CONTRACTS* DANS LE SECTEUR IMMOBILIER 43

Catégorisation des projets recensés dans le monde 44

Zoom sur l'Europe : réglementation et projets phares 46

Zoom sur l'Asie : l'exemple de Singapour 53

Zoom sur l'Afrique : les cas du Rwanda et du Ghana 54

Aux États-Unis : Propy, R3 Corda, Coinbase et IBREA 56

5 – NOTRE ENQUÊTE 59

Contexte : les études existantes 60

Méthodologie : notre échantillon 63

Résultats de l'enquête et synthèse : confiance et connaissance de la blockchain 64

Capacité de la blockchain à améliorer les pratiques professionnnelles 68

Les freins à l'usage de la blockchain 71

Nos préconisations 72

6 – LE *SMART BAIL* : PROOF OF CONCEPT 75

Présentation du *Proof of Concept* 76

Déroulement du *Proof of Concept* 78

CONCLUSION GÉNÉRALE 81

ANNEXES 82

BIBLIOGRAPHIE 85

INTRODUCTION

CRÉATION DU PREMIER CONSORTIUM DE RECHERCHE SUR L'APPLICATION DE LA BLOCKCHAIN À L' IMMOBILIER

L'utilisation de la blockchain, technique d'enregistrement des données de façon vérifiable et infalsifiable, s'est développée depuis plusieurs années dans le monde de la finance. Graduellement, son usage se répand vers d'autres métiers, dont ceux, en particulier, de l'immobilier. Ces derniers sont marqués par des flux financiers très importants et par l'échange de multiples documents indispensables aux transactions immobilières. La blockchain semble être le moyen d'apporter davantage de transparence, de traçabilité, de simplification et d'automatisation des contrats avec une forme décentralisée et distribuée des opérations.

L'équipe du laboratoire ESPI Réflexions et Recherches (ESPI2R) – rattaché au Groupe ESPI, l'École supérieure des professions immobilières –, en liaison avec Olarchy et avec LPA-CGR avocats ainsi qu'en collaboration avec des professionnels et des étudiants, a décidé d'initier un groupe de travail sur l'utilisation de la blockchain dans l'immobilier. Le résultat attendu de ce travail est matérialisé à travers ce *Livre blanc* et une première maquette d'implémentation du *smart bail*.

UNE ENQUÊTE, UN *LIVRE BLANC* ET UN PROTOTYPE

Le groupe de travail a établi un questionnaire afin de mesurer, au travers de cette enquête auprès de l'ensemble des professionnels de l'immobilier, l'usage de la blockchain et la perception des acteurs de ce nouvel outil dans ce secteur ainsi que les réticences possibles envers sa pratique.

Le *Livre blanc* analyse les résultats de cette enquête, diffusée aux professionnels, et en tire une cartographie des pratiques d'usage de la blockchain dans l'immobilier ainsi que des freins multidimensionnels identifiés.
Le prototype, appliqué au contrat de bail en immobilier, ou *smart bail*, permet de suivre l'exécution de ce contrat réalisée de bout en bout sur la blockchain et d'apprécier les conditions de son déploiement ultérieur auprès des professionnels.

PRÉSENTATION DES MEMBRES DU CONSORTIUM

Le Groupe ESPI, première grande école française dédiée à tous les métiers de l'immobilier, avec plus de 3 500 étudiants sur ses campus de Paris, Lyon, Marseille, Nantes, Bordeaux et Montpellier, dispose depuis quelques années d'une équipe d'enseignants-chercheurs regroupés au sein du laboratoire ESPI2R. Ce dernier associe la qualité de l'enseignement à une recherche de pointe sur l'innovation dans l'immobilier : « *Le Groupe ESPI démontre une fois de plus qu'il est au cœur des problématiques les plus actuelles des métiers de l'immobilier et sait préparer les futurs cadres de la profession aux mutations en cours dans le secteur. Plus que jamais l'innovation est au centre de notre stratégie* », déclare Bernard Pinat, directeur général du Groupe.
www.groupe-espi.fr

Avec 230 avocats et 12 bureaux à l'international, **LPA-CGR avocats** est l'un des principaux cabinets d'avocats d'affaires français, qui assiste ses clients dans tous les domaines du droit des affaires, en conseil comme en contentieux. Son département immobilier est fait partie des plus importants du marché. « *Le cabinet LPA-CGR avocats s'est engagé fortement depuis plus de deux an dans un processus de digitalisation. Dans ce cadre, il a noué des partenariats avec plusieurs acteurs du secteur de la* legal tech. *Poursuivant son action, LPA-CGR avocats, fidèle à ses valeurs et à son ambition, a naturellement souhaité s'associer à l'équipe de recherche du Groupe ESPI, convaincu que la blockchain révolutionnera aussi le secteur du droit dans un monde plus que jamais engagé, ouvert et collectif* », précise François-Régis Fabre-Falret, avocat associé chez LPA-CGR avocats.
www.lpalaw.com

Olarchy est la plateforme de référence pour gérer les projets d'immobilier professionnel (bureaux, logistique, commerce, hôtellerie…). Olarchy est tournée vers les investisseurs professionnels et les locataires ; elle garantit des process de transactions simplifiés, organisés, fluidifiés et sécurisés en utilisant les dernières technologies disponibles, dont la blockchain. Tous les acteurs immobiliers peuvent, en toute sécurité, y traiter l'ensemble des

informations et des étapes des process de vente, de location de leurs actifs en interagissant entre eux sur une plateforme dédiée, avec des accès personnalisés. « *Olarchy est pionnière depuis 2018 de l'application des solutions blockchain au monde de l'immobilier, et nous voyons ici une nouvelle étape se franchir dans l'utilisation de cette technologie prometteuse. Nous sommes ravis d'être à l'aube de cette révolution* », affirme Michael Sigda, président-fondateur.
www.olarchy.com

Mata Capital gère des fonds immobiliers pour le compte d'investisseurs institutionnels et de groupes familiaux privés. Ses stratégies d'investissement sont orientées vers les actifs *Core+*, *value added* et opportunistes, et portent sur une large typologie d'actifs (bureaux, commerce, résidentiel, logistique, santé, éducation, hôtellerie). Mata Capital a développé la première plateforme de tokenisation de fonds d'investissement en France, en réalisant notamment les opérations « Victor » (30 millions d'euros), « Mozaic » (80 millions d'euros) et « CIFA » (40 millions d'euros).
www.matacapital.com

La Fabrique du Futur est un dispositif bicéphale, à la fois « *think tank* » et « *do tank* », dont la mission est d'imaginer et de contribuer à faire advenir des futurs viables et désirables.
Le pilier *think tank* est constitué de l'association loi 1901 La Fabrique du Futur. Le livre *Fabriquer le futur, l'imaginaire au service de l'innovation* paru en 2005 aux éditions Village Mondial a été le manifeste qui a présidé à la création de l'association à Paris, un an plus tard. Du fait de sa conviction que la cocréation est un axe majeur pour innover collectivement tout en valorisant les contributions individuelles, La Fabrique du Futur s'est engagée dans le mouvement des *living labs* et elle a été labellisée Living lab européen par l'*European Network of Living Labs* (ENoLL) en 2008. La Fabrique du Futur a cofondé en 2012 France Living Labs puis Francophonie Living Labs en 2014.

Notre *think tank* réunit un écosystème d'une centaine de personnes : penseurs, visionnaires, experts, hauts fonctionnaires, entrepreneurs, créatifs, artistes. Il est en interaction avec des communautés d'avant-gardistes partout dans le monde.
Le pilier *do tank* est représenté par La Fabrique du Futur & Co : il s'agit d'une société commerciale avec un statut de société par actions simplifiée (SAS) à capital variable, créée en juin 2018 et réunissant à ce jour un collectif de 65 experts et professionnels de l'innovation. La vocation de La Fabrique du Futur & Co est de conduire des projets opérationnels en mode recherche-action et expérimentation pour le compte de tout type d'organisation : entreprises, institutions, collectivités territoriales, administrations, etc. Nos offres sont polymorphes : accompagnement en prospective et innovation, veille, détection d'émergences, formation, événements, production de *Livres blancs*, publications, formation d'alliances, animation de comités de direction, conférences, soutien d'initiatives à impact, pilotage d'expériences, *learning expeditions*, nouveaux *business models*, prototypage de concepts…
www.lafabriquedufutur.co

La société **Kapalt,** spécialisée dans l'accompagnement de la transformation par la blockchain, s'organise autour de trois pôles : la formation, le conseil et le développement. Kapalt aide notamment les entreprises et les organisations à concevoir, produire et exploiter, en milieu corporate, leurs projets basés sur la technologie blockchain. Pour ce qui est de la méthodologie, l'équipe travaille particulièrement sur l'équilibre entre l'applicabilité, l'écosystème, la gouvernance et la faisabilité.
https://kapalt.com

Quant à **l'Escola superior de actividades imobiliárias (ESAI),** il s'agit d'un centre d'enseignement supérieur basé à Lisbonne. Elle propose deux licences (gestion immobilière et gestion des bâtiments et des travaux), un MBA en évaluation immobilière, une maîtrise en évaluation et gestion des actifs immobiliers. Elle dispense par ailleurs des formations professionnelles et dispose d'une structure de recherche appliquée.
https://esai.pt/

Yannick Vincent est diplômé notaire au sein du Groupe Lasaygues.

Étudiants du Groupe ESPI : Valentin Blanc, en mastère Manager en ingénierie de la finance immobilière (MIFIM) ; Youness Garah, en mastère Manager en aménagement et promotion immobilière (MAPI) ; Jérôme Tixier, en MIFIM.

Vous (un « **nœud** ») avez un fichier de transactions sur votre ordinateur (un « **registre** »). Deux comptables publics (que nous appellerons des « **mineurs** ») possèdent le même registre sur leur ordinateur respectif (il est donc « **distribué** »). Lorsque vous effectuez une transaction, votre ordinateur envoie un e-mail à chaque comptable pour les en informer.

Chaque comptable se précipite pour être le premier à vérifier que vous pouvez vous permettre cette transaction (et gagner son salaire en « **Bitcoins** »). Le premier à effectuer la vérification et la validation appuie sur « **RÉPONDRE À TOUS** », et joint sa technique de vérification de la transaction (le « **proof-of-work** »). Si l'autre comptable est d'accord, tout le monde actualise son fichier…

Cette opération est rendue possible par la technologie « **blockchain** ».

Richard Bradley. *La blockchain expliquée... en moins de 100 mots*. Sur Deloitte.com

partie 1

QU'EST-CE QUE LA BLOCKCHAIN ?

La blockchain peut être définie comme une « infrastructure permettant d'effectuer des transferts d'actifs de manière sécurisée sans dépendre d'un organe central de contrôle » (Della Chiesa, Hiault, Téqui, Bouzou & Gress, 2019, p. 15).

En tant que technologie de stockage, la blockchain est très technique. Cependant, au-delà des systèmes informatiques, la blockchain s'applique en pratique à la réalisation de transactions, telles qu'immobilières, en accélérant et en modifiant les relations habituelles entre acteurs.

01
La blockchain, le plus connu des types de DLT

En matière d'activités commerciales et comptables, l'utilisation de registres pour compiler « des faits, des noms ou des chiffres dont on désire garder le souvenir ou attester l'exactitude »[1] n'est évidemment pas une idée neuve. Un DLT s'inscrit dans cette volonté de conserver – digitalement – des données de manière immuable et en toute confiance.

Tout d'abord, le terme de *distributed ledger technology* (DLT) ou « technologie de registre distribué » (TRD) est souvent utilisé pour définir la blockchain. En effet, la blockchain est « un exemple efficace de technologie de registre distribué. La blockchain de Bitcoin, ainsi que son mécanisme de consensus, est la DLT la plus résistante à ce jour » (Raj, 2019, p. 14).

> Un DLT se définit comme un registre, c'est-à-dire un fichier virtuel de transactions, synchronisé simultanément sur un réseau de participants en pair-à-pair (*peer-to-peer*, abrégé en « P2P ») sans administrateur central.

« Les utilisateurs du système – ou pairs – sont des entités anonymes qui tout à la fois partagent leurs ressources et bénéficient des ressources des autres utilisateurs à l'intérieur d'un système global, stable et de taille variable » (Bacache-Beauvallet & Cagé, 2016, p. 11). Autrement dit, un DLT est une base de données décentralisées, partagées, gérées par plusieurs participants « d'égal à égal ». Ce système permet et enregistre des transactions simultanément dans plusieurs emplacements. Chacun des nœuds (ordinateurs connectés à un réseau) traite et vérifie chaque élément d'une transaction.

Or, la chaîne de blocs, ou *blockchain*, est aussi un registre distribué. Regroupant les transactions sous forme de blocs liés entre eux, puis les diffusant à tous les nœuds du réseau, la blockchain représente en fait un type de DLT (ou de TRD), le plus connu. Les DLT ont été initialement créés pour réaliser des transactions entre personnes de confiance alors que les premières blockchains, liées au bitcoin, ont quant à elles été conçues dans le but de ne pas avoir recours à un tiers de confiance.

> Le tiers de confiance « s'assure que toute[s] les conditions sont réunies pour réaliser la transaction et l'exécute en conformité avec les contrats signés et la législation en vigueur » (FNTC, 2016).

[1] Définition extraite du *Trésor de la langue française informatisé*.

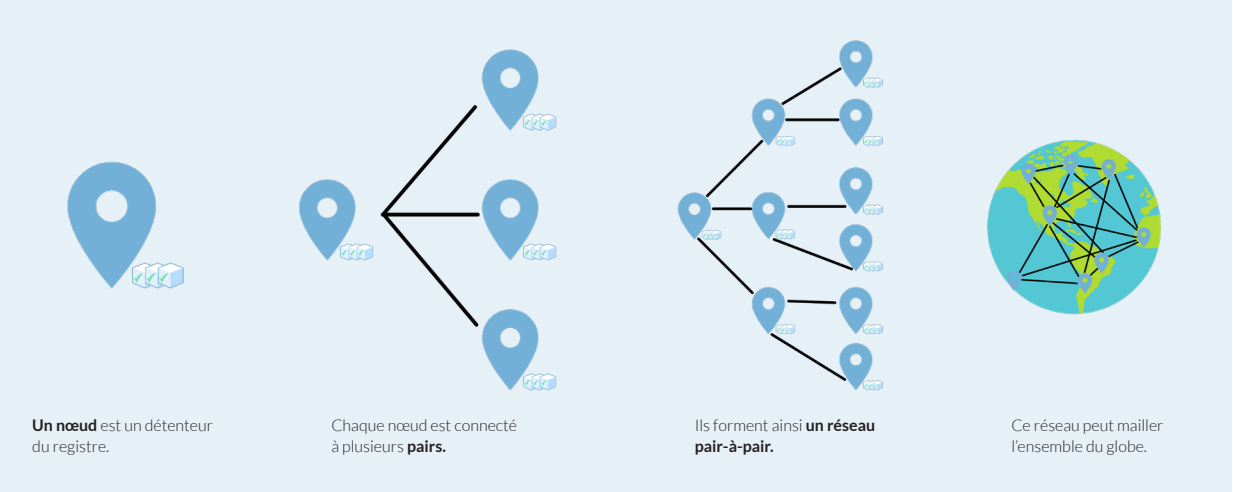


Figure 1. La notion de réseau en pair-à-pair (P2P).
Adapté de *Les enjeux technologiques de la blockchain (chaînes de blocs)*, par V. Faure-Muntian, C. de Ganay & R. Le Gleut, 2018, p. 33.

02
Les principales caractéristiques de la blockchain

Avant d'entrer dans le détail du fonctionnement de la blockchain, il est nécessaire d'en saisir les grands principes qui expliquent son développement, l'exploitation de son potentiel et son intégration dans les *business models* de nombreuses entreprises ces dernières années : sécurité, traçabilité, infalsifiabilité, immuabilité, distribution, décentralisation, transparence.

> Une blockchain est une chaîne de blocs sécurisés les uns aux autres par la cryptographie (Raj, 2019 ; *voir p. 22*).

Afin de mieux comprendre, la comparaison avec un livre comptable est souvent utilisée (Mekki, 2020, p. 10-11) : les pages de ce livre (registre) sont enregistrées, chronologiquement, sur chaque ordinateur du réseau.
Lorsqu'une page est rédigée, les informations qu'elle contient sont vérifiées par un algorithme cryptographique à l'aide d'une ou plusieurs clefs *(voir p. 14)*, en fonction de l'accord passé (consensus) entre les participants concernant les modalités de validation *(voir p. 24)*. Les phrases (les données) sont alors gravées ; elles ne peuvent être modifiées ni effacées. La page (ou bloc) validée est reliée (chaînée) à la précédente et « prend son empreinte numérique » (Mekki, 2020, p. 10). L'écriture indélébile du livre se poursuit ainsi.

Quatre grands principes caractérisent la blockchain :

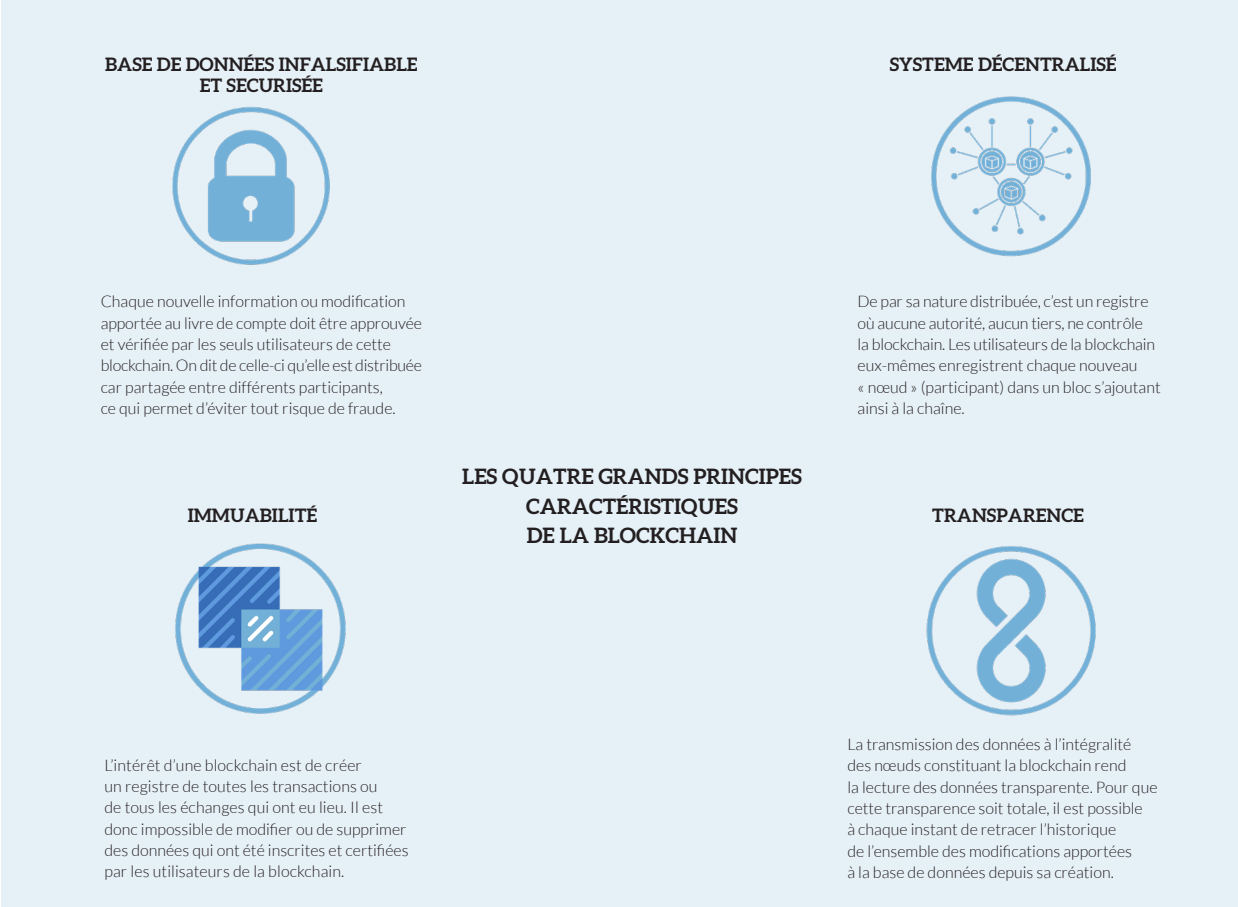


Figure 2. Les quatre grands principes de la blockchain.

03
Les origines et les fondements de la blockchain

En retraçant brièvement l'histoire de la blockchain à travers celle de la cryptographie et de la cryptomonnaie, nous en redécouvrons les grandes étapes, les difficultés ainsi que les mutations qui ont mené, progressivement, à la blockchain telle que nous la connaissons aujourd'hui.

DE LA CRYPTOGRAPHIE...

Qu'est-ce que la cryptographie ?

Les opérations d'une blockchain sont cryptographiées.

> La cryptographie consiste à chiffrer un texte pour s'assurer de son inviolabilité. Il s'agit de l'un des pans de la cryptologie, la science du secret ; cette science étant composée de la cryptographie, qui s'attache à l'écriture secrète, et de la cryptanalyse, « étude des attaques contre les mécanismes de cryptographie » (CNIL, 2016).

Ainsi, à l'origine, la cryptographie est une discipline qui permet la protection de messages afin d'assurer la confidentialité, l'authenticité et l'intégrité des informations *via* des clés.

La cryptographie fait appel à deux types de clef :

- la cryptographie à clef privée – ou clef secrète –, appelée aussi symétrique, utilise un unique mot clef qui permet à la fois de crypter et de décrypter un message entre les différents interlocuteurs ;
- la cryptographie à clef publique, dite aussi asymétrique, fait la distinction entre les données publiques et les données privées. Deux clefs sont alors nécessaires, l'une pour le chiffrement et l'autre pour le déchiffrement.

L'utilisation de ces clefs donne lieu à deux types d'algorithmes *(voir p. 22)*.

La cryptographie au service de la blockchain

L'architecture utilisée par la technologie blockchain est décrite pour la première fois au début des années 1990 par les chercheurs Stuart Haber et W. Scott Stornetta, qui conceptualisent une solution informatique autorisant l'horodatage de documents numériques, les rendant dès lors impossibles à antidater ou à altérer. Ce système sécurisé cryptographique permet de stocker des documents horodatés.

En 1979 (Faure-Muntian, de Ganay & Le Gleut, 2018), le cryptographe Ralph C. Merkle (né en 1952) crée un arbre de hachage, qui porte son nom.

> « Un arbre de Merkle est le nom donné à une suite de blocs de données qui comportent chacun le hash du bloc précédent », le *hash* étant un « identifiant... permettant de relier les blocs les uns aux autres » (Faure-Muntian, de Ganay & Le Gleut, 2018, p. 123 et p. 27).

Cet arbre de Merkle est ensuite incorporé par Stuart Haber et W. Scott Stornetta dans leur technologie dans le but de pouvoir rassembler plusieurs documents à horodater en un seul bloc.

Cette technologie a servi de base au développement de la blockchain telle que nous la connaissons actuellement.

... À LA CRYPTOMONNAIE

Les prémices des monnaies numériques

Si les premiers bitcoins ne circulent qu'en 2009, certains acteurs avaient déjà songé, bien avant, à la création d'une monnaie numérique. En 1982, David Chaum évoque, dans le *Blind signatures for untraceable payments* (« *Signatures aveugles pour des paiements intraçables* » ; Chaum, 2012), qu'une monnaie peut être basée sur le fait qu'une banque aurait la possibilité de créer et de diffuser une « pièce de monnaie signée en blanc », selon Daniel Augot, chercheur à l'Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique (Inria). Pour aider à le comprendre, il invite ainsi à se représenter l'utilisateur d'une unité monétaire, qui lui attache un numéro de série unique apposé sur un papier glissé dans une « enveloppe de papier carbone ». La banque, de son tampon, la signe à l'aveugle et « débite une

LES INITIATEURS : TIMOTHY C. MAY ET LES CYPHERPUNKS

Timothy C. May (1951-2018) est un ingénieur, scientifique et expert en cryptographie, ayant travaillé au sein de la société Intel. Il écrit en 1988 *The Crypto Anarchist Manifesto*, « *Le manifeste cryptoanarchiste* » (Lakomski-Laguerre, 2020), texte qui pose les bases de la cryptoanarchie et dans lequel il prône une communication sécurisée permettant d'échanger en toute liberté, tout en restant anonyme. May est un des membres fondateurs, avec les programmeurs Eric Hughes et John Gilmore, du groupe d'anarchistes cypherpunks. Ce sont des cyberpunks pour qui la cryptographie constitue une opportunité pour changer l'ordre établi, en redéfinissant notamment les notions de confiance et d'identité, en dehors de l'intervention d'un organe central et du gouvernement. Du fait de l'anonymat, cette société cryptoanarchiste serait non violente (Rolland & Slim, 2017).
La création d'une monnaie électronique permettrait ainsi de s'émanciper des autorités publiques. Les cypherpunks communiquent via des listes de diffusion actives jusqu'en 1993, année où Eric Hughes publie *A Cypherpunk's Manifesto*, « *Un manifeste cypherpunk* » (Rolland & Slim, 2017).

unité de compte de l'utilisateur ». Ce dernier peut ensuite le dépenser, le cachet de la banque faisant foi. Le commerçant transmet ainsi le document tamponné à sa banque, qui le crédite. La transaction s'est faite donc de manière anonyme (Faure-Muntian, de Ganay & Le Gleut, 2018, p. 17).
Cette invention technologique permettrait également, potentiellement, d'éviter que cette pièce soit extraite du système et manipulée sans posséder l'exemplaire en question. Tout ceci empêcherait de créer de la monnaie supplémentaire comme la « planche à billets » qu'utilisent certaines banques d'État.
Les cryptomonnaies les plus populaires créées avant le *bitcoin* sont le *e-cash* (1983) et le *digicash* (1990), inventées par David Chaum. Leurs objectifs étaient de lutter contre la falsification, contre le vol, mais avant tout de posséder une monnaie différente de celles proposées par les États. En 1996, Douglas Jackson fonde le *e-gold*, une devise numérique indexée sur l'or, échangeable à l'international, circulant sans contrôle gouvernemental et sans influence des fluctuations du marché boursier.
D'autres acteurs ont travaillé sur la création de monnaies numériques, en visant la protection de la vie privée. Citons Wei Dai qui, en 1998, pense la *b-money*, qu'il ne développera pas car trop complexe à mettre en place, ou encore Nick Szabo, à l'origine du *bitgold*, jamais implémenté par manque de soutien.

Les leçons des premières cryptomonnaies

Toutes ces cryptomonnaies n'ont pas ou peu fonctionné, mais elles ont permis d'apporter des réponses au problème de la virtualisation de la monnaie. Une autre difficulté qu'il a fallu surmonter est celle liée à la confiance, véritable point névralgique du système.
Dans le secteur informatique, il est primordial d'anticiper les défaillances en termes d'information, de logiciel ou de support matériel. Ces défaillances peuvent avoir été implicitement accidentelles ou malveillantes durant les phases de conception ou de transport des données. Elles impliquent la transmission d'informations erronées ou incohérentes, nommées « tolérance aux pannes ». En 2000, les programmeurs Tom Pepper et Justin Frankel développent Gnutella, première plateforme de transfert de fichiers pair-à-pair[1] complètement distribuée. Ce type de réseau permet à chacun des participants d'être à la fois serveur et receveur afin de décentraliser les informations ou les données. Ainsi, l'architecture de fonctionnement des cryptomonnaies, dite « client-serveur », règle le problème technique de la panne.

Une autre question fondamentale restait à résoudre. Il s'agit de la « double dépense » selon laquelle, par exemple, un jeton numérique, ou *token*, est dépensé plus d'une fois, ou qu'un agent puisse prétendre disposer de plus de bitcoins qu'il n'en a.

> Un jeton numérique, ou *token*, est un fichier numérique déterminant le nombre d'exemplaires ou de fragments d'exemplaires possédés.

Au même titre que de la fausse monnaie, « la double dépense » peut entraîner des conséquences sur l'économie et défier la confiance des utilisateurs. Or, les techniques cryptographiques permettent de diminuer ou d'empêcher ce problème tout en conservant l'anonymat des transactions (Choan, 2017).

Ainsi, le cypherpunk et développeur de cryptomonnaies Adam Back crée en 1997 le *hashcash*, un algorithme ayant pour but la validation des transactions par *hash cryptography*, que l'on peut traduire par « preuve de travail » *(voir p. 22)*. La preuve de travail permet d'éviter l'interaction avec un « tiers de confiance » physique via la modélisation d'un système distribué de confiance.

Du défi majeur de Satoshi Nakamoto à l'émergence du bitcoin

Dix ans après, en 2008, dans le brouillon de son Livre blanc *Electronic Cash Without a Trusted Third Party (« L'argent électronique sans tiers de confiance »)*, Satoshi Nakamoto propose la suppression de ce tiers de confiance ainsi que la résolution du problème dit « des généraux byzantins » (double dépense et pannes, *voir encadré ci-dessous*). L'identité de Satoshi Nakamoto n'est pas clairement définie ; il s'agit d'une entité constituée d'un ou plusieurs individus particulièrement actifs dans l'émergence du bitcoin. Dans un nouvel article, il publie ensuite, sur la *Cryptography Mailing List*, *Bitcoin : A Peer-to-Peer Electronic Cash System* (« Bitcoin : système de monnaie électronique en pair-à-pair ») où il décrit l'élaboration d'un protocole capable de créer un ou plusieurs registres infalsifiables sur un réseau informatique en pair-à-pair. Ce sont les prémices de ce qui s'appellera ultérieurement le *bitcoin*, une nouvelle cryptomonnaie utilisant le principe fondamental de la blockchain et d'un encryptage cryptographique. Dans ce protocole, les utilisateurs pourraient effectuer des transactions sans avoir besoin d'un tiers de confiance, car c'est un consensus global qui assurerait les transactions.

Le bitcoin est totalement transparent : le code informatique est libre de droit, quiconque peut donc l'utiliser. Cette transparence permet aux utilisateurs de voir les comptes au même titre qu'un livre comptable. Jean-Paul Delahaye, chercheur en informatique, affirme : « Un très grand cahier, que tout le monde peut lire librement et gratuitement, sur lequel tout le monde peut écrire, mais qui est impossible à effacer et indestructible » (CNIL, s.d.). Certains acteurs peuvent aussi valider les transactions, ce que nous appelons « le minage » *(voir p. 24)*.

En mars 2010, le premier marché d'échange de monnaies-fiat, c'est-à-dire de monnaies dont la valeur dépend du cours légal du gouvernement, voit le jour. Il s'agit de Bitcoinmarket.com. Les fiats servent à acheter des bitcoins. En août 2012, un progrès est amorcé car deux méthodes de consensus sont utilisées. Scott Nadal et Sunny King (des utilisateurs) publient le *Livre blanc* de la cryptomonnaie Peercoin (PPCoin ; King & Nadal, 2012), qui fonctionne en P2P et utilise à la fois le système de la preuve de travail et celui de la preuve d'enjeu. La preuve d'enjeu est une méthode par laquelle une chaîne de blocs d'une cryptomonnaie vise à atteindre un consensus (accord) distribué. La transaction n'est pas validée constamment par les mineurs, membres du réseau de la blockchain, mais elle dépend du montant de la cryptomonnaie détenu par les participants, qu'ils doivent régulièrement justifier (PwC, 2017).

[1] Registre centralisé, le P2P est inventé en 1999 sur la base d'une technologie créée par l'informaticien Shawn Fanning et utilisée initialement dans son logiciel Napster. Ce dernier est dédié au partage de fichiers audio.
L'un des protocoles P2P les plus utilisés dans la technologie de la blockchain est l'*InterPlanetary File System* (IPFS) ou « système de fichier interplanétaire ».

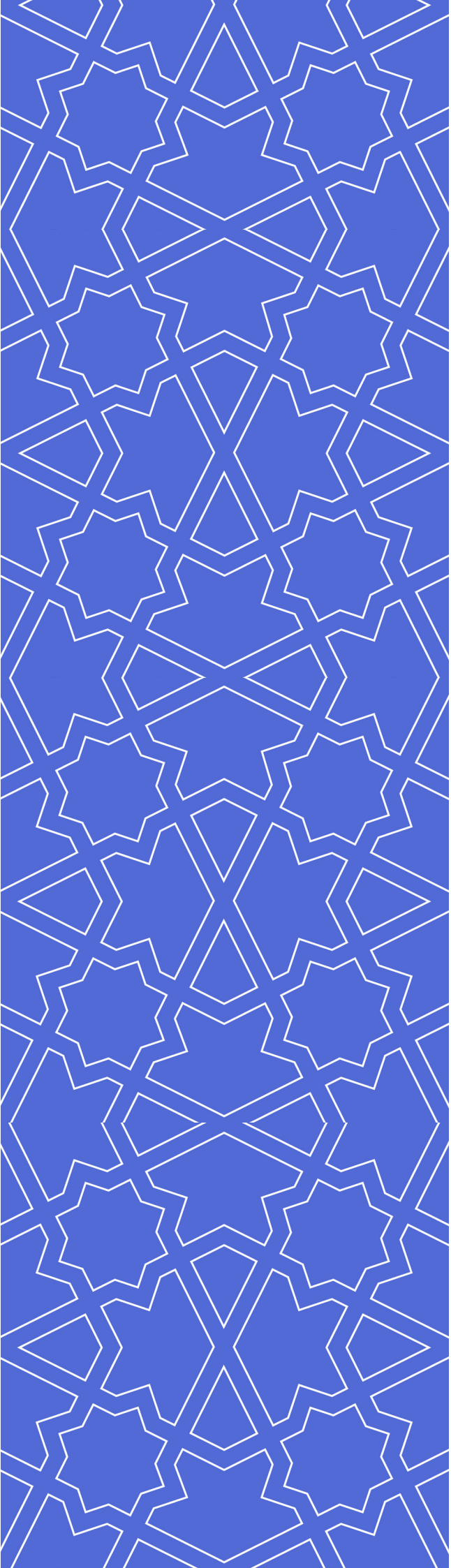
LA BLOCKCHAIN ET LE PROBLÈME DES GÉNÉRAUX BYZANTINS

Le problème mathématique dit « des généraux byzantins » a fait couler beaucoup d'encre parmi les chercheurs depuis le début des années 1980*. Il renvoie à la difficulté de communiquer d'une seule voix, sans autorité centrale régulatrice infailliblement fiable, et en toute confiance. C'est la question qui se pose dans le cadre des transactions, échanges numériques en réseaux P2P.
La parabole de l'assaut d'une cité par une armée est à cet égard significative : comment établir un plan commun pour gagner la bataille alors que certains généraux peuvent être des traîtres ? La solution : le consensus, qui exige qu'au moins deux tiers des généraux soient fidèles.

En matière informatique, Satoshi Nakamoto a renforcé la robustesse des premiers algorithmes utilisés pour répondre à ce problème des généraux byzantins, grâce à la preuve de travail *(voir p. 24)*. Dans ce système, les participants qui valident les échanges par des calculs (les mineurs), en compétition les uns avec les autres, sont récompensés de leur tâche par des bitcoins. C'est en effet la chaîne la plus longue, celle qui a demandé le plus d'énergie, qui est finalement approuvée. Satoshi Nakamoto introduit un autre apport essentiel : il suffit désormais que la moitié des « généraux » soit loyale.

Source : Lars, L. (2019, 3 septembre). *Le problème des généraux byzantins.* Viresinnumeris.fr.

*Ce problème est notamment exposé dans le texte suivant : Lamport, L., Shostak, R., & Pease, M. (1982). The Byzantine Generals Problem. *ACM transactions on programming languages and systems*, *4*(3).



partie 2

LE FONCTIONNEMENT DES BLOCKCHAINS

Cette partie, davantage technique, développe plus précisément les concepts clés de la technologie de la blockchain, de la cryptographie et des concepts annexes utiles à ses applications au secteur immobilier, et en particulier le *smart contract*.

01
Blockchains publiques, privées et permissionnées

Toutes les blockchains présentent des critères communs de fonctionnement, que nous venons d'entrevoir. Néanmoins, nous pouvons distinguer trois types de blockchain, selon leur fonctionnement, les droits des nœuds ainsi que leur politique d'accessibilité à l'information transmise.

Comme déjà évoqué, il s'agit toujours d'un réseau en P2P, d'une infrastructure décentralisée dont le registre partagé est reconnu par les participants. Un mécanisme de consensus est mis en place, qui permet d'instaurer un protocole d'utilisation ; de cette façon, les transactions effectuées dans les blocs conservent leur intégrité. Le type de validation des transactions est déterminé par le choix du consensus.

> Il existe des réseaux de blockchains « privées » et « publiques », qui sont aussi souvent désignées comme étant respectivement « avec autorisation » et « sans autorisation », mais aussi des blockchains dites « permissionnées » (Della Chiesa et al, 2019). La catégorie dépend du fonctionnement de ce réseau et des personnes qui y ont accès.

La meilleure représentation des blockchains publiques est celle des cryptomonnaies, dont le bitcoin a été le premier exemple. Le réseau étant entièrement ouvert et gratuit, toute personne équipée d'un ordinateur capable de faire fonctionner le logiciel spécialisé pour la blockchain ciblée, souvent disponible en *open source*, a la possibilité d'accéder et de contribuer au réseau. C'est alors une blockchain « ouverte », c'est-à-dire qu'elle est ouverte à la lecture et à l'écriture, sans restriction, et les participants sont anonymes. Les blockchains privées ne permettent pas forcément l'accès à toutes les opérations de lecture ou d'écriture, et toute opération nécessite l'acceptation d'un tiers. Chaque nouveau participant doit se faire accorder les droits par une « autorité régulatrice », représentée par une personne seule (un nœud principal dirige et valide). Les membres se connaissent, ils se font confiance. « Les droits pour devenir membre du réseau et/ou consulter les informations contenues dans la blockchain peuvent varier d'un utilisateur à l'autre » (Della Chiesa et al, 2019, p. 103).
Enfin, certaines blockchains revêtent une forme hybride, dont les consortiums dans lesquels les droits sont accordés de façon groupée, par tous les participants (tous les nœuds) détenteurs des droits. Il y a des nœuds privés et des nœuds publics, dont certains ont un « droit de véto » (Mekki, 2020, p. 11). Les consortiums et les blockchains permissionnées donnent accès au réseau à un nombre restreint de participants. « Les nouveaux entrants doivent être validés par les nœuds, membres du consensus. L'accessibilité de la donnée dépend également des droits d'accès de chaque nœud » (Della Chiesa et al, 2019, p. 104). C'est la preuve d'autorité qui prévaut : « Les blocs et transactions sont alors validés par certains comptes, dits "validateurs" » (Della Chiesa et al, 2019, p. 106).

			Lecture	Écriture	*Commit**	Exemple
Types de blockchain	Publique	Publique sans permissions	Ouvert à tous	N'importe qui	N'importe qui	Bitcoin, Ethereum**
		Publique avec permissions	Ouvert à tous	Autorisé aux participants	Tous les participants autorisés ou un sous-ensemble	Sovrin***
	Privée	Consortium	Limité à un ensemble de participants autorisés	Autorisé aux participants	Tous les participants autorisés ou un sous-ensemble	Plusieurs banques exploitant un grand livre partagé
		Privée avec autorisation (l'entreprise)	Entièrement privé ou limité à un ensemble de nœuds autorisés	Opérateur du réseau uniquement	Opérateur du réseau uniquement	Un grand livre bancaire interne partagé entre la société mère et les filiales

* *Commit* : enregisterment effectif d'une opération. Cet enregistrement entérine l'exécution de la tâche préalablement confiée, marquant à la fois la fin de la demande de transaction et le début de l'exécution de la tâche confiée, qui devra être exécutée automatiquement. **Ethereum est un protocole d'échanges en ligne composé de milliers d'ordinateurs connectés entre eux par internet, créant le stockage inaltérable de données. *** Sovrin est un réseau d'identités décentralisées sur internet. Elles ont créé leur propre blockchain afin de proposer ce service, public, ouvert à tous.

Tableau I. Les différents types de blockchain.
Traduit de *Étude de référence mondiale de la blockchain*, par G. Hileman & M. Rauchs, 2017, p. 20, Cambridge Center for Alternative Finance.

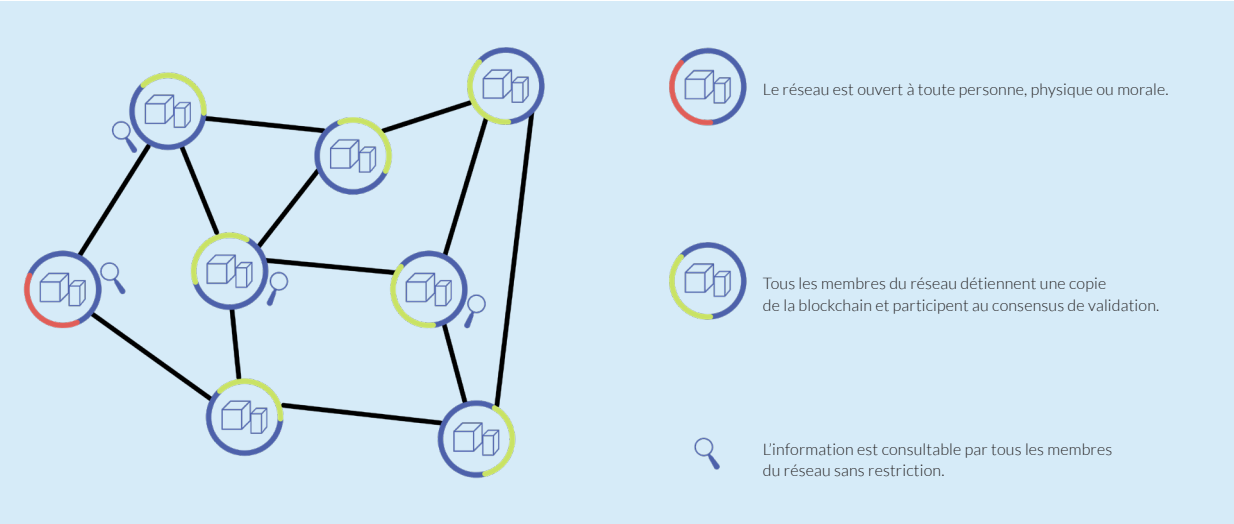


Figure 3. Fonctionnement d'une blockchain publique.
Adapté de *Blockchain. Vers de nouvelles chaînes de valeur,* par M. Della Chiesa et al, 2019, p. 104, Eyrolles.

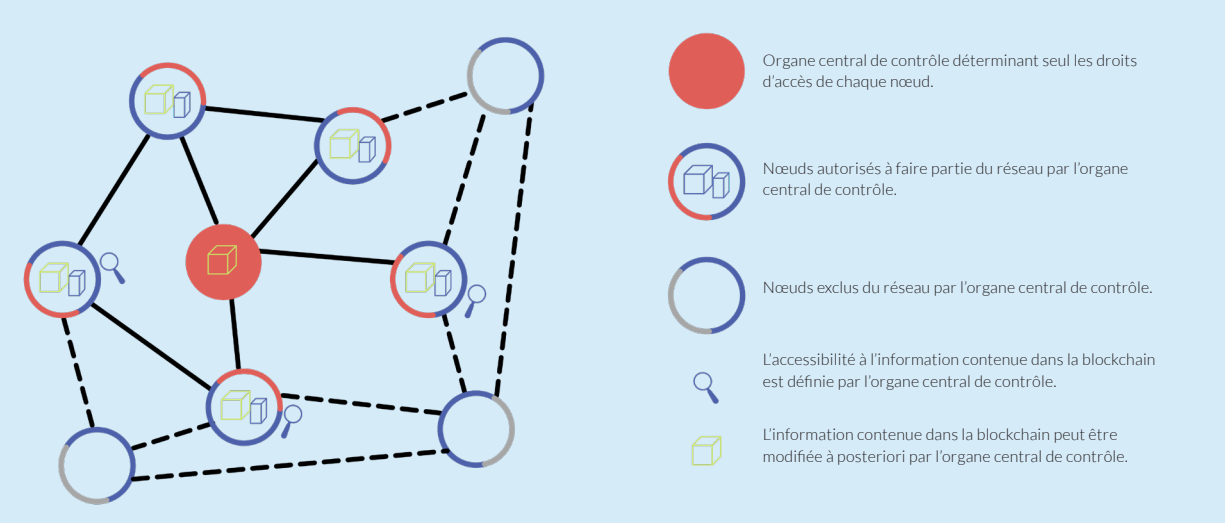


Figure 4. Fonctionnement d'une blockchain privée.
Adapté de *Blockchain. Vers de nouvelles chaînes de valeur,* par M. Della Chiesa et al, 2019, p. 106, Eyrolles.

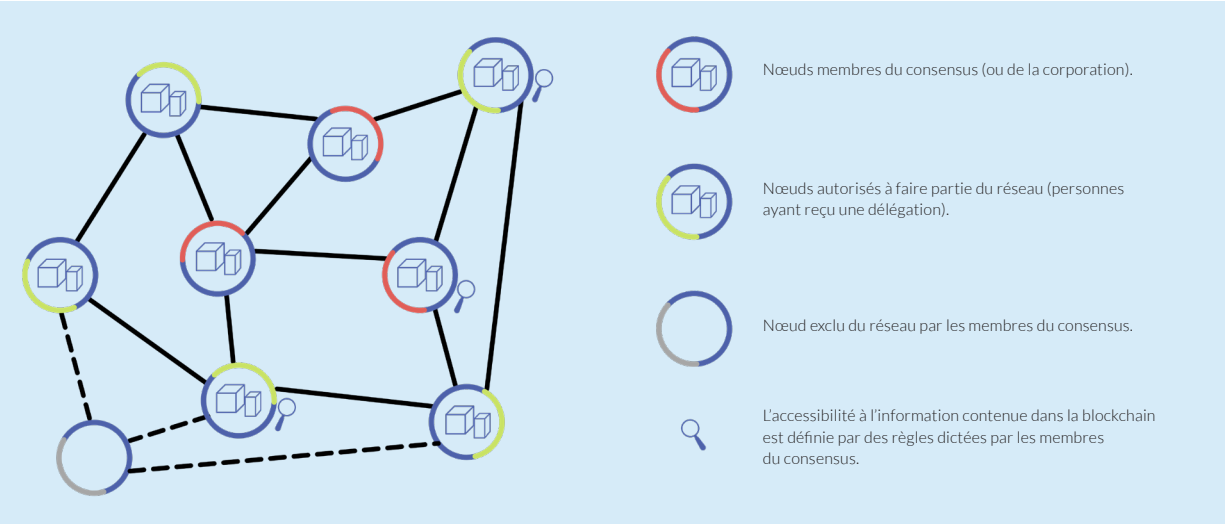


Figure 5. Fonctionnement d'une blockchain permissionnée.
Adapté de *Blockchain. Vers de nouvelles chaînes de valeur,* par M. Della Chiesa et al, 2019, p. 105, Eyrolles.

02
La transaction au sein d'une blockchain

À quoi ressemblent les blockchains d'aujourd'hui ? Comment fonctionnent-elles et comment les visualiser ? Que revêt la notion de « transaction » ? Quelles en sont les étapes essentielles ? C'est à ces questions que nous allons tenter de répondre, infographie à l'appui.

Notons tout d'abord que le terme de « transaction » est souvent utilisé par abus de langage, car c'est le modèle de la blockchain du bitcoin qui est à l'origine de ce que nous connaissons aujourd'hui. Cependant, comme dans certaines applications de la technologie blockchain, il est tout à fait possible d'échanger des actifs numériques (contrat, droit, titre de propriété, monnaie, patrimoine, traçabilité).

La blockchain se rapproche donc plus d'un registre ou d'une base de données dans laquelle les acteurs ont des statuts, des droits et des fonctions. Elle se différencie d'un serveur, dont les données sont stockées uniquement à l'endroit où il se situe : toutes les personnes ayant accès à la blockchain peuvent stocker les informations de son contenu via le réseau distribué et, *de facto*, le contenu ne peut pas être modifié ou altéré sans validation. Son contenu est immuable et sécurisé.

Prenons un exemple simple, d'une transaction effectuée entre A et B.

1. Cette transaction est demandée sur le réseau.
2. Elle est initialisée sur un bloc horodaté.
3. Elle est confirmée et validée par « le consensus » : l'information de la transaction de A vers B subit une première mise à jour et permet à tous les nœuds *(voir ci-dessous)* de vérifier l'exactitude de la transaction afin de savoir si A avait bien la possibilité de transférer à B et si tout est en ordre.
4. Le bloc est inscrit sur la blockchain, en fonction de la date et de l'heure de sa création, et ne pourra plus être modifié.
5. Le réseau est mis à jour avec l'information que B est bien le nouveau détenteur.

Ce processus se déroule à chaque nouvelle transaction. Un bloc est créé à chaque fois que le précédent est rempli d'informations, et ensuite validé.

LES DIFFÉRENTS TYPES DE NŒUD

Dans le domaine informatique, chaque ordinateur connecté à un réseau en P2P est appelé « nœud » (*node*), chacun de ces nœuds pouvant transmettre ou recevoir des informations de l'ensemble du réseau. Les nœuds sont représentés par les participants à la blockchain, dont chacun conserve une copie. Pour se constituer en nœud, il suffit d'installer un logiciel adapté sur son ordinateur et de le lancer régulièrement pour assurer la mise à jour des données échangées. Généralement, un très grand nombre de nœuds contribue à la blockchain, ce qui assure sa robustesse et son intégrité.
Il existe plusieurs types de nœud, dont les principaux sont :

- les nœuds complets : leur fonction est de vérifier l'intégrité de la blockchain et de contrôler si chacun des blocs correspond aux règles établies par le consensus ;
- les nœuds d'écoute : ces nœuds peuvent être assimilés à un relais entre d'autres nœuds ;
- les nœuds de minage : ce sont des nœuds complets utilisés par les mineurs pour la vérification des transactions.

Pour en savoir plus : Impellizzeri, N. (2019, 14 février). *Qu'est-ce qu'un nœud dans l'univers des cryptomonnaies ?* Cryptoast.fr.

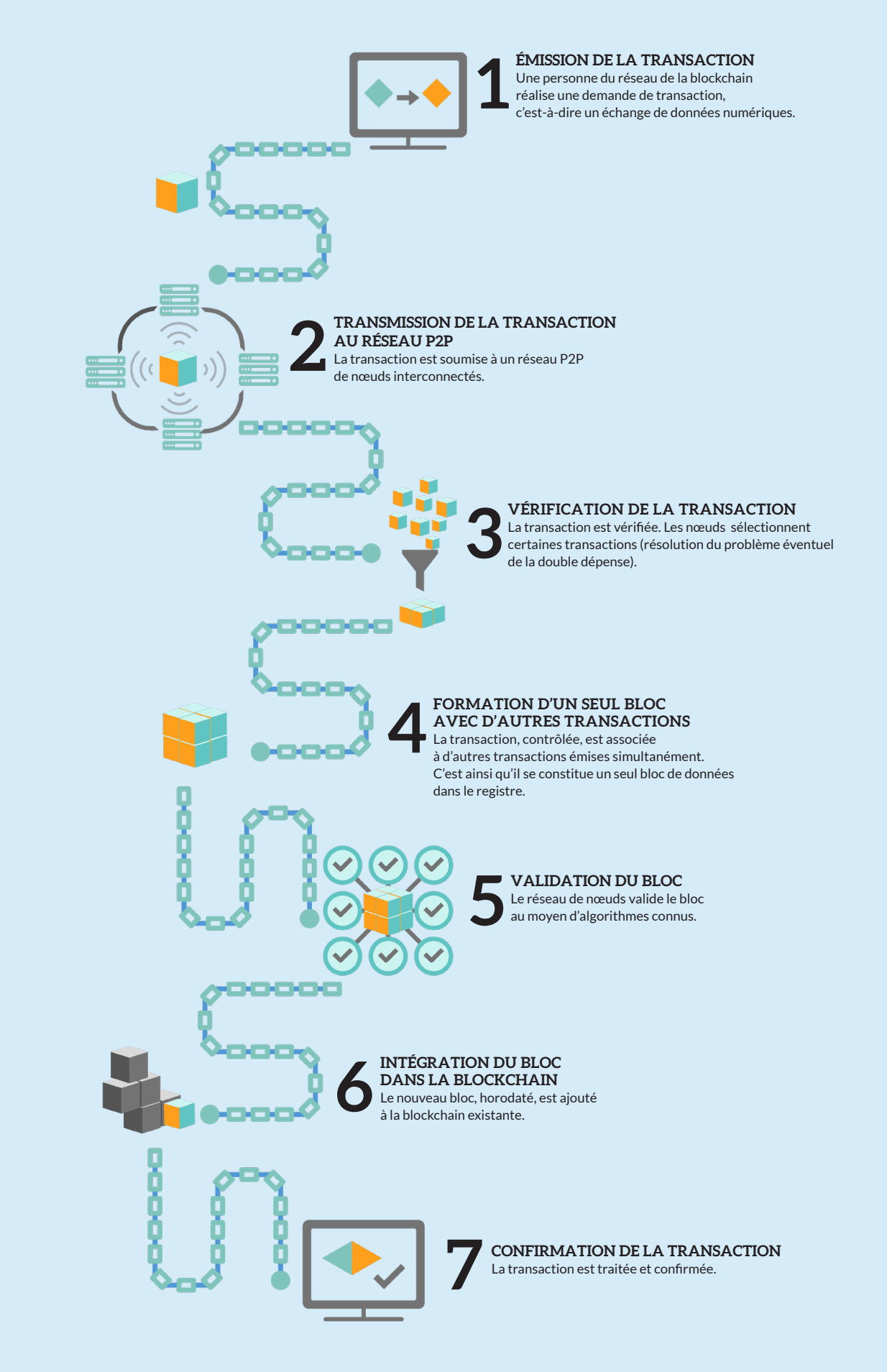


Figure 6. Les sept grandes étapes d'une transaction au sein d'une blockchain.
Inspiré de *La Blockchain : comment ça marche ?*, par PwC, s.d. Dans *La technologie Blockchain pour les institutions financières : quels enjeux ?*, PwC, s. d.

03
Deux méthodes de cryptographie des transactions

Actuellement, une grande partie des blockchains est basée sur le modèle de cryptage issu du hachage (arbre de Merkle), incorporé par Stuart Haber et W. Scott Stornetta à leur technologie d'horodatage (Haber & Stornetta, 1991), puis amélioré par Satoshi Nakamoto.

Pour ce qui est du fonctionnement de ces sécurisations, les deux principaux algorithmes utilisés pour le cryptage des transactions entre les différents acteurs sont l'algorithme symétrique et l'algorithme cryptographique asymétrique, qui utilisent tous deux le principe de hachage.

L'ALGORITHME DE HACHAGE

Le hachage est un principe complexe à la base de la sécurité de la blockchain. Dans cette technologie, il est le résultat d'une fonction mathématique, dite « de Hash », couplée à une hiérarchisation par arbre de Merkle. Pour simplifier, cette fonction prend des données et les convertit en une chaîne de chiffres et de lettres de taille/poids fixe presque unique de 256 bits (32 octets).

LA CRYPTOGRAPHIE SYMÉTRIQUE

La cryptographie symétrique est la clef de chiffrement la plus ancienne. Elle est dite symétrique car elle fonctionne avec la même clef pour chiffrer et déchiffrer.

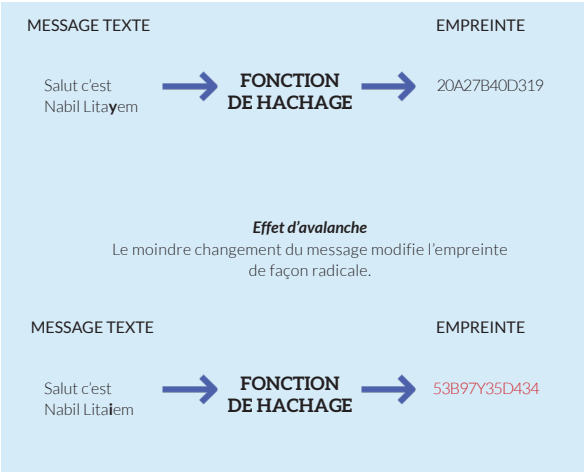


Figure 7. Fonctionnement d'un algorithme de hachage.
Adapté de *Contributions méthodologiques à la conception et optimisation de systèmes embarqués*, par N. Litayem, 2014, p. 145.

LA CRYPTOGRAPHIE ASYMÉTRIQUE

L'algorithme cryptographique asymétrique permet de crypter des informations et de les décrypter avec deux clefs différentes. Seules les deux personnes concernées par la transaction peuvent crypter/décrypter les informations.
Chaque tiers du réseau s'est vu attribué deux clefs :

- une clef publique, pour la réception de la transaction au même titre qu'un IBAN, dans le milieu bancaire. Si vous donnez votre IBAN à une personne, théoriquement, elle ne pourra que vous transférer de l'argent ;
- une clef privée, pour décrypter l'information reçue.

L'ARBRE DE MERKLE

L'arbre de Merkle peut être vu comme étant composé de quatre feuilles (L1, L2, L3, L4) cryptées par hash cryptographique. Nous pouvons donc visualiser le hash de L1, L2, L3, L4. Cette méthode permet de compresser les informations par paire, donc hash L1 et hash L2 vont donner hash 0, le même mécanisme est appliqué pour le hash 1. Une dernière opération est nécessaire pour obtenir l'ultime niveau de l'arbre de Merkle, qui compresse le hash 0 et le hash 1 en un *top hash*. Cette « compilation » et ce « mélange d'informations » accroissent la sécurité au plus haut niveau.

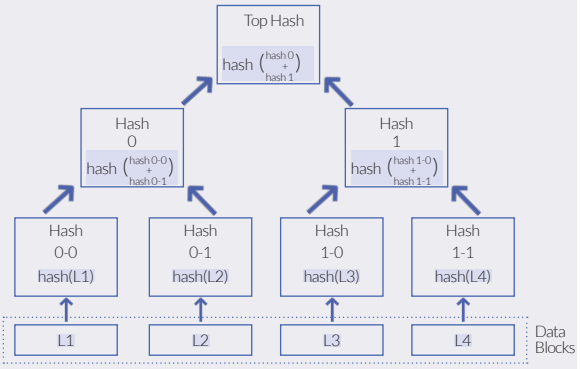


Figure 8. Fonctionnement de l'arbre de Merkle.
Adapté de *Software Heritage : pourquoi et comment construire la grande bibliothèque du code source*, par R. Di Cosmo, 2017, *Entreprises et histoire*, 2.

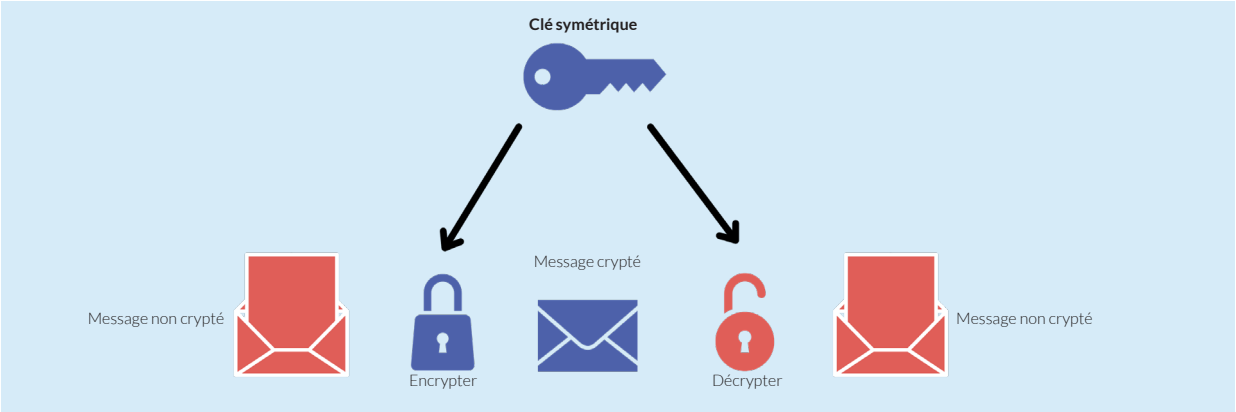


Figure 9. Principe de fonctionnement d'un algorithme de cryptage symétrique.
Adapté de *Contributions méthodologiques à la conception et optimisation de systèmes embarqués*, par N. Litayem, 2014, p. 141.

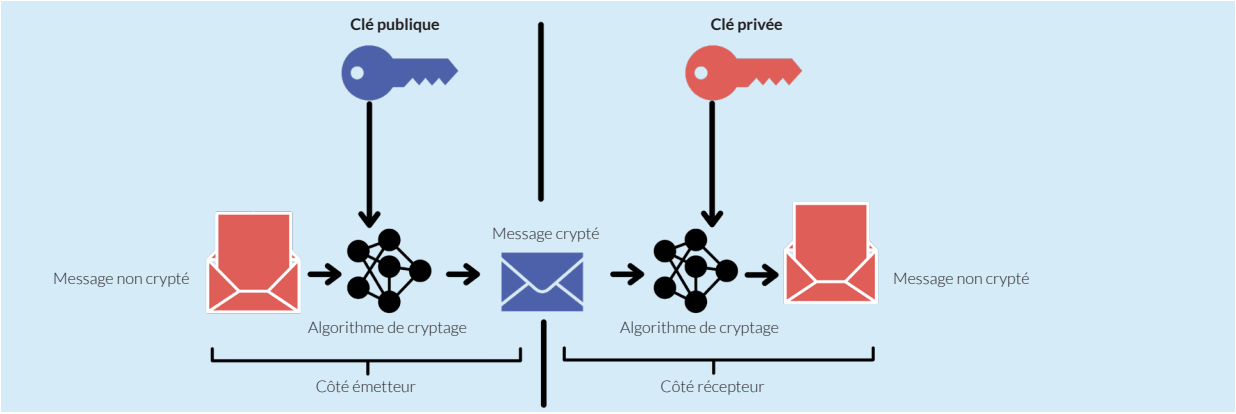


Figure 10. Principe de fonctionnement d'un algorithme de cryptage asymétrique.
Adapté de *Contributions méthodologiques à la conception et optimisation de systèmes embarqués*, par N. Litayem, 2014, p. 142.

CONFIGURATION D'UNE CHAÎNE DE BLOCS : L'EXEMPLE DU BITCOIN

Pour illustrer l'organisation d'une chaîne de blocs, prenons pour exemple celle du bitcoin. Bien que toutes les blockchains ne soient pas composées de cette façon, celle-ci est plus accessible et permet une meilleure visualisation.

La blockchain est constituée de plusieurs blocs en série les uns à la suite des autres. L'intérieur d'un bloc du réseau bitcoin est composé :

- d'un « en-tête », avec le numéro de la version, l'identification du précédent bloc et les informations de cryptage par hachage. Cet « en-tête » contient aussi l'horodatage et le nonce, qui est un morceau de programme permettant d'ajouter des 0 dans le *hash* afin de remplir les petits blocs, insérés eux-mêmes dans le grand bloc ;
- de blocs « transaction », qui renferment les informations de l'acquéreur et du vendeur. Nous pouvons observer le montant de la transaction et les clefs publiques de destination de la transaction.

Le hash du bloc antérieur est composé des informations permettant d'identifier le bloc précédent, ainsi que le *hash* des transactions actuelles ; c'est un peu comme l'identification du bloc.

Dans la méthode d'inscription des informations dans une chaîne de blocs, il faut donc passer par plusieurs étapes, surtout dans la blockchain du bitcoin : le cryptage et le décryptage, la vérification des informations et la validation des blocs. Le bitcoin fonctionne suivant un consensus reposant sur la preuve de travail, le minage (Marin-Dagannaud, 2017, p. 43).

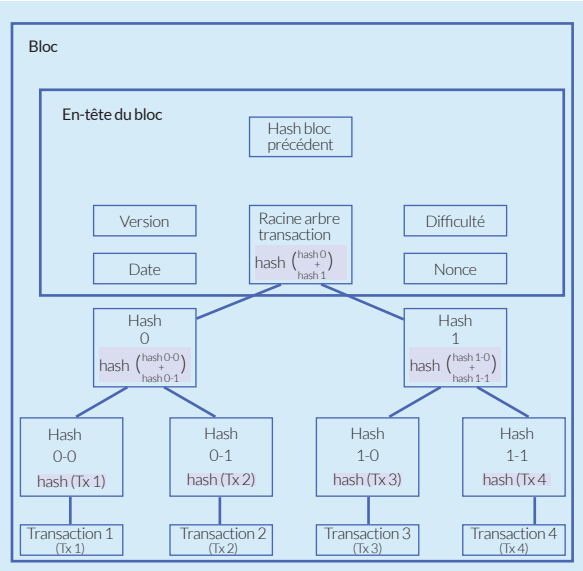


Figure 11. Organisation d'un bloc du bitcoin.
Adapté de *Comprendre la blockchain Ethereum – Article 1 : Bitcoin, première implémentation de la blockchain (2/2)*, par G. Marin-Dagannaud, 2016.

04
Consensus et systèmes de preuve

Il existe une cinquantaine de preuves plus innovantes les unes que les autres. Par souci de clarté, nous allons exposer deux types principaux : la preuve de travail et la preuve d'enjeu.

Défini comme un « accord de plusieurs personnes... dans un domaine déterminé » ou comme une « interdépendance de plusieurs organes dans l'accomplissement des fonctions vitales » (*Trésor de la langue française informatisé*), le consensus représente le mode de gouvernance d'une blockchain.

Ce consensus se matérialise dans la preuve, qui permet d'atteindre ce consensus distribué qui caractérise la blockchain, et donc de valider la transaction.

LA PREUVE DE TRAVAIL OU PREUVE DE CALCUL

La *Proof of Work* (PoW), « preuve de travail » dite aussi « preuve de calcul », repose sur le minage, « une compétition cryptographique » (Faure-Muntian, de Ganay & Le Gleut, 2018, p. 37).

L'ensemble des nœuds de minage faisant partie du réseau – les mineurs – poursuit un objectif commun : celui de calculer le plus vite possible le *hash* d'un bloc en y ajoutant un nonce, c'est-à-dire une série de chiffres 0, avant le *hash* obtenu répondant à une certaine propriété. Le premier mineur à trouver est rémunéré d'un certain nombre de jetons.

La façon d'obtenir ce résultat est de tester plusieurs nonces, jusqu'à trouver celui qui correspond. En exigeant un certain nombre de 0 en début de *hash*, la probabilité de trouver le nonce correct peut baisser très rapidement jusqu'à devenir infime. Le nombre de calculs pour avoir la chance de trouver la solution est très élevé, il faut beaucoup de temps et surtout beaucoup d'énergie, c'est pourquoi chaque bloc doit impérativement avoir une difficulté de minage inférieure au *hash*.

Ces caractéristiques servent avant tout à vérifier que le document est complet et non falsifié. Cela permet aussi de pouvoir effectuer des signatures sans révéler le contenu du document et de pouvoir le répéter de façon automatique sous forme d'algorithme. Le minage permet d'effectuer des milliers de calculs afin de trouver le hash jusqu'à la validation et l'obtention de la règle émise au moment du cryptage.

LA PREUVE D'ENJEU OU DE PARTICIPATION

Le mécanisme de consensus basé sur la *Proof of Stake* (PoS), « preuve d'enjeu ou de participation », est très différent du PoW. Dans cette configuration, chacun des nœuds du réseau doit être capable de prouver qu'il possède une somme (token). Cette somme est mise en jeu à chaque tentative de validation ; soit les informations sont bonnes et la mise est rendue, soit elle disparaît.

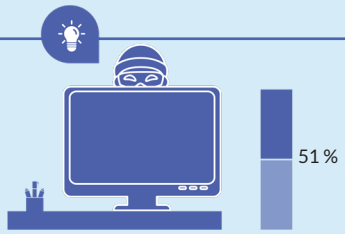
Le protocole de PoS est basé sur le choix d'un nœud aléatoire. Une règle particulière est basée sur la détention, c'est-à-dire que c'est le nœud qui détient le plus de tokens, depuis le plus longtemps, qui sera élu forgeron (en PoS, on ne parle pas de minage mais de forgeage, qui fait directement référence à un stock d'acier).

Ce type de preuve permet dans un premier temps de diminuer le temps de validation et l'énergie nécessaire à la validation.

L'un des champs d'application de la blockchain le plus prometteur est le *smart contract*. Comme le rappelle le professeur de droit Mustapha Mekki (2020, p. 69), le *smart contract* n'est pas apparu avec cette technologie puisqu'il date des années 50. En tant que programme autonome qui s'exécute automatiquement sans intervention humaine, un distributeur automatique est, par exemple, un *smart contract*.

LA PREUVE DE TRAVAIL, DITE AUSSI « PREUVE DE CALCUL »
***(PROOF OF WORK*, POW)**

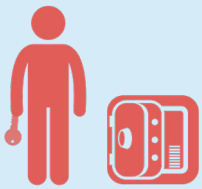
La probabilité de miner un bloc dépend de la quantité de travail effectuée par le mineur.



Les paiements deviennent de plus en plus petits pour les mineurs de bitcoins, il y a moins de motivation pour éviter une attaque de 51 %.

Les systèmes de preuve de travail ont des communautés minières puissantes mais ont tendance à être centralisées avec le temps.

LA PREUVE D'ENJEU, DITE AUSSI « PREUVE DE PARTICIPATION »
***(PROOF OF STAKE*, POS)**



La personne peut miner en fonction du nombre de pièces qu'elle détient.

Les systèmes de preuve d'enjeu rendent toute attaque de 51 % plus coûteuse.

Les systèmes de preuve d'enjeu sont plus décentralisés mais la plupart d'entre eux travaillent dur pour créer des communautés autour de leurs pièces.

Figure 12. Comparaison entre la preuve de travail et la preuve d'enjeu.
Adapté et traduit de *Proof of Work or Proof of Stake*, par Cointelegraph (s. d.). Dans C. Harper, *Making Sense of Proof of Work vs. Proof of Stake*, 2018.

partie 3

LE *SMART CONTRACT* DANS LA BLOCKCHAIN ET APPLIQUÉ À L'IMMOBILIER

Les acteurs de l'industrie se rendent désormais compte que les *smart contracts* basés sur la blockchain peuvent jouer un rôle beaucoup plus important dans les transactions immobilières, transformant potentiellement les opérations immobilières essentielles. Et ce d'autant plus que, selon une enquête du Forum économique mondial (auprès de 800 cadres et experts du secteur des technologies de l'information et des communications), 57,9 % des personnes interrogées pensent que 10 % des informations sur le produit intérieur brut (PIB) mondial seront stockées sur la technologie de la blockchain d'ici 2025 (World Economic Forum, 2015, p. 7).

01
Définition et fonctionnement du *smart contract*

Le *smart contract* – développé par Nick Szabo au milieu des années 90[1] – n'est pas véritablement un « contrat intelligent » (Mekki, 2020, p. 70) mais un programme informatique qui fluidifie l'exécution d'un contrat grâce à la blockchain. Dès lors, la confiance et la transparence qu'offrent cette dernière peuvent être mises au service de l'ensemble du secteur immobilier.

DÉFINITION

> Les *smart contracts* « enregistrent et/ou exécutent les termes d'un contrat lorsque les échéances arrivent à terme (un prêt financier, l'émission d'une action, un vote, un contrat de mariage, tout type de contrat…) dont les caractéristiques ont été au préalable clairement définies » (Leloup, 2017, p. 79).

Cet enregistrement ou cette exécution sont garantis sans intervention humaine par le biais d'un protocole informatique. Ces mêmes protocoles s'engagent à vérifier la possibilité et la légitimité de la transaction ; aucun accord ne peut être conclu si ses termes ne répondent pas aux exigences établies. Les *smart contracts* s'exécutent automatiquement une fois ces exigences remplies. Il est admis que la transaction concernée par le *smart contract* doit aller au-delà d'un échange de monnaie virtuelle entre deux personnes (EY, 2018*b*, p. 3).

Les *smart contracts* sont conçus et mis en œuvre au sein des chaînes de blocs. Ils sont ainsi :

- immuables : un *smart contract* ne peut jamais être modifié et personne ne peut altérer son contenu ou le rompre unilatéralement. Il sera toujours possible de réaliser un avenant du contrat en question ;

- distribués : le contrat et son exécution sont validés par tous les membres du réseau, comme toute transaction sur une blockchain.

FONCTIONNEMENT DU *SMART CONTRACT*

Dans un *smart contract*, qui fonctionne de manière décentralisée tout comme la blockchain, « chaque nœud du réseau *peer-to-peer* agi[t] comme un titre de registre en vue d'exécuter le changement de propriété de manière automatique, sans faire appel à la délibération humaine, et selon les règles prévues par le contrat » (Della Chiasa et al., 2019, p. 55).

Cette révolution, assez complexe, est due à un changement de langage lors de la programmation des *smart contracts*, passant d'une programmation dite « Sheme » à une programmation dite « Turing-complet ». Sans rentrer dans les détails techniques, ce nouveau langage permet une meilleure modulabilité des termes et des conditions du *smart contract* car les possibilités de codage sont illimitées. Cette élasticité d'utilisation a donc permis à des entreprises de l'introduire dans leur modèle.

La blockchain Ethereum utilise la preuve de travail pour garantir la sécurité des *smart contracts* mais, depuis novembre 2020, la version 2.0, qui elle emploie la preuve d'enjeu, est déployée (Chandler, 2021). Particulièrement attendue par la communauté de la blockchain, elle a reçu un très bon accueil pour les premières briques Ethereum Improvment Proposal (EIP) et est prometteuse quant à sa démocratisation.

Après sa création, le *smart contract* ne peut plus être modifié, même par celui qui est à son initiative. Seule l'arrivée de la condition, ou événement, active les clauses du contrat ; l'information est transmise sur les nœuds du réseau et est inscrite dans la blockchain. Un événement désigne « tout ce qui peut être vérifié de façon automatique auprès d'une source extérieure fiable et définie » (Lachene, 2018, p. 28).
La question de la sécurité du *smart contract* est donc liée à la véracité de l'information donnée par un tiers qui active l'événement. Cet élément déclencheur est-il digne de confiance ? À moins que le programme suffise pour vérifier cet événement, les *smart contracts* ancrés dans la

blockchain ne peuvent se passer de ce tiers appelé, dans ce contexte, « l'oracle ». L'oracle est une source extérieure qui possède les informations et les données relatives à l'exécution des termes du contrat. Il « aura la tâche de faire la jonction entre le monde réel et la Blockchain, en transcrivant en langage informatique lisible par la Blockchain le résultat des événements considérés » (Lachene, 2018, p. 28).

Dans la rédaction des *smart contracts*, il faut donc apporter une attention particulière au choix de l'oracle (Della Chiesa et al, 2019), de même que celui du tiers séquestre, qui réalise les mêmes missions (généralement, le notaire).

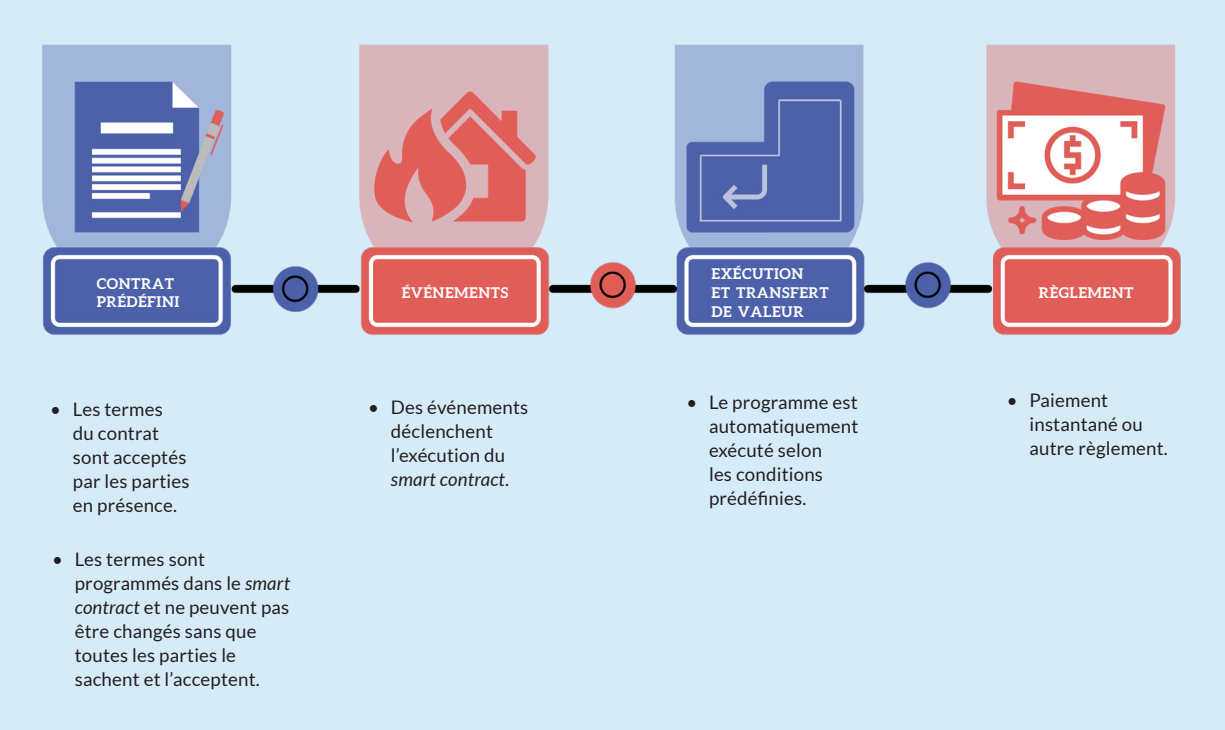


Figure 13. Cycle de vie du *smart contract*.
Adapté de *Blockchain pour l'énergie. Applications et mise en œuvre dans la ville du futur*, par K. Beddiar & F. Imbault, 2018, p. 85, Dunod.

BLOCKCHAIN ET TIERS JURIDIQUE DE CONFIANCE

Nous avons vu, au début de ce *Livre blanc*, que le développement des premières blockchains vise à supprimer le tiers de confiance. Cependant, nous comprenons que le fonctionnement du *smart contract* implique, presque inévitablement, la réintroduction de ce tiers représenté par l'oracle. Une transaction immobilière, par exemple, repose nécessairement sur des données extérieures à la technologie blockchain (vérification de l'identité du propriétaire, relevé de surface Carrez, etc.), informations qui sont ensuite stockées dans la blockchain et que le programme du *smart contract* va rechercher (Godefroy, 2018). Si certaines entreprises se sont spécialisées dans la fourniture de services d'oracles automatisés afin de vérifier la conformité des informations intégrées à la réalité, cela ne règle pas pour autant la question de leur validité juridique, autrement dit le contrôle par un humain doté de la responsabilité juridique de la transaction. Ainsi, les notaires ou les huissiers peuvent faire office de tiers de confiance oracle (Douville & Verbiest, 2018). Nous pouvons donc affirmer, avec Douville et Verbiest, que « tiers de confiance et blockchains sont complémentaires pour garantir la confiance dans les transactions ».

LA VALEUR JURIDIQUE DU *SMART CONTRACT*

Les articles 1125 à 1127-6 du Code civil reconnaissent la validité des contrats conclus par voie électronique et détaillent les modalités à respecter pour leur conclusion.

Ces articles, modifiés en 2016 lors de la réforme du droit des contrats[2], n'ont pas été rédigés dans l'optique de valider l'utilisation des *smart contracts*. Cependant, les modalités énoncées ne vont pas à l'encontre de ces derniers ; ainsi, sur le plan juridique, un *smart contract* est considéré comme un contrat conclu par voie électronique, bien qu'il n'ait pas été défini dans le droit. Tout contrat électronique doit respecter les conditions de validité des contrats telles que le consentement des parties, qui doit être exempt de vices et donner lieu à une validation par le biais du « double clic ». Dans le cadre du règlement général sur la protection des données (RGPD), ce consentement doit aussi être explicite, éclairé et libre. Les *smart contracts* sont en effet plutôt comparables à des algorithmes qui s'exécutent quand certaines conditions sont remplies. En d'autres termes, ce sont des protocoles informatiques qui facilitent, vérifient et exécutent la négociation ou le contrat. L'intelligence de ces contrats est liée à leur exécution automatique sur la blockchain en prenant en compte l'ensemble des conditions de mise en œuvre qui avaient originellement été programmées dans le contrat. Nous nous dirigeons donc vers une automatisation de la validation des contrats.

Il existe des *smart contracts* dits endogènes : l'information se trouve sur la blockchain. Et des *smart contracts* dits exogènes : l'information est extérieure à la blockchain et est souvent fournie par un « oracle ». Comme vu précédemment, l'oracle est assimilable à un service chargé d'entrer manuellement une donnée extérieure dans la blockchain. Certains travaux abordant la question de l'oracle définissent celui-ci comme un prestataire de services, neutre, qui fournit sur la blockchain des données certifiées auxquelles les autres utilisateurs pourront faire confiance.

Il a pu être dégagé une classification en trois groupes des oracles (Polrot, 2016). L'oracle peut être soit :

- une personne – privée ou morale – spécifique ;
- une base de données externe ;
- un service décentralisé dont chacun des membres certifie la réalité des données utilisées.

C'est à l'oracle physique que peuvent être le plus comparé sles intermédiaires certificateurs classiques comme les huissiers ou les notaires. Ces derniers sont en effet traditionnellement chargés d'authentifier les actes pour le compte de leurs clients ou d'apporter une reconnaissance probatoire à des dires ou à des faits.

Une base de données, considérée dans sa fonction d'oracle, doit nécessairement, à l'instar de l'oracle physique, être clairement identifiée et, le cas échéant, faire l'objet de l'accord des parties dans le cadre d'un *smart contract*. La base de données désignée comme tiers de confiance sera alors consultée par le *smart contract*, et l'ensemble des données figurant sur cette base sera considéré comme fiable par le contrat. Le service *ad hoc* décentralisé, qualifié d'oracle, donne à la communauté des utilisateurs de la blockchain le soin d'attester de la réalité d'une information à inscrire.

Les partisans des *smart contracts* affirment que de nombreux contrats ou clauses contractuelles pourraient être partiellement, ou du moins en partie, auto-exécutées. Ces types de contrat ont pour ambition de venir assurer une plus grande sécurité ainsi qu'une meilleure application de la loi sur les contrats et réduire les coûts associés à leur passation (suppression des intermédiaires notamment).

Le droit français a évolué ces dernières années sur la problématique de la blockchain et de ses applications, comme le montre le rapport de la Commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL) de septembre 2018 sur la question de la blockchain et des données personnelles (CNIL, 2018).

La première interrogation fondamentale qui se pose est celle de la responsabilité juridique. En effet, bien que l'on puisse dans certains cas retrouver les rédacteurs du code source d'une blockchain, ces derniers ne font que créer une sorte de base autonome. Ils n'interviennent pas dans les processus ajoutés ultérieurement à la blockchain, c'est-à-dire les applications se basant sur leur blockchain.
Ainsi, le plus plausible serait que les utilisateurs de la blockchain, notamment les personnes physiques ou morales mettant en place des applications sur la blockchain, soient responsables des données qu'ils émettent de par leurs services. En cas de contentieux, un utilisateur lésé par l'utilisation d'une application sur la blockchain pourrait, de ce fait, se retourner contre la personne morale ou physique qui est à l'origine de cette application.

La deuxième question posée porte sur le cas de la cession de biens immobiliers. Pour mener à terme une vente immobilière classique, les acquéreurs et les vendeurs doivent faire appel à un notaire, au minimum une fois, lors

de l'établissement de l'acte authentique (deux fois si le notaire rédige la promesse synallagmatique). Le notaire est un officier public ; ce statut lui confère la prérogative de rédiger les actes authentiques en matière d'immobilier et de les enregistrer, leur donnant ainsi une valeur juridique.
De ce fait, on ne peut céder un bien immobilier sans l'intervention d'un notaire. Et c'est là le plus grand frein au développement des ventes de biens immobiliers tokenisés *(voir p. 39)* : l'échange de tokens, correspondants à la propriété d'un bien immobilier ou d'une partie de celle-ci, n'est actuellement pas reconnu juridiquement, à moins de faire appel à un notaire comme dans le cas évoqué précédemment. L'avantage principal de tokeniser un bien immobilier perd son intérêt premier, celui de fluidifier l'actif, en le rendant plus facile à échanger.
On touche ici à une question fondamentale du droit de la propriété immobilière : peut-on échanger un bien immobilier sans la contribution d'un notaire *(voir p. 38)* ? Pourra-t-on, un jour, échanger des tokens de biens immobiliers entre particuliers sur une simple plateforme en ligne en quelque clics ?

Le troisième point soulevant une question de droit importante est la compatibilité entre la blockchain et le RGPD.
Le RGPD est un règlement provenant du droit européen ; il a été voté en 2016 et est entré en application en 2018. Son but premier est de permettre aux utilisateurs d'internet d'avoir un droit de regard, d'accès, de rectification voire de suppression de leurs données personnelles.
Or la blockchain, comme déjà évoqué, revêt un caractère d'immuabilité des données, et c'est là toute sa force. Dès lors, nous pouvons nous demander s'il est possible d'appliquer le RGPD sur une blockchain. Dans son rapport, en 2018, la CNIL met en avant le fait que cette question des données personnelles sur la blockchain pose certaines difficultés. Cependant, elle « envisage la conciliation de la blockchain et des droits reconnus aux titulaires de données » (Ebouah, 2021).

La CNIL fait une distinction entre blockchain publique et blockchain privée. Dans le cadre d'une blockchain privée, il existe un responsable du traitement. Celui-ci peut rendre la donnée « quasi inaccessible » respectant alors, plus ou moins, le droit à l'effacement de la donnée selon la CNIL. Cette affirmation de la CNIL est discutable, c'est pourquoi la commission ne manque pas d'ajouter que l'équivalence entre cette quasi-inaccessibilité et le droit à l'effacement de la donnée devra donner lieu à une évaluation ultérieure.

Dans le cadre d'une blockchain publique, la CNIL rappelle qu'il est impossible d'appliquer le droit à l'effacement de la donnée, conseillant de ne pas inscrire une donnée à caractère personnel en clair sur la blockchain. Pour les blockchains publiques, aucune solution n'est donnée.

Enfin, concernant le droit à la rectification, les données de la blockchain sont immuables. Ceci étant, on peut ajouter un bloc pour venir supplanter les informations précédemment enregistrées. Ainsi, l'ancien existe toujours, mais le nouveau bloc correspond à une annulation de l'ancien.

[1] Szabo, N. (1997). *The Idea of Smart Contracts*. Nick Szabo's Papers and Concise Tutorials.

[2] Ordonnance n° 2016-131 du 10 février 2016 portant réforme du droit des contrats, du régime général et de la preuve des obligations, JORF n° 0035 du 11 février 2016, texte n° 26.

02
Les principaux avantages du *smart contract*...

Hérités du fonctionnement de la blockchain, les *smart contracts* présentent des atouts pour les entreprises comme pour les juristes, du fait en particulier de leur exécution automatique. Grâce au gain de temps qu'ils permettent, « les *smart contracts* sont de véritables business makers » (Barbry, 2017, p. 78). Néanmoins, ils manifestent, notamment d'un point de juridique, un certain nombre d'interrogations voire de faiblesses.

Des algorithmes de programmation explicites dans les propriétés de base et de la blockchain comme la décentralisation, la transparence, la résistance à la fraude, peuvent faire des *smart contracts* des alternatives crédibles aux contrats traditionnels (avec un modèle commercial central) pour établir des relations commerciales et effectuer des transactions. Voici les avantages que les *smart contracts* pourraient offrir aux entreprises :

- des relations directes entre les parties : les *smart contracts* peuvent simplifier, voire éventuellement supprimer, le besoin d'intermédiaires et permettre des relations transparentes et directes entre les parties ;

- une résistance à l'échec : étant donné que l'exécution du contrat entre les parties ne dépend pas d'un tiers, aucune personne ou entité ne contrôle les données ou les mouvements financiers. La décentralisation signifie que, même si un individu quitte le réseau de la blockchain, le réseau continuera de fonctionner sans perte de données ni d'intégrité ;

- plus de confiance : les accords des parties sont automatiquement exécutés et appliqués. De plus, ces accords sont immuables et insusceptibles d'inexécution ;

- une réduction de la fraude : puisque les *smart contracts* sont stockés dans un réseau de blockchain distribué, leur signature et leur exécution sont validées par tous les membres de ce réseau. Par conséquent, aucune partie ne peut forcer la libération des fonds ou les données d'autres personnes, car tous les autres participants à la blockchain le sauraient et marqueraient une telle tentative comme non valide ;

- la rentabilité : la réduction des intermédiaires supprime des frais, permettant ainsi aux entreprises et à leurs clients d'interagir et de transiger directement avec des frais de transaction réduits ou nuls ;

- la tenue de dossiers : toutes les transactions contractuelles sont stockées dans l'ordre chronologique de leur exécution dans la blockchain.

Ces contrats facilitent ainsi numériquement de nombreuses actions de l'entreprise.

Contrats traditionnels	***Smart contracts***
1 à 3 jours	Minutes
Paiement manuel	Paiement automatisé
Nécessite un tiers de confiance	Sans nécessité d'un tiers de confiance
Coûts importants	Coûts faibles
Signature présentielle	Signature digitale

Tableau II. Différences entre *smart contracts* et contrats traditionnels.
Adapté de *Blockchain pour l'énergie. Applications et mise en œuvre dans la ville du futur*, par K. Beddiar & F. Imbault, 2018, p. 82, Dunod.

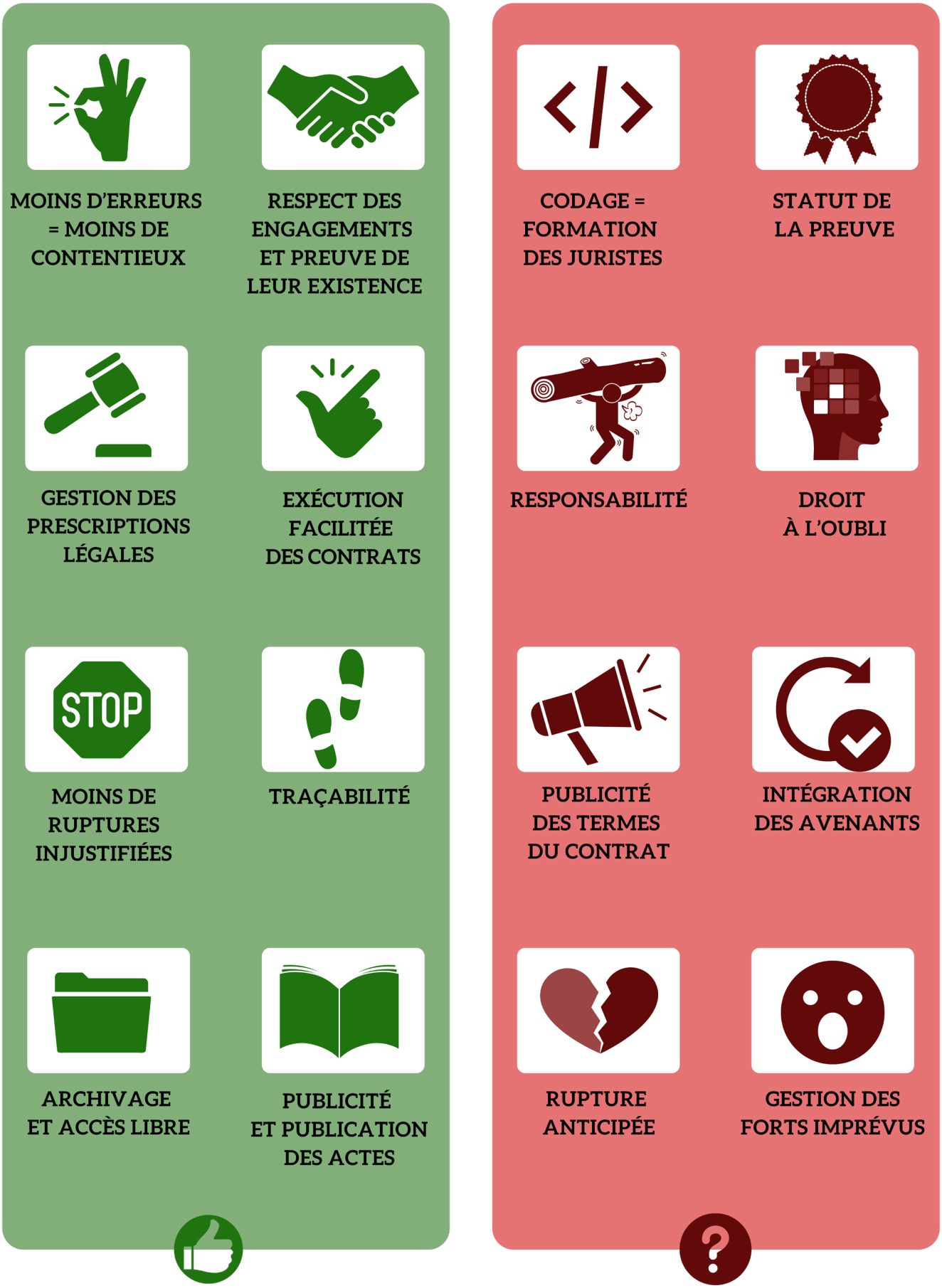


Figure 14. Avantages et faiblesses juridiques des *smart contracts*.
D'après « *Smart contracts*... Aspects juridiques ! », par É. Barbry, *Annales des Mines - Réalités industrielles*, 2017, 3.

03

... appliqués à l'immobilier : d'abord, la réduction des délais de transaction

Un certain nombre d'applications tiennent encore de la projection, notamment en raison du fait que la blockchain constitue, certes, une preuve[1] plus robuste que le papier et le numérique mais elle n'est pas considérée comme un moyen d'authentification (Onimus, 2020, p. 83). La première conséquence de l'usage des *smart contracts* serait l'amélioration de la vitesse des transactions immobilières.

Les transactions immobilières font intervenir de nombreux acteurs *(voir la figure 15 ci-contre)*. Au cœur de la réduction des délais se trouve, notamment, la transmission des informations à ces acteurs de la vente *(voir la figure 16 ci-contre)* ou de la location d'un bien, ainsi que le contrôle efficace de l'avancée du dossier, grâce à l'horodatage. Le suivi des étapes réglementaires de la transaction serait donc accessible à tous, en même temps, dans un souci de transparence, de confiance, de praticité et de sécurité. La gestion administrative est ainsi facilitée et fluidifiée, et l'agent immobilier peut ainsi se concentrer sur ses activités de conseil (Onimus, 2020, p. 58). La start-up Propy, aux États-Unis, offre un tel service.

De plus, l'inscription de l'historique – infalsifiable – d'un bien faciliterait aussi le travail de compilation du notaire. La blockchain et les *smart contracts* pourraient accélérer le processus de vérification et d'établissement des actes de propriété. Mais il est évident que la réduction de ces délais dépend étroitement de la qualité de l'information transmise et stockée sur la blockchain.

En ce qui concerne la vérification des conditions d'attribution des prêts immobiliers, l'automatisation des *smart contracts* permettrait également une plus grande rapidité de traitement des dossiers. « En réalité, le *smart contract* fonctionnerait comme une sorte de boucle "SI.ET" et "SI.OU" sur Excel » (Onimus, 2020, p. 76). Nous pouvons penser que l'approche est utopique mais, à ce jour, l'entreprise Prime-Ex Perpetual (Panama) propose une prestation innovante quant à la construction et au financement de l'achat de maisons pour les expatriés[2], au niveau international. Cette société immobilière utilise la plateforme de blockchain Wave, grâce à laquelle les formalités administratives sont simplifiées et les freins à l'achat fortement amenuisés. « Les acheteurs de maisons seront incités à payer leur hypothèque [à taux fixe, sur 30 ans][3] en jetons PEX qu'ils devront acheter aux détenteurs de jetons PEX existants. Une fois que 2 000 maisons auront été vendues au sein de leur écosystème mondial, la demande mensuelle de jetons PEX-Tokens dépassera chaque mois l'offre totale de jetons qui ne sera jamais sur le marché » (Gola, 2018). Les détenteurs de jetons reçoivent les bénéfices immobiliers par la distribution de dividendes (Daniel, s. d.).

Grâce aux *smart contracts*, les risques pour les futurs propriétaires sont réduits et la sécurité de leurs investissements renforcée : le projet immobilier est géré de A à Z par Prime-Ex Perpetual, sans intermédiaire, tandis que les expatriés bénéficient de la garantie de rachat (2/3 du prix) si les clauses du contrat sont bien respectées. Il n'y a par ailleurs pas de restriction d'âge (Daniel, s. d.).

[1] « La blockchain ne représente pas pour autant une preuve de la propriété » (Mekki, 2020, p. 17).

[2] Malgré leurs revenus généralement confortables, les expatriés ont des difficultés à obtenir un prêt immobilier.

[3] Voir Daniel. (s. d.). *Meet the Boss – Exclusive Interview with Prime-Ex CEO John Gilbert*. Chipin.

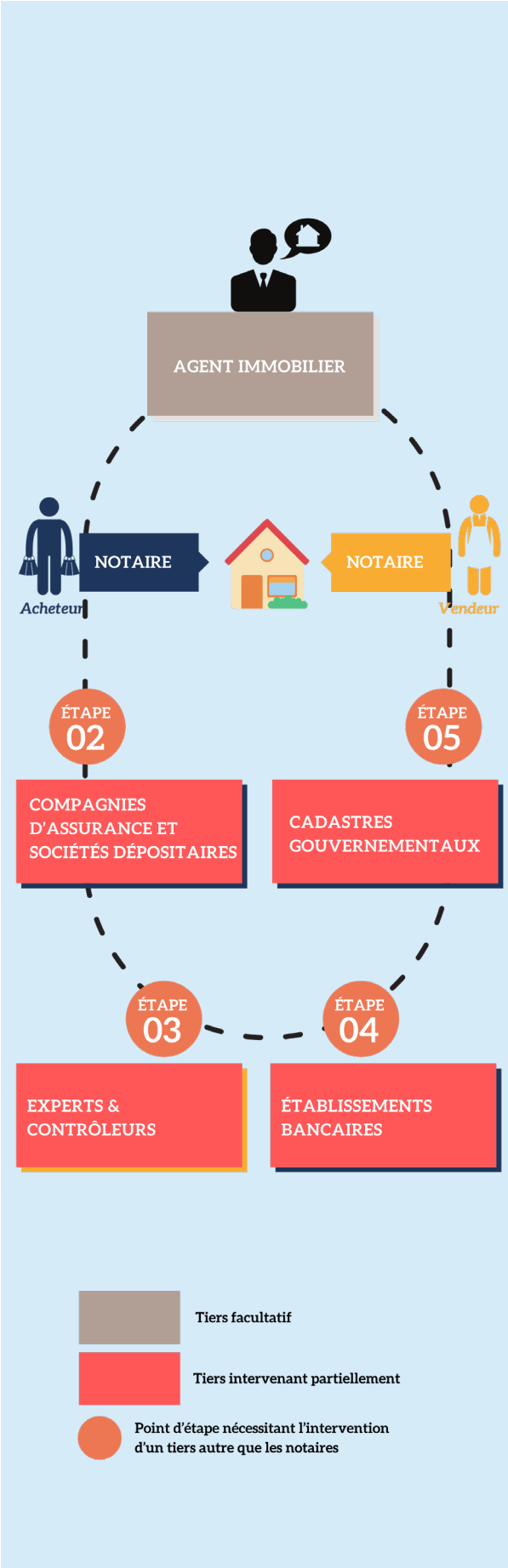


Figure 15. Étapes d'une transaction immobilière (vente) et intervention des tiers.
Adapté de *Blockchain : quel avenir pour l'immobilier*, par Blockchain France.net, 2017.

Figure 16. Répartition de l'information au sein d'une transaction immobilière (vente).
Adapté de *Blockchain : quel avenir pour l'immobilier*, par Blockchain France.net, 2017.

04
Vers un marché immobilier plus transparent

L'activité des agents immobiliers notamment (estimation des biens), et encore plus celle des experts en évaluation immobilière – dont les rapports revêtent une validité juridique –, requièrent l'accès à des bases fiables de données des transactions.

La description fine des caractéristiques des biens loués ou vendus se trouve au cœur du métier de l'expert, afin de procéder à des comparaisons qui sont à la base de ses analyses. Or, le professionnel est très régulièrement confronté à l'opacité des informations, particulièrement en matière de terrain et d'immobilier commercial. En effet, concernant ces deux actifs immobiliers en particulier, un grand nombre de variables intervient dans la détermination du prix, d'où la nécessité de disposer de termes de comparaison probants. Si la qualité d'un terrain (forme, orientation, profondeur...) impacte le prix du foncier, ce sont surtout les droits attachés à cet espace que l'on acquiert, et les potentialités qu'ils impliquent. Il est donc essentiel que l'expert puisse en avoir connaissance. Quant aux commerces, la question de la pondération est un enjeu essentiel, dont les coefficients ne sont pas toujours appréciés de la même manière et peuvent donc différer selon les bases de données, à supposer que cette information soit renseignée.
En outre, certaines zones géographiques ne bénéficient pas d'un recensement régulier des montants des transactions.

Ainsi, la donnée représente véritablement le nerf de la guerre des estimations et des expertises. Il existe déjà des bases de données publiques des ventes immobilières, (bases des prix immobiliers des notaires de France : BIEN pour l'Île-de-France et Perval, hors Île-de-France) et gratuites (par exemple, demande de valeurs foncières, DVF, par Etalab.gouv.fr) mais, en pratique, nous constatons que pour une même transaction les données ne sont pas toujours identiques sur ces plateformes. De nouveau, la transparence et la fiabilité des données posent question.

Dès lors, nous pouvons imaginer que les biens immobiliers disposent d'une identité numérique propre qui contient des données publiques (liste des anciens propriétaires, historique, surface cadastrale, permis...) et éventuellement privées (montant des charges, travaux effectués...). Le *smart contract* pourrait être programmé pour se connecter à une telle base : cela permettrait de réduire le temps d'investigation tout en ayant les données les plus fiables possibles. La Chambre des notaires de Paris a d'ailleurs installé une blockchain privée à titre de « test afin de compiler des informations sur un immeuble, puis de l'estampiller "blockchain" » (Vincelot, 2018).

En outre, la faisabilité et la qualité de la mission de l'expert en évaluation immobilière sont en partie fonction des documents transmis par les clients (relevés de surface, plans, actes de propriété, quittances de loyer, bilans comptables, etc.) : le *smart contract* représenterait un appui au « contrat traditionnel » de la lettre de mission, à la fois en termes de gestion administrative que de réalisation des conditions pour remplir le contrat, tandis que la liaison avec une base de données solide réduirait l'asymétrie d'informations entre l'expert et les clients, mais aussi entre les professionnels eux-mêmes. La connaissance du marché serait ainsi plus aisée. À ce propos, en 2016 déjà, Deloitte annonce le lancement du premier projet pilote d'enregistrement des transactions de locations immobilières utilisant la blockchain, en partenariat avec le Cambridge Innovation Center et la Ville de Rotterdam (Fievet, 2018).

Cette transparence implique aussi une plus grande facilité à rechercher des biens immobiliers.

05
Le renforcement de la sécurité des deals

L'utilisation de la blockchain et des *smart contracts* protégerait davantage contre la fraude. Cependant, il reste la question essentielle de la fiabilité et de la véracité des informations intégrées sur la blockchain, qui vont ensuite permettre l'exécution du *smart contract*.

D'après une étude de Goldman Sachs intitulée *Blockchain profiles in innovation. Putting Theory into Practice* (Schneider, Blostein, Lee, Kent, Groer & Beardsley, 2016), enregistrer les biens immobiliers sur un registre distribué permettrait à l'industrie américaine d'économiser 2 à 4 milliards de coûts. Actuellement, les registres de propriété sont décentralisés et la fiabilité des enregistrements sur papier est faible : 30 % sont défectueux. Ces charges induisent des coûts de transaction élevés, qui se situent entre 0,4 et 0,6 % du prix du bien immobilier.

Les faux documents, les fausses listes et les escroqueries locatives sont impossibles lorsque toutes les pièces d'un dossier, les documents de propriété et de contrat sont directement liés à la blockchain (à condition, évidemment, que les informations implémentées dans la blockchain aient été préalablement validées par un tiers de confiance). Les enregistrements sur la blockchain et les contrats intelligents sont immuables, permanents et transparents. Personne ne peut les modifier et, à chaque transaction de la propriété numérique, tout le monde sur le réseau peut le savoir. Ainsi, Aurélien Onimus, dans son ouvrage *La blockchain. Une révolution dans l'immobilier* (2020), explique que nombre de documents échangés lors de la transaction ne sont pas les originaux (ceux transmis par mail, par exemple) et qu'ils subissent parfois des modifications au cours même de la vente (évolution du permis de construire, de la situation personnelle des contractants...) : le risque de signer une « "mauvaise" version d'un acte » (Onimus, 2020, p. 68) se trouve alors réduit si les originaux sont stockés sur la blockchain, tandis que toutes les corrections éventuelles sont tracées. Mais il faut pour cela que la blockchain soit utilisée dès la première étape de la transaction.

Une problématique fondamentale est celle de la fiabilité et de la véracité des données intégrées et stockées sur la blockchain, qui autorisent ensuite l'exécution du *smart contract*. Cette fiabilité ne peut être certaine que si les informations et les documents sont validés par un tiers désintéressé, par exemple le notaire. En cas d'insertion de faux, tout le système serait vérolé à la base ! La signature électronique, qui génère un certificat, représente une aide précieuse à l'authentification de l'émetteur. Comme le résume Maître Boyer, cofondateur de MyNotary[1], « le vrai problème que l'on a aujourd'hui, c'est que l'on a un droit de la preuve qui repose sur un monde matériel et que l'on passe au monde immatériel » (Onimus, 2020, p. 72).

À court terme, on peut d'ailleurs s'interroger aussi sur l'accélération du temps de la transaction, puisqu'un oracle devra toujours procéder aux vérifications réglementaires nécessaires. D'ailleurs, cela questionne et nuance la désintermédiation *(voir p. 38)*. Cependant, la blockchain et le *smart contract* offrent, une fois ces validations faites, une fluidité et une symétrie d'informations qui permettent de gagner un temps précieux par la suite. Concernant la fiabilité des données sur les transactions, certaines initiatives sont à noter, telles que celles d'Imbrex. Cette start-up prime les personnes qui contribuent à la vérification des informations, dont la validation finale est soumise à « un vote communautaire » (Onimus, 2020, p. 60).

[1] MyNotary est une plateforme collaborative dédiée aux transactions immobilières. Elle vise une grande efficacité et simplicité de la vente grâce à la dématérialisation des dossiers.

06
L'avènement de la désintermédiation ?

La potentielle disparition des intermédiaires lors d'une transaction via la blockchain revient régulièrement dans les débats ; elle questionne non seulement le futur du déroulement des échanges commerciaux et administratifs mais aussi l'avenir des professions qui interviennent dans les affaires immobilières.

Lorsque la démocratisation de la blockchain et des *smart contracts* au grand public sera effective, le rôle de certains acteurs pourrait être réduit, en conséquence de quoi le prix d'un bien immobilier pourrait être plus faible.

Cependant, la fonction de certains intervenants (agents immobiliers, notaires, banquier...) se trouverait davantage transformée que supprimée, car ces derniers se recentreraient sur leurs activités de conseil.

En effet, la désintermédiation totale n'est pas possible à ce jour car :

- le *smart contract* n'a pas de valeur juridique *(voir p. 30)*, il représente « un support technique... ce qui implique qu'il y ait déjà un contrat conclu auparavant » (Roda, 2020, p. 56). En outre, certains actes et opérations requièrent des critères de fond et de forme qui ne sont pas forcément pris en compte par un algorithme (Mekki, 2020, p. 21) ;

- la totale confiance des utilisateurs envers un programme informatique n'est pas encore répandue. De plus, en cas de problème technique, sur qui repose la responsabilité ? le concepteur du logiciel ? Actuellement, les acteurs de la blockchain développent des solutions pour pallier ce problème. Cela rejoint une autre problématique, celle de la gestion des imprévus, ceux qui ne sont pas nécessairement programmés dans le *smart contract*.

- le cadre législatif ne nous permet pas de faire une désintermédiation totale en immobilier en raison de certaines professions réglementées et de leur rôle d'authentificateur, de collecteur d'impôts et/ou de conseil en tant que partie tierce à la transaction (notaire, avocat). À ce propos, un amendement du 13 mai 2016 proposant que « les opérations effectuées au sein d'un système organisé selon un registre décentralisé permanent et infalsifiable de chaîne de blocs de transactions constituent des actes authentiques au sens du deuxième aliéna de l'article 1317 du code civil »[1] a été rejeté, entérinant ainsi la fonction d'office ministériel du notaire.

- le tiers de confiance ne serait pas supprimé puisqu'intervient l'oracle afin de procéder aux vérifications et donc déclencher les clauses du *smart contract*.

Mustapha Mekki parle ainsi de « réintermédiation » (2020, p. 17) et non de « désintermédiation », et Jean-Christophe Roda table plutôt sur un « déplacement des coûts » (Roda, 2020, p. 59) et non leur réduction proprement dite.

[1] Amendement n° 227 présenté par la députée Laure de La Raudière.
Cité par Mustapha Mekki (2020, p. 17).

07
La tokenisation de l'immobilier

L'application à l'immobilier de la technologie de la blockchain et des *smart contracts* entraîne – et nous en sommes qu'aux prémices – une disruption potentiellement majeure du secteur, à travers notamment la tokenisation. L'exemple de l'incontournable plateforme américaine RealT étaye notre propos.

LIENS ENTRE *SMART CONTRACT*, TOKEN ET IMMOBILIER

Comme l'explique Blockchain France (2018) à partir du rapport de Clément Jeanneau *L'âge du web décentralisé* (2018), « techniquement, un token est créé par un *smart contract*, le plus souvent sur la blockchain Ethereum ».

La tokenisation, quant à elle, « est la création de la représentation numérique d'un actif sur une blockchain » (Blockchain France, 2018*b*).

Dès lors, la valeur de cette empreinte peut revêtir des aspects très divers : monnaie d'échange bien sûr, mais aussi propriété d'un bien immobilier, dette immobilière, « droit de percevoir des revenus fonciers générés par un actif immobilier ou encore la propriété d'une part de fonds immobilier, c'est-à-dire une part de la structure qui, elle-même, possède l'actif immobilier » (application à la promotion immobilière) (Verbiest & Richebourg, 2019, p. 424).

De plus, outre l'ouverture à un plus grand nombre, à l'investissement et à la propriété, la souplesse induite par la tokenisation des actifs immobiliers entraîne une plus grande liquidité de ces derniers (Verbiest & Richebourg, 2019), même pour ceux qui sont réputés l'être peu (ensembles immobiliers extrêmement onéreux, par exemple).

DIVISIBILITÉ DU TOKEN ET INVESTISSEMENT IMMOBILIER

De nombreuses entreprises se servent principalement de la fonction financière des *smart contracts*, souvent utilisés comme une clé de déblocage des liquidités. Ils permettent un contrôle du fonctionnement tout au long du cycle de vie de l'actif tokenisé (la communication aux actionnaires, aux investisseurs, un droit de vote ou encore un droit aux dividendes). Le secteur de l'immobilier est celui qui connaîtra très certainement une perturbation majeure, notamment du fait de la divisibilité du token, qui autorise ainsi un plus grand fractionnement de l'actif immobilier et des droits afférents, et ce au niveau international. Traditionnellement, seuls certains investisseurs, aux revenus élevés, ont la capacité d'acheter un bien immobilier. Or, la blockchain et les *smart contracts* donnent à chaque tranche d'imposition le pouvoir de posséder une fraction des propriétés et des bâtiments (via des tokens). Les propriétaires fonciers pourront ainsi vendre à de plus petits investisseurs qui ont mutualisé leur pouvoir d'achat pour acheter la propriété et pas seulement à des investisseurs dits institutionnels.

En 2019, le gestionnaire d'actifs français Mata Capital a permis au secteur de franchir une nouvelle étape avec la tokenisation de plus de 350 millions d'euros d'actifs immobiliers. En s'appuyant sur un contexte réglementaire favorable et sur un dispositif d'enregistrement, de suivi et d'authentification, la tokenisation d'un fonds d'investissement alternatif détenant une plateforme logistique d'une valeur de 220 millions d'euros dans le nord de Paris s'est ainsi réalisée. L'émission de jetons adossés à des actifs figure parmi les plus grands projets de tokenisation immobilière en Europe. La volonté de Mata Capital est de « *scale up* » les investissements des professionnels en France et hors de l'Hexagone. Pour cela, la vision stratégique du projet est de « construire une plateforme d'investissement qui permette à chacun d'investir dans le capital-investissement, l'immobilier, les infrastructures ou la dette privée avec moins d'un euro, tout en respectant toutes les normes réglementaires », comme le rappelle Baptiste Saint-Martin (ConsenSys, 2020). Mata Capital s'est associé à ConsenSys pour lancer la solution sur Codefi Assets, une plateforme basée sur Ethereum pour l'émission et la gestion d'actifs numériques.

TROIS GRANDS *BUSINESS MODELS*

Chaque société fonctionne avec des *business models* de tokenisation différents mais trois grandes catégories sont identifiables.

- Les entreprises qui proposent une approche de la blockchain et de la tokenisation orientée data. Elles offrent des solutions de stockage, d'harmonisation et d'analyse de données. Ces services permettent une meilleure visibilité pour l'entreprise ou l'État (tokenisation du cadastre sur la blockchain ; Blockchain France, 2016) ainsi qu'une meilleure gestion, qu'elle soit structurelle ou professionnelle (administration de biens). Ces gestions de données apportent également une anticipation des risques et de la sécurité idoine à l'entreprise.
- D'autres structures se sont basées sur une vision pécuniaire de l'union blockchain et immobilier. Ces entreprises peuvent être des portails, des plateformes de marché, mettant en relation les différents investisseurs de tokens en tout genre, même si ces plateformes se prédestinent plus, pour l'instant, à des échanges de tokens. D'autres sociétés proposent la tokenisation d'actifs pour, par la suite, réaliser des ventes d'*asset backed security tokens* (ABST) créés ou encore de faciliter les transactions en apportant une liquidité supplémentaire pour lisser les taux de change.
- Les entreprises de conseil, qui peuvent être considérées comme les assistants à maîtrise d'ouvrage (AMO) des opérations de structuration financière de la blockchain. Ils choisissent d'accompagner leurs clients vers une meilleure compréhension de la blockchain et une insertion de cette dernière dans leur *business model*.

LE PROJET AMÉRICAIN REALT

RealT est une plateforme proposant d'acquérir des tokens correspondant à des biens immobiliers en contrepartie de revenus.

La plateforme RealT a émergé en 2019 aux États-Unis à la suite des constats suivants :

- l'illiquidité du marché immobilier, due à un grand nombre de variables (emplacement, demande, typicité, qualité, prix…) ;
- le coût de transaction élevé, en raison notamment de l'intervention de plusieurs tierces parties ;
- la complexité du marché immobilier privé : ce dernier fonctionne selon le principe des enchères et est caractérisé par une offre insuffisante de biens. Parce que les biens immobiliers n'ont pas une rotation élevée, l'évaluation d'une maison doit être analysée pour chaque échange, ce qui ralentit la transaction et y ajoute des coûts ;
- l'accès difficile à la propriété pour de nombreux individus à cause d'un prix élevé, avec un recours quasi indispensable au crédit pour financer l'acquisition.

Afin de répondre à ces problématiques, RealT s'appuie sur la technologie Ethereum afin de tokeniser des actifs immobiliers.

Les avantages repérés sont :

- aucun frais de notaire et liés à d'autres intermédiaires mis à part ceux liés au fonctionnement de la blockchain, en l'occurrence les frais de « gaz » sur Ethereum, mais cela reste marginal ;
- la perception quotidienne d'une fraction du loyer attaché aux jetons ;
- la suppression des délais administratifs (achat possible en 24 h en moyenne) ;
- une plus grande accessibilité de l'achat immobilier à l'étranger (beaucoup de clients sont francophones) ;
- une plus grande liquidité de l'investissement immobilier.

Néanmoins :

- la gestion d'un bien immobilier est complexe et mérite un suivi de l'investisseur car cela peut devenir vraiment coûteux ;
- l'effet de levier n'est pas possible car les banques ne financent pas l'achat de tokens ;
- la revente peut parfois devenir contraignante s'il y a peu d'acquéreurs ;
- RealT propose seulement des actifs aux États-Unis, pour l'instant.

Exemple d'un achat immobilier sur la plateforme RealT

Prenons l'exemple de l'achat d'une maison sur la plateforme RealT *(voir la figure page ci-contre)*, d'une valeur de 150 000 $ située au 6, Baker Street à Détroit (États-Unis)[1].

RealT monte une société américaine « LLC », nommée « 6BK LLC ». Cette société a comme objet social exclusif et comme seul actif la détention de cette maison.
RealT crée 150 000 tokens nommés « 6BK », qui représentent 100 % de la propriété de la maison.
Le processus de tokensiation se fait *via* les statuts de la société LLC ainsi que via le *smart contract* afin d'inscrire les jetons dans la blockchain Ethereum. On y trouvera toutes les règles de gouvernance liée à la possession de

ces tokens. Le *smart contract* définit par exemple le montant des loyers, la façon dont ils sont distribués, les droits de vote en fonction des tokens détenus, etc.
Le *smart contract* détermine également d'autres règles, comme l'identification des investisseurs avant l'acquisition, conformément à la législation en vigueur dans le pays.

Dans ce processus, RealT inscrit une clause selon laquelle la valeur du jeton varie selon une évaluation du marché immobilier réalisée chaque année. Le prix du token fluctue donc en fonction du marché sur la zone concernée par le projet.
En outre, Ethereum permet une activité financière *via* des applications intégrées à la plateforme. Les marchés de négociation et d'échange, d'emprunt et de prêt sont donc déployables sur Ethereum. De nombreuses applications proposent des comptes d'épargne ou des outils d'investissement. Les utilisateurs peuvent alors réinvestir les loyers perçus en cryptomonnaies via des prêts rémunérés, par exemple.

Comment revendre les tokens ?

Il existe trois manières de revendre les tokens :

- la plateforme d'échange Uniswap offre la possibilité de vendre instantanément les tokens, au taux du marché. Le prix des jetons sur Uniswap fluctue en fonction de l'offre et de la demande ;
- via Swapcat et Airswap, qui permettent de créer des annonces de vente au prix choisi par le vendeur. Les *smart contracts* garantissent la transaction entre le vendeur et l'acheteur ;
- directement sur le site web de RealT. Les tokens sont vendus à leur juste valeur puisqu'une réévaluation des actifs est faite une fois par an.

[1] Exemple développé à partir du *Livre blanc* de RealT *Legally Compliant Ownership of Tokenized Real Estate* (2019).

Figure 17. Processus d'achat d'une propriété immobilière via RealT.

partie 4

EXEMPLES INSPIRANTS DE DÉVELOPPEMENT DE LA BLOCKCHAIN ET DES *SMART CONTRACTS* DANS LE SECTEUR IMMOBILIER

Une étude de Deloitte, *Deloitte's 2018 global blockchain survey*, révèle que sur plus de mille grandes entreprises interrogées dans sept pays, dont près de 80 en France, la majorité considère que cette technologie est très importante pour leur organisation et 40 % la classe parmi leurs cinq priorités stratégiques. Les acteurs français interrogés prévoient même d'allouer un budget spécifique pour la blockchain supérieur, pour 70 % d'entre eux, à un million de dollars. Pourquoi cet engouement ? Parce qu'elles y voient de nouvelles opportunités pour créer de la valeur (Fleuret, 2020).

01
Catégorisation des projets recensés dans le monde

Sept grandes catégories de projet ont été identifiées afin de repérer les principaux acteurs de la blockchain dans le secteur immobilier, sans être exhaustif : notamment, des plateformes ABST qui permettent de tokeniser des actifs, des plateformes d'échange de cryptomonnaies. D'autres acteurs sont des intermédiaires favorisant l'usage de la blockchain, des associations, des aides à la gestion...

Pour cette investigation, nous avons utilisé des données primaires relatives à des articles et aux sites internet des entreprises citées dans le tableau récapitulatif consultable en annexe. Ensuite, nous effectuerons des focus géographiques et monographiques qui nous semblent inspirants, de par leur diversité quant au développement et aux nouveaux usages de la blockchain.

PLATEFORME ABST

Une part importante de ces sociétés propose de « tokrniser » des actifs (immobiliers, financiers...) et d'accompagner la vente ou la distribution des tokens aux investisseurs.
Très souvent, ces plateformes disposent d'une interface permettant de sourcer les projets et de faire l'intermédiaire entre les investisseurs et les porteurs de projet (fonds d'investissement, promoteurs, marchands de biens).

Cela est assimilable à une plateforme de *crowdfunding*, avec une particularité : ce sont des tokens qui sont échangés. La valeur des tokens est corrélée à celle de l'actif sous-jacent : ce sont des *asset backed security tokens* (ABST). Ces sociétés permettent de faciliter les transactions et apportent une liquidité supplémentaire aux actifs sous-jacents.

RealT *(p. 40)*, Capelli *(p. 50)*, Blockimmo *(p. 51)*

PLATEFORME DE CRYPTOMONNAIES

Les plateformes d'échange de cryptomonnaies sont des entreprises qui permettent à leurs clients d'échanger des monnaies cryptographiques ou numériques contre d'autres actifs, tels que de la monnaie fiduciaire classique ou d'autres monnaies cryptographiques ou numériques. Pour le plus grand nombre, elles fonctionnent comme une plateforme d'échange classique pour tout autre actif, comme les actions. Mais, contrairement aux plateformes traditionnelles qui ont des heures de *trading* fixes, les plateformes d'échange de cryptomonnaies sont actives 24 heures sur 24, 7 jours sur 7.

Pour effectuer un achat sur une plateforme d'échange, un acheteur doit d'abord approvisionner son compte d'échange, également appelé « *wallet* ». Cela peut se faire en monnaie locale ou dans une autre cryptomonnaie.

L'acheteur passe ensuite un ordre d'achat sur la plateforme. Il s'agit d'une requête d'achat de bitcoin ou d'une autre cryptomonnaie à un prix donné. Cet ordre, ainsi que tous les autres ordres d'achat et de vente, sont ajoutés au « carnet d'ordres ».

Le carnet d'ordres est une liste des montants de cryptomonnaie que les traders veulent « acheter » et « vendre », ainsi que les prix qu'ils recherchent. La plateforme agit essentiellement comme un service de mise en relation entre les deux.

Il est important de noter que les plateformes d'échange ne fixent pas les prix. La loi de l'offre et de la demande le fait. La plateforme n'est que l'intermédiaire qui relie les acheteurs et les vendeurs, comme un broker en bourse par exemple.

Coinhouse *(p. 51)*, RealFuel.IO *(p. 53)*, Fundplaces *(p. 53)*, Coinbase *(p. 57)*

TRANSACTION SUR LA BLOCKCHAIN

Les acteurs comme Propy ou Equisafe vont favoriser les relations des acteurs des transactions immobilières par l'usage de plateformes, par la digitalisation des documents nécessaires à la validation des transactions.

Equisafe *(p. 50)*, Propy *(p. 56)*, BenBen *(p. 55)*

BASE DE DONNÉES

Le stockage et la gestion des données sont au cœur des problématiques des entreprises du XXIe siècle. Des sociétés exploitent la technologie de la blockchain et de la tokenisation pour apporter des solutions, telles que R3 Corda ou Elea Labs.

En effet, le cryptage des données sur un réseau infalsifiable et inviolable est un outil de transformation et d'échange de données sous différentes formes : monnaie, contrat, actif, informations sur la construction, le *Building information modeling* (BIM)... R3 Corda développe des solutions permettant l'ouverture d'un compte bancaire sans avoir besoin de demander les pièces justificatives d'identification. Tout passe par le KYC (*Know your Customer*) mutualisé du réseau bancaire.

Bitland *(p. 55)*, R3 Corda *(p. 56)*

INVESTISSEMENTS OPÉRATIONS ET AIDE À LA GESTION

Tokenestate et Brickblock créent des tokens afin de favoriser et de développer les investissements dans les opérations immobilières.

Ce sont des paniers d'actifs par secteur pour Tokenestate, ce qui rend le token intéressant pour les investisseurs qui voudraient se concentrer sur des actifs spécialisés dans les maisons de retraite, par exemple, dans le monde entier.

Tokenestate *(p. 48)*, Equisafe *(p. 50)*, Brickblock *(p. 51)*, Crowdvilla *(p. 53)*

CRÉATION/ASSOCIATION

L'International Blockchain Real Estate Association (IBREA) est un organisme de recherche des technologies blockchain, de la tokenisation et de l'industrie immobilière. En effet, la blockchain offre un protocole universel et *open source* pour l'achat de biens immobiliers, le transfert de propriété, l'enregistrement, le cadastre, le *crowdfunding*...

Equisafe *(p. 50)*, IBREA *(p. 57)*

SÉCURITÉ ET TIERS DE CONFIANCE

Le tiers de confiance, dans le cas d'une transaction sur la blockchain, est remplacé par un algorithme.
Ce dernier est un moyen de ne pas donner de pouvoir à un individu en particulier mais, de par sa forme distribuée, la confiance est partagée au sein du réseau.

Immodvisor *(p. 51)*

02
Zoom sur l'Europe : réglementation et projets phares

La cryptomonnaie est en développement au niveau mondial, impulsée par les acteurs, les citoyens, les structures financières institutionnelles, mais aussi par certaines grandes entreprises, qui la considèrent comme une valeur refuge. Des estimations de la taille du marché des cryptomonnaies montrent que le marché européen va représenter 30 % du marché mondial (Plutoneo, 2020).

À l'instar d'autres continents, nous constatons une utilisation progressive de la blockchain dans divers secteurs en Europe. La Géorgie a été le premier pays, dès 2016, à enregistrer les titres de propriété sur une blockchain (Fievet, 2018). Dans le secteur financier, nous pouvons citer l'emploi de la monnaie virtuelle (tels les bitcoins) ; dans le domaine de l'immobilier, la blockchain est utilisée notamment pour la transaction immobilière ou pour la digitalisation des registres de mouvements de titres (grâce à l'ordonnance du 8 décembre 2017) comme le proposent Mipise (Gallo-Triouleyre, 2020) ou Blockpulse. Elle est également marquée par la numérisation des contrats, les visites virtuelles et les états des lieux digitaux ou encore les plateformes d'annonces immobilières.

LA RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE SUR LA SIGNATURE ÉLECTRONIQUE

La technologie blockchain, déjà qualifiée de disruptive et évolutive, présente un certain nombre de défis dans le cadre de sa réglementation. En ce qui concerne la règlementation européenne, nous pouvons citer la directive de 1999 relative à la signature électronique[1], ou directive dite « Signature ». Ce texte a posé des bases claires sur les modalités techniques et les conséquences juridiques de la signature électronique. Son but était, d'une part, de gouverner des usages non encore adoptés aux prémices de la démocratisation d'internet puis, d'autre part, de permettre à chaque État membre de procéder à la transposition du texte selon les besoins et les accords nécessaires à chaque droit interne[2].

La perspective de développement d'un marché communautaire stable et durable proposé par la directive Signature n'a pas eu le succès escompté. Néanmoins, elle a posé un principe fondamental : la non-discrimination de l'écrit électronique face à l'écrit papier, tous les deux ayant la même valeur. En droit interne français, par exemple, la directive Signature a permis de définir légalement une signature[3].

En juillet 2014, le règlement sur l'identification électronique et les services de confiance pour les transactions électroniques au sein du marché intérieur dit « eIDAS »[4] a remplacé la directive Signature. Le règlement eIDAS, d'application directe aux États membres, est entré en vigueur le 17 septembre 2014 et est applicable depuis le 1er juillet 2016 pour la majeure partie de ses dispositions.
La reconnaissance mutuelle des moyens d'identification électronique est obligatoire depuis le 29 septembre 2018. Le principal objectif de ce règlement est de promouvoir le développement d'un marché de la confiance numérique : pour la première fois, le terme « confiance » apparaît dans le titre d'un règlement.

Le règlement eIDAS avait pour ambition d'accroître la confiance dans les transactions électroniques au sein du marché intérieur. Pour ce faire, ce règlement impose des conditions pour des échanges dématérialisés dans un climat de confiance, à travers un mécanisme de présomptions légales. « Ainsi, le procédé d'identification est présumé fiable, ce qui entraîne un renversement de la charge de la preuve. La personne mettant en cause l'identification devra alors prouver que celle-ci est erronée » (Lloan, 2019).
Chacune de ces solutions garantit l'identification du signataire de manière plus ou moins certaine. Il faut par ailleurs souligner que le principe de non-discrimination entre les écrits électronique et papier, antérieurement prévu par la directive Signature, a été réitéré (Armingaud, 2016).

LA RÉGLEMENTATION FRANÇAISE PORTANT SUR LES OPÉRATIONS DE TITRES FINANCIERS

La France est le premier pays d'Europe à légiférer sur la blockchain, en 2016. L'ordonnance du 28 avril 2016[5] crée en effet le minibon, un nouveau type de bon de caisse dont l'émission peut être inscrite dans un DEEP, soit une blockchain[6]. De plus, la loi Sapin II du 9 décembre 2016[7] autorise le Gouvernement à légiférer par voie d'ordonnance pour adapter le droit des titres et des valeurs mobilières à la blockchain (article 34).

En outre, avec l'entrée en vigueur du décret dit « Blockchain » du 24 décembre 2018, de l'ordonnance du même nom du 8 décembre 2017[8] et l'exemption d'un prospectus[9] pour des offres au public d'un montant inférieur à 8 millions d'euros, nous avons un contexte actuel favorable aux opérations de titres financiers. En effet, en juillet 2018, l'article 211-2 du Règlement général de l'Autorité des marchés financiers (RGAMF) a été modifié et « l'offre de titres financiers dont le montant total dans l'Union européenne est inférieur à 8 millions d'euros, ou à la contrevaleur de ce montant en devises, ne constitue pas une offre au public soumise à prospectus visé par l'AMF ». Dans cette hypothèse, selon l'article 212-44 du RGAMF, l'émetteur bénéficie d'une procédure simplifiée et peut se limiter à transmettre aux investisseurs, préalablement à toute souscription, un document d'information synthétique (DIS ; Verbiest & Richebourg, 2019, p. 423).

L'ordonnance Blockchain encadre les technologies permettant l'échange de certains titres financiers telles que la blockchain. Elle est prise en application de l'article 120 de la loi Sapin II selon lequel cette ordonnance est prise en vue d'« adapter le droit applicable aux titres financiers et aux valeurs mobilières afin de permettre la représentation et la transmission, au moyen d'un dispositif d'enregistrement électronique partagé, des titres financiers qui ne sont pas admis aux opérations d'un dépositaire central ni livrés dans un système de règlement et de livraison d'instruments financiers » et d'« aménager et modifier toutes dispositions de nature législative favorisant la mise en œuvre et tirant les conséquences des modifications apportées en application du 1° ».

Avec la loi PACTE du 22 mai 2019[10] relative à la croissance et la transformation des entreprises, la France possède un régime juridique selon lequel les émetteurs de jetons ou les prestataires de services sur actifs numériques peuvent solliciter un visa ou un agrément auprès de l'AMF qui, de son côté, constituera une « liste blanche » des projets et intermédiaires ayant reçu cet agrément optionnel.

La réglementation sur la blockchain présente un intérêt mondial et stratégique. Afin de pleinement exploiter cette nouvelle technologie, il est indispensable d'instaurer un cadre juridique pertinent et approprié. Bien évidemment, cela suppose de traiter des questions de fond, comme par exemple l'incompatibilité entre le droit à l'oubli – reconnu par la Cour européenne des droits de l'homme – et la technologie blockchain qui est par définition anonyme et où tout est gardé.

Le décret du 3 avril 2020[11] (Julienne, 2020 ; Brenner, Gaudemet & Bonnet, 2020) autorise la signature électronique pour la régularisation d'un acte authentique électronique (AAE), l'acte notarié à distance, pendant la période d'état d'urgence sanitaire. En effet, selon l'article 1 dudit décret : « Jusqu'à l'expiration d'un délai d'un mois à compter de la date de cessation de l'état d'urgence sanitaire déclaré dans les conditions de l'article 4 de la loi du 23 mars 2020 susvisée, le notaire instrumentaire peut, par dérogation aux dispositions de l'article 20 du décret du 26 novembre 1971 susvisé, établir un acte notarié sur support électronique lorsqu'une ou toutes les parties ou toute autre personne concourant à l'acte ne sont ni présentes ni représentées. (al. 2) L'échange des informations nécessaires à l'établissement de l'acte et le recueil, par le notaire instrumentaire, du consentement ou de la déclaration de chaque partie ou personne concourant à l'acte s'effectuent au moyen d'un système de communication et de transmission de l'information garantissant l'identification des parties, l'intégrité et la confidentialité du contenu et agréé par le Conseil supérieur du notariat. (al. 3) Le notaire instrumentaire recueille, simultanément avec le consentement ou la déclaration mentionnée au deuxième alinéa, la signature électronique de chaque partie ou personne concourant à l'acte au moyen d'un procédé de signature électronique qualifié répondant aux exigences du décret du 28 septembre 2017 susvisé. (al. 4) L'acte est parfait lorsque le notaire instrumentaire y appose sa signature électronique sécurisée. »

Ainsi, pour répondre à une situation d'urgence, en période de crise exceptionnelle, ce décret permet un nouvel acte notarié hors de la présence des parties contractantes et sans que celles-ci soient présentes ni représentées pour la signature des actes. Il s'agit d'une solution pragmatique pour résoudre les effets néfastes sur le marché immobilier de la pandémie de Covid-19. De ce fait, le notaire peut

recueillir le consentement des parties par voie dématérialisée. L'identification des parties, l'intégrité et la confidentialité du contenu sont garanties par un système de communication dématérialisé certifié par l'Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information (ANSSI). Cette comparution à distance permet de signer des actes qui ne pouvaient pas l'être jusqu'à présent sans une réunion physique entre le notaire et son client, comme par exemple les ventes sur plan ou ventes en l'état futur d'achèvement (VEFA), les donations et les actes d'hypothèque.

LA TOKENISATION IMMOBILIÈRE EN EUROPE : L'EXEMPLE DE TOKENESTATE

En ce qui concerne la tokenisation de l'immobilier, il convient de souligner l'importance donnée par ce marché dans le monde. En effet, « le marché des placements immobiliers génère plusieurs trillions de dollars chaque année et plus de la moitié de chaque patrimoine détenu par des particuliers est constitué d'au moins un bien immobilier » (Verbiest & Richebourg, 2019, p. 423).

Dans ce contexte, nombreux sont les acteurs européens qui offrent des services liés à la tokenisation des actifs immobiliers. Nous pouvons citer l'exemple de Tokenestate, qui propose la création de véhicules d'investissement capables d'émettre des « jetons immobiliers ».

Tokenestate est une société franco-suisse, partenaire de la Banque cantonale neuchâteloise (BCN). Elle a mis en place une plateforme grâce à laquelle les parts des gestionnaires d'actifs immobiliers sont émises via les *Real Estate Tokens* (RETOs). Les RETOs permettent aux investisseurs d'avoir « une exposition à la performance d'un portefeuille d'actifs possédé par la société émettrice » (CFNEWS. IMMO, 2018) tout en faisant bénéficier aux investisseur d'une plus haute protection que celle apportée par les cryptomonnaies. Vincent Trouche, le fondateur et CEO de Tokenestate, précise que « grâce aux RETOs, un fond immobilier ou toute société détenant des immeubles pourra lever des fonds en direct auprès d'investisseurs en Suisse et à l'international, sans recourir aux banques d'affaires, aux courtiers ou aux organismes de *clearing*. Pour les investisseurs, les RETOs permettent d'investir facilement dans des portefeuilles d'actifs ou biens immobiliers dans le monde entier, sans montant minimum et à des coûts transactionnels raisonnables » (Swissroc, 2019). C'est en novembre 2018 qu'est exécutée la première transaction sur la plateforme Tokenestate.

La solution développée par Tokenestate rend l'investissement moins cher, plus rapide et plus simple. Elle permet également aux asset managers de gérer efficacement les titres numériques (du fait de l'automatisation de leurs achats et ventes), les exigences règlementaires et les relations avec les investisseurs. En plus des services d'émission de sécurité numérique, la plateforme Tokenestate fournit une solution complète pour la gestion des relations investisseurs (numérisation des processus, gestion des droits de vote...). Afin d' y parvenir, Tokenestate a travaillé sur trois élements : le juridique, la technique (*smart contract*, développement de logiciels, des bases de données privées) et l'expérience utilisateur (pédagogie).

Le processus développé par Tokenestate est le suivant : les investisseurs (institutionnels et privés) acquièrent des RETOs, Tokenestate propose ensuite l'accès à une marketplace regroupant des sociétés à la recherche de fonds afin d'investir dans l'immobilier via des *Token Investment Véhicles* (TEIVs) grâce auxquels les revenus sont redistribués (Tokenestate, 2018).

ESTONIE : BLOCKCHAIN KSI, PARTENARIAT E-SIDENCY/BITNATION

Autre pays européen connu pour son adoption avancée des technologies numériques : l'Estonie. En effet, cet État balte souhaite développer sa propre blockchain appelée « Ksi » (PwC, 2019). Une technologie, selon eux, axée sur la sécurité des données privées et sur la protection des réseaux, des systèmes et des données. La solution Ksi est disponible dans 180 pays et est utilisée dans différents secteurs, allant des données de justice à l'identité numérique. Dans cette démarche, l'Estonie revendique être le premier pays à utiliser la blockchain au niveau national. « Être une société numérique entraîne une exposition aux cybermenaces », rappelle l'État sur son site e-Estonia. Ce serait donc à la suite de cyberattaques affrontées en 2007 que le pays aurait décidé de développer sa propre technologie blockchain afin de pouvoir garantir l'intégrité des données stockées par ses services administratifs (Magee, 2018). Le gouvernement estonien est même aller plus loin avec un partenariat entre son programme « e-residency » et Bitnation. Le premier offre la possibilité aux non-résidents d'obtenir une nationalité numérique, devenant ainsi des « e-résidents », tandis que le second est une plateforme collaborative qui a pour but de constituer une nation virtuelle grâce à la blockchain. Les e-résidents peuvent utiliser les services de certification (baptisés « Public Notary ») de Bitnation pour signer des contrats commerciaux notamment (Fredouelle, 2016).

LA TRANSACTION DE L'IMMEUBLE IN & OUT À BOULOGNE-BILLANCOURT

En juin 2019, lors du Marché international des professionnels de l'immobilier (Mipim) PropTech, Primonial REIM et la Société foncière lyonnaise (SFL) se sont associés à la start-up Olarchy pour reproduire sur la blockchain la transaction de l'immeuble In & Out (35 000 m²) à Boulogne-Billancourt (Ouest parisien).

Un travail considérable a consisté à mettre à plat l'ensemble des étapes qui constituent une transaction immobilière complexe comme celle d'In & Out. Schématiquement, ces grandes étapes sont :

- la préparation de la vente, qui comprend principalement l'élaboration de la *data room*, c'est-à-dire l'ensemble des documents et des données liés à l'immeuble. Ils vont devoir être revus par les potentiels acheteurs pour se faire une opinion de l'état financier, technique et juridique de l'immeuble ;

- la partie commerciale. Elle consiste en particulier en la sélection d'agents immobiliers (le plus souvent deux) qui organisent la cession de l'actif. Les agents sont invités à concourir, à déposer leur proposition commerciale, à échanger et à signer des documents. Les agents retenus rencontrent ensuite des prospects, leur faire visiter l'actif et échangent avec eux ;

- la partie notariale. Une fois le prospect en négociation, il a accès à la *data room* notariale, questionne les informations. Bien entendu, le notaire intervient à chaque étape, mais surtout lors de celle-ci.

C'est une fois ces étapes bien identifiées que les différents acteurs – le vendeur et ses conseils (avocats et notaires), les agents mandatés par le vendeur pour exposer l'actif au marché, les acheteurs prospects, les conseils des acheteurs – ont pu procéder au développement d'une application sommaire qui crée un lien entre le mécanisme classique de la transaction et sa traduction sur la blockchain. Toutes les étapes menant à la signature ont été rejouées ainsi :

- l'identification des parties prenantes avec possibilité de dépôt de pièces preuves ;

- la visualisation d'un tableau de bord et de toutes les étapes d'une transaction (identification des brokers, dépôts des pitchs, lettres d'intention, accords de confidentialité, etc.) ;

- l'enregistrement des pièces et des informations sur la blockchain (hachage des documents).

Cette expérimentation a non seulement fait connaître au monde de l'immobilier les termes « blockchain » ou encore « *smart contract* », mais a aussi ouvert la porte des possibles dans cette industrie. De plus, cela a permis de comprendre qu'il est possible, simplement, de créer une « preuve » autour d'un « acte » (c'est-à-dire un document, un e-mail, un échange de données), et que cette preuve irréfutable peut être enregistrée dans un « dossier » inaltérable, ce qui peut être utile lors de contentieux ultérieurs.

FRANCE : LE PROJET MADRE ET LA SOLUTION EQUISAFE

Le projet Madre

En France, nous pouvons relever le projet « Madre », initié par la Banque de France pour le registre des identifiants créanciers SEPA. Madre permet de les délivrer aux banques en quelques secondes, au lieu de 15 jours en moyenne (Armandet, 2018 ; Beaudemoulin, Warzée & Bedoin, 2017). Les identifiants SEPA sont destinés aux entreprises qui souhaitent réaliser un prélèvement direct sur les comptes de leurs clients.

La solution Equisafe

Nous pouvons également mentionner Equisafe, en lien avec la tokenisation des actifs immobiliers. En effet, la solution Equisafe promeut la « digitalisation des registres de mouvements de titres (RMT) des sociétés non cotées, en utilisant un dispositif électronique d'enregistrement partagé (DEEP) à travers la technologie blockchain » (Bertoïa, 2020) et fournit aux sociétés une tenue de registre ayant même valeur probatoire que les RMT papiers. Cela est possible depuis l'entrée en vigueur de la loi Sapin II, complétée par le décret du 24 décembre 2018 définissant la notion de DEEP. L'objectif d'Equisafe, en appliquant cette technologie à l'immobilier, est de rendre liquides des actifs qui jusque-là restaient illiquides. « L'approche pour cela est double : faciliter la mise en place des processus juridiques de souscriptions, de gestion et de cession de titres, et augmenter les rencontres entre actionnaires et investisseurs pour alimenter un marché secondaire » (Bertoïa, 2020).

Frédéric Bertoïa (2020), cofondateur d'Equisafe, présente plusieurs exemples de transactions immobilières récentes réalisées par cette société :

- l'opération « AnnA » : un hôtel particulier situé rue Anna-Jacquin à Boulogne-Billancourt (Ouest parisien), d'une valeur de 6,5 millions d'euros, a été acheté par un promoteur immobilier grâce à la mise en place d'une société par actions simplifiée (SAS) comme véhicule financier de détention. Il s'agit de la première transaction immobilière française et européenne à avoir utilisé la tokenisation, en juin 2019, en partenariat avec CMS Francis Lefebvre Avocats, Coblence & Associés, Screeb Notaires et SAPEB Immobilier et Valorcim (Equisafe, 2019) ;

- l'ouverture à la mise en place d'un projet de tokenisation d'un bien immobilier particulier : une annexe du château de Versailles, le pavillon de musique de la comtesse de Provence (Tezos Foundation, 2020). Dans le but de faciliter les levées de fonds sur un marché primaire, Equisafe fournit à son client les briques nécessaires pour gérer automatiquement les différentes phases de souscription de l'investisseur, de la connaissance client (« KYC »), en passant par la vérification de l'origine des fonds (« AML »), à la réception des fonds jusqu'à l'émission des titres en cas de succès de l'opération. Ainsi, l'émetteur peut désormais intégralement automatiser les processus liés à la sélection de nouveaux investisseurs, eu égard à leurs nationalités et à leurs pays de résidence ;

- en novembre 2019, en partenariat avec la société Masteos, spécialisée dans l'investissement locatif, le projet économique consistait à faciliter pour un actionnaire la cession de ses titres à prépondérance immobilière à un individu ne possédant pas de « capacité d'emprunt » (un freelance). Ce dernier souhaitait bénéficier de l'effet de levier mis en place par l'actionnaire en contrepartie d'un investissement en fonds propres. Dans ce type de montage, la plateforme Equisafe fournit l'ensemble des briques pour assurer la rencontre entre actionnaires et investisseurs, ainsi que toute la phase de *delivery vs. paiement*.

AUTRES SOCIÉTÉS EUROPÉENNES

Capelli

Le groupe Capelli, installé en France, en Suisse et au Luxembourg (cinq implantations), regroupe plusieurs activités liées à la promotion immobilière : promotion, investissement locatif, marchand de bien, et ce aussi bien pour de l'immobilier résidentiel que tertiaire (bureaux).

En décembre 2019, Capelli finance en partie (3,1 millions d'euros) le projet de promotion immobilière le Domaine d'Hestia, situé à Saint-André-Lez-Lille (Hauts-de-France) grâce à la tokenisation (Capelli, 2019). C'est une première pour le Groupe. Le Domaine d'Hestia est un vaste programme mixte de constructions neuves et de réhabilitation, sur le site d'un ancien hôpital. Il comprend plus de 450 appartements ainsi qu'une résidence services pour les séniors.
L'opération est réalisée avec l'appui de Wecan Tokenize, plateforme dédiée à l'immobilier, qui est une émanation de Wecan Group (technique), Geneva Management Group (financement) et le groupe Capelli lui-même (Business Immo, 2019). « Les investisseurs qualifiés [une dizaine] qui

ont souscrit à cet emprunt obligataire ont reçu en contre partie des "tokens"... portant un rendement fixe de 7,5 % par an » (Capelli, 2019).

Blockimmo

Blockimmo est une société suisse qui a créé une marketplace permettant de simplifier l'acquisition et la vente de biens immobiliers en servant d'intermédiaire entre les vendeurs et les investisseurs. La plateforme a pour rôle d'encadrer le processus règlementaire et juridique de la transaction immobilière tout en vérifiant la qualité de l'actif proposé. De plus, elle accompagne les différentes parties dans le processus de tokenisation.

Au niveau du fonctionnement, un vendeur intègre le bien immobilier sur la plateforme afin que Blockimmo procède à une tokenisation de l'immeuble, ce qui lance l'investissement. « Les vendeurs peuvent imposer un éventail de limites et de conditions à la vente. Une fois le processus de vente terminé, chaque investisseur reçoit des jetons représentatifs dans son portefeuille » (Mittal, 2018). Les droits et les obligations liés au bien immobilier sont représentés via un *smart contract* basé sur la blockchain Ethereum. Les tokens permettent aux investisseurs de percevoir des revenus issus de l'actif. La valeur des tokens est adossée à celle du bien ; de ce fait, lorsque la valeur vénale de l'immeuble augmente, celle du token s'accroît également.

La première opération de Blockimmo date de mars 2019 et porte sur un actif sis à Baar (Suisse), qui compte 18 logements et un commerce (restaurant), et à hauteur de 20 % de la valeur de cet immeuble, soit environ 3 millions de francs suisses (Blockimmo, 2019). Cette transaction est le fruit d'une collaboration entre Blockimmo, Elea Labs, une startup blockchain spécialisée dans l'immobilier, et Swiss Crypto Tokens, une société de gestion d'actifs numériques. L'actif est acquis par quatre investisseurs unis dans un club deal. « Elea Labs vise à faire en sorte que chaque immeuble ait sa propre identité ou "Property ADN" » (Blockimmo, 2019), facilitant ainsi une *due diligence* de qualité. Swiss Crypto Tokens a fourni son stablecoin « CryptoFranc (XCHF) » pour soutenir la transaction, permettant ainsi aux investisseurs d'éviter les risques de volatilité car les jetons sont indexés sur le franc suisse.

Coinhouse

Coinhouse (ex-Maison du bitcoin) est une plateforme française d'échange de cryptomonnaies qui propose ses services depuis l'année 2014. C'est la première en France à avoir obtenu l'enregistrement auprès de l'AMF en tant que prestataire de services sur actifs numériques (PSAN). L'enregistrement auprès de l'AMF permet ainsi à la plateforme de commercialiser de manière règlementée des cryptoactifs en France. La plateforme propose aux particuliers et aux entreprises d'acheter et de vendre des cryptomonnaies avec une offre restreinte de cinq cryptomonnaies (Bitcoin, Ethereum, Litecoin, Bitcoin Cash et Ripple). Près d'une vingtaine de cryptomonnaies sont disponibles, et les membres du site peuvent en conserver, en acheter ou encore en vendre. Depuis son ouverture, ce sont plus de 200 000 utilisateurs qui ont choisi de se fier à Coinhouse. À noter que la clientèle est constituée à 65 % de particuliers. Les clients profitent d'un accompagnement via courrier électronique dans leurs transactions. Ils peuvent également bénéficier du support téléphonique en fonction des besoins.

Brickblock

La société Brickblock a créé une plateforme de *crowfunding* en utilisant des solutions basées sur la blockchain Ethereum. Via sa filiale ScalingFunds, elle aide les gestionnaires dans leurs levées de fonds en les accompagnant dans le processus de tokenisation des actifs immobiliers et la mise en place de *smart contracts*. Elle fait ensuite le lien entre les investisseurs. Ce sont des tokens appelés « BBK » qui sont émis, que les investisseurs acquièrent pour devenir propriétaire d'une partie de l'immeuble tokenisé et d'en recevoir les revenus sous forme de dividendes. Toutes les informations liées à l'actif immobilier ainsi que toutes les caractéristiques sont visibles sur leurs plateformes.

La plateforme permet de baisser les coûts « jusqu'à 70 % », selon Brickblock, et de réduire les délais par rapport aux levées de fonds traditionnelles, de faciliter les échanges entre investisseurs et gestionnaires. Elle offre également la possibilité de rendre l'investissement immobilier plus accessible aux investisseurs disposant de faibles capitaux. Cette solution est également intéressante pour les investisseurs en cryptomonnaies, car ils peuvent investir dans l'immobilier sans convertir leurs cryptomonnaies en monnaie-fiat, ce qu'il leur permet ainsi de maîtriser la fiscalité.

Immodvisor

Société nantaise certifiée Afnor, Immodvisor est une plateforme communautaire d'avis clients sur des entreprises de l'immobilier et de l'habitat. Elle s'engage à préserver l'e-réputation des professionnels

de l'immobilier *via* les avis clients tout en assurant aux internautes l'authenticité de ces témoignages, dans la mesure où il faut prouver d'avoir bénéficié des services d'une agence, par exemple, pour pouvoir déposer l'avis (une preuve d'achat est requise). Dans cette recherche de la transparence, de la confiance et de l'infalsifiabilité, Immodvisor s'appuie sur la blockchain, qui offre également la traçabilité des avis clients (Journal de l'Agence, 2019). Dans cette perspective, les professionnels mécontents d'un avis verront leur demande de suppression refusée.

La solution d'Immodvisor permet également de diffuser ces avis sur d'autres plateformes, telles que Meilleurs Agents ou Ouest-France-Immo (Ouest France, 2020).

Les métiers et les activités de l'immobiliers concernés sont variés : agences immobilières, certes, mais aussi promoteurs, syndics, mandataires, courtiers ou encore *home staging*, diagnostiqueurs ou brokers (commercialisateurs en immobilier d'entreprise).

[1] Directive 1999/93/CE du Parlement européen et du Conseil, du 13 décembre 1999, sur un cadre communautaire pour les signatures électroniques, JOCE-L 13/12 du 19 janvier 2000.

[2] La France a transposé cette directive par le biais de la loi n° 2000-230 du 13 mars 2000 portant adaptation du droit de la preuve aux technologies de l'information et relative à la signature électronique (1), JORF n° 62 du 14 mars 2000, texte n° 1.

[3] « La signature nécessaire à la perfection d'un acte juridique identifie celui qui l'appose. Elle manifeste le consentement des parties aux obligations qui découlent de cet acte » (article 1316-1 du Code civil, devenu l'article 1367 du Code civil le 1er octobre 2016, avec l'entrée en vigueur de la réforme du droit des obligations : « La signature nécessaire à la perfection d'un acte juridique identifie son auteur. Elle manifeste son consentement aux obligations qui découlent de cet acte. Quand elle est apposée par un officier public, elle confère l'authenticité à l'acte. Lorsqu'elle est électronique, elle consiste en l'usage d'un procédé fiable d'identification garantissant son lien avec l'acte auquel elle s'attache. La fiabilité de ce procédé est présumée, jusqu'à preuve contraire, lorsque la signature électronique est créée, l'identité du signataire assurée et l'intégrité de l'acte garantie, dans des conditions fixées par décret en Conseil d'État »).

[4] Règlement (UE) n° 910/2014 du Parlement européen et du Conseil du 23 juillet 2014 sur l'identification électronique et les services de confiance pour les transactions électroniques au sein du marché intérieur et abrogeant la directive 1999/93/CE.

[5] Ordonnance n° 2016-520 du 28 avril 2016 relative aux bons de caisse, JORF n° 0101 du 29 avril 2016, texte n° 16.

[6] Voir l'article L. 223-12 du Code monétaire et financier.

[7] Loi n° 2016-1691 du 9 décembre 2016 relative à la transparence, à la lutte contre la corruption et à la modernisation de la vie économique (1). JORF n° 0287 du 10 décembre 2016, texte n° 2.

[8] Décret n° 2018-1226 du 24 décembre 2018 relatif à l'utilisation d'un dispositif d'enregistrement électronique partagé pour la représentation et la transmission de titres financiers et pour l'émission et la cession de minibons, JORF n° 0298 du 26 décembre 2018, texte n° 33.
Ordonnance n° 2017-1674 du 8 décembre 2017 relative à l'utilisation d'un dispositif d'enregistrement électronique partagé pour la représentation et la transmission de titres financiers, JORF n° 0287 du 9 décembre 2017, texte n° 24.
« L'ordonnance du 8 décembre 2017 est le fruit d'une longue réflexion. Celle-ci a en effet nécessité la tenue d'une consultation préalable à la rédaction du projet de texte qui s'est déroulée de mars à mai 2017 ; puis le projet d'ordonnance blockchain/titres financiers a de nouveau été soumis à consultation de septembre à octobre 2017 » (Maouche, 2018).

[9] Un prospectus est un document juridique pour l'émission d'offre au public.

[10] Loi n° 2019-486 du 22 mai 2019 relative à la croissance et la transformation des entreprises (1), JORF n° 0119 du 23 mai 2019, texte n° 2.

[11] Décret n° 2020-395 du 3 avril 2020 autorisant l'acte notarié à distance pendant la période d'urgence sanitaire, JORF n° 0082 du 4 avril 2020, texte n° 1.

03
Zoom sur l'Asie : l'exemple de Singapour

Il faut savoir que la majorité du minage du bitcoin se réalise en Asie, ainsi que près de la moitié des transactions en cryptomonnaies. Nous allons nous limiter au cas émergent de Singapour. Avec sa *smart nation initiative*, Singapour a souhaité attirer et mettre en avant les entreprises innovantes qui utilisent notamment la technologie blockchain.

Voici quelques-unes des entreprises singapouriennes les plus remarquables qui se lancent actuellement dans des opérations immobilières.

REALFUEL.IO

RealFuel, lancée en tant que devise native de la plateforme immobilière sous licence InvestaCrowd en 2018, est un jeton de service et de paiement visant à rationaliser complètement le processus d'investissement. Le jeton permettra à toute plateforme de mettre en œuvre des solutions de chaînes de blocs au profit de l'ensemble de l'écosystème immobilier.

L'immobilier n'a pas beaucoup changé depuis les années 60, comme l'affirme Julian Kwan, PDG de RealFuel et orateur du sommet immobilier asiatique de PropertyGuru. La blockchain est le changement le plus important dans l'immobilier mondial. Elle est instantanée, intelligente et éliminera à terme le besoin d'un intermédiaire (Cheok, 2018). Kwan distingue ce que fait RealFuel des cryptocurrences telles que le bitcoin, que tout le monde peut acheter et vendre pour des actifs réels que vous devez négocier sur une plateforme autorisée et entièrement réglementée.

CROWDVILLA

L'entreprise technologique Reidao a lancé Crowdvilla, une plateforme immobilière décentralisée qui permet aux utilisateurs de copropriétés de partager des maisons de vacances avec services dans le monde entier. Par exemple, Crowdvilla a annoncé qu'elle avait acquis des propriétés à Bali, ce qui en fait la première start-up à but non lucratif, basée sur une chaîne de magasins, à proposer des maisons de vacances partagées aux utilisateurs via des jetons numériques CRV et Crowd. Le promoteur Pacific Star Development, coté à la bourse SGX, doit aider Crowdvilla dans sa recherche de propriétés hôtelières appropriées pour les ajouter à son portefeuille.

« L'acquisition de propriétés à Bali, et de quelques-unes à Tokyo, est la première d'une longue série à venir », a déclaré Darvin Kurniawan, co-fondateur et PDG de Crowdvilla et de Reidao (Digital Travel, s. d.).

FUNDPLACES

Partant du constat que le marché de l'immobilier est en proie à des inégalités d'accès à des informations fiables, au coût élevé des transactions et à l'illiquidité des investissements, Tan Kok Keong cofonde FundPlaces en 2015.

En guise de solution, ce dernier a proposé des jetons numériques, appelés « Tiles », permettant aux membres d'investir des sommes aussi faibles que 1 000 SGD (736 USD) dans divers investissements immobiliers. Les informations sur les transactions sont transparentes, et les membres peuvent créer leur propre portefeuille privé de biens immobiliers qui répond à leurs besoins.

FundPlaces s'est également lancée sur un projet de joint-venture avec Hatten Land, société cotée à la SGX, afin de créer une application basée sur une chaîne de blocs, StayCay, qui permet aux membres de faire des affaires en possédant des chambres d'hôtel.

04
Zoom sur l'Afrique : les cas du Rwanda et du Ghana

En Afrique, le manque d'infrastructure et de réglementation offre un terrain de jeu vierge pour tester et valider, en grandeur nature, de nouveaux concepts. La blockchain fait partie de ces innovations qui pourraient accélérer le développement des pays africains, et ce, à plusieurs titres.

EXPÉRIMENTATIONS DE LA BLOCKCHAIN EN AFRIQUE : CONTEXTE

Ce concept de registre décentralisé et infalsifiable, validant des transactions de façon quasi immédiate et sans organe central de contrôle, va tout d'abord fluidifier le circuit financier. Et c'est un fait, l'Afrique a besoin d'argent et de prêteurs de garanties, mobilières ou immobilières. La blockchain pourrait donc être un maillon central pour apporter la confiance qui manque encore aujourd'hui entre les parties.

Avec le Kenya, le Nigéria, l'Ouganda et l'Afrique du Sud parmi les pays à la pointe de l'expérimentation de la blockchain, le milieu financier a été le premier grand adoptant du continent. Cependant, des développements et des essais sont également en cours pour appliquer cette technologie à pratiquement tous les secteurs de l'industrie, du développement sanitaire et social au commerce de détail, en passant par l'agriculture.

Cette technologie pourrait donc aider le continent africain à avancer plus sereinement dans sa longue période de transition entre droit coutumier et droit moderne. La création d'un cadre juridique spécifique sera donc sans doute nécessaire, mais celle-ci devrait demander un certain temps.

Le principal frein qui demeure à l'adoption de la blockchain est d'ordre énergétique. L'activité de « minage » pour valider les transactions et les inscrire sur le registre est particulièrement énergivore. Or, en Afrique, plus que sur n'importe quel autre continent, il est compliqué d'assurer le refroidissement des serveurs et des *data centers*. Mais là encore, les évolutions technologiques, et tout particulièrement celles liées aux blockchains, pourraient résoudre ces problèmes.

En Afrique, l'absence de registre, de cadastre et de titres fonciers fiables constitue un frein économique majeur à la croissance de ce continent. En effet, dans la majorité des États africains, plus de 90 % des zones rurales ne sont pas répertoriées, et la propriété foncière ne peut être garantie. Cette situation, que l'on retrouve dans de nombreux pays en développement, pose de nombreux problèmes administratifs et économiques.
Le développement rural, par exemple, en souffre puisque l'absence de sécurité foncière freine en partie les investissements nécessaires à la progression de la productivité agricole ; mais de nouveaux domaines économiques sont également concernés, à l'image du e-commerce, puisqu'il est tout simplement impossible aux foyers de se faire adresser des colis.

Sur le plan individuel, l'absence de titres de propriété rend également impossible l'hypothèque et limite fortement le recours au crédit bancaire, tout en étant source de potentiels problèmes lors de conflits ou de successions. Ces multiples problématiques entravent la prise d'initiative personnelle et l'accumulation de capital et constituent, de façon générale, un frein au développement économique de ces pays.

Pourtant, dans ce domaine comme dans tant d'autres, l'Afrique pourrait bénéficier des innovations technologiques les plus récentes. Déjà, un simple GPS permet d'enregistrer les connaissances traditionnelles des délimitations de terres familiales. À partir de ces données, des cartes des villages peuvent être créées localement avec un logiciel de cartographie gratuit. Ensuite, un smartphone équipé d'une application scanner permet un archivage numérique de ces données foncières sur un espace de stockage gratuit dans le cloud.

En permettant de répertorier les terrains et de stocker l'information de façon transparente, publique et sécurisée,

la blockchain a totalement le potentiel pour résoudre ce problème de cadastre.
Cette possibilité d'accéder à un registre virtuel, accessible à tous, mentionnant les transactions successives sur un même bien immobilier ainsi que l'existence ou non de contentieux concernant sa propriété devrait permettre de rassurer les banques et les investisseurs et d'accélérer les transactions immobilières sur le continent.
Beaucoup de pays africains vont donc choisir d'expérimenter cette solution. Nous examinerons d'abord le cas du Rwanda puis celui du Ghana.

EXEMPLES D'UTILISATION EN MATIÈRE FONCIÈRE AU RWANDA ET AU GHANA

Le Rwanda, pays où la possession de la terre a joué un rôle important dans le déclenchement de la guerre civile en 1994, les Hutus reprochant aux Tutsis de monopoliser les parcelles, a été le premier pays à créer un site dédié à l'usage des sols en Afrique, le National Land Use Planning Portal (NLUPP).
Les Rwandais disposant d'une connexion internet ont accès aux plans d'usage des sols et autres données spatiales. Cela permet un gain de temps dans la recherche de documents, lors de transactions foncières, par exemple. Ici aussi, l'enjeu au centre de cette mesure est la transparence, en plus d'une simplification des procédures pour le public. Le registre cadastral est plus simple d'accès que les registres papiers à feuilleter dans les agences. Les données présentes sur le portail se concentrent principalement sur le cadastre, les masters plans de l'usage des sols, à l'échelle du district et de la ville, ainsi que les régulations de planification. Cette plateforme a été conçue pour un large public : les populations, les dirigeants et les décideurs politiques, le secteur de l'éducation. Elle permet l'amélioration des services publics, crée un cadre propice à l'entrepreneuriat et à l'innovation, facilite la coopération entre décideurs publics et améliore la gestion et le suivi de la planification urbaine.

Au Ghana, où l'accès au titre foncier est coûteux et complexe, deux expérimentations ont commencé à être développées en 2015.

Le projet de l'organisation non gouvernementale (ONG) Bitland s'est donné pour mission de permettre aux citoyens, entreprises et syndicats agricoles ghanéens, d'enregistrer leurs biens immobiliers et d'avoir accès à un cadastre plus complet, sécurisé grâce à la blockchain et donc plus fiable (transparent et impossible à falsifier). Ainsi, pour les propriétaires fonciers « non protégés » car ne disposant pas des documents officiels nécessaires, Bitland se propose de réaliser les enquêtes (auprès de la Commission foncière du Ghana et sur le terrain) pour confirmer la validité des titres de propriété, d'enregistrer les coordonnées GPS de la propriété dans le système et de délivrer un certificat papier au propriétaire du bien. Cette base de données pourrait notamment faciliter la résolution de litiges fonciers grâce à ces « certificats Bitland », qui serviraient alors de référence à défaut de titres fonciers officiels.

Nous pouvons citer aussi le projet de la start-up BenBen, qui vise à développer une application mobile et une plateforme internet pour simplifier et sécuriser les transactions foncières dans la région du Grand Accra, au Ghana.
Cette solution s'appuie sur l'implication des particuliers et des banques afin de créer un registre propre à la plateforme. Les particuliers inscrits et les banques partenaires donnent accès à leurs documents fonciers. Ces données sont digitalisées par des développeurs de systèmes d'information géographique (SIG) et web, créant le cadastre et le registre foncier propres à la plateforme. Toutes ces données sont vérifiées et enregistrées auprès de la Commission des affaires foncières, lui permettant elle aussi d'avoir un registre à jour. Ces informations sont stockées et sécurisées grâce à la technologie blockchain.

La plateforme permet aux banques disposant d'un compte sur celle-ci d'avoir accès, à l'aide de la carte interactive d'Accra, au statut d'occupation de chaque parcelle. La carte montre quelles sont les zones où le foncier est sécurisé, celles où les banques peuvent investir avec plus de sûreté. Elle met en lumière les cas d'incohérence due à la multiplicité de propriétaires sur un seul terrain.
L'utilisation des nouvelles technologies et des SIG représente un des points forts de cette solution. Ainsi, BenBen s'inscrit dans un modèle international de *smart city*, et cela tout en étant adapté au contexte local. La numérisation constitue en elle-même un changement de paradigme, mutation sociétale, avec l'avènement de l'ère du « tout numérique », des smartphones et, par extension, de la *smart city*. Cette solution permet aussi le renforcement des capacités avec l'amélioration du service public, des procédures d'enregistrement et de transactions plus rapides et de l'accès aux taxes.
Néanmoins, dans les faits, la plateforme a peu d'effets sur les pratiques informelles : elle est davantage destinée aux classes moyennes et aisées. Le cadastre numérique est une version plus sûre du cadastre, mais les conséquences telles que l'exacerbation des inégalités dans l'accès au foncier en raison d'une plus grande ouverture au marché, l'attractivité, ainsi que le manque d'adaptation aux populations pauvres illustrent les limites.

05
Aux États-Unis : Propy, R3 Corda, Coinbase et IBREA

Les États-Unis sont moteurs en matière de mise en œuvre de la blockchain.
Cette partie vise à présenter quelques exemples majeurs d'application outre-atlantique de la blockchain au secteur immobilier, en présentant les sociétés Propy, R3 Corda, Coinbase et IBREA.

PROPY

Née aux États-Unis, Propy a pour ambition de fluidifier les missions de l'agent immobilier grâce à une plateforme aisément personnalisable qui connecte les acteurs de la transaction immobilière. Les transactions sont opérées via la blockchain, la signature électronique grâce à DocuSign. [Cet outil] « permet aux agents immobiliers d'être informés en temps réel de l'évolution du dossier dans toutes ses composantes (documents, signatures, provenance…) » (Onimus, 2020, p. 57).

Si Propy se focalise principalement sur le marché américain, elle a déjà investi le territoire européen à plusieurs reprises.
Nous pouvons citer la vente d'actifs immobiliers à Séville (où le premier bien européen a été vendu, à un Français, grâce à la blockchain en 2018 et en utilisant la crypto-monnaie ETH-ETH ; PR newswire, 2018), à Valka en Lettonie, pour la cession d'un ancien bâtiment scolaire et des terres (Propy, 2019) ou encore en Italie, pour la mise aux enchères du manoir Palazzetto, évalué à 42 millions de dollars (P., 2018).

Récemment, deux actualités ont placé Propy sur le devant de la scène :

- en 2020, l'enregistrement sur la blockchain des cadastres de la ville de Burlington (Vermont) aux États-Unis (Lecamus, 2020) ;
- cette année, la vente aux enchères d'un appartement à Kiev (Ukraine) et d'une œuvre d'art numérique via des jetons non fongibles (NFT ; Blain, 2021). Les NFT actent la propriété numérique d'un objet (ils ne sont pas interchangeables, à la différence du bitcoin par exemple).

R3 CORDA

Fondé en 2015, R3 est un consortium de 40 sociétés issues du secteur financier, et notamment des grandes banques mondiales (Barclays, Société Générale, Deutsche Bank…), qui a développé la plateforme Corda (Nicolas, 2019*a*) à la suite des constats des limites des blockchains publiques. R3 propose ainsi deux versions : l'une *open source*, Community, qui permet de faire des transactions et de monter des contrats, et l'autre davantage adaptée aux entreprises (Nicolas, 2019*b*).

Corda est un DLT semi-privé, puisqu'il faut fournir son identité à un *doorman*, et semi-partagé. « En effet, un nœud n'a accès qu'aux données pertinentes pour son activité » (Nicolas, 2019*a*). Certains nœuds sont représentés par un *notary* « chargé de garantir l'unicité des mises à jour du registre » (Nicolas, 2019*a*). R3 Corda est aussi à l'origine d'un PoC, avec un certain nombre de banques, pour mettre en place une plateforme mutualisée qui facilite la procédure de *Know Your Customer* (KYC). Et ce au bénéficie d'une gestion plus aisée tout en soutenant la confidentialité des données utilisateurs (Onimus, 2020).

À noter que Corda a également été retenue par le *Her Majesty's Land Registry* (HMLR), « le registre foncier de Sa Majesté », dans le cadre de son projet Digital Street (Cruickshank, 2018), en association avec la société de logiciels de transformation numérique Methods. Objectifs : enregistrer la propriété foncière au Royaume-Uni, sonder la solution des *smart contracts* pour une plus grande efficacité des transactions immobilières. La première opération de vente d'une maison via Corda date de 2019 (Ledger Insights, 2019).

COINBASE

Coinbase, plateforme d'achat et de vente de cryptomonnaies – les bitcoins initialement – est née en 2012 avec la conviction que cette nouvelle économie (la cryptoéconomie) pouvait se démocratiser partout dans le monde. Elle revendique une liberté économique basée sur la transparence, la sécurité, l'équité et l'accessibilité. Une cinquantaine de cryptomonnaies peuvent désormais s'échanger sur cette plateforme.
Coinbase entre en bourse (Nasdaq) en 2021, valorisée alors à 86 milliards de dollars, un record pour une société américaine (Le Monde & AFP, 2021). Le volume estimé des transactions est de 335 milliards de dollars pendant le première trimestre 2021, pour un bénéfice net de 771 millions de dollars (Vergara, 2021). Coinbase compte désormais « 68 millions d'utilisateurs vérifiés, 9 000 institutions et 160 000 partenaires » (source : Coinbase.com).

En 2020, Coinbase Custody (pour les clients institutionnels) signe un accord avec RedSwan CRE, une plateforme de tokenisation de l'immobilier commercial (Nwokedi, 2020), dans le but de « fournir aux cryptoinvestisseurs un accès direct à l'immobilier commercial de qualité institutionnelle sous la forme de titres numériques ». « Les investisseurs en crypto peuvent facilement équilibrer leur portefeuille numérique pour inclure l'immobilier sans avoir à se soucier de la conversion en fiat. Il s'agit d'un changement de cap dans le secteur », affirme Ed Nwokedi, CEO de RedSwan XRE Marketplace's (Nwokedi, 2020).

IBREA

Quelques sociétés et organismes proposent d'accompagner les acteurs de la blockchain à développer des projets, c'est le cas de l'International Blockchain Real Estate Association (IBREA), fondée en 2013.

Mue par la volonté de dépoussiérer les pratiques immobilières, l'IBREA mène des recherches et des analyses sur l'application, à ce secteur, des technologies de la blockchain et de la tokenisation. À la recherche d'entreprises toujours plus innovantes, elle a mis en place cinq groupes de travail, auxquels les industriels peuvent se joindre et contribuer ainsi au développement de la technologie blockchain adaptée aux problématiques immobilières : *Tokenization Of Assets* (« Tokenisation des actifs ») ; *Universal Property Identifier* (« Identificateur universel de propriété ») ; *Accepting Cryptocurrencies for Payments* (« Accepter les cryptomonnaies pour les paiements ») ; *Blockchain for Title & Conveyance* (« Blockchain pour les titres et les transferts de propriété ») ; *Blockchain & Property Data* (« Blockchain et données immobilières »).

L'IBREA est à l'initiative de nombreux événements, conférences, qui ont pour but de réunir les entreprises du secteur de l'immobilier et de la blockchain. Elle exerce en outre une fonction de conseil pour les entreprises ; de nombreux articles d'actualités sont d'ailleurs publiés régulièrement.

partie 5

NOTRE ENQUÊTE

Cette enquête quantitative et qualitative a été initiée avec deux objectifs :

- repérer le degré de maturité des acteurs de l'immobilier ;
- déceler les principaux freins à l'utilisation de la blockchain dans les pratiques professionnelles.

Elle a eu lieu pendant quatre mois, d'avril à juillet 2020, et a été diffusée sur les réseaux professionnels et dans la presse spécialisée (*Business Immo*....).

01
Contexte : les études existantes

De nombreuses études ont été menées, mais l'immobilier n'apparaît que très rarement de façon distincte. Les effets de déversement de diffusion de l'innovation entre les secteurs étant très communément acceptés, nous allons revenir sur certains de ces rapports considérés comme incontournables, tous domaines confondus.

En 2018, dans le rapport de PwC *Blockchain is here. What's your next move ?* (PwC, 2018), 600 dirigeants dans le monde indiquent leur prise de conscience forte sur ce sujet, et 84 % des cadres interrogés rapportent des initiatives en cours utilisant la blockchain, dont 15 % déjà établies. Qu'en est-il du cas de la France ?

En 2019, l'étude menée par Deloitte, *Deloitte's 2019 Global Blockchain Survey. Blockchain gets down to business* (Pawczuk, Massey & Holdowsky, 2019), s'interroge sur les opportunités que représente la blockchain pour les professionnels, tous secteurs confondus. Cette analyse s'articule à travers les problématiques suivantes :

- « Comment les différentes industries adoptent-elles et exploitent-elles la blockchain ?
- Pourquoi les entreprises de certains secteurs en particulier pourraient-elles faire face à un type spécifique d'obstacles à l'adoption ?
- Qu'est-ce qui empêche certaines industries de réaliser des investissements plus importants ?
- Les comportements adoptés et les investissements dans la blockchain varient-ils en fonction des industries en raison de particularités inhérentes à la technologie ou de particularités culturelles inhérentes aux industries ? »

Les 1 386 dirigeants qui ont répondu montrent la volonté de se saisir de la blockchain et de ses applications pour le développement futur de leurs entreprises. Cependant, dans cet échantillon, le secteur de l'immobilier n'est pas clairement identifié. C'est pour cela que nous avons mené une première enquête afin de voir si cet engouement est partagé par les acteurs de l'immobilier en France.

L'analyse de la blockchain comme innovation, et de façon dynamique voire cyclique, offre la possibilité d'envisager plusieurs phases du degré de maturité des acteurs.

Les analyses du cabinet Gartner (Gartner, 2020) permettent d'établir des « profils d'innovation » dans différents domaines pour que ses clients suivent la maturité de l'innovation et son potentiel futur, dont celui de la blockchain. Gartner détermine le positionnement des profils d'innovation sur les cycles de l'innovation afin d'offrir des outils de planification de stratégies et de technologies.

Les cycles de battage publicitaire/d'engouement caractérisent la progression typique de l'innovation, de l'enthousiasme excessif à la désillusion, en passant par une période de compréhension de la pertinence et du rôle de l'innovation dans un marché ou un domaine *(voir la figure 18 p. 62)*.

Une technologie (ou une innovation de service et de discipline connexe) passe par plusieurs étapes de transformation vers le plateau de la productivité, c'est-à-dire celui qui permet d'essaimer l'innovation.

1. Le déclenchement d'innovation (anciennement appelé « déclenchement de technologie ») : le cycle de l'engouement commence lorsqu'une percée, une démonstration publique, un lancement de produit ou un autre événement suscitent l'intérêt de la presse et de l'industrie pour une innovation technologique.

2. Le pic des attentes gonflées : une vague de « buzz », d'engouement se crée, et les attentes à l'égard de cette innovation dépassent la réalité actuelle de ses capacités. Dans certains cas, une bulle d'investissement se forme, comme ce fut le cas avec le web et les médias sociaux.

3. Le creux de la désillusion : inévitablement, l'impatience des résultats commence à remplacer l'excitation initiale quant à la valeur potentielle. Les problèmes de performance, une adoption plus lente que prévue ou l'incapacité à produire des rendements financiers suffisants dans les délais prévus sont autant de facteurs qui font que les attentes ne sont pas satisfaites et que la désillusion s'installe. Il y a alors une sorte de « tri » .

4. La pente des Lumières : certains adoptants précoces surmontent les obstacles initiaux, commencent à en tirer des bénéfices et s'engagent à nouveau et vont de l'avant. Les organisations s'inspirent de l'expérience des premiers adoptants. Ils comprennent mieux où et comment l'innovation peut être utilisée à bon escient et, tout aussi important, où elle n'apporte que peu ou pas de valeur. L'effet d'apprentissage est en œuvre.

5. Le plateau de productivité : les avantages réels de l'innovation ayant été démontrés et acceptés, un nombre croissant d'organisations se sentent à l'aise avec les niveaux de risque désormais connus et grandement réduits. Une forte augmentation de l'adoption commence, et l'essaimage se met en place.

Chaque année, Gartner réalise une analyse sur le cycle de l'innovation des entreprises de la blockchain. Si l'on observe le cycle, en 2019 et en 2021, nous ne trouvons pas représenté le secteur de l'immobilier *stricto sensu* mais, en revanche, les activités/secteurs concernés par la blockchain :

- Les cryptomonnaies se rapprochent du plateau de la productivité à un horizon de deux à cinq ans, ce qui indique une réelle maturité et une accélération de la mise en place des cryptomonnaies, y compris des monnaies de banque centrale. En effet, le développement de nouvelles cryptomonnaies et l'extension de leur usage dans de nombreux domaines sont l'expression de l'entrée dans la phase de productivité accrue.

- Le *smart contract*, lui, se trouve dans le cycle au pic des attentes gonflées en 2019 et entre dans la phase de désillusion en 2021.

- La tokenisation des actifs immobiliers se trouve plutôt dans la phase de l'engouement et du déclenchement de l'innovation en 2019, alors que d'autres études indiquent que cette tokenisation se développe assez rapidement en Europe. En 2021, la tokenisation est à la frontière de la désillusion ; pourtant, c'est un outil d'investissement en immobilier en plein essor.

Il existe peu d'analyses en France et en Europe, pour le secteur de l'immobilier, des différentes applications possibles de la blockchain, du degré de maturité des acteurs à l'usage de cette technologie et les freins existants. Nous avons cherché par conséquent à en faire une première évaluation grâce à cette enquête.

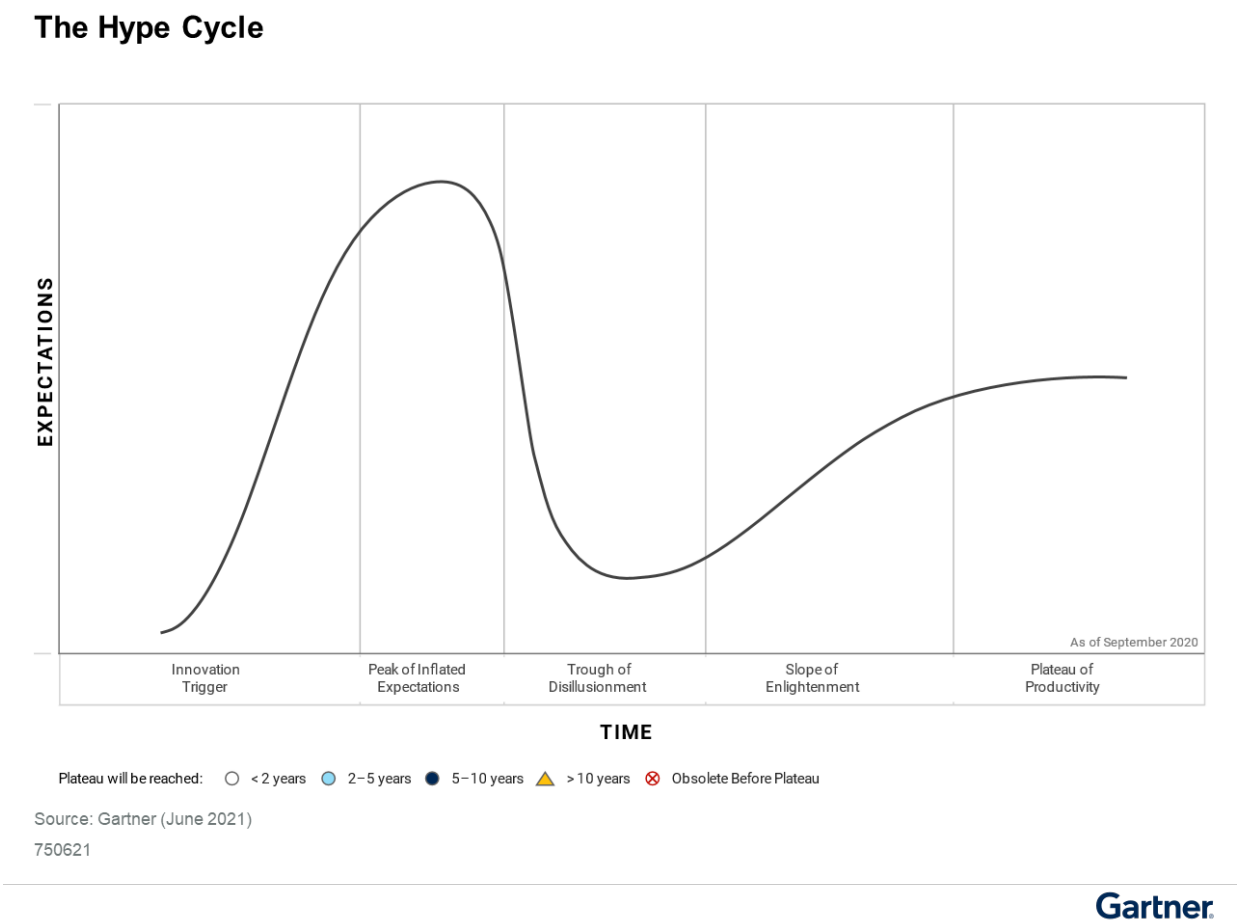


Figure 18. Le cycle de l'innovation selon Gartner.
Graphique fourni par le cabinet Gartner, 2021.

02
Méthodologie : notre échantillon

Notre étude sur la blockchain et l'immobilier présente une analyse d'enquête réalisée d'avril à juillet 2020, à partir d'une base de données qualifiées (des différents partenaires du consortium) du secteur de l'immobilier et des réseaux sociaux de professionnels. Elle porte sur les connaissances et sur les effets de la blockchain dans l'immobilier auprès de 101 répondants.

39 questions ont été posées et portent sur la définition de la blockchain, ses applications, ses atouts, son aspect légal, sur le *smart contract* et sur la confiance quant à la signature d'un contrat et sa validité. Ceci contribue à définir la maturité des acteurs de l'immobilier à une compréhension du potentiel que peut représenter la blockchain dans leurs activités.

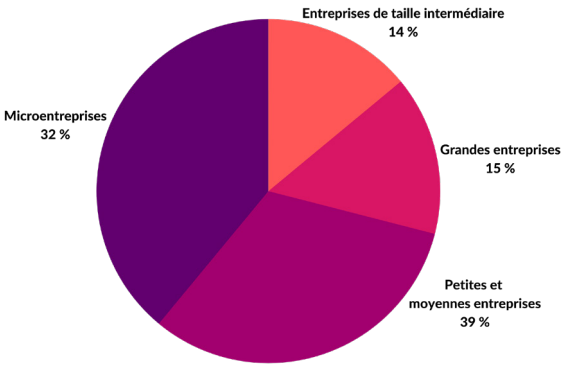


Figure 19. Taille des entreprises dans lesquelles les répondants exercent leur profession.

38 % de notre échantillon est composé d'agents immobiliers. Ils sont représentés significativement au sein de toutes les classes d'âge. Ils constituent 33,33 % des 20-29 ans, 29,41 % des 30-39 ans, 31,03 % des 40-49 ans, 52,38 % des 50-59 ans et 28,57 % des 60-69 ans.

13 % de notre panel est constitué de personnes ayant une activité de conseil. On les retrouve principalement chez les 50-59 ans et les 60-69 ans. Ils représentent 19,05 % des 50-59 ans et 28,57 % des 60-69 ans.

11 % des répondants sont des personnes exerçant une activité de direction immobilière. On les retrouve principalement chez les 20-29 ans et les 30-39 ans. Ils représentent 14,81 % des 20-29 ans et 17,65 % des 30-39 ans.

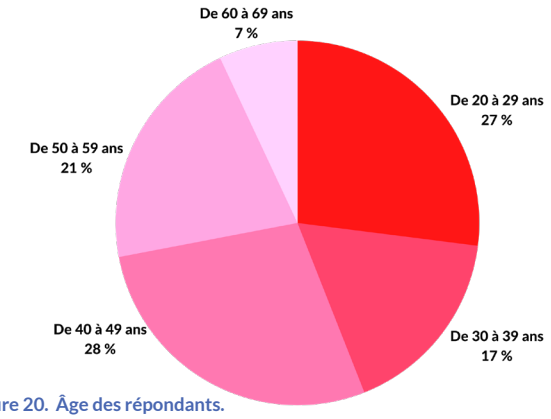


Figure 20. Âge des répondants.

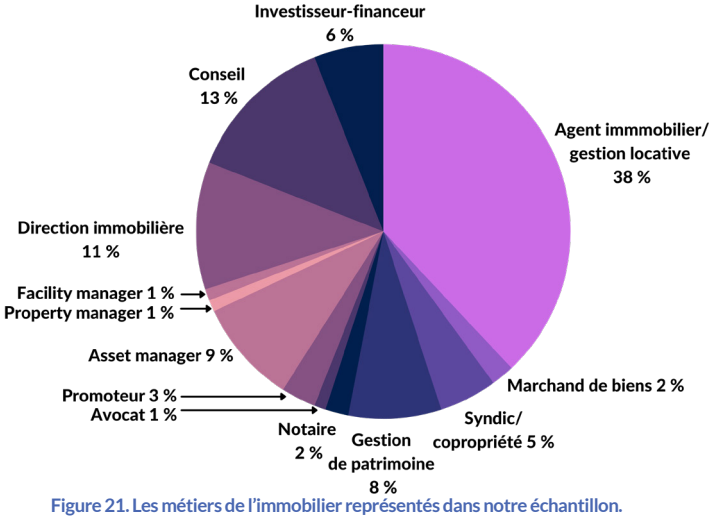


Figure 21. Les métiers de l'immobilier représentés dans notre échantillon.

03

Résultats de l'enquête et synthèse : confiance et connaissance de la blockchain

Trois grandes thématiques permettent de structurer les principaux résultats de l'enquête menée : la confiance et la connaissance de la blockchain (atouts, droit, acceptation de l'usage, sécurité), la capacité de la blockchain à améliorer les pratiques professionnelles et, enfin, les freins à l'usage de la blockchain.

Le découpage de ce questionnaire a été construit en plusieurs étapes. Nous avons d'abord cherché à identifier le degré de connaissance des acteurs de l'immobilier quant à la blockchain et leur niveau de confiance envers elle.

À priori, l'hypothèse de méconnaissance de la blockchain dans sa globalité est levée pour le panel de répondants. Par ailleurs, les plus âgés en ont globalement une meilleure connaissance que les plus jeunes.

Les acteurs de l'immobilier ont entendu parler, comme la majorité des citoyens, des cryptomonnaies :

75,51 % des interviewés connaissent les cryptomonnaies.

40 % seulement des répondants sont informés de la tokenisation.

34 % de notre panel connaît le terme de « *smart contract* ».

Il est à remarquer qu'il est courant que les répondants ne connaissent que la cryptomonnaie. Cependant, il est rare qu'ils entendent seulement le terme de tokenisation ou celui de *smart contract*. Lorsqu'ils connaissent l'un de ces deux termes, ils sont informés aussi, en général, d'au moins une autre application de la blockchain.

De plus, une majorité des répondants (66,33 %) voit la blockchain comme un registre incorruptible, alors que seulement 17,82 % ont un avis négatif sur la question et 15,84 % ne se prononcent pas.

Notons que lorsque nous demandons aux répondants d'indiquer des applications de la blockchain, les mots suivants ressortent :

LES ATOUTS DE LA BLOCKCHAIN

Les atouts de la blockchain sont :

pour **67 %** des interviewés, l'amélioration de la vitesse des transactions.

pour **62 %** : la non-falsifiabilité et la sécurisation.

pour **59 %** : la transparence des opérations.

pour **57 %** : la décentralisation du système.

Cependant, ces résultats cachent des disparités. En effet, si les agents immobiliers, les syndics, les promoteurs immobiliers et les métiers de conseil considèrent que la non-falsifiabilité et la sécurisation de la base de données constituent un atout de la blockchain, les marchands de biens, les asset managers et les directeurs immobiliers sont plus négatifs sur ce point, et l'avis des gestionnaires de patrimoine et des investisseurs-financeurs est plus mitigé. D'autre part, la transparence des opérations est un

point fort qui souffre de peu d'avis négatifs, tout comme l'amélioration de la vitesse des transactions et la réduction des coûts. Le fait que la blockchain permette de couper des intermédiaires est un avantage fortement discuté par les répondants. Les marchands de biens et les syndics pensent qu'il s'agit là d'un atout. Cependant, les agents immobiliers et les investisseurs-financeurs sont négatifs sur ce point. Les autres professions sont par ailleurs globalement mitigées. Enfin, notons que la réduction de la fraude n'est clairement pas un atout de la blockchain pour notre panel. Seuls les agents immobiliers, les gestionnaires de patrimoine et les promoteurs immobiliers ont une opinion nuancée sur cette question.

Enfin, remarquons que la qualité de la blockchain la moins considérée est son immuabilité. Seuls 20 % des répondants estiment ce critère comme étant un atout, et aucune profession interrogée ne le met en avant.

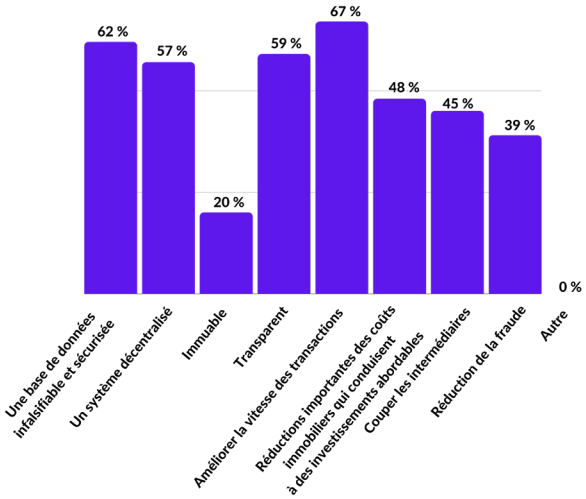


Figure 22. Les atouts de la blockchain selon notre échantillon.

Les principales propositions d'application de la blockchain faites par les répondants sont représentées dans le nuage de mots ci-après. Elles concernent :

- la gestion de l'immeuble, des transactions et des documents aussi bien au niveau financier, des baux ;
- la phase de construction, gestion et traçabilité des matériaux, labels et normes... ;
- la dimension fiancière des transactions entre les différents acteurs de l'immobilier.

L'ADÉQUATION DE LA BLOCKCHAIN AU DROIT

La blockchain est en adéquation, au moins partiellement, avec le droit pour :

85,71 % des 60-69 ans.

59,26 % des 20-29 ans

1/3 des moins de 49 ans, au moins, ne savent pas.

En ce qui concerne le droit, quel que soit l'âge, une minorité de répondants considère que la blockchain n'est pas autorisée par le droit, et au moins un tiers des moins de 49 ans ne savent pas. Ce sont les plus âgés qui sont les plus positifs sur l'adéquation de la blockchain au droit.

Chez les plus jeunes, 59,26 % des 20-29 ans, 52,94 % des 30-39 ans et 51,72 % des 40-49 ans estiment que le droit autorise au moins partiellement l'usage de la blockchain. Les répondants appartenant aux tranches d'âge les plus hautes sont beaucoup plus positifs sur cette question. Ils sont en effet 71,43 % des 50-59 ans et 85,71 % des 60-69 ans à penser que la blockchain est au moins partiellement autorisée par le droit.

Globalement, toutes les professions sont mitigées sur la question. Seuls les directeurs immobiliers et les répondants ayant une activité de conseil sont majoritairement positifs vis-à-vis de l'adéquation de l'usage de la blockchain au droit. Les exemples d'usages non autorisés de la blockchain mentionnés par les répondants sont surtout centrés sur les actes notariés, les usages des bases de données, l'usage des données personnelles à des fins de discrimination, ou commerciales.

L'ACCEPTATION PAR LES PARTENAIRES ET LES CLIENTS

Concernant l'acceptation de la blockchain par les partenaires et les clients des interrogés :

57 % répondent favorablement.

33 % ne sont plutôt pas d'accord.

10 % pensent que non.

60 % des interrogés n'ont pas répondu.

L'acceptation de l'usage de la blockchain par les partenaires et les clients est un élément essentiel de la capacité à introduire cette technologie dans les pratiques professionnelles. Les chiffres ci-dessus permettent d'affirmer que, pour ceux qui ont répondu à cette question, les parties prenantes externes seraient plutôt favorables à l'utilisation de la blockchain.
Qu'en est-il des freins énoncés ? Beaucoup des justifications reposent sur la notion de confiance : confiance en la technologie, les usages de la blockchain, qui font écho à la méconnaissance, freins culturels à l'usage d'une technologie.
Quelques verbatim : « *Le principe même de la blockchain est la distribution et l'adoption par tous, donc aujourd'hui il est difficile de l'adopter.* » ; « *La notion de blockchain est encore très floue. Son utilisation est réduite, et les connaissances que la population en a ne permettent pas une utilisation optimale de celle-ci.* »

LA CONFIANCE QUANT À L'AUTHENTIFICATION ET À LA SIGNATURE D'UN DOCUMENT

Concernant la confiance dans la blockchain pour authentifier ou signer un document :

70,07 % des interrogés répondent favorablement.

16,83 % seulement de répondants sont passifs.

12,87 % sont des détracteurs.

Globalement, 70 % des populations de chacun des métiers qui constituent notre échantillon font confiance à la blockchain pour authentifier et signer un document. Seuls les investisseurs-financeurs, les asset managers et les gestionnaires de patrimoine sont plus mitigés.

LA CONFIANCE QUANT À LA VALIDATION DES TERMES D'UN BAIL

Font confiance à la blockchain pour valider les termes d'un bail et le signer :

75 % du panel interrogé, quasiment.

83,34 % des promoteurs immobiliers.

85,73 % des 60-69 ans.

Cette confiance, dans la situation plus précise d'un bail, est un peu plus élevée que pour l'authentification et la signature d'un document.

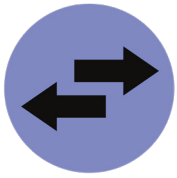
14 % des répondants sont indifférents, et 12 % ne font pas confiance à la blockchain dans ce domaine précis. Les métiers les plus réticents sont les asset managers et les investisseurs. Les agents immobiliers (à 82,36 %) et les promoteurs immobiliers (à 83,34 %) sont ceux qui font le plus confiance à la blockchain pour valider les termes d'un bail et le signer. Aucun des promoteurs ne fait preuve de défiance à son égard en la matière, contrairement à 14,7 % des agents immobiliers.

Ce sont les personnes les plus âgées parmi les répondants qui font majoritairement le plus confiance à la blockchain pour valider les termes d'un bail et le signer. C'est ainsi le cas de 85,72 % des 50-59 ans et de 85,73 % des 60-69 ans. Aucun des 60-69 ans ne sont des détracteurs de la blockchain en matière de bail, et seulement 14,29 % d'entre eux sont indifférents. 76,47 % des 30-39 ans et 72,4 % des 40-49 ans font confiance à la blockchain. En revanche, ce n'est le cas que de 62,95 % des 20-29 ans.

Globalement, 65 % de notre panel fait confiance à la blockchain pour à la fois authentifier un document et valider un bail.

LA CONFIANCE QUANT AU TRANSFERT DE PROPRIÉTÉ

Font confiance à la blockchain pour le transfert de propriété :



60 % environ des répondants, avec le maintien du rôle du notaire comme tiers qui valide et reste garant.

71,42 % des 60-69 ans.

66 % des asset managers ne sont pas de cet avis.

« *Pratique déjà utilisée chez les notaires. À contrario d'un bail, la fiabilité et la sécurité d'un notaire* (officier ministériel) *donne une force probante à la signature même si elle est électronique. À contrario si un bail commercial est signé par le biais d'une agence, le risque est plus élevé.* »

En observant au sein des classes d'âge, 59,25 % des 20-29 ans font confiance à la blockchain pour effectuer un transfert de propriété. Ils représentent 58,92 % des

30-39 ans, 44,82 % des 40-49 ans, 61,91 % des 50-59 ans et 71,42 % des 60-69 ans. 25,93 % des 20-29 ans sont indifférents. C'est aussi le cas de 41,38 % des 40-49 ans, 8 % des 50-59 ans et 14,29 % des 60-69 ans mais d'aucun des 30-39 ans.

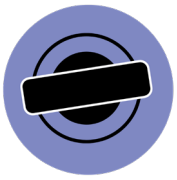
L'observation par métier nous indique que ce sont les asset managers qui font le moins confiance à la blockchain pour effectuer un transfert de propriété. En effet, c'est le cas de 66 % d'entre-eux. Les gestionnaires de patrimoine et les investisseurs-financeurs sont mitigés sur cette question.

D'autres professions sont plus positives sur ce sujet. Par exemple, seulement 26,47 % des agents immobiliers ne font pas confiance à la blockchain pour réaliser un transfert de propriété. Ce taux est de 15,79 % chez les promoteurs immobiliers. Le taux d'adhésion des agents immobiliers est de 61,77 % et celui des promoteurs est de 57,9 %. Par ailleurs, seulement 11,76 % des agents immobiliers et 26,31 % des promoteurs immobiliers sont indifférents.

LA CONFIANCE QUANT À LA VALIDATION DES ACTES ADMINISTRATIFS PAR LA COMMUNE

Quelle est la position des différents professionnels interrogés vis-à-vis de la possibilité d'utiliser la blockchain pour valider des actes administratifs à l'échelle communale comme l'exercice du droit de préemption, l'autorisation et le refus du permis de construire ?

Sont favorables à l'utilisation de la blockchain par la commune pour valider les actes administratifs :



70 % des personnes interrogées.

100 % des 60-69 ans.

50 % des asset managers.

Si nous déclinons par tranche d'âge, le taux de personnes interrogées favorables à la blockchain est de 65,38 % chez les 20-29 ans 70,59 % chez les 30-39 ans, 72,41 % des 40-49 ans, 70 % des 50-59 ans et 100 % des 60-69 ans des professionnels de l'immobilier qui ont répondu à notre enquête.

En ce qui concerne ceux qui sont indifférents, ils représentent 19,23 % des 20-29 ans, 11,76 % des 30-39 ans, 13,8 % des 40-49 ans, 5 % des 50-59 ans.

L'observation par métier nous indique que les asset managers et les promoteurs immobiliers sont les plus réticents. Ils ont globalement un avis mitigé sur cette question. En effet, 50 % des asset managers et 57,14 % des promoteurs ont un avis positif contre 76,47 % des agents immobiliers de notre panel et 72,19 % des directeurs immobiliers. La confiance est de 70 % en activité de conseil et de 66,67 % des investisseurs-financeurs.

Globalement, la très grande majorité des personnes des différentes professions sont soit indifférentes, soit favorables à l'usage de la blockchain par la commune pour les actes administratifs.

LA CONFIANCE QUANT AU TRANSFERT DE DONNÉES SENSIBLES

Font confiance à la blockchain pour transférer des données sensibles (comme la feuille de paie, la déclaration de revenus) :

60 % environ de notre panel.

76,19 % des 50-59 ans.

90,01 % des interrogés exerçant une activité de conseil en immobilier.

La proportion d'interrogés favorables à l'usage de la blockchain pour le transfert de données sensibles est de 64,7 % chez les 30-39 ans, de 55,18 % des 40-49 ans, de 76,19 % des 50-59 ans et 71,43 % des 60-69 ans.

L'observation par métier nous montre que ce sont les métiers de conseil qui sont les plus favorables, à 90,01 %, suivis des investisseurs-financeurs pour 66,67 % puis des agents immobiliers (58,82 %) et, enfin, des promoteurs immobiliers à 57,89 %. Les directeurs immobiliers sont mitigés sur la question (37,5 % d'avis positifs), et les asset managers sont les plus réfractaires, avec 83,33 % d'avis défavorables.

04

La capacité de la blockchain à améliorer les pratiques professionnnelles

Nous analysons ensuite les principales dimensions qui caractérisent le potentiel usage de la blockchain dans les pratiques professionnelles et , tout d'abord, ses atouts. À savoir : la rapidité, la sécurité, l'accélération des processus administratifs, la numérisation du bail, l'amélioration de la rentabilité et des flux financiers et le gain de temps, la désintermédiation. Sans omettre la question de son déploiement dans l'entreprise.

LA BLOCKCHAIN PERMETTRA-T-ELLE... UN GAIN DE TEMPS ?

La blockchain représente un gain de temps pour :

86,13 % des interrogés.

80 % au moins des répondants d'une même classe d'âge.

90,91 % des métiers de conseil.

Seulement 2,97 % des professionnels interrogés estiment que la blockchain n'offre pas un gain de temps, et 10,89 % sont indécis. Lorsque les résultats sont observés par métier, ils sont favorables mais un peu plus hétérogènes. En effet, 85,29 % des agents immobiliers considèrent la blockchain comme un moyen de gagner du temps. C'est le cas de 66,67 % des asset managers, de 73 % des promoteurs immobiliers, de 80 % des syndics, de 83 % des notaires, de 90,91 % des personnes ayant une activité de conseil, et de 100 % des directeurs immobiliers et des investisseurs-financeurs interrogés.

...DE MIEUX SÉCURISER LES DONNÉES ?

La blockchain améliore la sécurité des données pour :

79,20 % des personnes interrogées.

70 % au moins des répondants de chaque classe d'âge.

75 % au moins de ceux exerçant une même fonction.

8,91 % des personnes interrogées ne considèrent pas que la blockchain soit un bon moyen de sécuriser les données de l'entreprise, et 11,88 % sont indécises à ce sujet. L'observation par métier nous indique que, globalement, au moins 75 % des personnes ayant une même fonction sont d'accord pour dire que la blockchain permettra de sécuriser les données de l'entreprise. Cependant, ce taux n'est que de 33,33 % des asset managers ayant répondu à notre enquête et 66,67 % des financeurs-investisseurs.

...L'ACCÉLÉRATION DES PROCESSUS ADMINISTRATIFS ?

La blockchain accélère les processus adminsitratifs (ex. : déclaration d'intention d'aliéner) pour :

84,15 % des personnes interrogées.

100 % des 60-69 ans.

100 % des marchands de biens, des gestionnaires de patrimoine, des notaires, des directeurs immobiliers, des personnes ayant une activité de conseil et des investisseurs-financeurs.

5,94 % ne sont pas d'accord quant à l'accélération des processus administratifs grâce à la blockchain, et 9,90 % sont indécis. Parmi les plus confiants, nous trouvons les 20-29 ans, d'accord à 92,59 %, et les 60-69 ans, d'accord pour 100 % d'entre eux. Les 40-49 ans et 50-59 ans sont d'accord pour environ 80 % d'entre eux. Seuls les 30-39 ans ne sont que 76,47 % à être d'accord. Globalement, nous pouvons ainsi considérer que, quelle que soit la tranche d'âge, les individus sont majoritairement d'accord avec l'idée que la blockchain puisse accélérer les process administratifs.

En ce qui concerne l'observation par métier, 82,35 % des agents immobiliers partagent cette opinion. Par ailleurs, 11,76 % d'entre eux ne se prononcent pas. L'adhésion est de 100 % chez les marchands de biens, les gestionnaires de patrimoine, les notaires, les directeurs immobiliers, les personnes ayant une activité de conseil et les investisseurs-financeurs de notre panel. Au sein du métier de syndic, 80 % des personnes interrogées sont d'accord. Cette proportion est de 66,67 % chez les asset managers, pour 33,33 % qui ne répondent pas. Les promoteurs immobiliers sont d'accord à 73,68 % ; 15,79 % d'entre eux ne se prononcent pas et 10,53 % ont un avis négatif. Enfin, les notaires du panel ont une opinion mitigée, 50 % étant plutôt d'accord et l'autre moitié plutôt pas d'accord.

...DE NUMÉRISER LE BAIL ?

La blockchain permettra la numérisation du bail pour :

84,15 % des personnes interrogées.

80 %, au moins, pour chaque classe d'âge.

80 %, au moins, pour chaque profession (sauf les promoteurs et les asset managers).

Si, pour 84,15 % des personnes interrogées, la blockchain permettra la numérisation du bail, les autres ont à part égale un avis négatif ou ne se prononcent pas.
Mis à part les promoteurs immobiliers, d'accord à 68,42 % d'entre eux et les asset managers, d'accord à 50 % d'entre eux, la part des personnes d'accord ou tout à fait d'accord avec ce rôle de la blockchain est d'au moins 80 % parmi toutes les autres professions du panel.

...D'AMÉLIORER LA RENTABILITÉ, DE DIMINUER LES COÛTS ET DE GAGNER DU TEMPS ?

La blockchain permet une amélioration de la rentabilité pour :

68,32 % de notre panel.

55,56 % des 20-29 ans.

83,33 % des gestionnaires.

Globalement, plus de 60 % des répondants considèrent que la blockchain permettra tout à la fois d'améliorer la rentabilité, de diminuer les coûts et de gagner du temps. Plus précisément, 68,32 % de notre panel estime que la blockchain peut permettre d'améliorer la rentabilité, 13,86 % ont un avis négatif sur la question et les autres ne s'expriment pas sur la question. Les proportions sont équivalentes en ce qui concerne la capacité de la blockchain à réduire les coûts. En revanche, 85,15 % des répondants considèrent que la blockchain constitue une opportunité pour gagner du temps. Ils ne sont que 5,94 % à avoir un avis négatif.

Les plus jeunes, de 20 à 29 ans, et les 40-49 ans sont les plus sceptiques. Seuls 55,56 % des 20-29 ans ont un avis favorable quant à l'effet bénéfique de la blockchain sur la rentabilité ; 25,93 % d'entre eux ne se prononcent pas. La proportion des 40-49 ans exprimant un avis favorable est de 65,52 %, mais presqu'un quart d'entre eux n'ont pas d'avis sur la question. Par ailleurs, au sein des autres classes d'âge, la part d'avis favorables quant à la capacité de la blockchain à permettre une amélioration de la rentabilité est d'au moins 76 %. Les proportions, bien qu'un peu plus faibles de quelques points, sont à peu près équivalentes vis-à-vis de la capacité de la blockchain à faire baisser les coûts, sauf pour les 60-69 ans, qui ne sont que 57,14 % à avoir un avis positif sur ce rôle de la blockchain alors qu'ils la plébiscitent pour améliorer la rentabilité à 85,71 %. De plus, 28,57 % d'entre eux ne se prononcent pas. Cela montre que pour les professionnels les plus expérimentés de notre panel le levier qui permettra à la blockchain d'améliorer la rentabilité n'est pas forcément la baisse des coûts. Par ailleurs, toutes les classes d'âge considèrent que la blockchain constituera un gain de temps. Les 40-49 ans sont les plus critiques sur la question, puisqu'ils ne sont d'accord qu'à 72,41 %. Les autres classes d'âge sont d'accord à plus de 85 % de leur effectif respectif avec l'idée d'un gain de temps grâce à la blockchain.

Les agents immobiliers sont 64,71 % à considérer que la blockchain aura un effet positif sur la rentabilité, et 23,53 % d'entre eux ne se prononcent pas. Les syndics sont 80 % à avoir un avis positif, et 20 % à être plutôt pas d'accord. Les gestionnaires de patrimoine ont répondu positivement à 83,33 %, le reste des répondants ne se prononçant pas. Les plus critiques sont les notaires (avis positif à 50 %), les promoteurs immobiliers (57,89 % d'avis positif), les asset managers (50 % d'avis positif), les directeurs immobiliers (50 % d'avis positif) et les investisseurs-financeurs (66,67 % d'avis positif). En ce qui concerne l'effet sur la baisse des coûts, les proportions sont équivalentes. De plus, très majoritairement, les professionnels des différents métiers envisagent la blockchain comme une source de gain de temps. En effet, mis à part les asset managers qui ne sont d'accord qu'à 66,67 %, les autres professionnels le sont à 80 % de leur effectif.

...DE JOUER UN RÔLE DANS LA DÉSINTERMÉDIATION ?

La blockchain jouera un rôle dans la désintermédiation pour :

60,40 % des répondants.

48,28 % des 40-49 ans.

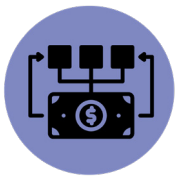
33,33 % des gestionnaires de patrimoine.

Les réactions à cette question sont très mitigées. 26,73 % des répondants y répondent défavorablement. Les plus âgés (60-69 ans) sont tous d'accord avec l'idée que la blockchain puisse jouer un rôle de désintermédiation. Cependant, les 40-49 ans ne le sont qu'à hauteur de 48,28 % d'entre eux, et ce taux n'est que de 57,14 % chez les 50-59 ans. Les 20-29 ans et les 30-39 ans sont plus optimistes à ce sujet, avec des taux d'accord respectivement de 62,96 % et de 64,71 %.

Parmi les professions critiques, nous retrouvons les agents immobiliers, qui ne sont d'accord avec l'idée que la blockchain permettrait la désintermédiation qu'à 47 % d'entre eux, les gestionnaires de patrimoine, dont le taux d'adhésion à ce rôle de la blockchain est de 33,33 % et les directeurs immobiliers (37,50 %). Les autres professions sont majoritairement pour.

... D'AMÉLIORER LES FLUX FINANCIERS ?

La blockchain permettra l'amélioration des flux financiers (loyers, charges, caution) pour :



66,34 % des répondants.

71,43 % des 60-69 ans.

33,33 % des asset managers.

Si pour 66,34 % des répondants, la blockchain permet d'améliorer les flux financiers, au contraire, 17,82 % du panel n'est pas de cet avis.

Quel que soit leur âge, les répondants considèrent majoritairement que la blockchain permettrait d'améliorer les flux financiers. Ils sont 70,37 % des 20-29 ans à être d'accord, 64,71 % des 30-39 ans, 58,52 % des 40-49 ans, 71,43 % des 50-59 ans et 71,43 % des 60-69 ans. Toutefois, les plus critiques et les plus tranchés sur la question sont les répondants âgés de 60 à 69 ans, dont 28,57 % des répondants ont un avis négatif sur la question alors que les 40-49 ans, dont le taux d'adhésion à ce rôle de la blockchain est le plus faible, ne sont en désaccord qu'à hauteur de 13,79 % d'entre eux, les 27,59 % restant étant sans opinion sur la question.

Majoritairement, à 61,76 %, les agents immobiliers estiment que la blockchain améliorera les flux financiers. 26,47 % d'entre eux sont sans opinion à ce sujet. Les investisseurs-financeurs sont d'accord avec ce rôle de la blockchain à 66,67 %, et 16,67 % d'entre eux ne se prononcent pas. Les promoteurs immobiliers sont en accord dans des proportions similaires (68,42 %) mais en désaccord dans une proportion plus importante (21,06 %).

En revanche, les marchands de biens, les syndics et les notaires qui composent notre panel considèrent tous que la blockchain est une opportunité en matière de flux financiers.

Par ailleurs, les plus critiques sont les directeurs immobiliers, qui ne sont d'accord qu'à 33,50 % et plutôt pas d'accord à 62,50 %. Les asset managers ont quant à eux un avis négatif mais plus mitigé sur la question. Ils sont plutôt d'accord avec ce rôle de la blockchain à 33,33 %, plutôt pas d'accord à 33,33 % et ne se prononcent pas à 33,33 %.

POUR INITIER UNE SOLUTION BLOCKCHAIN, VOS INTERLOCUTEURS PRIVILÉGIÉS SERAIENT-ILS PLUTÔT EN INTERNE ?

Une crainte quant à la disponibilité des ressources humaines pour relever ce défi est exprimée par :

près de **80 %** des répondants.

53,33 % d'entre eux qui travaillent dans une grande entreprise (GE).

60,40 % des répondants sont prêts à avoir recours à un prestataire extérieur pour l'usage de la blockchain.

Les répondants qui exercent au sein d'une petite ou moyenne entreprise (PME) expriment également majoritairement une crainte forte, à hauteur de 50 % d'entre eux. Ceux qui travaillent dans une entreprise de taille intermédiaire (ETI) ou en microentreprise (ME) affichent en revanche une crainte moyenne, respectivement à hauteur de 42,86 % et 46,88 % d'entre eux. Très peu de répondants, quelle que soit la taille de leur entreprise, considèrent que l'accès aux compétences sera un frein faible. En effet, la part de ceux qui voient la disponibilité des compétences comme un frein négligeable est de 15 % au sein des PME, 20 % au sein des GE, 25 % au sein des ME et 28,57 % de ceux qui exercent au sein d'une ETI. Une meilleure connaissance des principaux acteurs de la blockchain en France et des nouvelles pratiques est indispensable.

05
Les freins à l'usage de la blockchain

À travers des propositions assez diversifiées de freins que l'on trouve habituellement dans les études concernant la blockchain (EY…), nous pouvons effectuer un regroupement en trois catégories : les freins les plus forts, ceux de moyenne ampleur et ceux les moins forts.

LES FREINS LES PLUS FORTS

Les freins les plus forts sont :

- à **57 %** des répondants, le monopole de l'authentification et de la publication des documents par le notaire ;
- à **45 %,** le monopole de l'État quant à l'émission de la monnaie ;
- à **41 %,** le manque de compétences disponibles dans la blockchain pour développer des solutions ;
- à **39 %,** la réglementation et le cadre légal ;
- à **38 %,** la consommation énergétique de la blockchain.

Le monopole de l'authentification des documents par les notaires est mis en avant par toutes les classes d'âge et toutes les professions. Seuls les marchands de biens et ceux qui exercent une activité de conseil n'expriment pas une position clairement négative ; leur avis n'est pas nettement positif non plus, mais mitigé. Le monopole étatique quant à l'émission de la monnaie constitue un frein important principalement pour les 50-59 et les 60-69 ans. Ce frein est très marqué chez les agents immobiliers, les syndics, les gestionnaires de patrimoine, les promoteurs immobiliers, les conseillers et les directeurs immobiliers. Mis à part les asset managers, les autres professions sont nuancées sur cette question. Le manque de compétences disponibles constitue une entrave mise en avant surtout par les plus jeunes (20-29 et 30-39 ans). Cet obstacle est considéré majoritairement par les syndics, les promoteurs immobiliers et les personnes exerçant une activité de conseil. Seuls les marchands de biens ne voient pas le manque de compétences disponibles comme une limite. En ce qui concerne la réglementation, ce sont principalement les 60-69 ans qui estiment qu'elle peut constituer une difficulté à l'usage de la blockchain. Les asset managers, les promoteurs, les investisseurs-financeurs, les directeurs immobiliers et les professions de conseil constituent ceux dont l'avis est le plus négatif sur la question. Les gestionnaires de patrimoine et les marchands de biens ne voient pas la réglementation comme un frein. La consommation énergétique de la blockchain en est un autre, sur lequel insistent beaucoup les 20-29 et les 60-69 ans. Les professions qui appuient réellement sur ce frein sont les syndics, les investisseurs-financeurs et les métiers de conseil. Les gestionnaires de patrimoine et les promoteurs immobiliers sont mitigés.

LES FREINS DE MOYENNE AMPLEUR

Les freins moins marqués concernent les droits de propriété intellectuelle et la protection des données personnelles. Ce sont les 60-69 ans qui estiment principalement que ces derniers constituent un obstacle important à l'emploi de la blockchain. Ce n'est pas le cas des autres classes d'âge. Les syndics et les promoteurs immobiliers sont ceux qui considèrent majoritairement les droits de propriété intellectuelle comme une entrave. Par ailleurs, les métiers qui envisagent le plus la protection des données personnelles comme un frein sont les marchands de biens et les directeurs immobiliers.

LES FREINS LES MOINS FORTS

Les freins les moins forts sont la signature électronique et les conditions de validité des contrats passés. Ces deux freins sont considérés principalement par les 60-69 ans. Les syndics sont 100 % à estimer la signature électronique comme un frein très important, et 80 % pour les conditions de validité du contrat. Les investisseurs-financeurs pensent à 70 % que ces dernières constituent une entrave.

05
Préconisations

Pour les acteurs de l'immobilier mais aussi dans de nombreux autres secteurs, cette première étude nous amène à faire plusieurs préconisations : acculture et former ; communiquer sur l'ensemble des atouts de la blockchain et les assurer ; lever les freins ; démontrer l'opérabilité de la blockchain comme outil permettant de s'affranchir de certaines tâches ; changer de dimension.

ACCULTURER ET FORMER

Il est tout d'abord primordial de renforcer la connaissance que les acteurs ont de la blockchain, notamment sur le triptyque tokenisation/cryptomonnaie/*smart contract (voir l'annexe 1)*. La blockchain est avant tout connue au travers de la cryptomonnaie bitcoin, ce qui a tendance à l'enfermer dans cette acception.

Or, si cela ne pose pas de problème dans la vision anarchiste des concepteurs initiaux de cette technologie, il est important d'élargir la vision de la blockchain qu'en ont les acteurs économiques à la tokenisation et au *smart contract* dès lors que son usage se normalise. Ainsi, le *smart contract* est l'élément essentiel sur lequel il sera nécessaire de former.

COMMUNIQUER SUR LES ATOUTS DE LA BLOCKCHAIN ET LES ASSURER

Les atouts de la blockchain sur lesquels insistent les professionnels interrogés portent principalement sur la transparence du système, l'amélioration de la vitesse des transactions et la réduction importante des coûts et, dans une moindre mesure, la non-falsifiabilité et la sécurisation de la base de données. L'immuabilité du système ainsi que la réduction de la fraude sont peu considérées comme des avantages.

Cependant, si les professionnels insistent sur les atouts qui relèvent avant tout de leur efficacité économique, ces points forts constituent des éléments importants de la confiance en la blockchain et de sa capacité à être utilisée de manière pérenne par le système économique.
Ceci est d'autant plus important que cette technologie a une réputation sulfureuse liée à ses premières utilisations par les acteurs de l'économie souterraine.

LEVER LES FREINS

Nous avons pu constater que, mis à part la nécessité d'améliorer sa connaissance, cette technologie jouit de la part des professionnels d'une grande confiance de la part des répondants. Cependant, ces mêmes professionnels restent dubitatifs quant à la capacité opérationnelle de la blockchain du fait de l'existence de nombreux freins.

Il est notamment important, étant donné les craintes exprimées au sein de notre panel, de former et de faire gagner en compétences sur la blockchain. Ceci peut se faire par le biais de la formation professionnelle afin de développer ces compétences nécessaires. L'émergence d'acteurs économiques aux aptitudes particulières, qui permettent l'externalisation lors de l'initialisation des projets blockchain, représente aussi une solution.

Des freins liés au cadre juridique doivent aussi être levés. Ainsi, il faut maintenir une réglementation stable afin d'assurer aux acteurs la pérennité de l'usage de la technologie. Il est aussi nécessaire d'affirmer la cohérence entre la blockchain et le cadre juridique français de protection des données personnelles.
La question environnementale étant d'importance de nos jours, l'adéquation entre la consommation énergétique de la blockchain et le cadre juridique afférent est aussi à consolider.

De plus, la question du monopole étatique d'émission de la monnaie est un frein régulièrement soulevé, qui nécessite l'établissement par le réglementeur d'un cadre stable qui assure la légalité et la pérennité de l'usage d'une cryptomonnaie. Enfin, il sera nécessaire de clarifier le rôle de la blockchain en lien avec les notaires, compte tenu du monopole de ces derniers en matière d'authentification des documents.

DÉMONTRER L'OPÉRABILITÉ DE LA BLOCKCHAIN POUR S'AFFRANCHIR DE CERTAINES TÂCHES

Il convient d'argumenter en faveur de l'utilisation de la blockchain comme un outil qui permet de se libérer de certaines tâches redondantes et chronophages, pour mieux se concentrer sur les segments à forte valeur ajoutée.
Le large champ d'application de la blockchain au secteur de l'immobilier témoigne des potentiels aussi bien dans la transaction que la gestion locative, l'investissement ou la gestion des actifs. Des applications sont possibles à toutes les étapes de la transaction immobilière. En commençant par la collecte des informations jusqu'à la constitution des dossiers sécurisés, que tous les professionnels pourraient utiliser, la sécurisation et l'encadrement de ces actes en seraient facilités. Le cryptage et la transparence des informations seraient les atouts d'une collecte de données fiables.

Ce n'est pas la désintermédiation qui est prônée, mais l'opportunité pour tous les acteurs de se concentrer sur des tâches centrales et à forte valeur ajoutée. « La blockchain permet de s'accorder sur la chronologie des documents, de s'assurer qu'ils n'ont pas été modifiés et que chacun se réfère bien au même contenu. Ce qui permet de gagner de la confiance et du temps. De quoi réaliser en deux mois une transaction qui en prend aujourd'hui six », selon les partenaires de l'opération In & Out (PwC, 2020 ; *voir aussi p. 48*).
Pour les transactions, la tokenisation des actifs immobiliers ouvrirait un accès à des investissements pour une partie de la population qui en est exclue pour l'instant. Cela faciliterait aussi certaines tâches, par exemple le test obligatoire mené par le « conseiller » quant aux risques en cas de placements financiers. Qu'il soit conseiller en investissements financiers, prestataire de services d'investissement, organisme d'assurance ou intermédiaire d'assurance, il doit recueillir un certain nombre de renseignements avant de proposer un placement financier ou un contrat d'assurance-vie.
Pour les property managers, la blockchain servirait de registre sécurisé et de suivi de l'ensemble des informations d'exploitation et de gestion de l'immeuble. Et, pour les promoteurs immobiliers, le BIM serait sur la blockchain et représenterait un outil qui permet également un suivi, une validation en temps réel de l'ensemble des informations nécessaires à chaque étape de la construction à l'exploitation.

CHANGER DE DIMENSION

La maturité des acteurs doit être accompagnée d'un plan et d'une stratégie plus globale, c'est-à-dire aux niveaux national et européen. En effet, plusieurs pays s'y consacrent plutôt au niveau national. En Allemagne, le 29 juin 2017, une fédération de la blockchain est fondée à Berlin. Elle compte plus de 20 groupes de travail et publie en octobre de la même année un document de position contenant des recommandations visant à faire de l'Allemagne un acteur mondial dans l'écosystème mondial des blockchains (Glatz, 2017).

Deux ans plus tard, en septembre 2019, le gouvernement fédéral allemand initie une stratégie globale sur les chaînes de solidarité. Elle vise à assurer la souveraineté numérique et la capacité concurrentielle de l'Allemagne et de l'Europe et à soutenir la transformation numérique déjà engagée dans le pays. Une attention particulière est ainsi accordée à la création d'un cadre réglementaire axé sur l'investissement, la croissance pour le développement et sur l'utilisation de la technologie de la blockchain. La stratégie prévoit diverses mesures pour examiner dans un premier temps l'adéquation de la technologie de la blockchain aux projets de la transformation numérique. Des *living labs* et des tables rondes sur la blockchain sont lancés afin d'accélérer les échanges entre les multiples parties prenantes.
Il est prévu que ces mesures prennent la forme de ces quatre domaines d'action :

- Assurer la stabilité et stimuler l'innovation par la création de cadres légaux et réglementaires clairs et stables. Le gouvernement fédéral veut encourager les investissements dans les technologies numériques et maintenir la stabilité du système financier. Il publiera un projet de loi visant à réglementer l'offre publique de certains cryptotokens.
- Amener l'innovation à maturité. À cette fin, des projets et des laboratoires dynamiques issus de domaines d'application spécifiques sont encouragés : à savoir l'énergie, le droit, la logistique, la production, la vérification de la certification de l'enseignement supérieur et la protection des consommateurs. Une mesure concrète dans le secteur de l'énergie est le pilotage par le gouvernement fédéral d'une connexion des systèmes énergétiques basée sur une chaîne de blocs.
- Favoriser les investissements. Le gouvernement fédéral cherche à offrir aux entreprises et aux organisations une sécurité d'investissement suffisante pour l'utilisation de la technologie de la chaîne complète en mettant en place des conditions cadres claires (développement de normes, possibilité de certification et respect des exigences de sécurité informatique).
- Appliquer la technologie : dans ce domaine, le gouvernement fédéral se concentre plus particulièrement sur la technologie de la chaîne de blocs (blockchain-ba).

partie 6

LE *SMART BAIL* : *PROOF OF CONCEPT* (POC)

L'objectif de ce *Proof of Concept* (POC) est de se saisir d'une activité courante du professionnel de l'immobilier – la signature d'un bail – pour analyser ses « points de faiblesse » et comprendre en quoi une technologie blockchain pourrait les réduire, voire les faire disparaître, sans en créer de nouvelles.

01
Présentation du *Proof of Concept*

Les étapes de la signature d'un bail suivent généralement le même processus. Le POC se concentre sur la vie de ce bail, dès l'élaboration du contrat par les parties concernées.

Au commencement, un lot ou un bien (bureaux, appartement, entrepôt, commerce...) est déclaré vacant et est donc exposé au marché de la demande. Cela peut être fait en direct ou, plus couramment, par l'intermédiaire d'un agent immobilier qui se charge de trouver un preneur. Si toute cette première étape pourrait sans doute être fluidifiée, le présent POC s'est plutôt concentré sur les phases ultérieures.

Une fois le preneur pressenti trouvé, ce dernier et le bailleur échangent alors sur les modalités du contrat qui va les lier : le bail.
Dans la majorité des cas, la démarche est la suivante : l'une des parties (bailleur ou preneur) signifie à l'autre son intérêt (par le biais d'une lettre d'intention ou *Letter of Intent*), qui prend souvent la forme d'un courrier envoyé par voie électronique ou postale. Ce premier document comporte les principaux termes du bail à venir (prix, durée du bail, mesures d'accompagnement éventuelles, date de prise d'effet, etc.).
Une fois un accord trouvé sur ce premier courrier, les parties commencent la rédaction du bail. Cela se matérialise par un document électronique (format Word, par exemple), dont la trame est proposée par le bailleur. Ce dernier remplit cette trame avec les divers éléments requis (coordonnées du preneur, éléments financiers, charges...). Ce document est ensuite transmis au preneur, qui y appose ses modifications, puis le renvoie au bailleur... jusqu'à obtenir une version finale signée (manuellement ou électroniquement) par les parties. Elle est stockée dans un classeur (physique ou informatique) et ne sera plus modifiée.
Tout le long de la durée du bail, le département comptable du bailleur (ou ses partenaires en charge de la gestion locative) procède aux appels de charges, loyers, et organise la « vie du bail » en conformité avec les termes agréés. Les flux financiers transitent entre les banques du locataire et du bailleur avec une nécessité de recollement pour s'assurer de la bonne tenue comptable de la chose.
C'est précisément l'ensemble de ce process que nous avons souhaité simplifier via ce POC. L'idée générale est de pouvoir enregistrer dans un programme informatique tous les éléments du bail, de les négocier dans un formulaire et non plus dans un logiciel de traitement de texte, de les signer directement dans le formulaire via une preuve blockchain, de les enregistrer dans un *smart contract* Ethereum, puis de traduire les conditions du bail dans ce même programme qui autoexécutera les flux financiers de pair-à-pair, sans passer par une banque.

Ce POC a donc été divisé en deux phases :

- élaboration du « bail-formulaire informatique », gestion des KYC (*Know your Customer*, « connais ton client », à savoir la vérification d'identité) et des KYB (*Know your Business*, « connais ton business », soit la vérification de données ayant trait à la personne morale ou à l'entreprise) , enregistrement du « bail » dans un *smart contract* ;
- flux financiers : charges et loyers.

Nous présentons principalement la première phase, car la seconde nécessite encore des approfondissements, notamment pour ce qui concerne la tenue d'un portefeuille par les deux sociétés (bailleur et preneur), c'est-à-dire la manière dont l'entreprise (le payeur ou l'autre partie) peut héberger ses cryptoactifs (tel un compte bancaire, mais sans la banque).
À l'issue de ce POC, le *smart bail* va donc permettre de mettre en lien un locataire et un propriétaire grâce à un *smart contract*, c'est-à-dire une interface de contractualisation qui centralise la vérification, la négociation et l'exécution d'un contrat.
En créant un *smart contract* sur la blockchain, un propriétaire peut s'affranchir de l'usage d'un contrat de location écrit tout en laissant intacte sa valeur juridique et sa sécurité. De plus, l'utilisation d'un *smart contract* permet de se séparer de tout intermédiaire en mettant directement les deux parties en relation, à condition que le bail soit signé sous seing privé.
En définitive, le *smart contract* accompagne le propriétaire et le locataire tout au long de leur collaboration. En effet, la blockchain permet la rédaction, la négociation et la signature du contrat, mais elle permet également au locataire de payer chaque mois son loyer.

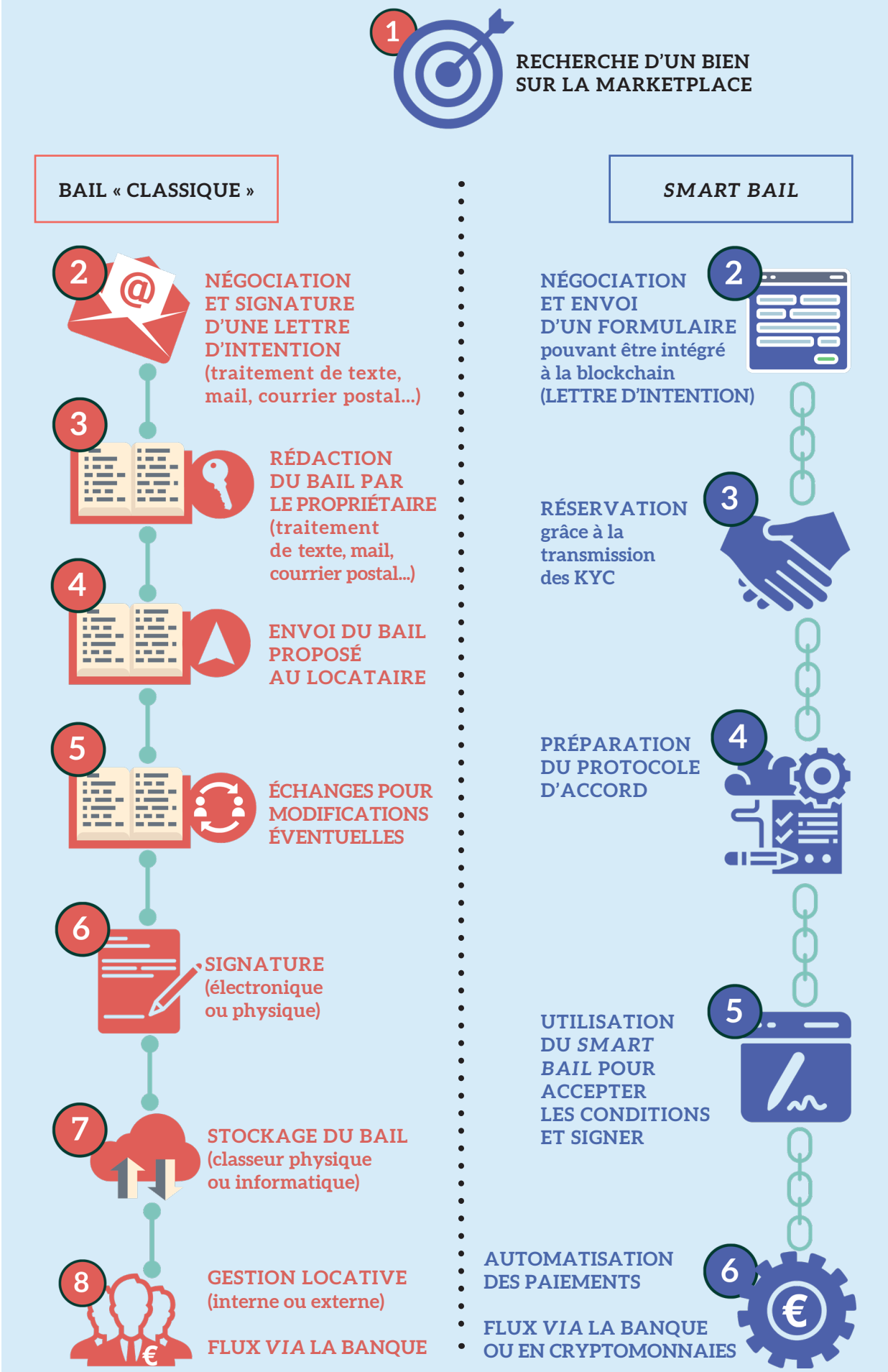


Figure 25. Les grandes étapes de la signature d'un bail « classique » *vs* celles d'un *smart bail*.

02
Déroulement du *Proof of Concept*

1 Inscription sur la plateforme dédiée

Le propriétaire et le locataire s'inscrivent sur la plateforme mise en place, grâce à **une adresse mail**, et en sécurisant leur compte à l'aide d'**un mot de passe**.

Chacun doit fournir des éléments de **KYC** (pièce d'identité, KBIS...), stockés sur un espace dédié de la plateforme afin de faciliter les démarches et leurs répétitions.

2 Génération d'une adresse Ethereum pour chaque partie

Une fois que **chaque profil est vérifié** par les administrateurs sur la base des pièces rendues, il est fourni à chacun **une adresse Ethereum (clé privée)**.

3 Création du contrat

Le propriétaire ayant reçu sa clé Ethereum, il peut commencer à créer un contrat, **directement sur la plateforme** moyennant des frais de transaction en Ethereum.

Ce contrat prend la forme d'**un formulaire** contenant toutes les informations que pourrait stipuler un bail (loyer, charges, indices, clauses diverses).

4 Déploiement du contrat sur la blockchain

Après avoir renseigné toutes les informations nécessaires, le bailleur indique **l'adresse Ethereum du futur locataire**, **le loyer**, puis déploie le contrat sur la blockchain.

N. B. : Après création du contrat, le propriétaire dispose d'**un nouveau lien Ethereum** permettant d'aller consulter son contenu et ses propriétés via un explorateur de blockchain.

5 Envoi du contrat au locataire

Le contrat est envoyé : le locataire reçoit un mail et/ou **une notification** de demande de signature.

Si le contrat tel qu'il est lui convient, il est d'ores et déjà en mesure de le **signer**. Dans le cas contraire, il a la possibilité d'en changer le contenu.

6 Notification au propriétaire

Le propriétaire reçoit à son tour un mail et/ou une notification lui indiquant que le locataire a procédé à **une modification du contrat** et l'invitant à le modifier ou à le **signer**.

Ce processus itératif peut avoir lieu autant de fois que nécessaire durant toute la négociation des termes du *smart contract*. Toutes les modifications sont enregistrées et consultables en direct sur l'adresse Ethereum du contrat détenue par le locataire et par le propriétaire.

7 Mise en œuvre du contrat

Une fois que **les deux parties se sont entendues sur les termes** du contrat et qu'elles ont signé, le contrat se met en œuvre.

Dans ce cas présent, cette signature est un peu différente de la signature eiDAS* dans la mesure où ce n'est pas une signature qui est apposée sur le document puis récupérée par les signataires, mais c'est **le document qui est approuvé sur la blockchain et décentralisé.**

* Norme de signature électronique telle qu'utilisée chez DocuSign ou Yousign.

8 Paiement du loyer

Une fois le contrat instauré, le locataire a, sur son compte, accès à **un bouton** « payez votre loyer » qui mène au choix à une interface entièrement sécurisée de transaction bancaire ou de cryptomonnaie.

Ainsi, chaque mois, une demande de paiement de loyer est envoyée au locataire qui **repasse par la plateforme** et la complète en quelques clics.

N. B. : La question du paiement des charges et des indemnités de retard est **directement intégrée à la solution.**

Le déroulement du POC montre que la blockchain constitue à la fois un moyen de **faciliter chaque changement** mais également d'en **garder des traces détaillées.**

Le propriétaire ne peut donc en aucun cas modifier le montant du loyer sans que le locataire n'en ait été informé. Et, inversement, le locataire ne peut pas prétendre avoir déjà payé son loyer sans que cela ne soit effectivement le cas.

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'éventail des applications de la blockchain dans le monde est vaste : monnaie virtuelle, enregistrement des titres de propriété, digitalisation des registres de mouvements de titres, transactions immobilières, numérisation des contrats, visites virtuelles, états des lieux digitaux, plateformes d'annonces immobilières, levées de fonds sans intermédiaires, microinvestissement, *crowdfunding*, garantie des données stockées par les services administratifs, registre SEPA des identifiants créanciers, authentification des avis clients...

Ainsi, la blockchain semble être un outil moderne dont le développement est inexorable. Les professionnels mettent en avant ses atouts, parmi lesquels nous pouvons citer l'amélioration de la transparence, de la vitesse de transaction et des pratiques professionnelles. Toutefois, notre enquête souligne que leur connaissance est globalement incomplète. En effet, la blockchain est encore trop associée à sa seule composante de cryptomonnaie, les deux autres, le *smart contract* et la tokenisation, étant souvent méconnues.

Par ailleurs, l'étude identifie des freins à lever afin de promouvoir l'usage de la blockchain, freins qui ne sont pas uniquement réglementaires. En effet, les professionnels mettent aussi en exergue le monopole des notaires pour l'authentification des documents, celui de l'État quant à l'émission de la monnaie et le manque de compétences au sein des organisations.

Ainsi, repenser la chaîne logistique des opérations immobilières et le positionnement de certains acteurs dans ce nouveau processus conduira potentiellement chacun à se concentrer sur son « core-compétence » (« cœur-compétence »), là où la valeur ajoutée est la plus élevée.

Cependant, cette transformation ne peut se mettre en route que si les acteurs de l'immobilier sont parties prenantes, avec une vision éclairée de cette technologie et des nouveaux usages qu'elle amène. Il y aura un cycle d'apprentissage long à parcourir pour démontrer l'intérêt de cette technologie dans le quotidien des professionnels. Informer, former, démontrer, prototyper et tester sont les composantes nécessaires à une transformation profonde, étape par étape. C'est pour cela que ce POC du *smart bail* nous a semblé si représentatif d'un premier exemple inspirant, éclairant et en capacité de transformer les freins, les craintes en opportunités.

En effet, l'intérêt premier d'un POC est de réaliser un prototype qui valide ou non l'utilité de développer un produit ou un service, ici avec la blockchain. Le choix du consortium de partir sur le *smart bail* est basé sur le fait que le bail est un document juridique et contractuel courant dans le secteur de l'immobilier. Il répond à des objectifs de facilitation de la mise en œuvre d'un contrat, de la fluidité et de la transparence dans l'administration des informations, l'automatisation de la relation contractuelle et l'indépendance vis-à-vis d'un tiers de confiance.

ANNEXES

ANNEXE 1 : TABLEAUX SYNTHÉTIQUES DES RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE

Connaissance et confiance envers la blockchain														
	Connaissance								Confiance					
	Connaissance générale (1)	Connaissance de la définition (2)	Tokénisation (3)	Crypto-monnaie (3)	*Smart contract* (3)	Registre incorruptible (6)	Le droit autorise l'usage de la BC (8)	*Smart contract* (10)	Acceptation par partenaires/clients (12)	Signer/ authentifier (15)	Valider et signer bail (17)	Transfert de propriété (19)	Valider des actes administratifs (21)	Transfert de données essentielles/sensibles (23)
Agent immobilier (1)														
Marchand de biens (2)														
Syndic (3)														
Gestion de patrimoine (4)														
Promoteur immobilier (7)														
Asset manager (8)														
Direction immobilière (11)														
Conseil (12)														
Investisseur-financeur (13)														

Atouts de la blockchain								
	Base de données infalsifiable et sécurisée	Système décentralisé	Système immuable	Système transparent	Améliorer la vitesse de transaction	Réduction importante des coûts conduisant à des investissements abordables	Couper les intermédiaires	Réduction de la fraude
Agent immobilier (1)								
Marchand de biens (2)								
Syndic (3)								
Gestion de patrimoine (4)								
Promoteur immobilier (7)								
Asset manager (8)								
Direction immobilière (11)								
Conseil (12)								
Investisseur-financeur (13)								

Capacité de la blockchain à améliorer les pratiques professionnelles									
	Rapidité (25-1)	Sécurisation des données (25-2)	Accélération des processus administratifs	Numérisation du bail	Amélioration de la rentabilité	Baisse des coûts	Gains de temps	Désintermédiation	Amélioration des flux financiers
Agent immobilier (1)									
Marchand de biens (2)									
Syndic (3)									
Gestion de patrimoine (4)									
Promoteur immobilier (7)									
Asset manager (8)									
Direction immobilière (11)									
Conseil (12)									
Investisseur- financeur (13)									

supporteur/mitigé/détracteur

Freins									
	Droits de propriété intellectuelle	Liés à la réglementation	Conditions de validité du contrat	Signature électronique	Protection des données personnelles	Monopole étatique pour émettre la monnaie	Consommation énergétique	Manque de compétences dans la BC	Monopole de l'authentification des documents par les notaires
Agent immobilier (1)									
Marchand de biens (2)									
Syndic (3)									
Gestion de patrimoine (4)									
Promoteur immobilier (7)									
Asset manager (8)									
Direction immobilière (11)									
Conseil (12)									
Investisseur-financeur (13)									

Freins : frein faible/frein modéré/frein fort

ANNEXE 2 : CATÉGORISATION DES PROJETS RECENSÉS DANS LE MONDE

Catégorie de projet	Société	Pays	Résonnance immobilière	Tokenisation	Type de blockchain	Blockchain	Utilité
Plateforme ABST	TOKENY	Luxembourg	OUI	OUI	Publique		Permet aux entreprises de tokeniser leurs actifs et instruments financiers
	COCORICOS		OUI	OUI	Publique	Ethereum	Plateforme d'actifs tokenisés ABST + offre la possibilité de tokeniser
	WECANTOKENIZE	Suisse	OUI	OUI			Plateforme de tokenisation
	MASTEOS	France	OUI	OUI	Publique		Tokenisation de biens immobiliers en monétisant la capacité d'emprunt d'un investissement
	REALT	USA	OUI	OUI	Publique	Ethereum	Plateforme d'actifs tokenisés ABST + offre la possibilité de tokeniser notamment des actifs immobiliers et d'investir dans l'immobilier à travers des tokens
	BLOCKPULSE	France	OUI	OUI			Propose d'effectuer des levées de fonds en créant son produit financier
	BLOCKIMMO	Suisse	OUI	OUI	Publique	Ethereum	Investissement sur des actifs tokenisés
	CAPELLI	France	OUI	OUI			Promoteur immobilier qui a effectué une tokenisation ABST
Plateforme de cryptomonnaies	TZERO		NON	NON			
	COINBASE	USA	NON				Plateforme de marché de cryptomonnaies
	BINANCE	UK	NON	OUI			Plateforme de marché de cryptomonnaies
	KRAKEN	usa					Plateforme de marché de cryptomonnaies
	OPEN LEDGER		NON	NON			Plateforme de marché de cryptomonnaies
	COINHOUSE	France	NON	NON			Plateforme de marché de cryptomonnaies
	KUCOIN	Seychelles	NON				Exchange de marché crypto
	REALFUEL	Singapour	OUI	OUI			Jeton de paiement
	FUNDPLACES	Singapour	OUI	OUI			Jeton numérique
Transaction sur la blockchain	PROPY	USA	OUI	NON			Logiciel de transaction immobilière sur la blockchain
	THE CRYPTO REALTY GROUP	USA	OUI	OUI			Spécialisée dans la réalisation de transactions immobilières avec la cryptomonnaie
	RIPPLE	USA	OUI	NON	Privée	Ripple	Permet les paiements transfontaliers basés sur la blockchain
	WOORTON	France	OUI	NON			Propose une liquidité pour éviter les forts taux de change de transactions en cryptomonnaies
	HOUSE OF HODL	USA	OUI	NON			Plateforme permettant d'acheter des biens immobiliers en bitcoins
	BENBEN	Ghana	OUI	NON			Transactions foncières
Base de données	REX	USA	OUI	NON	Publique	Ethereum	Service de listage multiple (MLS) sur la blockchain
	KAIROS FUTURE	Suède	OUI	NON	Privée		Système basé sur l'identité numérique pour le traitement des transactions immobilières
	BLOQ		OUI	NON	Publique	Bitcoin	Service d'analyse des données sur la blockchain
	BITLAND	Ghana	OUI	NON	Publique		Registre des titres fonciers sur la blockchain
	IEXEC	France	OUI	NON	Publique	Ethereum	Cloud décentralisé
	ELEA LABS	Suisse	OUI	NON	Publique	Ethereum	Données immobilières sur la blockchain eet création d'identité de bâtiments
	QUICK LET'S	Malte	OUI	NON	Privée		Base de données / site d'annonces immobilières / agence immobilière
	R3 PROPERTY NETWORK	USA	OUI	NON	Privée		Base de données de propriétés et de transactions
	DOMINEUM	Royaume-Uni	OUI	NON	Publique		Fournit un registre foncier numérique compatible avec la blockchain
Aide à la gestion	TOKENASTATE	Suisse	OUI	OUI			Gestion d'actifs numérisés sur la blockchain
	MIDASIUM	UK	OUI	OUI	Privée		Gestion de la propriété et de la trésorerie avec des *smart contracts*
	CONSENSYS France	France	OUI	NON	Publique	Ethereum	Ingénierie dans la création de logiciels blockchain
	LGO	France	NON	OUI	Publique	Ethereum	Bourse d'actifs numériques pour les institutions + suite de services personnalisables
	IHT COIN		OUI	OUI	Publique	Ethereum	Propose une meilleure gestion des ABST
	BELEM	France	OUI	OUI	Publique	Ethereum	Solutions digitales sur blockchain / digitalisation CSN
	OLARCHY	France	OUI	OUI			Plateforme pour gérer les projets immobiliers professionnels
	BRICKBLOCK	Allemagne	OUI	NON	Privée		Crée des logiciels afin de créer, lever, gérer des fonds immobiliers et FIA
	FEE SIMPLE		OUI	NON	Privée	Feesimple	Blockchain pour développer des applications immobilières
	CROWDVILLA	Singapour	OUI				Partage de maisons de vacances avec services
	WALTIO	France	NON	NON	Privée		Gestion fiscale des portefeuilles de cryptomonnaies
Assistant à la création	EQUISAFE	France	OUI	NON			AMO de blockchain et transactions immobilières
	BLOCKCHAIN PARTER	France	OUI	OUI			Conseils et développement blockchain
	IBREA	USA	OUI	OUI			Communauté de technologues immobiliers pour utiliser la blockchain dans ce secteur
Sécurité	LEDGER	France	NON	NON			Plateforme proposant des wallets de stockage de cryptomonnaies
	IMMODVISOR	France					Plateforme d'avis sur les professionnels de l'immobilier

Plateforme ABST/Plateforme de cryptomonnaies/Transaction sur la blockchain/Base de données/ Aide à la gestion/Sécurité/Assistant à la création

BIBLIOGRAPHIE

Armandet, P. (2018, 11 avril). *L'interview finance : Madre, le premier projet blockchain de la Banque de France*. Agefi.fr Consulté le 7 octobre 2021.

Armingaud, C.-E. (2016, 6 octobre). *La blockchain et l'espace de confiance européen*. Armingaud-avocat.fr Consulté le 7 octobre 2021.

Bacache-Beauvallet, M., & Cagé, J. (2016). « Pair à Pair » : les véritables enjeux économiques. *Revue d'économie industrielle*, *3*(155), 11-39.

Barbry, É. (2017). Smart contracts... Aspects juridiques ! *Annales des Mines - Réalités industrielles*, 3, 77-80.

Beaudemoulin, N., Warzée, D., & Bedoin, T. (2017). Les enjeux de la *Blockchain* pour la Banque de France et l'Autorité de Contrôle prudentiel et de Résolution (ACPR). *Annales des Mines - Réalités industrielles*, 3, 29-33.

Beddiar, K., & Imbault, F. (2018). *Blockchain pour l'énergie. Applications et mise en œuvre dans la ville du futur*. Dunod.

Bertoïa, F. (2020). La tokenisation des actifs immobiliers : l'exemple d'Equisafe. *Revue de droit bancaire et financier*, 3, dossier 11.

Blain, M. (2021, 31 mai). *La startup Propy, spécialisée dans la technologie blockchain va mettre aux enchères le premier appartement réel via les NFT*. Immo2.pro. Consulté le 07 octobre.

Blockchain France. (2016, 3 mars). *Des cadastres sur la blockchain*. Blockchain France.net - Consulté le 7 octobre 2021.

Blockchain France. (2017, 28 février). *Blockchain : quel avenir pour l'immobilier ?* Blockchain France.net - Consulté le 7 octobre 2021.

Blockchain France. (2018*a*, 22 mai). *Qu'est-ce qu'un token ?* Blockchain France.net -Consulté le 26 mars 2021.

Blockchain France. (2018*b*, 22 mai). *Comprendre la tokenisation*. Blockchain France.net - Consulté le 26 mars 2021.

Blockchain France. (s. d.). *Qu'est-ce qu'une blockchain ?* BlockchainFrance.net - Consulté le 11 mars 2021.

Blockimmo. (2019, 1er mars). *"Hello World" from the Crypto Valley: first real estate transaction on blockchain*. Medium.com Consulté le 07 octobre 2010.

Blosh, M., & Fenne, J. (2018, 20 août). *Understanding Gartner's Hype Cycles*. Gartner.com

Bradley, R. (s. d.). *Points de vue. La blockchain expliquée... en moins de 100 mots*. Deloitte.com - Consulté en mai 2020

Brenner, C., Gaudemet, S., & Bonnet, G. (2020). L'acte notarié à distance pour le temps de l'urgence sanitaire. *JCPN*, 21-22, 1113.

Brenner, C., Gaudemet, S., & Bonnet, G. (2020). Un acte notarié à distance pour les temps ordinaires ? *JCPN*, 23, 1114.

Business Immo. (2019, 11 octobre). *Wecan, Capelli et Geneva Management Group lancent Wecan Tokenize, leur plate-forme de tokenization*. Businessimmo.com - Consulté le 7 octobre 2021.

Capelli. (2019). 18 décembre - Une première opération Capelli financée par tokenisation avec Wecan Tokenize. Capelli immobilier.fr Consulté le 7 octobre 2021.

CFNEWS.IMMO. (2018, 20 juillet). *Easy blockchain avec Tokenestate, le dernier 5* de Paris, carton plein pour les vefa*. Cfnewsimmo.fr Consulté le 7 octobre 2021.

Chandler, S. (2021, 19 mars). *Ethereum accélère sa transition vers la Preuve d'Enjeu (POS)*. Cryptonews.com - Consulté le 7 octobre 2021.

Chaum, D. (ed.). (2012). *Advances in Cryptology. Proceedings of Crypto 83*. Springer.

Cheok, J. (2018, 4 août). *Crypto for real estate*. Businesstimes.co - Consulté le 07 octobre 2021.

Choan, U. W. (2021). The Double Spending Problem and Cryptocurrencies. *Notes on the 21st Century*. Papers.srn.com

CNIL. (s. d.). *Blockchain*. Cnil.fr - Consulté le 9 mars 2021.

CNIL. (2016, 25 octobre). *Comprendre les grands principes de la cryptologie et du chiffrement*. Cnil.fr - Consulté le 9 mars 2021.

CNIL. (2018). *Blockchain et RGPD : quelles solutions pour un usage responsable en présence de données personnelles ?* Cnil.fr - Consulté le 7 octobre 2021.

Comitogianni, K. (2020, 29 septembre). *Les Balkans : des pays très crypto-friendly !* Cryptonaute.fr - Consulté le 29 mars 2021.

ConsenSys. (2020, 29 mai). *How €350M Worth of Real Estate Was Tokenized on Ethereum*. Consensys.net - Consulté le 7 octobre 2021.

Cordon, G., & Echeveste, I. (2018). *Transformations digitales de l'immobilier d'entreprise*. Eyrolles.

Couet, I., & Fay, P. (2016, 31 mai). Pourquoi la fabrication de pièces rapporte des millions à l'État. *Les Echos*. Consulté le 7 octobre 2021.

Cruickshank, A. (2018, 10 octobre). *Le registre foncier de HM testera la chaîne de blocs pour le projet Digital Street*. Placetech. net Consulté le 7 octobre 2021.

Daniel. (s. d.). *Meet the Boss – Exclusive Interview with Prime-Ex CEO John Gilbert*. Chipin.com - Consulté le 30 mars 2021.

De Filippi, P., & Wright, A. (2019). *Blockchain & droit. Le règne du code*. Dicoland.com

Della Chiesa, M., Hiault, F., Téqui, C., Bouzou, N., & Gress, T. (2019). *Blockchain : vers de nouvelles chaînes de valeurs*. Eyrolles.

Deloitte. (2020). *Are token assets the securities of tomorrow?* Deloitte.com

Di Cosmo, R. (2017). Software Heritage : pourquoi et comment construire la grande bibliothèque du code source. *Entreprises et histoire*, *2*(87), 69-75.

Digital Travel. (s. d.). *Darvin Kurniawan (Past Speaker)*. Digitaltravelapac.wbresearch.com - Consulté le 7 octobre 2021.

Douville, T., & Verbiest, T. (2018). Blockchain et tiers de confiance : incompatibilité ou complémentarité ? *Recueil Dalloz*, 20, 1144.

Ebouah, L. (2021, 5 juillet). *Droit à l'effacement et conservation des données personnelles sur la technologie Blockchain*. Legavox.fr Consulté le 7 octobre 2021.

Equisafe. (2019, 25 juin). *Opération AnnA Première vente d'immeuble via la blockchain en Europe*. Dossier de presse.

ESPI2R, Olarchy, LPA-CGR, ESAI, La Fabrique du Futur, & Kapalt. (2020). *Enquête Blockchain et immobilier*. Consultable sur https://bit.ly/2zcFOWY

EY. (2018*a*). *EY study: Initial Coin Offerings (ICOs). The Class of 2017 – one year later*. Assets.ey.com

EY. (2018*b*). *Underpinning Smart Contract time-saving self-execution in dispelling timeconsuming transactional procedures*.

FD2A, Amafi, AFG, Aspim, Gide 255, Woorton, Consensys, & Pwc. (2019). *Questionnaire sur les jetons financiers* (security tokens). Gide.com

Faure-Muntian, V., Ganay, C., & Le Gleut, R. (2018). *Les enjeux technologiques des blockchains (chaînes de blocs)*. Rapport au nom de l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. Senat.fr

Favier, J., Lécrivain, J-S., & Takkal-Bataille, A. (2019). *Bitcoin & protocoles à blockchain. Comprendre l'avènement de la seconde ère numérique*. Mardaga.

Fievet, C. (2018, 23 février). Comment les blockchains transforment le marché immobilier. *Usbek & Rica*. Consulté le 29 mars 2021.

Finance Innovation. (2019). *Intelligence artificielle, blockchain et technologies quantiques au service de la finance de demain*. Revue Banque Édition.

Fleuret, V. (2020, 17 janvier). *Blockchain : les entreprises peuvent-elles créer de la valeur avec la tokénisation ?* Journal du coin.com Consulté le 7 octobre 2021.

FNTC. (2016). *La blockchain, une machine à créer de la confiance numérique*. Communiqué de presse. Fntc-numerique.com Consulté le 7 octobre 2021.

Fredouelle, A. (2016, 8 avril). *Comment l'Estonie booste son économie grâce à la blockchain.* Journal du net.com Consulté le 29 mars 2021.

Gallo-Triouleyre, S. (2020, 25 février). *Mipise certifie les mouvements de titres via la blockchain*. Daf-mag.fr - Consulté le 7 octobre 2021.

Gartner. (2019, 12 septembre). *Gartner 2019 Hype Cycle for Blockchain Business Shows Blockchain Will Have a Transformational Impact across Industries in Five to 10 Years*. Gartner.com - Consulté le 7 octobre 2021.

Gartner. (2020). *2020 Hype Cycle Special Report: Innovation as Strategy*. Gartner.com

Glatz, F. (2017, 17 octobre). *Bundesverband veröffentlicht Positionspapier*. Bundesblock.de - Consulté le 1er décembre 2019.

Godefroy, L. (2018, 21 septembre). *Blockchain publique : la fin des tiers juridiques de confiance ?* Lemonde.fr, blog Binaire. Consulté le 26 mars 2021.

Gola, Y. (2018). *Prime-Ex Perpetual Approaches Minimum Raise Goal*. Newsbtc.com - Consulté le 7 octobre 2021.

Haber, S., & Stornetta, W. S. (1991). How to time-stamp a digital document. *Journal of Cryptology*, 3, 99-111.

Harper, C. (2018). *Making Sense of Proof of Work vs. Proof of Stake*. Coincentral.com - Consulté le 11 mars 2021.

Hileman, G., & Rauchs, M. (2017). *Global blockchain benchmarking study*. Cambridge Center for Alternative Finance. Papers.ssrn.com

Impellizzeri, N. (2019, 14 février). *Qu'est-ce qu'un nœud dans l'univers des cryptomonnaies ?* Cryptoast.fr - Consulté le 26 mars 2021.

Jeanneau, C. (2018). *L'âge du web décentralisé*. Digital New Deal Foundation. Thedigitalnewdeal.org

Journal de l'Agence. (2019, 09 octobre). *Pour garantir des avis client infalsifiables, Immodvisor se dote de la technologie blockchain.* Journaldelagence.com - Consulté le 7 octobre 2021.

Julie, E. G., Nayahi, J. J. V., & Jhanjhi, N. Z. (ed.). (2020). *Blockchain Technology. Fundamentals, Applications, and Case Studies.* CRC Press.

JLL. (2018). *Transparency, Digitization, Decarbonization. Global Real Estate Transparency Index*. Us.jll.com

JSTA, Deloitte Japan, & Securitize. (2019). *Security Tokens: Improving Real Estate Investment in Japan. Cost Benefit Analysis.* Securitytoken.or
Kejriwal, S., & Mahajan, S. (2017). *Blockchain in commercial real estate.The future is here!* Deloitte.

Julienne, M. (2020). Les premiers pas de l'acte notarié à distance. *JCPN*, 15-16, 363-364.

King, S., & Nadal, S. (2012). Ppcoin: Peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake. *Self-published paper, 19*(1).

Klein, E. (2018). La cryptomonnaie [Saison 1, épisode 5]. Dans E. Klein, *En bref*.

Lachene, V. (2018). *Livre Blanc sur la technologie Blockchain : définition et incidences de la blockchain sur la société et le secteur financier*. Sigma Gestion.

Lachgar, K., & Sutour, J. (2017). *Le token, un objet digital non identifié ?* Revue de presse IEIF, AJDI. Ieif.fr

Lakomski-Laguerre, O. (2020). Monnaie et immortalité : une autre histoire du Bitcoin. *Œconomia*, *10*(1), 145-154.

Lamport, L., Shostak, R., & Pease, M. (1982). The Byzantine Generals Problem. *ACM transactions on programming languages and systems*, 4(3).

Lars, L. (2019, 3 septembre). *Le problème des généraux byzantins*. Viresinnumeris.fr - Consulté le 18 mars 2021.

Laurent, P., Chollet, T., Burke, M., & Seers, T. (2019). The tokenization of assets is disrupting the financial industry. Are you ready? *Inside magazine*, 19.

Lecamus, V. (2020, 24 janvier). *Propy annonce le succès de ses essais pour placer les registre[s] cadastraux dans la blockchain*. Immo2.pro - Consulté le 7 octobre 2021.

Ledger Insights. (2019, 18 avril). *UK Land Registry successfully completes blockchain trial*. Ledgerinsights.com Consulté le 7 octobre 2021.

Leloup, L. (2017). *Blockchain. La révolution de confiance*. Eyrolles.

Le Monde, & AFP. (2021, 15 avril). Entrée en Bourse record pour Coinbase, la plate-forme d'échange de cryptomonnaies. *Le Monde*. Consulté le 7 octobre 2021.

Lewis, M. (2010). *Le casse du siècle. The Big Short*. Sonatine.

Litan, A. (2021, 14 juillet). *Hype Cycle for Blockchain 2021; More Action than Hype.* Blogs.Gartner.com Consulté le 7 octobre 2021.

Litayem, N. (2014). *Contributions méthodologiques à la conception et optimisation de systèmes embarqués.* [Thèse de doctorat, université de Carthage, Institut national des sciences appliquées et de technologie]. Researchgate.net

Lloan, P.-E. (2019, octobre). *La signature électronique : garantie des exigences légales d'identification.* Village-justice.com Consulté le 29 mars 2021.

Magee, T. (2018, 6 février). *7 usages blockchain innovants*. Le Monde informatique.fr - Consulté le 29 mars 2021.

Maouche, S. (2018). *Blockchain : utilisation d'un dispositif d'enregistrement électronique partagé pour la représentation et la transmission de titres financiers*. Lexis360.fr

Massey, R., Dalal, D., & Dakshinamoorthy, A. (2017). *Initial Coin Offering. A new paradigm.* Deloitte.

Mekki, M. (2020). Les mystères de la blockchain. Dans S. Prévost & E. Royer (coord. édit.), *La blockchain* (p. 9-24). Dalloz.

Marin-Dagannaud, G. (2016, 13 juin). *Comprendre la blockchain Ethereum – Article 1 : Bitcoin, première implémentation de la blockchain (2/2)*. Ethereum-france. Consulté le 8 mars 2021.

Marraud des Grottes, G. (2018, 11 septembre). *Blockchain : POC en vue pour les notaires*. Actualité du droit.fr Consulté le 7 octobre 2021.

Nakamoto, S. (2009). *Bitcoin: A peer-to-peer Electronic Cash System.* Bitcoin.org

Mittal, N. (2018, 25 décembre). *La première plate-forme immobilière réglementée basée sur la blockchain*. Theblockchainland.com - Consulté le 7 octobre 2021.

Nicolas, A. (2019*a*, 11 mars). *R3 Corda : présentation*. Alain Nicolas.fr - Consulté le 7 octobre 2021.

Nicolas, A. (2019*b*, 15 avril). *R3 Corda : limites*. Alain Nicolas.fr - Consulté le 7 octobre 2021.

Noah Harari, Y. (2012). *Sapiens, une brève histoire de l'humanité*. Albin Michel.

Nwokedi, E. (2020, 2 octobre). *RedSwan CRE Marketplace Signs Agreement with Coinbase Custody to Accelerate Adoption of CRE Digital Securities*. Prweb.com - Consulté le è octobre 2021.

Onimus, A. (2020). *La blockchain. Une révolution dans l'immobilier*. Eyrolles.

Ouest France. (2020, 16 novembre). *Près de Nantes. L'entreprise Immodvisor réussit à recruter malgré la crise*. Ouest-france.fr Consulté le 7 octobre 2021.

Pang, P., Tang, H. F., Lam, J., Chan, J., Hobler, N. K. K. Kan, K., Jeong, H., & Lau, R. (2020). *Real estate tokenization.* Liquefy, Sidley, KPMG, Colliers International. Assets.kpmg

P., J. (2018, 30 mai). *La blockchain pour valider une transaction immobilière en bitcoin (pour 42 millions de dollars)*. Cryptoactu.com Consulté le 7 octobre 2021.

Pavel, I. (2019). Introduction à la blockchain. *Annales des Mines - Réalités industrielles*, 4, 98-104.

Pawczuk, L., Massey, R., & Schatsky, D. (2018). *Deloitte's 2018 Global Blockchain Survey*. Deloitte.com

Pawczuk, L., Massey, R., & Holdowsky, J. (2019). *Deloitte's 2019 Global Blockchain Survey. Blockchain gets down to business.* Deloitte.com

Plutoneo. (2020, 04 mars). *Tokenization in Europe — Market Size to Reach €1.4trn in 2024*. Plutoneoam.medium.com Consulté le 7 octobre 2021.

Polrot, S. (2016, 20 mars). *« Smart contract », ou le contrat auto-exécutant*. Ethereum France. com. Consulté le 25 février 2021.

PR Newswire. (2018, 1 octobre). *La blockchain utilisée pour la première fois dans l'UE pour une transaction immobilière*. Prnewswire.com Consulté le 7 octobre 2021.

Propy. (2019, 17 octobre). *Propy's First Transaction in Northern Europe.* Propy.com - Consulté le 7 octobre 2021.

PwC. (s. d.). *La technologie Blockchain pour les institutions financières : quels enjeux ?* Pwc.fr - Consulté le 7 octobre 2021.

PwC. (2016). *Blockchain in asset management*. Pwc.fr

PwC. (2017). La révolution blockchain. *Décryptages*, 3. Pwc.fr

PwC. (2017). *Introduction to Token Sales (ICO) Best Practices*. Pwccn.com

PwC. (2018). *Blockchain is here. What's your next move? PwC's Global Blockchain Survey 2018*. Pwc.com Consulté le 7 octobre 2021.

PwC. (2019). *Estonia – the Digital Republic Secured by Blockchain*. Pwc.com

PwC. (2020, janvier). *Comment la blockchain va révolutionner l'immobilier*. Pwc.fr - Consulté le 7 octobre 2021.

Rivaton, R. (2020). *L'immobilier de demain* (2e édition). Dunod.

Raj, K. (2019). *Foundations of Blockchain.* Packt.

RealT. (2019). *Legally Compliant Ownership of Tokenized Real Estate*.

Roda, J.-C. (2020). Smart contracts, dumb contracts? Dans S. Prévost & E. Royer (coord. édit.), *La blockchain* (p. 54-60). Dalloz.

Rodriguez, P. (2017). *La révolution blockchain. Algorithmes ou institutions, à qui donnerez-vous votre confiance ?* Dunod.

Rolland, M., & Slim, A. (2017). Économie politique du Bitcoin : l'institutionnalisation d'une monnaie sans institutions. *Économie et institutions*, 26.

Schneider, J., Blostein, A., Lee, B., Kent, S., Groer, I., & Beardsley, E. (2016). *Profiles in innovation.Blockchain: Putting Theory into Practice.* Goldman Sachs. Pgcoin.tech

Swissroc. (2019, 16 janvier). *Swissroc Capital Holding SA entre au capital de Tokenestate SA*. Swissroc.ch Consulté le 7 octobre 2021.

Szabo, N. (1997). *The Idea of Smart Contracts*. Nick Szabo's Papers and Concise Tutorials. Nakamotoinstitute.org

Tezos Foundation. (2020, 02 mars). *Update: Week Of 2 March 2020*. Tezos.foundation - Consulté le 7 octobre 2021.

Tokenestate. (2018, 25 octobre). *Real Estate Tokens Marketplace. Whitepaper*. Te.cornuz.ch

Verbiest, T., & Richebourg, D. (2019). *Blockchains et financement de l'immobilier – La « tokenisation » des actifs immobiliers ».* Revue de presse IEIF, AJDI. Ieif.fr

Vergara, I. (2021, 14 mai). Cryptomonnaies : la plateforme Coinbase accélère sa croissance et élargit son offre. *Le Figaro*. Consulté le 7 octobre 2021.

Vincelot, S. (2018, 28 mars). *Comment la blockchain continue d'investir l'immobilier*. Le Moniteur.fr - Consulté le 7 octobre 2021.

World Economic Forum. (2015). *Deep Shift Technology Tipping Points and Societal Impact. Survey Report*. Weforum.org

World Economic Forum. (2016). *A Blueprint for Digital Identity. The Role of Financial Institutions in Building Digital Identity.* Weforum.org

World Bank Group, & Knomad. (2019). *Migration and Remittances. Recent Developments and Outlook*. Knomad.org