



Les dynamiques du fétichisme numérique : le cas Bitcoin

Éric Arrivé

► To cite this version:

Éric Arrivé. Les dynamiques du fétichisme numérique : le cas Bitcoin. Sciences de l'information et de la communication. Université de Lyon, 2019. Français. <NNT : 2019LYSE2084>. <tel-02493223>

HAL Id: tel-02493223

<https://theses.hal.science/tel-02493223v1>

Submitted on 27 Feb 2020

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.



HAL Authorization



N° d'ordre NNT : 2019LYSE2084

THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

Opérée au sein de

L'UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2

École Doctorale : ED 485

Education Psychologie Information Communication

Discipline : Sciences de l'Information et de la communication

Soutenue publiquement le 15 novembre 2019, par :

Éric ARRIVÉ

Dynamique du fétichisme numérique :

le cas Bitcoin.

Devant le jury composé de :

Olivier VOIROL, Maître d'enseignement et de recherche, Université de Lausanne, Président

Brigitte SIMONOT, Professeure des universités, Université de Lorraine, Rapporteure

Valérie SCHAFER, Professeure, Université du Luxembourg, Rapporteure

Bruno BACHIMONT, Maître de conférence HDR, Université de Compiègne, Examineur

Pascal ROBERT, Professeur des universités, École Nationale Sup. Scs de l'Information & Bibliothèque,
Directeur de thèse

Contrat de diffusion

Ce document est diffusé sous le contrat *Creative Commons* « [Paternité – pas d'utilisation commerciale – pas de modification](#) » : vous êtes libre de le reproduire, de le distribuer et de le communiquer au public à condition d'en mentionner le nom de l'auteur et de ne pas le modifier, le transformer, l'adapter ni l'utiliser à des fins commerciales.

Université Lumière Lyon 2

Dynamique du fétichisme numérique

Le cas Bitcoin

Éric Arrivé

Sciences de l'Information et de la Communication

sous la direction de Pascal Robert

Composition du Jury

Brigitte Simonnot, professeure des universités, Université de Lorraine

Valérie Schafer, professeure, Université du Luxembourg

Bruno Bachimont, directeur de la recherche, Sorbonne Université

Olivier Voirol, maître d'enseignement et de recherche, Université de Lausanne

Pascal Robert, professeur des universités, Université de Lyon

*Ce que l'on ne voyait pas vraiment se dessiner, mais
qui était en germe, c'était la possibilité d'un monde
informationnel, rivalisant avec le monde marchand,
mais inséré dans ce monde. (Lamarche 2005)*

Je tiens à remercier tout particulièrement Pascal Robert, à qui je dois d'avoir nourri ce projet de thèse, et qui s'est avéré le parfait encadrant pour le mettre en œuvre, par sa disponibilité, sa patience et ses conseils inspirants.

Mes remerciements vont aussi à Jean Gardin, pour l'intérêt porté au contenu de cette thèse, qui m'a en retour motivé à chercher les formulations propres à améliorer sa réception.

Je ne peux que remercier aussi, toutes celles et ceux qui m'ont accompagné dans ce travail de recherche, que ce soit dans le monde académique ou en dehors, me permettant d'aborder des questionnements variés et d'acquérir les outils conceptuels et les méthodes dont j'espère avoir fait bon usage pour y apporter quelques réponses.

Enfin, cette thèse n'aurait pu être menée à bien sans les encouragements et la bienveillance de mes proches, qui m'ont offert les conditions requises pour un tel engagement. Qu'ils en soient remerciés, Sidonie en premier lieu.

Table des matières

Introduction générale.....	5
Chapitre 1 : Le numérique comme révolution industrielle ?.....	23
1. Le mode de production industriel.....	27
2. La révolution technique comme crise de la valorisation.....	33
3. Quelques critères pour une caractérisation du numérique.....	37
4. Pour une théorie sociotechnique adéquate au numérique.....	42
Première Partie : Le numérique comme technique adéquate au capitalisme « inversé ».....	47
Introduction de la première partie.....	48
Chapitre 2 : Le caractère bifide des techniques numériques.....	60
1. Problématiser le calcul numérique.....	61
2. La machine de Turing universelle.....	64
3. Le cas de l'open data comme dynamique bifide.....	74
4. Conclusion : Des usages en général à un usage particulier.....	84
Chapitre 3 : Les figures de l'informaticien au travail.....	86
1. Informatiseurs, informatisés, informaticiens.....	87
2. Les représentations de l'informaticien.....	93
3. Conclusion : De la forme bifide au caractère fétiche.....	106
Chapitre 4 : Vers un modèle CRITIC du fétichisme numérique.....	109
1. Introduction du chapitre.....	110
2. Le modèle CRITIC : présentation et commentaires.....	112
3. Extension numérique du modèle CRITIC.....	118
4. Rapprochement avec la production marchande.....	127
5. Conclusion du chapitre.....	133
Chapitre 5 : Les plateformes numériques à l'aune du fétichisme.....	134
1. Les retours à Marx pour saisir le <i>digital labor</i>	137
2. Les usages de Marx en SIC.....	141
3. Un cadre conceptuel pour le capitalisme (à l'ère) numérique.....	153
Conclusion de la première partie.....	169

Seconde partie : Une plateforme numérique pour une monnaie privé.....	177
Introduction de la seconde partie.....	178
Chapitre 6 : Une application numérique à la croisée de plusieurs chemins.....	186
1. La crise de 2008.....	187
2. Les innovations numériques.....	195
Chapitre 7 : Les promoteurs de Bitcoin.....	205
1. Une branche de l'idéologie californienne.....	206
2. La « scène » crypto.....	209
3. Un projet de logiciel <i>libre</i> ?.....	216
4. Les sites d'information dédiés.....	238
5. Conclusion : Un spectre large, un fond commun.....	247
Chapitre 8 : Deux configurations sociotechniques intriquées.....	251
1. Un réseau en pair-à-pair pour un consensus décentralisé.....	256
2. L'ajout valide des transactions au registre par les preuves de travail.....	259
3. Quelques propriétés résultant du protocole Bitcoin.....	264
4. Les aspects temporels du protocole.....	270
5. Une dialectique entre concret et abstrait.....	272
Chapitre 9 : La controverse sur la taille des blocs.....	276
1. Le paramètre « taille maximale des blocs » (<i>maxblocksize</i>).....	278
2. Une limitation de la capacité du réseau.....	280
3. ...mais un frein nécessaire à la concentration du réseau.....	284
4. Les enjeux liés à la taille maximale des blocs.....	288
Conclusion de la seconde partie.....	316
Chapitre 10 : Bitcoin à l'aune du fétichisme numérique.....	325
1. Bitcoin et le fétichisme numérique.....	327
2. Bitcoin et la mesure d'un temps abstrait.....	335
3. Bitcoin et l'impensé numérique.....	339
4. Bitcoin, véhicule d'exploration du problème monétaire.....	343
Conclusion générale.....	345
Bibliographie.....	354
Annexe.....	377
Code source pour l'extraction du corpus Scaling Bitcoin.....	377

Introduction générale

Dans les sociétés où règnent les conditions numériques de leur production, l'information et la communication se présentent comme le résultat d'une immense accumulation de calculs réalisés par des ordinateurs. C'est évidemment le cas pour les médias nativement numériques qui diffusent des contenus via les réseaux eux-mêmes fondés sur l'usage massif des machines computationnelles, tel qu'Internet ou la téléphonie mobile. Collecter, stocker, transmettre, traiter et même restituer à son destinataire l'information sous forme de texte, d'images ou de sons ne sont en fait que différentes facettes de la mise en œuvre d'une capacité computationnelle générique déployant une potentialité universelle au travers d'usages toujours particuliers. Ces usages peuvent être à leur tour combinés pour former de nouvelles opportunités de mettre en œuvre cette capacité computationnelle. La communication médiatisée par les réseaux numériques s'appuient par exemple sur des protocoles successifs organisés en couches (Atelin & Dordoigne, 2006). Les protocoles les plus spécifiques des couches hautes se déploient sur la base des services génériques rendus par les couches basses les plus œcuméniques. Les traitements réalisés dans chaque couche sont tous réductibles à des procédures formelles que l'ordinateur a le potentiel de dérouler quelles qu'elles soient. Ainsi, cette machine particulière peut prendre en charge tous les cas d'usage d'un protocole de communication dès lors que ce protocole peut justement être décrit selon une combinaison de calculs, eux-mêmes combinables à volonté.

Mais cette omniprésence de calculs effectués par des ordinateurs est aussi valable pour d'autres supports de l'information et de la communication qui ne relèvent pas intégralement du déroulé de procédures formelles ou qui requièrent une ou plusieurs étapes de façonnage analogique et/ou physique. Est-il encore envisageable de produire un livre ou un journal imprimés sans que leurs contenus ne circulent et ne soient traités sous une forme numérique

quelconque entre les différents acteurs de sa réalisation, des auteurs aux imprimeurs en passant par les correcteurs ou les graphistes ?¹ Et à côté de cette circulation du contenu même, bien des activités connexes mais néanmoins incontournables mobilisent aussi des infrastructures numériques matérielles et logicielles. La chaîne du livre (Rouet, 2007), première industrie culturelle en France², n'est ainsi concevable, dans le cadre des contraintes aujourd'hui posées par des modèles économiques spécifiques à ce secteur d'activité, qu'avec une série de traitements numériques : de la saisie des catalogues dans des bases de données³ aux logiciels permettant la gestion optimisée d'une librairie⁴, en passant par le suivi des commandes dématérialisées⁵. On peut même affirmer que, d'une certaine manière, la quasi totalité des livres produits et vendus en France – et dans bien d'autres pays du monde – sont des livres numériques, au sens où leur réalisation et leur diffusion ont pour prérequis l'existence et l'usage d'une série d'outils numériques et d'une infrastructure nécessaire à leur mise en œuvre. Les conséquences pour les différents acteurs de la chaîne du livre d'un éventuel dysfonctionnement ou mésusage de ces outils sont là pour attester de leur caractère aujourd'hui incontournable. Pour assurer la continuité des activités selon les performances attendues, il faut passer par les fourches caudines d'un outil de production numérique, même si le degré de dépendance peut se moduler en fonction des situations. Le monde numérique s'étend donc bien au-delà – ainsi que bien avant, historiquement – du domaine restreint aux nouveaux médias et services qui ont émergé avec l'équipement massif en ordinateurs domestiques couplé à l'accès de plus en plus performant au réseau Internet. Si le numérique nous apparaît d'abord comme une diversité d'usages dans la sphère info-communicationnelle, il repose aussi fondamentalement sur l'informatique comme technique devenue omniprésente.

« Numérique » est un terme qui qualifie en premier lieu tout ce qui relève d'une numérisation, c'est-à-dire de la réduction⁶ formelle – que ce soit le processus lui-même ou son produit – à des nombres, et dans le cas qui nous intéresse, en dernier ressort, à un formalisme binaire où les nombres sont représentés en base 2 (*i.e.* selon une série de chiffres limités à

1 Julien Baudry décrit le phénomène pour le cas de la bande dessinée dans (Robert 2016a, p.55).

2 cf. <http://www.culturecommunication.gouv.fr/Thematiques/Livre-et-Lecture/Documentation/La-chaîne-du-livre> consulté le 4 juin 2017.

3 Comme la base bibliographique Electre (cf. <http://www.electre.com/> consulté le 4 juin 2017) ou la base commerciale FEL (Fichier Exhaustif du Livre, cf. <https://dilicom-prod.centprod.com/index.html> consulté le 4 juin 2017).

4 cf. <http://abelujo.cc/> consulté le 4 juin 2017.

5 À l'instar des services proposés par Dilicom (cf. http://www.sne.fr/etre_editeur/dilicom/ consulté le 24 juin 2017).

6 Et ce de manière souvent invisible, encapsulée dans des dispositifs de type « boîte noire » (Latour 1989)

deux valeurs possibles, arbitrairement désignées par 0 et 1). Ce terme de « numérique » fournit aussi aujourd'hui un raccourci pour désigner la collection⁷ indéfinie des usages et des interactions homme-machine qui s'appuient sur la numérisation binaire des traitements et des formats de données. En effet, si l'on parle de techniques numériques (voire du « numérique », tout court), c'est souvent, par métonymie, pour indiquer l'ensemble des dispositifs, innovations, procédés, etc., qui permettent l'emploi des formalismes numériques par des utilisateurs humains. Cela inclut donc des composants à portée sensorielle et symbolique comme les écrans par exemple, mais surtout le répertoire d'interactions homme-machine⁸ (gestes, métaphores, représentation, etc.). Le terme « numérique » en est donc venu à envelopper d'un voile plus ou moins opaque la part processuelle et formaliste qui exprime une dimension abstraite de la numérisation. « Numérique » devient ainsi le qualificatif évocateur de toute une collection de phénomènes qui s'enracinent dans un calcul au sens de Turing⁹. Cette notion de calcul est devenu en effet le fondement théorique et pratique de l'ordinateur et, avec lui, de l'informatique (Frayssé 2014)¹⁰, sans que l'on ait réellement besoin de savoir comment ils s'y rattachent pour être les agents vecteurs de son déploiement tous azimuts. Ces phénomènes forment l'expérience du numérique et ne sont bien sûr pas moins réels et tangibles que les infrastructures qu'ils requièrent. Ils sont même plus tangibles auprès d'un public d'utilisateurs de plus en plus large et diversifié dont l'accommodation à ces pratiques est travaillée au sein d'un espace médiatique globalement favorable, si ce n'est enthousiaste, comme l'a montré Pascal Robert avec sa mise en évidence d'un *impensé* informatique¹¹.

7 Nous employons ce terme pour les deux nuances qu'il emporte simultanément : à la fois accumulation sérielle du même et identification/séparation des individus qui sont isolés et répertoriés selon leur qualités propres. Le numérique se déploie en enrôlant des objets et des agents divers (les usages et les usagers) et en les conformant à une norme qui les subsume (la numérisation). On peut voir dans ce processus une forme de sanction normalisatrice, un examen (Foucault) permettant de faire entrer des éléments hétérogènes dans une même espèce. Discipline et contrôle sont ainsi des dimensions attachées au numérique indépendamment de ses applications à la surveillance *stricto sensu*.

8 Benjamin Thierry (2013) a montré dans sa thèse que le répertoire familier que nous connaissons aujourd'hui s'est stabilisé et généralisé à l'occasion de la diffusion du modèle WIMP (*Windows, Icons, Menus, Pointing devices*, soit « fenêtres, icônes, menus et dispositifs de pointage »). « L'acronyme [...] désigne les éléments dominants du paradigme d'interaction toujours en vigueur sur les ordinateurs personnels et, en partie également, sur les téléphones intelligents et les tablettes. » (Thierry, 2015).

9 Turing (1936) définit le calcul comme étant une « procédure mécanique » pouvant être prise en charge par une machine de Turing. Il invente cette machine uniquement « sur le papier » en lui donnant des caractéristiques permettant d'abord d'être employée dans les démonstrations de logique formelle qu'il pose dans son article de 1936. Il en tire une définition rigoureuse de la notion de calculabilité.

10 « the modifier “digital” [is] used to stress one salient aspect of Internet work, which is that it depends on computers » (Frayssé 2014, p. 483) « l'adjectif “numérique” est utilisé pour mettre en avant un aspect important du fonctionnement d'Internet, qui est le fait qu'il dépende des ordinateurs » [ndla : traduction de l'auteur]

11 Cette notion initialement introduite dans sa thèse sur la base d'un corpus de presse des années 1970, a été reprise et complétée dans son ouvrage *Une théorie sociétale des TIC* (Robert 2009) qui est la version

Mais la réalité de ces phénomènes ne peut être étudiée comme si elle formait une sphère autonome uniquement liée par l'air du temps et détachée du contexte historique et social dans lequel elle se déploie et aux transformations duquel elle participe. Comme le fait remarquer Serge Proulx (2016, p.163), « offrir des problématisations politiques pour penser le numérique se présente comme une clé pour ranimer une capacité sociétale à intervenir sur l'enjeu crucial que représente le secteur du numérique et les orientations de son développement [...] ». Mais au-delà du fait que « ce [développement] est massivement contrôlé aujourd'hui par les entreprises géantes de l'Internet et autres GAFAM [...] » (ibid.), si ces problématiques sont destinées à peser sur des enjeux cruciaux, alors elles doivent aussi interroger la forme de synthèse sociale (Sohn-Rethel 2011)¹² au sein de laquelle se déploie le numérique et les rapports qu'ils entretiennent. Cette forme a été décrite et analysée il y a déjà 150 ans par Marx dans un tout autre contexte, et a connu des mutations depuis, mais elle reste patente : il s'agit du capitalisme, c'est-à-dire de la production marchande généralisée. Le capitalisme est par ailleurs, aujourd'hui, dans sa phase « inversée » comme l'ont montré Norbert Trenkle et Ernst Lohoff (2014), en s'appuyant notamment, à la suite de Moishe Postone (2009), sur une relecture des catégories que Marx avait posées dès le premier chapitre du *Capital* : marchandise, travail, argent. Trenkle et Lohoff date cette inversion au tournant des années 1970, au moment où les pays industriels « historiques » entrent dans le post-fordisme. Ces pays (et d'autres nouvellement industrialisés qui les rejoignent dans la compétition mondiale) entament une nouvelle trajectoire les amenant à développer, à partir des années 1990, une économie du savoir fondée sur l'ingénierie des connaissances, dont l'informatique est l'outil de production. Mais l'inversion mise en évidence par Trenkle et Lohoff n'est pas le signe d'une simple relance de la dynamique d'accumulation capitaliste sur des bases affermies, mais bien plutôt de sa simulation dans une production de marchandises devenues primordiales : les titres

remaniée de son mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches. Nous ne cachons pas que ces textes et les notions qu'ils introduisent et développent, ainsi que la façon singulière d'aborder l'informatique dans nos sociétés, constituent l'élan initial de notre réflexion. Cette impulsion résulte d'abord du fait qu'ils ont induit un effet de dessillement sur des objets qu'une pratique professionnelle prolongée avait relégué dans le domaine de l'évidence.

- 12 La notion de synthèse sociale est forgée par Alfred Sohn-Rethel, philosophe proche de l'École de Francfort en lien avec une approche relationnelle de la société. Cette approche stipule que la société est constituée par les liens entre ses membres et non pas les membres eux-mêmes qui, pris isolément, ne sont pas spontanément porteurs de leurs propriétés sociales. La synthèse sociale est alors l'ensemble des médiations par lesquelles est réalisée la constitution de la société. Sohn-Rethel montre que, dans le cadre des sociétés capitalistes, la synthèse sociale a ceci de particulier qu'elle repose sur la marchandise. Il identifie cependant celle-ci au processus de l'échange, alors que les auteurs que nous mobiliserons pour notre thèse montrent que les propriétés déterminantes de la marchandise sont déjà scellées dans sa production. En effet, le travail producteur de marchandises est la médiation qui constitue la synthèse des sociétés capitalistes.

financiers. À cet égard, il nous semble que les sciences de l'information et de la communication peuvent contribuer à :

« [sortir] les traditions européennes et québécoises de l'économie politique de la communication de l'autocaricature qui a fini par limiter leur champ d'action, justement, à la seule question de l'investissement socioéconomique de la culture et des médias, redonnant alors toute son ampleur à la véritable conscience proprement politique portée par ces approches » (Magis, 2017, p.65).

Car, certes, certains acteurs tirent plus de bénéfices que d'autres des développements actuels de la production marchande, en s'appuyant massivement sur l'informatique pour en étendre le domaine et en capter les profits. Mais tous se confrontent en partageant des catégories fondamentales, comme par exemple le travail ou le numérique, qui leur semblent évidentes alors qu'elles sont à la fois le présupposé et le produit de l'activité des gagnants comme des perdants, des dominants comme des dominés, des exploiters comme des exploités, participant ensemble à leur reproduction. Aussi, pour ressaisir l'unité de ce contexte et des phénomènes évoqués, nous ferons l'hypothèse que leurs manifestations contradictoires sont animées par un principe moteur commun. Notre recherche doctorale va donc s'attacher à identifier et décrire ce principe, ainsi qu'à situer les rapports qu'il entretient avec ce qui anime le développement des techniques et des usages numériques. Par ailleurs, nous aborderons le numérique de façon à prendre en compte cette façon bien particulière de mettre en œuvre n'importe quelle mécanique processuelle en s'appuyant sur les capacités spécifiques de l'informatique et de la machine qui, pour ainsi dire, l'incarne : l'ordinateur.

Comme soubassement et toile de fond du numérique, l'informatique doit donc être remise sur le métier à tisser de la pensée car il nous semble que des propriétés fondamentales de cette lignée technique n'ont pas encore été explorées jusque-là. Bien sûr, il ne s'agira pas de renvoyer dans les limbes un certain nombre de caractérisations déjà acquises et qui illustrent différentes facettes de l'informatique. Selon le contexte, l'informatique peut, par exemple, désigner une technologie, une science, voire une technoscience¹³, dédiées au

13 C'est effectivement le cas dès lors que la recherche en informatique théorique est elle-même équipée massivement avec des ordinateurs, notamment dans le cadre de démonstration automatique de théorèmes ou d'exploration exhaustive de certains sous-domaines du calculable. Cette activité combine donc des « manières de savoir » et « manières de faire ». Les façons de construire une connaissance s'entrelacent alors

traitement de l'information numérique. Mais c'est aussi indéniablement un domaine de compétences professionnelles spécifiques, un secteur d'activité économique. Dans ce contexte, le terme « informatique » peut alors désigner, par synecdoque, la collection indéfinie des systèmes de traitement de l'information numérisée résultant d'une pratique d'ingénierie abstraite, c'est-à-dire indépendamment de leurs éventuels usages, ou tout au moins en les considérant comme connexes, adjacents, accessoires... selon les méthodes formalisées et promues dans ce milieu professionnel. Ce sont ces principes méthodologiques génériques qui fondent la propagation de proche en proche des pratiques d'ingénierie numérique (logiciels, réseaux, bases de données, etc.) dans des contextes variés dont on n'a pas de raison de présumer qu'ils étaient naturellement¹⁴ destinés à être appréhendés par un outil commun, et qui réclament donc un effort conséquent pour l'être.

À l'articulation entre la collection des usages numériques et celle des pratiques d'ingénierie informatique qui participent à leurs avènements, il y a une machine particulière, l'ordinateur. Machine particulière à double titre : tout d'abord parce qu'elle a pour caractéristique propre de permettre le parcours du domaine du calculable au sens où Alan Turing et Alonzo Church l'ont défini, chacun de manières distinctes mais formellement équivalentes. Aucune autre machine de traitement de l'information ne présente cette propriété de ne constituer aucun obstacle à ce parcours et même plutôt d'en représenter le véhicule (Robert 2009, p.189)¹⁵ privilégié. Mais machine particulière aussi, car elle constitue simultanément l'outil de production et le cadre d'emploi des applications numériques. C'est donc un véhicule qui permet non pas seulement de faire le trait d'union entre les usages sociaux et la production technique mais de les envisager dans un « paysage » commun. En observant les trajectoires au sein de ce paysage, il est ainsi possible « d'explorer et de construire un espace de problèmes » (ibid.)¹⁶ qui lui est tout à la fois spécifique et sans lien privilégié avec un contenu particulier. Empiriquement, c'est en effet la même machine qui

avec les méthodes pour fabriquer des choses, cette combinaison étant la marque distinctive de la technoscience selon Barry Barnes (2005).

14 Loin d'être naturelle, justement, cette appréhension requiert de lourds « investissements de forme » (Thévenot 1986)

15 « Nous pouvons donc penser les TIC comme des véhicules d'exploration-construction de cet ensemble d'espaces de problèmes ouvert par les deux révolutions [industrielle et politique] ».

16 L'espace des problèmes exploré et parcouru par l'ordinateur n'est pas superposable avec ceux explorés et parcourus par les TIC jusque-là, car c'est un véhicule qui présente ses propres caractéristiques. D'un côté il y a une restriction au domaine du calculable au sens de Turing/Church, restriction qui pourrait être vue comme un repli de prime abord. Mais de l'autre, les propriétés de ce domaine, que nous mettrons progressivement en évidence, font que les applications envisageables du numérique sont indéfinies, et que la voie vers de nouveaux territoires numériques semblent donc s'ouvrir en permanence devant soi.

sous-tend les usages numériques (les applications) et la théorie de la calculabilité (l'étude systématique des algorithmes ou procédures/méthodes mécaniques¹⁷). Sans l'existence concrète de l'ordinateur, on ne peut envisager la collection innombrable des applications numériques réunies dans un ensemble interopérable, c'est-à-dire fondé sur une propriété commune qui les subsume : le calcul. Sans la formalisation de ce concept (saisi par les notions de machines de Turing universelle, de lambda-calcul, de fonctions récursives, etc.), on ne peut envisager la pratique systématique de leur programmation, c'est-à-dire la déclinaison aux variations indéfinies des algorithmes qu'il est envisageable de concevoir. Aucun autre principe matériel, conceptuel ou organisationnel que ceux découlant des propriétés spécifiques de l'ordinateur, et qui puisse à la fois ne pas déborder et ne pas restreindre le domaine des techniques numériques, ne peut donc être mis en avant. Nous allons donc mener une analyse du calcul fondé sur cette machine particulière afin de mieux en cerner les propriétés qui lui permettent d'être à la fois le support matériel des applications numériques et l'outil d'une pratique professionnelle singulière. Évidemment, les catégories mobilisées pour cette analyse ne seront pas uniquement celles de l'informatique, mais on ne peut pas faire l'économie d'une lecture attentive des textes fondamentaux dans ce domaine, ainsi que d'une plongée dans les arcanes du développement des logiciels.

Les ordinateurs ont, par ailleurs, induit un changement d'échelle dans la production info-communicationnelle tant en volume que dans le rythme de son expansion. À bien des égards, on peut considérer qu'il s'agit, avec cette lignée technique, d'un nouveau ressort introduit dans des activités qui lui pré-existaient, au point de devoir ajuster les caractérisations que nous en avons jusque-là (Lainé-Cruzel, 2004). Nous employons le terme « ressort » à dessein pour évoquer ce qui anime le déploiement des techniques numériques dans les domaines de l'information et de la communication. On peut en effet conjecturer une dynamique propre à ces techniques tant le rythme avec lequel s'est effectuée leur adoption et le caractère très diversifié de leurs usages ne semblent pour l'instant connaître aucune limite. Il n'est pas anodin que le volume de la production informationnelle ait franchi des seuils significatifs depuis l'avènement des techniques numériques. D'après les études annuelles fournies depuis plus de dix ans par IDC sur l'« univers numérique »¹⁸, l'année 2007 peut

17 On trouve aussi parfois l'anglicisme « effectif » au lieu de mécanique. Il provient des termes anglais *effective procedure* ou *effective method*.

18 *Digital Universe* : terme repris dans l'intitulé du « livre blanc » fourni chaque année par IDC (International Data Corporation) et faisant la synthèse de leurs études sur les tendances du monde numérique. IDC est une entreprise d'études et de conseil dans le domaine des technologies de l'information. Elle fait partie d'IDG

notamment être vue comme un tournant, du fait que la capacité de stockage (tous types de supports confondus) fabriquée cette année-là a été inférieure au volume de données numériques produites. L'écart s'est depuis élargi à un rythme exponentiel, ce qui permet de dégager une tendance lourde : les données collectées ou produites par des systèmes d'informations numériques sont de plus en plus *transientes*, c'est-à-dire inscrites dans un traitement sans faire l'objet d'une conservation durable¹⁹, au point de considérer aujourd'hui qu'une part de plus en plus importante de l'information produite le soit avant tout pour des usages non humains, c'est-à-dire par des machines computationnelles, seules à même de parcourir efficacement l'espace des données en expansion permanente²⁰. Ces volumes sont en effet hors de portée des capacités humaines d'assimilation, qu'elles soient individuelles ou collectives, avec des ordres de grandeur qui dépassent largement ceux que peuvent impliquer la collection des bibliothèques ou des archives composées de supports analogiques. Il est par ailleurs admis avec fatalité, comme cela est formulé dans les études IDC précédemment évoquées, que le rythme est amené à s'accélérer, et que les activités humaines dans leur ensemble produiront bientôt plus d'informations en un an qu'elles n'ont pu le faire durant toute leur préhistoire numérique. Malgré le caractère massif du stockage d'informations à l'ère numérique, celle-ci s'avère pourtant être *à court de mémoire* d'une manière qui n'est pas conjoncturelle, mais inscrite dans le mouvement même de ses techniques particulières. Ainsi, le terme de « déferlement » (Tibon-Cornillot 2003) vient à l'esprit pour décrire ce phénomène au caractère exponentiel. Ce terme ne renvoie pas seulement à la multiplication des données résultant d'un usage généralisé de l'informatique, il soulève aussi la question des dynamiques qui animent ce mouvement. De plus, on ne peut se contenter de voir ce mouvement comme un fait isolé qui ferait irruption – que ce soit par hasard ou par nécessité – ou dessinerait un

(International Data Group), un groupe éditant des magazines et des manuels spécialisés dans les technologies informatiques et à destination d'un public de professionnels.

19 La visibilité donnée depuis quelques années par le monde académique à la problématique de l'archivage du Web manifeste d'ailleurs la montée en puissance des efforts et des ressources consacrés à la sauvegarde du patrimoine numérique.

20 On peut citer comme exemples au moins les deux cas évoqués par Olivier Ertzscheid en 2012 (http://affordance.typepad.com/mon_weblog/2012/03/le-web-en-lettres-capital.html consulté le 10 avril 2018) et assez emblématiques car ils ont pour contexte ce qui pourrait sembler intuitivement la vitrine des usages humains quant à la production et à l'accès à l'information, du moins est-ce dans ce but explicite qu'ils ont été conçus et promus. Il y a tout d'abord la liste de contributeurs les plus actifs à Wikipédia où des « bots » (scripts automatisés d'édition) occupent régulièrement les dix premières places pour la version anglophone (cf. https://en.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:List_of_Wikipedians_by_number_of_recent_edits consulté le 10 avril 2018). Il y a aussi la part du trafic Web constituée par des requêtes effectuées par des « bots » que ce soient, entre autres, des « moissonneurs » destinés à alimenter les index des moteurs de recherches, ou bien des logiciels malveillants à la recherche de faille de sécurité à exploiter ou tout simplement participant à des attaques par déni de service (DDoS : Distributed Denial of Service).

horizon déconnectant logiquement un avant et un après. Le cadre dans lequel se déploie ce déferlement est en effet situé historiquement dans un processus plus large, depuis les premières anticipations lancées par les cybernéticiens à la sortie de la Seconde Guerre mondiale jusqu'aux projets de numérisation tous azimuts portés d'une part par l'élan entrepreneurial dont la Silicon Valley est l'épicentre – mais dont le clonage est globalement à l'œuvre (Florida 2002, Moriset 2017)²¹ – et d'autre part par la frénésie de surveillance dont la NSA ou les GAFAM sont les principales figures médiatiques sans être, loin de là, les seules sources de dérive avérées.

Dans le cadre plus large où peut être replacé ce déferlement, une étape importante est constituée par la mise en place dès les années 1960 de bases de données par les entreprises de crédit à la consommation (Lauer 2017). Cette nouvelle classe d'application des techniques numériques connaît un essor qui ne sera que très partiellement limité par les préoccupations concernant les potentielles atteintes à la vie privée qu'elles pouvaient engendrer (Masutti, 2018). Ces bases de données représentent une nouvelle classe d'applications car elle dépasse le cadre d'emploi des ordinateurs de l'époque qui, jusqu'au tournant des années 1960, étaient principalement consacrés à des usages militaires et industriels notamment dans le domaine du calcul scientifique, de l'ingénierie ou de la gestion de production. La puissance de calcul que les ordinateurs pouvaient exhiber se déployait alors dans des variations plus ou moins sophistiquées du calcul arithmétique, scientifique et logistique. On assiste alors, dans le secteur dédié à la conception, la construction et la mise en œuvre des ordinateurs, à un basculement d'orientation, depuis le traitement massif d'opérations arithmétiques sur des nombres représentant des quantités et des flux physiques vers un traitement massif selon des méthodes statistiques de données représentant des informations composites, hétérogènes et destinées à la modélisation des interactions sociales. Vers le milieu des années 1960, les constructeurs majeurs d'ordinateurs commencent à ne plus distinguer dans leurs offres les machines dédiées aux usages scientifiques de celles dédiées aux applications commerciales, à l'image de la série 360 d'IBM²².

21 Le processus induit par ailleurs un phénomène d'uniformisation dans l'aménagement et l'atmosphère des quartiers investis par ces activités (cf. <https://www.theverge.com/2016/8/3/12325104/airbnb-aesthetic-global-minimalism-startup-gentrification>, consulté le 14 mars 2019).

22 cf. <https://www.ibm.com/ibm/history/ibm100/fr/fr/icons/system360/> (consulté le 16 avril 2019). Dans un article justifiant les choix de conception de cette série (cf. <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=1662397> consulté le 16 avril 2019), ses concepteurs indiquent que son objectif est de répondre aux « conflicting demands of commercial, scientific, real-time, and logical information processing »

Lauer voit dans l'avènement de la base de données comme domaine d'application de l'ordinateur la marque d'une « seconde révolution informatique ». Cette « seconde révolution » peut être abordée comme un phénomène interne à ce secteur industriel particulier, mais l'irruption et la portée de cette « révolution » déborde non seulement l'industrie informatique, mais aussi le secteur d'activité de l'industrie financière qui en est le terreau, pour prendre une signification plus globale dans le cadre des transformations profondes que connaît la dynamique du capital lors du déclin du modèle fordiste. La généalogie du capitalisme « de surveillance » que Masutti inscrit dans l'émergence et le développement explosif des bases de données à des fins de marketing direct – depuis l'informatisation du secteur du crédit à la consommation jusqu'à la constitution des Nouveaux Léviathans²³ – peut alors être comprise comme une manifestation, certes bien réelle mais secondaire, ou bien encore dérivée, d'une dialectique plus profonde entre dynamique du capital et techniques numériques. Cette dialectique se manifeste de multiples façons dont la surveillance généralisée, exercée aussi bien par des puissances publiques que par des entreprises privées, n'est qu'une parmi d'autres. Que ce soit l'économie du savoir, aussi appelé « capitalisme cognitif » (Vercellone 2003, Gorz 2003), ou le *digital labor* (Scholz T. 2012, Cardon et Casilli 2015), de nombreuses approches peuvent être comprises comme autant de tentatives pour cerner le lien entre une nouvelle ère des sociétés industrielles introduite par une révolution numérique (voire l'avènement d'une société post-industrielle) et les modalités contemporaines de la reproduction du capital.

Si ces multiples approches ont donné lieu à un foisonnement d'interprétations, il est indéniable que les phénomènes dont les chercheurs ont tenté de rendre compte sont associés à l'émergence et à la montée en puissance des plate-formes numériques²⁴ au tournant des années 2000, avec des acteurs incontournables tels que Google, Facebook ou Amazon, par exemple, mais aussi certains moins connus du grand public car officiant dans le domaine du BtoB²⁵ ou

23 Masutti nomme ainsi les acteurs du déploiement des techniques numériques caractérisés d'une part par l'échelle massive de leurs infrastructures et de leurs impacts sur les sociétés contemporaines, et d'autre part par la menace qu'ils représentent pour le respect de la vie privée, que ce soit par la surveillance ou la monétisation de nos interactions numériques.

24 Le conseil national du numérique donne la définition suivante pour une plate-forme numérique : « [...] un service occupant une fonction d'intermédiaire dans l'accès aux informations, contenus, services ou biens, le plus souvent édités ou fournis par des tiers. Au-delà de sa seule interface technique, elle organise et hiérarchise ces contenus en vue de leur présentation et leur mise en relation aux utilisateurs finaux. [...] » (CNNum, 2015, p.59). Dans le cadre de notre recherche, cette définition nécessitera bien sûr d'être interrogée afin de mieux caractériser la notion de plate-forme numérique dans la perspective de notre problématique.

25 *Business to business* : commerce inter-entreprises.

des ESN²⁶. Il ne faut pas limiter la révolution numérique à ces plate-formes, aujourd'hui plus ou moins intégrées dans notre quotidien, car celles-ci manifestent des tendances qui étaient déjà à l'œuvre notamment depuis la « seconde révolution informatique » que nous avons déjà évoquée. Histoire et pré-histoire de ces plate-formes numériques sont donc toutes deux incluses dans une période bien particulière des sociétés fondées sur la production industrielle de marchandises. Cette période a en effet vu l'avènement de la marchandisation et de l'industrialisation massives des pratiques info-communicationnelles (Beniger 1989, Turner 2013). Ces pratiques s'inscrivent par ailleurs au sein d'une sphère plus large mais tout aussi impactée, celle des pratiques culturelles (Adorno 1947, Turner 2016). Les plates-formes numériques disponibles via les réseaux de télécommunications globalisés sont à la convergence de ces phénomènes mais n'en restent pas moins le produit d'un mouvement historique qui leur est antérieur. Cependant, il est indéniable que leur installation rapide et leur omniprésence dans le paysage des moyens de communication a conduit un large public à transformer visiblement son rapport aux informations et à la communication, qu'elles soient personnelles ou publiques. Cette transformation a déplacé bien des repères qui semblaient définir un certain rapport moderne à la réalité sociale. Le travail étant une des dimensions constitutives de la modernité (Postone 2009, Kurz 2011, 2012, Trenkle et Lohoff 2014), il a subi le manifestement des assauts que de nombreux observateurs ont récemment relevés et ont justement tentés de saisir au travers de la notion de *digital labor*. Ce concept s'inscrit donc dans deux dimensions simultanées qu'il nous faudra situer historiquement : celle de la production et celle de l'informatisation. Notre recherche doctorale inclura donc un questionnement sur les caractérisations respectives du travail et du numérique, non pas dans la perspective de rendre compte immédiatement des conséquences du phénomène, mais dans celle de produire une analyse critique des notions respectives de capitalisme et de numérique. Il s'agira entre autres de proposer une composition rapprochant travail et numérique qui, au-delà d'un constat sur l'avènement d'un « capitalisme numérique » permettra de situer cet avènement dans le prolongement des dynamiques propres à chacune de ses composantes. Cette approche permettra par ailleurs d'aborder différentes interprétations empiriques du *digital labor*. Il peut en effet y être tour à tour saisi sur le terrain comme un travail avec les

26 *Enterprise Social Network* : réseau social d'entreprise qui est en quelque sorte une déclinaison des applications de type « réseau social numérique », déployée dans le contexte d'une entreprise. Dans ce domaine, on peut citer des produits tels que Yammer ou Slack, par exemple. Ce qui distingue ces solutions des outils jusque-là mis en œuvre dans les entreprises, c'est de prétendre renverser la primauté dans le rapport entre la structure organisationnelle de l'entreprise et celle de ses canaux de communication (cf. Jacquenet Piment 2016, 2018).

outils numériques, un travail à l'ère des usages numériques, ou bien encore une activité saisie par la trace numérique.

Dans cette optique, nous utiliserons un cadre conceptuel relevant des approches critiques et adressant les problèmes soulevés précédemment : la critique de la valeur-dissociation (Scholz R. 2000, 2007 ; Kurz 2011, 2012) ainsi que des conceptualisations apparentées portant aussi spécifiquement sur les sociétés capitalistes (Postone 2009, Trenkle et Lohoff, 2014). Il permettra notamment de situer les processus info-communicationnels à l'ère des techniques numériques dans le contexte de la prédominance actuelle de la production de ce que Trenkle et Lohoff appellent des marchandises d'ordre 2. Nous allons reprendre et défendre ici la thèse selon laquelle le travail créateur de valeur, c'est-à-dire celui qui est impliqué dans la reproduction du capital et à travers lui dans la reproduction des sociétés de la modernité, n'est pas caractérisé en dernier ressort par la tension entre production et captation de valeur – qui n'en est que dérivée –, mais par la forme bifide²⁷ intrinsèque de cette dernière, induisant une dynamique socio-historique propre au capitalisme (Postone 2009). Cette dynamique doit être prise en compte dans les analyses menées sur l'interaction entre capitalisme et numérique car elle déploie des conditions socio-historiques potentiellement propices à l'avènement du numérique. En retour, les contributions contradictoires du numérique à la dynamique en question doivent être évaluées afin de mieux cerner les tenants et les aboutissants du « capitalisme numérique ». Dans la mesure où la dynamique du capital déploie tendanciellement des conditions toujours plus difficiles à affronter pour sa propre marche, la *rencontre* entre capitalisme et numérique sera ainsi interprétée comme le marqueur, non pas d'une nouvelle phase triomphale de l'accumulation capitaliste, mais d'une tension accrue autour de la possibilité-même de maintenir cette dynamique. À ce titre, par exemple, la critique du *digital labor* proposée dans cette thèse ne sera pas une critique *du point de vue du travail* ou *au nom du travail*, mais s'inscrira dans une critique du travail lui-même comme forme de synthèse sociale historiquement située, spécifique au capitalisme et commune à ses différentes phases, même si elle y prend des figures différentes voire contradictoires dans la succession de ces phases.

27 Au sens de *segmenté en deux parties malgré tout indissociables*, ou bien encore *fendu en deux portions demeurant solidaires*. Le terme est employé en botanique et en anatomie pour qualifier des organes comme, par exemple, la langue de certains reptiles (cf. <http://www.cnrtl.fr/definition/bifide> consulté le 16 avril 2019). Il s'agit de la traduction généralement adoptée pour le terme « *zwieschlächtig* » que Marx emploie dans la version originale du *Capital*.

Mais le cadre conceptuel que nous allons utiliser pour inscrire l’informatisation des activités info-communicationnelles dans la dynamique du capital ne se limite pas au traitement des problématiques transverses, comme le fait d’interroger la notion de *digital labor*. Il permet aussi de se pencher sur la place occupée par telle ou telle application numérique particulière. Par là même, il est possible de développer une approche différenciée pour chacune de ces applications et donc de ne pas se contenter de plaquer une mécanique très générale et indistincte sur différents cas d’usage. Notre recherche doctorale va donc se poursuivre en étudiant spécifiquement une application numérique, mais toujours dans la perspective de cette *rencontre* non contingente entre capitalisme et numérique. Pour se donner la possibilité d’en tirer des résultats originaux, il nous faut sélectionner une application suffisamment récente pour manifester des propriétés encore peu explorées et toujours d’actualité, mais aussi suffisamment ancienne pour disposer d’une histoire déjà diversifiée. Les plate-formes numériques (Srniczek 2018) représentent globalement de bonnes candidates pour remplir ces critères. Celles qui sont mises en œuvre par des entreprises afin d’y déployer un modèle d’affaires ont cependant l’inconvénient d’être déjà largement traitées dans la littérature scientifique sous les thématiques du *digital labor*. Afin de diversifier nos potentiels résultats, il nous paraît plus intéressant de nous pencher sur des applications numériques qui ne sont pas spontanément associées à ces thématiques, même si nous n’excluons pas qu’elles puissent resurgir à l’occasion de notre enquête.

Notre choix s’est porté sur les cryptomonnaies, et plus spécifiquement sur Bitcoin qui en est la principale représentante. Initiée il y a maintenant dix ans, cette application numérique est présentée par son (ses) concepteur(s)²⁸ comme destinée à réaliser des transactions monétaires (Nakamoto 2008). Il l’avait proposée dans l’objectif explicite de pallier aux défaillances des systèmes financiers mondiaux, qu’il estimait plus structurelles que conjoncturelles. Avec ce genre d’applications, nous pouvons nous retrouver assez rapidement au cœur des questionnements sur la nature et la portée de la crise qui a saisi le système financier global au moment où Bitcoin était inventé. La finance est devenu dans les dernières décennies une composante hypertrophiée du capitalisme, par ailleurs largement équipée d’outils numériques. Comme l’interprétation originale de ce phénomène est une des propositions fortes de la compréhension du capitalisme que nous mobiliserons, le terrain semble propice à des observations fructueuses sur les ressorts les plus récents de la *rencontre*

28 Nakamoto est un pseudonyme dont on ne sait pas s’il employé par un individu ou un groupe. Pour plus de lisibilité, nous opterons uniquement pour le singulier, même si le doute demeure.

entre capitalisme et numérique. D'autre part, la monnaie est un objet qui n'est pas étranger aux sciences de l'information et de la communication, comme le signale Eric Dacheux avec les propos suivants lors de la présentation d'un séminaire dédié au sujet : « Dans une tradition sociologique qui va de Simmel à Luhmann en passant par Parsons, la monnaie est vue comme un médium, un moyen de communication facilitant les échanges »²⁹.

Notre démarche va consister à proposer, selon les critères que nous allons nous donner comme contraintes de validité, une analyse des catégories fondamentales du numérique et des propriétés qui en découlent. Cette démarche permettra ainsi d'aborder le numérique simultanément comme un fait social et un fait technique, tout en prenant en compte son caractère total (non pas énumérant exhaustivement toutes les instances, mais mettant en rapport toutes les parties) d'une part et bifide (deux natures dans un même corps) d'autre part, comme nous allons progressivement le mettre en évidence. De plus, pour s'inscrire dans le cadre d'une *rencontre* avec les dynamiques du capital, cette démarche doit conjointement pouvoir rapporter ce fait sociotechnique total à un cadre englobant, celui de la forme de synthèse propre aux sociétés dont la reproduction repose sur celle du capital, et donc sur le travail producteur de valeur. Cette approche spécifique des différents phénomènes relevant de l'informatisation conduit à faire émerger des catégories liées les unes aux autres dans un rapport d'interdépendances mutuelles qui pose d'emblée un problème d'exposition : par quelle(s) catégorie(s) débiter et comment introduire pas à pas leurs implications lorsque celles-ci semblent toutes se présupposer les unes les autres ?

Une des difficultés se trouve notamment dans le fait que, envisagé comme une totalité, le numérique ne se laisse pas saisir simplement par l'étude de telle ou telle application, ni même d'ailleurs par une énumération exhaustive qui classerait chacune comme cas particulier d'un modèle générique idéal. D'un autre côté, cette totalité ne se déploie qu'en prenant les applications pour support et il n'est pas envisageable de les occulter, non pas seulement pour donner un peu de *chair*, d'ancrage dans le *réel*, à l'exposé, mais parce que ces supports sont nécessaires à la constitution dynamique de la totalité et qu'ils en reflètent les nécessités, quand bien même cette dynamique serait indifférente au contenu propre des applications. Ainsi, nous reprenons à notre compte le constat de Günther Anders lorsque celui-ci présente la

29 cf. <http://www.iscc.cnrs.fr/spip.php?article2039> consulté le 15 mars 2019.

méthode employée dans son ouvrage *L'obsolescence de l'homme* : « le caractère hybride du projet impose un style inhabituel d'exposition ».

Le mode d'exposition que nous allons expérimenter dans cette thèse peut être qualifié de *double spirale*. Il répond, selon nous, le mieux à l'objet auquel nous voulons confronter le numérique, à savoir le capital. Avec cette double spirale, il s'agit en effet de combiner divers mouvements afin que l'exposé soit en quelque sorte le prisme le plus adéquat aux formes que nous voulons saisir.

- Tout d'abord un mouvement cyclique permettant de revenir régulièrement sur l'axe structurant tout en engageant un regard porté sur de multiples horizons successifs. Le mouvement traduira le cycle des différentes formes de la marchandise sur lequel s'appuie la dynamique du capital.
- Ensuite, un mouvement fléché qui définit un parcours cumulatif où l'avant et l'après sont clairement distingués et marqués de telle façon que chaque étape forme la base élargie d'un nouveau cycle, à la manière du capital qui ne peut se reproduire que sur la base d'un mouvement d'expansion permanente.
- Enfin une oscillation entre deux pôles, chacun constituant un moment analytiquement distinct mais structurellement indissociable de l'autre dans le cadre d'un mouvement qui les subsume, tout comme la dynamique du capital peut être envisagée comme une oscillation permanente de la forme-marchandise entre sa face concrète et sa face abstraite.

Le mouvement le plus élémentaire, celui de l'oscillation va être rendu par un découpage en deux parties, prenant en charge respectivement la phase aller puis la phase retour. Dans la phase aller développée dans la première partie, le point de vue adopté sera celui de la généralité, avec notamment la mise en évidence des catégories principielles qui structurent, selon nous, la dynamique déployant le numérique comme totalité. De ce point de vue seront observés divers « objets numériques » au sens large puisqu'il peut s'agir aussi bien de dispositifs techniques, de discours et représentations, ou de la notion récente de *digital labor*. Dans la phase retour développée dans la seconde partie, le point de vue adopté sera celui de la particularité avec l'étude de cas d'une application numérique démarrée en 2009 et qui a initiée une nouvelle classe de plateformes, à savoir respectivement Bitcoin et les cryptomonnaies.

Le premier point de vue portera un regard plutôt orienté par une perspective théorique afin de dégager une dimension abstraite du numérique. Comme pour la marchandise et le travail, le terme *abstrait* ne doit pas être compris dans le sens d'éthéré ou d'idéal mais dans un sens plus restreint de « non spécifique ». Dans cette acception, une propriété d'un objet est abstraite non pas parce qu'elle est suspendue dans le ciel des idées, mais parce qu'elle fait abstraction, c'est-à-dire qu'elle déploie sa logique quel que soit le contenu spécifique des autres propriétés de l'objet. Une propriété abstraite reste bien une propriété *attachée* à un objet, même si cet attachement fait justement *abstraction* des autres propriétés. Cette première partie développant une perspective théorique ne nous dispensera pas, par ailleurs, de confronter sans délai les catégories proposées à des objets bien concrets traités dans les sciences de l'information et de la communication.

Le point de vue de la seconde partie adoptera pour sa part une perspective ancrée dans un objet particulier afin d'observer le même rapport dialectique entre concret et abstrait sous l'angle complémentaire. Dans les deux perspectives, nous proposerons des ancrages empiriques non pas dans l'objectif de valider, ou même simplement d'illustrer les éléments théoriques dégagés dans la première partie et y trouver ainsi une confirmation *mécanique*, mais bien de montrer comment les pôles concret et abstrait que nous allons mettre en évidence dans notre caractérisation du numérique s'articulent toujours d'une manière spécifique dans telle ou telle application.

Le mouvement fléché et cumulatif sera repris dans chacune des deux parties mais selon leurs points de vue respectifs. Concernant aussi bien le point de vue général que celui particulier, il s'agira en effet de poser les jalons successifs d'une dynamique du numérique en rapport avec celle du capital et de montrer en quoi le parcours de ces jalons comporte un caractère irréversible et définit ainsi un processus temporel globalement orienté dans un sens privilégié. Par ailleurs, cette accumulation sera présentée comme une résultante de l'oscillation dont le retour se fait toujours dans un au-delà du point de départ.

Comme le mouvement précédent, le mouvement circulaire figurera dans chacune des deux parties, et aura pour centre le pôle abstrait dans la première partie et le pôle concret dans la seconde. Il permettra de dessiner un panorama des interactions entre les deux pôles en observant ces interactions successivement depuis l'un et l'autre de ces pôles. Ce mouvement se traduira aussi, en terme d'exposition, par une certaine hétérogénéité des thèmes abordés

puisque'il s'agira de donner à voir la multiplicité des chemins qui peuvent être empruntés dans le mouvement d'un pôle à l'autre.

Dans la première partie, après avoir fixé le cadre théorique dans lequel peuvent être saisis les différents avatars du numérique, il s'agira pour nous de proposer une mise à l'épreuve de ce cadre sur des objets qui animent aujourd'hui les débats au sein des sciences de l'information et de la communication. Mais ces objets ne seront pas uniquement choisis pour leur propension à renouveler les approches ou à réactualiser de plus anciennes dans les controverses qu'ils suscitent. Ils le seront aussi pour les liens que le cadre proposé peut permettre d'établir entre eux et que des approches différentes n'ont pas mis en évidence jusque-là. Les objets qui seront simultanément traités, puis rapprochés dans le cadre explicatif que nous proposons, ont pour point commun d'être inscrits dans des débats sur la production de valeur à l'ère du capitalisme numérique, notamment le mouvement de l'*open data* ou la notion de *digital labor*. Or, il s'avère que le cadre théorique dans lequel nous souhaitons aborder l'avènement du numérique est justement fondé sur l'analyse de propriétés analogues à celles de la production marchande généralisée telle que l'avait abordé Marx dans le contexte des bouleversements induits par la révolution industrielle.

Notre enquête portant sur Bitcoin sera réalisée dans la seconde partie de notre thèse, selon deux axes méthodologiques complémentaires :

- Une observation participante de la communauté des promoteurs de Bitcoin, précédée d'une mise en contexte historique de cette communauté. Le terme promoteur doit être ici pris dans un sens très large qui ne se limite pas aux acteurs effectuant un travail explicite de promotion à visée commerciale. Il peut s'agir aussi bien de développeurs logiciel, d'entrepreneurs que d'utilisateurs de la cryptomonnaie. Cette observation participante sera complétée d'une analyse sémiotique des sites Web dédiés à la (re)diffusion des captations vidéo et des supports de présentation produits dans le cadre de symposiums autour des cryptomonnaies.
- Une analyse de protocole à la manière dont Alexander Galloway l'a initialement proposée pour les protocoles de l'Internet. Dans les grandes lignes, la méthode en question consiste à dresser un tableau dynamique du fonctionnement pragmatique du protocole plutôt que la seule vision statique des composants qui le constituent

logiquement. Cette analyse du protocole Bitcoin sera complétée par l'étude d'une controverse portant sur certains de ses paramètres.

À ce stade, nous disposons donc d'une problématique formulée de manière très générale : quelles sont les spécificités de la *rencontre* entre capitalisme et numérique qui peuvent expliquer le déferlement constaté ? Nous avons de plus esquissé un cadre conceptuel pour aborder cette problématique : une approche critique de la dynamique du capital fondée sur diverses relectures marxiennes s'attachant à faire du travail une catégorie négative spécifique au capitalisme. Nous disposons enfin d'une application numérique pouvant faire l'objet d'une étude de cas pertinente. Avant d'entamer le développement de notre recherche doctorale, il nous semble cependant nécessaire de nous attarder un moment sur le cadre conceptuel que nous retenons pour appréhender le capitalisme et d'en préciser les tenants et les aboutissants. Ce moment permettra de préciser les conditions dans lesquelles peut être saisie notre problématique et ainsi lui donner un contenu plus spécifique. Nous allons donc intercaler, à la suite de cette introduction et avant d'entamer la première partie, un chapitre préliminaire. De même, à l'issue du parcours complet qui nous aura fait passer d'un pôle à l'autre entre les première et seconde parties, nous en proposerons une vision synthétique dans un ultime chapitre post-liminaire permettant de ressaisir les deux composantes dans une vision synthétique et de ré-articuler généralité et particularité dans un même objet, avant d'exposer notre conclusion.

Chapitre 1 : Le numérique comme révolution industrielle ?

Les constats sont nombreux concernant les profondes et rapides transformations induites par l'introduction massive des techniques numériques jusque dans les moindres recoins des sociétés contemporaines. Le terme de « révolution numérique » fait même partie du vocabulaire des sciences humaines depuis plus d'une décennie et les sciences de l'information et de la communication ont notamment contribué à en définir les contours (Vitalis 2016)³⁰. Pour cela, les SIC ont porté leurs réflexions sur un domaine incontournable de cette révolution : les technologies de l'information et de la communication, parfois qualifiées de « nouvelles » pour marquer justement les évolutions rapides en ce domaine depuis leur intégration par l'informatique.

Si cette révolution numérique a bien des caractères spécifiques, à commencer par les systèmes techniques sur lesquels elle s'appuie, il a aussi été noté que son rythme et son ampleur pouvaient être rapprochés d'autres périodes historiques ayant connu de tels

30 Voir notamment le chapitre 5, intitulé « Numérique et révolution »

bouleversements dans les processus de production et les modes de vie. À ce titre, la révolution numérique est aussi définie comme la troisième révolution industrielle après celle « fondé[e] sur l'utilisation du charbon et de l'énergie vapeur » (Caron, 2000, p.27) et celle « fondé[e], entre autres, sur l'électricité, le moteur à explosion et la chimie organique » (ibid.).

Cependant, cette inscription de la révolution numérique dans la lignée des révolutions industrielles invite aussi à prendre quelques précautions quant aux analyses qui peuvent en être tirés, et notamment à éviter celles qui conduisent à rabattre la révolution en question sur le système technique (Gille 1978) qu'elle contribue à faire émerger sans donner d'autres explications à la transition que les performances accrues du nouveau système. Celui-ci ne peut être simplement abordé comme fournissant un service à moindre coût ou avec une plus grande fiabilité, car cela laisse dans l'ombre les raisons pour lesquelles une société ne considère plus les performances passées comme adéquates à sa reproduction.

De plus, un système industriel ne peut être réduit à ses aspects techniques.

En effet, l'industrie n'est pas qu'un empilement de moyens techniques, c'est avant tout un mode de production dont tous les produits sont commensurables selon une forme particulière : la marchandise (Marx 2016, Postone 2009). Si l'industrie était réductible à un système technique, il n'y aurait plus de raison de qualifier notre civilisation d'industrielle en particulier, et il suffirait de qualifier toute civilisation un tant soit peu technicienne d'industrielle. Le mode de production au sein duquel se déploient les différentes révolutions industrielles est caractérisé avant tout par la forme sociale même de ce qui est produit et non par la collection des moyens techniques engagés, même si le lien entre les deux est loin d'être contingent et constitue justement, selon nous, l'enjeu d'une véritable explication de l'émergence et du déferlement des techniques numériques. Par « forme sociale de ce qui est produit », nous voulons désigner une forme générale des produits de l'activité humaine dans une société donnée, et qui fait que les membres de cette société s'accordent à réunir les produits en question sous une même espèce. Il peut éventuellement coexister plusieurs formes générales.

Dans le cas des sociétés industrielles, la forme générale des produits est unique et c'est celle de la marchandise (Marx 2016). Cela signifie que ce qui est produit pour assurer la reproduction de la société elle-même, l'est d'abord et avant tout dans la perspective de cibler un consommateur solvable et non pas dans le but de répondre à un besoin du producteur lui-

même. Les moyens techniques mis en œuvre pour adresser au mieux cette forme de synthèse sociale doivent donc être abordés comme des matérialisations adéquates (Postone 2009) aux dynamiques résultant de l'interaction, bien particulière à la société de production marchande, entre ces moyens techniques mobilisés et les nécessités de la synthèse sociale au sein de laquelle ils sont employés. Dans ce contexte, on peut voir les transitions vers un nouveau système technique comme la conjonction d'un obstacle, éventuellement interne, à la reproduction de la société sur ses propres bases et d'une possibilité de dépassement offerte par un moyen technique devenant plus adéquat aux nouvelles conditions afin de prolonger malgré tout cette reproduction. Il faut cependant préciser que l'obstacle ne se présente comme tel que dans le contexte particulier de la forme de synthèse sociale où il se manifeste. Dans tout autre contexte, il n'aurait tout simplement aucun sens. La trajectoire technologique des sociétés industrielles n'est donc pas induite par les performances absolues de telle ou telle technique afin de répondre à des besoins sociaux qui se seraient préalablement manifestés, mais elle ne résulte pas non plus d'un choix conscient des acteurs de la société, y compris ceux qui peuvent en tirer les positions les plus avantageuses.

Si nous partageons « la volonté de dépasser déterminismes technique ou sociologique à travers leur appréhension croisée » (Coutant, 2015) que mettent en avant les approches sociotechniques en sciences de l'information et de la communication pour tenter de saisir les tenants et les aboutissants des phénomènes relevant de la révolution numérique, c'est donc bien du fait de « l'impossibilité de séparer les techniques des sociétés dans lesquelles elles sont inventées » (ibid.). Cette non-séparation est cependant, pour nous, fondamentalement construite par la forme générale des produits et des activités assurant la reproduction sociale, qui s'avère être, dans les sociétés industrielles, la forme marchande.

Afin de mieux situer les éléments esquissés ci-dessus comme cadre méthodologique pour aborder la révolution numérique, nous allons exposer dans ce chapitre les tenants et les aboutissants de la forme de synthèse sociale propre aux sociétés industrielles. Pour cela nous déclinerons la lecture que fait Moishe Postone (2009) des analyses marxiennes de la marchandise et du travail qui, en tant que catégories fondamentales, forment le noyau à partir duquel se déploient les phénomènes spécifiques à ces sociétés. Cela nous conduira notamment à justifier la notion de « techniques industrielles comme matérialisation adéquate au mouvement du capital ». Dans un deuxième temps, nous nous pencherons alors sur une révolution technique qui marque la première révolution industrielle, celle de l'adoption

massive du charbon et de la machine à vapeur comme force motrice. Divers auteurs (Moore 2015, 2016, Malm 2017, Cunha 2015) se sont récemment penchés sur ce moment historique, notamment car il constitue un élément important des débats actuels sur les ressorts sociotechniques du changement climatique en cours et qui marquerait l'entrée dans une ère que ces auteurs appellent le *capitalocène*. Nous mobiliserons donc ces auteurs afin de montrer comment les contraintes objectives, mais historiquement situées, qui découlent de la production généralisée de marchandises aboutissent à cette « matérialisation adéquate » qui fait précisément révolution dans les domaines aussi bien technique que social. Cet exemple de la première révolution industrielle ne constituera pas un modèle *mécaniquement reproductible* et donc applicable tel quel à la révolution numérique, car il sera justement établi que chacune de ces révolutions dépend des conditions historiques de leur avènement. Mais il montrera tout de même que la dynamique induite par la forme-marchandise comme forme de synthèse sociale peut constituer le moteur de l'avènement des nouveaux systèmes techniques sous le capitalisme. Dans un troisième temps, pour s'inscrire dans le cadre conceptuel exposé jusque-là, nous aurons à définir un certain nombre de critères permettant d'établir une démarche cohérente avec ce cadre. Cette démarche aura pour but de caractériser le numérique comme une révolution industrielle présentant ses particularités historiquement et socialement situées, au-delà d'une simple description des bouleversements introduits par des innovations techniques. Ces critères guideront la réflexion que nous mènerons sur les techniques numériques sous l'angle de leur adéquation à la phase la plus récente du mode de production capitaliste, adéquation qui se manifeste notamment par le phénomène de *digital labor* ou bien par l'émergence des crypto-monnaies qui constitueront les terrains sur lesquels seront testés cette hypothèse. Enfin, dans la dernière section de ce chapitre préliminaire, nous justifierons notre tentative de poser une théorie sociotechnique adéquate au numérique, notamment par le fait qu'elle vise à saisir les différents mouvements résultant de la dynamique propre de son objet, le numérique, dans un contexte socio-historique bien défini et néanmoins lui-même mouvant, le capitalisme.

1. Le mode de production industriel

Dans son ouvrage *Temps, travail et domination sociale*, Moishe Postone (2009) propose une relecture des catégories fondamentales du capitalisme telles que Karl Marx les avait exposées et développées dans *Le Capital* (Marx 2016) – notamment dans le premier chapitre consacré à l’analyse de la forme-marchandise – en les confrontant plus particulièrement aux formulations employées dans les travaux préparatoires au *Capital* publiés ultérieurement sous le titre original *Grundrisse der Kritik der Politischen Ökonomie*³¹ et intitulés *Manuscrit de 1857-1858* dans sa traduction en français (Marx, 2011). Postone y affirme, entre autres, que

« [...] la théorie marxienne de la constitution des structures sociales et de la dynamique historique de la société moderne par des formes historiquement déterminées de pratique pourra être lue comme une théorie raffinée du type de celle récemment proposée par Pierre Bourdieu³² – c’est-à-dire comme une théorie de la relation mutuellement constituante qu’entretiennent la structure sociale et les formes quotidiennes de pratique et de pensée. » (Postone, 2009, p.71)

L’analyse marxienne que Postone réinterprète est celle de la marchandise en tant que forme générale de ce qui est produit et constitue la forme spécifique de la richesse dans les sociétés capitalistes. Cette analyse ne porte pas sur tel ou tel produit à qui il serait ultérieurement donné de participer à un échange et que l’on pourrait saisir en dehors de son contexte social, mais bien de la forme-marchandise devenue « forme élémentaire générale de la richesse » (Marx 1971, p.76) et qui ne devient telle que sous le capitalisme. Comme catégorie se développant spécifiquement sous le capitalisme, la marchandise est ainsi indissociable de celle de capital et ne peut se comprendre dans la forme que nous lui connaissons – à la fois élémentaire et générale, donc – que dans les sociétés où celui-ci est déjà présent. Ainsi, selon Postone, « puisque l’analyse de la marchandise de Marx suppose la catégorie de capital, les déterminations de cette dernière catégorie n’appartiennent pas à la marchandise en soi, mais seulement à la marchandise en tant que forme sociale générale, c’est-à-dire telle qu’elle existe sous le capitalisme » (Postone, 2009, p.193). Le mode d’exposition adopté par Marx dans *Le Capital*, partant des formes simples (marchandise) et se

31 *Fondements de la critique de l’économie politique*

32 NdA : Postone fait ici référence à l’ouvrage de Pierre Bourdieu *Esquisse d’une théorie de la pratique* publié en 1972 par Droz, et plus particulièrement à la section « Les trois modes de connaissance théorique » (Bourdieu 1972, pp. 162-174) et aux deux derniers paragraphes de la section « Structures, habitus et pratiques » (Ibid., pp. 187-189)

déployant vers les formes développées (argent, capital) n'est donc pas une façon de présenter une séquence historique abstraite, mais bien de montrer la logique propre au capitalisme au sein duquel ces catégories sont mutuellement structurantes, tout en insistant sur le fait que cette logique est inscrite dans la forme élémentaire qui en est en quelque sorte le noyau. Ainsi, « les formes sociales catégoriellement saisies par la critique marxienne de l'économie politique sont donc historiquement *déterminées* et on ne peut les appliquer à d'autres sociétés » (Ibid., p.194). Mais d'un autre côté, Postone montre aussi que ces catégories « sont historiquement *déterminantes* » (Ibid.), c'est-à-dire que leur spécificité induit des phénomènes qui sont propres au capitalisme, à commencer par une dynamique historique qui lui est immanente.

« Ma tentative de fonder socialement [...] le caractère historiquement dynamique du capitalisme suggère que, tout en n'étant pas nécessairement marqué par un processus historique homogène, synchrone, unitaire, le capitalisme est, en tant que tout, historiquement dynamique de telle manière qu'il se distingue des autres formes de vie sociale » (Ibid, p.450, note 1)

Ce qui fonde socialement la dynamique spécifique au capitalisme est la pratique généralisée de la production marchande assurant la synthèse de la société au travers de ces activités productives déterminées. Cette synthèse dynamique résulte du caractère bifide de la marchandise, à la fois chose concrète porteuse d'une valeur d'usage particulière et chose abstraite en tant que valeur représentée dans toutes les marchandises indépendamment de leur contenu propre. Cette dimension abstraite présente une détermination purement quantitative donc, puisqu'elle fait abstraction des qualités spécifiques à chaque marchandise afin d'assurer leur comparabilité sur le plan exclusif d'une certaine quantité d'une dimension commune. L'activité qui produit ces marchandises présente le même caractère bifide avec d'un côté un contenu toujours particulier nécessitant des outils, des ressources, des compétences, des savoir-faire spécifiques et de l'autre une dimension abstraite qui est le temps de travail socialement nécessaire pour produire telle ou telle marchandise. Ce temps est celui sur lequel les producteurs doivent s'aligner pour produire la marchandise selon le niveau de productivité « standard » du moment qui dépend des moyens techniques disponibles en général dans la société. Du fait de la concurrence généralisée qui a cours entre les producteurs de

marchandises, la situation d'un producteur ne peut durablement persister s'il s'écarte de ce niveau de productivité. En deçà, il est sous-productif et verra ses marchandises supplantées par celles de ces concurrents qui peuvent utiliser l'avantage compétitif de la baisse des prix tout en maintenant leurs profits. Au delà, il est sur-productif et ses profits supérieurs à ces concurrents inciteront ces derniers à adopter les mêmes moyens techniques afin de rejoindre le même niveau de productivité. Cette diffusion progressive des innovations techniques dans l'appareil productif remettra à terme les concurrents sur la même ligne de départ, celle-ci ayant été repoussée un peu plus loin de manière irréversible³³. Il faut par ailleurs noter que la concurrence s'exerce entre les producteurs d'un même type de marchandise, mais aussi entre tous les producteurs de marchandises de tous les secteurs d'activité dans la mesure où ces secteurs sont eux-mêmes en concurrence pour attirer les capitaux/investissements à la recherche de la meilleure rentabilité. La production marchande généralisée assure ainsi une certaine forme d'homogénéisation du niveau de productivité, ou bien encore du temps de travail socialement nécessaire, au travers de l'ensemble des activités productives. Ainsi, cette dimension abstraite attachée aux marchandises, ainsi qu'au travail en tant qu'activité socialement et historiquement située qui les produit, constitue donc une forme synthétique qui s'impose à tous les producteurs. Cette synthèse sociale est une forme de domination impersonnelle puisqu'elle découle non pas de relations interpersonnelles³⁴, mais d'un certain type de relation entre des choses assemblées au sein d'une totalité historiquement et socialement constituée. Même si ces choses sont les produits des activités humaines, elles induisent au niveau global des contraintes objectives auxquelles les acteurs sociaux ne peuvent se soustraire et qui peuvent éventuellement revenir à eux de manière hostile. C'est ce caractère impersonnel de la forme de synthèse sociale sous le capitalisme projetée sur et par des produits de l'activité humaine que Marx a qualifié de *fétichisme de la marchandise*.

Postone déduit alors de la dialectique entre les deux faces de la forme-marchandise (concrète et abstraite) et de la dimension temporelle de la face abstraite, une dynamique historique au sein du capitalisme – et en son sein uniquement, puisque c'est la seule société

33 On ne peut pas « désinventer » une innovation technique participant à l'augmentation de productivité

34 Celles-ci ne sont pas niées par l'analyse marxienne de la marchandise. Les rôles sont bien différenciés au sein de la société capitaliste et les individus sont bien en interaction avec d'autres individus. Mais si ces rôles et ces interactions peuvent contribuer à la répartition plus ou moins inégales des produits de l'activité sociale, ils ne peuvent en aucune manière déterminer la forme même de ce qui est produit et donc les propriétés qui en résultent comme par exemple le caractère dynamique (augmentation permanente de la productivité) et la trajectoire de production (innovations techniques sans cesse appliquées à l'appareil productif).

dans laquelle la forme-marchandise constitue le fondement de la synthèse sociale – qui prend la forme d’un cycle transformation/reconstitution :

« D’un côté, comme je l’ai indiqué, le capitalisme entraîne une transformation continue de la société – de la nature, de la structure des classes et autres groupements sociaux et de leurs interrelations, aussi bien que de la nature de la production, des transports, de la circulation, des modes de vie, de la forme de la famille, etc. D’un autre côté, le déploiement du capital entraîne la reconstitution continue de sa propre condition fondamentale en tant que trait inchangé de la vie sociale – à savoir le fait que la médiation sociale est constituée par le travail. » (Ibid., p.441)

Si les phénomènes sociaux qui se déploient sous le capitalisme ne sont donc pas abandonnés à la contingence du fait du caractère dynamiquement directionnel de la forme de synthèse sociale sous-jacente, la portée de cette dynamique ne saurait non plus être projetée en dehors de ce contexte.

« Mon étude des implications de la dimension temporelle de la valeur a donc montré que l’analyse de Marx découvre la base d’une logique de développement dialectique dans des formes sociales historiquement spécifiques. Cette analyse montre du même coup qu’il existe effectivement une forme de logique dans l’histoire, de nécessité historique, mais que celle-ci n’est immanente qu’à la formation sociale capitaliste, et non à l’histoire humaine en tant que tout. Cela signifie que la théorie de Marx de la maturité n’hypostasie pas l’histoire comme une sorte de force faisant avancer toutes les sociétés humaines ; elle ne présuppose pas l’existence d’une dynamique directionnelle de l’histoire en général. Elle cherche tout au contraire à *expliquer l’existence du type de dynamique directionnelle continue qui définit la société moderne, et cela d’après les formes sociales historiquement déterminées constituées par le travail* dans un processus d’aliénation. Cette analyse implique que toute théorie qui pose une logique immanente à l’histoire comme telle – que cette logique soit dialectique ou évolutionniste – sans fonder cette logique dans un processus déterminé de constitution sociale [...] projette comme histoire de l’humanité ce qui est spécifique au capitalisme. Ce type de projection dissimule nécessairement la base sociale réelle d’une dynamique directionnelle de

l'histoire. Le processus historique est par là même transformé d'objet de l'analyse en son présumé quasi métaphysique » (Ibid, pp. 449-450, nous soulignons)

À l'aune de ce résultat, Postone aborde alors « la trajectoire de production » de la société capitaliste, c'est-à-dire les transformations successives de l'appareil de production sous contrainte de la dynamique mise en lumière par l'analyse marxienne de la forme-marchandise. Il étudie notamment ce qui va nous intéresser plus particulièrement, à savoir la « constitution sociale de la production industrielle » (Ibid, p. 451) qui découle du double « impératif structurel de la forme-valeur de la richesse »³⁵ combinant « la pulsion vers des niveaux de productivité toujours plus élevés » avec « le nécessaire maintien du travail humain immédiat dans la production [capitaliste] ». Ce maintien est nécessaire car seul le travail est source de survaleur^{36 37}. En effet, le travail producteur de marchandise est lui-même une marchandise. Comme toute marchandise, il est porteur d'une valeur (face abstraite) et d'une valeur d'usage (face concrète). Le travailleur vend son temps de travail pour acquérir en contre-partie sa valeur sous forme d'argent. Le capitaliste achète ce temps de travail pour sa valeur d'usage qui est justement de produire de la valeur. Le travail producteur de marchandise est la seule marchandise qui présente cette valeur d'usage bien spécifique et fait du travail le carburant de la reproduction du capital. Quant aux autres facteurs de production (dont notamment les machines), ils ne font que transférer des quantums de leur propre valeur aux marchandises qu'ils contribuent à produire. Sur ce plan-là, le bilan est donc nul.

35 La *forme-valeur de la richesse* désigne ici la face abstraite dans le caractère bifide de la marchandise. Sous le capitalisme, la forme de richesse qui est déterminante pour orienter la trajectoire de production, c'est la dimension purement quantitative et sans égard pour le contenu propre qui est associée à chaque marchandise, c'est-à-dire la valeur. Celle-ci représente le temps de travail socialement nécessaire pour la production.

36 La survaleur représente le temps de travail au-delà du temps socialement nécessaire à la reproduction de la force de travail. La survaleur est le but de la production capitaliste car celle-ci est déterminée non pas par le contenu particulier de la production en terme de richesse matérielle concrète, mais par sa dimension abstraite purement quantitative qui ne peut connaître que l'expansion. Le capital est investi dans le but unique d'être valorisé par la survaleur. S'il ne trouve pas de voie pour cela, alors il cesse d'être capital et cesse avec lui la reproduction de la société qui en fait son moteur.

37 Le terme de survaleur est préféré à celui de plus-value comme traduction de *Mehrwert* employé par Marx dans le *Capital*. Jean-Pierre Lefebvre, qui a dirigé la traduction publiée en 1983 par les Éditions Sociales – sur laquelle nous nous appuyons dans notre thèse – justifie ce choix dans l'introduction à cette édition. Dans les débats sur la pertinence d'une traduction ou de l'autre, le choix de plus-value dénote d'une appréhension neutre, si ce n'est positive du processus de valorisation, la critique du capitalisme portant ensuite sur l'appropriation indue qui en est faite par une classe dominante. Le choix de survaleur dénote au contraire d'une approche critique et négative du processus de valorisation lui-même, avant même que soit déterminé la répartition de ses fruits.

Pour Postone, « Marx ne considère pas le rapport du capitalisme et de la production industrielle comme extrinsèque. [...] la production industrielle est au contraire intrinsèquement capitaliste en ce sens qu'elle est un procès de valorisation en même temps qu'un procès de travail. Son but final n'est pas la richesse matérielle, mais la survaleur » (Ibid, pp. 499-500). La relecture postonienne de l'analyse marxienne de la forme-marchandise en terme de théorie critique catégorielle³⁸ permet en effet de « saisir le mode de production capitaliste en termes sociaux » et non pas reposant sur la « nécessité technique ». Lorsque les aspects techniques sont examinés comme forme concrète du procès de production, on ne fait qu'examiner la matérialisation d'« un mode de production qui, à un niveau profond, incorpore ces impératifs structurels contradictoires que sont : atteindre des niveaux de productivité toujours plus élevés et produire de la survaleur » (Ibid., p.510). Cette matérialisation n'est pas déterministe puisque, même prise dans les nécessités de la valorisation, elle rencontre des conditions historiques et locales qui ne sont pas toutes le produit de la trajectoire passée héritée des phases successives du capitalisme. Mais cette matérialisation se déploie tout de même sous contrainte des impératifs évoqués ci-dessus. Ainsi, les moyens techniques mobilisés sous le capitalisme peuvent être hétérogènes, asynchrones, pluriels, mais aucun ne peut durablement persister de façon déterminante à l'encontre des nécessités de la valorisation du capital à un niveau global. C'est pourquoi Postone propose, à un haut niveau d'abstraction correspondant à celui de l'analyse fondamentale de la critique catégorielle marxienne, de qualifier les techniques industrielles de « matérialisation adéquate au mouvement du capital ».

2. La révolution technique comme crise de la valorisation

Dès lors que l'on aborde l'histoire des techniques industrielles avec comme angle privilégié leur adéquation au mode de production capitaliste et non pas selon une progression transhistorique qui mènerait à des techniques toujours plus performantes dans l'absolu³⁹, toute

38 Les catégories critiquées, c'est-à-dire « désontologisées » au bénéfice d'une redéfinition historiquement et socialement située, sont la marchandise, le travail, la valeur, etc.

39 « [...] les approches qui saisissent la production industrielle capitaliste uniquement en termes techniques sont identiques à celles qui comprennent le travail sous le capitalisme uniquement en termes d'interactions entre les hommes et la nature. Dans les deux cas, la dimension concrète n'est pas comprise en tant que forme matérialisée de la médiation sociale » (Postone 2009, p. 500)

phase *révolutionnaire* en ce domaine ne peut être envisagée que comme accompagnant une phase de profondes restructurations dans ce mode de production (Campagne 2017), et donc d'abord ancrée dans le social, aussi bien par sa dynamique spécifique et que par sa situation historique. Si nous proposons d'adopter cette démarche en l'appliquant aux techniques numériques, nous pouvons dans un premier temps nous pencher sur d'autres cas qui ont été étudiés dans cette perspective. Cela va nous permettre d'en illustrer la pertinence tout en se gardant d'en extrapoler mécaniquement les résultats.

Dans les débats actuels sur l'impact global significatif des activités humaines sur l'écosystème terrestre, dont les manifestations s'accumulent depuis quelques décennies, il est maintenant acquis que l'introduction des énergies fossiles (charbon, puis pétrole) dans les processus de production industrielles dans le premier tiers du XIX^e siècle a constitué un point de basculement. Cependant, les raisons de l'adoption et de la généralisation de ces sources d'énergie sont longtemps restées confinées dans le domaine de l'évidence, selon le schéma suivant : leur efficacité propre a pu se déployer du fait des progrès de la connaissance scientifique et des innovations techniques qu'elle a pu susciter. Ce moment ne constituerait donc alors qu'une étape dans une trajectoire plus large qui démarre avec la maîtrise du feu et qui justifie aux yeux de certains le fait d'enraciner le changement climatique dans la nature « pyrophile » de l'humanité (Crosby, 2006). L'adoption des énergies fossiles serait alors un « piège » dans laquelle l'humanité s'est engagée en passant d'une ressource renouvelable à une ressource qui ne l'est pas, par manque de précaution et fascination pour la puissance. À ce titre, les constats largement documentés concernant la modification en cours du climat résultant des activités humaines ont conduit à introduire la notion d'anthropocène (Crutzen et Stoermer, 2000) comme ère géologique hypothétique marquée par ces activités.

Cette « évidence » concernant la continuité entre la maîtrise du feu par le genre humain et sa matérialisation dans des machines thermodynamiques est cependant battue en brèche par une étude historienne de leur avènement. Andreas Malm (2016, 2017) montre notamment que, loin de répondre à une pulsion humaine générique se manifestant dans un déferlement avide d'énergie et de puissance projetée, l'adoption des énergies fossiles a dû être imposée à des populations de plus en plus larges à partir des exigences spécifiques d'une faible portion de celles-ci. Les machines-vapeur sont ainsi d'abord le « choix » des propriétaires de fabriques anglais, tandis que la force de travail mobilisée, d'abord localement puis dans les colonies, pour extraire le charbon ne l'a été que par la coercition. L'espèce humaine en soi n'avait

aucune appétence particulière pour les énergies fossiles en dehors de cette sociogenèse historique particulière. Par ailleurs, il s'écoule presque un demi-siècle entre les innovations décisives introduites par James Watt dans les années 1780 et l'utilisation massive des machines-vapeur dans l'industrie anglaise qui ne devient prégnante qu'au tournant des années 1830. Dans l'intervalle, la principale force motrice employée dans les fabriques disséminées sur le territoire anglais est hydraulique, notamment dans l'industrie textile qui est le fer de lance de l'industrialisation au tournant du XIX^e siècle. Cette ressource fournit une puissance bien plus fiable et supérieure à ce que les machines à vapeur de l'époque peuvent fournir et sa mise en œuvre ne requiert pas de coûteuse extraction à l'instar du charbon. Elle a longtemps permis d'assurer un taux de profit confortable aux industriels de l'époque tout en leur permettant de développer une production de masse, à l'instar de Richard Arkwright dans son usine de Cromford. Par ailleurs, le potentiel de cette force motrice est encore loin d'être totalement exploité à l'époque où s'entame la transition vers les énergies fossiles.

Si la machine à vapeur devient le moteur principal des usines à partir des années 1830, c'est que cette technique devient matériellement adéquate à la phase du capitalisme qui se déploie à la même époque et qui est elle-même induite par la dynamique propre du capital. Le deuxième quart du XIX^e siècle voit, en effet, la reproduction du capital s'appuyer de plus en plus sur l'extraction de survalueur relative plutôt que sur celle de survalueur absolue. Avec l'extension de la durée de la journée de travail jusqu'à des niveaux qui rencontraient la limite physiologique tolérable par la force de travail, il n'était, en effet, plus possible pour le capital d'assurer sa reproduction en augmentant la masse de travail de manière extensive. L'échappatoire pour le capital a consisté à, non plus tenter d'ajouter à chaque journée de travail une durée supplémentaire pour augmenter la valeur produite et donc la survalueur extraite, mais à augmenter la proportion de survalueur extraite sur la base d'une journée de travail dorénavant limitée par la législation. Si les techniques industrielles étaient jusque-là orientées vers l'extension temporelle de la masse de travail mobilisée, il s'agissait maintenant de les orienter vers son intensification, notamment en optimisant l'emploi de la masse de travail dans un temps imparti. Cela s'est traduit notamment par le passage de la subsumption formelle (le travail est discipliné par le capital, mais son contenu reste le même et l'habileté des travailleurs reste le facteur principal de la maîtrise de la productivité) à la subsumption réelle du travail sous le capital : le contenu même de l'activité des travailleurs est modifié et ceux-ci deviennent les « appendices » d'un processus par ailleurs largement automatisé

(Marx, 1971, section II.G). Dans cette transition de la survaleur absolue à la survaleur relative et de la subsomption formelle à la subsomption réelle, l'adéquation des techniques mobilisées dans le processus de production repose sur leur capacité à « remplir » efficacement la journée de travail, plutôt qu'à en permettre l'allongement.

Or, par rapport à la force motrice hydraulique, celle tirée des machines à vapeur ne dépend plus des aléas climatiques et le flux moteur peut être contrôlé par le prescripteur du travail. Cela permet notamment de faire coïncider la marche de ce flux avec les horaires durant lesquels la force de travail est mobilisée et qui sont de plus en plus encadrés par la réglementation. De plus, en ayant la main sur la régulation de ce flux, le prescripteur peut imposer la cadence au travail qui est « branché » sur ce flux et ainsi l'intensifier de manière progressive. Enfin, une autre propriété déterminante de l'énergie fossile est qu'elle ne dépend plus d'une localisation géographique dans sa mise en œuvre. Ainsi les lieux de production, au lieu d'être dispersés dans la campagne anglaise pour profiter des meilleures opportunités de captage du flux hydraulique, peuvent être concentrés dans les centres urbains où s'entasse une population déqualifiée et plus susceptible de saisir n'importe quelle opportunité de vendre sa force de travail. Malgré des performances techniques objectivement en deçà de celles de l'énergie hydraulique, l'énergie fossile s'impose donc par son adéquation au mode de production capitaliste qui est d'abord déterminé par une forme de richesse sociale particulière avant de l'être par ses « choix » techniques. Cette adéquation présente, par ailleurs, un caractère doublement historique, puisque elle s'inscrit, d'une part, dans une forme de synthèse sociale historiquement située, mais que, d'autre part, elle advient lors d'une transition entre deux phases de la société capitaliste.

L'adoption des énergies fossiles n'est donc pas le produit « naturel » d'une certaine maturation technique elle-même induite par un progrès inéluctable et transhistorique. Elle est d'abord déterminée par une forme de société qui organise sa reproduction sur la base de la production marchande et doit donc répondre à ses nécessités. Les énergies fossiles sont, d'autre part, sélectionnées dans un moment historique particulier de cette forme de synthèse sociale, celui d'une crise de la reproduction du capital qui ne peut être surmontée que par la profonde restructuration de l'appareil productif, tant au niveau technique que dans les rapports sociaux. Cette révolution technique est indissociable d'un moment de crise de la valorisation, c'est-à-dire de la reproduction du capital sur laquelle repose la reproduction de la société organisée autour de la production marchande.

L'exemple des énergies fossiles et de leur lien avec la dynamique de la valorisation conduit à s'interroger sur d'autres occurrences possibles de moments « révolutionnaires » en terme de développements techniques dans l'histoire de la forme de synthèse sociale particulière constituée par la production marchande généralisée. Sur la base des analyses générales de Moishe Postone concernant les techniques industrielles considérées comme les matérialisations adéquates d'un processus productif déterminé par les contraintes de la production capitaliste, et compte tenu de l'exemple des énergies fossiles adoptées massivement au tournant des années 1830, nous allons poser l'hypothèse que les techniques numériques représentent une nouvelle modalité d'adéquation aux nécessités de la reproduction du capital et que cette nouveauté se déploie en lien avec un moment particulier de crise/dépassement de cette reproduction.

3. Quelques critères pour une caractérisation du numérique

L'hypothèse que nous avons formulée sous-tend donc deux aspects qu'il va falloir malgré tout traiter dans une certaine unité, dans le sens où il existe une corrélation entre les deux. Il y a tout d'abord la notion d'adéquation qui nécessite une caractérisation des techniques numériques permettant de les situer dans un contexte social particulier, celui des sociétés assurant leur reproduction sur la base de la production marchande généralisée et donc sur celle de la reproduction du capital. Il y a ensuite la notion de crise historiquement située, et ce à double titre : d'une part parce qu'il s'agit de crise de la valorisation qui n'a de sens que dans le contexte historique des sociétés que nous venons de délimiter, d'autre part parce que l'avènement de ces crises a lui-même un aspect historique dans le sens où elles sont le produit de la dynamique temporelle propre à ces sociétés. À ce titre, si chaque crise s'enracine dans le déploiement de cette dynamique, chacune est cependant caractéristique d'un moment particulier qui ne peut pas être rabattu mécaniquement sur ceux des crises précédentes. Ainsi, l'exemple des énergies fossiles permet de cerner la logique qui amène à poser l'hypothèse que nous allons tester, mais le cadre général dans lequel elle est posée – celui d'une dynamique historique propre aux sociétés capitalistes – interdit de faire de cet exemple un modèle reproductible. Il faut en effet situer, pour chacun des moments « révolutionnaires » en terme

de développement technique, les conditions historiques, et donc les spécificités, de la crise qui lui est sous-jacente. Ces crises de la valorisation sont en effet nécessairement spécifiques puisqu'elles sont induites par une dynamique historique qui ne se développe qu'en transformant à chaque fois les possibilités d'expression de ces crises, sans jamais éteindre, bien au contraire, la perspective de crises à venir. Il en est de même pour le « dépassement » de la crise que telle ou telle révolution technique a permis. Ainsi, la crise qui peut être associée à l'avènement des techniques numériques sera nécessairement bien différente de celle introduite par la limite posée à la survaleur absolue et le basculement vers la survaleur relative. Il n'en demeure pas moins qu'elle devra fondamentalement présenter les caractéristiques d'une crise de la valorisation, c'est-à-dire de la reproduction du capital.

Notre démarche pour explorer la validité et les implications de l'hypothèse d'une adéquation des techniques numériques à un moment de crise spécifique s'inscrit par ailleurs dans les sciences de l'information et de la communication car cette discipline a exploré de nombreux terrains du monde numérique à l'occasion de l'informatisation de ses objets de prédilection. La montée en puissance du réseau Internet et de ses multiples applications dans les dernières décennies a mis les résultats de recherche de cette discipline au cœur des débats et des enjeux de société en ce début de XXI^e siècle. Certaines pistes ouvertes incluent des perspectives tentant justement d'élaborer un cadre cohérent pour saisir la contribution des supports et outils numériques au mouvement général qui a amené les sociétés modernes à hisser leur impact à un niveau global susceptible de transformations qui ne pouvaient être attribuées jusque-là qu'à des processus géologiques (Parikka 2015). Une de ces perspectives aborde, par exemple, les techniques numériques comme autant de promesses pour résoudre les problèmes introduits par l'usage en perpétuelle expansion des énergies fossiles en les remplaçant, autant que faire se peut, par des alternatives viables et durables. C'est ainsi que Gérard Dubey et Pierre de Jouvancourt (2018) relient la dissémination des objets connectés à la mise en œuvre progressive d'un mixte énergétique pouvant intégrer à grande échelle des énergies renouvelables (solaire, éolien et hydraulique). On peut voir là une tentative de gommer ainsi l'inadéquation de ces sources au processus de valorisation du capital par survaleur relative, qui avait conduit à leur préférer le charbon, puis le pétrole.

Cette approche, bien que permettant de situer énergies fossiles et techniques numériques dans un cadre commun fondé sur une mise en adéquation, ne peut cependant être retenue pour explorer notre hypothèse car l'adéquation dont il est question dans la mise en œuvre des

objets connectés pour optimiser un mixte énergétique, est l'adéquation de techniques entre elles et non pas d'une technique à une forme de synthèse sociale. Si nous prenions ce raccourci, la dynamique historique de cette forme de synthèse sociale serait dès lors exclue de l'équation. Or, c'est justement en inscrivant les techniques industrielles dans les nécessités temporelles de la valorisation du capital, comme le propose Moishe Postone, que nous espérons rendre compte au mieux de la place qui revient, dans les sociétés industrielles, aux techniques numériques et à leurs multiples déclinaisons dans les domaines de l'information et de la communication. Ainsi, la montée en puissance de techniques numériques doit être interprétée en lien avec la phase historique de la dynamique du capital qui leur correspond et non pas comme une compensation des nuisances inhérentes aux techniques antérieures. Si cet aspect existe, il ne peut pas être retenu comme facteur *déterminant*.

Il nous faut donc aborder les techniques industrielles sous l'angle de leurs relations à des fonctions macro-sociales. Celles-ci doivent être mises au cœur de la réflexion sur les technologies de l'information et de la communication en général, et sur les techniques numériques en particulier. C'est ainsi que l'on évite l'écueil du regard purement technicien qui produit un discours sur la technique dans le langage de la technique elle-même. D'un autre côté, il s'agit bien d'envisager une dynamique historique à une échelle macro-sociologique et de pas perdre de vue ce fil conducteur lorsque l'on passe à l'examen circonstancié des multiples usages. C'est justement la perspective adoptée par Pascal Robert en initiant une méthode de modélisation qu'il nomme modèle CRITIC, acronyme signifiant « modèle de Convergence pour la Recherche sur l'Impensé dans les Technologies de l'Information et de la Communication » qui désigne aussi par là même assez explicitement la posture critique qui sous-tend la démarche. Nous souhaitons inscrire notre hypothèse dans la continuité de ces travaux en adoptant aussi l'exigence d'un point de vue critique sur les TIC en général et l'informatique en particulier. Cette exigence doit nous placer...

« [...] au-delà de l'opposition classique entre une approche intrinsèquement technique, qui replie la technique sur elle-même comme objet supposé rabattre tout son sens sur sa seule technicité et une sociologie de l'usage qui prend la technique déjà faite afin de comprendre ce que les gens peuvent en faire, voire une sociologie de la technique

qui restitue à la technique ce qu'elle a de social dans son processus même de mise au point et de développement. » (Robert 2009, p.298)⁴⁰

Dans cet au-delà de la pure technicité *et* d'une sociologie des usages ou de la technique, il est possible de construire une « culture technique » critique qui, dès lors, « ne peut faire l'économie [...] de la modélisation » (Ibid.) et conséquemment doit « dépasser la singularité de chaque terrain » (Ibid.) en situant d'emblée le questionnement sur les techniques numériques à une échelle macro-sociologique. Le positionnement de notre hypothèse implique donc une caractérisation des techniques numériques qui permette d'en faire un fait social « total » et non purement technique, non pas seulement parce qu'elles ont des usages sociaux ou sont portées par des organisations qui en assurent le développement et la promotion, mais surtout parce qu'elles déploient des propriétés qui s'avèrent adéquates à la dynamique de la reproduction de la société dans laquelle elles adviennent, à un certain moment de son histoire.

Notre recherche souhaite aborder la *rencontre* entre capitalisme et numérique avec les outils des sciences de l'information et de la communication, mais aussi plus largement ceux des sciences humaines et sociales. De plus, afin de donner à cette recherche une cohérence avec le cadre conceptuel que nous avons mis en avant dans ce chapitre, il nous semble fondamental de remplir un certain nombre de critères. Elle doit notamment être accomplie avec les exigences suivantes :

- Il lui faut tout d'abord pouvoir traiter d'un objet qui présente indéniablement des dimensions techniques aussi bien que sociales. Pour cela, le cadre général des approches socio-techniques en sciences de l'information et de la communication offre une base d'appui solide. Il nous paraît cependant nécessaire d'ajouter que le rapport entre les dimensions techniques et sociales doit être envisagé comme celui d'une totalité qui ne saurait être disjointe sans priver chaque composante de sens. Ce n'est pas la rencontre fortuite entre une technique et une pratique sociale qu'on pourrait sonder chacune isolément qui doit être conceptualisée mais plutôt la possibilité d'un

40 Cette « sociologie de la technique » qu'évoque Pascal Robert est notamment développé avec acuité par Bruno Latour.

ressort commun qui se manifeste dans un artefact technique aussi bien que dans une forme sociale à portée générale.

- Il lui faut ensuite être en mesure de poser des catégories qui se suffisent à elles-mêmes pour expliquer les phénomènes qui ont suscité la problématisation de départ. Ces catégories doivent pouvoir, par le simple développement de leur logique propre, reconstituer une dynamique globale capable de se traduire par un déferlement, tel que constaté, c'est-à-dire englobant la variété des usages – et leur extension continue – dont les techniques numériques sont aujourd'hui les soubassements.
- Il lui faut enfin éviter l'écueil du déterminisme en s'abstenant de poser un cadre verrouillé qui, en plus d'être mis en échec lorsqu'il s'agit de rendre compte des phénomènes empiriques⁴¹ pouvant déborder de ce cadre, ne permettrait pas non plus de dessiner des perspectives où les catégories aujourd'hui opérantes n'auraient plus cours. Pour cela, nous reprenons⁴² à notre compte le postulat de la non-identité proposé par Adorno⁴³ et qui, dans le contexte de l'élaboration d'une théorie sociale, permet d'envisager l'unité du social dans sa fragmentation.

41 Par exemple, l'adéquation des énergies fossiles à la production de survalue relative n'a pas supprimé pour autant l'emploi des ressources hydrauliques. Celles-ci ont seulement perdu leur statut de force motrice caractéristique du mode de production.

42 Cette reprise est indirecte et se trouve dans la théorie critique de la valeur-dissociation (Jappe 2003, Kurz 2011, 2012, Scholz R. 2000, 2004, 2007, Trenkle & Lohoff 2014), dans le prolongement de laquelle nous allons proposer d'expliquer l'avènement et le rôle des techniques numériques dans la phase actuelle du capitalisme.

43 « Theodor W. Adorno montre que la connaissance classe les objets selon un processus subsumant le diffus, le singulier, l'exceptionnel, sous un schéma unifiant et réducteur démantelant le particulier. L'identité du sujet raisonnant subordonne l'identité effective de l'objet : se prenant pour une expérience de l'objectivité, ses vues renvoient en fait au seul monde du sujet connaissant. Pourtant, pris dans un cercle tautologique, le sujet ne fait que se reconnaître lui-même dans l'objet alors qu'il pense connaître l'objet. Autrement dit, la connaissance soumise à l'identique est incapable d'incorporer autre chose qu'elle-même. La pensée ne peut saisir son objet qu'à travers des concepts, et le sujet pensant ne peut générer des concepts qu'en négligeant la particularité de l'objet qui est enfermé dans l'identique. Ce processus réduit l'objet à l'identique et néglige sa part de non-identique – son indéfinissable altérité. *Elle échoue car elle ne peut définir ses objets que comme des exemples de quelque chose d'autre.* » (Voirol 2012, nous soulignons). Nous ajoutons que le « quelque chose d'autre » évoqué par Voirol est constitué des catégories qui viennent spontanément au sujet connaissant parce qu'elles (in)forment son monde et lui paraissent d'une telle évidence qu'elles seront rarement remises en cause, y compris lorsqu'elles se développent en paradoxes inextricables. L'évidence en question est à la fois le produit et le présupposé d'une « certaine façon de faire » historiquement et socialement située, un mode de production sur lequel repose – mais qui est aussi simultanément reproduit par – la reproduction globale d'une société particulière.

Ces critères nous semblent nécessaire pour établir la validité d'une théorie relevant des sciences humaines et sociales et ayant pour ambition de rendre compte de dynamiques sociales et historiques, c'est-à-dire de l'enchaînement synchronique et diachronique de faits qui ne soient pas abandonnés à la seule contingence sans pour autant être liés mécaniquement. Ces critères (approche sociotechnique, historicité et non-identité) permettent en effet de poser des catégories et de développer leurs articulations sans déborder du contexte social et historique dans lequel se déploie leur validité, sans pour autant se limiter à décrire la collection des phénomènes pris isolément.

4. Pour une théorie sociotechnique adéquate au numérique

Une théorie sociotechnique adéquate doit tout d'abord être en mesure d'expliquer l'histoire des catégories qu'elle met en avant. En d'autres mots, elle doit fournir les méthodes qui permettent d'articuler ces catégories selon leur logique propre et d'en tirer, *post festum*, une explication non seulement de leurs conséquences en terme de phénomènes constatés mais aussi des reconfigurations de ces catégories découlant de leur propre logique immanente (Postone 2009). Ou encore, elle doit permettre d'expliquer les trajectoires historiques des catégories dans une globalité à la fois située et mouvante, sans faire des éléments fortuits ou extérieurs des *dei ex machina*, ni postuler des facteurs transhistoriques. Dans le cas qui nous intéresse, capitalisme et informatisation ne doivent donc pas être simplement croisés dans un rapprochement purement contingent mais resitués dans un cadre commun qui donne les clés de leur affinité. Toute théorie prétendant être un cadre explicatif pour divers phénomènes relevant simultanément de la dynamique du capital et de celle de l'informatisation – comme par exemple entre autres, le phénomène de *digital labor* – doit être en mesure de saisir ces deux aspects et de les associer non pas dans une simple juxtaposition postulant leur autonomie, mais subsumés dans et par la forme de synthèse sociale (Sohn-Rethel 2011, Postone 2009⁴⁴) qui les détermine et en lien avec le moment historique qui voit le phénomène

⁴⁴ Postone (2009, p.235) emploie, pour désigner la même notion, la formule « caractère socialement synthétique » pour qualifier la forme commune attachée aux liens sociaux et induisant une synthèse globale qui ne se réduit pas à leur seule collection exhaustive.

apparaître. Mais cette capacité à saisir une histoire globale et mouvante ne doit pas pour autant verser dans le déterminisme car les principes organisateurs d'une forme de synthèse sociale donnée ne sont jamais identiques aux situations concrètes et historiques des acteurs et des événements. Ceux-ci peuvent être à la fois contraints par un cadre général dont ils n'ont pas forcément conscience et développer des échappatoires inédites sous la pression même des contradictions de ce cadre. Autrement dit, une théorisation adéquate doit pouvoir poser des catégories explicatives qui ne soient pas des concepts généraux dont les objets réels ne seraient que des exemples. Le singulier et le général doivent pouvoir cohabiter sans que l'un et l'autre s'annihilent mutuellement, comme cela peut être le cas dans les approches purement déterministes ou purement contingentes des phénomènes sociotechniques.

Si l'on veut donc saisir les phénomènes du numérique et du capital comme relevant d'un fait social total⁴⁵ et pas seulement selon leurs caractéristiques techniques ou la façon dont ils se manifestent d'un point de vue organisationnel, et par ailleurs répondre à ces critères d'historicité et de non-identité, c'est du côté des théories critiques⁴⁶ qu'il faut chercher ses appuis. Mais pour tenir compte adéquatement des techniques numériques qui étaient soit inexistantes soit balbutiantes lorsque les grandes lignes de ces théories ont été posées, ces appuis doivent être consolidés par un retour sur les catégories fondamentales mobilisées par ces analyses critiques afin d'établir si elles sont en mesure de saisir ces techniques à la fois dans le contexte historique de leur émergence et dans leur spécificité propre. En effet, si la démarche critique s'attache à mettre en lumière les rapports de domination (Granjon, 2015)⁴⁷ inscrits dans la fausse évidence de leur reproduction « naturalisée », encore faut-il, pour être fidèle à cette démarche, situer correctement la domination en question d'une part, et fournir une explication de son oubli – ou bien encore, de son impensé (Robert, 2012) – comme intrinsèquement lié aux caractéristiques mêmes de cette domination. Il nous semble, par exemple, que l'analyse des plateformes numériques fondée sur la dénonciation des opérateurs

45 « Le point de vue de la totalité qu'il s'agit de défendre n'est donc pas celui de la totalité empirique (comme exhaustivité des éléments), mais celui de la totalité herméneutique (comme ensemble de relations) : il ne désigne pas une collecte complète des données, mais une mise en rapport des parties entre elles, ce qui implique une certaine "totalisation" » (Berlan, 2012, p.29)

46 « Karel Kosik [1988] évoque pour sa part « la destruction du pseudo-concret, c'est-à-dire de l'objectivité fétichiste et illusoire du phénomène, et la connaissance de son objectivité authentique ». La critique vise d'abord à détruire la « prétendue autonomie » des faits tels qu'ils se donnent à la simple observation, en établissant « leur caractère médiat [et] dérivé » ». (Granjon, 2015, p.3)

47 « Ce dévoilement porte pour l'essentiel sur les rapports de domination dont l'efficacité propre réside pour beaucoup dans la méconnaissance qu'ont les sujets sociaux qui les subissent de ce que sont réellement ces rapports de domination » (Granjon, 2015, p.5)

privés ou publics les mettant au service de leurs seuls intérêts, ne situe pas une forme de domination intrinsèque à la notion de plateforme numérique, justement, mais que la présence d'une forme de domination dans les plateformes numériques n'est pas non plus accidentelle.

Les crypto-monnaies, en particulier, peuvent en effet être décrites en terme de plateforme numérique dédiée à un usage bien spécifique, en l'occurrence la mise en œuvre d'une monnaie privée. Ce genre de plate-forme n'est pas constitué *a priori* par des entreprises afin de développer des modèles d'affaire visant à revendre à des annonceurs publicitaires un moyen d'atteindre avec des messages ciblés les consommateurs potentiels parmi une base d'utilisateurs. Les cryptomonnaies ne sont pas non plus réductibles à la constitution d'une ressource accessible de manière ouverte, avec comme perspective la constitution d'un commun numérique (Hess et Ostrom 2007, Peugeot 2013, Aigrain 2005) pouvant bénéficier à tous. L'inscription des crypto-monnaies dans le cadre général que nous allons élaborer dans la première partie de notre thèse ne peut donc reprendre tels quels les développements que nous allons introduire dans un premier temps pour saisir des phénomènes comme l'*open data* ou le *digital labor*. Cependant, nous allons aussi établir dans la seconde partie que les catégories de base du cadre conceptuel que nous proposons pour le numérique – en l'occurrence, production marchande et calcul au sens de Turing – présentent, depuis la crise financière de 2007-2010, d'autres développements potentiels qui s'avèrent tout aussi éclairants quant aux ressorts socio-techniques des crypto-monnaies. Malgré les velléités de leurs promoteurs, on peut notamment montrer que celles-ci participent pleinement à la dynamique de crise qu'elles étaient censées enrayer, et de façon plus générale, que la promesse d'une reprise en main de l'outil monétaire directement par leurs utilisateurs est illusoire dans la mesure où elle est médiatisée par le numérique.

Si notre approche du numérique exclut l'idée qu'il fasse irruption uniquement avec l'avènement des plateformes sur Internet à partir de la deuxième moitié des années 1990, notre propos se focalisera cependant sur des applications – les cryptomonnaies – et des thématiques – les différents avatars du *digital labor* – relativement récentes, afin de donner à voir, dans ces versions les plus accomplies, une logique qui nous semble à l'œuvre depuis le départ dans le déploiement des techniques numériques, mais aussi comment cette logique est en phase avec des ressorts profonds qui animent les sociétés capitalistes et qui présentent avec le numérique de nouvelles manifestations. Une analyse plus détaillée des fondements de

l'informatique, et donc de ces machines particulières que sont les ordinateurs, nous permettra en effet de tester l'hypothèse selon laquelle il y a un ressort commun animant ces diverses applications et propre à cette lignée technique, tout en présentant une affinité avec la dynamique générale des sociétés dont la synthèse est organisée autour de la production marchande généralisée. Ce ressort rend impossible d'envisager les applications numériques uniquement comme une simple collection chatoyante d'usages spécifiques, mais nécessite au contraire de considérer aussi une totalité abstraite à laquelle ces usages participent.

Après plusieurs décennies de déferlement, la dynamique *motorisée*⁴⁸ par les techniques numériques a transformé la façon dont elles sont perçues par ceux-là même qui en sont les porteurs, aussi bien du côté des usagers que des techniciens en charge de leur mise en œuvre. En effet, le numérique est actuellement le présupposé et le produit des agents sociaux dans une part importante, si ce n'est prépondérante, de leurs activités. La singularité que représente l'irruption de ces techniques s'efface ainsi maintenant derrière une évidence, une forme de *toujours déjà là* associé à un phénomène dorénavant omniprésent (Robert 2012). Nombreux sont, parmi ceux qui se penchent sur la marche de ce déferlement, pour qui la *singularité* n'est pas à chercher dans un passé et un présent qui demeurent à bien des égards énigmatique, mais plutôt à situer dans la perspective d'un événement à venir dont seul la date et l'interprétation des conséquences peuvent faire débat. Ce mouvement a pourtant sa propre histoire qui soutend elle-même une pré-histoire que l'on peut respectivement appréhender sous l'angle de l'adéquation sans cesse révolutionnée des techniques industrielles à la dynamique du capital. Celles-ci ne sont donc pas réductibles à des questions d'efficacité ou d'obsolescence technique, mais ne résultent pas non plus des libres choix conscients de sociétés en mesure de piloter leurs trajectoires. Un des enjeux de notre recherche sur la place des techniques

48 cf. la notion de MOTIF (MOTEur d'Inférence et de gestion des Formes) mise en avant par Pascal Robert pour caractériser l'informatique abordée comme une technologie intellectuelle (Bell 1976, Goody 1979, Levy 1990, Robert 2000a) : « Si moteur il y a, c'est parce qu'il effectue un certain travail. Lequel ? Il consiste selon nous à *produire de la forme, à inférer des formes.* » (Robert 2000b).

numériques dans la dynamique plus générale des sociétés dont la synthèse est opérée par la production généralisée de marchandises est donc de poser le plus clairement possible les caractéristiques qui font l'adéquation des techniques numériques aux nécessités de la valorisation du capital à un moment donné de son histoire. Un autre enjeu est aussi de distinguer les ressorts de l'avènement du numérique de ceux qui l'animent une fois qu'il constitue un cadre en lui-même, tout en fournissant les éléments qui donnent une certaine cohérence au passage des uns aux autres, voire à leur coexistence dans certaines circonstances.

D'une manière très générale, l'approche que nous proposons reprend le principe selon lequel on ne peut analyser une technique hors du contexte historique et social dans lequel elle émerge. Dans le cas des techniques numériques, cette attention au contexte doit prendre en compte la caractérisation sociotechnique spécifique que nous allons faire de la « révolution » qu'elles introduisent afin de les situer dans un moment de crise de reproduction du capital. Cette attention doit notamment s'interroger sur l'affinité entre la dynamique socio-historique qui constitue le contexte de l'émergence du numérique – celle de la production marchande généralisée – et la dynamique propre que ces techniques sont dorénavant en mesure de soutenir. Ainsi, la problématique de la spécificité des techniques numériques comme moment « révolutionnaire » au sein de la dynamique du capital doit être explorée selon plusieurs dimensions temporelles, à la fois pour rendre compte de leur situation historique spécifique, mais aussi de leur impact sur la temporalité elle-même. Dans quelle(s) temporalité(s) préalable(s) s'inscrivent-elles ? Quel cadre temporel peut-être mis en avant pour expliquer leur avènement et leur déferlement ? Quels effets induisent-elles en retour sur ce cadre temporel ?

Première Partie : Le numérique comme technique adéquate au capitalisme « inversé »

Introduction de la première partie

L'implication de plus en plus profonde des ordinateurs dans des activités relevant de l'information et de la communication a fait l'objet de travaux divers et variés qui permettent aujourd'hui de dresser un tableau à multiples entrées. Les premières approches historiques remontant au tournant des années 1980, avec notamment la création de la revue *Annals of the History of Computing* en 1979, ont d'abord entrepris de fixer un corpus basé sur les documents et témoignages fournis par les pionniers ayant participé à la mise au point des machines et à la conduite des projets de recherche et développement, à partir des années 1940. Puis, accompagnant un mouvement plus large se déployant dans l'histoire des techniques en tant que discipline, les perspectives se sont déplacées vers la mise en évidence des liens entre le développement de l'informatique et ses différents contextes sociaux ou politiques. Les impératifs techniques se sont donc vus associés aux contraintes induites par ce que l'on pourrait qualifier de « facteurs humains » au sens large pour donner de nouveaux points de vue sur l'informatisation. L'informatisation présente maintenant une certaine profondeur historique, se trouvant dès lors investie par le travail scientifique des historiens. Mais le phénomène est aussi manifestement loin d'être révolu et le regard rétrospectif que l'on peut y porter bénéficie aussi des études concernant ses derniers développements. Dès lors l'invitation lancée par Nathan Ensmenger (2004) à fonder une « histoire sociale de l'informatisation »⁴⁹

49 C'est ainsi que nous traduisons le titre de son article, même si le sens que nous souhaitons imprimer au terme « social » dans notre thèse couvre une réalité qui ne s'inscrit pas seulement dans l'observation et l'objectivation des comportements, discours, choix, trajectoires, etc. des agents sociaux pris individuellement ou dans un cercle d'activités délimité.

semble toujours être d'actualité. Le chantier reste en effet largement ouvert quant à l'inscription de la grande variété des concepteurs et des utilisateurs dans une histoire des techniques numériques appliquées aux domaines de l'information et de la communication.

La prise en compte des « facteurs humains » a aussi été le fait d'autres disciplines telles que la sociologie, la philosophie, l'anthropologie, l'économie et bien sur les sciences de l'information et de la communication. Elles ont toutes permis de relativiser les approches internalistes (Schafer & Thierry 2013, p.232) du développement de l'informatique – comme technique, mais aussi comme activité économique – héritées (ou reprises implicitement dans) des récits hagiographiques de ses protagonistes⁵⁰. Mais la spécificité des techniques numériques s'en est aussi trouvée quelque peu gommée du fait de leur réintégration dans les cadres propres à chaque discipline, et qui font de leur avènement avant tout un non-événement⁵¹. En effet, dans chacune de ces disciplines, si l'on est bien obligé de noter le rythme inédit du déploiement de l'informatisation, c'est plus souvent sur le registre de l'élargissement ou de la complexification, mais plus rarement sur celui de la rupture, ou encore plus rarement du renversement. Eric Guichard (2004), par exemple, met l'accent sur la continuité entre l'écriture en tant que technique de l'intellect, d'une part, et Internet et l'informatique en général qui en seraient les derniers avatars, d'autre part. Patrice Flichy (2000), de son côté, se penche sur les pratiques d'amateurs pour montrer que le numérique est l'objet d'une appropriation par l'expérimentation, à l'instar d'autres techniques dans le domaine de l'information et de la communication. Pour Clarisse Herrenschmidt (2007), l'invention de l'informatique ne représente même qu'un moment supplémentaire dans le long processus de création d'artefacts destinés à externaliser une certaine idée que l'on se fait des organes humains, et donc cette invention relèverait d'une dimension anthropologique. À vouloir banaliser l'informatisation par le rappel nécessaire à ses déterminations non techniques, ces auteurs ont peut-être perdu de vue la tout aussi nécessaire attention à porter à ses spécificités inédites. La théorisation de l'informatique elle-même n'a ainsi que peu

50 De tels récits ont pu être le fait des protagonistes eux-mêmes mais aussi, à la manière des récits de la vie des saints (hagiographie), composés par des tiers devant extrapoler à partir d'un matériau ténu et lointain des chroniques propres à édifier le lecteur avec des formes héroïques de réussites aussi bien que d'échecs. Il n'y a qu'à consulter les nécrologies dédiées à Steve Jobs dans les médias pour constater le registre du culte sous lequel étaient abordés les objets numériques qu'il contribua à inscrire dans notre quotidien (Lardellier 2013). L'exposition médiatique n'est pas en soi la mesure de cette sanctification car comme le note Lardellier (Ibid. p.122), un acteur bien plus « modeste » comme Denis Ritchie se voit tout de même qualifier d'« informaticien de génie » à l'occasion de son décès beaucoup plus discret une semaine après Steve Jobs.

51 « Ces perspectives, en souhaitant rééquilibrer les rôles des uns et des autres, ont peut-être parfois favorisé la mise en avant de phénomènes mineurs au détriment de réalités plus importantes » (Schafer & Thierry, 2013, p.232)

bénéficié du coup de projecteur mis sur les « facteurs humains ». Cet éclairage, opéré dans le but de ne pas rester piégé dans les discours internes au milieu concerné, qui rabattent l'informatique sur ses dimensions techniques, laisse en effet l'informatique et sa théorisation dans deux sphères séparées, la première étant investie par les sciences humaines et sociales sous l'angle du phénomène à étudier comme déclinaison d'autres phénomènes apparentés ou plus généraux, tandis que la seconde est mise à distance comme relevant d'un « internalisme » qu'il s'agit justement de neutraliser pour ne pas s'en laisser conter par les acteurs de l'informatique elle-même. Les conceptions théoriques de l'informatique élaborées en SHS (et donc en SIC) reposent alors sur une approche de la technique comme phénomène socio-technique en général (avec tout au plus des restrictions sur un contexte historique), auxquelles sont adjoints des développements dérivés pour cibler l'informatique. Dans l'effort de distanciation que les SHS tentent de soutenir pour étudier les aspects socio-historiques de l'informatique, une théorie spécifique à cette technique ne pourrait être qu'une théorie par et pour les informaticiens.

Pourtant, comme l'a montré Brian Cantwell Smith (2002) de façon générale, aux yeux de ceux qui en font advenir les effets tangibles dans le monde, et que l'on qualifie du terme générique d'informaticiens, les différentes approches théoriques qui se penchent spécifiquement sur l'informatique *en soi* (ce que l'on nomme *computation* en anglais) échouent à rendre compte des pratiques concrètes de ces mêmes informaticiens. Ceux-ci disposent en effet d'une sorte de « vision implicite » de ce qu'est l'informatique et aucune des approches théoriques énumérées par Cantwell Smith ne leur permet d'y retrouver la réalité de leurs activités. Au-delà des problèmes spécifiques que posent chacune des approches théoriques en question, Cantwell Smith fait une remarque importante concernant un point qui leur est commun : aucune n'est en mesure de rendre compte de l'intrication entre contenu sémantique et manipulation formelle qui constitue à ses yeux le ressort du développement informatique.

“Somehow or other, though in ways we do not yet understand, the states of a computer can model or simulate or represent or stand for or carry information about or signify other states in the world (or at least can be taken by people to do so). This semantical or intentional character of computation is betrayed by such phrases as symbol

manipulation, information processing, programming languages, knowledge representation, data bases, etc.” (Cantwell Smith, 2002, 4. Diagnosis I: General)⁵²

En cherchant à prendre en compte cette spécificité de l’informatique, Cantwell Smith montre que l’on peut se pencher sur un objet technique particulier comme l’informatique sans chercher à le rabattre sur des outils antérieurs, et malgré tout en tirer la conclusion qu’il n’y a pas – et qu’il ne peut y avoir – de théorie de l’informatique *en soi*, mais uniquement comme une activité spécifiquement humaine et probablement en rapport avec d’autres dimensions sociales.

“I am not saying that computation in the wild is intrinsically a-theoretical – and thus that there will be no theory of these machines, at all, when day is done. Rather, the claim is that such theory as there is – and I take it that there remains a good chance of such a thing, as much as in any domain of human activity – will not be a theory of computation or computing. It will not be a theory of computation because computers per se, as I have said, do not constitute a distinct, delineated subject matter. Rather, what computers are, I now believe, and what the considerable and impressive body of practice associated with them amounts to, is neither more nor less than the full-fledged social construction and development of intentional artifacts.”, (Cantwell Smith, 2002, 8. Summary)⁵³

De là, il ressort que si une théorie est à même de saisir l’informatique, alors cela doit être une théorie qui prend en compte des aspects jusque-là séparés par les théories existantes. Pour en faire un objet des sciences humaines et sociales, ce rapprochement doit cependant

52 « D’une manière ou d’une autre, bien que cela nous échappe encore, les états d’un ordinateur peuvent modéliser, simuler, représenter, exprimer, être le support d’information à propos de, ou bien encore signifier d’autres états dans le monde (ou du moins les gens font comme si c’était le cas). Ce caractère sémantique ou intentionnel du calcul numérique n’est pas correctement restitué par des termes comme manipulation symbolique, traitement de l’information, langage de programmation, représentation des connaissances, bases de données, etc. »

53 « Je ne dis pas que le calcul numérique tel qu’il existe échapperait intrinsèquement à toute théorie – et que donc il n’y aurait aucune théorie de ces machines au bout du compte. La thèse serait plutôt qu’une telle théorie, si elle existe – et je présume que cela reste probable, comme dans n’importe quel domaine de l’activité humaine – ne sera pas une théorie du calcul numérique ou de l’informatique. Ce ne sera pas une théorie du calcul numérique car les ordinateurs en eux-mêmes, comme je l’ai dit, ne constituent pas un sujet à part clairement délimité. En vérité, je pense à présent, compte tenu de l’ensemble considérable et saisissant des pratiques qu’on leur associe, que les ordinateurs sont ni plus ni moins que la construction et le développement sociaux à part entière d’artefacts intentionnels ».

d'abord être entamé en connectant l'objet technique lui-même à des dimensions sociales, plutôt qu'en rapportant des réalités techniques les unes aux autres, leur transférant ainsi une dimension sociale de proche en proche à partir d'un ancêtre commun identifié ou reconstitué sur la base d'analogies.

Cette conclusion tirée des réflexions posées par Brian Cantwell Smith est aussi en substance celle de Pascal Robert, notamment lorsque ce dernier propose explicitement d'aborder l'informatique selon une approche sociétale et d'en faire un objet des sciences humaines et sociales à part entière sans que cela prenne la forme « d'une collection de monographies, plus ou moins juxtaposées » (Robert 2009, p.18) mais donne plutôt une « perspective unifiée par une approche commune d'un "même" paysage. » (Ibid.). La proposition de Brian Cantwell Smith pour fonder cette nécessaire théorie unifiée consiste à définir une ontologie où des objets hétérogènes comme des faits sociaux ou des artefacts techniques peuvent être mis en rapport (Cantwell Smith, 1998). Si cette approche permet d'envisager l'informatique selon différentes facettes et diversifier les angles d'analyse selon les différentes dimensions à investiguer – et donc de rendre compte aussi bien des aspects techniques que sociaux – elle présente cependant le défaut d'isoler une essence quasi métaphysique où l'accumulation constatée dans nos sociétés – et par laquelle nous débutions empiriquement notre exposé (cf. Introduction générale) – ne peut être expliquée qu'en mobilisant des facteurs contingents, hors du cadre théorique postulé. Il nous semble peu pertinent d'aborder l'informatique comme si elle était suspendue dans le ciel des idées et notre démarche vise plutôt à la situer dans son monde, c'est-à-dire celui dans lequel elle se manifeste, mais qui est aussi celui qu'elle contribue à produire et reproduire. La mise en rapport de chacune de ses manifestations dans une totalité correctement conceptualisée, mais jamais totalement identique à ces manifestations, nous paraît plus adéquate que la caractérisation d'une hypothétique essence métaphysique. Nous emprunterons donc une autre voie⁵⁴ que celle de Brian Cantwell Smith afin notamment de répondre à l'impératif énoncé par Pascal Robert selon lequel une démarche cherchant à constituer une théorie sociétale de l'informatique doit « allier l'échelle *macrosociologique* et la *modélisation* » (Robert 2009, p.18) car « le niveau global ne doit pas être forcément abandonné au seul essai, mais bien réinvesti par une approche théorique » (Ibid.).

54 Cette voie permettra notamment de caractériser l'informatique à partir d'un modèle formel dont on peut dériver une dynamique sans introduire de facteur ad hoc pour en expliquer l'origine et qui ne soit pas non plus déterministe.

Toujours à l'instar de Pascal Robert, nous estimons que la théorie requise, « à l'encontre de l'essai, [...] ne peut se permettre de filer la métaphore jusque dans ses ultimes conséquences », mais qu'elle doit « s'arrimer à un ensemble de concepts cohérents [...] » (Ibid.). Nous allons donc présenter un modèle de l'informatique qui s'appuiera sur un noyau conceptuel à partir duquel seront dérivés un certain nombre de résultats conséquents. Si poser ce modèle et en tirer des conclusions constituent « nécessairement une clôture opérationnelle⁵⁵ » (Ibid.), cela ne se fera pas cependant de manière arbitraire car c'est bien d'un matériau empirique dont nous partirons et auprès duquel nous ferons un retour constant. Notre modèle sera donc confronté à des objets variés afin d'en éprouver la capacité à déployer des éclairages aussi bien dans le domaine de la production numérique avec ses conditions concrètes de réalisation que dans celui de ses représentations. Il nous semble en effet primordial de ne pas détacher les infrastructures (les modes de production) de leurs superstructures (les modes de représentation), et certainement pas d'établir une prééminence entre ces deux dimensions. Notre modèle conceptuel permettra au contraire de les étudier dans leurs intrications et dans la façon dont ils se constituent mutuellement, au point de contester que l'on puisse faire de l'un le simple soubassement de l'autre, y compris en se contentant d'en renverser les déterminations.

La première étape que nous allons accomplir consistera à nous pencher sur les spécificités des techniques numériques en mettant en évidence leur caractère bifide, lui-même inscrit dans l'architecture même des machines qui en sont le support, à savoir les ordinateurs. Les deux faces indissociables que présentent ces machines et, avec elles, la collection innombrable des applications qui peuvent en être tirée, sont d'une part une face concrète représentant tel ou tel usage particulier et d'autre part une face abstraite représentant l'ensemble indéfini des calculs envisageables avec ces machines. L'association de ces deux faces induit une dynamique par laquelle chaque nouvel usage concrètement mis en œuvre est aussi la contribution au parcours exploratoire de l'espace abstrait de procédures formelles mécanisables, qui offre à son tour de nouvelles perspectives pour des usages inédits. À partir d'un certain stade du déploiement de cette dialectique⁵⁶, la part que représente la totalité

55 « il faut accepter – ce qui exige, il est vrai, un effort du lecteur – les prémisses du raisonnement, ses règles du jeu et la logique qui en découle. [Le lecteur] doit également accepter de ne pas forcément tout comprendre d'emblée [...] souvent la fin éclaire le tout, [...] le tout éclaire chaque partie, comme chaque partie éclaire aussi [...] le tout » (Robert, 2009, p.19)

56 On peut probablement situer ce moment à l'avènement de la « seconde révolution informatique » avec l'introduction des applications fondées sur des bases de données elles-mêmes soumises à des traitements relevant de la statistique

abstraite des calculs devient déterminante. Le cycle concret/abstrait/concret qui s'ouvre et se ferme sur des usages spécifiques se renverse en abstrait/concret/abstrait où l'usage n'est plus qu'un prétexte de plus à la totalisation abstraite. La logique de ce renversement est formellement semblable à celle que Marx avait mis en évidence concernant la production marchande généralisée et qu'il avait résumée dans les formules $M-A-M \rightarrow A-M-A$ ⁵⁷

Dans une deuxième section de ce premier chapitre, nous allons faire une relecture d'un terrain étudié par Samuel Goëta dans sa thèse concernant les projets d'ouverture des données. Cette relecture sera faite à l'aune de notre analyse du caractère bifide des techniques numériques. Elle permettra de donner une interprétation des phénomènes que Goëta identifie, comme l'instauration des données, la désarticulation des systèmes socio-techniques ou le processus de « rebrutification ». Ces phénomènes marquent des moments de passage, dans un sens ou dans l'autre, entre la détermination concrète et la détermination abstraite des données et des traitements pris dans la dialectique générale qui anime le déploiement des techniques numériques. Nous concluons alors le chapitre en mettant en avant le caractère tautologique du mouvement résultant puisque il consiste en l'augmentation indéfinie des possibilités de calcul sans égard pour les contenus concrets qui n'en sont plus que des supports fugaces, mais malgré tout incontournables.

Afin de généraliser le résultat tiré du cas de l'open data, nous allons nous pencher dans le chapitre suivant sur les pratiques et les représentations de l'informaticien au travail. Nous analyserons notamment la fonction centrale des *plateformes d'intégration continue* dans nombre de projets de développement logiciel aujourd'hui. Pour cela, nous allons définir et illustrer trois rôles typiques joués par les différents contributeurs de ce genre de projets : l'informaticien, l'informatiseur et l'informatisé. Nous nous pencherons alors sur les représentations de la figure de l'informaticien en étudiant le cas du personnage de Dilbert dans la bande dessinée éponyme de Scott Adams. À partir d'une série de *strips* sur lesquels nous appuierons notre propos, nous allons proposer une explication à la double image paradoxale de l'informaticien, à la fois tout puissant et dérisoire. Cette explication sera fondée sur la position qu'occupe l'informaticien dans le mouvement tautologique de l'informatisation

57 « La forme immédiate de la circulation des marchandises est M-A-M, transformation de marchandise en argent et retransformation d'argent en marchandise : vendre pour acheter. Mais nous trouvons à côté de cette forme une deuxième forme spécifiquement différente, la forme A-M-A, transformation d'argent en marchandise et retransformation de marchandise en argent : acheter pour vendre. L'argent qui décrit dans son mouvement cette dernière circulation se transforme en capital, devient capital, est déjà par sa destination capital. » (Marx 2016, Chapitre IV : La Transformation de l'argent en capital)

qui tend, sur un plan phénoménologique, à lui voir attribuées (et à lui-même exprimer) les caractéristiques de la part abstraite qu'aucun agent du mouvement en question n'est en mesure de détecter (et donc d'assumer) dans sa propre activité.

Ces deux premiers chapitres de la première partie nous permettront donc de situer dans l'informatique en tant que technique, des propriétés particulières et inédites qui ont un impact sociétal tout aussi spécifique. Cependant cela ne doit pas être interprété comme l'affirmation d'un déterminisme technique, car ces propriétés et cet impact ne sont pas sans rapport avec les conditions sociétales qui forment le contexte dans lequel émerge la technique en question. Comme le note Pascal Robert :

« Croire que la technique ne possède pas de propriétés susceptibles d'influencer le développement de la société est une erreur. Croire que la technique en deviendrait pour autant instituante, capable symboliquement, en est une autre. » (Robert 2009, p.299)

Le troisième chapitre de cette première partie nous conduira à préciser les conditions sociétales en question – la forme de synthèse sociale évoquée dans notre chapitre préliminaire – ainsi que les rapports mutuels entretenus avec les techniques numériques. Pour cela, nous allons tout d'abord présenter la démarche de modélisation proposée par Pascal Robert et qu'il désigne avec le terme de modèle CRITIC (modèle de Convergence pour la Recherche sur l'Impensé dans les TIC). Accompagnant l'exposé de cette démarche, nous allons introduire les concepts d'*impensé informatique*, de *formatage généralisé* ou de *macro-techno-discours* qui forment autant d'obstacles pour *penser l'informatique* et constituent donc par contraste les différentes justifications quant à la logique de modélisation adoptée par le modèle CRITIC. Cette présentation sera complétée par des commentaires sur la nécessaire prise en compte de l'historicité des fonctions macro-sociétales au cœur du modèle CRITIC en tant que manifestations indissociables de la forme de synthèse sociale au sein de laquelle elles se déploient. Nous allons poursuivre notre démarche avec une application du modèle CRITIC dérivée de celle proposée par Pascal Robert autour de la fonction macro-sociétale de *mémorisation, traitement et circulation de l'information*. Cette application est sous-tendue par la mise en tension de l'espace de problèmes ouvert par l'accélération des flux matériels et humains qui accompagnent les révolutions industrielles et politiques dès la fin du XVIIIe

siècle, problèmes dont les réponses se trouvent potentiellement dans une vitesse accrue de l'information. En reprenant la notion de *control revolution* forgée par Beniger, et notamment la version située dans ce contexte de révolution industrielle, le modèle CRITIC permet de définir, dans un premier temps, quelques contours historiques pour la forme de synthèse sociale qui nous intéresse et qui est donc marquée par le phénomène d'accélération – pour lequel Hartmut Rosa a par ailleurs fait le constat d'un sorte d'échappée folle dans les phases les plus récentes. On peut par ailleurs rétrospectivement attribuer cette accélération à la dynamique du capital, qui impose une course à la productivité que les acteurs de la société capitaliste ne peuvent refuser sous peine d'en être éjecter.

Les contraintes nouvelles posées à la mémorisation, au traitement et à la circulation de l'information comme fonction macro-sociétale se traduisent par la mise en œuvre de véhicules d'exploration/construction de l'espace de problèmes ainsi ouvert (Robert 2009, p.189). L'invention et la mobilisation de l'ordinateur comme véhicule apte à offrir une réponse à cette fonction introduit cependant des nouveautés radicales. D'une part la dimension abstraite ajoutée à l'espace des problèmes à construire/parcourir obscurcit ce dernier, car cette dimension n'est pas perceptible aux agents de son déploiement qui fondent leurs activités et leurs engagements sur la part concrète. Et d'autre part cette dimension induit un renversement puisque la part concrète doit d'abord s'aligner sur les impératifs de cette part abstraite (dont, entre autres, le formatage généralisé) comme pré-requis à toute possibilité de cibler les problèmes qui prennent un ainsi un nouveau visage.

Pour mettre en évidence cette aptitude au renversement que recèle les techniques numériques, nous allons nous appuyer sur la capacité du modèle CRITIC à organiser des familles de véhicules dans une structure arborescente depuis les portées les plus génériques vers des domaines de plus en plus spécifiques. Si l'on descend les niveaux de généralité successifs selon lesquels les véhicules peuvent être classés, l'ordinateur peut alors trouver sa place parmi la famille des « informatiques » ou « automatique de la mémorisation, du traitement et de la circulation de l'information » (Robert, p.197, figure 5.2). Mais le renversement précédemment évoqué se traduit aussi par la possibilité de voir le véhicule « ordinateur » converger vers les autres familles de même niveau hiérarchique que sont les télécommunications, les « classeurs »⁵⁸, l'audiovisuel, etc. Ce sont même toutes les fonctions

58 Ensemble des technologies intellectuelles aptes à organiser des documents selon trois dimensions, telles les bibliothèques (Robert 2000a, p.109)

macro-sociétales qui sont ainsi atteignables du moment qu'existent des formatages permettant d'en paver la voie. Si cette voie présente des obstacles, permanents ou temporaires, on peut même envisager que la fonction visée subisse des ajustements pour aménager une voie plus praticable. Le formatage généralisé, qui est une des manifestations de la part abstraite de l'espace des problèmes accessibles à l'ordinateur, exerce en effet une pression à l'ouverture de ces voies car d'autres problèmes connexes peuvent requérir cette « avancée ». C'est ce que montre bien le cas de l'*open data* décrit par Samuel Goëta. Ainsi pouvons-nous tracer la perspective qu'en ajustant ici ou là, par petites touches, les fonctions macro-sociétales, ce soit la forme de synthèse sociale elle-même qui puisse se trouver globalement modifiée. Les techniques numériques ne déterminent pas en soi la trajectoire de la société, mais elles en opèrent la transformation sur un mode qui non seulement n'est pas *pilotable* mais surtout qui ne peut être conscient car chaque projet d'informatisation n'est que le support local au déploiement global de la part abstraite. Nous qualifions ce processus de fétichisme numérique.

Ces résultats obtenus par la conjonction entre notre analyse du caractère bifide des techniques numériques et l'application du modèle CRITIC nous conduiront à introduire un parallèle entre les propriétés de l'informatique et celles de la marchandise telle qu'elle est décrite par Karl Marx dès les premières pages du *Capital*. Nous allons ensuite compléter ce rapprochement avec un commentaire sur un célèbre passage des *Grundrisse* concernant le rôle du « système des machines » – ou machinerie – dans la dynamique du capital. La proposition qui ressort de ce commentaire est la suivante : les techniques numériques, en tant que techniques industrielles, sont adéquates au mouvement du capital. Mais en tant que techniques numériques, cette adéquation se trouve renforcée par leur caractère bifide, formellement comparable à celui de la production marchande. La consolidation et l'approfondissement de ce rapprochement sera l'enjeu du quatrième chapitre de cette première partie par l'intermédiaire d'une réflexion sur la notion de *digital labor* qui a fait irruption au sein des sciences de l'information et de la communication au tournant des années 2010.

Après avoir fait le constat que l'introduction de la notion de *digital labor* accompagne un retour à Marx dans les sciences de l'information et de la communication, nous allons décrire plusieurs variantes de la façon dont il peut être mobilisé dans les débats sur le sujet. Cela peut se faire de façon directe comme dans les analyses du capitalisme cognitif tirées des interprétations néo-opéraïstes de la notion de *general intellect* figurant dans le « fragment sur

les machines » ou bien encore avec la mise en avant de l'exploitation d'un « travail d'audience » que Dallas Smythe avait étudié pour le cas de la télévision dans les années 1970. Marx peut aussi être mobilisé indirectement comme dans la référence à l'École de Francfort qui introduit généralement les travaux de l'économie politique critique de la communication. En effet, avec Horkheimer et Adorno, qui sont les auteurs principalement cités dans ces travaux (bien que de manière distanciée), c'est toujours d'un marxisme, certes hétérodoxe, dont il est question.

Si la mobilisation de Marx est justifiée par le fait que le phénomène de *digital labor* fait apparaître un vaste mouvement de marchandisation des interactions humaines dans leur médiatisation par des plateformes numériques, nous allons contester, à partir des analyses marxiennes de la dynamique du capital, qu'il puisse s'agir là, à proprement parler, d'une nouvelle forme de travail alimentant un cycle consistant pour le capital. En effet, si la marchandise impose ses normes et son contrôle au « temps libre » (Adorno, 1964) et de manière générale à tout ce qui n'est pas directement productif pour le capital et qui constitue en quelque sorte son ombre portée, il n'y a pas pour autant moyen d'en tirer une activité productive au sens du capital, c'est-à-dire contribuant directement à la valorisation de la valeur. Que tout le temps vécu soit colonisé par la marchandise n'est pas le signe d'un prolongement réussi de la reproduction capitaliste qui ne peut s'accomplir que par la mobilisation de travail abstrait réellement accompli en tant que source unique de la survalueur, comme nous l'avons vu dans le chapitre préliminaire. Par ailleurs, le relai de la dynamique du capital assuré depuis plusieurs décennies par l'industrie financière en projetant dans le futur des perspectives de travail à venir, ne signifie pas que ce secteur soit en mesure de stimuler n'importe où la production de valeur⁵⁹, car il lui faut malgré tout des « porteurs d'espoirs » (Trenkle, Lohoff, 2014) un tant soit peu crédibles, ici et maintenant. Parmi les potentiels acteurs crédibles, les opérateurs de plateformes numériques font bonne figure du fait qu'ils mobilisent un appareil productif à la dynamique exponentielle puisque tautologique, comme nous l'aurons précédemment démontré. Ces opérateurs peuvent donc alimenter les promesses nécessaires à cette projection dans le futur des perspectives de valorisation qui représentent aujourd'hui le moteur – tournant toujours plus dans le vide au fur et à mesure que son rythme

59 Contrairement à ce que semble penser Prodnik qui ne voit pas d'obstacles dans les perspectives d'extraction de valeur que la finance pourrait faire advenir, son omniprésence étant même le signe de son omnipotence : « [...] finance is now present in all of the phases of economic cycle, from its start (production), to its end (consumption). This is the main reason why finance capitalism is able to extract value beyond areas that were traditionally meant for producing value [...] » (Prodnik, 2012, p.297)

s'accélère – du capitalisme « inversé » (Trenkle, Lohoff, 2014). Les conclusions de cette première partie permettront, dans la seconde, d'exposer le cas des crypto-monnaies – et de Bitcoin en particulier – avec un appareil conceptuel propre à éclairer leur émergence et leur rôle dans la phase actuelle des sociétés dont la synthèse se base sur la production marchande et donc la reproduction du capital.

Chapitre 2 : Le caractère bifide des techniques numériques

1. Problématiser le calcul numérique

Parmi leurs nombreux emprunts aux sciences de l'ingénieur, les sciences de l'information et de la communication peuvent s'appuyer sur les concepts dégagés par les théories de l'information qui mettent en avant les notions de codage – à l'instar de celle de Shannon – ou bien encore de signal, de rétroaction, etc. L'irruption de l'ordinateur et son inscription dans l'ensemble des activités sociales, notamment avec l'avènement de réseaux de télécommunications numériques, a aussi conduit ces mêmes SIC à devoir prendre en compte ces nouveaux outils techniques. Bien souvent, cependant, c'est à travers leurs usages interprétés dans le cadre de théories ne relevant pas spécifiquement du numérique que ces machines et infrastructures sont abordées alors même qu'elles sous-tendent d'autres variétés de théorie de l'information qui n'ont été que peu ressaisies dans le cadre des SIC. Les efforts de théorisation les plus notables ont plutôt porté sur l'extension des concepts informationnels « pré-numériques » à un contexte d'emploi massif des machines computationnelles.

Pour Bruno Bachimont (2004, 2006, 2010), les techniques numériques constituent le corps matériel d'une nouvelle forme de rationalité qui prolonge la logique évolutive des précédentes, introduisant une raison computationnelle à la suite de la raison graphique déjà mise en évidence par Jack Goody. Selon cette approche, l'introduction de l'informatique a

tout d'abord modifié les perspectives en termes de traitement de l'information, puis la démarche s'est étendue à tout type de contenus par réduction formelle de ceux-ci à des signes manipulables par la machinerie computationnelle. Cette analyse permet de cerner l'impact des techniques numériques sur notre façon d'appréhender le monde. Bachimont (2006) pointe notamment l'indifférence au contenu et le privilège accordé au formalisme, la manipulation machinique prise en charge par les ordinateurs ne pouvant être déployée que dans ce domaine. S'il marque ainsi une spécificité forte des techniques numériques et expose leurs conséquences sur nos modes de pensée, nous ne pouvons nous contenter de cette approche dans la perspective d'articuler le numérique avec la forme de synthèse sociale capitaliste. Cette approche n'adresse en effet que la dimension cognitive des interactions entre les techniques numériques et ceux qui y sont confrontés, et ne propose de les situer spécifiquement dans un contexte socio-historique que de manière empirique. D'autre part, si le « calculable », le « manipulable », le « recombinaisonnable » sont bien présents dans la dimension machinique mise en avant par Bachimont, la forme même du calcul tel qu'il se présente avec les techniques numériques n'y est pas analysée dans sa spécificité. La notion de calcul est même plutôt inscrite dans une certaine continuité avec les pratiques de traitement de l'information précédant l'informatique : seule la formalisation binaire de ces informations et de ces calculs constituerait une rupture : « nous avons introduit le calcul depuis longtemps dans nos pratiques scientifiques et culturelles sans qu'on parle de rupture ; c'est depuis que l'on numérise nos contenus culturels, nos outils, nos processus de manière intégrée que nous sommes désormais dans la situation d'aborder n'importe quel objet en mobilisant du calcul sans nous en rendre compte » (Bachimont, 2015, p.388)

Les ordinateurs relèvent cependant – entre autres mais pas uniquement, comme le signale Brian Cantwell Smith – d'une théorie *algorithmique* de l'information dont le *calcul* est effectivement le concept clé, sans que ce dernier puisse être identifié à la pratique calculatoire généralisée par la révolution scientifique moderne. Si les conséquences patentes de l'inscription des calculs dans les activités info-communicationnelles peuvent être interprétées à partir de transformations ou de prolongements des catégories tirées des théories de l'information « non-numérique », nous proposons de renverser ces approches non spécifiques de la catégorie du calcul en mettant en avant sa radicale nouveauté dès lors que sont impliqués ces machines particulières que sont les ordinateurs. Plutôt que de les envisager dans une continuité évolutive, nous allons montrer que les calculs réalisés par des ordinateurs

présentent des propriétés inédites. Nous montrerons ultérieurement dans les chapitres suivantes que ces propriétés peuvent satisfaire les critères que nous nous sommes fixés dans notre recherche d'une adéquation des techniques numériques avec la phase actuelle de la dynamique du capital.

Nous allons opérer la démonstration concernant l'existence de ces propriétés dans le présent chapitre et ceci en deux temps. Dans un premier temps, nous allons caractériser les techniques numériques à partir d'une analyse épistémologique du calcul au sens de Turing, car le dispositif qu'il imagine pour mieux en cerner le domaine – à savoir la machine de Turing universelle – est au fondement de la conception des ordinateurs. Cette analyse mettra en lumière le caractère bifide des techniques numériques ainsi que la dynamique résultante, et posera une esquisse générale de la place que cette dynamique peut occuper dans le monde social par le truchement des usages du numérique. Dans un deuxième temps, nous irons sur le terrain de l'Open Data tel que décrit par Samuel Goëta afin d'interpréter les phénomènes qu'il met en évidence dans le cadre de la dialectique entre concret et abstrait qui ressort de notre analyse des techniques numériques. L'intérêt des descriptions faites par Goëta se trouve particulièrement dans le fait qu'il s'attache aux moments précis où se noue et se dénoue l'interaction entre les pôles concret et abstrait de la dialectique, permettant ainsi de rendre compte des points d'appui de la dynamique résultante. Un des constats faits par Goëta – et auquel nous donnerons une portée plus large – est que le public ciblé par les projets d'ouverture de données numériques est celui des développeurs au sens large. Nous prendrons alors appui sur ce constat pour conclure sur la nécessité d'approfondir l'enquête sur le terrain de la production des applications numériques en l'abordant notamment sous l'angle des pratiques de développement logiciel.

2. La machine de Turing universelle

Pouvant être exprimée de différentes façons formellement réductibles les unes aux autres⁶⁰, la notion de calcul, qui est liée à l'avènement des ordinateurs, a notamment été appréhendé par Alan Turing à partir de sa description d'une machine universelle pouvant en caractériser le domaine. Ce concept de machine de Turing universelle est aujourd'hui associé sans équivoque à l'avènement de l'informatique et de l'ordinateur. Le lien n'a pourtant été établi qu'*a posteriori*, bien après que des machines réellement opérationnelles aient vu le jour au tournant des années 1950, dans différents circonstances relevant toutes cependant globalement d'un effort d'ingénierie qui a porté sur la conception d'une architecture propre à effectuer la manipulation automatique et générale d'états internes à une machine dite computationnelle.

Un état interne à une machine computationnelle, c'est un état particulier parmi l'ensemble fini de ceux que la machine peut adopter. Cet état en lui-même n'a pas de signification ni même de symbolisation *a priori*, en tout cas aucune signification ou symbolisation spécifiquement associée n'est nécessaire pour le fonctionnement propre de cette machine. Préalablement ou ultérieurement à ces états et à leur manipulation, l'attachement même de symboles, et *a fortiori* de significations et donc d'informations est du ressort de leurs opérateurs, pas de la machine elle-même, ce qui relativise la propension à qualifier l'ordinateur de machine à traiter de l'information. *Stricto sensu*, l'information – y compris dans sa simple composante formelle qu'est le symbole – est traitée par l'opérateur humain qui la transcrit en entrée et l'interprète en sortie du traitement propre à la machine, elle-même ne traitant que des changements déterminés d'états. Que la forme binaire, et son association avec les représentations 0 et 1, ait été retenue à l'issue de quelques tâtonnements pour trouver la solution optimale du point de vue de l'ingénierie et des contraintes d'exploitation n'en fait pas pour autant la marque irréductible du principe qui anime l'ordinateur. Une numération ternaire (à trois symboles distincts) fait parfaitement l'affaire et permet d'accéder au même domaine du calculable⁶¹. Il est aussi possible de simuler une machine à numération ternaire avec une machine à numération binaire⁶², et *vice versa*.

60 Fonctions récursives, lambda-calcul, automates cellulaires, circuits booléens, etc.

61 Comme ce fut le cas avec la machine Setun conçue et fabriquée à l'université de Moscou en 1958.

62 Comme ce fut le cas avec le programme TERNAC conçu et développé à l'université de New York à Buffalo en 1973.

Nous utilisons donc le terme d'état interne plutôt que ceux de donnée ou d'information pour bien marquer le fait que le processus que déroule un ordinateur n'est pas constitué nécessairement sur une forme symbolique ultime, mais aussi qu'il implique toujours une dimension matérielle, bien que la nature exacte de cette matérialité soit indifférente. Que ce substrat matériel soit pris en charge par des relais électro-mécaniques ou des transistors gravés à la surface d'un cristal de silicium, cela n'a d'impact que sur les performances, le principe de l'ordinateur reste le même. Il est plutôt inscrit dans la manière dont ces composants élémentaires sont agencés pour mettre en œuvre les principes architecturaux qui définissent ce qu'est un ordinateur. Cette architecture consiste, non seulement à rendre possible la transition d'un état interne à un autre de manière automatisée, mais de plus, et c'est un aspect déterminant, à rendre possible la prise en charge de n'importe quelle séquence de transitions, c'est-à-dire l'exécution de n'importe quel programme alimenté par n'importe quelles données. Non seulement l'ordinateur est la machine capable de déployer automatiquement le cheminement d'un état A à un état B selon des règles formelles exécutées pas à pas, mais c'est aussi la machine qui peut prendre en charge toutes les règles formelles imaginables et applicables à ces états. Ici se situe l'originalité de la lignée technique particulière représentée par la collection aujourd'hui innombrable des ordinateurs.

Deux facettes sont inextricablement liées dans un tel dispositif : en effet, la capacité à exécuter une règle formelle donnée s'appuie sur celle plus générale permettant d'exécuter n'importe quelle règle formelle – qui peut le plus, peut le moins. Mais cette même capacité générale n'est elle-même qu'un cas particulier de règle formelle. Il s'agit là de la matérialisation d'un concept qu'Alan Turing avait défini avec la machine de Turing universelle (Turing, 1936) et pour lequel John von Neumann avait proposé un modèle (von Neumann, 1945) qui est la base de l'immense majorité des ordinateurs aujourd'hui construits.

Avec ce concept de machine de Turing universelle, la préhistoire de l'informatique peut être abordée non pas comme la maturation progressive d'une innovation technique ou conceptuelle, mais plutôt comme le constat d'échec d'un programme de recherche en mathématiques fondamentales. En effet, durant le premier tiers du vingtième siècle, les efforts soutenus pour établir les fondements ultimes des mathématiques conduisent au résultat suivant : les théories suffisamment « solides » pour fonder les mathématiques permettent toujours de construire des énoncés qui ne sont pas démontrables dans le cadre de ces théories mêmes (Gödel, 1931). Il y a donc toujours de l'indécidable dans le cadre de ces théories et

donc les mathématiques ne peuvent avoir de fondements ultimes dans la seule logique formaliste.

Cependant, ce résultat est aussi le point de départ de plusieurs tentatives de clarification de la logique formelle, notamment pour explorer les conséquences de l'indécidabilité, à commencer par l'existence malgré tout d'un domaine du décidable. Si la constitution d'une communauté professionnelle s'identifiant à une pratique générale formant le domaine de l'informatique a emprunté des chemins détournés, elle a pu cependant être rattachée rétrospectivement à ces recherches germinales sur la décidabilité, au point qu'une récompense prestigieuse attribuée dans ce domaine porte aujourd'hui le nom d'Alan Turing, un des principaux contributeurs à la formalisation du domaine du décidable et à la démonstration de ses propriétés. La contribution de Turing à la construction concrète des premiers ordinateurs n'était pas pourtant perçue comme décisive dans les milieux professionnels de l'informatique au milieu des années 1960, à l'époque où son nom fut associé au prix décerné par l'ACM⁶³ (Daylight 2012). D'une part sa participation aux travaux pionniers dans le cadre de l'effort de guerre relevait encore d'informations classées, dont Turing ne pouvait faire état auprès des équipes auxquelles il avait participé. D'autre part, dans la compétition menée dans la deuxième moitié des années 1940 pour construire des calculateurs universels, les rapports techniques sur l'avancement des travaux ne font pas de référence explicite à Turing, alors même que celui-ci est régulièrement évoqué dans d'autres circonstances, notamment par von Neumann (Copeland et Proudfoot, 2005)

Ce qui a constitué progressivement le point de référence théorique des chercheurs et des ingénieurs impliqués dans le développement scientifique et empirique des automates programmables, c'est bien pourtant la notion de machine de Turing, mais il a fallu pour cela dépasser la phase où l'enjeu de leur mise au point était situé principalement dans la complexification de leur architecture matérielle. Partant de diverses tentatives pragmatiques pour produire une machine appliquant automatiquement des procédures formelles à des informations représentées numériquement, c'est le modèle dit du « programme enregistré », notamment formalisé et promu par John von Neumann (1945), John Eckert et John William Mauchly, qui s'impose à la fin des années 1940 avec des machines opérationnelles au début des années 1950⁶⁴. Ces machines, de par leur architecture qui se démarque de celles de

63 Association for Computation Machinery

64 À ce titre, Philippe Breton (1990) considère que les cinq premiers ordinateurs furent l'EDVAC, la machine IAS, le BINAC, l'EDSAC et le MARK 1.

simples calculateurs arithmétiques et des machines à application dédiée en général, ou même des tabulatrices mécanographiques, constituent une nouvelle lignée technique. Leur mise en œuvre introduit en effet une étape inédite pour pleinement déployer leurs capacités, étape qui est distincte de leur assemblage matériel initial ou éventuellement de reconfigurations ultérieures comme pour les tabulatrices. Cette étape ne modifie, en effet, pas la constitution interne de la machine et ne fait que s'appuyer sur une potentialité déjà pleinement constituée par son architecture matérielle : il s'agit de sa nécessaire programmation logicielle, c'est-à-dire de la conception, la réalisation et l'injection d'un programme comme description *formelle* d'une procédure « mécanisable » où l'enchaînement des opérations peut être confié à une machine automatisée. Les années 1950 voient donc émerger une discipline, à la fois pratique et théorique, dans le but de rationaliser cette activité d'ingénierie formelle qui peut s'envisager en faisant de plus en plus abstraction de l'aspect matériel de la conception des ordinateurs.

Ce sont donc les progrès pratiques et empiriques accompagnant la mise en œuvre raisonnée de ces nouvelles machines qui amènent rétrospectivement à fonder la discipline sur les éléments théoriques introduits par Turing⁶⁵. Cependant, cette montée en généralité s'est accompagnée de la conservation du caractère fondamentalement pragmatique de l'avènement des ordinateurs et ce repli sur les aspects certes sophistiqués, mais malgré tout opérationnels n'a jusqu'ici pas conduit à explorer certains aspects déterminants qui découlent des catégories établies par Turing (1936). Il faut donc se pencher sur ces catégories, principalement exposées dans son article séminal de 1936, pour comprendre ce qui a pu constituer rétrospectivement un fil conducteur pour la mise au point des ordinateurs et la formalisation de leur programmation. Ce fil peut aujourd'hui être ressaisi pour fonder un modèle de l'informatique qui ouvre à d'autres dimensions que son évidence technique.

Dans l'article évoqué⁶⁶, Turing prolonge les recherches sur la décidabilité en s'attaquant notamment au *problème de l'arrêt* qui est un cas particulier de *problème de décision*⁶⁷. Pour

65 « The take-away message in general terms is that the 1950s constitute a decade of cross fertilization between linguistics, computer programming, and logic. That decade is preferably not viewed as a smooth road from modern logic to computing; if there was any road at all in the history of computing, then it was most definitely from practice to theory. » (Daylight, 2015, p.207)

66 Turing Alan (1936), « On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem ». *Proceedings of the London Mathematical Society*, vol. 2, n° 42, pp. 230-265.

67 Un *problème de décision*, c'est la formulation d'une question de *décidabilité*, c'est-à-dire de l'existence d'un algorithme (procédure automatique) permettant de répondre à la question posée. Le problème de l'arrêt pose la question suivante : existe-t-il un programme D permettant de savoir si un programme P s'arrête au bout d'un nombre fini d'opérations ?

faire la démonstration que ce problème est indécidable dans le cas général, Turing commence d'abord par formaliser le concept même de calcul en décrivant une machine reproduisant la méthode « pas à pas » employée intuitivement par les calculateurs humains⁶⁸. Le calcul ainsi défini ne se restreint pas aux opérations arithmétiques, mais couvre tous les cas où se déroule une procédure formelle, quelle que soit ensuite la signification que l'on puisse accorder aux symboles manipulés. Cette description formelle est un modèle abstrait – dans le sens où il s'agit d'une « machine sur le papier » qui n'a pas besoin d'être réalisée pour que des conséquences pratiques puissent en être tirées, en tout cas dans le cadre du raisonnement logique que Turing s'applique à dérouler – mais chacune des « machines » ainsi décrites conserve cependant un caractère concret dans la mesure où elles sont toutes dédiées à l'exécution d'un calcul toujours particulier destiné à répondre à une question précise.

Toujours dans le but de progresser dans sa démonstration, Turing généralise alors son concept de « machine à calculer » en montrant qu'il existe – toujours « sur le papier » – des « machines » de ce type capable de simuler n'importe quelle « machine à calculer »⁶⁹. Il s'agit donc de machines de Turing universelles⁷⁰. C'est à partir de ce point que l'on peut poser formellement et rigoureusement le domaine du calculable – ce qui peut être parcouru par une machine de Turing universelle – et donc tirer un certain nombre de résultats dérivés qui constituent les fondements rétrospectifs de l'informatique théorique, mais uniquement par l'intermédiaire d'une certaine pragmatique comme nous l'avons vu précédemment.

Une machine de Turing universelle est donc tout à la fois une machine de Turing particulière et l'ensemble de toutes les machines de Turing envisageables. Elle est à la fois concrète en ce sens qu'elle constitue une instance particulière, et abstraite en ce sens qu'elle est indifférente au contenu particulier qu'elle peut simuler. Ce caractère bifide associant abstrait et concret dans la machine de Turing universelle idéale se retrouve dans l'ensemble des machines « matérialisées » que sont les ordinateurs. Nous voulons dire par là que la

68 Cet aspect avait été relevé par Wittgenstein avec le commentaire suivant dans *Remarques sur la philosophie de la psychologie* (§ 1096) : « Turings « Maschinen ». Diese Maschinen sind ja die Menschen, welche kalkulieren. ». Suivant l'analyse qu'en mène Pierre Wagner (2005) en pointant les traductions problématiques proposées aussi bien en anglais qu'en français, nous proposons d'interpréter ce commentaire comme suit : « Les soi-disant “machines” de Turing ne sont en fait que les êtres humains eux-mêmes en train de poser des calculs »

69 Il est même possible de concevoir différentes machines de Turing universelles, et donc des machines de Turing universelles qui simulent n'importe quelle machine de Turing universelle...

70 Ce passage à la limite que Turing effectue dans la théorie, c'est celui qu'opèrent aussi les praticiens de la programmation tout au long des années 1950, en tentant de généraliser le problème de la traduction jusqu'à élaborer des outils, conformes à ce besoin, que sont les langages de programmation permettant de décrire n'importe quelle fonction calculable (Daylight 2015).

laborieuse mise au point des machines de cette lignée technique a fini par refléter le concept formalisé par Turing sans le viser explicitement dans une machine spécifique, mais par l'accumulation de leurs mises en œuvre tous azimuts. Au sein de cet ensemble socialement et historiquement constitué, la part abstraite est assurée par leur architecture interne combinée aux langages de programmation qui donnent cette capacité générique à déployer n'importe quel calcul. La part concrète relève quant à elle des divers systèmes d'exploitation qui implémentent tous un cas particulier d'automate à capacités générales, ainsi que dans les applications particulières qui déploient les usages du numérique.

Cependant, contrairement aux « machines de papier » inventées par Turing, les ordinateurs se trouvent massivement intégrés aux activités menées dans nos sociétés. Ces circonstances constituent un contexte historique dans lequel le caractère bifide, précédemment mis en évidence, s'exprime selon des modalités sans cesse renouvelées. La dialectique entre abstrait et concret n'est donc pas une essence définissant l'informatique hors de tout contexte social et historique, mais elle constitue en revanche un moteur très général qui anime les sociétés contemporaines et se déploie sur un terrain bien réel en oscillant sans cesse entre la totalité envisageable des calculs⁷¹ et les applications particulières qui les manifestent. Cette situation s'est installée graduellement par la démultiplication des applications sans qu'il ait été nécessaire que chacun de leurs promoteurs brandissent le caractère générique de l'informatique comme argument en justifiant l'emploi. On peut notamment rappeler que si l'ordinateur est aujourd'hui considéré comme une machine à traiter de l'information ou à communiquer, cette vision ne s'est installée que très progressivement. Paul Edwards (1996) a notamment montré que, jusqu'au tournant des années 1950, l'ordinateur était encore « une solution à la recherche d'un problème ». La formulation des « problèmes » dont la résolution pouvaient être confiée à un calcul particulier a accompagné le processus pragmatique visant à mettre en œuvre une machine pouvant parcourir plus généralement le domaine du décidable. C'est la formalisation et la mise en œuvre concrète de cette capacité générale qui permit d'envisager conjointement des usages de plus en plus variés. Parallèlement, il fallut aussi construire petit à petit la variété des usages et la population des usagers en élaborant des interfaces homme-machine s'adressant à des publics de plus en plus larges (Thierry 2013).

71 Encore une fois, il faut bien préciser que « calcul » dans ce contexte signifie « procédure formelle mécanisable » et dépasse donc largement le cadre des calculs au sens des opérations arithmétiques.

La totalité des calculs envisageables avec un ordinateur est une totalité abstraite dans la mesure où rien ne permet d'en définir les contours précis : non pas que le domaine soit flou, bien au contraire, mais ses limites sont indéterminées. La caractérisation que donne Turing du calculable s'appuie en effet sur les propriétés de sa « machine universelle » comme étant l'espace qu'elle peut parcourir. Mais aucune procédure générale ne peut situer la frontière de ce domaine – la ligne de partage entre calculable et non calculable – du fait même de l'indécidabilité du problème de l'arrêt. Autrement dit, le problème de savoir ce qu'une machine de Turing est concrètement capable d'accomplir comme calculs est lui-même indécidable. Explorer cet ensemble, c'est simultanément le caractériser et ouvrir à cette exploration de nouveaux territoires. Il y a donc là un principe dynamique, une potentialité motrice qui anime la mise en œuvre des ordinateurs du côté de la production des logiciels, c'est-à-dire des cas particuliers de machines de Turing, comme possibilité sans cesse renouvelée d'applications des calculs numériques.

La généricité de l'ordinateur traduit donc deux aspects, deux facettes, comme l'avvers et le revers d'une même pièce, qui marquent la spécificité de l'ordinateur : d'une part, un caractère général du fait de pouvoir déployer n'importe quelle procédure formelle, d'autre part, un caractère génératif du fait de réaliser cette potentialité en déployant une procédure particulière à portée universelle qui peut elle-même produire n'importe lequel des cas particuliers envisageables. On est donc en présence d'une technique qui présente deux moments intriqués aux propriétés inédites, et qu'aucune autre technique, donc, n'avait jusqu'à inscrits dans le cœur même de son fonctionnement. Le premier moment est constitué par le déroulement automatique d'une procédure formelle qui est associé à un usage particulier que l'on a pu formaliser. Le deuxième moment est constitué par le déroulement automatique d'une procédure à portée universelle pour lequel le contenu propre de la procédure particulière n'est qu'un support nécessaire mais indifférent. Il y a donc pour le premier moment un contenu concret – même si cette concrétude peut avoir par ailleurs des objectifs très évanescents et/ou virtuels, comme le calcul d'un indice boursier ou des interactions au sein d'un jeu en ligne. Le deuxième moment est, quant à lui, purement abstrait, c'est-à-dire qu'il relève d'une catégorie à portée générale mais sans égard pour le contenu concret, une propriété distincte de ce contenu qui n'est pas la généralisation d'un ensemble – comme le serait par exemple, le genre « animal » en tant que généralisation spéculative de tous les individus partageant des

propriétés communes. Il s'agit plutôt d'un dispositif générique permettant de *produire*⁷² ces individus particuliers que sont les déroulés de telle ou telle procédure formelle. Ce genre d'abstraction – ou mise en suspension de tout contenu concret, particulier, spécifique – présente aussi une autre différence fondamentale par rapport à la notion de généralisation. Autant la catégorie d'« animal » est une pure virtualité – personne n'a jamais été mordu par un « animal » en soi, mais toujours par un individu bien concret rassemblé dans cette catégorie par un simple mouvement de l'esprit –, autant le genre d'abstraction contenu dans les ordinateurs a une réalité bien tangible avec des effets sur le monde. L'abstraction est ici en quelque sorte matérialisée, ou bien encore on peut parler, sans que cela soit paradoxal compte tenu des définitions posées ci-dessus, d'abstraction réelle⁷³.

Jean Lassègue propose, dans son ouvrage au sujet de Turing, une analyse des thèses concernant sa machine universelle qui permet de mettre en évidence le caractère dynamique du dispositif qu'il invente « sur le papier » (Lassègue, 1998). Ce caractère dynamique se retrouve de même dans l'ordinateur en tant que machine qui en réalise le principe. Il relève tout d'abord que la classe des fonctions calculables – ou procédures formelles comme nous les avons nommées jusqu'ici – n'a pas de critère permettant de statuer a priori si telle ou telle fonction en fait partie. Comme l'écrit Lassègue, il y a là « une exhortation à la recherche de la machine de Turing adéquate » (Lassègue, 1998, p.70) pour tel ou tel usage envisagé, cette recherche s'appuyant sur la capacité abstraite mais bien réelle de l'ordinateur à déployer toutes les fonctions calculables. De plus, Lassègue note le caractère tautologique de cette recherche dans l'espace de la totalité abstraite des calculs envisageables, qui découle du fait que « le concept de machine de Turing est, d'un même mouvement, la caractérisation de la notion de calcul et l'outil permettant d'explorer le domaine du calculable. » (Lassègue, 1998, p.91) Ainsi, la face abstraite qui caractérise le genre de calcul effectué par l'ordinateur n'est pas seulement une propriété spécifique de cette lignée technique, mais il s'agit aussi d'un ressort qui agit de l'intérieur pour animer son déploiement sur le domaine sans cesse renouvelé des usages/applications que l'on réussit à formaliser pour les rendre adéquats à son fonctionnement. Les usages sont donc des moments incontournables du déploiement des

72 Nous verrons que cet aspect productif de la face abstraite de l'ordinateur s'avère déterminant pour expliquer le déferlement des usages, bien plus que les justifications que chacun peut se donner pour les mettre en œuvre.

73 Le terme « abstraction réelle » est employé par Alfred Sohn-Rethel, épistémologue proche de l'École de Francfort, pour qualifier l'opération de mise à l'écart de toutes les qualités concrètes pouvant rendre deux objets incommensurables, opération qui se réalise sans effort conscient dans le cadre d'un échange marchand (Sohn-Rethel, 2010).

techniques numériques. Mais on ne peut se contenter de les envisager comme des moments isolés. Il faut bien sûr les situer dans des réseaux d'actions qui déploient des déterminations complexes entre ces moments concrets. Cet aspect là n'a pas été effacé par leur inscription dans des calculs formalisés pour et déroulés par des ordinateurs. Mais surtout, il faut garder à l'esprit que ces moments sont simultanément les supports d'une totalité abstraite. Cette totalité est le cadre même de leurs déploiements et les inscrit dans une dynamique qui les subsume. Les usages concrets doivent donc être interprétés comme des moments fugaces et transitoires de cette dynamique sous-jacente.

On peut déjà retenir à ce stade l'analogie formelle qui existe entre le renversement induit par une totalité abstraite dans le domaine des calculs qu'un ordinateur peut dérouler, et celui mis en évidence par Marx (2016, Chapitre IV : La Transformation de l'argent en capital) concernant le cycle de la marchandise. La valeur marchande y prend une succession de formes. Marx les identifie et les situe d'abord dans les échanges élémentaires M-A (une marchandise particulière est échangée avec sa contre-partie en argent) et A-M (l'argent permet d'acheter une marchandise particulière) qu'il associe ensuite dans un cycle complet M-A-M (la marchandise est vendue pour acquérir l'argent qui permet d'acquérir une autre marchandise). Dans le cadre du capitalisme, cependant, la circulation généralisée de marchandises modifie les points de départ et d'arrivée de ce cycle en A-M-A' : de l'argent est investi pour produire une marchandise dont la vente rapportera plus d'argent qu'initialement investi. Ce renversement doit être interprété comme le résultat d'un enchaînement logique dans le raisonnement de Marx, et non pas comme la description idéale d'un processus historique qui aurait conduit de l'échange simple des marchandises dans les sociétés pré-capitalistes à la dynamique du capital enclenchée par une généralisation de ces échanges. Le terme A dans les formules de Marx dénote l'argent et non pas la monnaie, c'est-à-dire un équivalent général universel, et non pas un simple facilitateur de l'échange dans un contexte local donné. Or cette notion d'équivalent général universel n'a lui-même de sens que dans une société où la production marchande est généralisée et où elle suscite l'élection d'une marchandise particulière pouvant assurer leur circulation tout aussi généralisée, sans égard pour leur contenu propre.

Dès lors qu'elle est massivement mobilisée dans des activités sociales, notamment dans les domaines de l'information et de la communication, la machine Turing et sa capacité universelle à dérouler n'importe quel calcul ne doit pas être seulement abordée comme un

facilitateur pour les activités info-communicationnelles, à l’instar de la façon dont est perçue la monnaie dans les théories économiques. Si, vue des usages particuliers, elle s’insère effectivement comme forme intermédiaire entre les différents usages, à l’instar de l’argent dans le cycle M-A-M, vue depuis le mouvement général d’informatisation elle devient point de départ et point d’arrivée du cycle. Des calculs, pris en charge par une machine de Turing universelle, suscitent de nouvelles possibilités de calculs, toujours pris en charge par une machine de Turing universelle, arpentant une portion élargie de l’espace qui leur est accessible, tout en transitant par des usages/applications/données numériques qui, bien que requis pour accomplir le cycle, sont mobilisés sans égard pour leur contenu propre. Il se dessine ainsi une analogie entre la circulation marchande et le parcours de l’ensemble des calculs au sens de Turing/Church. Cette analogie repose sur une forme commune : une double nature abstraite et concrète. La part abstraite assure la connexion de toutes les instances au sein d’une totalité en faisant abstraction des contenus concrets qui ne sont que des supports indifférents. Ce genre de connexions, s’il peut apparaître localement fondé sur une finalité concrète et qualitative, produit, en fait, une dynamique tautologique et purement quantitative, à un niveau global⁷⁴.

Les rapprochements possibles, à un niveau formel, entre marchandise et numérique peuvent être résumés avec le tableau ci-dessous :

	Cycle local	Cycle global
Marchandise	M-A-M	A-M-A’
Numérique	N-T-N	T-N-T’

Cette similitude est une première indication d’une possible adéquation entre numérique et capital⁷⁵, partageant des logiques formellement superposables, mais rien à ce stade ne nous permet d’établir la nature et le fonctionnement du lien qui rattache potentiellement ces deux plans, au-delà de la seule analogie. Seule une recherche plus approfondie, explorant la sphère

74 « Le renouvellement ou la répétition de la vente en vue d'acheter trouve, comme ce procès lui-même, sa mesure et son but dans une finalité qui lui est extérieure : dans la consommation, dans la satisfaction de besoins déterminés. Par contre, dans l'achat en vue de la vente, le commencement et la fin sont une seule et même chose, à savoir l'argent, la valeur d'échange, et, pour cette seule raison, le mouvement est sans fin. » (Marx 2016, p.171)

75 Marx (2016, p.166) signale en effet que, concernant le cycle A-M-A’, « l'argent qui décrit dans son mouvement cette dernière circulation se transforme en capital, devient capital, est déjà par sa destination capital. »

de la *production* marchande, et non plus seulement celle de la *circulation*, est en mesure de situer, historiquement et matériellement, les ressorts de la rencontre entre capital et numérique. Si cet aspect ne sera pleinement abordé qu’au chapitre 5, après avoir construit les outils nécessaires au chapitre 4, il est cependant déjà possible d’explorer la dynamique tautologique, induite par la forme bifide abstraite/concrète des techniques numériques, à partir d’un cas particulier. La dernière section du présent chapitre va donc se pencher sur le cas de l’*open data*, en s’appuyant notamment sur l’analyse qu’en a faite Samuel Goëta (2016). Celle-ci montre que les données ouvertes, loin d’être justement données comme telles, font l’objet d’une « instauration » qui ne peut s’accomplir que sur la base d’un cycle sans cesse renouvelé de « désarticulation des systèmes socio-techniques ». Une relecture de cette démonstration, à l’aune du caractère bifide des données numériques, sera aussi l’occasion d’articuler notre caractérisation des techniques numériques avec certaines catégories critiques mises en avant par Pascal Robert : impensé numérique et macro-techno-discours.

3. Le cas de l’open data comme dynamique bifide

Nous avons proposé dans la section précédente une caractérisation du numérique via celle de la machine qui en est le fondement, non seulement sous l’angle de ses spécificités formelles, mais aussi par la façon dont son usage est engagé dans le monde social. Cette caractérisation permet de lui attribuer une dynamique intrinsèque qui se reflète dans la société du fait du caractère indéfini de l’espace qui lui est propre et de la nécessité de démultiplier ses usages pour parcourir concrètement cet espace. Une autre caractéristique importante des machines computationnelles pouvant être associée à ce ressort fondamental est le fait que ce qui est produit en sortie est de même nature que ce qui est introduit en entrée. Ainsi la transformation opérée par ces machines sur les éléments avec lesquels on les alimentent, c’est-à-dire les données, conservent cette disponibilité qui en fait des ressources pour un calcul ultérieur. Cette propriété vient du fait que les données numériques héritent de cette nature bifide qui caractérise les calculs numériques effectués par des ordinateurs, et non pas seulement de leur réduction en dernière instance à un format binaire qui n’est qu’une détermination secondaire. D’un côté, elles sont des données particulières à un contexte,

représentations d'informations spécifiques pour un usage dédié. De l'autre, en tant que matériau susceptible d'un traitement automatique sans égard pour ce contenu, elles sont formellement équivalentes les unes aux autres. Elles sont donc toujours susceptibles, à ce titre, de faire l'objet de nouvelles combinaisons par le truchement d'un traitement numérique qui n'était pas envisagé par leurs producteurs ou leurs utilisateurs initiaux, mais toujours en employant la même machine.

Il faut aussi noter que ce traitement supplémentaire n'oblitére pas la possibilité du traitement initial, ni celle de traitements supplémentaires concomitants. C'est cette possibilité de démultiplier les traitements indéfiniment sans annihiler la ressource qu'ils consomment qui est par exemple le fondement du « coût (quasi) nul » de la duplication des données. Car, la duplication est déjà elle-même la mise en œuvre d'un traitement numérique, d'un calcul effectué par un ordinateur. Copier une donnée numérique, c'est déjà mettre en évidence qu'une donnée n'est rien sans un traitement, quand bien même ce traitement ne fait que produire en sortie une image identique à ce qu'on injecte en entrée. La nature bifide des données numériques implique donc leur nécessaire *injection* dans (au moins) un traitement numérique et donc la production de nouvelles données pour qu'elles présentent une raison d'être. Les données numériques, c'est-à-dire des informations qui se prêtent à des traitements sans égard pour leur contenu, ne se maintiennent tautologiquement que si elles participent à la production de nouvelles données numériques et donc au déploiement d'un traitement calculatoire pris en charge par un ou des ordinateurs. Le processus vu sous l'angle des données présente donc une autre face de ce caractère autoréférentiel précédemment mis en évidence quant aux traitements déployés par des ordinateurs et participe donc ainsi tout autant à la dynamique de la production informationnelle en régime numérique : le calcul numérique produit des données numériques qui à leur tour ne peuvent perdurer, c'est-à-dire conserver une utilité quelconque pour un quelconque usager, que par le déploiement de nouveaux calculs numériques, comme peut le mettre en évidence le cas de l'*open data* tel que le décrit Samuel Goëta (2016)⁷⁶.

Goëta propose en effet une analyse fine de l'instauration des données numériques ouvertes (*open data*) qui met notamment en évidence les pratiques de « désarticulation des

76 Goëta indique notamment en conclusion du résumé de sa thèse qu'il a diffusé conjointement à l'annonce de sa soutenance : « Plutôt que de réduire la donnée [numérique] à une catégorie relative, qui s'appliquerait à toutes sortes de matériaux informationnels, les cas étudiés montrent qu'elle est généralement attribuée dès lors que les données sont le point de départ de réseaux sociotechniques dédiés à leur circulation, leur exploitation et leur mise en visibilité »

systèmes socio-techniques » et de mise à l'épreuve des données que constituent les projets de leur ouverture au sein des administrations publiques. Quelles sont les conditions de possibilités et les ressorts de cette instauration des données (ouvertes) qui peuvent être identifiées à la lecture des descriptions détaillées que fournit Goëta ?

Il y a tout d'abord un glissement du discours dans les milieux qui font la promotion de l'ouverture des données depuis les bénéfices d'un cas d'usage particulier vers un bien en soi dans la démultiplication de usages projetés. On retrouve là un cas exemplaire manifestant une fonction du *macro-techno-discours* (MTD) qui est de mettre l'informatique à l'abri des épreuves de justification (Robert 2009, p.45). Dans le cas de l'*open data*, partant d'une exigence de transparence concernant les pratiques de ceux qui nous gouvernent, les formulations finalement brandies se focalisent sur les bénéfices attendus de la réutilisation des données rendues accessibles :

[...] on remarque un basculement sémantique entre le moment de l'invitation et de la clôture de la réunion. Les principes ne portaient plus sur l'Open Government, mais définissaient la notion d'Open Government Data créée par la même occasion. *L'Open Government, autrefois synonyme de révélation des secrets étatiques, vise à faciliter la réutilisation de données déjà disponibles* » (Goëta, 2016, p.22, nous soulignons)

Cela se traduit par une évolution des systèmes d'information mis en œuvre par les instances en charge de l'ouverture des données, ainsi que par la redéfinition des missions qui leur sont attribuées mettant l'accent sur une *activation* de ces données :

« Avec la refonte du portail, Etalab s'est donc vue attribuer de nouveaux objectifs qui ne consistent pas uniquement à ouvrir les données, mais à les « faire vivre » en s'assurant de leur réutilisation et de l'existence d'une communauté autour des données. » (Ibid., p.78, nous soulignons)

Si l'activation des données est avant tout une potentialité à maximiser auprès d'une communauté susceptible de les consommer, cette maximisation est obtenue en ciblant explicitement des usages « machiniques » et non uniquement des utilisateurs humains :

« Les responsables de projet open data ne ciblent pas uniquement des profils types d'usagers tels que des développeurs, des porteurs de projet ou les rédacteurs du service de communication lorsqu'ils sélectionnent les données à ouvrir. *Ils visent*, et parfois font même des choix entre *des données configurées pour l'utilisation par les machines* et d'autres orientées pour leur utilisation par des humains. » (Ibid., p.104, nous soulignons).

Ainsi, une donnée intéressante pour les projets d'open data est « une donnée dont l'équipe en charge de l'open data perçoit le *potentiel de réutilisation* et parvient à imaginer comment *elle s'inscrira dans de nouveaux réseaux sociotechniques* une fois son ouverture effectuée. » (Ibid., pp.104-105, nous soulignons).

Mais cette nouvelle inscription ne peut se faire qu'au prix de ce que Goëta appelle une « désarticulation » des systèmes socio-techniques, c'est-à-dire le détachement des données de leur contexte d'emploi initial⁷⁷. Il faut pour cela notamment faire un travail de « nettoyage », rassembler des éléments répartis dans des systèmes distincts ou bien encore les aligner sur des formats standardisés, notamment ceux directement exploitables par des machines. Ces opérations peuvent parfois être elles-même réalisées avec des traitements automatisés *ad hoc* :

« Une fois le schéma reconstituer [sic], il faut souvent développer un script informatique, une « moulinette », qui accomplit l'extraction de la base de données en rassemblant les informations éparpillées dans différentes tables et parfois plusieurs serveurs. » (Ibid., p.122-123, nous soulignons)

Cette « désarticulation » qui peut être vue comme un investissement de forme (Thevenot, 1986), est parfois coûteuse mais toujours envisageable, quitte à « attendre » des conditions meilleures (augmentation des performances du matériel ou des algorithmes, abaissement concomitante des coûts, extension du périmètre déjà « désarticulé » dans la proximité de nouveaux usages envisageables...). Goëta suggère alors que « les projets d'open data constituent des épreuves⁷⁸. En faisant migrer les données dans un cadre nouveau, ils rendent potentiellement centrales certaines de leurs dimensions qui étaient peu pertinentes dans leurs cadres d'usages initiaux. » (Goëta, 2016, p.128). Cependant, il faut noter que le nouveau cadre reste justement indéfini quant à un usage particulier et que l'objectif de l'ouverture des données est de viser leur non-adhérence à tout cadre spécifique *a priori*. La dimension peu pertinente dans les cadres d'usages initiaux qui est alors rendue centrale dans le cadre de l'ouverture des données, c'est la forme abstraite, celle qui est sans égards pour le contenu propre, tandis que ce contenu n'est jamais réellement un obstacle en soi à sa réutilisation dans un autre contexte. À ce titre, « [l]es projets d'open data opèrent ainsi une

77 Contrairement à la notion de décontextualisation proposée par Goody (1977) pour désigner un des effets des « technologies de l'intellect » que sont la liste ou le tableau, il ne s'agit pas avec la désarticulation des systèmes socio-techniques numériques de tirer avant tout, par cette mise en forme remaniée, une vision nouvelle et enrichie des données sous-jacentes, mais bien de conserver le caractère « disponible » à tout type d'usages numériques de ces fragments décontextualisés.

78 cf. Boltanski & Thévenot, 1991.

véritable transmutation des données que les agents ne peuvent pas ignorer. » (Ibid., p.138) et engage à une « préfiguration des usages » (Ibid.) Si, en dernier ressort, les élus « assument les risques politiques de la réutilisation », ils le font en réponse à des injonctions très génériques, formelles, des « biens en soi tels que la transparence, l'innovation ou la modernisation de l'État. » (Ibid., p.133) qui, en tant que *leurres*, sont autant de marqueurs de l'impensé informatique. En effet, on retrouve là, de nouveau, les termes dans lesquels Pascal Robert a caractérisé cet impensé :

« on juxtapose les thèmes comme autant de perles sur le collier, laissant à la conclusion le soin d'offrir une vague synthèse. On rapporte ainsi comment l'ordinateur est susceptible d'aider les handicapés, la justice ou les enfants à l'école en se gaussant peut-être de l'outil à tout faire, réponse à tous les problèmes, mais sans comprendre que de tels exemples participent à poser l'informatique comme une évidence, conduisent à l'appréhender comme force morale positive, à légitimer son intervention tout azimut [...] » (Robert, 2009, p.30).

Le statut de données ne se réalise pleinement qu'« à partir du moment [où] ces objets sont pris dans des réseaux sociotechniques et des chaînes de traitement dédiés à leur circulation, leur exploitation et leur mise en visibilité » (Ibid., p.140). Cela revient bien à leur donner en amont une forme (numérique) qui prime sur le contenu⁷⁹, et est adéquate aux traitements qui les mettent en mouvement⁸⁰, par opposition à leur usage fixé dans un but particulier, de sorte que « l'intelligibilité par les machines permettrait de distinguer les données de l'information » (Ibid., p.175). L'instauration des données (numériques) a donc pour objectif de garantir leur caractère consommable par des machines, et plus spécifiquement des ordinateurs, car même lorsqu'il s'agit d'alimenter des applications interactives, les éléments d'interface homme-machine sont eux-mêmes médiatisés par un traitement numérique. Il faut d'ailleurs employer le terme « consommable » plutôt qu'intelligible, car, justement, les ordinateurs n'attribuent pas de signification aux données traitées et ne déroulent leurs opérations que sur la base d'une cohérence formelle. Cette consommation est d'autant

79 Ce que Pascal Robert nomme le « formatage généralisé » : « Un milieu quelconque n'engendre pas spontanément une information compatible à l'ordinateur, ou à l'informatique au sens large d'automatisation du traitement, de la mémorisation et de la circulation de l'information. Autrement dit, toute informatisation exige – pour avoir quelque chance de réussir – un formatage du milieu dans lequel elle va s'inscrire » (Robert, 2009, p. 67)

80 Car l'informatique « anime » les données en tant que MOTIF (MOTeur d'Inférence et de gestion des Formes) (Robert, 2009, p. 68)

plus facilitée que l'instauration des données a permis d'obtenir cette cohérence formelle, quitte à écarter des informations, remplir des « trous », changer les formats pour lever les ambiguïtés non pas sur le contenu mais sur la forme. Et même lorsqu'une donnée est écartée parce que sa valeur semble aberrante, cela reste une décision prise dans l'objectif de ne pas perturber des traitements qui ne porteraient plus le contexte dans lequel cette valeur peut malgré tout faire sens.

Une des solutions envisageables pour assurer ce détachement du contexte initial dans les projets d'*open data* se trouve dans la production de métadonnées (Ibid., p.183). La production de méta-données contribuent doublement à la dynamique calculatoire, d'une part en rendant possible le traitement des données hors de leur contexte initial, mais aussi, d'autre part, en constituant par elles-mêmes un matériau consommable – un carburant – pour des traitements numériques. Un mouvement de standardisation de ces méta-données élève cette contribution à un niveau d'abstraction supplémentaire car « des méta-données uniformes permettent ainsi leur “moissonnage”, leur exploitation automatique dans des “catalogues de catalogues” » (Ibid., p.185) et ainsi de « réutiliser les données sans avoir à interagir avec leurs producteurs » (Ibid., p.186). Il en résulte, à l'instar des données scientifiques étudiées par Latour (1996), « un double mouvement de réduction et d'amplification. Réduction, car les inscriptions perdent progressivement leur matérialité et leurs particularités locales au fur et à mesure de leur standardisation ; amplification, car elles gagnent par la même occasion en généralité et en capacité de combinaison. » (Goëta, 2016, p.196). Cette capacité de combinaison peut-être rapprochée de l'interprétation que fait Jean Lassègue du concept de machine de Turing universelle comme « un schéma capable de s'auto-entretenir [puisque] toute table d'instructions peut être indéfiniment combinée à d'autres pour former de nouvelles machines. » (Lassègue, 1998, p.91).

Comme nous l'avons vu dans la première section de ce chapitre, la machine de Turing universelle est le fondement épistémologique rétrospectif de l'informatique théorique, mais aussi le modèle pragmatique des processus concrets d'informatisation (et donc de numérisation). Ces processus se déploient notamment au travers de l'activité d'ingénierie logicielle comme pratique professionnelle. Cette activité consiste dans la construction raisonnée d'automates logiques destinés à un usage particulier sur la base d'une capacité générique fournie par un langage de programmation dit « Turing-complete » qui est lui-même en mesure de représenter une machine de Turing universelle. Ce travail peut consister, entre

autres, à « adapte[r] les données aux réseaux sociotechniques qui permettent de produire les publics » (Goëta, 2016, p.197) qui en font usage, ceux-ci pouvant être des « réutilisateurs » (Ibid., p.206), c'est-à-dire des producteurs d'interfaces à destination d'utilisateurs « finaux », ou bien ces utilisateurs eux-mêmes interagissant avec les services ainsi produits.

Si la justification mise en avant par les promoteurs de l'*open data* est souvent de « servir l'utilisateur », celle-ci se traduit paradoxalement dans une revendication qui en fait abstraction, non pas en le supprimant mais en s'appuyant sur un type d'utilisateur pour qui le contenu des données importe peu face aux spécifications formelles qu'elles doivent remplir. Par exemple, « les principes de Sebastopol⁸¹ étaient guidés essentiellement par des considérations techniques qui ne prennent pas en compte le contenu des données » (Ibid., p.212). Ainsi, rien dans l'ouverture des données publiques ne permet de dire qu'il se constitue ainsi « un public au sens de Dewey, des personnes qui se mobiliseraient pour mener une enquête et résoudre un problème commun. » (Ibid., p.214) car ce qui est visé avant tout, c'est un public dont l'activité, par définition, ne s'attache pas au contenu. Ce public est celui des développeurs informatiques au sens large, qu'il s'agisse d'individus disposant de compétences en ingénierie logicielle ou d'entreprises mobilisant divers profils pour mener à bien des projets d'informatisation. Pour cela « l'État doit se contenter de fournir des données et les interfaces de programmation (API) au lieu de développer des services complets. » (Ibid., p.213).

« *Bootstrap Group* »

Cette insistance à alimenter avant tout le travail du développeur informatique n'est cependant pas spécifique à l'*open data*, et ce domaine n'en est plutôt qu'un exemple parmi d'autres. On peut également la voir à l'œuvre, notamment, dans la section « *Inventing the Virtual User* » dans le chapitre éponyme de l'ouvrage *Bootstrapping* (Bardini, 2000, pp.107-109), où sont listées les justifications de Douglas Engelbart

81 Sebastopol en Californie fut le lieu d'une rencontre en 2007 organisée par quelques grandes figures du monde numérique telles que Tim O'Reilly (éditeur), Lawrence Lessig (juriste) ou Aaron Swartz (développeur), tous militants pour l'ouverture des données. Cette rencontre a donné lieu à la rédaction de huit principes définissant une notion de « données pour un gouvernement ouvert » (Open Government Data) (cf. https://public.resource.org/8_principles.html).

lorsque ce dernier décide de prendre les développeurs comme population de test pour ses recherches sur l'intelligence augmentée. Engelbart met notamment en avant la notion de « Bootstrap Group » ; dès le départ un utilisateur de système d'information⁸² a pour prototype un travailleur/producteur, et pas n'importe quel travailleur/producteur : le développeur de systèmes d'informations numériques lui-même.

« The experimental work of deriving, testing, and integrating innovations into a growing system of augmentation means must have a specific type of human task to try to develop more effectiveness for, to give unifying focus to the research. We recommend the particular task of computer programming for this purpose – with many reasons behind the selection that should come out in the following discussion » (Engelbart, 1962, p.116)⁸³

Ainsi, l'augmentation d'intelligence – c'est-à-dire de la productivité du travail intellectuel – visée par Engelbart est fondamentalement autoréférentielle⁸⁴ puisqu'elle vise à donner à ceux qui accèdent à un système d'informations la capacité à produire encore plus d'informations et non pas à diminuer leur charge de travail⁸⁵. Cette augmentation entre donc en contradiction avec sa volonté affichée de faire du travailleur intellectuel le « pilote » d'une machine destinée à augmenter son « intelligence ». Comme l'indique Bardini, « the decisions made at this early stage in many ways

82 Système d'information au sens d'Engelbart, mais finalement aussi celui qui s'est réellement diffusé dans la pratique avec les métaphores, les interfaces, les périphériques, en un mot les modes opératoires qu'il a élaborés, mais qui ont subi par ailleurs une torsion (Robert 2013, p.76) dès lors que le mot d'ordre de convivialité prôné par Alan Kay a pris le pas sur celui d'apprentissage qui animait la démarche d'Engelbart.

83 « Le travail empirique consistant à dériver, tester et intégrer des innovations dans un système toujours plus large d'outils dédiés à l'augmentation [de l'intelligence] doit partir d'un type spécifique de tâche humaine pour essayer de renforcer son efficacité, pour donner un point de focalisation à la recherche. Nous proposons pour cela la tâche particulière de la programmation informatique – il y a de nombreuses raisons derrière ce choix qui devraient ressortir dans l'exposé qui suit »

84 cf. notamment sa justification n°9 à la suite du passage précédemment cité qui est lui-même l'introduction de la section *IV. C. WHOM TO AUGMENT FIRST* : « *Successful achievements can be utilized within the augmentation-research program itself, to improve the effectiveness of the computer programming activity involved in studying and developing augmentation systems. The capability of designing, implementing, and modifying computer programs will be very important to the rate of research progress.* »

85 Dans la notice biographique de Douglas Engelbart publiée sur le site Web de l'ACM parmi celle des récipiendaires du prix Turing et rédigée par Thierry Bardini, celui-ci note : « The result is not merely people who have less to do thanks to the machine (automation) but people who have abilities to do more with the machine (augmentation). » https://amturing.acm.org/award_winners/engelbart_5078811.cfm (consulté le 9 mai 2018)

established a dynamic that ran counter to the avowed goals of Engelbart's crusade »⁸⁶ (Bardini, 2000, p.109).

On trouve cette notion de « Bootstrap Group » comme visant d'abord les développeurs de logiciels, exprimée en d'autres termes par d'autres auteurs à la même époque. Ainsi, Licklider et Clark, après s'être lamentés des limites de l'introspection humaine dans sa capacité à saisir ses propres processus cognitifs, en viennent à proposer de mettre en œuvre des outils qui serviraient d'assistance à cette introspection par le truchement de l'observation « au ralenti » de la mécanique – jugée comparable – qui se déploie avec l'exécution d'un programme informatique : « The conclusion, therefore, is that it might be interesting to experiment with programs that display various aspects of the internal operation of the running computer » (Licklider & Clark 1962). Or la description fournie ici est celle des nombreuses variantes d'outil de débogage utilisé par les développeurs de logiciels. Ce genre de fonctionnalités (exécution pas à pas, points d'arrêt dans le code...) est intégré aujourd'hui comme outil familier dans les applications permettant de produire et de mettre au point du code logiciel⁸⁷.

Il s'agit bien avec ces outils de suspendre au sein même de la computation, le passage incessant d'une forme abstraite (la capacité générique de l'ordinateur à déployer n'importe quel calcul) à une forme concrète du calcul (l'application particulière qu'il s'agit de mettre au point), qui se déroule globalement sans égard pour le contenu propre qui lui est attaché. Cette suspension est impérative pour celui ou celle qui met au point le logiciel car son rôle est d'assurer une cohérence entre les deux. Une fois celle-ci obtenue, la boîte noire peut définitivement être scellée et faire disparaître aux yeux des usagers la dimension abstraite pourtant au cœur du dispositif, pour ne lui donner à voir que des usages concrets.

En mettant en évidence que les données brutes de l'*open data* « ne sont pas une illusion, mais une chose complexe et fragile à fabriquer » (Goëta, 2016, p.221), Goëta réinscrit ces

86 « Les décisions prises dans cette phase initiale ont posé de bien des manières une dynamique qui contrevenait aux objectifs proclamés de la croisade d'Engelbart »

87 cf. par exemple <https://www.jmdoudoux.fr/java/dejae/chap008.htm> (consulté le 18 juin 2018)

données dans un processus de « rebrutification ». Il s'agit là d'une activité permettant d'articuler l'usage concret et situé d'un côté, et les transformations destinées à se détacher de ce genre de contexte de l'autre. Si l'on saisit ce genre d'activités dans un cadre plus large où elles se connectent les unes aux autres dans une chaîne continue⁸⁸, on a affaire à un processus tautologique d'abstraction et de concrétisation successives, permis avant tout par le fait que le « matériau » numérique – aussi bien traitements que données – contient intrinsèquement ce potentiel d'abstraction à partir duquel on peut projeter de nouveaux cas d'utilisation concrète. Comme l'indique Goëta, « [l]'identification, l'extraction, la conversion, les transformations et la production de l'intelligibilité humaine et technique ne luttent pas contre la demande de données brutes [i.e. retravaillées pour être décontextualisées], mais y répondent. » (Ibid.)

88 Goëta s'interroge aussi sur « le statut des données qui n'ont pas trouvé de publics. Sont-elles encore considérées par les agents comme des données même si elles ne constituent pas un point de départ ? Le travail d'instauration pourrait alors s'estomper et ces données pourraient ne plus être considérées comme telles. Si des réseaux sociotechniques ne se tissent pas autour des données, les agents pourraient ne plus consentir à l'investissement considérable qui permet de façonner des données ouvertes, d'autant plus que ce travail est largement invisibilisé et n'entre pas dans les missions des administrations. » (Goëta, 2016, p.223). On pourrait voir là un statut comparable à celui des marchandises qui ne trouvent pas d'acheteur – échec du « saut périlleux » de la marchandise (Marx 2016) – mais qui ont malgré tout été produites avec tous les efforts que cela représente. Comme pour la production de marchandises, celle des données trouve donc son impulsion non pas dans un besoin spécifique à remplir, mais dans une opportunité de mobiliser une capacité de transformation/production abstraite.

4. Conclusion : Des usages en général à un usage particulier

Partant d'une analyse épistémologique de la machine de Turing universelle, nous avons pu mettre en évidence le caractère bifide du concept. Plus spécifiquement, les deux faces dont est composée l'invention de Turing présentent respectivement un caractère concret, attaché à un contenu propre, et un caractère abstrait qui est indifférent à ce contenu tout en ne pouvant en être détaché. Ces deux faces sont indissociables car c'est leur interaction au sein d'un même dispositif qui assure les propriétés dont Turing avait besoin pour définir le domaine du calculable et établir certains théorèmes qui en relèvent. L'ordinateur, machine qui sous-tend tout le développement du numérique, hérite de ce caractère bifide et de l'effet dynamique qui en résulte. En effet, nous avons pu montrer que, si sa phase initiale de mise au point s'est déroulée en passant sous silence cet héritage, la mise en œuvre pratique – qui correspond à une extension des usages par le truchement de la programmation logicielle tout autant qu'à la recherche de performance calculatoire brute – s'est accompagnée d'un retour du refoulé pour mieux en assurer les fondements rationnels. Ainsi, le lien rendu explicite entre la théorie *algorithmique* de l'information et la pratique de l'ingénierie logicielle a permis de démultiplier la *productivité* de cette lignée technique inédite que constituent les ordinateurs. Il nous paraît, dès lors, tout autant fructueux pour les sciences de l'information et de la communication de se pencher sur cette variété *algorithmique* des théories de l'information afin de mieux cerner ce qui est devenu un de ses objets de prédilection du fait de son emprise nouvelle sur ses objets classiques : le numérique. Il faut noter que cette attention à la théorie algorithmique de l'information est distincte des démarches consistant à se pencher sur les algorithmes en eux-mêmes, y compris dans la perspective d'une classification plus ou moins systématique (Cardon 2013, 2015 ; Cardon, Cointet et Mazières 2018). Ce n'est pas sur les propriétés de telle ou telle classe d'algorithmes que nous cherchons à établir notre interprétation du numérique – et notamment son lien avec la dynamique du capital – mais sur une propriété plus fondamentale qui subsume tous les algorithmes dans une totalité abstraite dès lors qu'ils sont pris en charge par des ordinateurs.

En nous penchant sur le cas de l'Open Data tel qu'il a été décrit par Samuel Goëta, nous avons pu détailler la « mécanique » qui s'enclenche sur la base de la dialectique entre concret et abstrait, « mécanique » qui s'inscrit alors très clairement dans une dimension socio-

technique. Cette « mécanique » devient en effet plus palpable dès lors que l'on ouvre quelques boîtes noires concernant les projets d'informatisation, en prêtant attention aussi bien aux acteurs sociaux qu'à leur outillage technique. Comme nous l'avons déjà évoqué dans l'encadré sur la notion de « Bootstrap Group », les pratiques du développement logiciel sont souvent en première ligne sur le front de l'informatisation, non pas seulement parce qu'elles sont requises de manière évidente, mais aussi parce qu'elles sont elles-mêmes le terrain privilégié de la dynamique dialectique qui anime, selon nous, le mouvement d'informatisation de l'ensemble des activités sociales. Par ailleurs, aborder cette dynamique sur le terrain du développement logiciel et des compétences professionnelles sur lesquelles il repose, permet de porter un premier regard sur le lien qu'il peut exister entre le numérique et le travail. Afin de progresser vers un rapprochement entre ces deux facteurs de la dynamique globale du capital, le chapitre suivant va donc traiter des figures de l'informaticien au travail.

Chapitre 3 : Les figures de l'informaticien au travail

1. Informatiseurs, informatisés, informaticiens

Ce que Goëta nous permet de saisir au travers de ses descriptions issues du terrain de l'*open data* – à savoir la connexion tous azimuts de multiples domaines spécifiques par l'intermédiaire du processus de « rebrutification » des données, tiré lui-même par la perspective de traitements toujours plus variés – présente des similitudes avec les processus selon lesquels sont « identifiés, extraits, convertis, transformés et produits » les différentes composantes des systèmes d'informations (SI) d'entreprises. En effet, dans un article abordant ces systèmes à l'aune des sciences de l'information et de la communication, Dominique Cotte (2009) note que :

« Bien au-delà de la sphère des biens et des actions comptabilisables, les individus au travail, quel que soit leur niveau sur l'échelle hiérarchique, communiquent, échangent, parlent, écrivent, dessinent, croient, doutent, proposent... Or, *cette intense activité de médiatisation est de plus en plus absorbée par des outils informatiques divers* qui forment, ensemble, l'architecture du SI, même si celui-ci n'est pas unifié. » (Cotte, 2009, p.43, nous soulignons)

Cotte en appelle à dépasser « une vision très mécanique, quantitative et comptable de l'information » (Ibid.) notamment en prenant en compte « la chair vivante du processus de travail et notamment l'incorporation des agents, lesquels fonctionnent avec ce que Joëlle Le Marec a appelé des “composites”. » (Ibid, note 11). Bien évidemment, parmi les agents impliqués dans ces composites, les informaticiens occupent une place récurrente puisqu'ils se retrouvent sur tous les fronts de la transformation des entreprises (et des administrations publiques) – et notamment de leurs organisations du travail dès lors qu'elles sont médiatisées par les systèmes d'information numériques – à tel point que Colette Hoffsaes, en cherchant à cerner l'identité professionnelle des informaticiens, les qualifiait de « spécialistes en métamorphose » (Hoffsaes, 1990, p.162). Elle soulignait déjà, par ailleurs, ce moment délicat que constitue le passage de témoin entre les spécialistes d'un domaine quelconque en cours d'informatisation et l'informaticien en charge de sa réalisation :

« En fait, la formalisation des données et des procédures imposée par l'automatisation est une véritable traduction qui implique autant l'utilisateur, qui connaît le problème à traiter et les résultats à obtenir, que l'informaticien, qui sait ce que peut faire un ordinateur [...] » (Hoffsaes, 1990, p.163)

À proprement parler – et le travail de Goëta le montre bien – l'interaction directe entre l'informaticien « qui sait ce que peut faire un ordinateur » et l'informatisé « qui connaît le problème à traiter et les résultats à obtenir » est devenue l'exception plutôt que la règle. La traduction évoquée par Hoffsaes en 1990 est aujourd'hui de plus en plus le fait d'un ou plusieurs intermédiaires que l'on peut qualifier de manière générique d'*informatiseurs*⁸⁹. À ce titre, les méthodes d'ingénierie logicielle qui se sont imposées, particulièrement dans les deux dernières décennies, ont opéré un basculement quant aux attentes en terme de compétences communicationnelles vis à vis de l'informaticien, à qui on demande d'abord et avant tout de maîtriser un langage de programmation et les outils connexes pour le mettre en œuvre avec le maximum de productivité, y compris lorsqu'une grande part de ses tâches ne consiste pas à coder *stricto sensu*. Pour un architecte logiciel⁹⁰, par exemple, ce qui demeure primordial, c'est qu'il sache, en effet, « ce que peut faire un ordinateur ». La part de communication avec l'informatisé, c'est-à-dire l'ensemble des interactions dans le cadre d'un projet d'informatisation qui participent à la mise en adéquation du terrain informatisé et du système d'information produit, se concentre plutôt dans la figure de l'informatiseur. Si Hoffsaes voyait encore, en 1990, l'informaticien en potentiel « homme du dialogue » devant faire preuve d'une sensibilité « pour sentir les éléments qui ne relèvent pas d'un simple choix technique », elle se faisait alors l'écho d'une demande d'ouverture formulée par les potentiels employeurs de l'époque comme conditions de possibilité pour des carrières se prolongeant dans des fonctions managériales, c'est-à-dire des trajectoires professionnelles passant du rôle d'informaticien à celui d'informatiseur. Cette vague exigence de polyvalence a donc plus à

89 Pierre Mounier-Kuhn emploie le terme à l'occasion d'une intervention en 2010 dans un séminaire sur l'histoire du ministère des finances qui se tient au sein de École Pratique des Hautes Études. Il pointe là le rôle moteur et prescripteur de cette administration publique dans l'informatisation des années 1970 en France. Nous réemployons le terme dans un autre contexte, tout en voulant conserver la notion d'orchestration qu'il sous-tend. Par ailleurs, le terme est employé dans le sens que nous reprenons lors d'une communication orale de Denis Durepaire en février 2011 à l'occasion d'un séminaire « critique de la gestion » au Centre de recherches sociologiques et politiques de Paris.

90 cf. <http://www.rncp.cncp.gouv.fr/grand-public/visualisationFiche?format=fr&fiche=6601> (consulté le 11 mars 2019). Bien qu'il ne puisse se prévaloir du titre et que son domaine soit bien différent, un architecte logiciel peut être comparé à un architecte en bâtiment : il trace des plans et il surveille le chantier.

voir avec l'optimisation de la gestion des ressources humaines qu'avec les qualités intrinsèques requises pour l'exercice des activités respectives d'informaticien et d'informatiseur.

Joel Spolsky a formulé en 2006⁹¹ d'autres exigences plus en phase avec les pratiques constatées de l'ingénierie logicielle pour assurer des conditions qu'il considère comme optimales quant au travail de l'informaticien, au sens large de producteur de code logiciel⁹² : « *Management, in a software company, is primarily responsible for creating abstractions for programmers* ». Ces exigences s'imposaient déjà largement à ce secteur d'activité lorsque Spolsky⁹³ les a formulées. Elles n'ont fait depuis que se renforcer avec la généralisation des méthodes dites « agiles » ayant fait l'objet d'un manifeste commun en 2001⁹⁴. Ces méthodes consistent principalement à isoler l'informaticien de toute considération « parasite » afin qu'il puisse se focaliser sur sa tâche, à savoir la production de code selon certains standards de qualité formelle pouvant faire l'objet d'une évaluation procédurale donc potentiellement automatisable. En définissant le rôle des managers de l'informatique comme relevant de la « mise sous cloche » des développeurs de logiciel, Spolsky ne faisait ainsi que transposer dans l'organisation du travail un principe d'architecture logicielle que l'on nomme la couche d'abstraction⁹⁵, c'est-à-dire le découpage des fonctions remplies par les composants logiciels en fonctions élémentaires, leur répartition selon des ensembles cohérents et hiérarchisés et leur accès via des interfaces programmatiques (API⁹⁶).

Cette organisation du travail se traduit concrètement par un certain nombre de pratiques et d'outils informatiques dédiés à la production même des composants d'un système

91 cf. <https://www.joelonsoftware.com/2006/04/11/the-development-abstraction-layer-2/> consulté le 10 mai 2018. (Merci à Laurent de Soras pour avoir soumis cette référence à notre attention)

92 Il peut s'agir de code logiciel correspondant aux applications spécifiques au domaine qui fait l'objet d'une informatisation (ce qu'on appelle le « code métier » en français ou bien « business logic » en anglais). Il peut aussi s'agir de code prenant en charge des fonctions génériques qui ont été définies par la conception d'une architecture globale, comme par exemple les protocoles d'échange avec des composants tiers. Il peut enfin s'agir de code requis pour la gestion et la maintenance du système produit. Ces deux derniers cas correspondent à du code ayant un caractère moins spécifique et plus facilement transposable à d'autres contextes..

93 Il n'est peut-être pas inutile d'ajouter que Joel Spolsky, après avoir été chef de projet chez Microsoft notamment pour le produit Excel, est aujourd'hui le président et co-fondateur du site Stack Overflow (<https://stackoverflow.com/>) , un site dédié aux échanges de type question/réponse entre développeurs logiciel.

94 <http://agilemanifesto.org/iso/fr/manifesto.html> consulté le 13 mai 2018.

95 Ce principe d'architecture logicielle est par exemple à l'œuvre dans la conception des protocoles Internet (TCP/IP), de la plupart des applications du Web (avec un découpage a minima en trois couches : accès aux données, traitements, interfaces homme/machine) ou bien encore de l'interaction entre le système d'exploitation et les composants matériels d'un ordinateur (HAL : Hardware Abstraction Layer).

96 *Application Programming Interface*

d'information numérique. Autrement dit, la production d'un tel système à l'initiative d'un commanditaire – appelé maître d'ouvrage – et exécuté par un prestataire – appelé maître d'œuvre – requiert la mise en place d'un système d'information numérique au travers duquel est pilotée l'activité des informaticiens sous la supervision des informatiseurs⁹⁷. L'outil de production d'un système d'information numérique est lui même un système d'information numérique qui cadre des pratiques professionnelles au travers d'outils informatisés. Parmi ces pratiques et ces outils couramment mis en œuvre dans ces buts d'orchestration et de supervision aujourd'hui, on peut citer l'emploi des *plateformes d'intégration continue*. Le rôle de ces plateformes est d'exécuter automatiquement des procédures permettant d'assembler un logiciel à partir des contributions fragmentaires des multiples producteurs de code logiciel, de tester la conformité aux fonctionnalités attendues, ainsi que de calculer des indicateurs concernant la qualité du code produit. Puisque l'exécution de ces procédures est automatisée, elles peuvent être déroulées à une fréquence élevée, jusqu'à donner une image en continu de cette production et ainsi la piloter plus finement en raccourcissant les délais de la rétroaction. On peut notamment communiquer quotidiennement à chaque producteur de code les anomalies détectées et les actions préconisées pour les corriger. Il incombe alors de moins en moins à l'informaticien lui-même de définir les conditions de son activité qui émergent plutôt des nécessités résultant de l'emploi rationnel de l'outil que les managers se chargent de formuler en tant qu'informatiseur. Le travail de l'informaticien est ainsi certainement le premier terrain – logiquement et chronologiquement – sur lequel se déploie la logique de « gestionnarisation⁹⁸ » (Robert 2004, 2011, 2014a, 2014b) sous-tendue par les projets d'informatisation, et où celle-ci est redoublée par le fait qu'on y motorise la production même du moteur qui anime aujourd'hui les technologies intellectuelles (Bell 1976, Goody 1979, Levy 1990, Robert 2000a).

Ceci est bien illustré par la conclusion formulée dans un article⁹⁹ décrivant un cas d'usage dans le cadre d'une formation universitaire à l'ingénierie logicielle :

97 Notons deux choses concernant la répartition des rôles entre maîtrise d'ouvrage (MOA) et maîtrise d'œuvre (MOE). Tout d'abord celle-ci peut se faire entre deux entités distinctes, une entreprise commanditaire et une autre prestataire qui entretiennent une relation contractuelle ou bien entre des services d'une même entreprise lorsque cette dernière maintient des compétences informatiques en son sein. D'autre part, les informatiseurs se répartissent entre la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre selon des perspectives différentes sur le pilotage du projet. Dans le premier cas, il s'agit de l'adéquation avec la visée stratégique qui sous-tend le projet d'informatisation, dans le deuxième cas, il s'agit de l'adéquation avec les possibilités techniques de réalisation du projet.

98 Nous retiendrons pour cette notion la définition qui est énoncée dans (Robert 2011) : « la redéfinition de toute question de société comme un problème de gestion et la mise en œuvre d'un mode gestionnaire de résolution de problème par l'usage des TIC. »

« This study is a part of a course at the Faculty of Engineering, Lund University where students in groups of eight to ten develop a project in an agile manner [...]. We, the authors are acting as coaches to these team of students. We will then try to coach the team of students to practice CI [Continuous Integration] with the support of Jenkins¹⁰⁰. (Hembrink & Stenberg, 2013, p.2)

[...]

Continuous integration with Jenkins is highly suitable for this course as the result showed that it improved test coverage and kept the number of failed builds down during the whole development cycle. It does however require the coaches to actively support the team in maintaining the tools, for example we decided early to develop a build script for the team at the start, something that could have been done by the team, but we think giving them *a jump start gave the team more focus on using the tools rather than spending time configuring the tools by themselves*. » (Ibid., p.8, nous soulignons)

Puisque les plateformes d'intégration continue orchestrent des composants tels que la gestion de versions (conservant la chronologie de toutes les modifications apportées au code logiciel), la gestion de configuration logicielle (permettant d'associer les modifications du code aux exigences du commanditaire) ou les outils de travail collaboratif (la messagerie, par exemple, mais aussi de plus en plus souvent des applications plus hybrides telles que Slack¹⁰¹), on peut à juste titre considérer qu'elles *font système*, de sorte que ce système d'information dédié à la production de logiciel est « à la fois le reflet et un des éléments qui fonde le système de travail tout entier » (Cotte, 2009). Cet outillage de l'organisation du travail producteur de logiciels par des systèmes info-communicationnels en assure le cadencement, dont le rythme se cale sur celui des constructions automatiques ordonnancées par l'intégration continue. De plus, il « durcit » en quelque sorte la tripartition entre les rôles

99 Disponible en ligne à l'adresse http://fileadmin.cs.lth.se/cs/Personal/Lars_Bendix/Teaching/Lund/Coaching-course/2013-14/Reports/2013/HembrinkStenberg.pdf (consulté le 15 mai 2018)

100 Jenkins (cf. <https://jenkins.io/> consulté le 15 mai 2018) est un des outils d'intégration continue les plus populaires parmi les acteurs de l'ingénierie logicielle.

101 Slack est un outil de communication qui combine les fonctions d'une messagerie asynchrone (à l'instar du mail « classique ») et celle d'une messagerie instantanée (à l'instar des canaux IRC). À cela s'ajoute des capacités d'intégration avec d'autres outils employés dans le développement logiciel, ainsi que la possibilité d'automatiser la réponse aux requêtes des utilisateurs, y compris sur la base d'algorithmes d'apprentissage. D'autres produits en sont les concurrents directs (Workplace by Facebook, Microsoft Teams, Mattermost, Discord, etc.)

d'informaticien, d'informatiseur et d'informatisé, puisque ceux-ci sont formalisés par des habilitations distinctes définies dans le cadre d'un modèle de flux de travaux (*workflow*). Cette tripartition prend ainsi un caractère objectivé, et est rendue explicite par ce contexte particulier où le système d'information est dédié lui-même à la production de logiciel.

Informaticien, informatisé et informatiseur sont donc trois figures qui vont assumer trois rôles bien distincts dans le processus d'informatisation. Dans certaines circonstances, une même personne peut assumer plusieurs rôles, mais la manière dont on fabrique des logiciels l'incitera généralement à les distinguer dans le cours de sa propre activité.

- L'informatiseur fait un travail de mise en forme des activités humaines. C'est-à-dire qu'il produit une description formelle de ces activités qui vont en retour constituer le cadre dans lequel ces activités pourront et devront être accomplies. Il construit un modèle d'où sont évacuées toute ambiguïté et toute incohérence. Cela passe généralement par des « traductions » successives partant de ce que l'informatisé exprime ou de ce que les outils imposent pour aller vers le modèle qui pourra servir de base au travail de l'informaticien. Il s'agit de faire en sorte que le « locuteur » de l'activité saisie ne soit plus la personne qui s'active mais le logiciel qui représentera cette activité. Il faut donc passer d'un discours, toujours spécifique, dépendant d'un contexte, riche de sens, susceptible d'interprétation, à un langage générique, univoque et automatisable. Les étapes successives de cette « traduction » peuvent être prises en charge par différentes institutions qui se passent éventuellement le relais, depuis la recherche scientifique au management d'entreprises en passant par les organisations professionnelles ou les administrations publiques.
- L'informatisé participe de façon ambivalente à la saisie de son propre monde en répondant aux sollicitations de l'informatiseur. Il peut agir ainsi par désir de reconnaissance de sa propre activité, en se faisant plein d'illusions sur l'intérêt soudain que l'on prête à ses propos, ou bien plus ou moins contraint par une obligation réglementaire, une subordination dans le cadre d'un contrat de travail, etc. Dans le premier cas, la participation de l'informatisé s'obtient d'autant mieux que les projets d'informatisation se déploient dans un contexte global d'*impensé informatique*, tel que Pascal Robert l'a mis en évidence et que nous aborderons plus en détail dans le chapitre suivant. Dans le second cas, ce sont les nécessités de l'économie, et donc de

la forme synthèse sociale fondée sur le travail, qui s'imposent objectivement, comme nous l'exposerons dans le dernier chapitre de cette première partie.

- L'informaticien participe à la fabrication de la machine particulière que concrétise chaque logiciel en ignorant totalement les mondes qui peuvent être bouleversés par leurs usages. En effet, son interlocuteur direct et unique est l'informatiseur. Celui-ci lui fournit les éléments requis pour accomplir sa tâche sous la forme de *spécifications*¹⁰². L'informaticien n'en conteste le contenu que si celui-ci n'est pas suffisamment cohérent pour mener à bien la tâche qui lui incombe. C'est bien souvent d'ailleurs une position revendiquée par l'informaticien qui se voit comme le virtuose d'une technique à la fois spécifique qu'est l'ingénierie logicielle, et très générique puisque la pratique de l'informaticien se déplace de projet en projet en changeant de contexte sans changer de contenu. (Durepaire 2019)

2. Les représentations de l'informaticien

Dans la section précédente, Nous avons dégagé trois figures idéal-typiques du côté des acteurs sociaux impliqués dans les projets d'informatisation : informaticien, informatiseur et informatisé. Parmi ces trois profils, l'informaticien se distingue par le fait qu'il cultive simultanément deux formes d'engagement vis-à-vis des outils numériques. Au sein même de son activité de production logicielle, il est à la fois l'utilisateur et le concepteur/réalisateur des produits de cette activité. En tant qu'utilisateur, il est confronté à des outils destinés à équiper une activité particulière au contenu propre. En tant que concepteur/réalisateur, il doit mettre en œuvre des compétences qui s'avèrent indifférentes à la destination des systèmes d'information qu'il contribue à édifier.

Le modèle conceptuel de l'informatique que nous proposons, et pour lequel nous avons identifié un noyau dans la forme bifide du dispositif sociotechnique qui en est le fondement,

¹⁰² Il peut s'agir d'un ensemble de documents au contenu très formel, une sorte de cahier des charges très détaillé dont l'objectif est de ne prêter à aucune interprétation. Avec l'avènement des méthodes agiles, la formalisation de ces spécifications tend à atteindre le niveau du code logiciel lui-même sous la forme de tests unitaires. Ces tests automatisables permettent de vérifier automatiquement, d'une itération à l'autre, l'adéquation du code produit avec les résultats attendus ainsi que l'absence de régression entre ces itérations.

présente donc une analogie avec l'activité de l'informaticien et cela ne peut être ni fortuit ni sans conséquence sur la façon dont cette activité est perçue par ailleurs. Nous allons donc aborder maintenant la question de l'articulation possible entre ce noyau bifide et la figure particulière de l'informaticien, et notamment ses différentes représentations contradictoires. Les différentes facettes de l'imagerie populaire attachée à l'informaticien sont en effet distribuées – y compris par les informaticiens eux-mêmes – selon deux grands thèmes : le fantasme du technicien virtuose¹⁰³ qui maîtrise les arcanes de l'outil de contrôle absolu¹⁰⁴ et l'individu socialement isolé dans son repli sur des interactions machiniques. On a donc là une double image paradoxale, qui fait de l'informaticien la source simultanée de deux personnages contradictoires, l'un tout puissant, l'autre dérisoire.

C'est au travers d'un autre paradoxe, celui de la dé-féminisation de l'informatique comme activité professionnelle, que les sciences de l'information et de la communication ont été confrontées à la constitution des stéréotypes de l'informaticien. Cependant, c'est d'abord dans le domaine de l'éducation que le phénomène a été identifié. Alors que l'ensemble des filières de formations techniques supérieures connaissent une augmentation régulière de la proportion de femmes depuis au moins les années 1970, l'informatique est confrontée à une baisse de cette proportion depuis le tournant des années 1980. Malgré une augmentation globale du nombre de diplômés au niveau ingénieur dans ce secteur, le nombre de femmes obtenant ce genre de diplômes a ainsi stagné (Collet 2011). L'histoire de l'informatique, de son côté, montre pourtant que ce secteur professionnel était fortement féminisé jusqu'aux années 1980, bien que les femmes y aient été maintenues dans une certaine invisibilité ou des postes subalternes (Schafer 2017). Divers facteurs ont été avancés pour expliquer ce renversement, et notamment quelques uns dans le domaine des représentations de l'informaticien, mais nous ne discuterons pas ici de leurs validités ou importances respectives quant à la prégnance masculine actuelle dans les métiers de l'informatique¹⁰⁵. Il reste que les

103 On reconnaît là la figure du *hacker* telle qu'elle a été développée dans des fictions littéraires ou cinématographiques comme *Matrix*, *Millénium* ou *Wargames*.

104 Cette image s'est puissamment installée à l'issue de la Seconde Guerre mondiale, à cette époque où la première cybernétique voyait dans l'ordinateur à la fois son enfant prodige et son outil universel. Ainsi par exemple en est-il de la « machine à gouverner » promue par Pierre Dubarle dans un article dans *Le Monde* du 28 décembre 1948. Les avatars contemporains de cette vision sont passés de l'utopie à la dystopie, avec notamment les inquiétudes soulevées par les révélations d'Edward Snowden au sujet des pratiques de la NSA.

105 Cet aspect pourrait être développé à partir de la théorie de la valeur-dissociation proposée par Roswitha Scholz (2000, 2004, 2007) pour expliquer comment opère le grand partage entre masculin et féminin dans le contexte des sociétés patriarcales productrices de marchandises, c'est-à-dire des sociétés capitalistes. Nous aurons l'occasion de mobiliser ce cadre théorique selon d'autres axes, dans le dernier chapitre de cette partie,

enquêtes menées à l'occasion des recherches sur ce paradoxe ont bien montré que « l'image de l'informaticien reste figée autour d'une caricature » où ce dernier est vu à la fois comme « brillant et asocial », y compris lorsqu'il s'agit – bien que les représentations soient plus rares, mais de plus en plus fréquentes – d'une informaticienne.

Quand on analyse qualitativement cette fois les réponses des étudiant-e-s aux questions ouvertes, nous obtenons la représentation suivante : l'informaticien reste assis derrière un ordinateur toute la journée, à faire des choses répétitives et monotones sur des machines sans voir personne. (Collet 2011)

[...] Dans les deux cas [respectivement les films *Wargames* et *Die Hard 4*], à plus de 20 ans d'intervalle, alors que l'informatique a fortement changé, que l'ordinateur est devenu un objet courant, la même figure du hacker est présentée : un jeune homme brillant, un peu hors-la-loi, passionné de jeux et de science-fiction, et qui a le pouvoir de mettre « la civilisation » en danger en toute inconscience (Ibid.)

Que ces deux stéréotypes puissent être mobilisés successivement pour expliquer la réticence des femmes à s'engager dans des carrières informatiques ou au contraire pour les inciter à dépasser cette réticence en leur montrant des opportunités de se saisir d'un pouvoir qui leur est dénié, cela ne gomme pas le fait que les deux représentations contradictoires coexistent dans l'imaginaire relatif à l'informatique. Il s'avère même parfois que les deux aspects sont réunis dans un seul personnage de fiction, ce qui offre un terrain privilégié pour enquêter sur cette coexistence paradoxale.

Parmi ces représentations contradictoires, il est fréquent de trouver dans les bureaux où travaillent les informaticiens eux-mêmes, des *comic strips* de Scott Adams affichés dans un geste d'autodérision. Il s'agit de bandes dessinées qui paraissent en syndication dans différentes publications périodiques, principalement des journaux locaux ou professionnels. Adams y décrit la vie de quelques employés de bureau typiques, le principal d'entre eux étant un informaticien nommé Dilbert, personnage inventé par le dessinateur américain en 1989. Il figure comme protagoniste central de la série éponyme, parmi tout un ensemble

pour adresser notre problématique de l'adéquation des techniques numériques à la dynamique du capital.

d'interlocuteurs qui représentent différentes fonctions du monde de l'entreprise et plus particulièrement celles que l'on rattache au secteur des services. Si cet univers se décline sur différents supports dérivés (livres, télévision...) c'est principalement sous la forme de *comic strips* – qui est une forme humoristique de bande dessinée – que sont exposées les absurdités de la vie de bureau.

Comme le notait déjà Emory Bogardus (1945, p.147), un des pionniers de la sociologie aux États-Unis, « the cartoon can indict human weakness and evil more incisively than columns of editorials, months of sermons, or reams of social reform literature »¹⁰⁶. Bogardus voyait cette capacité inscrite dans le fait que, par son art de la caricature, le dessinateur peut véhiculer la signification profonde des tendances sociales. Dans le cas de la bande dessinée, d'autres dimensions sont cependant à l'œuvre, au-delà de la seule caricature. Pascal Robert a notamment montré que la bande dessinée, du fait des différentes subversions (cognitive, sémiotique et médiatique) dont elle joue, peut « porter l'équivalent d'un concept théorique dans sa mise en scène sans avoir à le manifester comme concept théorique » (Robert 2018, p.16). La démonstration de Pascal Robert est donc une invitation à « restituer – par l'analyse – son intelligence enfouie » (Ibid.). À ce titre, si d'un point de vue académique Dilbert a été peu mobilisé dans les sciences humaines et sociales – et uniquement, à notre connaissance, dans les sciences du management de la sphère anglo-saxonne avec notamment (Doherty, 2010) – nous proposons d'introduire son étude dans les sciences de l'information et de la communication comme exemple de cette capacité de la bande dessinée à être une « modélisation expressive » (Ibid., p.275).

Le *comic strip* est une forme basée sur quelques cases – généralement trois ou quatre, jamais plus de huit pour les gags les plus développés en ce qui concerne Dilbert – et nécessite donc une économie de moyens dans la narration que Scott Adams sait mettre en œuvre de manière très efficace. D'abord graphiquement avec des personnages identifiables en quelques traits nets, des décors limités le plus souvent à quelques accessoires (un couloir, une porte, une cloison, une table de réunion ou de cantine, des périphériques d'ordinateur...). Mais surtout, Adams s'appuie sur un humour elliptique qui s'adresse à un public initié. Le ressort comique se déploie en quelques répliques au contenu assez dense en terme de références. Ces

106 « Le dessin humoristique peut dénoncer la défaillance humaine et le mal de façon plus incisive que des articles éditoriaux, des mois de sermons ou des tonnes de littérature sur la justice sociale »

références se distribuent selon deux dimensions orthogonales qui se rencontrent justement dans le personnage de Dilbert : la vie de bureau d'une part, et l'informatisation d'autre part.

Dilbert est tout d'abord un employé de bureau et, à travers ses interactions, c'est le monde de l'entreprise et du travail contemporains qui est évoqué. Ainsi, Dilbert est confronté à des collègues selon différentes positions relatives, que ce soit sur un plan hiérarchique, organisationnel ou fonctionnel, dans des situations typiques de la journée de travail tertiarié. À cela s'ajoutent en contrepoint des personnages plus décalés dont le rôle est d'exposer des éléments généralement implicites de ces interactions et dont ils vont rendre compte de façon explicite. C'est le cas par exemple de Dogbert, qui est à la fois le chien de compagnie de Dilbert, mais aussi le consultant externe auquel l'entreprise fait appel pour améliorer son fonctionnement. Cette position, déjà pour le moins paradoxale où se mélangent attributs de la soumission et de la domination, est redoublée par le fait que Dogbert est aussi présenté comme un mégalomane qui projette de prendre de contrôle du monde entier, tout en exerçant souvent des activités triviales. Dogbert exprime ainsi le point de vue de la gestion d'entreprise envisagée comme activité séparée et sans rapport a priori avec un secteur d'activité particulier, tel qu'il est par exemple exposé dans les manuels ou enseigné dans les écoles de management.

Ce qui fait la spécificité de Dilbert dans cet univers où s'entrecroisent divers points de vue sur le monde du travail, c'est d'être par ailleurs un informaticien, c'est-à-dire un technicien de haut niveau, ingénieur diplômé du M.I.T. (*Massachusetts Institute of Technology*). Exerçant son métier dans une société de haute technologie dont le nom et l'activité exacts ne sont jamais cités, mais dont les produits nécessitent manifestement la mise en œuvre systématique de l'informatique, il fait partie de ceux qui maîtrisent l'objet technique et en connaissent aussi bien les capacités que les limitations. À ce titre, il semble parfois faire preuve de bon sens, en comparaison de ses collègues du marketing ou de son chef incompétent, en tentant de faire des objections à leurs demandes irréalistes. Ses explications ne semblent cependant pas avoir de portée car c'est le plus souvent par des arguments d'autorité ou des raisonnements absurdes qu'il obtient de réviser ces demandes, ou tout au moins de s'en défaire. Au final, il n'y a qu'auprès de ses collègues informaticiens que ses arguments sont entendus, cela ne conduisant qu'à des discussions en vase-clos qui alimentent avant tout leur cynisme mais ne les mènent pas sur la voie de la prise de responsabilité. On retrouve là sans équivoque le phénomène d'*impensé* (Robert 2012) concernant l'informatique.

En quelque sorte, Dilbert se laisse traverser par une injonction paradoxale : il doit à la fois manifester le haut niveau de compétence que l'on attend de sa fonction et, simultanément, se résigner à ne pas pouvoir l'orienter vers des buts rationnels. Dans sa thèse sur les réseaux sociaux d'entreprises – déclinaison du réseau social numérique de type Facebook, mais déployé en interne par les entreprises – Hélène Jacquenet (2018, chapitre 5) montre justement¹⁰⁷ que la mise en œuvre de dispositifs info-communicationnels numériques provoquent des « paradoxes pragmatiques ». Ce genre de paradoxes est caractérisé par trois conditions : « une forte relation complémentaire entre les interactants¹⁰⁸¹⁰⁹ », une injonction paradoxale constituée ici par la « nécessité de désobéir pour obéir » et « l'impossibilité de métacommuniquer sur celle-ci du fait de cette relation complémentaire (sous peine d'insubordination) ». Gaulejac et Hanique (2015) évoquent différents mécanismes de dégagement pour sortir de l'impasse que représente un paradoxe pragmatique, parmi lesquels figurent les différentes formes d'humour qui permettent « de faire un pas de côté ».

C'est manifestement la voie empruntée par le créateur de Dilbert, Scott Adams, qui a longtemps travaillé dans le secteur des télécommunications avant de résolument choisir une carrière de dessinateur (Adams, 1997). Il y a exercé différentes fonctions d'encadrement, mais a aussi contribué à la production de logiciels. Ce parcours initial a évidemment servi à alimenter les représentations satiriques qu'il fait de ce milieu. Il a aussi continué à recevoir de nombreux témoignages bien après être devenu dessinateur à plein temps, en suscitant des échanges avec ses lecteurs. Son adresse de messagerie électronique est en effet systématiquement inscrite dans l'espace entre deux cases. Par une sorte d'effet miroir, les travailleurs du secteur tertiaire se reconnaissent dans les situations croquées par Adams, et en retour, lui fournissent un matériau brut lui permettant de se faire l'écho des modes managériales et de leurs rapports aux innovations technologiques, particulièrement dans le secteur de l'informatique. On voit là une des possibles subversions évoquées par Pascal Robert, dans le fait que la bande dessinée est « un dispositif spécifique qui est à la fois

107 Dans le prolongement des analyses de Gaulejac et Hanique (2015),

108 Les interactants sont aussi bien les personnes en relation que les dispositifs techniques qui médiatisent ces relations. Dans le cas, du réseau social d'entreprise, Jacquenet (2018, p.201) postule que ce dispositif se place en positions « haute » alors que les salariés se retrouvent en position « basse », établissant ainsi une relation effectivement complémentaire.

109 La co-présence des interactants n'est pas requise pour que la relation s'établisse, car ces derniers peuvent l'intérioriser comme le rappelle Jacquenet (2018, p.198) en reprenant un point souligné par Barel (2008). Cette intériorisation de la part des salariés en général, et des spécialistes de l'informatique en particulier, participe sans aucun doute à la constitution d'un impensé de l'informatique (Robert 2012). Cette non nécessité de la co-présence peut aussi être interprétée sous l'angle du fétichisme du numérique, comme nous allons le développer dans la suite du chapitre.

suffisamment transparent pour se faire oublier sans être neutre pour autant. [...] suffisamment lourd pour peser, suffisamment léger pour s'effacer » (Robert 2018, p.276).

En vingt-cinq ans, Adams a réalisé plusieurs milliers de strips qui ont illustré de nombreux thèmes liés à la vie de bureau et au travail d'informaticien. Pour illustrer plus avant notre propos, nous en avons sélectionné quatre (Adams 1995). Ils ont été publiés successivement du 3 au 6 juillet 1995 à raison d'un *strip* par jour. L'ensemble constitue une sorte de pièce en quatre actes qui forment un arc narratif continu. Ils illustrent différents aspects des interactions entre informaticien, informatiseur et informatisé, l'informaticien y endossant le rôle d'un intercesseur maladroit entre une machine mystérieuse et un monde bouleversé.

Cinq personnages apparaissent tour à tour et interagissent en échangeant leurs points de vue sur un événement improbable déclenché par Dilbert. En plus de Dogbert évoqué précédemment, trois autres personnages sont aussi impliqués. Wally (Richard, en français) est un informaticien plus âgé que Dilbert qui a perdu toute motivation pour fournir une quelconque contribution à son entreprise, considérant avoir plus à gagner en faisant profil bas. Il est cependant parfois suggéré que ses compétences seraient plus élevées que celles de Dilbert. Alice est une informaticienne qui déploie au contraire beaucoup d'énergie pour être productive – et y parvient. Ses efforts restent vains en terme de reconnaissance, aussi peut-elle avoir parfois des accès de violence vis-à-vis de ceux qui dénigrent les compétences des femmes en général et les siennes en particulier. Enfin, Stan est un collègue du service marketing. Il apparaît comme extrêmement crédule, ce trait de caractère étant, pour les autres, directement associé à sa fonction même dans l'entreprise qui sous-tend un certain rapport au monde fondé sur la distorsion de la réalité.



Fig. 1 : *strip* du 5 juillet 1995

Au début du premier *strip*, Stan, triomphant, vient narguer Dilbert sur le fait que l'activité des ingénieurs est dorénavant soumise aux critères du marketing. On peut déjà noter que ces critères sont bien particuliers puisqu'il ne s'agit que de la mesure de leur temps de travail et non pas du contenu de leur activité, et que cela semble déterminer en soi une capacité de contrôle absolu. Dilbert réplique en lançant une menace farfelue : il prétend modifier l'ADN de Stan par l'intermédiaire d'un programme informatique qui se diffuserait sur le réseau et révélerait dans chaque ordinateur un potentiel de mutation génétique pour son utilisateur. Stan semble accorder une certaine crédibilité à la menace et l'on ne sait si le doute qu'il émet porte sur la faisabilité du procédé ou sur la volonté de Dilbert. Ce dernier répond assez clairement sur ce point en affirmant être tout à fait sérieux. L'ironie de sa réponse est destinée à être perçue par le lecteur et échappe totalement à Stan.

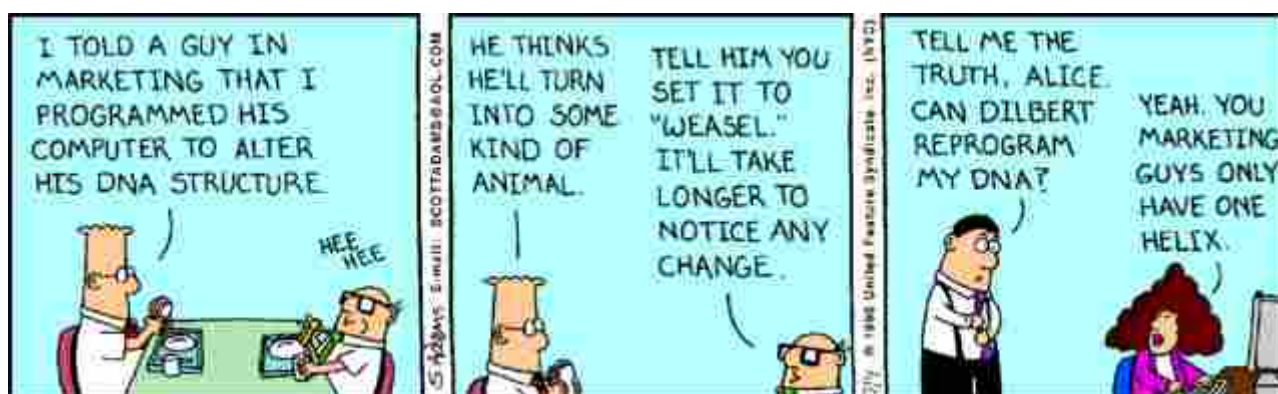


Fig 2. : *strip* du 4 juillet 1995

Dans le deuxième *strip*, Dilbert et Wally sont attablés dans une salle de restauration collective, probablement pour leur repas de midi. Leur conversation porte sur l'échange précédent entre Dilbert et Stan. Dilbert affirme que Stan est convaincu d'être bientôt transformé en animal. Wally lui suggère de préciser que l'animal en question sera un rat, au prétexte que cette forme serait la plus proche du statut habituellement attribué à un membre du service marketing. On voit là tout le cynisme de Wally qui considère que l'action du marketing ne serait que pure nuisance, mais ne remet pas en cause le fait que leurs activités respectives sont interdépendantes dans l'organisation même de l'entreprise. La chute se joue entre Stan et Alice, celui-ci lui demandant son avis sur la niveau de crédibilité de la menace de Dilbert. Celle-ci répond de nouveau sur le registre de l'ironie, comme l'avait fait Dilbert,

en y ajoutant le cynisme déjà exprimé par Wally : elle prétend en effet que la menace est d'autant plus crédible que les gens du marketing seraient des êtres humains d'une catégorie plus fruste que les autres. L'origine de la production de nuisance est donc ainsi renvoyée à une explication « naturelle ».



Fig. 3 : strip du 5 juillet 1995

Dans le troisième *strip*, Alice, au détour d'un couloir, reproche à Dilbert d'avoir abusé de la crédulité de Stan. Elle semble ainsi manifester un certain repentir par rapport à sa propre contribution au canular, par laquelle elle lui apportait un crédit supplémentaire. Cette attitude, qui paraît bienveillante au premier abord, est cependant tout de suite démentie par un nouveau trait d'ironie où elle voit la confirmation du caractère crédule des gens du marketing dans le fait qu'ils croient à leurs propres études de marché. Elle marque ainsi implicitement une hiérarchie entre diverses affabulations, la possible saisie d'une logique de la circulation marchande étant située bien en deçà des fantasmes de manipulation du vivant par la technologie en général et l'informatique en particulier. Dans la dernière case, Stan présente des stigmates d'une transformation en cours : un museau et des moustaches de rat sont apparus sur son visage. Alice attribue ce phénomène à la force de persuasion, insinuant que Stan y serait particulièrement sensible. Stan acquiesce, donnant paradoxalement l'impression qu'il a conscience d'être le jouet d'une manipulation d'ordre mental et non pas physique.



Fig. 4 : strip du 5 juillet 1995

Dans le quatrième *strip*, Dilbert explique à Dogbert que Stan est en train de muter simplement du fait d'être convaincu que Dilbert est en mesure de déclencher le processus. Dogbert propose alors de résorber cette mutation en s'appuyant toujours sur la crédulité de Stan considérée comme un fait acquis. Ce conseil s'appuie sur un argument qui prolonge celui utilisé précédemment par Alice au sujet des études de marché. Dogbert affirme que la réalité de Stan n'est de toute façon qu'une construction arbitraire à partir d'un discours parcellaire. Dans l'ultime case, Dilbert met donc en œuvre ce subterfuge. En énonçant l'hypothèse que la transformation de Stan ne serait pas en cours, ce dernier en tire une nouvelle conviction conforme à son souhait de rester un être humain. Cependant, cette conviction ne semble pas plus rationnelle que la précédente, et surtout est en contradiction totale avec les stigmates bien réels qui marquent désormais son visage.

Sous l'apparente simplicité formelle du dessin humoristique, Adams nous offre avec ces quelques *strips* un matériau malgré tout assez riche pour explorer les effets du caractère bifide de l'ordinateur sur les représentations des différentes figures impliquées dans l'informatisation. Il manifeste ainsi le fait que « [la bande dessinée] est à la fois capable de faire passer des choses, du sens et du raisonnement, mais dans l'oubli de leur mise en scène, dans l'oubli de ce qui permet de les tenir comme sens et comme raisonnement » (Robert 2018, p.15). Adams nous met, en effet, sur la piste d'une résolution du paradoxe de la double figure de l'informaticien en exposant l'embarras dans lequel se trouve Dilbert à gérer les conséquences pratiques d'un pouvoir qui lui semble reposer sur un malentendu. Pour cela, il faut tout d'abord faire la remarque suivante : même si la part abstraite qui participe à la dynamique de l'informatisation a des effets bien réels et parfois contraignants, elle ne se présente pas elle-même sous une forme sensible. Malgré le caractère déterminant de cet

espace indéfini qu'il est envisageable de parcourir avec l'ordinateur, ce qui reste seulement accessible à la perception, c'est la part concrète, les moments de cette dynamique qui se fixent temporairement sur des objets particuliers, comme par exemple les machines et les applications dédiées à tel ou tel usage et avec lesquelles nous entrons en interaction. Du mouvement de l'informatisation, il ne résulte donc manifestement que des phénomènes apparents, des éléments se déroulant à la surface. La contribution de l'informaticien comme producteur de logiciels est un de ces phénomènes, au travers duquel vont se manifester de manière tangible les propriétés par ailleurs impalpables du procès qui l'englobe tout autant que l'informatisé ou l'informatiseur. Mais cette contribution a ceci de particulier que pour s'exercer, elle doit pratiquement revendiquer de se tenir à distance des modes d'engagement qui vont être ceux des informatisés – les informatiseurs étant plus les garants que les pilotes de cette mise à distance. L'activité des informaticiens consiste en effet à définir les contours d'une instance concrète à partir de la potentialité abstraite qu'exprime de manière générale l'informatique. Par une sorte de renversement, la contribution des informaticiens est perçue malgré tout comme étant la source du procès et des capacités démiurgiques leurs sont attribuées en tant qu'agents les plus au contact de sa part abstraite. Dilbert peut ainsi facilement se retrouver affublé de pouvoirs occultes, d'autant plus que son activité hautement technicisée et séparée dans la division du travail est effectivement une forme d'activité kabbalistique : l'invocation des symboles par certains initiés a des conséquences bien réelles dans le monde car, en tant qu'investissements de formes (Thévenot 1986), ils ne sont jamais de pures virtualités.

Cette même dynamique du déploiement tautologique et indéfini des calculs confiés aux ordinateurs alimente aussi l'autre image associée à l'informaticien. Le mouvement tautologique de l'informatisation – qui est le parcours indéfini du calculable – embarque avec lui tout le réel vécu dans les sociétés numérisées et le convertit tendanciellement en une vaste mécanique, et même un moteur¹¹⁰ dont le carburant est constitué par les événements dont les utilisateurs sont la source, remplissant ainsi le réservoir à un rythme toujours plus effréné. Encore une fois, le procès n'est perceptible que par sa part concrète, avec laquelle chacun s'accorde à trouver les meilleures raisons du monde pour y participer. Et pourtant, cette part concrète embarque avec elle une dimension machinique abstraite puisqu'elle consiste implicitement à définir une procédure formelle mécanisable et en confier le déroulement à un

110 Plus spécifiquement, un MOTIF (MOTeur d'Inférence et de gestion de Formes) selon Pascal Robert (2009)

ordinateur. Comme nous l'avons vu avec l'analyse de la machine de Turing universelle comme noyau conceptuel du mouvement d'informatisation s'appuyant sur les ordinateurs, le concret et l'abstrait sont deux moments d'un même processus dynamique¹¹¹. La dimension machinique de nos interactions via des systèmes informatisés, dont personne en particulier n'est en mesure d'assumer la réalité abstraite, se fixe alors pour tous sur une figure qui la cristallise. Cette figure se trouve être celle pour laquelle il est plus facile d'y déceler un usage sans contenu propre, c'est-à-dire l'informaticien dont l'activité consiste à produire *n'importe quelle* application informatique, justement sans égard pour son contenu propre. Cette concentration de tous les aspects machiniques de nos interactions sur un agent particulier s'accompagne, par effet de vase communicant, d'une représentation dont sont amputées les capacités sensuelles et symboliques qui nous semblent l'apanage du concret. La figure populaire de l'informaticien devient celle d'un être asocial, incapable d'entrer en interaction autrement que par des protocoles formels et n'apportant que des réponses « mécaniques » aux sollicitations qui lui sont faites. Les échecs de Dilbert dans ses tentatives de nouer des liens affectifs avec son entourage sont l'objet de bien des *strips* de Scott Adams.

Ainsi le paradoxe de la double image de l'informaticien se résout-il dans le fait qu'elles sont toutes deux les manifestations de la dynamique de l'informatisation inscrite dans le caractère bifide de l'ordinateur, mais dont seul un des deux pôles constitutifs peut être directement appréhendé. L'activité concrète de l'informaticien est la manifestation de la potentialité abstraite de l'informatique qu'aucun agent social n'est en mesure d'appréhender directement dans le cours de sa propre activité. Cette manifestation particulière devient alors la représentation de ce pôle déterminant mais insaisissable et se voit attribuer un pouvoir qui n'est pas le sien en propre mais celui de la dynamique de l'informatisation dans son ensemble avec les deux pôles en interaction. Ce pouvoir est perçu comme diffus, énigmatique, global. C'est celui conféré au hacker dans l'imagerie populaire, interprète virtuose d'un art mystique qui n'a même pas besoin de coller avec une quelconque réalité de l'activité concrète menée par les informaticiens. D'un autre côté ce pouvoir est aussi jugé comme dérisoire car quel que soit le niveau de compétence qu'il requiert, il est renvoyé dans sa dimension machinique à un

111 Par ailleurs, la définition que donne Turing de la capacité calculatoire de sa machine universelle est tirée de l'analyse empirique de la façon dont un être humain mène lui-même un calcul. Comme l'indique Pascal Robert (2009, p.275), « [n]otre personnalité est multiple et l'ordinateur nous en révèle une facette, nous annonce ce qu'il y a de machine en nous ». Sur la question connexe de savoir s'il existe « un moyen empirique d'effectuer un calcul qu'aucun algorithme ne permet d'effectuer », on peut consulter l'article Maël Pégnny (2012) intitulé « Les deux formes de la thèse de Church-Turing et l'épistémologie du calcul ».

déficit en capacités sensibles, émotionnelles, en bref à l'impossible prise en compte d'une situation concrète. Chacun estimant être avant tout pris dans un rapport sensible en toutes circonstances – ce qui est bien le cas du point de vue phénoménologique, mais pas pour autant déterminant du point de vue de la totalité – sa propre implication dans un rapport machinique est défaussée sur celui qui semble n'avoir pas besoin d'autres rapports avec le monde que machiniques, justement, pour déployer sa propre activité, c'est-à-dire l'informaticien.

3. Conclusion : De la forme bifide au caractère fétiche

Le rapprochement entre l'informaticien et la machine, avec laquelle il est engagé dans une activité productive d'une manière bien spécifique, induit des représentations paradoxales. Cependant, le paradoxe se dissipe dès lors que l'on observe ses pratiques et ses figures sous l'angle du caractère bifide des techniques numériques. Les représentations de l'informaticien prennent place alors dans la culture populaire d'une manière bien différente de la façon dont Philippe Breton (1995) envisage le rapport entre représentations et artefacts, notamment pour le cas de l'ordinateur. En effet, celui-ci interprète l'avènement de cette machine comme une nouvelle occurrence d'un mouvement plus général concernant la technique par lequel les êtres humains font advenir des créatures artificielles qui sont autant de manifestations de représentations de l'humain et de la société. Ainsi Breton voit dans cette pulsion créatrice, un besoin métaphysique inhérent à l'être humain et qui aboutit à des artefacts illustrant le « mystère de l'homme tentant de sortir de lui-même pour se comprendre » (Breton 1995). En laissant derrière elle une représentation de l'être humain comme sujet divin, la révolution scientifique aurait introduit « une liberté nouvelle où la question la plus urgente est désormais celle de l'organisation collective des consciences. C'est dans ce contexte que la nouvelle représentation de l'homme en tant qu'être informationnel va trouver tout son sens, à travers une machine communicante : l'ordinateur » (Ibid.).

Cependant, la prise en compte du caractère bifide de l'ordinateur et sa confrontation avec les activités et les représentations de l'informaticien nous amènent justement à questionner cette assertion. Est-ce une représentation de l'être informationnel qui se manifeste dans une machine communicante ? Ou bien est-ce une propriété inédite de la technique qui détermine de nouvelles représentations et, avec elles, des formes d'engagement dans le monde social qui s'y conforment ? Les critères que nous nous sommes donnés dès le premier chapitre pour guider notre enquête sur la place des techniques numériques nous invitent à rejeter les deux options de cette alternative. Si une technique est adéquate à un monde social, c'est toujours en lien avec ses particularités – ou plus exactement, *ses universaux particuliers*, des catégories considérés comme évidentes parce qu'elles résultent d'une pratique qui les constitue en même temps que l'oubli de leur genèse. Cette adéquation ne peut donc être

abordée comme la manifestation d'un processus trans-historique à portée anthropologique¹¹². Par ailleurs, si cette adéquation est située historiquement et socialement, elle exclut le fait que la technique concernée soit instituante (Robert 2009, p.299). Au contraire, sa sélection est d'abord le résultat des contraintes objectives issues de la forme de synthèse sociale au sein de laquelle elle émerge et qu'elle contribue à reproduire en accompagnant ses mutations.

Ainsi, avec l'ordinateur, il ne s'agit pas d'une technique qui se constitue à l'image de l'homme, y compris une image « nouvelle » – dont l'avènement reste par ailleurs non interrogé par Philippe Breton – car il n'y a rien d'évident au fait qu'un « être informationnel » engagé dans une « organisation collective des consciences » trouverait un miroir dans une machine fondamentalement calculatoire avant d'être communicante. Il ne s'agit pas non plus de l'homme qui adapterait sa sociabilité à l'image de la machine – qu'elle soit celle de la froide mécanique impersonnelle ou celle de la toute puissance démiurgique – avec un ajustement qui serait d'autant plus parfait que la personne engagerait un rapport plus familier avec la logique interne de la machine. Si cet aspect peut parfois se manifester, ce n'est que la forme phénoménale dérivée d'un ressort plus profond.

Ce que le caractère bifide des techniques numériques permet d'envisager, c'est plutôt une forme de fétichisme qui dépasse largement le rôle propre de l'informaticien, puisque sa figure paradoxale se constitue au-delà du milieu restreint de l'informatique comme secteur d'activité professionnelle, dans le refoulement de la part abstraite des techniques numériques, accompagné de sa projection personnifiée dans cette figure particulière. Avec la notion de *fétichisme numérique*, nous voulons faire référence au *fétichisme de la marchandise* invoqué par Marx dans les premières sections du *Capital* pour désigner un processus comparable dans les sociétés capitalistes. D'une part, l'activité des êtres humains y prend la forme générale du travail producteur de marchandises, héritant ainsi du caractère bifide abstrait/concret qu'il met en évidence dans la catégorie de marchandise elle-même. D'autre part, la part abstraite prend le pas sur la part concrète et lui impose des contraintes objectives dont les agents sociaux ne sont pas en mesure de retracer l'origine, étant eux-mêmes engagés dans leurs propres activités sociales sur la base du contenu concret. À ce titre, le concret ne peut d'ailleurs pas être considéré comme le pôle positif à opposer au pôle négatif constitué par une totalité abstraite, puisqu'il n'est qu'un support passager requis pour la dynamique globale du capital, mais dont

112 Cette adéquation d'une technique à un contexte social situé historiquement est à distinguer de la question d'un éventuel invariant anthropologique que caractériserait la technique dans sa généralité.

le contenu propre est indifférent. Autrement dit, dans le fait de dépenser du travail humain dans la fabrication des marchandises, le fait qu'il s'agisse d'armes ou de jouets n'est pris en compte pour valider la réussite de la valorisation du capital que sur le critère de leur rentabilité et non sur leur usages potentiels distincts.

Le fétichisme de la marchandise n'est donc pas un phénomène de fascination ou d'engouement absurde pour telle ou telle marchandise, mais la conséquence du fait que, tout en participant à la reproduction de la dynamique du capital par leur action concrète, les membres de la société capitaliste ne perçoivent plus le lien entre cette participation et les conséquences qui peuvent leur faire face ultérieurement de manière hostile sous une forme hypostasiée munie de « lois objectives » (économie, marché, etc.). Cette perception n'est pas empêchée par la seule distance qu'il peut y avoir entre leur activité propre et les effets ultérieurs, du fait par exemple de la division des tâches, mais l'est d'abord par le caractère bifide de la production marchande et le fait que la part abstraite intervient au niveau de la totalité. Cette dernière n'est par ailleurs pas constituée par l'accumulation sérielle de toutes les marchandises particulières et des travaux spécifiques requis pour leur production, mais par le fait que chacune de ces marchandises et chacun de ces travaux représentent une part aliquote¹¹³ d'une dimension commune qui les subsume, sans égard pour leur contenu propre.

Avec le caractère bifide concret/abstrait des techniques numériques, nous avons constaté des effets semblables concernant l'activité et les représentations des informaticiens, effets qui permettent d'envisager le déploiement d'un *fétichisme numérique* comme ressort constitutif. Pour pouvoir tester une possible extension de portée de ce constat, il va nous falloir substituer au cas particulier des informaticiens un modèle plus général permettant de prendre en compte d'autres activités et d'autres représentations impliquant les techniques numériques. Cela va être l'enjeu du prochain chapitre où nous allons décliner un cadre méthodologique proposé par Pascal Robert (2009) pour constituer ce genre de modèle.

113 « Partie quelconque non individualisée d'une grandeur, d'un nombre, d'une collectivité » (TLFi : Trésor de la langue Française informatisé, <http://www.atilf.fr/tlfi> consulté le 13 mars 2019)

Chapitre 4 : Vers un modèle CRITIC du fétichisme numérique

1. Introduction du chapitre

Si le caractère bifide concret/abstrait des techniques numériques est bien établi à ce stade de notre réflexion, et que, par ailleurs, ses effets potentiels relevant d'un fétichisme numérique ont été constatés pour le cas des informaticiens, nous n'avons pas encore réellement connecté ces propriétés avec notre problématique, à savoir en quoi les techniques numériques seraient (particulièrement) adéquates à la dynamique du capital et, corrélativement, à quelle crise de la valorisation elles répondent pour que leur introduction, à l'issue de la Seconde Guerre mondiale, se transforme en déferlement entre les années 1960 et aujourd'hui. Si la notion de fétichisme numérique fondé sur une forme bifide concret/abstrait permet de faire un rapprochement formel avec le fétichisme de la marchandise qui caractérise la dynamique du capital comme forme de synthèse sociale historiquement située, ce fétichisme numérique n'a encore qu'une portée limitée à ce stade de notre démonstration. Certes la représentation paradoxale des informaticiens est largement partagée, mais elle ne porte justement que sur cette figure particulière. La recherche de l'adéquation technique numérique/dynamique du capital requiert d'étendre cette portée puisqu'elle vise nécessairement une échelle globale pouvant inclure des classes bien plus diversifiées de phénomènes.

Pour progresser dans le traitement de notre problématique, il faut pouvoir inscrire le caractère bifide des techniques numériques dans un modèle de l'informatique qui puisse articuler celle-ci à des d'autres domaines que la production des logiciels. Rappelons que cette exigence de modélisation n'est pas posée comme une simple posture mais qu'elle répond à la nécessité de *penser* l'informatique, alors qu'elle semble justement offerte dans une forme d'*impensé*, notamment dans les traitements médiatiques qui en sont fait, comme l'a montré Pascal Robert (2012). La modélisation est une démarche tout à fait légitime pour produire justement des modèles comme supports de la pensée en sciences humaines et sociales, dès lors que « son rôle de cadrage, de maintien, de canalisation de la pensée [...] [est] au service de quelque chose, un projet qui le dépasse » (Robert 2009, p.59), en l'occurrence une exploration théorique participant au traitement d'une problématique précise.

Pour établir le modèle dont nous avons besoin pour penser l'informatique dans le cadre de notre problématique, nous allons employer la démarche proposée par Pascal Robert (2009) dans son Habilitation à Diriger des Recherches. Dans un premier temps, il nous faudra

exposer les tenants et les aboutissants de cette démarche de modélisation, en articulant notamment les concepts successifs qui en jalonnent l'élaboration (*impensé, formatage généralisé, macro-techno-discours...*), afin de pouvoir justifier la déclinaison que nous en proposerons à notre tour. Dans un deuxième temps, nous détaillerons le modèle spécifique élaboré par Pascal Robert pour situer l'informatique parmi l'ensemble des technologies de l'information et de la communication, puis nous exposerons le *renversement* induit par le caractère bifide des techniques numériques et que le modèle est justement en mesure de mettre en lumière (ou plus exactement de servir de support particulièrement éclairant pour penser ce renversement).

À partir de ce résultat, nous allons pouvoir commencer à connecter techniques numériques et production marchande à une échelle globale, au-delà du constat trivial que cette production fait aujourd'hui un *usage* massif de ces techniques. Le présent chapitre se terminera sur la démonstration d'une première adéquation *spécifique* et à *portée générale* des techniques numériques à la production marchande, tirée du rapprochement qui peut être fait à partir de leur commune forme bifide. L'effort de modélisation fourni tout au long du chapitre mettra en place les conditions nécessaires pour penser cette adéquation.

2. Le modèle CRITIC : présentation et commentaires

Pour établir un modèle de l'informatique conforme aux critères que nous nous sommes donnés en posant notre problématique, nous allons nous appuyer sur le modèle CRITIC proposé par Pascal Robert (2009) dans son ouvrage *Une théorie sociétale des TIC*, lui-même issu du mémoire qu'il a présenté pour l'obtention de son habilitation à diriger des recherches en 2004. Cette démarche permet notamment de construire « des cadres d'intelligibilité de l'informatique [...] qui mettent en scène l'objet construit » tout en restant « au service d'une pensée critique » (Ibid. p.17). La proposition de Pascal Robert « s'inscrit dans une tentative de « s'affranchir de la double allégeance à la technique (et au technicien) et à la sociologie (et au sociologue) » (Ibid. p.16). L'enjeu est important pour les sciences de l'information et de la communication qui peuvent porter là un discours indépendant sur leurs objets de prédilection sans pour autant avoir à se détacher des approches et des résultats fournis par d'autres disciplines. Pour Pascal Robert – et nous reprenons à notre compte son mot d'ordre :

« [i]l s'agit de dire l'informatique (et au-delà les TIC) au travers de *catégories* qui ne sont pas celles de la technique, ni celles de la sociologie – de l'usage ou de l'imaginaire, ni même celles de la sociologie des techniques » (Ibid p.16)

Le modèle CRITIC n'est pas un modèle de l'informatique en elle-même, mais celui d'une démarche « qui autorise le rapprochement de techniques hétérogènes autour de fonctions qu'elles mettent en œuvre au travers de propriétés technico-sociales singulières » (Ibid. p.17). Mais avant d'en décrire les grandes lignes et de la déployer pour nous mettre à la recherche d'un modèle adéquat, il faut commencer par indiquer que ce parti pris de la modélisation est d'abord le produit d'une réflexion elle-même tirée d'un constat : la représentation de l'informatisation qui a cours dans nos sociétés est globalement structuré par un impensé (Ibid. p.29). C'est en se confrontant à un corpus d'articles de presse parus dans les années 1970 et en questionnant le rôle qu'y jouait globalement l'informatique plutôt que de la thématiser « à la carte » autour des grands problèmes que l'époque lui associait, que Pascal Robert a fait émerger la question de l'impensé. En effet, il fait le constat que l'informatique est appréhendée comme une « force morale positive » et que chacune de ses invocations en

regard de thèmes variés est une occasion d'une part d'en faire une évidence qui n'aurait pas besoin d'être resituée socialement et historiquement et d'autre part de légitimer tout travail préparatoire engagé dans l'objectif d'aménager des terrains plus propices à son déploiement, ce que Pascal Robert nomme le *formatage généralisé*. De plus si l'on reconnaît à l'informatique la propension à être l'outil privilégié de la rationalisation, ce fait est présenté quasi exclusivement sous un angle local en se faisant l'écho des multiples cas d'usage mais en laissant dans l'ombre les nécessités mêmes de cette rationalisation si omniprésente. Lorsque un point de vue plus global est adopté, c'est le thème (et l'inquiétude) du contrôle social qui est extrapolé de la démultiplication des instances de gestion informatisées, conduisant à dénoncer des risques dont la conjuration passe justement par plus d'informatique afin de « contrôler les contrôleurs ». La complexité de nos sociétés est donc acceptée comme une fatalité avec l'espoir que l'informatique en soit le moyen de gestion indéfiniment mobilisable, ce qui en renforce l'évidence. Enfin, les problématiques politiques que l'informatique peut receler sont rabattues sur des enjeux de pouvoir et des dichotomies internes à l'informatique elle-même : technophile contre technophobe, petit chaudron (micro-informatique) contre grand chaudron (informatique centralisée), industries nationales contre importations de technologies... L'informatique n'est pas tant un sujet de débat qu'un moyen de débattre, laissant de nouveau l'objet en question dans les limbes de l'impensé. L'étude des représentations de l'informatisation dans la presse des années 1970 conduit donc à un triple constat qui a pu être prolongé depuis sur des corpus plus récents et en l'élargissant à d'autres sources que la presse (Robert 2016b) :

- L'informatique est un construit social dont la construction même est « oubliée » par la société au sein de laquelle elle se déploie.
- L'informatique est un objet abordé de manière parcellaire et toujours comme un pur outil dont le sens ne serait donné que par le contexte d'emploi.
- L'informatique est brandie comme un outil propre à résoudre des problèmes soci(ét)aux selon des approches antagonistes mettant en scène leurs oppositions autour de choix à faire sur certaines options techniques, mettant ainsi l'informatique elle-même à l'abri de toute justification.

Ces trois points sont interprétés comme la manifestation d'un impensé de l'informatique. On pourrait tout autant les considérer comme participant à la (re)production de

cet impensé. Il ne s'agit donc pas pour nous d'affirmer sur un mode kantien un rapport de causalité univoque entre un ressort caché et des phénomènes apparents mais plutôt d'articuler un rapport de co-construction au sein d'un certain « air du temps »¹¹⁴ entre ces phénomènes d'une part et des catégories bien visibles mais dont l'évidence ne tient qu'à cet « air du temps » justement. Par ailleurs, si ces manifestations sont repérées par Pascal Robert sous la forme de discours, celui-ci n'exclut pas que des « façons de faire »¹¹⁵ puissent jouer le même rôle dans la constitution de cet « air du temps ». Reste que sous la forme du discours, la manifestation de l'impensé informatique est plus précisément qualifiée par Pascal Robert de *macro-techno-discours* (MTD) auquel il attribue les caractéristiques suivantes :

- macro : pour qualifier un discours qui « s'étend à la société en son entier » non pas sur le registre d'une présence permanente et martelée depuis des positions éminentes, mais plutôt celle de « l'intense dissémination d'un phénomène qui recouvre au plus près tous les points singuliers » (Ibid. p.38) ou bien encore d'une présence ténue mais insistante « dans les moindres interstices » (Ibid. p.37).
- techno : pour qualifier un discours qui ne présente pas à proprement d'émetteurs ou de récepteurs privilégiés, mais qui exprime un cadre dans lequel des messages au sujet de l'informatique peuvent être émis ou reçus, et qui a pour principal effet (et même pour principal rôle) de soustraire l'informatique aux épreuves de justification telles que définies par les travaux de Boltanski et Thévenot (1991).

Une fois mis en évidence cet impensé de l'informatique, Pascal Robert s'emploie justement à établir des conditions de possibilité pour *penser l'informatique* en proposant notamment des outils qui permettent de désamorcer le cadre d'empêchement préalablement identifié tout en maintenant une certaine rigueur qu'offre la logique de la modélisation. Parmi les diverses propositions successives pour cerner les logiques qui structurent les phénomènes sociaux liés à l'informatisation¹¹⁶ et en tenter la modélisation, nous nous attacherons, dans

114 Comme le qualifie Pascal Robert (2009, p.37) en reprenant un terme de Dominique Janicaud.

115 « L'impensé est manifestement un discours – en tout cas nous l'avons repéré sous cette forme et c'est elle qui va essentiellement retenir notre attention, ce qui ne veut pas dire qu'il ne puisse exister sous une autre forme, comme *modus operandi* implicite d'actions notamment » (Robert, 2009, p.36). Nous déploierons toute la fertilité de cette hypothèse plus loin dans notre exposé lorsqu'il s'agira de rapprocher l'informatique de la production marchande comme formes analogues de synthèse sociale.

116 On peut citer notamment la « *gestionnarisation* » ainsi que le *glissement de la prérogative politique*. Il ne faudrait pas interpréter la déclinaison de ces propositions comme autant de constats d'échec quant à leur capacité à cerner « correctement » l'informatique, mais plutôt comme des élaborations tournant autour de différentes propriétés ou combinaison de propriétés de l'informatique, se déployant dans des aspects variés du monde social. Ainsi l'*impensé informatique* est la logique qui structure nos représentations sociales,

notre travail, à celle du modèle CRITIC. Le principe de modélisation dans le cadre d'une démarche CRITIC est celui de la logique du tiers. Il consiste à rapporter deux éléments dont on veut travailler l'analogie, non pas directement l'un avec l'autre, mais par l'intermédiaire d'un tiers. Ce tiers devient le pôle vers lequel convergent les éléments à mettre en rapport. L'ensemble des éléments convergents peut entretenir une certaine hétérogénéité sans qu'il y ait incohérence dans les liens ainsi établis, car ce sont les multiples rapports au pôle de convergence qu'il s'agit de justifier au cours de l'élaboration du modèle et non pas des relations d'équivalence ou de causalité tirées de simples analogies.

Dans le cas du modèle CRITIC, les tiers vers lesquels vont converger les objets mis en rapport sont des fonctions macro-sociétales, permettant ainsi de court-circuiter le parasitage introduit par le MTD. Les éléments convergents sont des réponses apportées à ces fonctions et la logique du tiers permet de n'avoir que ce point en commun pour constituer le modèle à partir duquel une réflexion peut être élaborée. Ainsi, « [les réponses] sont mises en équivalence, malgré leurs différences, par cette convergence dans l'exercice d'une même fonction » (Ibid. p.87). La fonction macro-sociétale est donc l'élément stable du modèle autour duquel peuvent être agencées des réponses aux propriétés multiples et spécifiques. Cette multiplicité et ces spécificités constituent autant de cas qui vont répondre à la fonction prise dans un contexte socio-historique donné et leur donner ainsi des formes variées, des apparences diverses sous lesquelles il faudra malgré tout y reconnaître une actualisation de la fonction. Comme l'exprime Pascal Robert :

« [...] la fonction ne préjuge pas du mode d'existence sociotechnique de la réponse, ni ne la détermine : inversement, si la spécificité des propriétés de la réponse informe l'actualisation de la fonction, elle reste ordonnée à son expression – ce qui explique que l'on puisse ne pas reconnaître d'évidence la fonction sous la forme (et justifie le travail du sociologue) sans que cela ne disqualifie la fonction » (Ibid. p.87, souligné par l'auteur)

tandis que le *glissement de la prérogative politique* est la logique qui structure le mode d'existence du politique lui-même, et que la « *gestionnarisation* » est la logique qui structure le mode de fonctionnement de nos organisations, publiques comme privées. Comme le précise (Robert 2014a), « Ces trois logiques ne sont pas indépendantes, elles évoluent en interaction : car l'impensé autorise socialement le déploiement de la logique du GPP, qui, à son tour facilite l'irrigation de notre société par celle de la gestionnarisation, qui en vient également [...] à nourrir l'impensé. »

À cette dernière citation, nous voudrions ajouter deux commentaires qui vont teinter notre usage du modèle CRITIC avec une orientation particulière. Tout d’abord – mais cela peut être reconnu d’une manière implicite à la lecture de l’ensemble de l’ouvrage de Pascal Robert – le travail d’enquête qu’il évoque n’est pas que du ressort du sociologue. Tout l’éventail des sciences humaines et sociales peut être mobilisé et mis à contribution, y compris bien sûr les sciences de l’information et de la communication avec leurs objets et méthodes propres mais aussi avec leur propension à être au carrefour des autres SHS, particulièrement depuis que le numérique est devenu un terrain mobilisé par les unes et les autres. Nous aurons donc l’occasion d’invoquer les mannes de la sociologie comme celles de l’histoire, de la philosophie ou bien de l’anthropologie. L’autre commentaire, plus conséquent, concerne le statut des fonctions macro-sociétales invoquées dans le modèle CRITIC. Si celles-ci sont définies comme pouvant se voir adresser différentes réponses, c’est bien qu’elles sont elles-mêmes conçues comme des questions, des problèmes à résoudre :

« Bref, il s’agirait d’un modèle qui nous permettrait de balancer entre ces questions, ces problèmes, voire ces fonctions que nous partageons avec les autres sociétés et les réponses, techniques, que nous y apportons, effectivement nouvelles – mais nouvelles dans leurs matières, leurs formes, leur manière d’être au monde, mais pas dans les fonctions qu’elles remplissent ou problèmes qu’elles participent sinon à résoudre du moins à relâcher » (Ibid. p.83)

Or, il nous semble que la radicale nouveauté des questionnements portés d’une société à l’autre est une hypothèse tout aussi viable que celle de leur pérennité tout au long de l’histoire des *formes de synthèse sociale*¹¹⁷ qui se sont succédé ou ont pu se côtoyer. En quelque sorte, la maxime de Terence selon laquelle dès lors qu’on est un être humain, rien de ce qui est humain ne saurait nous être étranger paraît une généralisation induite du fait qu’au sein d’une société donnée, définie par sa forme de synthèse sociale propre, les membres de cette société partagent effectivement un référentiel de catégories implicites qui, seulement dans ce contexte historiquement et socialement situé, constitue une universalité, mais qui n’est pas transposable

117 Notion que l’on pourrait exprimer aussi comme étant la forme générale des rapports sociaux, la forme de vie sociale, ou bien encore la forme générale de l’interdépendance sociale.

dans un autre contexte. Aussi la rigueur nécessaire à l'application du modèle CRITIC nous oblige à un double travail d'investigation :

- Il s'agit d'une part de « reconnaître la fonction » sous la forme de la réponse et donc de justifier le rapport établi entre les deux. Cette justification ne doit pas relever de la seule évidence au sein de laquelle peut se nicher le MTD ou tout autre forme de biais. Car si Pascal Robert situe le « travail du sociologue » dans le dépassement des apparences afin de reconstituer le lien entre fonction et réponse, lui-même voilé par « la spécificité des propriétés de la réponse [qui] informe l'actualisation de la réponse », il faut se mettre aussi en situation de désamorcer le raccourci de l'évidence qui plaquerait telle réponse sur telle fonction sans autre forme de procès. L'un et l'autre cas (soulever le voile et résister à l'évidence) peuvent être interprétés comme les composantes respectives d'une opposition aux deux faces de ce que nous nommons dans ce contexte un « effet écran » : à la fois espace de projection qui détourne l'attention et obstacle à la perception qui masque la cible.
- Il s'agit, d'autre part, de reconnaître *l'historicité* de la fonction une fois qu'elle est identifiée et correctement associée aux réponses qui convergent vers elle. Autrement dit, une fonction donnée est une question pertinente uniquement dans le contexte social et historique associé. Cela n'invalide pas la logique de modélisation, mais impose une contrainte supplémentaire pour aboutir à un modèle valide : questions et réponses ne peuvent être reliées que si elles participent toutes deux du même monde et donc par transitivité, les réponses mises en équivalence autour d'une fonction doivent appartenir à un monde commun. Il y a là une limite à l'hétérogénéité des réponses pouvant converger vers une fonction qui préserve toutefois la possibilité de ne pas s'en tenir à les assembler selon leur seul « air de famille ». Un corollaire de cette attention à l'historicité des fonctions est qu'il faut exercer un certain soupçon sur celles qui viendront spontanément à l'esprit dans le cours de la modélisation : elles ont toutes les chances d'être d'abord des fonctions de notre monde et il faudra être d'autant plus prudent avant d'envisager de leur donner une portée plus large. Chaque modèle est

associé à un espace de projection qui correspond à l'ensemble des fonctions ayant un sens dans le cadre d'une forme de synthèse sociale donnée.

Afin de pouvoir faire des propositions quant à un modèle CRITIC adéquat à l'informatique et prenant en compte les commentaires généraux que nous venons de faire sur l'applicabilité de cette méthode de modélisation, il va nous falloir au préalable tenter d'intégrer les propriétés de l'informatique telles que nous les venons de les caractériser dans un modèle CRITIC, dérivé des propositions de Pascal Robert, et enrichi par ces nouveaux éléments. Il va donc être nécessaire d'hybrider le modèle avec la caractérisation des techniques numériques que nous avons posée dans le premier chapitre. Cette hybridation va nous permettre de mieux situer les fonctions potentielles auxquelles répond l'informatique ainsi que de la forme de synthèse sociale dans laquelle ces fonctions (et leurs réponses) s'inscrivent. Munis de ces résultats, nous pourrons alors entamer dans le dernier chapitre de cette première partie des développements autour des plateformes numériques en tant que forme particulière que prend le phénomène d'informatisation.

3. Extension numérique du modèle CRITIC

Dans le cinquième chapitre de l'ouvrage *Une théorie sociétale des TIC*, Pascal Robert présente un modèle CRITIC de l'informatique à partir d'une perspective historique et cognitive sur l'ensemble des espaces de problèmes « desserrés par le recours aux TIC » (Robert 2009, p.189) dans la foulée des révolutions industrielles et politiques qui se déploient à partir de la fin du XVIII^e siècle. Pour cela, il mobilise d'abord la thèse de James Beniger selon laquelle les situations historiques d'emballement de la production et des flux matériels, comme les capacités productives des sociétés humaines par exemple, suscitent en retour des « révolutions du/par le contrôle » (*control revolution*) avec la mise en œuvre, en regard de ces capacités productives, de nouvelles capacités de stockage et de traitement de l'information au sens large qui sont employées à réguler ces flux matériels démultipliés. Si Beniger situe cette thèse dans une large perspective incluant « l'évolution de la vie, de l'homme et des cultures », Pascal Robert propose plutôt de la recadrer en s'en tenant à la dimension sociale de la *control revolution*. Par ailleurs, il rappelle le caractère spécifique de la *control revolution* qui se

déploie comme outil de régulation de « l'accroissement considérable des capacités et des vitesses de production » dû au développement de la révolution industrielle. Cette phase-là voit, en effet, la mise en place d'une « régulation par les technologies de l'information et de la communication » au sein de laquelle interviennent l'informatique et les télécommunications, mais aussi les médias ou l'organisation scientifique du travail, par exemple. Car, en parallèle de la révolution industrielle, plutôt inscrite dans une perspective économique et gestionnaire, Pascal Robert étend la portée de la *control revolution* dans le domaine de la représentation politique et de l'irruption du nombre dans un espace public émergent, en notant au passage la coïncidence des révolutions politiques et de la révolution industrielle au tournant du XIX^e siècle.

Les contours dans lesquels Pascal Robert redessine la thèse de Beniger nous paraissent extrêmement pertinents notamment par le fait qu'ils circonscrivent la portée du modèle CRITIC dans lequel s'insère l'informatique à une période historique et un contexte macro-sociétal cohérents. Ces circonstances découlent, en effet, de la double révolution industrielle et politique qu'il met en avant comme facteurs d'accélération des flux matériels et humains auxquels la société doit faire face à une échelle et un rythme inédits. Simultanément, ce contexte n'est pas borné par l'existence effective de l'ordinateur comme fondement du traitement automatisé de l'information. Ainsi, deux conditions importantes pour l'élaboration de notre modèle sont remplies : d'une part, l'ensemble des fonctions macro-sociétales que nous reprendrons de l'analyse de Pascal Robert peuvent être rattachées à une même forme de synthèse sociale¹¹⁸, celle des sociétés industrielles où se déploient simultanément, et de manière massive, un mode de production et un espace public inédits ; d'autre part, le cadre du modèle permet de travailler aussi bien sur l'histoire que la préhistoire de l'informatique¹¹⁹ et d'envisager une explication de son émergence à un moment donné de l'histoire plus large des sociétés industrielles.

Les espaces de problèmes découlant des révolutions industrielles et politiques ont pour caractéristiques « l'intensification et la densification des processus » d'une part, et « le

118 Si nous postulons à ce stade une forme de synthèse sociale sous-jacente, cela est fait sans que celle-ci soit clairement identifiée pour l'instant. Nous disposons juste d'indices permettant d'avancer l'hypothèse que la période historique qui se déroule au moins depuis la fin du XVIII^e siècle jusqu'à nos jours présente comme caractéristique d'être animée par une même forme de synthèse sociale qui se manifeste par le développement des sociétés industrielles. L'identification précise de cette forme et le lien qu'elle entretient avec ce développement – dans lequel s'inscrit celui de l'informatique – seront explicités plus loin dans notre exposé.

119 Au sens de l'automatique du traitement de l'information motorisée par l'ordinateur, donc sous la forme de calculs au sens de Turing/Church.

changement d'échelle » d'autre part. (Ibid. p.189). Pour « affronter un tel espace de contraintes », seul la vitesse constitue une réponse viable (Ibid.) et c'est dans le domaine de la circulation de l'information que cette vitesse peut être prise en charge par le développement des technologies de l'information et de la communication. L'espace des problèmes voit ainsi se développer les véhicules en mesure de le parcourir selon des performances en adéquation avec l'accélération permanente des processus (Rosa 2010).

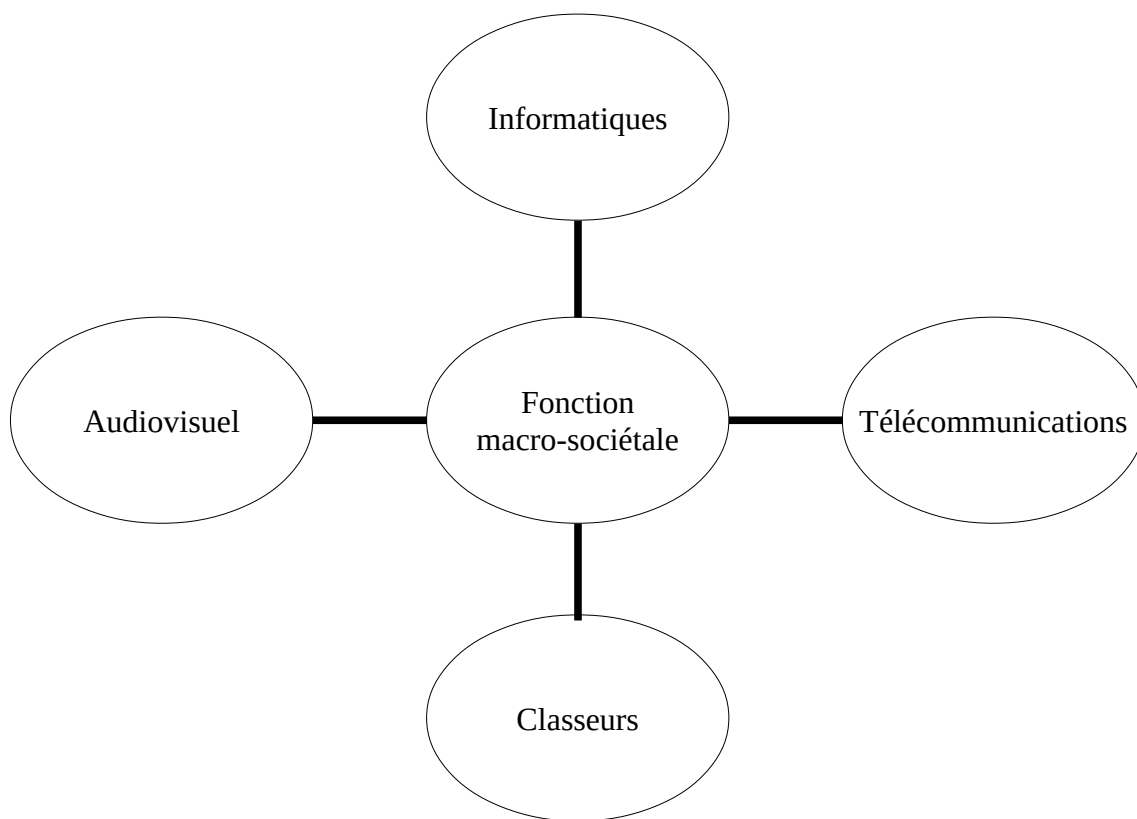
« Nous pouvons donc penser les TIC comme des véhicules d'exploration-construction de cet ensemble d'espaces de problèmes ouvert par les deux révolutions ; ensemble d'espaces de problèmes spécifié par la fonction macrosociétale (d'automatisation de la mémorisation, du traitement et de la circulation de l'information [...]) en différents espaces de problèmes à explorer-construire. » (Robert 2009, p.189, souligné par l'auteur)

Avec l'avènement de l'ordinateur comme dispositif générique pour la mise en œuvre des TIC, l'espace des problèmes prend littéralement une nouvelle dimension : à l'espace des problèmes concrets adressés par chaque application prise isolément s'ajoute celui des calculs abstraits envisageables à partir du formatage généralisé que recèle l'informatique, les premiers devenant progressivement les supports nécessaires mais indifférents aux seconds. Ainsi, alors que les TIC avaient encore jusque-là la capacité de rendre visibles les espaces de problèmes dont elles étaient les véhicules d'exploration-construction, l'informatique est un véhicule particulier qui ne permet plus cette mise en visibilité, tout au moins sur un versant de sa mise en œuvre qui s'avère déterminant. En quelque sorte, l'informatique redouble le caractère exploratoire et constructeur des TIC, conduisant ainsi à un renversement où la dimension abstraite prend le pas sur les supports concrets qui lui deviennent subordonnés. Dans ce renversement, la part concrète n'est pas seulement placée sans dessus-dessous, mais elle se trouve contrainte de s'aligner sur les impératifs de la part abstraite. Chaque problème devient ainsi totalement *reconfiguré* par la nécessité d'être saisi dans les termes de l'abstraction¹²⁰ – qui est ici non pas une montée en généralité, mais une subsomption

¹²⁰ Ce qui se manifeste aussi dans la logique de « gestionnarisation » (Robert 2004, 2011, 2014a, 2014b) sachant que dès lors que celle-ci s'appuie sur l'informatique, elle prend de nouvelles déterminations induites par le caractère bifide des techniques numériques.

totalisante par ajout d'une dimension supplémentaire commune. Il ne s'agit pas de donner un caractère plus général à tel ou tel problème, mais d'en faire une instance comparable aux autres et à ajouter aux problèmes déjà pris en charge par l'informatique. Ce qui rend cette opération d'ajout possible, ce n'est pas le contenu du problème lui-même – qui demeure malgré tout et ne peut être éliminé de l'équation – mais sa réduction formelle à une dimension par laquelle il s'avère commensurable avec tous les autres. Ainsi, alors que « *la technologie participe [...] à la cristallisation d'espaces de problèmes que sa propre présence rend en quelque sorte légitime, elle les fige en une manière d'obligation, de points de passages incontournables et crée ainsi une irréversibilité relative* » (Ibid. p.192, souligné par l'auteur), l'informatisation ajoute cette dimension abstraite totalisante qui élève le périmètre de la cristallisation potentiellement à l'ensemble des activités dans la société et tend à rendre l'irréversibilité de moins en moins relative.

Pour situer les conséquences de cette propriété de l'informatisation dans le cadre d'un modèle CRITIC, il nous faut à présent introduire un bénéfice important de ce type de modélisation qui « suit une logique qu'il n'est peut-être pas abusif de qualifier de “fractale” » (Ibid. p.216). Cela découle du fait qu'il est possible de classer les véhicules permettant le parcours des espaces des problèmes dans des familles plus ou moins larges qui s'emboîtent les unes dans les autres selon un ordre hiérarchique de généralité. L'opération permettant de passer d'un ordre général à un ordre plus spécifique s'apparente à l'application d'un zoom depuis les fonctions les plus générales vers les plus spécifiques. Pour se donner une idée plus précise de la méthode, voyons plus en détail comment cette opération est pratiquée par Pascal Robert autour de la fonction macro-sociétale de *mémorisation, traitement et circulation de l'information* qui fait partie de l'espace des problèmes mis en tension par « le double mouvement d'intensification/densification et de changement d'échelle » (Ibid. p.195) caractérisant le cadre défini par les deux révolutions industrielle et politique. Comme nous l'avons vu précédemment, les réponses apportées pour desserrer la contrainte jouent sur la vitesse et l'exploration-construction ouverte par ces réponses « *amène progressivement à l'automatisation de la fonction* » en question (Ibid. p.195, souligné par l'auteur). Un premier découpage de haut niveau (ou zoom de première grandeur) est représenté par le schéma suivant :



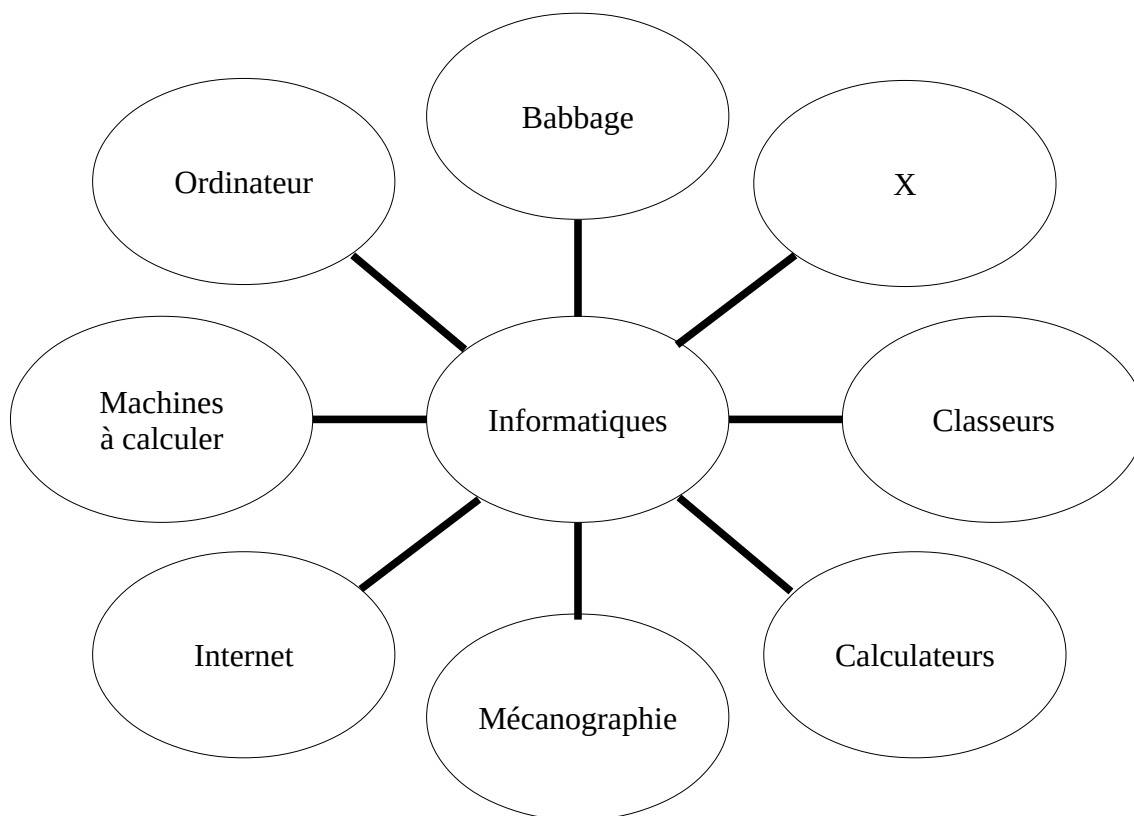
La fonction macro-sociétale de mémorisation, de traitement et de circulation de l'information et ses véhicules d'exploration-construction (Ibid. p.196, figure 5.1)

Ce découpage définit quatre grands types de véhicules permettant de parcourir/construire l'espace des problèmes requérant une accélération de l'information :

- Les véhicules dédiés à la circulation regroupés dans la famille « Télécommunications »
- Les véhicules dédiés au traitement alphanumérique dans la famille « Informatiques »
- Les véhicules dédiés au traitement du son et de l'image dans la famille « Audiovisuel »
- Les véhicules dédiés à l'organisation de l'information dans la famille « Classeurs »

Dans ce niveau très général, la dénomination aux accents techniques de chacune des familles ne doit pas introduire de mésinterprétation : nous avons bien affaire à des familles de véhicules dédiés à tel ou tel aspect du parcours et de la construction d'une fonction macro-sociétale et non pas à des familles de solutions techniques. Par ailleurs, la famille des véhicules dédiés au traitement automatisé des textes et des nombres (alphanumérique) est

nommée « Informatiques » au pluriel pour bien signifier l'hétérogénéité des réponses relevant de cette thématique et dont l'informatique au singulier – au sens de la mise en œuvre de l'ordinateur, donc – n'est qu'une instance parmi d'autres. Cette instance, nous allons la retrouver dans un découpage au niveau inférieur (ou zoom de deuxième grandeur) tel que représenté par le schéma suivant¹²¹ :



L'automatique de mémorisation, de traitement et de circulation de l'information (informatiques) et ses véhicules d'exploration-construction (Ibid. p.197, figure 5.2)

Dans ce modèle, l'ordinateur est donc un véhicule parmi d'autres permettant de parcourir/construire l'espace des problèmes ouvert par l'accélération des flux matériels et

¹²¹ On peut noter que l'application de la méthode fournissant un modèle CRITIC permet d'assembler des véhicules hétérogènes en termes techniques, mais aussi sur bien d'autres plans. Par exemple, certains véhicules peuvent être contemporains et d'autres ne s'être jamais côtoyés dans une période historique commune. Ou encore, certains peuvent avoir eu un large impact avec des usages omniprésents, tandis que d'autres n'en sont restés qu'au stade de prototype ou même d'esquisse. En permettant ces différents types d'hétérogénéité, le modèle CRITIC permet en même temps de tracer des trajectoires qui ne relèvent pas du déroulement mécanique d'un progrès technique encore trop souvent abordé comme principal. Enfin, le modèle n'est pas clos car il laisse la possibilité d'adjoindre de nouveaux véhicules qui n'auraient pas été envisagés dans un premier temps. C'est ce que marque la présence du véhicule « X » dans le schéma repris de Pascal Robert (2009, p.197).

humains induite elle-même par les révolutions industrielle et politique au tournant du XIX^e siècle. Plus spécifiquement, ce véhicule œuvre dans le domaine de l'accélération de l'information et plus spécifiquement encore dans celui de l'accélération du traitement de l'information alphanumérique par son automatisation. Voici donc reconstituées la place et la trajectoire de l'ordinateur dans le modèle CRITIC déployé par Pascal Robert. Évidemment cette logique du zoom peut-être déclinée à un niveau encore inférieur dans lequel on trouverait des familles d'application de l'ordinateur avec, par exemple, les logiciels de bureautique, pouvant être eux même déclinés en logiciels de traitement de texte ou en tableurs, etc. Dans chacune de ces déclinaisons, on peut « y voir la traduction ou l'expression "locale" si l'on veut de l'exploration-construction comme espace de problèmes de la fonction macro-sociétale d'automatisation de la gestion de l'information » (Ibid. p.194).

Cette première application du modèle CRITIC à différents niveaux de zoom reste cependant relativement linéaire dans la mesure où les véhicules sont présentés implicitement comme rattachés à une seule famille et à un seul niveau. Mais aucune contrainte dans la logique de modélisation proposée n'impose cette limitation¹²². On peut en effet considérer qu'un véhicule donné puisse parcourir/construire différents espaces de problèmes et que ces espaces de problèmes n'aient pas le même niveau de généralité. C'est clairement la situation que l'ordinateur nous oblige à examiner car sa dimension abstraite – comme indifférence au contenu propre de tel ou tel problème – introduit la possibilité que cette machine particulière soit à même de parcourir/construire tous les espaces de problèmes jusque-là globalement segmentés, même si la mise en place de certaines passerelles ponctuelles et donc à portée locale pouvaient être accessible à d'autres véhicules. À ce titre, l'ordinateur n'est pas tant une machine à tout faire qu'une machine à faire un tout (une totalité).

Le formatage généralisé est à la fois le vecteur et la manifestation de ce parcours/construction à visée totalisante. Cela n'est pas sans rapport avec l'argument avancé par Pascal Robert pour justifier la présence du véhicule « classeurs » à un niveau très général, mais aussi comme véhicule comparable à l'ordinateur lui-même parmi les véhicules « informatiques », et qui est le suivant :

¹²² Le cas des « classeurs » qui figure à la fois comme véhicule très général au même niveau que les « informatiques » mais aussi comme cas particulier parmi les « informatiques » semble le seul contre exemple, par ailleurs justifié par Pascal Robert à partir d'un argument à portée locale. Nous reviendrons un peu plus loin sur cette justification pour lui redonner une portée plus générale.

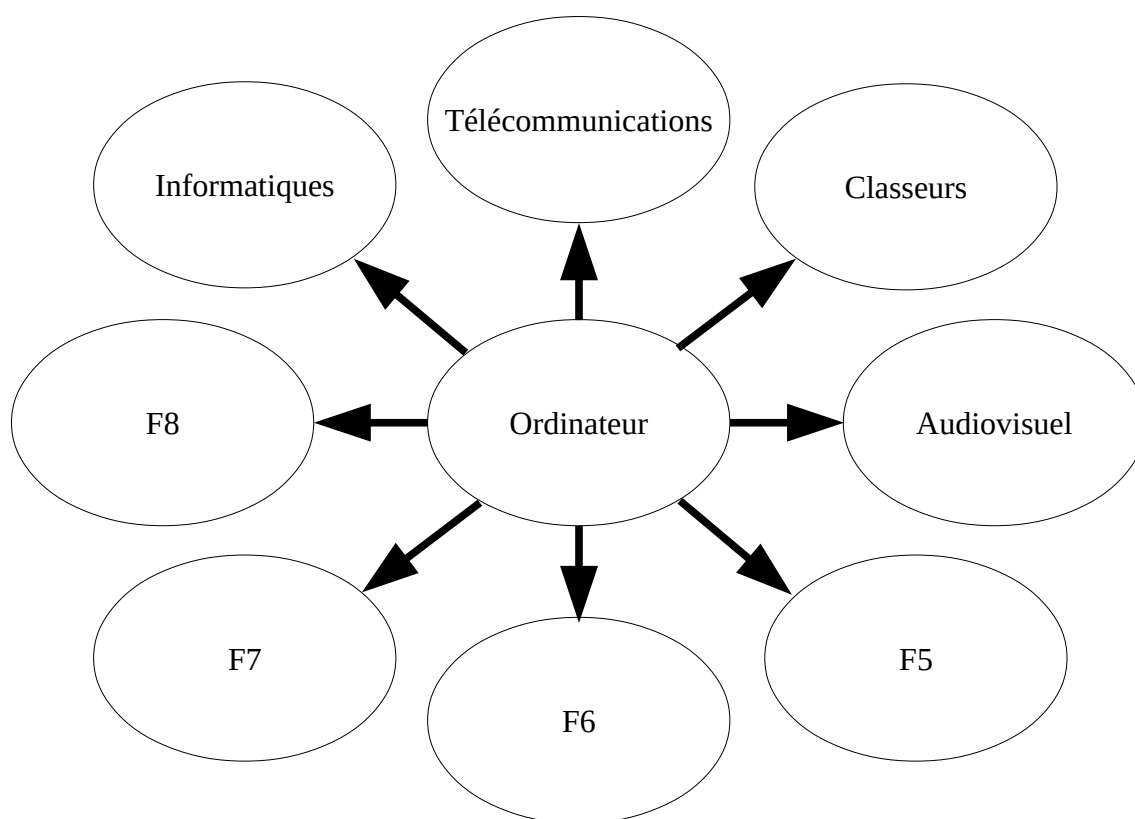
« [...] il nous semble indispensable de réintroduire les classeurs dans l'histoire de l'informatique (d'où leur inclusion dans ce deuxième schéma alors même qu'ils restent séparés de l'informatique dans le précédent), c'est-à-dire l'ensemble des outils de mise en coupe réglée du monde, en grille, en nomenclature, outils d'indexation, de stockage, etc. Tous outils de « formatage généralisé » qui nous familiarisent là encore avec cette attitude fondamentale d'une interprétation du monde au travers d'une transcription informationnelle. » (Ibid. p.199)

Si le formatage généralisé et son véhicule d'exploration/construction que sont les « classeurs » figure dans le même espace de problèmes que celui de l'automatisation du traitement de l'information, c'est bien effectivement qu'ils participent à « une interprétation du monde au travers d'une transcription informationnelle » nécessaire à cette automatisation. Mais l'avènement de l'ordinateur transforme ce lien nécessaire puisqu'il ne s'agit plus de formaliser un problème de classement selon les catégories propres à son contenu¹²³ mais selon celles du calcul au sens de Turing/Church, c'est-à-dire abstraites et sans égard pour ce contenu, justement. À ce titre, le véhicule « classeurs » a subi au passage un profond remaniement car il est lui-même pris en charge aujourd'hui par les traitements automatisés confiés aux ordinateurs. En effet, l'organisation structurée de la mémorisation, du traitement et de la circulation de l'information est aujourd'hui d'abord pris en charge par des investissements de formes (Boltanski et Thévenot 1991) numériques que sont respectivement les standards de métadonnées, les langages de programmation et les protocoles (numériques) de communication¹²⁴.

123 Comme dans le cas des classements bibliographiques, y compris pour les plus sophistiqué tel que le Répertoire Bibliographique Universel organisé selon la Classification Décimale Universelle développée par Paul Otlet et Henri La Fontaine (Robert 2015)

124 Nous avons notamment abordé et illustré les effets de cette prise en charge pour le premier domaine à partir de l'analyse du cas de l'open data, nous consacrerons la deuxième partie de cette thèse à une étude de cas relevant du troisième domaine, avec le protocole Bitcoin.

Au final, le modèle CRITIC que nous proposons pour rendre compte de la position spécifique de l'ordinateur se traduit par le schéma suivant :



Si le véhicule est toujours en position de converger vers une fonction macro-sociétale – c’est ce qu’indique le sens des flèches – il le fait de manière « rayonnante » en traversant toutes les autres familles de véhicules pour lesquelles une phase de formatage aura permis que s’y déploient les capacités de parcours/construction spécifique de l’ordinateur, à savoir le déroulement de calculs au sens de procédures formelles exécutées pas à pas. On retrouve donc en déployant le caractère bifide des techniques numériques au sein du modèle CRITIC, le ressort de ce que Pascal Robert a nommé la « provocation informatique » (Robert 2010, chapitre 13) qui consiste à « introdui[re] toujours des propositions apparemment “techniques” qui déstabilisent et qui appellent en retour une réponse. [L’informatique] emporte toujours un potentiel de changement (qui néanmoins ne s’actualise pas forcément localement, sans disparaître pour autant). » (Ibid. p.339)

Au lieu de susciter une multiplicité de véhicules en mesure de parcourir/construire, chacun avec leurs spécificités, l’espace des problèmes soulevés par une mise en tension d’une

fonction macro-sociétale, celles-ci deviennent à contrario les supports indifférents pour les parcours/constructions menés avec un véhicule unique qui les subsume sous la catégorie de calcul au sens de Turing/Church. Cette primauté nouvelle du véhicule face aux fonctions macro-sociétales est une autre façon de décrire la logique de « gestionnarisation » (Robert 2004, 2011, 2014b).

4. **Rapprochement avec la production marchande**

Ce que montre notre déclinaison du modèle CRITIC appliqué à l'informatique, c'est que l'ordinateur opère un renversement qui donne en quelque sorte au véhicule un rôle déterminant en lieu et place de celui qu'occupait la fonction macro-sociétale, sans pour autant la faire disparaître. Cela n'est pas sans rappeler la façon dont Guy Debord évoque dans son ouvrage *La société du spectacle*, les conséquences du caractère bifide de la marchandise et notamment le rôle de la valeur marchande :

La valeur d'échange n'a pu se former qu'en tant qu'agent de la valeur d'usage, mais sa victoire par ses propres armes a créé les conditions de sa domination autonome. Mobilisant tout usage humain et saisissant le monopole de sa satisfaction, elle a fini par diriger l'usage. Le processus de l'échange s'est identifié à tout usage possible, et l'a réduit à sa merci. La valeur d'échange est le *condottiere* de la valeur d'usage, qui finit par mener la guerre pour son propre compte. (Debord, 1967, thèse 46)

Pareillement, l'ordinateur peut être qualifié de *condottiere*¹²⁵ de l'information et de la communication. Mais plus encore, l'ordinateur peut être qualifié de *condottiere* de la forme de synthèse sociale au sein de laquelle il est apparu. En effet, la fonction macro-sociétale de mémorisation, de traitement et de circulation dont il est initialement un des véhicules puis, tendanciellement, le véhicule par excellence, a été « mise sous tension par le double mouvement d'intensification/densification et de changement d'échelle » consécutif aux révolutions industrielle et politique. Le parcours/construction de l'espace de problèmes ouvert par cette mise sous tension a été la réponse aux contraintes posées par l'accélération des flux

125 Dans l'Italie de la fin du Moyen-Âge et de la Renaissance, le *condottiere* est un chef de mercenaires à qui sont confiés les actions militaires commanditées par un prince ou tout autre représentants d'une cité-État. La puissance qu'il acquiert au travers de cette mission le rend souvent capable de prendre le contrôle de l'entité dont il était initialement au service.

matériels et humains qui en a résulté. La forme de synthèse sociale qui voit l'émergence et le déploiement de ces révolutions est donc aussi celle qui suscite comme réponse une vitesse accrue de l'information et donc la mobilisation, parmi d'autres, d'une réponse telle que l'ordinateur. Mais une fois apparue, les spécificités de cette réponse lui donne une place inédite parmi l'ensemble des réponses possibles. Cette place résulte d'un renversement qui voit la part abstraite devenir déterminante. Ce renversement met l'ordinateur (et son mouvement apparent qu'est l'informatisation) en position d'assurer une certaine forme de synthèse sociale par la connexion implicite qu'il réalise entre les différentes activités sociales « équipées » avec cette machine particulière. Ainsi, l'ordinateur est le potentiel *condottiere* de la forme de synthèse sociale contemporaine du fait que, en son sein, la part abstraite est le *condottiere* de sa part concrète, comme la valeur d'échange l'est pour la valeur d'usage au sein de la marchandise.

L'usage du modèle CRITIC nous a donc permis d'inscrire les spécificités de l'ordinateur non seulement dans le domaine des TIC, mais plus largement dans le cadre d'une forme de synthèse sociale dont nous avons pu dessiner quelques contours en la situant dans un cadre comprenant les révolutions industrielle et politique de la fin du XVIII^e siècle. Ce qui pourrait paraître au premier abord trivial comme résultat – l'ordinateur fait partie des technologies de l'information et de la communication qui, elles-mêmes, sont un aspect des sociétés contemporaines – s'avère en fait plein de subtilités et de conséquences profondes. En effet, dès lors que cette appartenance est abordée en prenant en compte le caractère bifide de l'ordinateur et que, de plus, ce caractère est interprété à partir d'un effort de modélisation au niveau macro-sociétal, l'informatisation prend un nouveau sens qui renverse en quelque sorte le rapport entre société et technique. Si la société industrielle est dans un premier temps le contexte d'apparition de cette technique, elle devient ultérieurement le support pour le déploiement tautologique de cette technique, car au-delà de ses performances employées à telle ou telle résolution de problème, c'est sa capacité à parcourir/construire une totalité abstraite – sans égard pour les contenus spécifiques – qui en fait le dénominateur commun propre à accueillir la diversité des activités sociales dans une forme synthétique, celle du calcul au sens de Turing/Church.

Ce genre de dialectique a été largement exploré par Karl Marx (2016) dans son analyse de la production marchande, et notamment dans celle, fondamentale, du travail producteur de marchandises. Des lectures renouvelées de ces analyses posant la forme-marchandise comme

fondement de la forme de synthèse sociale moderne ont été faites par Moishe Postone (2009). Celui-ci reprend notamment la démonstration du caractère non contingent du mode de production industriel dont l'avènement s'avère déterminé par le capital.

« C'est avec l'avènement de la grande production industrielle que, selon Marx, le capital vient à soi. Marx analyse ce mode de production comme *la matérialisation adéquate du procès de valorisation, comme l'incorporation du double caractère des formes sociales sous-jacentes au capitalisme* et donc comme l'expression adéquate de la nature contradictoire, spécifique, de la pulsion du capital vers des niveaux toujours plus élevés de productivité. » (Postone, 2009, p.493)

Pour bien comprendre le propos de Postone, il faut préciser que le *mode* de production industriel ne doit pas être réduit à ses *moyens* de production au sens technique du terme. Un mode de production n'est pas qu'un empilement de moyens techniques, c'est aussi une certaine façon d'induire la cohésion a priori des producteurs avant même que ne s'engagent concrètement leurs activités, au point de déterminer le contenu et l'orientation que prennent justement ces activités, y compris dans la sélection des techniques. Dans la production marchande généralisée, qui est le contexte d'émergence des techniques industrielles, ce qui fait cette cohésion, ce sont les contraintes objectives induites par « le double caractère des formes sociales sous-jacentes au capitalisme », à savoir le caractère bifide de la marchandise et du travail qui présentent une face concrète correspondant à leurs contenus spécifiques et une face abstraite correspondant à leurs mises en équivalence sur une base temporelle : le temps de travail socialement nécessaire.

Le cas des techniques numériques peut cependant être éclairé d'un jour nouveau à partir d'un commentaire sur un passage du célèbre « fragment sur les machineries » qui fait partie des travaux préparatoires (Marx, 2011) à la rédaction du *Capital*. Marx y évoque le devenir capital du moyen de travail¹²⁶, c'est-à-dire le fait que l'ensemble des moyens mobilisés dans la production capitaliste se trouvent déterminés par ce mode de production. D'une part dans son existence matérielle, cet ensemble emprunte une trajectoire nécessaire qui est celle des technologies industrielles. D'autre part, dans son existence formelle, cet ensemble accumulé

¹²⁶ Le moyen de travail représente l'ensemble des techniques mises en œuvre dans la production de marchandises, que ces techniques soient matérielles ou immatérielles, équipement individuel ou infrastructure à l'échelle d'un continent comme les réseaux énergétiques ou informationnels. Il peut s'agir, par exemple, d'un procédé de transformation chimique, d'un appareil de transmission de puissance, ou bien encore de l'organisation rationalisée d'une chaîne de montage.

et sans cesse renouvelé devient lui-même capital fixe et donc se trouve indissociablement lié au mouvement du capital en général.

Dans la machine, et plus encore dans la machinerie comme système automatique de machines, le moyen de travail est transformé quant à sa valeur d'usage, c'est-à-dire quant à son existence matérielle, en une existence adéquate au capital fixe et au capital en général ; quant à la forme sous laquelle il a été intégré comme moyen de travail immédiat dans le procès de production du capital, elle est abolie au profit d'une forme posée par le capital lui-même et qui lui est adéquate. (Marx, 2011, p.652)

On peut déjà noter que l'appareil industriel que représente l'ensemble des moyens numériques de production est pris dans cette même détermination. En tant que moyen d'automatiser la production¹²⁷, il participe à un niveau supérieur d'intégration du système des machines qui constitue le corps nécessaire, et lui-même nécessairement en mouvement, de la production capitaliste. Cet ensemble existe aussi formellement en tant que capital fixe qui peut se manifester aussi bien dans les *datacenters*, dans les brevets que dans les bases de données. De même, l'informatique produit à de nouvelles échelles, à la fois dans l'étendu et dans la profondeur, un effet d'encapsulation, c'est-à-dire la disparition au sein de boîtes noires des principes physiques et formelles qui animent la machinerie et pèsent en retour sur des usagers bien incapables d'en saisir le fonctionnement et donc de comprendre d'où proviennent les effets qu'ils ne peuvent que constater.

La science, qui oblige les membres sans vie de la machine, en vertu de leur construction, à agir de la manière voulue, comme un automate, n'existe pas dans la conscience de l'ouvrier, mais agit sur lui à travers la machine comme une force étrangère, comme une force de la machine elle-même. (Marx, 2011, p.653)

« Ce qui agit » dans le cas de l'informatique est d'autant plus difficile à saisir qu'il y a de multiples niveaux d'encapsulation. Tout d'abord du fait d'une matérialité inscrite dans l'infiniment petit, à des échelles inobservables. Ensuite par l'effet à distance, c'est-à-dire la possibilité que la machine agissante et ses effets ne soient pas « en présence ». Et enfin, par le fait que les effets sont de plus en plus perçus comme des modifications de l'environnement plutôt que comme des chaînes causales, même supputées (Rouvroy et Berns, 2013)

¹²⁷ En effet, les techniques numériques ont introduit de nouveaux objets de consommation qui ont largement fait irruption dans notre quotidien, mais de façon moins spectaculaire, ces techniques ont surtout été employées dans la rationalisation des processus de production.

Si l'informatique est donc une nouvelle phase dans l'équipement de la production (et que par ailleurs cet équipement ne se localise plus *stricto sensu* dans des *unités* de production), il faut tout de même d'abord appréhender cette machinerie comme une étape dans un procès historique animé par la dynamique du capital.

Le développement du moyen de travail en machinerie n'est pas fortuit pour le capital, mais il est la réorganisation historique du moyen de travail traditionnel légué par le passé, qui se voit remodelé de manière adéquate au capital (Marx, 2011, p.654).

Comme l'indique Marx dans la remarque ci-dessus, il faut cependant aussi prendre en compte que ce procès n'est pas qu'une accumulation matérielle mais aussi une mise en adéquation formelle du capital avec lui-même. La forme la plus adéquate que le capital fixe puisse prendre à l'époque où Marx rédige les *Manuscripts de 1857-1858* -- plus connus sous le nom de *Grundrisse*, et qui constituent un recueil de travaux préparatoires à la rédaction du *Capital* – et qui va se prolonger jusqu'à la fin du fordisme, c'est celle de l'appareil industriel en tant que valeur d'usage mise en œuvre dans la production de marchandises. S'il s'agit de la forme la plus adéquate dans un premier mouvement, elle n'épuise cependant pas les possibilités de mise en adéquation plus avancée.

La machinerie apparaît donc comme la forme la plus adéquate du capital fixe et le capital fixe, pour autant que le capital est considéré dans sa relation à lui-même, comme la forme la plus adéquate du capital en général¹²⁸. D'un autre côté, dans la mesure où le capital fixe est maintenu captif dans sa propre existence de valeur d'usage déterminée, il ne correspond pas au concept du capital, qui, en tant que valeur, est indifférent à toute forme déterminée de valeur d'usage et qui peut prendre ou quitter l'incarnation indifférente de chacune d'entre elles (Marx, 2011, p.654)

Dans le cas des techniques numériques cette machinerie n'est plus maintenue captive dans sa propre existence de valeur d'usage puisqu'elle comporte matériellement une face indifférente à toute forme déterminée de valeur d'usage. En chaque moment de la machinerie, c'est toute sa potentialité universelle qui peut s'exprimer sur la base d'un usage particulier qui l'actualise. De même, chacun de ces moments est déployé à la fois pour la valeur d'usage

¹²⁸ Marx distingue, dans la composition du capital, deux parties en interaction : le capital constant représentant les actifs destinés à être utilisés dans le processus de production (machines, brevets, matières premières...) et le capital variable représentant la force de travail vivant mobilisée dans ce même processus. Il fait par ailleurs une autre distinction entre capital fixe (sous forme de biens durables) et capital circulant (sous forme d'achat de matières premières et de salaires).

qu'il apporte mais aussi, simultanément, pour la totalité abstraite qu'il contribue à parcourir. De même que Marx expose le caractère fétiche qui résulte de la forme-marchandise, c'est-à-dire le renversement réel qui s'opère entre concret et abstrait – le concret devient le simple support indifférent du déploiement tautologique et irrationnel de l'abstrait (Postone, 2013) –, on peut tirer un constat similaire des techniques numériques¹²⁹.

Pour inscrire les techniques numériques dans la notion, proposée par Postone (2009), de « technique industrielle comme matérialisation adéquate à la dynamique du capital », il nous faut remplir plusieurs conditions : la première est de trouver une affinité particulière entre les propriétés de la technique étudiée et la dynamique de la production marchande ; la deuxième est de vérifier que cette affinité puisse s'élever à un niveau global et avoir un impact sur la société dans son ensemble ; la troisième est de situer cette affinité dans le moment historique correspondant à son avènement afin de rattacher nécessairement ce dernier à une restructuration du processus de valorisation du capital. Avec le caractère bifide des techniques numériques, nous avons rempli la première de ces conditions. Production marchandise généralisée et calcul au sens de Turing/Church ont tous les deux, comme noyau fondamental, un principe formel constitué par une dialectique concret/abstrait et apte, dans chacun des deux cas, à déployer une dynamique tautologique. Le modèle CRITIC, que nous avons élaboré pour prendre en compte ce caractère bifide, nous a permis de satisfaire à la deuxième condition. Ce passage par la modélisation constitue une étape décisive dans notre tentative de mieux cerner les tenants et les aboutissants de la rencontre adéquate entre capital et numérique, puisque, au-delà d'une analogie formelle ou d'un cas particulier, le modèle ouvre la perspective d'un impact des techniques numériques à l'échelle macro-sociétal, et non plus seulement comme collection hétéroclite d'usages distincts. Pour statuer sur la troisième condition, nous allons, dans le chapitre suivant, inscrire notre réflexion dans les différents retours à Marx, qui fleurissent dans les sciences de l'information et de la communication depuis une décennie, afin de mieux cerner où en est le processus de valorisation du capital et son rapport avec les TIC à l'ère numérique.

129 Le cas Bitcoin que nous étudierons dans la deuxième partie en est une illustration. La notion de « preuve de travail » qui lui est associée est un rappel (ironique) du rôle que joue le travail producteur de marchandise dans la synthèse sociale moderne. Nous verrons comment la dynamique aveugle qui en résulte rend tout « pilotage » rationnel totalement illusoire, que ce soit par les machines ou un processus politique, puisque *cette synthèse s'effectue « dans le dos » des participants* (Jappe, 2012)

5. Conclusion du chapitre

Un rapprochement à portée globale, basé sur des similitudes formelles et conduisant à un premier niveau d'adéquation, se dessine donc entre ordinateur et marchandise. S'il n'est pour l'instant posé qu'à un niveau très général, ce rapprochement va cependant au-delà de celui que nous avons établi précédemment entre le fétichisme de la marchandise et un fétichisme numérique impliqué dans la seule représentation des informaticiens. Nous avons construit dans ce chapitre un modèle CRITIC de l'informatique qui nous a permis de déployer plus largement le caractère bifide des techniques numériques. Nous pouvons, en effet, maintenant connecter cette propriété à l'ensemble des activités sociales d'une manière non triviale, au-delà d'un constat sur la collection hétéroclite des usages. De plus, la similitude formelle entre ordinateur et marchandise n'est pas cantonnée à la seule analogie fortuite, car l'adéquation que nous avons pour l'instant esquissée à partir d'un commentaire sur le célèbre passage des *Grundrisse*, est une extension du genre d'adéquation que Moishe Postone envisage lorsqu'il qualifie les techniques industrielles de « matérialisation adéquate au mouvement du capital ».

Pour donner plus de corps à ce rapprochement et l'inscrire dans un mouvement historique, nous allons explorer les manifestations les plus récentes de l'informatisation des TIC en abordant les plateformes numériques. Celles-ci sont en effet devenues en peu de temps le terrain de nouvelles problématiques concernant la production marchande, notamment au travers de la notion de *digital labor*. Cette exploration, guidée par l'exposition d'un cadre théorique adéquat aux mutations les plus récentes de ce mode de production, nous permettra de donner une description plus précise de la forme de synthèse sociale constitutive des sociétés industrielles. En effet, nous ne l'avons jusque-là caractérisée que par son ressort fondamental inscrit dans la forme bifide du travail producteur de marchandises, sans entrer plus dans les détails de la dynamique historique induite. Une fois que nous aurons déployé les conséquences de cette dynamique sur la fin du modèle fordiste, nous pourrions situer l'émergence des techniques numériques dans l'histoire de ce déploiement et réciproquement fournir une explication de la contribution de ces techniques simultanément à son épuisement et au prolongement du capitalisme dans la phase post-fordiste.

Chapitre 5 : Les plateformes numériques à l'aune du fétichisme

Nous avons posé, dans les trois chapitres précédents, quelques jalons du cadre théorique dans lequel nous souhaitons situer les techniques numériques. Le tout premier a consisté en une analyse épistémologique du calcul au sens de Turing/Church, qui constitue le fondement de la mise en œuvre des ordinateurs, eux-mêmes à la base du développement du numérique. Cette analyse, menée dans le chapitre 2, a permis de mettre en évidence une forme bifide concret/abstrait, propre à alimenter une dynamique générale où le concret sert de support au parcours d'une totalité abstraite indéfinie, et donc reboucle indéfiniment sur cet espace subsumant. Dans le chapitre 3, nous avons développé le caractère fétiche que cette forme pouvait induire, en montrant, notamment, comment la dimension abstraite, refoulée par des acteurs sociaux qui ne peuvent l'appréhender sur un plan phénoménologique, est projetée de manière inconsciente sur la figure ambivalente de l'informaticien. Cependant, pour ne pas s'en tenir à une approche idéaliste du fétichisme numérique, et garder ainsi comme perspective la notion de « matérialisation adéquate à la dynamique du capital » (Postone 2009), il nous a fallu inscrire ces propriétés (forme bifide concret/abstrait induisant une dynamique tautologique) dans un modèle à portée macro-sociétale. Cette démarche seule permet, en effet, de ressaisir des réalités matérielles et historiques diverses, sans pour autant les réduire à un catalogue disparate et purement contingent ou à l'application mécanique d'un principe formel transcendant. Le chapitre 4 a ainsi constitué une étape importante et fondamentale, en établissant un modèle CRITIC (Robert 2009) de l'informatique prenant en

compte sa forme bifide et son caractère fétiche. Ce modèle met notamment en évidence le renversement opéré par l'introduction des techniques numériques dans l'ensemble des espaces de problèmes ouverts par la mise en tension des fonctions macro-sociétales, sous l'effet de l'accélération des flux matériels, informationnels et humains. Le véhicule « informatique » reconfigure, en quelque sorte, ces espaces de problèmes, en leur attachant une dimension supplémentaire qui lui permet de circuler potentiellement de l'un à l'autre, sans égard pour leur contenus propres. Par la façon spécifique qu'il a de parcourir et construire ces espaces, ce véhicule singulier prend alors le pas sur toutes les autres particularités qu'il subsume dans le « formatage généralisé » (Robert 2009). Cette spécificité peut être rapprochée de celle qui caractérise, selon Marx (2016), la production marchande généralisée comme forme de synthèse sociale, et donc la dynamique du capital. Nous avons donc, à ce stade, un modèle de l'informatique qui fait de celle-ci un objet sociotechnique à une échelle macro-sociétale et la rapproche formellement de la production marchande. Pour répondre totalement à la notion de « matérialisation adéquate à la dynamique du capital », il nous faut encore réaliser une ultime connexion entre informatique et capital. Comme nous l'avons indiqué dans le chapitre préliminaire avec l'exemple des énergies fossiles, le développement d'un macro-système technique dans le cadre de la production marchande généralisée doit être interprété comme la manifestation d'une crise de la production de valeur, et donc mis en rapport avec un moment historique particulier de cette forme de synthèse sociale. Pour cela, il nous faut identifier le moment en question et les ressorts de son avènement, avant de déterminer les liens entre ces ressorts, l'informatique et les possibilités d'ajournement de la crise que cette dernière a permis de déployer.

Nous proposerons donc tout d'abord quelques commentaires sur la notion de *digital labor*, suggérant la nécessité d'engager un retour théorique sur la notion de valeur telle qu'elle est abordée dans la tradition marxiste dont se réclame les auteurs qui font la critique du capitalisme cognitif, mais aussi ceux de l'économie politique de la communication, qui sera également examinée. Le cadre théorique retenu dans notre thèse sera ensuite esquissé, tout du moins dans les aspects qui vont intéresser le développement de notre argument. Ce cadre relève pleinement de la critique marxienne de l'économie politique et permettra de situer la montée en puissance et le rôle des plateformes numériques dans le contexte d'un capitalisme « inversé ». Nous proposerons alors de l'illustrer en analysant, dans un premier temps, le cas des plateformes numériques qui tirent leurs revenus de la vente d'espaces publicitaires, telles

que Google et Facebook. Cela nous amènera à conclure que le *digital labor*, ainsi que les plateformes numériques qui ont permis l'émergence du phénomène, s'inscrivent dans la dynamique générale induite par le fétichisme de la marchandise¹³⁰ (Postone 2013), tout en le prolongeant dans un fétichisme du numérique (Arrivé 2015). Cette dynamique associe des activités sociales, comme support nécessaire, et des possibilités de calculs pris en charge par les techniques numériques, comme ressort déterminant. L'assemblage constitue alors le modèle générique des « porteurs d'espoirs » (Trenkle et Lohoff 2014) requis pour la phase « inversée » du capitalisme, faisant des techniques numériques une matérialisation particulièrement adéquate à la dynamique du capital (Postone 2009) dans cette phase.

1. Les retours à Marx pour saisir le *digital labor*

L'émergence, au tournant des années 2000, puis la montée en puissance des plateformes numériques avec des acteurs incontournables tels que Google ou Facebook, par exemple, a récemment été abordée en sciences de l'information et de la communication sous l'angle du *digital labor*¹³¹. Dans l'ouvrage collectif publié sous la direction de Trebor Scholz (2012) et qui explore différentes pistes liées à cette notion, de multiples contributions tentent de cerner ce qui est apparu comme un vaste objet d'études à l'occasion des journées qui lui ont été consacrées en 2009 au sein de *The New School* de New York¹³². Ces pistes ont nourri des réflexions supplémentaires et les publications se sont multipliées sur le sujet dans les cinq dernières années. On peut citer notamment le numéro de la revue *triple-C* (Sandoval & al. 2014) consacré aux définitions, aux dimensions et aux formes du *digital labor*, et publié dans

130 « *Le fétichisme de la marchandise selon Marx ne doit pas être interprété comme un phénomène d'adoration irrationnelle des objets de consommation, mais plutôt comme un renversement [...]* » (Arrivé 2015). « [...] *la production marchande telle qu'elle a été critiquée par Marx [...] induit un renversement où l'abstrait, comme indifférence au contenu, prend le pas sur les usages concrets revendiqués par leurs promoteurs* » (Arrivé 2016)

131 Si la traduction directe de ce terme pourrait être « travail numérique », elle ne rend pas compte des connotations que le mot « labor » peut exprimer en anglais. De même en français, il existe des nuances entre travail, œuvre, activité ou bien encore emploi. La difficulté de traduction provient du fait que l'éventail de ces nuances ne recoupe pas celui constaté dans l'usage des termes labor, work ou job. Comme le terme « digital labor » semble aujourd'hui s'imposer tel quel dans la communauté des chercheurs impliqués, nous préférons donc prolonger cette convention, même si nous engagerons plus loin une critique de l'emploi de ce terme pour recouvrir des phénomènes qui nous semblent relever de situations bien différentes.

132 cf. <http://digitallabor.org>

le contexte d'un projet de recherche européen porté par le programme COST¹³³, ainsi que les articles d'Antonio Casilli sur le sujet, et notamment celui (Casilli 2015) rédigé à l'occasion d'un débat avec Dominique Cardon qui s'est engagé lors d'une séance des ateliers méthodologiques organisés par l'INA et animés par Louise Merzeau¹³⁴.

Christian Fuchs, un des principaux animateurs de la revue Triple-C, assume une position selon laquelle les théories économiques de la valeur-travail – qu'il attribue par ailleurs à Marx – sont applicables, à l'ère de la production informationnelle, aux activités des utilisateurs de plateformes numériques dès lors qu'elles conduisent à faire émerger un marché des annonces publicitaires. Il fonde cette position à partir d'arguments dérivés de ceux avancés par Dallas Smythe dans les années 1970 concernant la « part d'audience » qui fait du consommateur de produits culturels via les médias de diffusion de masse – comme la télévision, par exemple – un producteur à part entière. En effet, Smythe (1977) considère que tout temps qui n'est pas consacré au sommeil peut être vu comme du temps de travail potentiel et que son actualisation ne dépend que des moyens mis en œuvre pour le capter. Avec les médias grand public, et notamment les plateformes numériques, c'est donc tout le temps hors sommeil qui devient tendanciellement du temps de travail productif, car inséré dans un processus induisant une création de richesses. Pour Fuchs, cette création de richesses est objectivée dans la valeur qui a pour manifestation le profit¹³⁵, donc là où se manifeste le profit, il y a de façon sous-jacente impérativement création de richesses et mobilisation d'un travail productif. Sur cette base là Fuchs est amené à calculer des taux de productivité et d'exploitation dans le secteur des industries informationnelles en s'appuyant notamment sur des outils d'économétrie de diverses écoles marxistes contemporaines, ainsi que des statistiques sur ces industries (Fuchs 2017). Cette approche qui nécessite de travailler sur des données agrégées trouve cependant ses limites lorsqu'il s'agit d'identifier – au sein de ces statistiques – et de quantifier la part produite par l'activité des utilisateurs de plateformes numériques.

Pour Antonio Casilli, le *digital labor* se situe toujours dans le registre de la captation de valeur par les opérateurs de plateformes numériques. Mais plutôt que la « part d'audience » – c'est-à-dire la seule consommation d'un produit culturel – c'est au contraire une certaine forme d'activité plus ou moins consciente qui constitue le contenu de cette valeur. Il s'agit

133 cf. <http://dynamicsofvirtualwork.com>

134 cf. <http://atelier-dlweb.fr/blog/?p=1293>

135 « The commodity is the economic form that objectifies value generated by humans and whose sale results in the realisation of monetary profit. » (Fuchs 2017) « La marchandise est la forme économique qui objectifie la valeur produite par des humains et dont la vente aboutit à la réalisation d'un profit monétaire ».

soit de traces comme « manifestations passives de la présence en ligne » comme cela peut être le cas au travers de l'usage de Facebook ou Google, soit de micro-tâches « non spécialisées et à faible niveau d'implication des usagers » sur des plateformes telles que *Amazon Mechanical Turk* (Lazuly 2006)¹³⁶. Ainsi, le temps passé sur les plateformes peut être perçu comme un temps libre mais cela n'est pas essentiel à la notion de *digital labor* mise en avant par Casilli. Ce qui est déterminant dans cette vision, c'est plutôt la fragmentation extrême de l'activité et son invisibilisation découlant d'un mode de production où l'appareil productif est particulièrement diffus et organisé par des opérateurs qui jouent le rôle d'intermédiaires de marché. En cela, il rejoint les analyses de l'opéraïsme, un courant du marxisme qui s'est développé initialement en Italie et qui, dès les années 1960, se penche sur les transformations du monde du travail induites par les mutations du modèle fordiste. Dans des développements plus récents, et notamment l'ouvrage *Empire* de Michael Hardt et Antonio Negri (2000), l'accent est mis sur la montée en puissance du travail immatériel et le passage à l'économie informationnelle. Ces nouvelles conditions constitueraient les bases d'une réappropriation par leurs producteurs des fruits d'un travail hautement fragmenté – mais de ce fait aussi hautement socialisé – pour peu que ces travailleurs sachent dépasser l'aliénation dans laquelle les dispositifs et opérateurs aujourd'hui en place les maintiennent. Les positions de Hardt et Negri sont fondées sur une relecture du « fragment sur les machines » que nous avons évoqué en fin de premier chapitre. C'est la notion de *general intellect*¹³⁷ forgée par Marx dans ce

136 L'article de Pierre Lazuly publié en août 2006 dans le *Monde diplomatique* se fait l'écho de préoccupations récentes évoquées par la presse anglo-saxonne (*InfoWorld*) concernant la radicalisation de la pratique de l'*offshore* (délocalisation) dans le domaine des prestations intellectuelles. Cette radicalisation passe par l'intermédiaire de plate-formes numériques basées sur les technologies du Web, et que ses premiers observateurs qualifient à juste titre de *webshore*. Si l'article de Lazuly n'emploie pas le terme de *digital labor* et s'en tient à des qualifications plus classiques telle que « travail à la pièce », il expose déjà des concepts largement repris dans ce champ d'étude, tel que l'« intelligence artificielle artificielle ». Lazuly note par ailleurs que la pratique du *webshoring* introduit « une indifférence absolue quant à votre situation géographique » (nous soulignons).

137 Nous avons proposé une autre interprétation des catégories proposées par Marx dans le « fragment sur les machines » ainsi que de leurs articulations. Sans vouloir faire de notre interprétation une version définitive, la façon dont la notion de *general intellect* est plaquée par Antonio Negri sur les dispositifs info-communicationnels contemporains, et notamment ceux numériques, nous semble contestable. Dans le fragment en question, le terme *intellect* n'apparaît que deux fois : une première fois au début comme synonyme d'automatisme pour indiquer que la forme adéquate de toute machine est la combinaison d'une force motrice et d'organes d'autocontrôle (comme le régulateur à boules de la machine à vapeur, par exemple). La seconde occurrence est à la toute fin du fragment comme *general intellect*, c'est-à-dire généralisation de la régulation automatique à l'ensemble de la société par la connaissance comme facteur de production devenu primordial. Or, cette vision d'une régulation automatique qui sous-tend une forme d'oscillation stable autour d'un point d'équilibre nous paraît tout à fait antinomique avec l'analyse des techniques numériques que nous proposons. En s'en tenant aux termes de la cybernétique, on pourrait dire que la régulation envisagée par Negri proviendrait d'une rétroaction négative alors que la dynamique des techniques numériques serait plutôt fondée sur une rétroaction positive.

passage des *Grundrisse* qui est mobilisée pour conceptualiser une trajectoire partant du capitalisme industriel pour aboutir à un capitalisme cognitif (Negri & Vercellone 2008).

Les approches préalablement citées concernant le *digital labor* s'attachent donc à mettre en évidence la marchandisation des interactions humaines via les plateformes numériques, et invoquent pour cela la tradition marxiste¹³⁸ qui analyse le travail en terme d'exploitation et/ou d'aliénation. Elles ont donc pour point commun de chercher à identifier les mécanismes de répartition, plus ou moins équitable et transparente, de la plus-value induite par la production informationnelle, et n'abordent pas la critique – pourtant initiée par Marx – de la forme même de ce qui est produit dans les sociétés modernes, avant même d'envisager la répartition de ses fruits ou les effets de dépossession qu'elle induit. La question se pose alors de savoir si, en partant d'une *critique de l'économie politique* – et non pas d'une *économie politique critique*¹³⁹ – il ne serait pas possible de caractériser le *digital labor* de manière plus adéquate, et notamment le lien qui se noue entre *digital* et *labor*, au-delà et en deçà d'un premier geste nécessaire de juxtaposition pour désigner un foisonnement de phénomènes plus ou moins inédits.

Un retour théorique nécessaire sur la notion de valeur

La notion de *digital labor* se définit, selon Casilli (2015), comme « *la réduction de nos « liaisons numériques » à un moment du rapport de production, la subsumption du social sous le marchand dans le contexte de nos usages technologiques* ». Fuchs et Sandoval (2014) définissent pour leur part le *digital labor* dans une perspective qui ne se limite pas aux interactions en ligne, mais plutôt comme « *un réseau d'activités [...] qui permettent l'existence et l'utilisation des médias numériques* ». Ces deux définitions, quoique permettant chacune de saisir des aspects de la combinaison inédite entre activités productives et techniques numériques, présentent cependant des lacunes. Dans la première acception, on peut en effet contester la pertinence du terme *labor* pour qualifier ce que l'on identifierait plutôt dans bien des cas comme du temps libre, tandis que dans la seconde, c'est le terme de

138 Pour un panorama des retours à Marx en SIC, notamment mobilisé à l'occasion de l'émergence de la thématique du *digital labor*, voir (Broca 2017)

139 Nous aurons l'occasion dans cette partie de notre thèse de revenir plus en détail sur cette différenciation fondamentale qui distingue deux formes d'approches critiques : celle qui tend à dévoiler des intérêts cachés et les effets de domination résultant de la lutte autour des catégories de base de l'économie par ailleurs considérées comme évidente, d'une part, et celle qui fait de ces catégories l'objet même de la critique en relativisant notamment un caractère universel et transhistorique plus ou moins implicite.

digital qui semble excessif car le « réseau d'activités » n'est appuyé que de façon contingente sur la montée en puissance du numérique (Broca 2016a).

Cette versatilité du concept peut s'expliquer par la relative jeunesse de la thématique, mais on peut aussi y voir plus foncièrement l'expression d'une phase d'exploration qui, devant la multiplicité des phénomènes, cherche à dresser un tableau raisonné de tous ces miroitements et s'abstient en l'état de formuler des hypothèses sur les dynamiques profondes qui les animent. Comme le fait remarquer Sebastian Seignani (2013) dans sa note de lecture de *Digital Labor: The Internet as Playground and Factory* (Scholz T. 2012), il y a probablement un déficit théorique, à la source de la difficulté à cerner les catégories fondamentales qui peuvent s'exprimer dans des phénomènes aussi variés :

Beside these points, [...] the edited volume leaves however unanswered very foundational questions concerning digital labour. It is mainly a collection of digital labour phenomena without contributing to a systematic theory of digital labour. (Seignani, 2013, p.134)

La collection évoquée par Seignani est celle des phénomènes identifiés comme relevant de la production et de la captation de valeur économique en contexte numérique, et donc en dernier ressort de l'exploitation d'une grande variété d'activités impliquant des outils numériques. Comme le propose Dominique Cardon dans son débat avec Antonio Casilli, « *il faudrait interroger profondément la recomposition des modes de production de la valeur dans le capitalisme digital* » (Cardon, 2015, p. 91). Mais pour interroger cette recomposition avec pertinence, il paraît d'abord indispensable ne pas employer la notion de valeur de manière implicite au risque de reproduire de fausse évidence à ce sujet. Un effort théorique qui puisse porter ses fruits en apportant des réponses à des questions fondamentales ne peut donc faire l'économie d'un retour critique sur la notion de valeur, et par la même celle de travail, ce qui constitue le cœur et le ressort de l'analyse marxienne des sociétés de la modernité.

2. Les usages de Marx en SIC

La crise financière de 2008 a indéniablement remis au goût du jour les pronostics avancés par Marx au sujet des sociétés capitalistes et de l'inexorable déclin qu'il leur prédisait. Ce moment de vacillement a ouvert un espace de doute avec des questionnements du type « et s'il avait eu raison ? ». Cela n'a pas forcément amené à un renouvellement de son lectorat et à une extension conséquente de la réception de ses travaux, aussi bien dans le milieu académique¹⁴⁰ que dans la sphère publique en général. On a plutôt assisté à la mobilisation des travaux ultérieurs qui se réclamaient des différentes écoles du marxisme, que ce soit pour les reformuler pratiquement tels quels et les appliquer à des problématiques plus actuelles, en ajustant ces dernières au préalable, ou bien pour les étendre à partir d'innovations conceptuelles tendant à raffiner les modèles originaux par l'introduction de facteurs *ad hoc*. En ce qui concerne les sciences de l'information et de la communication, cette redécouverte de Marx dans la perspective d'une application aux objets de la discipline s'enracine entre autres dans des contributions qui remontent à la fin des années 1970 (Smythe 1977, Negri 1979). Les approches qui en résultent sont aujourd'hui portées par divers auteurs développant des pistes divergentes autour du thème de la marchandisation, comme nous l'avons vu précédemment.

D'autres auteurs développent une théorie des industries culturelles et informationnelles dans le cadre d'une Économie Politique de la Communication (Miège 2012), contribuant ainsi à ramener, dans la discipline SIC, les dimensions socio-économiques des pratiques culturelles à l'ère de leur industrialisation. Les auteurs les plus soucieux de développer une dimension critique en lien avec une économie politique de la communication invoquent le plus généralement l'héritage de l'École de Francfort. Cet héritage communément admis semble toutefois problématique (Magis 2016). En effet, la référence à l'École de Francfort paraît un habit taillé trop largement, dans la mesure où ses apports couvrent un large éventail de thématiques, parfois contradictoires, et que, tant la variété des auteurs que leur renouvellement au cours du temps, constituent justement un obstacle à l'inscription univoque dans une même perspective. De fait, comme l'identifie bien Christophe Magis, le point focal

140 Ce piétinement quant à des reformulations adéquates des analyses marxistes est partiellement le fait, dans le monde francophone, d'une traduction peu rigoureuse et parsemée de contre-sens d'une version intermédiaire du *Livre I du Capital* par Joseph Roy, qui restera la seule disponible jusqu'au milieu des années 1960. On peut considérer qu'un texte de qualité et fidèle au plan, aux formulations et aux ultimes analyses de Marx n'a réellement été disponible en français qu'à partir de 1983 avec le travail de fond mené par une équipe d'une vingtaine de traducteurs sous la direction du germaniste Jean-Pierre Lefebvre. C'est sur cette version revue, corrigée et republiée aux éditions sociales en 1993 puis en 2016 que nous nous appuyons. Il en est de même pour les *Manuscrits de 1857 – 1858* (dits « Grundrisse ») traduits aussi sous la direction de J.-P. Lefebvre en 1980 et republiés en 2011.

vers lequel converge la référence francfortienne se trouve dans la notion d'industrie culturelle introduite dans un des textes du recueil *La Dialectique de la Raison* par Horkheimer et Adorno (1974 [1947]), puis reprise dans le texte (Adorno 1964) qui constitue souvent le premier contact avec Adorno dans la sphère francophone, à l'époque où s'élabore les premiers travaux de l'économie politique critique de la communication. Plutôt que d'invoquer le panthéon complet de l'École de Francfort, nous suivrons donc la voie proposée par Magis qui restreint le champ épistémologique revendiqué par l'économie politique critique de la communication comme inspiration, mais nécessitant une inflexion, à celui de la Théorie critique des médias (Voirol 2010), dont Adorno et Horkheimer sont effectivement les figures majeures.

Mais les auteurs de l'économie politique de la communication n'en sont pas moins critiques quant aux orientations que donne Adorno à l'usage opératoire de la notion d'industrie culturelle, dès lors que celui-ci l'amène à des considérations relevant de la philosophie sociale plutôt que de l'analyse socio-économique. Comme le note donc, par ailleurs, Christophe Magis,

« cette ascendance s'avère le plus souvent assumée de manière assez lointaine et mal assurée, comme une référence obligée, gage de sérieux théorique, mais qui ne débouche quasiment jamais sur une véritable élaboration épistémologique. » (Magis 2016, p.45)

Car, tout en proposant de se mettre dans les pas d'Adorno et Horkheimer en cheminant autour de la notion d'industrie culturelle, l'arpentage par l'économie politique critique du champ de la communication, des médias et de la culture est de fait balisé par « la question des rapports de pouvoir qui structurent tant la production, la diffusion que la réception des textes culturels et médiatiques » (Ibid. p.48). Comme le note une fois de plus Magis, ce balisage n'est pas sans lien, dans le cas des auteurs européens et québécois¹⁴¹, avec leur « engagement [...] dans la définition des politiques publiques liées à la production culturelle » (Ibid. p.49). Si leurs rejets de certaines orientations reprochées à la Théorie critique des médias nous semblent contestables, car empreints justement des biais de l'économie politique (y compris

141 Il faut noter que ces auteurs sont ceux qui ont particulièrement contribué à reprendre la notion d'industrie culturelle dans le champ de l'économie politique de la communication.

critique), il n'en demeure pas moins qu'ils ont bel et bien travaillé à inscrire un concept critique dans une discipline et un champ qui n'ont eu de cesse de s'en éloigner depuis.

Si nous allons mobiliser à nouveau la Théorie critique, et que nous serons amenés à en critiquer aussi certains aspects, cela se présentera selon un tout autre registre que celui mobilisé par l'économie politique de la communication. Car ce sont justement des impensés communs entre ces deux approches qui nous semblent la dimension la plus critiquable que l'on puisse identifier en deçà de la notion d'industrie culturelle. Ainsi, s'il faut reprocher quelque chose à la Théorie, quant à la fidélité de sa filiation avec le projet marxien de critique de l'économie politique, ce n'est pas d'avoir engagé une « réflexion sur des dimensions nouvelles comme la personnalité ou la subjectivité » (Ibid. p.54) en négligeant ainsi les analyses de type plus matérialiste, que les tenants de l'économie politique critique se proposent de leur côté de reprendre à nouveau frais. Ce qui est contestable dans la Théorie critique, c'est plutôt d'avoir conservé un certain nombre d'analyses de la société capitaliste, issues du mouvement marxiste, qui avalisent justement les catégories même du capital alors qu'elles avaient été fondamentalement critiquées par Marx, telles que la marchandise ou le travail. Pourtant, avec la critique fondamentale de ces catégories s'ouvre la possibilité de tenir dans un même développement consistant, la critique des « dimensions nouvelles » évoquées un peu plus haut et celle des « rapports de pouvoir », en en faisant les unes et les autres les manifestations dérivées d'une même forme de synthèse sociale. Plutôt que d'avoir approfondi la critique marxienne du travail producteur de marchandise, la Théorie critique a hypostasié une idée singulièrement prégnante dans une phase historique particulière du développement du capital, l'élevant au statut de catégorie fondamentale et déterminante. La période en question, c'est celle de l'entre-deux-guerres. L'idée en question, c'est celle de rationalisation¹⁴². Or, ce tournant est pris par Horkheimer et Adorno sous l'influence des travaux de « Friedrich Pollock, penseur très marqué par la critique de l'économie politique » (Ibid. p.53). Il faut cependant corriger la formule de Magis en indiquant que Pollock pratique en fait une économie politique critique et non pas, justement, la critique de l'économie politique. Comme l'explique Moishe Postone dans son analyse du tournant pessimiste de la Théorie critique, :

¹⁴² C'est aussi une réalité matérielle indiscutable mais – et c'est là l'écueil d'un certain matérialisme trivial – non essentielle car dérivant d'une logique plus déterminante, celle de la production marchande

« [...] le point de départ de la Théorie Critique, telle qu'elle est formulée par Pollock, est une compréhension traditionnelle des catégories marxiennes de base, couplée à la prise de conscience que ces catégories traditionnelles ont été rendues inadéquates par le développement du capitalisme au XXe siècle. Toutefois, comme cette prise de conscience n'a pas conduit à une reconceptualisation fondamentale des catégories de Marx, l'élargissement de la critique sociale du capitalisme effectuée par la Théorie Critique a entraîné nombre d'importantes difficultés théoriques. Elle a également affaibli sa capacité à saisir certains aspects du capitalisme qui se trouvent être les thèmes centraux de la critique de l'économie politique. » (Postone, 2009, p.160)

Ainsi « l'élargissement de la critique sociale [...] effectuée par la Théorie critique » et les défiances de l'économie politique critique de la communication vis à vis de ces tendances à dériver vers la philosophie sociale en abandonnant le terrain de l'analyse matérialiste sont, en fait, inscrits paradoxalement dans le même terreau, celui de l'absence de « reconceptualisation fondamentale des catégories de Marx », c'est-à-dire celles de marchandise et de travail. Là se trouve le ressort profond du lien que l'on peut tracer entre Théorie critique des médias et économie politique critique de la communication. Si « le modèle d'enquête [de l'économie politique], au fur et à mesure, tend à oublier les buts critiques initiaux de telles analyses » (Ibid. p.55), ce n'est pas tant le résultat progressif d'une « hypertrophie de la dimension économique, voire socio-économique des analyses » (Ibid.) que celui d'un retour critique manqué dès le départ sur les catégories fondamentale de la production capitaliste que sont la marchandise et le travail. À ce titre, la portée critique de l'analyse de la valeur marchande ne peut s'arrêter à la dénonciation des mécanismes générant la plus-value et son accaparement, mais doit d'abord éviter de faire de la valeur une catégorie relevant d'une pure évidence. Cela s'avère d'autant plus fondamental qu'il s'agit là justement de la première et principale production idéologique du capitalisme avec les catégories « naturalisées » de marchandise et de travail, à laquelle participe selon ses moyens propres le secteur des médias et de la communication. On voit bien qu'il ne s'agit plus dans ce cas d'un simple épiphénomène, mais que la naturalisation de ces catégories passent tout aussi bien par les discours et les représentations, et donc la construction des subjectivités, que par le simple fait que nous soyons objectivement contraint de participer à la société marchande par le biais d'une activité qui lui soit congruente, comme support indifférent à un revenu monétaire, réductible à un équivalent général aux déterminations purement quantitatives.

Tout en s'appuyant fondamentalement sur le même matériau empirique que celui de l'économique politique critique de la communication, le cadre théorique que nous allons proposer questionne le phénomène de production marchande, non pas sur le plan des stratégies des acteurs industriels ou des pratiques que les consommateurs peuvent leur opposer, mais sur celui des contraintes structurantes/structurées que cette production marchande elle-même fait peser sur leurs participations respectives. Si nous souhaitons étudier les conséquences d'une « règle du jeu », ce n'est pas celle résultant de la combinaison de modèles socio-économiques (Perticoz 2012), mais celle de la production marchande elle-même envisagée comme forme de synthèse sociale historiquement située.

Une critique des analyses marxistes du travail à partir des catégories marxiennes

Deux lignes argumentatives se croisent dans l'œuvre de Marx, depuis ses écrits de jeunesse jusqu'à ceux de la maturité, parfois au sein d'un même ouvrage, voir d'une même phrase : l'une focalisée sur les phénomènes socio-historiques manifestant la montée en puissance et l'installation définitive du capitalisme industriel et de ses nuisances, l'autre cherchant à identifier les catégories fondamentales qui caractérisent le capitalisme à un haut niveau d'abstraction et expliquent en retour ses diverses manifestations, ainsi que la logique de leur séquence¹⁴³. L'accent mis sur la première conduit à analyser la société capitaliste en terme d'antagonismes autour de la répartition des fruits de l'activité sociale et des pouvoirs concentrés par la propriété des moyens de production. L'intérêt porté à la seconde permet de mettre en évidence un ressort plus profond qui fait de ces antagonismes des phénomènes dérivés – et reconduits sous différentes formes tant que le ressort en question n'est pas aboli.

143 Dans sa production écrite, Marx mènent de front deux activités : d'une part, un travail journalistique dans diverses publications, pas toujours d'obédience révolutionnaire, qui l'amène à se documenter sur le monde et la science économiques ; et d'autre part, une réflexion sur les fondements de l'économie destinée à se positionner dans les débats théoriques et militants, au sein des courants socialistes de son époque. Si les deux facettes se répondent mutuellement, elles n'ont cependant pas la même portée quant aux prolongements qu'il est possible aujourd'hui de tirer. La première a cependant servi souvent d'aiguillon pour la seconde, notamment à l'occasion de la crise de 1857 qui motive Marx à travailler sur les *Grundrisse*. Comme le note Roman Rosdolsky (1976, p.32) dans son ouvrage consacré à la genèse du *Capital* éclairée par une lecture des *Grundrisse*, « ses prévisions révolutionnaires reposaient certes sur une illusion ; mais combien de telles illusions se sont souvent avérées fécondes ! ». Par ailleurs, les controverses, dans lesquelles Marx est amenée à s'engager pour faire valoir ses arguments, forment l'arrière-plan de son élaboration théorique mais ne constituent pas des enjeux primordiaux et définitifs. En accord avec Rosdolsky, nous estimons que « [...] l'importance que Marx accorde [au point de vue de Proudhon] nous semble "disproportionnée". A nos yeux, l'écrasement théorique du proudhonisme est de loin secondaire par rapport au second résultat souligné par Marx : à savoir que déjà son analyse de la marchandise et de l'argent révèle "le caractère spécifiquement social, nullement absolu, de la production bourgeoise" » (Ibid., p.34)

La visée de la critique dans le premier cas est de mettre à jour les mécanismes d'exploitation, dont l'occultation est un moment, afin que la prise de conscience contribue à leur disparition, tandis que dans le second cas, il s'agit de critiquer les catégories même qui constitue les conditions de possibilité de la reproduction de la synthèse sociale capitaliste, en deçà des luttes que ses membres mènent ensuite pour en repartir les fruits avec plus ou moins de justice.

Dans la perspective de ce second cadre critique, ce qui fait la particularité d'un mode de production et donc la constitution d'une forme de synthèse sociale spécifique, n'est pas une organisation technique (p.e. l'industrie) ou collective (p.e. la division du travail) de la production, ou bien encore une forme juridico-légale (p.e. le salariat), mais la forme générale de ce qui est produit. C'est dans cette « forme des produits » historiquement et socialement située que se loge le matérialisme revendiqué par Marx, c'est-à-dire dans la manière dont une société donnée, simultanément, façonne et est façonnée par le cadre formel de ses processus productifs. Il s'agit non pas trivialement d'un déterminisme de la technique ou des forces productives, mais du mouvement dialectique des contraintes immanentes à une société et par lesquelles elle se reproduit en les reproduisant. Le matérialisme marxien n'est donc pas un vulgaire matérialisme physicaliste mais un matérialisme social, pour lequel la forme de synthèse sociale est une contrainte objective qui pèse sur les membres d'une société et dont ils ne peuvent se déprendre simplement en la renvoyant dans le ciel des idées fausses.

Dans le cas du capitalisme, cette forme générale est celle de la marchandise, forme constituée de deux faces indissociables : une face concrète (le contenu particulier de chaque marchandise) et une face abstraite, c'est-à-dire faisant abstraction de ce contenu même. Cette face abstraite est une dimension commune à toutes les marchandises. Elle est indifférente à leurs contenus propres et permet d'assurer leur comparabilité, c'est-à-dire la condition de possibilité de la mise en place des épreuves qui vont les valider socialement. Ces épreuves vont juger en dernier ressort le fait que ce qui a été produit l'a été à un niveau de productivité suffisant pour participer à la production de survaleur et donc à la reproduction du capital dans sa globalité.

L'activité productrice de marchandises présente elle-même cette forme bifide et contradictoire. Sa face abstraite¹⁴⁴ définit une notion de travail sans contenu propre, notion qui

¹⁴⁴ La face abstraite du travail producteur de marchandise est désignée en raccourci par le terme *travail abstrait*, qu'il ne faut pas confondre avec le travail immatériel ou le travail fragmenté. Le terme « abstrait » doit être compris ici dans le sens de « dont on a retiré toute spécificité » ou bien encore « envisagé dans une

n'existe pas en dehors de la synthèse sociale capitaliste, et qui s'avère y être déterminante puisqu'elle est la substance de la valeur attachée aux marchandises et donc de leur validité dans les sociétés assurant leur reproduction par et pour le capital.

Le système constitué par le travail abstrait incarne une forme nouvelle de domination sociale. La détermination initiale de cette contrainte sociale abstraite, c'est que des individus sont forcés de produire et d'échanger des marchandises pour survivre. Cette contrainte ne dépend pas d'une domination sociale directe, comme c'est le cas, par exemple, avec le travail de l'esclave ou du serf ; elle dépend au contraire de structures sociales "abstraites" et "objectives" et constitue une forme de domination impersonnelle abstraite (Postone, 2009, p.237)

Cette forme introduit des contraintes réelles, bien que non naturelles, qui induisent les phénomènes sociaux observés et, dans le cas du capitalisme, une dynamique se manifestant par une succession de phases qui n'est ni déterministe ni contingente, mais « sous contrainte » et contradictoire – à l'image de la forme-marchandise elle-même. La production marchande n'est pas abstraite dans le sens où elle aurait un niveau de généralité de plus en plus élevée, mais dans le sens où chaque marchandise existe en tant que marchandise parce que lui est attachée une part abstraite, la valeur, c'est-à-dire une dimension purement quantitative qui est sans égard pour son contenu propre – la part concrète – et qui ne fait qu'assurer la commensurabilité des marchandises entre elles à un niveau global. Ce caractère bifide concret/abstrait est le noyau de l'analyse marxienne de la marchandise à partir duquel Marx reconstitue toutes les formes sous lesquelles elle se manifeste et qu'elle détermine dans le capitalisme (travail, argent, État, industrie...).

Cependant, le marxisme traditionnel¹⁴⁵ accorde *a priori* une dimension positive à l'activité productive et à ses fruits¹⁴⁶. Il ne cherche qu'à lever le voile sur les distorsions

dimension purement quantitative et sans égard pour son contenu propre ».

145 Postone (2009) caractérise le marxisme traditionnel comme l'ensemble des interprétations de l'œuvre de Marx qui privilégient les catégories sociologiques de classe, de lutte, d'exploitation, etc. dans leur analyse critique des sociétés capitalistes. Cela inclut des écoles de pensée orthodoxes (p.e. le matérialisme dialectique cultivé jusqu'au dogme dans les régimes du « socialisme réellement existant »), mais aussi hétérodoxes (plutôt développées dans les pays occidentaux et incluant des problématiques élaborées dans les courants libertaires).

146 L'activité productive est détachée de son contexte social et historique pour devenir une constante anthropologique, une « condition humaine », une nécessité déterminée par des facteurs valables dans toutes les formes de synthèse sociale et notamment sa dimension temporelle (Bidet, 2004). Le marxisme traditionnel se focalise alors sur les injustices, les entraves, l'exploitation du travail et appelle à sa libération. Mais si l'on reprend les arguments de Marx concernant le caractère historiquement situé du travail comme

introduites plus ou moins subrepticement par des individus ou des groupes sociaux qui cherchent à en accaparer une portion indue. Les approches marxistes traditionnelles de la communication s'en tiennent donc à des analyses des mécanismes de répartition (inégaie) de la plus-value induite par la production informationnelle, et n'abordent pas la critique – pourtant initiée par Marx – de la forme même de ce qui est produit dans les sociétés modernes. Cela vaut bien évidemment aussi, et de manière redoublée par la forme bifide propre aux techniques numériques, pour ce qui est produit depuis l'émergence et la généralisation de ces techniques comme cadre de la production.

Par ailleurs, dans les analyses relevant de l'économie politique critique, le secteur de la production de contenus médiatiques est conceptuellement séparé de celui de la mise en œuvre des infrastructures requises pour leur diffusion. Leur unité n'est étudiée que dans le cas de leur intégration au sein d'acteurs économiques verticaux, et uniquement sous l'angle de la concentration capitaliste. Ainsi, selon ce type d'analyse, les technologies sont abordées uniquement sous l'angle de la rationalisation instrumentale¹⁴⁷, tandis que les contenus médiatiques apparaissent comme la source privilégiée – et même unique – des distorsions de la réalité et des manipulations des consciences. Ces contenus sont alors dénoncés comme producteurs d'idéologies (Fuchs, 2011). Si l'on prend le terme idéologie dans le sens (faible) d'opinion biaisée et basée sur une réception partielle et partielle des faits, on peut à la rigueur s'en tenir au fait que les opinions se forment à partir des informations reçues. Mais, dans le cadre marxien, le terme d'idéologie est loin d'être synonyme d'opinion. Il désigne plutôt le cadre de pensée *a priori*, les catégories abstraites qui semblent pourtant avoir une existence bien réelles pour les membres d'une société donnée, à tel point qu'elles sont vécues comme des contraintes « naturelles », et non pas issues de leur propre agir inconscient (Sohn-Rethel, 2010). Penser que l'idéologie est la résultante d'une réception passive des contenus médiatiques véhiculant les opinions plus ou moins voilées de leurs producteurs, et qu'à ce titre, il suffit de les dénoncer pour désamorcer leur potentiel de domination, de nuisance ou d'aliénation, c'est justement éluder le questionnement critique que l'on doit porter sur les techniques numériques qui sont aujourd'hui le support massif de la diffusion des contenus, et donc, à ce titre, potentiellement producteur d'idéologies au sens marxien du terme. Ce

catégorie spécifique aux sociétés où la production marchande est généralisée, alors l'enjeu de la critique n'est pas de libérer le travail, mais bien de se libérer du travail comme forme de synthèse sociale auto-médiatisante (Postone, 2009).

147 « The role of technology in instrumental rationalisation that is necessary for commodification is becoming particularly transparent with digitalisation. » (Prodnik, 2012)

questionnement est justement celui porté par la Théorie critique de médias pour laquelle « ce n'est pas le fait que les productions finissent par supporter ou servir directement les intérêts de certaines classes qui est à critiquer, mais plutôt la manière dont ils participent de cet entretien de la reproduction du *statu quo*, même hors de toute intentionnalité des agents. » (Magis 2016, p.64). Si nous avons préalablement rapproché Théorie critique et économie politique sous la même bannière d'un défaut de reconceptualisation des catégories fondamentales de l'analyse marxienne, il apparaît maintenant que, sur ce point précis de l'idéologie, la seconde approche, tout en prétendant dépasser les limites ou les égarements de la première, s'avère en fait représenter une forme de retour en arrière sur le plan de la pensée critique. L'emploi de la catégorie de fétichisme par Adorno (2001, p.14)¹⁴⁸ reste problématique puisqu'il la rapporte à la notion d'idolâtrie, pour laquelle l'abstrait prend la place du concret comme médiation dans la *mise en circulation* des produits de l'activité humaine. Comme le note Roswitha Scholz (2004) :

« Le problème majeur vient ici de ce que, chez Adorno, c'est le principe d'échange qui tient lieu de "fait de base" social de la modernité, et non la valeur, le travail abstrait, en tant que rapport de production [...]. Force est donc de constater [...] qu'Adorno et Horkheimer ont une compréhension théorique tronquée de la circulation, même s'il est vrai qu'ils recourent beaucoup moins que le marxisme traditionnel à la catégorie sociologique de classe, laquelle chez eux représente plutôt un simple épiphénomène de l'échange. ». (Scholz, 2004)

Mais, au moins, Adorno indique que le problème de l'idéologie ne se réduit pas au contenu plus ou moins voilé des discours servant des intérêts plus ou moins explicites.

Les propositions issues de la vision marxiste traditionnelle des processus info-communicationnels à l'ère numérique se limitent donc à deux thématiques : d'une part promouvoir la production de contenus alternatifs, d'autre part redistribuer la valeur produite de manière plus juste en rétribuant les producteurs et les consommateurs de contenus aujourd'hui spoliés par les plate-formes agrégeant leur « travail » (Pasquinelli et Blanchard, 2013, Cardon et Casilli, 2015) ou leur attention (Citton, 2013, Francq, 2013) sans les rémunérer. Ces propositions restent immanentes aux formes même de ce qui est produit et échangé dans les sociétés assurant leur reproduction sur des bases marchande et numérique.

148 « Le consommateur tombe en adoration devant l'argent qu'il a dépensé pour acheter ses places au concert de Toscanini. Littéralement, il a 'fait' le succès, qu'il réifie et accepte comme critère objectif, sans s'y reconnaître. Il ne l'a pas 'fait' toutefois en ce que le concert lui a plu, mais en ce qu'il a acheté le billet d'entrée »

Le noyau même de cette reproduction reste non interrogé et constitue un cadre dont la reconduction doit être assurée, mais dans une visée de meilleure justice.

Même lorsque sont mobilisées les catégories fondamentales posées par Marx dans le but d'en mener la critique – et y compris lorsque leur est reconnu un caractère central –, l'interprétation marxiste traditionnelle les articule à une vision positive *a priori* de l'activité productive en soi et leur donnent donc un statut biaisé. Ainsi en est-il par exemple de la notion de fétichisme de la marchandise qui est traitée comme une mystification qui fausse la perception que peuvent avoir les individus de leur agir collectif, dans le but de masquer l'exploitation sous-jacente. Or le fétichisme de la marchandise au sens marxien n'est pas un tour de passe-passe des dominants, ni l'adoration irrationnelle des objets de consommation, ni l'oubli de leur provenance par des consommateurs plutôt enclins à n'en retenir que des opportunités de jouissance. Ces phénomènes, par ailleurs bien réels, ne relèvent pas de la définition que donne Marx du fétichisme de la marchandise et qu'il situe très clairement dans la sphère de la production. Le fétichisme de la marchandise n'est pas une fantasmagorie, mais la résultante bien réelle d'une activité sociale particulière et historiquement située, i.e. la production marchande généralisée. S'il va puiser dans le registre religieux, c'est pour y trouver une analogie et certainement pas pour opérer une transposition (Roubine, 2009, Perlman 1968).

« [...] pour trouver une analogie, nous devons nous échapper vers les zones nébuleuses du monde religieux. Dans ce monde-là, les produits du cerveau humain semblent être des figures autonomes, douées d'une vie propre, entretenant des rapports les uns avec les autres et avec les humains. Ainsi en va-t-il dans le monde marchand des produits de la main humaine. J'appelle cela le fétichisme, fétichisme qui adhère aux produits du travail, dès lors qu'ils sont produits comme marchandises, et qui, partant, est inséparable de la production marchande. » (Marx, 2011, p.83)

On voit bien, par cette définition, que le domaine du religieux relève de la croyance¹⁴⁹ – les produits du cerveau humain –, alors que la fétichisme de la marchandise relève de l'activité – les produits de la main humaine. Le rapprochement entre les deux n'est valide que du fait des phénomènes analogues par lesquels ils se manifestent, c'est-à-dire l'autonomie apparente des figures qui émergent à la surface : les divinités dans le cas religieux, les « lois » économiques dans le cas de la production marchande. Ainsi le fétichisme de la marchandise pour Marx n'est pas une illusion mais un renversement : la dimension abstraite de la production marchande prend *réellement* le pas sur sa dimension concrète, et constitue les conditions réelles contraignantes de l'agir humain dans ce contexte particulier¹⁵⁰. Ce qui est déterminant, c'est réellement la production de valeur et non pas le contenu spécifique de ce qui est produit. Le fétichisme de la marchandise ne consiste pas à mal percevoir une réalité par ailleurs rationnelle¹⁵¹, mais à faire d'une contrainte irrationnelle – la production de valeur, c'est-à-dire l'accumulation tautologique de travail abstrait – la condition nécessaire de la reproduction de la société et donc, objectivement, la seule garantie existentielle pour ses membres.

Les interprétations marxistes traditionnelles des catégories spécifiques aux sociétés où s'exercent la domination impersonnelle du travail abstrait sont aussi caractérisées par leur rétroprojection des catégories en question sur les sociétés qui ne sont pas concernées par cette forme de synthèse sociale. Ainsi en est-il par exemple de la catégorie de valeur d'usage, l'une des faces de la forme marchandise. Cette catégorie ne doit pas être confondue avec l'utilité en

149 Le fait de caractériser le religieux en soi selon une essence idéologique est d'ailleurs tout aussi critiquable que de le faire pour le fétichisme de la marchandise. À l'époque où Marx entame la critique du capitalisme, le fait religieux a en effet perdu son rôle de synthèse sociale et ne se manifeste plus que par des restes de superstition, d'ailleurs dénoncés comme tels. Il n'empêche qu'avant que le travail producteur de marchandise n'endosse ce rôle, la « religion » a « informé » la société aussi bien dans ses dimensions sociales, matérielles que spirituelles, notamment par les notions d'*ecclesia* et de *dominium* au Moyen Âge en Europe, comme l'a montré Alain Guerreau (2001).

150 Ainsi, contrairement à l'interprétation que propose Fabien Granjon (2016, p. 25) de la notion d'*abstractions réelles*, il ne s'agit pas là « d'expressions théoriques de rapports matériels », mais bien des conditions pratiques d'un rapport social fondé sur l'évidement, *i.e.* la valeur comme forme sans contenu particulier qui est elle-même située dans un contexte social et historique spécifique.

151 Encore une fois, cette interprétation en terme de « voile sur la réalité » est un biais commun à l'ensemble des marxismes traditionnels. Elle fut importée dans les sciences de l'information et de la communication notamment par Armand Mattelart : « L'idéologie est la réserve de signes propre à la rationalité de la domination qu'exerce une classe, signes prescrits puisqu'ils doivent être fonctionnels au système dont ils masquent les bases. » (Mattelart, 2015, p. 142). « Tout fétiche renvoie à un corps rationnel de mécanismes qui cherchent à rendre opaque le caractère des rapports sociaux de production qui prévalent dans une société. Le fétiche de la communication cache le caractère répressif et manipulateur du pouvoir technologique dominant de diffusion (véritable nouvelle force productive) et le qualifie de force de libération et de bonheur, apparence sous laquelle il le présente aux dominés » (Ibid. p. 138).

soi¹⁵². Dans le cadre de la production marchande généralisée, la valeur d'usage est l'aspect particulier d'une marchandise qui sert de support au mouvement tautologique de la valeur, ni plus ni moins. Si l'on produit une marchandise pour adresser un usage spécifique, il n'est cependant pas requis qu'elle présente une utilité avérée pour être valide en tant que marchandise. C'est donc un abus de parler de valeur d'usage au sens marxien pour des biens produits hors du contexte des sociétés capitalistes. De même, c'est un anachronisme que de prétendre que les sociétés pré-capitalistes s'appuyaient avant tout sur la production de valeurs d'usage pour assurer la reproduction de la vie humaine et que le capitalisme serait uniquement défini par la primauté nouvelle de la valeur d'échange. Toutes les catégories marxiennes de la critique de l'économie politique, et notamment la forme marchandise avec son caractère bifide – à la fois valeur d'usage et valeur tout court –, sont abordées de manière négative par Marx comme caractéristiques du mode de production capitaliste, à la fois présumées et produites par cette forme de synthèse sociale et uniquement celle-là. Elles ne peuvent donc servir de points d'appui positifs au nom desquels serait menée une critique tronquée de tel ou tel aspect séparé.

3. Un cadre conceptuel pour le capitalisme (à l'ère) numérique

Une relecture de la théorie marxienne de la valeur.

Nous avons donc tout à tour écarté un certain nombre d'usages de Marx en sciences de l'information et de la communication qui nous semblent tous relever d'une économie politique critique plutôt que de la critique de l'économie politique. Afin de mettre en œuvre des analyses contribuant résolument à cette dernière approche, nous allons donc, à partir de maintenant, nous appuyer sur la thèse selon laquelle la valeur est une forme fétiche de

152 « Le caractère utile d'une chose en fait sa valeur d'usage. Mais cette utilité n'est pas suspendue dans les airs. Elle est conditionnée par les propriétés de la marchandise en tant que corps et n'existe pas sans ce corps. *C'est donc le corps même de la marchandise, fer, blé, diamant, etc., qui est une valeur d'usage [...]* » (Marx, 2016, p.40, nous soulignons). Si une chose a une utilité pour celui qui peut potentiellement s'en servir, c'est bien celui qui la produit dans le but de la vendre qui lui attribue une valeur d'usage. Le producteur escompte un usager solvable pour acheter sa marchandise. Il donne à cette marchandise un contenu concret adressant l'usage potentiel, mais ce n'est pas l'utilité avérée qui déterminera sa décision de produire ou pas. Si, ultérieurement, Marx indique que ce contenu n'a pas d'importance dans l'étude des marchandises, cela ne fait pas pour autant de la valeur d'usage une catégorie qu'on puisse détacher du contexte de la production marchande et donc de la critique qu'en fait Marx. À ce titre, par exemple, cela n'a pas de sens d'affirmer que la valeur d'usage serait aliénée par la valeur tout court. L'une et l'autre sont des moments d'une dialectique dont résulte la valorisation de la valeur et la dynamique globale du capital.

synthèse sociale historiquement située et induisant une dynamique propre au capitalisme (Postone 2009, Kurz 2011, Trenkle & Lohoff, 2014). Cette dynamique doit être prise en compte dans les analyses menées sur le *digital labor*, tant sur le plan des conditions socio-historiques de son avènement que sur celui de sa contribution à la dynamique en question. En repartant de l'analyse marxienne (Marx 2016) de la marchandise comme forme fondamentale et généralisée du mode de production moderne, Postone (2009) montre notamment que le concept de valeur n'a pas de portée transhistorique et que, bien au contraire, cette notion telle que l'envisagent et la reproduisent les sujets de la modernité¹⁵³ différencie le capitalisme des autres formes de synthèse sociale qui l'ont précédé. La synthèse spécifique au capitalisme est caractérisée par l'accumulation tautologique de travail sans égard pour son contenu propre¹⁵⁴, uniquement considéré sur une base temporelle abstraite, et toujours en rapport avec un niveau de productivité que personne ne détermine en particulier mais sur lequel tout le monde doit implicitement s'aligner pour simplement participer. Par ailleurs, le capital comme rapport social, à un niveau global donc, se reproduit en se valorisant, c'est-à-dire en « consommant » ce travail abstrait, seule source possible de la survaleur¹⁵⁵. Mais, paradoxalement, chaque capital individuel tend à le supprimer comme part variable pour améliorer sa profitabilité face aux concurrents, en investissant dans l'appareil productif comme capital fixe¹⁵⁶. Ceci pousse à l'augmentation permanente de productivité et donc induit une dynamique contradictoire. Le capitalisme est de ce fait une forme de synthèse sociale irrationnelle qui supprime tendanciellement ce qui en constitue la base incontournable. Chaque innovation technique de l'ère industrielle a participé à cette dynamique. Certaines en tant qu'innovation dans l'appareil

153 La valeur est une dimension attachée aux produits de l'activité humaine qui non seulement les rend commensurables, mais constitue une forme d'objectivité naturalisée induisant des contraintes réelles pour celles et ceux qui sont socialisés par sa médiation. Elle induit par ailleurs des représentations tout aussi objectives aux yeux des membres de la société de la production marchande qui contribuent à la reproduction d'une forme-sujet bien particulière, historiquement et socialement située.

154 Cette façon de considérer les activités productives en faisant *abstraction* de leurs particularités jusqu'à les percevoir selon la catégorie de « travail » n'a cours que dans les sociétés où s'est généralisée la production marchande, et où ces activités sont devenues elles-mêmes des marchandises qu'il est indispensable de vendre pour assurer aussi bien la subsistance individuelle que la continuité de la société elle-même.

155 Cela exclut donc de la catégorie « travail productif de survaleur » – et donc participant à la valorisation effective du capital – toutes les tâches dont la « réussite » est socialement validée avant tout par le résultat concret obtenu, le contenu spécifique qu'elle délivre, comme peut l'être le travail domestique, par exemple. Cette sphère dissociée où s'accomplissent des tâches néanmoins requises pour maintenir les conditions de possibilité de la production marchande, tout en n'étant pas productrice de valeur en soi, doit être considérée comme relevant malgré tout de la forme de synthèse sociale capitaliste (Scholz R. 2007)

156 Marx distingue, dans la composition du capital, deux parties en interaction : le capital constant représentant les actifs destinés à être utilisés dans le processus de production (machines, brevets, matières premières...) et le capital variable représentant la force de travail vivant mobilisée dans ce même processus. Il fait par ailleurs une autre distinction entre capital fixe (sous forme de biens durables) et capital circulant (sous forme d'achat de matières premières et de salaires).

de production, d'autres en tant qu'innovation ouvrant de nouveaux marchés de consommation. Ces dernières offraient une contre-tendance au sein même de la dynamique contradictoire et ont permis qu'elle se maintienne par le besoin renouvelé en masse de travail.

La théorie de la valeur-dissociation.

Contrairement à ce que supposent les approches qui identifient « travail exploité » et « travail productif (de valeur) » (Fuchs, 2012)¹⁵⁷, le temps de vie ne peut être transformé en force de travail dans n'importe quelle condition. Il faut d'abord que soit opérée la dissociation (Scholz 2000, 2004, 2007) entre activité productive (au sens du capital, c'est-à-dire productive de valeur) et activité improductive. Cette dissociation opère à un niveau logique et global (une totalité), mais aussi potentiellement à l'intérieur de toute activité particulière. Il n'y a donc pas de classification *a priori* qui puisse tracer la démarcation entre productif et improductif, de la même façon qu'elle ne peut être déterminée entre calculable et non calculable. Le capital ne peut donc pas tout saisir pour en faire une force de travail, il doit d'abord faire le grand partage entre ce qui concourt à sa reproduction directe (la valorisation de la valeur) et ce qui est indispensable à cette reproduction sans être producteur de valeur en soi (le travail domestique notamment). Cette dissociation ne se manifeste pas seulement dans la sphère socio-économique, car en tant que forme de synthèse sociale, elle implique aussi des dimensions psycho-symboliques pour « incarner/représenter » les pôles abstrait et concret de sa dynamique. La dissociation est donc aussi celle des genres, tels qu'ils sont exprimés (y compris dans ces aspects psychologique et subjectif) de façon bien spécifique dans la société capitaliste. Chacun des genres devient le masque de ces deux faces dissociées (mais insécables) : force de travail productive (de valeur) d'un côté, simple reproduction de la vie au sens large de l'autre¹⁵⁸.

157 « Arvidsson's assumption that exploitation is only present if a wage is paid downplays the horrors of exploitation and also implies that classical slaves and houseworkers are not exploited. » (Fuchs, 2012, p.638). Selon cet argument, l'exploitation en soi serait la marque de la reproduction du capital. Les analyses de Marx concernant le mode de production capitaliste montre cependant qu'il y a exploitation et exploitation. Dans le cas du travail exploité dans la production de survaleur (celle qui concourt à la reproduction directe du capital), il s'agit du « non paiement » de travail *abstrait*, dans le cas de l'exploitation esclavagiste, domestique... (i.e. pour accomplir les tâches par ailleurs nécessaires mais non prises en charge par la production marchande), il s'agit du « non paiement » de travail *concret*.

158 La « disparition » des femmes dans le domaine professionnel de l'informatique au tournant des années 1970 a été particulièrement étudiée par Marie Hicks qui y voit l'effet de l'incorporation des normes hétérosexuées concernant la façon dont est appréhendée la compétence technique en général, et celles relevant de la programmation des machines numériques en particulier. Cependant, l'identification de l'informatique au masculin à cette époque charnière pourrait aussi être interprétée – sans que cela soit incompatible avec

Ainsi la part d'ombre du travail productif (de valeur), ce sont toutes les activités qui sont improductives, mais qui sont transformées par le mouvement du capital pour servir indirectement à sa reproduction (et qui sont souvent des conditions nécessaires à cette même reproduction). Le capital constitue ainsi tendanciellement ces activités improductives à son image (parfois de façon coercitive, parfois avec l'adhésion des agents qui y voient un regain de légitimité), mais cela n'en fait pas pour autant mécaniquement la possibilité d'y appliquer une « force de travail » (et donc une opportunité de reproduire le capital lui-même)

C'est un point important, car la dynamique contradictoire du capital à un niveau global porte avec elle un potentiel de crise en tendant vers le tarissement du travail productif du fait de l'augmentation permanente de la productivité induite par la compétition entre les capitaux particuliers (et donc l'impossibilité à terme de reproduire le capital). Si toute activité pouvait être versée sans autre forme de procès dans la catégorie force de travail, le capital ne serait que mouvement perpétuel de l'identique et ne manifesterait pas de développement historique. D'un autre côté, l'alternative à la domination impersonnel du capital ne peut pas être simplement la promotion tous azimuts des activités non productives lorsque celles-ci ne sont en fait que l'ombre portée du travail productif (et donc de la reproduction autotélique du capital). Effectivement, tout peut être marchandisé (i.e. se voir attaché une valeur d'échange) et donc entrer dans la circulation marchande (Prodnik, 2012, pp.290-291). Ce n'est pas pour autant que toute activité puisse contribuer à la valorisation de la valeur, car valeur et valeur d'échange sont deux choses bien distinctes dans le mouvement de la marchandise et du capital. La marchandisation de tout n'est pas forcément le signe d'un développement réussi du capitalisme mais peut tout à fait s'inscrire dans une phase de décomposition (Kurz, 2011, 2012)

Il faut de même rappeler la distinction nécessaire entre survaleur et profit. La survaleur est la quantification de surtravail extrait du processus de production, c'est-à-dire du temps de travail abstrait au-delà du temps nécessaire à la reproduction de la force de travail. Le profit est la différence entre un prix d'achat et un prix de vente, cette grandeur se réalise donc dans la circulation. Si un lien existe entre survaleur et profit, de multiples déterminations intermédiaires rendent ce lien inconsistant et souvent contradictoire quand il est étudié au

l'interprétation de Marie Hicks, bien au contraire – comme consécutive à l'avènement d'une dimension « productive » des techniques numériques, c'est-à-dire à leur inscription massive dans l'optimisation des processus de production et non plus principalement dans les activités calculatoires scientifiques et militaires qui ne participent qu'indirectement à la reproduction du capital.

niveau d'une marchandise particulière. Or, la dynamique du capital (et la validité de sa reproduction comme forme de synthèse sociale) est fondée sur la production de survalueur au niveau de la totalité, le profit n'étant que la forme phénoménale qui sert d'aiguillon dans la concurrence entre différents capitaux.

Dans la section suivante, nous allons voir que la nouveauté du capitalisme le plus récent, où notamment les activités basées sur l'information et la communication ont pris une part importante, n'est donc pas d'inclure de nouvelles possibilités de valorisation dans son cycle d'accumulation (Prodnik, 2012, p.296)¹⁵⁹, mais bien au contraire d'avoir sapé les bases de sa reproduction et de devoir en passer par une simulation (Trenkle et Lohoff, 2014). Ainsi, ce n'est pas le capitalisme « cognitif » (Moulier-Boutang, 2007), l'économie « collaborative » (Scholz T. 2012), le « *digital labor* » (Cardon, Casilli, 2015) – différentes variantes pour désigner au final la « massification/fragmentation » des pratiques info-communicationnelles médiatisées par les techniques numériques pour l'instant opérée par des entreprises capitalistes – qui auraient le potentiel d'entraîner le capitalisme vers une crise de ses fondements augurant de son dépassement, à commencer par ces catégories fondamentales que sont le travail, la valeur, etc. (Vercellone, 2010, p.90), mais bien au contraire la crise (de la valorisation) du capital qui a suscité, en tant qu'échappatoire temporaire, la montée en puissance de la *marchandisation* des interactions humaines s'appuyant sur les techniques numériques.

La phase « inversée » du capitalisme

Trenkle et Lohoff (2014) montrent, à l'encontre des thèses de Robert Solow (1987), qu'à partir des années 1970, les techniques numériques ont effectivement introduit des augmentations massives de productivité dans tous les secteurs productifs, à tel point que, pour la première fois de manière structurelle, même les nouveaux marchés de biens et de services n'ont pu compenser la disparition tendancielle du travail.

« Solow soutenait que les investissements dans les technologies de l'information et de la communication aux États-Unis avaient augmenté de manière exponentielle dès le

159 « The key novelty is that capital has been able to include this type of (what is known as) “economic externalities” into its accumulation cycle. » (Prodnik, 2012, p.296)

début des années 1960, mais qu'on ne constatait pas de changements significatifs au niveau de la productivité de l'ensemble de l'économie. C'est qu'il incluait par principe dans la catégorie d'« investissements dans les technologies de l'information et de la communication » toutes sortes de dépenses ayant trait, de près ou de loin, à l'informatique, indépendamment des usages qu'elles recouvraient. Parfois, il utilisait même les chiffres de l'ensemble des ventes d'ordinateurs comme indicateur de l'enjeu des technologies de l'information et de la communication, sans faire la différence entre consommation privée et investissements (Brödner et Rolf, 2005). Il est clair qu'en procédant ainsi, on ne pouvait saisir, même de manière approximative, les restructurations dans le procès de production, et qu'au contraire on les rendait statistiquement invisibles. Les rares fois où Solow et ses adeptes faisaient la différence entre les divers secteurs de l'économie, ils étaient bien obligés d'admettre que la productivité industrielle avait fortement augmenté, mais ils n'y accordèrent pas beaucoup d'importance, car le secteur industriel ne représentait, surtout aux États-Unis, qu'une faible partie de l'ensemble des emplois. Au centre de leur argumentation, on trouvait le secteur des services, avec une croissance de la productivité très faible (d'après les statistiques), qui valait comme preuve à l'appui de la théorie du paradoxe de la productivité. » (Trenkle & Lohoff 2014, p.90)

L'apport spécifique des technologies de l'information et de la communication à l'augmentation globale de productivité se situe dans sa capacité à orchestrer des processus industriels globaux mettant en œuvre des processus locaux présentant une forte hétérogénéité en terme de productivité, là où le boom fordiste a participé à étendre la masse de travail nécessaire dans un contexte de relative homogénéité en terme productivité.

« D'un côté, [la troisième révolution industrielle] a rendu « superflues » des masses de gens à travers la planète, parce que leur force de travail, rapportée au niveau de productivité dominant, n'est plus nécessaire. De l'autre, la restructuration globale des processus de production, qui put tout d'abord être mise en œuvre au moyen des nouvelles technologies de l'information, de la communication et des transports, a ouvert aux entreprises la possibilité d'exploiter cette main-d'œuvre « superflue », car sous-productive, mais extrêmement bon marché, dans la mesure où ceci est rentable au niveau d'une entreprise, en partie en concurrence avec le secteur du high-tech, en partie comme

complément dans les domaines de production où l'automatisation pose encore à ce jour des problèmes (par exemple pour la couture dans l'industrie de l'habillement). » (Trenkle & Lohoff 2014, p.114)

Ainsi la masse de travail dans les secteurs et les zones de forte productivité s'est contractée, tandis que son expansion dans les secteurs et les zones de plus faible productivité n'a pas pu contribuer, de manière compensatoire, à l'expansion nécessaire de la masse de valeur pour assurer la reproduction du capital sur des bases auto-entretenu.

Pour poursuivre sa dynamique, le capital a dû enfourcher un nouveau cheval : plutôt que de consommer du travail passé¹⁶⁰, accompli, il s'est mis à démultiplier les paris sur un hypothétique travail futur. C'est ainsi que la finance est devenue l'industrie qui sert de locomotive au reste de l'économie, en produisant massivement de la dette et des titres financiers, c'est-à-dire des marchandises d'ordre 2 qui ne représentent plus un travail accompli, mais la perspective d'un travail à venir¹⁶¹. Cette simulation de valorisation permet cependant de maintenir la dynamique – avec malgré tout des contraintes de plus en plus difficiles à surmonter – car une partie du capital fictif peut se convertir en capital en fonction dans l'appareil productif¹⁶².

« Si l'on fait abstraction des variations cycliques, la masse des marchandises d'ordre 2 s'accrut, du temps de Marx, parallèlement au système de la valorisation de la valeur, et son augmentation ne fit que refléter une accumulation de valeur auto-

160 Sans introduire le genre d'analyses et de développements que proposent Trenkle et Lohoff, Postone note aussi que, concernant la trajectoire de production industrielle telle qu'elle se manifeste au cours du XIX^e siècle, Marx relie l'efficacité productive de la machine à l'accumulation de travail passé. (Postone 2009, p.496)

161 La finance a toujours eu dans le capitalisme ce rôle de facilitateur du cycle de valorisation. Ce qui change avec la financiarisation de l'économie, c'est que ce ressort passe d'un rôle auxiliaire avec la clôture impérative des échéances, à celui de moteur principal s'échappant exponentiellement. Ce processus est entamé par les politiques keynésiennes des « trente glorieuses » pour relancer, sur la base de la dette publique, une phase où l'auto-entretien du cycle de la valorisation pouvait avoir encore quelques perspectives. La dérégulation qui s'impose au tournant des années 1980 marque avant tout le fait que ces perspectives avaient définitivement disparu et qu'il fallait maintenant relancer la production de marchandises d'ordre 2 elle-même en supprimant son encadrement dans les contraintes d'un budget public. Le néo-libéralisme est en quelque sorte la continuation du keynésianisme par d'autres moyens, en l'occurrence la privatisation de la production massive de marchandises d'ordre 2.

162 C'est un point que relève notamment Philippe Bouquillion (2012) dans le secteur des industries de la culture et de la communication. La performance financière est un levier pour « lever des fonds par augmentation de capital » et les consacrer à investir dans l'appareil productif sans pour autant que « les dirigeants de ces pôles ou groupes ne craignent une dilution nouvelle du capital ».

entretenu ; elle demeura donc sans grande signification pour le mouvement de l'accumulation globale. Sous le régime fordiste-keynésien, l'accumulation de titres de propriété prit le dessus sur la création réelle de valeur, et elle devint indispensable comme locomotive et aide financière à la production réelle de valeur. Mais à partir du début des années 1980, la production de capital fictif enfila des bottes de sept lieues pour échapper à la production de valeur et lui succéder dans sa fonction de moteur du système capitaliste global. L'accélération de la production de titres de propriété fut tellement formidable que l'accumulation de capital en fonction qu'elle engendra parvint à compenser l'effritement de la base de la valorisation réelle ainsi que la diminution de la production de valeur. » (Trenkle & Lohoff, 2014, p.239)

Le capitalisme est ainsi « inversé », car il s'agit toujours de capitalisme, i.e. de production marchande, mais s'appuyant sur le futur au lieu du passé. Il ne s'agit plus de vraiment de création de valeur, mais de sa simulation.

Arvidsson et Colleoni (2012) avancent que les profits perçus par les compagnies qui administrent les plateformes de diffusion de contenu proviennent beaucoup plus de la valorisation financière que des revenus publicitaires. En effet, la majeure partie des profits provient non pas des revenus d'entreprise mais de l'émission et de la vente d'actions, dont le prix est dopé par la spéculation boursière. Pour eux, cela signifie que la réalisation de la valeur ne passe pas par le circuit que dessine la théorie de la valeur marxiste qui prétend que l'on dégage des profits par la vente d'une marchandise, ce qui la rend incapable d'expliquer l'économie informationnelle où la valeur se réalise dans l'espace financier. (Goyette-Coté & Langlois, 2014, p.95)

Arvidsson et Colleoni pointent bien dans la bonne direction avec le constat que les revenus des opérateurs de plateformes numériques sont tirés avant tout de la sphère financière et non de la vente de la marchandise qui est censée représenter la valeur extraite de leur activité productive. Ils ont par ailleurs raison de mettre à l'écart la théorie de la valeur telle qu'elle est formulée dans les analyses marxistes traditionnelles. Mais, contrairement aux conclusions qu'ils en tirent – à savoir écarter toutes les analyses marxistes de la valeur – cela ne fait au contraire que renforcer la nécessité de s'appuyer sur des relectures de Marx qui

ne mettent pas l'accent sur le profit mais bien sur ses catégories plus fondamentales que sont justement la valeur et le travail. Ce qu'a pu notamment établir Marx dès son époque et qui s'avère encore plus pertinent dans la phase « inversée » du capitalisme, c'est que dégager un profit et produire de la (sur)valeur peuvent ne pas aller de pair. Faire le constat d'une marchandisation tous azimuts comme le fait Pronik dans le passage suivant ne peut donc être interprété mécaniquement comme une continuité du processus d'accumulation du capital dans un sorte de mouvement perpétuel.

The structural tendency of capitalism, which has developed into a world-integrated economic system, is not only to commodify and valorise all material and social aspects of life, but also to incorporate human life as such (i.e. species-being) into its accumulation cycle: not only speech, but our ability to speak [logos], not only our feelings and emotions, but our generic human abilities for these activities. This tendency dictates that not a second of human life should be wasted by falling out of this economic circuit of instrumental rationalisation and detailed calculation; every human act must be encompassed and every aspect of social life carefully measured. (Prodnik, 2012, pp.297-298)

L'alignement sur des logiques de quantification des aspects les plus génériques de la vie humaine sous le capitalisme évoqué ci-dessus, ainsi que le découplage de plus en plus marqué entre production de valeur et réalisation de profits, trouvent plutôt leur explication dans la nouvelle phase de capitalisme dite « inversée » où la consommation de temps abstrait passé (Postone 2009), c'est-à-dire la reproduction du capital par valorisation de la valeur, est devenue structurellement impossible du fait même de la dynamique contradictoire du capital, et ce au moins dès le tournant des années 1970. Cette consommation du passé (i.e. de l'accompli) a été remplacée comme moteur déterminant de la dynamique du capital par la consommation de ce même temps abstrait mais projeté dans le futur, c'est-à-dire la simulation de la valorisation dans la sphère financière. Cette industrie a par ailleurs besoin de « porteurs d'espoirs » (Trenkle, Lohoff, 2014) et elle peut compter sur ceux qu'elle offre – entre autres – la marchandisation des activités info-communicationnelles. Celle-ci nécessite d'une part une objectivation (quantification, calculabilité...) et d'autre part une dynamique exponentielle pour suivre le rythme requis : ces deux aspects sont couverts par les techniques numériques

qui deviennent donc non seulement le moyen mais la substance même de cette valeur « venant du futur » pour déployer ses effets ici et maintenant. Cette prolongation de la vie du capital ne peut cependant pas s'éterniser car son nouveau ressort redouble les contradictions inhérentes à la production marchande (Trenkle, Lohoff, 2014) en imposant des contraintes de plus en plus fortes quant au niveau des promesses que peuvent faire les « porteurs d'espoirs ».

Si le marxisme traditionnel reconnaît le rôle de la financiarisation dans la dynamique du capital en faisant référence au capital fictif (Fuchs, 2012, pp. 641-642), c'est pour y dénoncer un risque de déstabilisation d'une économie par ailleurs considérée comme performante et dont il ne faudrait que corriger les injustices quant à la répartition de ses fruits. Pourtant, le rôle aujourd'hui moteur de l'industrie financière pour les autres secteurs de l'économie n'assurant plus leur reproduction sur leurs propres bases – et pourtant qualifiés d'économie « réelle » –, ne permet pas de s'en tenir à la place que réserve Marx au capital fictif dans les phases antérieures au capitalisme « inversé ». Ne pas tenir compte de ce renversement, c'est aussi passer à côté du rôle qu'y jouent les techniques numériques notamment dans les domaines de l'information et de la communication, et pour lesquelles Arvidsson et Colleoni assument une position idéologique doublement apologétique au nom d'un capitalisme éthique et d'une numérisation généralisée de nos interactions.

Par ailleurs, cette production de l'industrie financière, dont les espoirs de valorisation réussie sont toujours déçus¹⁶³, doit sans cesse élargir sa base, ne serait-ce que pour compenser la valeur des titres qui arrivent à échéance et qui ne sont pas couverts par une consommation réelle de travail abstrait (ou plutôt, de la part abstraite du travail). Cette production de titres financiers à un rythme sans cesse élargi n'est possible que sur la base d'un déploiement massif des techniques numériques pour en gérer le volume et la complexité. Ainsi les techniques numériques constituent un facteur indissociable de la phase « inversée » du capitalisme et ceci à double titre : comme cause du changement extrinsèque conduisant à l'augmentation décisive de productivité et à la fin de toute possibilité d'une valorisation sur la base du travail accompli, puis comme cause matérielle intrinsèque du maintien de la dynamique capitaliste sur la base d'un travail projeté dans le futur qui se manifeste dans les marchandises d'ordre 2 (dettes, titres financiers, produits dérivés, etc.). Ce nouveau régime n'est pas plus une tendance à l'équilibre que l'ancien, mais s'avère être aussi une dynamique en perpétuelle accélération.

163 Au niveau de productivité atteint, les besoins en masse de travail productif ne reviendront plus

Le numérique comme marchandise porteuse d'espoirs

Comme nous venons de le voir, malgré le caractère fictif de la survaleur produite sur la base d'une projection dans le futur, Trenkle et Lohoff insistent tout de même sur le fait que cette production nécessite toujours un point de référence ici et maintenant dans « l'économie réelle », afin de servir de « porteur d'espoirs » pour la production de valeur projetée dans le futur¹⁶⁴. Mettre en avant les avantages attendus de tel ou tel « porteur d'espoirs » est devenu une préoccupation centrale de la littérature économique et managériale à l'ère numérique. Cela se traduit par diverses tentatives d'en objectiver les tenants et les aboutissants derrière des expressions telles que « intelligence collective, Web 2.0, innovation ouverte, *crowdsourcing*, sagesse des foules, *wikinomie*, *peer to peer economy*, économie collaborative, économie du partage » (Broca 2015). Yochai Benkler (2011, p.220) évoque pour sa part le fait que « comprendre comment valoriser ce que les gens créent et partagent en ligne a été l'un des plus grand défis pour les entreprises au cours des dix dernières années » (cité dans Broca 2015).

Ces tentatives d'objectiver et de quantifier, ici et maintenant, les effets combinés d'une innovation et de sa diffusion dans de nouveaux usages, font partie intégrante de l'espace des problèmes ouverts par l'accélération des flux matériels, humains et informationnels, comme nous l'avons déjà exposé au chapitre précédent, où nous avons élaboré notre modèle CRITIC de l'informatique. Les TIC ont constitué les véhicules d'exploration et de construction de cet espace et, jusqu'à la diffusion massive des ordinateurs, il s'agissait, avec ces différents véhicules, de répondre à « l'intensification et la densification des processus » d'une part, et « [au] changement d'échelle » d'autre part. (Robert 2009, p.189). Les réponses apportées étaient donc orientées vers une augmentation de la productivité, c'est-à-dire, dans un contexte de production marchande généralisée, vers une augmentation de la survaleur relative produite par les activités mobilisées dans la valorisation d'un capital. Les TIC participaient donc, de façon déterminante, d'abord à une transformation permanente des processus productifs, afin de reconfigurer la quantité de travail socialement nécessaire, accompli au niveau de productivité requis.

164 « La forte association des techniques numériques de l'information et de la communication aux questions de l'innovation comme moyen de sortir de la crise plaide aussi en faveur de la crédibilité économique obtenue par les médias socionumériques » (Coutant, 2016, p.114)

Dans le cadre du capitalisme « inversé », cette transformation permanente a toujours cours, mais elle ne peut plus servir de moteur premier et auto-entretenu pour la dynamique de capital, car les niveaux de productivité atteints et la masse de capitaux déjà accumulés sont incompatibles pour une valorisation de la valeur basée sur le travail accompli. Les TIC doivent, alors, être plutôt mobilisées pour des projections dans le futur, caractéristiques de cette phase du mode de production capitaliste fondé sur les marchandises d'ordre 2. Cette orientation privilégiée vers le futur, dans l'espace des problèmes parcourus par les TIC, est clairement prise en charge par la dimension abstraite qui est intrinsèque aux techniques numériques développées autour des ordinateurs. En effet, comme nous l'avons établi au chapitre précédent, toujours dans le cadre de l'élaboration de notre modèle CRITIC de l'informatique, cette dimension induit un renversement. Si la vitesse accrue dans la circulation de l'information permet d'intensifier et d'élargir les processus concrets en leur attachant les TIC adéquates, la dimension abstraite de l'informatique permet avant tout de connecter ses processus en les rendant commensurable via le formatage généralisé. Ce nouvel espace aux dimensions élargies – dans le sens où il présente une dimension supplémentaire – est celui dans lequel peut se déployer l'exploration et la construction des porteurs d'espoirs requis pour la production de marchandise d'ordre 2.

Dans le cas des plateformes numériques, un point de référence objectivable qui peut permettre de les évaluer en tant que « porteur d'espoir » est la capacité à produire une information synthétique à partir de masses de données qu'elles contribuent par ailleurs à collecter (Rebillard & Smyrniotis 2010), la pertinence de cette information calculée étant issue des algorithmes qui la produisent (Pasquinelli 2014, Cardon 2013). La contribution des plateformes numériques à la dynamique du capitalisme « inversé » est donc corrélée à leur capacité d'accumulation et de traitement de données. Certes, cette capacité de traitement ne peut se passer de l'audience, du trafic, de l'activité des utilisateurs pour constituer un potentiel initial, mais pour en tirer la substantifique moelle, c'est la puissance de calcul¹⁶⁵ qui s'avère primordiale pour maintenir la « productivité » de ces données, c'est-à-dire leur capacité à

¹⁶⁵ Le productivité de la puissance calcul doit être simultanément envisagée selon deux dimensions : celle qui correspond à l'efficacité d'un algorithme donné à accomplir un calcul spécifique avec un objectif particulier, et celle qui correspond à l'efficacité générique des infrastructures mises en œuvre et mesuré, par exemple, en MIPS (millions d'instructions par seconde). Si la première est immatérielle, elle est concrète dans le sens où elle adresse un contenu particulier, tandis que la seconde, tout en étant inscrite dans une existence matérielle est totalement abstraite dans la mesure où elle peut être déployée sans égard pour le contenu en question. Il y a là le ressort d'un fétichisme du numérique comparable à celui de la marchandise tel que l'analyse Marx (Arrivé 2015)

servir à la production de marchandises rentables, au moins un certain temps, et à partir de là, à être envisagées comme porteurs d'espoirs dans la phase « inversée » du capitalisme. Les données numériques peuvent certes être, elles-mêmes, des marchandises dans certains contextes, mais la participation des plateformes numériques à la dynamique du capital repose sur la production d'une autre marchandise : le *traitement* numérique qui consomme et produit ces données.

Prenons le cas des plateformes numériques qui tirent leurs revenus de la vente d'espaces publicitaires, telles que Google et Facebook. Contrairement à ce qui est véhiculé par une vision superficielle, celles-ci ne vendent pas à leurs clients – les agences publicitaires et les annonceurs – des données personnelles concernant leurs utilisateurs. Les entreprises qui font leur métier de collecter ce genre d'information et de les revendre sous forme de bases de données sont appelées des « *data brokers* » (Federal Trade Commission, 2014). Les acteurs de ce marché rassemblent les données à partir de diverses sources, dont une grande partie ne sont pas en ligne, comme les registres maintenus par des administrations publiques. Une autre partie de ces données provient d'un moissonnage automatique de données publiques en ligne et cette opération se fait sans interaction avec les personnes concernées. Enfin, les *data brokers* recoupent ces données avec les transactions réalisées par l'intermédiaire de sites de vente en ligne. Loin d'être exclusivement fournisseurs sur ce marché, et a fortiori d'en faire le cœur de leurs modèles d'affaire, les plateformes numériques qui tirent leurs revenus de la vente d'espaces publicitaires insérés dans les sites destinés aux usagers de leurs services, comme Google ou Facebook, sont bien souvent des clients des *data brokers*.

Les plateformes numériques combinent alors ces données avec les informations qu'elles collectent directement concernant les centres d'intérêts manifestés et les actions engagées (*click, like, share, tag, follow...*) par leurs usagers quant aux services et aux contenus qu'elles fournissent. À partir de cet encodage spécifique de l'activité des usagers de plateformes numériques (Alaimo & Kallinikos, 2016), celles-ci produisent ainsi la marchandise qu'elles vendent à leurs clients et qui peut se résumer de façon synthétique à des calculs – effectués de plus en plus par des algorithmes de « marketing programmatique »¹⁶⁶ – pour optimiser la rentabilité des espaces publicitaires, aussi bien pour les plateformes numériques que pour les annonceurs. La chaîne de traitement peut impliquer des intermédiaires qui se partagent la

166 cf. <https://www.tikibuzz.fr/http://www.tikibuzz.fr/articles/marketing/marketing-programmatique-nuls-devenir-trader-didier-delhaye-associe-tikibuzz-consultant-marketing-strategique/> (consulté le 17 mars 2017)

valeur produite par l'ensemble, mais il y a une tendance à la concentration verticale autour des plateformes numériques elles-mêmes qui évincent les agences pour traiter directement avec les annonceurs (Jaimes 2016). En pratique, le client peut choisir une combinaison de données en entrée définissant les profils ciblés, le plus souvent sous la forme de mots-clés. Les algorithmes fournissent en sortie un élément d'interaction¹⁶⁷ intégré à la page servie à l'internaute et pointant vers le site du client, par exemple. Cette vente, souvent sous forme d'enchères, par l'intermédiaire de mots-clés, est juste un processus de formation des prix de marché¹⁶⁸.

Un autre cas qui est rapporté à la notion de *digital labor* est celui des « petites mains » employées à entraîner les algorithmes d'apprentissage profond, par l'intermédiaire de plateformes telles que *Amazon Mechanical Turk*. Ces activités sont effectivement rémunérées et exécutées en pleine conscience par les micro-travailleurs qui les accomplissent, sur des bases contractuelles, certes problématiques, mais sans qu'il soit dissimulé le fait qu'il s'agisse d'une forme d'exploitation. Si l'on veut étudier ce cas dans le cadre des analyses marxiennes de la production de valeur, alors il faut prendre au sérieux l'analogie proposée par Amazon lorsque l'opérateur qualifie sa plateforme de « turc mécanique ». Avec les micro-tâches réalisées dans l'objectif d'alimenter une « intelligence artificielle artificielle »¹⁶⁹, les « travailleurs » n'ont plus qu'un rôle de rouage dans le fonctionnement d'une machine¹⁷⁰ qui

167 Il s'agit généralement d'un lien navigable, le plus souvent sous forme d'image et que l'on appelle, dans le jargon du métier, une « impression »

168 Le prix est la forme phénoménale superficielle qui manifeste la valeur dans la sphère de la circulation, et non pas la source de la valeur reproduisant le capital, pour laquelle tout se joue dans la sphère de la production. La distinction entre valeur et valeur d'échange ne relève donc pas d'un simple ajustement toujours imparfait dû aux incertitudes des marchés. Si l'analyse de la marchandise par Marx repart de l'opposition entre valeur d'usage et valeur d'échange, c'est pour situer cette opposition dans le domaine des phénomènes apparents dérivés d'une logique plus profonde qui met dialectiquement en interaction valeur (tout court) et valeur d'usage dans la production même des marchandises. « *Tout ce qui est encore visible dans ces choses, c'est que pour les produire on a dépensé de la force de travail humaine, accumulé du travail humain. C'est en tant que cristallisations de cette substance sociale, qui leur est commune, qu'elles sont des valeurs : des valeurs marchandes. [...] Toute la suite de notre recherche nous ramènera à la valeur d'échange comme mode d'expression ou comme forme phénoménale nécessaire de la valeur, laquelle doit cependant être d'abord examinée indépendamment de cette forme.* » (Marx 2016, p. 43). C'est là un aspect critique de l'analyse marxienne de la production marchande qui ne se contente pas d'être une économie politique critique, comme peut l'être une part importante de la tradition marxiste qui ne fait que prolonger une analyse ricardienne de la valeur-travail.

169 Selon les termes de Jeff Bezos, (<https://www.nytimes.com/2007/03/25/business/yourmoney/25Stream.html> consulté le 15 septembre 2019)

170 Il ne s'agit pas là d'une métaphore : l'algorithme d'apprentissage profond couplé à l'activité d'étiquetage des données menée par des êtres humains est réellement une machine. Une machine computationnelle, en l'occurrence. Un simple fait refait surface : le calcul effectué par les ordinateurs a été mis au point autant à partir d'une théorisation – notamment menée par Turing et von Neumann – qu'une activité bien concrète – celle des équipes de calculateurs humains mobilisés dans les grands projets technoscientifiques de la Seconde Guerre mondiale.

les englobe et dont ils ne sont donc pas les opérateurs, à l’instar du joueur caché dans le prétendu automate exposé en Europe à la fin du XVIII^e siècle, au bénéfice de son exploitant. L’activité des micro-travailleurs est rémunérée pour *construire* la machine, et non pas pour la mobiliser dans un processus productif qui impliquerait la consommation d’une autre activité qui serait source de survaleur. On retrouve alors le cas, déjà analysé par Marx, de la contribution des machines au processus de valorisation : celles-ci ne font que transférer aux marchandises produites leur propre valeur, mais ne sont pas source de survaleur en elles-mêmes. Seul le travail humain a cette propriété dans des circonstances bien particulières, en tant que travail abstrait inscrit dans une production marchande généralisée.

Derrière les phénomènes indifférenciés, qualifiés de *digital labor* sur la base du rapprochement entre un contexte numérique et une activité menée par des être humains, il y a donc, en fait, autant de cas qui peuvent être analysés et distingués selon les catégories de la critique marxienne de la valeur, et non pas agrégées par la catégorie d’exploitation qui n’est que dérivée. Dans la production des marchandises numériques, le travail abstrait exploité – et donc la source de la survaleur – est celui des employés des plateformes numériques en charge de la conception, de la réalisation et de la mise en œuvre des infrastructures numériques, aussi bien logicielles que matérielles¹⁷¹. En revanche, il est indéniable que pour alimenter ces algorithmes, il faut « exploiter » l’activité des internautes ou des micro-travailleurs en les incitant, plus ou moins à leur insu, par leurs interactions au sein des plate-formes numériques, à remplir en permanence le réservoir de données requises. Mais cette part d’exploitation est celle d’une activité « à côté de l’économie »¹⁷² ou bien ne participant qu’à une circulation de valeur, c’est-à-dire ne contribuant qu’à la reproduction des conditions nécessaires pour que le processus de valorisation de la valeur puissent s’accomplir par ailleurs, comme cela peut être le cas pour le travail domestique¹⁷³ ou le « travail » des machines. Si les grandes masses de

171 Encore une fois, ce travail n’est pas abstrait parce qu’il relèverait de l’immatérialité ou de l’évanescence, mais bien parce qu’il présente une face abstraite, une dimension purement quantitative qui est sans égard pour le contenu propre de l’activité et implique, en rendant les activités commensurables, de les aligner sur un niveau de productivité, un « temps de travail socialement nécessaire ». Sous le capitalisme, la production de pains est toute aussi abstraite que celle des logiciels.

172 En fait, elle est « à côté de la sphère productive de l’économie », celle qui contribue directement à la reproduction du capital, mais elle fait partie intégrante de la totalité « brisée » que forme la société capitaliste. Cette activité n’est donc pas « l’autre » de l’économie, mais son ombre portée.

173 Quand bien même on attribuerait une valeur d’échange aux données personnelles pour compenser la forme d’exploitation que représente leur captation, cela n’en ferait pas pour autant une source de la valeur au sens où Marx l’analyse. C’est aussi ce que souligne Sébastien Broca (2017, p.32) : « *En bref, lorsqu’on analyse le marché des données personnelles, il semble intenable de considérer la valeur d’échange des données comme la réalisation d’une valeur déterminée antérieurement par la quantité de travail abstrait* »

données sont donc des ressources indispensables pour les activités marchandes menées à partir des plateformes numériques, et que l'exploitation du temps libre des internautes ou de l'activité des micro-travailleurs peut s'élargir sans cesse pour constituer ces ressources, la quantité de valeur qu'elles contribueront à produire sera toujours décevante, car mobilisant de moins en moins de travail abstrait du côté des opérateurs de plateformes. Il faudra donc à terme ouvrir encore de nouveaux champs à exploiter, et ainsi présenter de nouveaux porteurs d'espoirs à l'industrie produisant les marchandises d'ordre 2, principal moteur de la dynamique capitaliste dans la phase actuelle. C'est dans le cours de ce capitalisme « inversé » que se noue, de manière déterminante, la « rencontre » historique entre capital et numérique.

Conclusion de la première partie

Partant du constat de l'omniprésence actuelle des techniques numériques, particulièrement dans le domaine de l'information et de la communication où elle aboutit à définir le numérique comme un milieu (Bachimont 2015), nous avons proposé de problématiser cette omniprésence. Celle-ci se manifestant par un déferlement (croissance exponentielle de la puissance de calcul et du volume de données), nous nous sommes demandé si elles ne seraient pas adéquates à un ressort profond qui anime les sociétés capitalistes, et plus particulièrement à la phase que nous connaissons actuellement depuis la fin du modèle fordiste. Les différentes approches théoriques du numérique en SHS, en général, et en SIC, en particulier, ne manquent pas aujourd'hui d'outils conceptuels pour saisir l'objet en question. Mais ils ne proposent pas forcément de saisir dans sa totalité les raisons profondes du rythme et de l'échelle auxquels se déroule l'inscription des techniques numériques dans une variété inédite d'usages. Il nous importe donc, pour adresser notre problématique, de s'intéresser au processus d'informatisation dans sa généralité, et non pas de l'aborder par l'informatisation d'un domaine particulier, ce qui ne permettrait d'en tirer des enseignements qui ne pourraient servir que d'hypothèses dans un autre contexte. Dans cette première partie, nous nous sommes donc attelé à définir un cadre théorique permettant de rendre compte des phénomènes relevant du déploiement des techniques numériques – c'est-à-dire fondées sur l'emploi d'une machine particulière, l'ordinateur – et de leurs applications. Ce cadre a permis de définir des propriétés attachées aux techniques numériques qui les rendent particulièrement adéquates à la dynamique du capital et du travail producteur de marchandises, et donc à la forme de synthèse sociale qui caractérise les sociétés capitalistes. Cette adéquation a, par ailleurs, été historicisée afin de la situer plus précisément dans les phases récentes du capitalisme.

Pour construire ce cadre théorique, nous avons donc proposé d'alterner entre élaboration conceptuelle et analyse de micro-terrains pour avancer pas à pas dans l'exposition de notre modèle théorique. Notre premier mouvement a été d'identifier un noyau conceptuel qui puisse rendre compte de la spécificité des techniques numériques car notre objectif est bien de développer une pensée sur ces techniques en particulier et non pas de tenir des discours sur la technique en général. Ce noyau a tout de suite été confronté à un terrain permettant d'en

illustrer les propriétés fondamentales et que nous avons tiré des observations fines et pertinentes de Samuel Goëta (2016) concernant les projets d'ouverture des données (*open data*), notamment avec la notion de désarticulation des systèmes socio-techniques. Cette caractérisation, à la fois formelle et empirique a constitué une première acclimatation aux catégories proposées afin d'identifier le noyau conceptuel de l'informatique et du numérique. Le second terrain sur lequel nous avons opérationnalisé le noyau conceptuel qui caractérise pour nous l'informatique se situe du côté des représentations. Nous nous sommes, en effet, attaché à la figure de l'informaticien au travail, que ce soit dans les discours des informaticiens eux-mêmes ou au travers de ceux attribués aux informaticiens de fiction.

Afin de déployer des développements permettant d'inscrire ses propriétés fondamentales précédemment mises en évidence dans un mouvement socio-historique qui se manifeste aujourd'hui notamment par les plateformes numériques et le *digital labor*, nous sommes passés par une étape intermédiaire pour articuler notre caractérisation des techniques numériques et les dynamiques socio-historiques associées, qui en sont à la fois la manifestation et les nouvelles conditions de déploiement. Nous avons tout d'abord justifié l'adoption d'une démarche de modélisation CRITIC, initialement proposée par Pascal Robert et à laquelle nous avons apporté quelques commentaires permettant de situer l'usage que nous en faisons. Puis, nous avons développé une application du modèle CRITIC prenant en compte le caractère bifide de l'ordinateur. Cette application a permis de mettre en évidence un renversement dans la façon d'envisager la convergence vers la fonction macro-sociétale de *mémorisation, traitement et circulation de l'information*, de ce véhicule particulier d'exploration/construction de l'espace de problèmes sous-tendu, espace par ailleurs mis en tension par l'accélération des flux matériels et humains consécutive aux révolutions industrielles et politiques de la fin du XVIII^e siècle. Nous avons vu que ce genre de renversement peut être formellement rapproché de la façon dont Marx a analysé le rôle de la production marchande dans les sociétés modernes, mais aussi que l'on peut envisager sur cette base une approche différenciée des techniques numériques au sein du développement des techniques industrielles en général, sans pour autant avoir à les aborder sur le mode de la radicale nouveauté.

Pour situer plus précisément cette différenciation, nous avons alors repris une part des analyses marxiennes de la valeur et du travail comme catégories fondamentales des sociétés dont la reproduction est basée sur la production marchande généralisée. Cette reprise a

notamment été confrontée à un phénomène à la croisée de ces catégories fondamentales et des techniques numériques : le *digital labor*. Les questionnements qu'il permet d'ouvrir sur la place du travail à l'ère des plateformes numériques trouve alors des réponses dans la notion de capitalisme « inversé » qui peut justement être tirée du développement des analyses marxiennes.

De même que la force de travail envisagée elle-même en tant que marchandise accomplit potentiellement n'importe quelle production marchande et constitue ainsi la condition nécessaire de la reproduction du capital, la machine de Turing universelle, qui est le noyau conceptuel de l'informatique, contient potentiellement n'importe quel calcul¹⁷⁴ particulier au sens de Turing/Church¹⁷⁵. Cette propriété recèle une dynamique adéquate comme support des promesses nécessaires à l'alimentation de la dernière industrie encore motrice dans la phase actuelle du capitalisme, à savoir l'industrie financière, trouvant par là une voie pour se connecter aux activités menées dans le contexte d'une société par ailleurs massivement numérisée et démultiplier ainsi les usages de l'informatique.

En proposant d'étudier le phénomène de *digital labor* dans un tel cadre critique, nous avons établi qu'il est une manifestation du fétichisme du numérique (Arrivé 2015) qui est d'abord et avant tout celui de la marchandise dans une phase particulière de son développement historique. Le déferlement numérique prolonge¹⁷⁶ ainsi la dynamique de la production marchande en contribuant à la phase « inversée » du capitalisme, où les catégories de travail et de valeur sont toujours liées¹⁷⁷, mais prises dans de nouvelles déterminations induites par la production prédominante de marchandises d'ordre 2. Nous avons vu comment s'articulaient, dans ce contexte, travail productif et travail improductif en termes de valeur dans le cas des plateformes numériques vendant de l'espace publicitaire. Au delà de Google ou Facebook qui sont les « suspects habituels » évoqués pour caractériser cette classe de plate-formes, d'autres exemples peuvent être mobilisés. Lorsque le site *The Huffington Post* a

174 Rappelons-le à nouveau, ce calcul est une activité fondamentalement humaine dans l'approche de Turing et, si l'on reprend la lecture de Wittgenstein proposée par Wagner (2005, p.189), ne présente de sens que dans un cadre social car la notion de « calcul » n'a de portée qu'associée à un « usage civil », c'est-à-dire à une signification au sein d'une activité sociale.

175 Cette conclusion est aussi celle de Denis Durepaire (2019)

176 Dans un double sens, car le déferlement numérique assure la survie de la dynamique du capital pour un temps supplémentaire, d'une part, et il se situe dans la même logique tautologique induite par son caractère bifide concret/abstrait, d'autre part.

177 Nous nous écartons sur ce point des propositions énoncées dans la conclusion de (Broca 2017)

été racheté par AOL en 2011 à hauteur de 315 millions de dollars, cette valorisation s'appuyait sur une renommée mesurable qui dépendait elle-même de la contribution non rémunérée de ses utilisateurs/rédacteurs. Il s'agissait bien là de valider la production de marchandise d'ordre 2 (les titres financiers échangés lors de la transaction) sur la base d'une capacité objective de la plateforme à capter simultanément l'attention d'une audience et les contenus qui la suscite.

Il est aussi possible d'aborder, avec la même approche, d'autres terrains où se déploient conjointement des pratiques sociales impliquant information et communication, d'une part, et des techniques numériques en assurant la mise en œuvre, d'autre part. C'est notamment l'objectif de la deuxième partie de notre thèse qui se penche sur le cas des crypto-monnaies, et plus particulièrement de Bitcoin dont nous allons donner une description et une interprétation permettant de cerner le rôle spécifique de ce genre d'applications dans le cadre du déferlement numérique.

En effet, il est possible de dégager quatre axes inscrivant les crypto-monnaies dans les tendances exposées dans notre première partie, à savoir :

- la caractérisation des techniques numériques par leur forme bifide,
- la dynamique d'expansion permanente des calculs qui en résulte, de même que le caractère fétiche de l'informatisation,
- le numérique comme porteur d'espoir dans le capitalisme « inversé »,
- et enfin le lien entre déferlement numérique et crise de la dynamique de valorisation du capital.

Les crypto-monnaies sont des applications numériques destinées à mettre en œuvre des transactions monétaires sans qu'elles doivent passer par des tiers de confiance tels que les institutions bancaires ou financières. Tout d'abord, les crypto-monnaies peuvent être décrites comme des plate-formes (Gillespie 2010) numériques car elles offrent « un service d'appariement algorithmique d'informations ». Certes, elles ne sont pas conçues *a priori* pour mettre en œuvre un modèle d'affaires dans le cadre d'une intermédiation sur un marché biface (Rochet et Tirole 2003, Sonnac 2006) à l'image de Google ou Facebook, mais nous allons mettre en évidence, au moins pour Bitcoin, que le protocole sur lequel est fondé l'application est bien l'intrication de deux configurations socio-techniques. Le protocole implique d'un côté des utilisateurs réalisant des transactions monétaires, et de l'autre des opérateurs assurant

la sécurité de ces transactions en étant rémunérés sur la base de règles incluses dans le protocole en question. D'un côté des usages définis par le contexte de chaque transaction, de l'autre des opérations indifférentes au contenu propre de ces transactions. Si la plate-forme n'est pas destinée à adresser un marché biface, son protocole présente assurément un caractère bifide.

Cette intrication de deux configurations techniques est constituée par ailleurs de telle façon que la part assurant la sécurisation des transactions induit une accumulation de calculs sans contenu propre et en expansion permanente. Nous montrerons notamment dans la seconde partie que cette expansion n'est pas corrélée à l'usage de la crypto-monnaie (le volume et la fréquence des transactions) mais possède son propre ressort immanent avec la concurrence que se font les opérateurs de la sécurisation des transactions. Non seulement Bitcoin peut être abordé comme une plateforme, mais de plus il s'agit d'une plateforme dont une partie déterminante des calculs n'est pas effectuée dans le but de cibler un usage particulier. Malgré cela, la quasi totalité des utilisateurs de Bitcoin ne perçoit son fonctionnement qu'au travers de ses usages en tant que monnaie ou actif financier. Il s'avère cependant que les contraintes qui pèsent sur ces usages concrets sont déterminées par l'algorithme de sécurisation globale des transactions et dont la mise en œuvre implique l'expansion permanente des calculs sans contenu propre. Ainsi, Bitcoin manifeste le caractère fétiche des techniques numériques, non pas parce qu'une part de son fonctionnement serait caché, mais parce que ce dernier est fondé sur une mécanique assemblant concret et abstrait et induit un renversement où la part abstraite prend le pas sur la part concrète.

Une autre tendance révélée par Bitcoin est le lien privilégié qui existe entre le numérique et la production de marchandise d'ordre 2. Si globalement le numérique peut être vu comme l'appareil de production particulièrement adéquat pour ce type de marchandises, chaque application réalise cette adéquation selon ses propres particularités, et en présente donc des manifestations qui ne découlent pas mécaniquement d'un schéma général. Parmi tous les aspects de Bitcoin que nous aborderons dans la seconde partie de notre thèse, nous allons donc nous intéresser aussi à ces usages, au-delà de la vision portée par son (ou ses) concepteur(s) et qui a été traduite dans un document séminal (Nakamoto 2008) accompagné du code source de la toute première version en 2008. Nous verrons à cette occasion que le rôle de monnaie qu'était destiné à jouer Bitcoin s'efface, dans les faits, au profit de deux autres usages. D'une part les innovations introduites par Bitcoin – comme la notion de *blockchain* –

sont vues comme une infrastructure technique propre à servir de fondation à d'autres applications que les transactions monétaires accomplies sans intermédiaire de confiance. Ce genre d'infrastructures se déploie alors au bénéfice de certains acteurs qui étaient la cible des critiques ayant amené à la conception et à la mise en œuvre de Bitcoin. D'autre part l'idée d'un système de transactions en mesure de concurrencer des acteurs comme Visa, Mastercard, voire Paypal a rencontré de nombreux obstacles que nous décrirons en seconde partie. Ces obstacles ont tendanciellement amené Bitcoin à devenir plutôt un moyen de stockage de la valeur, et donc particulièrement indiqué pour servir d'actif financier.

Enfin, Bitcoin est apparu en lien avec la crise financière mondiale de 2007-2008, et ce lien n'est pas qu'un hasard de calendrier. Le discours explicite de son (ou ses) concepteur(s) est en effet de mettre en cause les opérateurs financiers et les États pour expliquer les origines de cette crise. Par la suppression du rôle d'intermédiaires perturbateurs que jouent ces acteurs, Bitcoin serait un outil permettant de résoudre cette crise et même d'empêcher toute possibilité de crise à venir, toujours selon la perspective de ce(s) concepteur(s). Selon l'interprétation de la dynamique du capital que nous avons adoptée dans le cadre de notre thèse, cette crise a cependant une toute autre origine et traduit plutôt un nouvel essoufflement de la dynamique de production des marchandises d'ordre 2 (Trenkle et Lohoff 2014). Cette production avait déjà connue un soubresaut lorsque la phase fordiste du capitalisme « inversé » avait pris fin, mais la dynamique d'accumulation simulée du capital était reparti sur des bases élargies avec la déréglementation financière au tournant des années 1980. Cela s'est en effet accompagné d'un potentiel de crise démultiplié qui a mis plusieurs décennies à se manifester, comme le montre Trenkle et Lohoff (2014). La phase « inversé » du capitalisme a alors connu un nouveau moment de restructuration entre 2007 et 2010. Les acteurs privés de la production de marchandises d'ordre 2 avaient pris, trente ans plus tôt, le relais des acteurs publics car ces derniers ne pouvaient plus assurer le rythme requis. Ils se sont appuyés pour cela sur un appareil productif particulièrement adapté, à savoir l'informatique¹⁷⁸. Mais ces mêmes acteurs privés ont dû de nouveau passer la main devant le décalage de plus en plus patent entre la masse de titres financiers accumulés et le peu de perspectives offertes par les porteurs d'espoirs associés. Afin d'éviter que se manifeste le caractère fictif de la valeur représentée par ces titres financiers, ils ont été retirés de la circulation et « parqués » dans les bilans de structures ad hoc créées à l'occasion, tandis que les banques centrales à travers le monde

178 On retrouve là le lien privilégié entre les NTIC et le *glissement de la prérogative politique* qui peut se déployer derrière l'écran d'un *impensé informatique*.

émettaient de la monnaie à un rythme inédit afin de pallier ce retrait et redonner du grain à moudre aux opérateurs des marchés financiers. Cette émission monétaire s'est donc produite avec, comme contreparties, des marchandises qui ne peuvent plus être mises en circulation sans dévoiler le peu de valeur qu'elles représentent, puisqu'il s'agit des titres financiers correspondant aux structures de défaisance¹⁷⁹ où sont immobilisés les actifs toxiques. La monnaie a donc globalement subi par contre-coup, avec cette crise, une « grande dévalorisation ». Si la production de marchandises d'ordre 2 devait connaître un nouveau trou d'air, ce *dernier ressort* que la puissance publique peut théoriquement faire jouer, ne serait plus mobilisable en l'état.

À ce titre, toute expérimentation prétendant refonder les bases de la production et de la circulation monétaire, a fortiori lorsque cette expérimentation est basée sur les techniques numériques, s'inscrit évidemment de manière appuyée dans notre problématique de la « rencontre » entre techniques numériques et dynamique du capital.

Après avoir abordé la problématique sous l'angle de la généralité et permis ainsi de poser un cadre conceptuel adéquat pour saisir cette « rencontre » dans la première partie de notre thèse, nous allons entamer sa seconde partie afin de parcourir les quatre axes ainsi dégagés en adoptant cette fois-ci le point de vue de la particularité, par l'étude du cas Bitcoin. Nous y trouverons, par ailleurs, un terrain propice à la mobilisation de notre modèle CRITIC de l'informatique, ainsi qu'une déclinaison des catégories mises en avant par Pascal Robert :

- celle d'*impensé informatique*, notamment par le fait que Bitcoin est présentée par ses promoteurs – mais aussi, souvent, par ses détracteurs – comme une application en mesure de bouleverser les fondements de la sphère économique, notamment en redistribuant les cartes entre ses acteurs.
- celle de *gestionnarisation*, dès lors que Bitcoin fournit une logique qui structure la production et la circulation monétaire elle-même, sans aucune échappatoire possible, et qui fait de cette production et de cette circulation, les ressorts premiers de toutes les autres logiques structurant des organisations humaines.

179 On parle de « structure de défaisance » pour désigner des entités juridiques à qui une entreprise transfère simultanément (et de manière irréversible) des dettes et des actifs dans le but de restructurer son bilan. Les intérêts des actifs sont alors censés financer le service de la dette. (cf. *Journal officiel de la République française* n°283 du 7 décembre 2018, texte n°101 intitulé « Vocabulaire des finances (liste de termes, expressions et définitions adoptés) » disponible en ligne à l'adresse <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000037769130>, consulté le 25 juillet 2019)

- celle de *glissement de la prérogative politique*, puisque Bitcoin représente un exemple de monnaie privée, dont l'émission et la circulation n'est prise en charge que par des automatismes, et donc à l'exclusion de toute institution où puisse se s'exercer une forme ou une autre de délibération.
- celle de *MOTIF*, enfin, car le protocole Bitcoin, ainsi que la blockchain, qui en est le produit continu, mettent en forme toutes les interactions envisageables entre les utilisateurs de Bitcoin, celles-ci devant impérativement se mouler dans une transaction et laisser une trace selon le format défini par le protocole Bitcoin.

Seconde partie : Une plateforme numérique pour une monnaie privé

Introduction de la seconde partie

Le développement des crypto-monnaies a été initié il y a moins de dix ans avec le déploiement concret de Bitcoin à la suite des propositions formalisées par son inventeur dans un article séminal (Nakamoto, 2008). Les crypto-monnaies sont depuis sorties du domaine de la recherche et des expérimentations à très petite échelle pour entrer, depuis le début des années 2010, dans celui des pratiques sociales en rapide expansion. Dans le cas de Bitcoin, qui est la plus populaire à ce jour, la masse monétaire représente environ 17,1 millions de bitcoins¹⁸⁰ en date du 22 juin 2018. Le taux de change est d'environ 6000 dollars américains pour un bitcoin à cette même date, ce qui situe la valorisation de l'ensemble à près de 115 milliards de dollars. Cette masse monétaire en circulation positionne le bitcoin au niveau de celles de pays comme le Brésil, l'Indonésie, l'Afrique-du-Sud ou la Turquie¹⁸¹. Suivant le taux de change du moment, le volume des échanges journaliers peut représenter plusieurs centaines de millions de dollars¹⁸². Ces données sont consultables en temps réel¹⁸³ sur le site *blockchain.info* qui, parmi d'autres du même genre¹⁸⁴, propose en effet de parcourir les informations contenues dans le registre des transactions en bitcoins, ainsi que de consulter

180 Bitcoin désigne tout à la fois l'unité de compte des transactions monétaires et le protocole informatique qui définit la façon dont les fractions monétaires sont produites et échangées via les réseaux numériques. Par convention tacite de la communauté des utilisateurs et des développeurs, « Bitcoin » avec une capitale est utilisé pour le protocole, tandis que « bitcoin » avec une minuscule est utilisé pour l'unité de compte. Pour lever d'éventuelles ambiguïtés, dans la suite du texte j'emploierai les termes « protocole Bitcoin » pour le premier cas et « monnaie bitcoin » pour le second cas, lorsque nécessaire.

181 cf. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2214rank.html> consulté le 22 mai 2017.

182 À son plus haut niveau dans le courant du mois de décembre 2017, un bitcoin valait presque 20 000 dollars et l'ensemble représentait 326 milliards de dollars tandis que les échanges du jour ont dépassé deux milliards et demi de dollars. La masse monétaire était alors comparable à celle de la Suède. Entre décembre 2017 et juin 2018, le bitcoin a connu une continuelle érosion de sa valeur.

183 cf. <https://blockchain.info/fr/charts> consulté le 19 mai 2017.

184 cf. <http://btc.blockr.io>, par exemple.

certaines statistiques construites sur ces informations. C'est une illustration du fait que les données relatives aux transactions sont ouvertes, c'est-à-dire accessibles au public.

La courte histoire des crypto-monnaies s'inscrit cependant dans celle plus large des techniques numériques employées pour mettre en œuvre des applications dédiées à l'information et à la communication. En effet, si l'application ainsi proposée par Nakamoto ne relève pas des classiques cas d'emploi des plateformes numériques, tels que la diffusion de contenus culturels ou les réseaux sociaux, par exemple, il est indéniable qu'elle consiste à mettre en place un système global d'informations et de communication en s'attachant à réduire le problème des transactions monétaires à la production, à la transmission et au traitement d'informations numériques publiques inscrites dans un registre ouvert, décentralisé et maintenu par l'échanges de messages entre les différentes parties prenantes. Ainsi, le développement actuel de Bitcoin se déploie dans la continuité des bouleversements introduits par le déploiement des techniques numériques dans le domaine de l'information et de la communication depuis plusieurs décennies.

Contrairement à ce que le terme pourrait laisser croire, les crypto-monnaies ne désignent donc pas des monnaies tapies dans l'ombre ou qui s'échangent sous le manteau. Bien au contraire, elles sont fondées sur l'exposition publique d'informations partagées et de messages diffusés ouvertement via les réseaux numériques. Le terme « crypto » désigne en réalité le fait que leur mise en œuvre s'appuie sur des algorithmes cryptographiques, sans pour autant que le secret en soit la finalité. Car, si la cryptographie est une discipline qui s'attache à assurer la protection de messages, la confidentialité – et donc le secret – n'en est qu'un des aspects. Les fonctions cryptographiques inscrites au cœur du fonctionnement des crypto-monnaies en général, et de Bitcoin en particulier, appartiennent à deux autres aspects tout aussi importants de la fiabilité des communications : l'authenticité et l'intégrité des informations stockées et échangées¹⁸⁵. Dans le premier cas, il s'agit de s'assurer que le message est bien issu de la source associée. Dans le deuxième cas, il s'agit de s'assurer que le message n'a pas été modifié depuis son émission.

185 cf. Référentiel Général de Sécurité de l'ANSSI (Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information) disponible en ligne à l'adresse https://www.ssi.gouv.fr/uploads/2014/11/RGS_v-2-0_B1.pdf (consulté le 25 juillet 2019) et en particulier l'Annexe A (Définitions et concepts) où l'on peut lire : « La cryptographie étudie la conception de mécanismes permettant d'assurer des propriétés de sécurité variées comme **la confidentialité, l'intégrité ou l'authenticité de l'information** » (nous soulignons)

La cryptographie n'est pas le seul élément notable sur lequel repose l'émergence de Bitcoin. D'autres innovations dans le domaine des réseaux numériques ont contribué à rendre plus tangible la possibilité d'une infrastructure d'échanges monétaires qui ne repose plus sur des institutions ou des prestataires de services assurant la médiation entre les participants d'une transaction, y compris les institutions en charge de la création et de la solidité même de la monnaie. Ces innovations, qui apparaissent au tournant des années 2000, consistent à développer, sur la base d'un accès à Internet, des services de partage de ressources en pair-à-pair. Ces services vont participer à la massification des usages d'Internet sur de toutes autres bases que celles des sites Web qui fonctionnent sur le mode client/serveur avec le protocole HTTP, inventé dix ans auparavant par Tim Berners-Lee (1989).

Mais, au-delà des avancées dans le domaine des infrastructures numériques, le démarrage de Bitcoin s'effectue dans un contexte bien particulier, celui de la crise bancaire de 2008 et de la défiance envers les acteurs du monde financier qui se prolonge depuis. La référence explicite à ces événements dans les motivations avancées par Nakamoto, et ceux qui ont collaboré avec lui pour lancer Bitcoin, mérite de faire un retour sur ce contexte et les liens que les promoteurs de Bitcoin établissent entre les problèmes qui font alors irruption et les solutions qu'ils se proposent d'y apporter. Il n'est donc pas inutile de se pencher sur les discours et les pratiques de ceux qui font la promotion de Bitcoin depuis presque dix ans – notamment pour y chercher les marqueurs d'un impensé informatique – mais aussi plus largement de rappeler leur filiation avec d'autres épisodes de l'avènement des techniques numériques comme outils de changement social.

Enfin, la boîte à outils numériques dont héritent les concepteurs de Bitcoin et qui comprend des fonctions cryptographiques et des architectures de réseaux en pair-à-pair est une condition nécessaire, mais pas suffisante, pour déployer une application comme Bitcoin. En effet, elle ambitionne d'assurer des échanges monétaires dont la validation ne repose ni sur la confiance entre les parties prenantes de la transaction, ni sur celle à accorder à une institution tierce, mais sur la coopération d'agents indifférents les uns aux autres, cette dernière étant réglée par un mécanisme automatique incitant à une participation honnête. Il faut donc définir et implémenter un protocole pour cette coopération. Comme l'a illustré Alexander Galloway (2004), les protocoles sont des objets sur lesquels on peut s'appuyer pour formuler des problématiques fécondes dans le cadre des sciences de l'information et de la communication, et pas seulement en ingénierie informatique. Nous souhaiterions dans le

cadre de notre thèse fournir une analyse du protocole Bitcoin qui permette de fonder une réflexion concernant certaines des propriétés remarquables que sa seule description formelle laisse dans l'ombre.

On voit donc que l'objet Bitcoin ne se laisse pas appréhender sous un angle unique ni même privilégié. Il n'est pas possible de négliger le fait qu'il s'agisse d'une application des techniques numériques dans un domaine particulier de la communication¹⁸⁶, ni qu'il soit brandi par ses promoteurs dans le cadre d'un projet de transformation sociale qui trouve des justifications dans une lecture particulière de la crise bancaire, ni même que ces promoteurs soient loin d'être les seuls acteurs nécessaires et suffisants pour porter son déploiement. Les discours, les usages, les possibilités et les contraintes techniques, le contexte de crise sont autant de facteurs constitutifs de l'émergence et du développement des crypto-monnaies en général et de Bitcoin en particulier.

Pour rendre compte de cette complexité, il nous faut adopter une démarche qui puisse caractériser chacune des ces composantes, mais aussi les rassembler conceptuellement dans leur unité, car elles ne se manifestent pas autrement dans le monde, et c'est dans cette intrication qu'elles produisent leurs effets. Pour cela, nous allons donc traiter empiriquement Bitcoin comme un composite associant objets, discours et contextes selon la démarche exposée par Joëlle Le Marec et Igor Babou :

L'approche du complexe par les composites consiste à désolidariser minutieusement les associations, tout en repérant de nouveaux regroupement et d'autres dynamiques. Par exemple, on voit comment le niveau des normes et celui des actions interagissent constamment. On constate également à quel point les discours sur les nouvelles technologies et les pratiques qui les mobilisent sont des choses très différentes, pouvant fonctionner indépendamment voire se contredire. Le dire ne suffit cependant

186 Il ne s'agit pas ici de démontrer ou de réfuter l'idée qu'une monnaie serait une forme de communication. Si ce trope est souvent brandi par les promoteurs de Bitcoin, ce n'est jamais en mobilisant des études étayées issues des sciences de l'information et de la communication, mais plutôt dans le prolongement d'arguments connus en histoire de la pensée économique et relevant des approches classiques et néo-classiques. La mobilisation de ce trope peut en revanche être étudiée dans notre cadre conceptuel comme une manifestation des fétichismes de la marchandise et du numérique. Nous traiterons ce point au chapitre 7 dans la section concernant « l'idéologie californienne ». Si nous évoquons un « domaine particulier de la communication » pour parler de Bitcoin, c'est que cette application numérique met en œuvre un *protocole de communication* entre les différentes parties impliquées. Nous traiterons en détail les tenants et les aboutissants de ce protocole dans le chapitre 8, en partant de l'approche initiée par Alexander Galloway (2004) sur les protocoles de l'Internet.

jamais pour construire une connaissance : c'est la description du détail des processus qui importe. (Le Marec & Babou, 2003, p. 299)

Parmi les résultats que cette démarche permet d'atteindre, il y a le fait de pouvoir caractériser les dynamiques intrinsèques du composite étudié tout en partant des effets constatés qui se manifestent pourtant parfois de manière contradictoire. Cette approche part des phénomènes hétéroclites et, par leur désassemblage – et non pas leur dissolution –, permet d'en reconstituer la logique propre en ajoutant au passage comme connaissance supplémentaire et fondamentale la possibilité d'expliquer les ressorts de l'émergence et de la combinaison des phénomènes, là où une simple démarche empirique ne ferait qu'en constater l'aboutissement ou le déroulement comme un donné toujours déjà là.

Les composites font apparaître comment diverses modalités d'existence du savoir et des représentations (contenus mentaux, discours, disciplines, objets technique, objets usuels, livres, etc.) sont mobilisés dans des tâches précises, et dans une multitude d'ajustements, d'actions, de créations, de destructions, de transformations éphémères. Or ces opérations incessantes sont précisément destinées à produire une représentation stable et lisse des savoirs, collectivement disponible et opératoire : elles créent les conditions de leur propre oubli. (*ibid.*)

Les composantes de Bitcoin dont nous allons proposer l'étude se répartissent en deux grands types de catégories : celles qui relèvent de ses dimensions socio-historiques et celles qui relèvent de spécifications techniques. Bien sûr, elles ne sont pas sans corrélation, mais comme l'approche en termes de composite le préconise, il nous faut les désolidariser pour mieux identifier leurs interactions. Ces deux grandes thématiques peuvent par ailleurs être légitimement saisies aussi bien l'une que l'autre dans le cadre des sciences humaines et sociales en général et des sciences de l'information et de la communication en particulier. Avec le travail théorique que nous avons mené dans la première partie, nous disposons maintenant du cadre permettant de se lancer dans « la description du détail des processus » sans perdre le fil de l'unité de leur composition, ni s'enliser dans les « opérations incessantes [qui] créent les conditions de leur propre oubli ».

En effet, en inscrivant les particularités des techniques numériques dans le cadre d'un modèle CRITIC dans le chapitre 4, nous avons pu établir la place qu'elles occupent dans l'ensemble des TIC. Les techniques numériques sont d'abord pareillement mobilisées pour explorer/construire l'ensemble des problèmes soulevés par l'accélération des flux matériels consécutifs aux révolutions techniques et politiques du tournant du XIXe siècle. Mais la dimension supplémentaire qu'elles introduisent *littéralement*, à savoir une totalité abstraite, constitue cette « unité de leur composition » que nous garderons à l'esprit afin que l'étude détaillée des phénomènes variés qui y sont rattachés ne nous conduise pas dans l'enlisement. L'étude du cas Bitcoin peut ainsi se pencher aussi bien sur des aspects techniques que sur les communautés en assurant la promotion, tout en inscrivant ces deux approches dans un tableau commun, et ceci sans avoir à plaquer l'une sur l'autre.

D'autre part, l'approche théorique du numérique que nous avons posée et développée dans la première partie est fondée sur le fait que les techniques industrielles dans leur globalité sont interprétées comme la matérialisation adéquate au mouvement du capital (Postone). Chaque technique industrielle est prise dans cette détermination, mais selon le principe de non-identité (Adorno), chacune doit être saisie en tenant compte de ses particularités intrinsèques et de celles du contexte historique qui voit l'adéquation technique/capital se manifester. À ce titre, toute révolution technique – c'est-à-dire le déploiement massif et rapide d'un système technique amenant un changement structurel de l'appareil de production – est aussi la marque d'une crise de la valorisation du capital. Nous avons montré dans ce cadre que l'adéquation particulière des techniques numériques correspondaient à l'avènement de la phase « inversée » (Trenkle et Lohoff 2014) du capitalisme qui a fait suite à son modèle fordiste au tournant des années 1970. Toujours selon Trenkle et Lohoff, cette phase « inversée » a elle-même connu un moment de restructuration à partir de 2007 qui s'est manifesté par une succession de crises financières jusqu'en 2010 et qui se traduit par un potentiel de crise démultiplié. Ce contexte est explicitement évoqué par le(s) concepteur(s) de Bitcoin (Nakamoto 2008) pour en justifier les principes et la mise en œuvre à partir de janvier 2009. Ces éléments invitent donc à réfléchir sur ce que Bitcoin introduit de nouveau dans l'adéquation des techniques numériques au mouvement du capital.

Dans cette seconde partie, nous allons donc aborder successivement le contexte socio-historique dans lequel émerge Bitcoin (chapitres 6 et 7), puis les principes au fondement du protocole conçu et mis en œuvre par Nakamoto et ses successeurs, ainsi que les propriétés

remarquables et les controverses qui en résultent (chapitres 8 et 9). Le premier chapitre de cette seconde partie permettra d'exposer les éléments du contexte dans lequel Bitcoin apparaît, en montrant notamment qu'il se situe à la croisée des chemins entre des innovations numériques et un moment historique de suspension dans la bonne marche des institutions financières. Dans le deuxième chapitre, nous nous pencherons sur la communauté d'où émerge la conception et la promotion de Bitcoin. Parmi les nombreuses facettes qui peuvent être mises en lumière, nous tournerons plus particulièrement les projecteurs dans quatre directions : les porteurs de « l'idéologie californienne », l'effervescence de la « scène crypto » parisienne, le monde du logiciel libre avec ses modes de gouvernance et les médias en ligne dédiés aux crypto-monnaies. L'analyse du protocole Bitcoin sera l'objet du huitième chapitre qui s'attachera, en déroulant pas à pas le cheminement de sa logique, à mettre en évidence à la fois la double nature et l'unité de l'ensemble des règles qui conduisent à l'élaboration du registre des transactions. Cette analyse sera complétée par des développements qui permettront d'établir certaines propriétés du protocole à l'interface avec le monde social, et notamment les contraintes qu'il peut imposer aux différents acteurs impliqués dans ses usages, sans qu'elles fassent partie des ressorts explicites de sa conception. Enfin, le neuvième chapitre proposera une enquête resserrée sur un point particulier, afin d'exposer l'interaction entre des contraintes induites par le protocole et les modes de gouvernance adoptés par la communauté pour arbitrer les conflits entre différentes interprétations de ces contraintes. Cette enquête portera sur la controverse concernant un paramètre du protocole Bitcoin : la taille maximale des blocs.

Nous concluons cette partie découpée en quatre chapitres en articulant les éléments établis dans chacun d'entre eux, pour affirmer que l'on peut aborder Bitcoin comme une plate-forme numérique. On y trouve en effet des éléments caractéristiques des plateformes numériques, tel le fait de proposer à ses utilisateurs la possibilité de produire du contenu qui est, par ailleurs, exploité par d'autres acteurs. D'autre part, malgré les espoirs des promoteurs de Bitcoin qui ambitionnent de corriger toutes les dérives du monde bancaire et financier de notre époque, le déploiement de Bitcoin n'est pas exempt d'un potentiel de crise qui s'inscrit dans une séquence de près de deux décennies et ne fait qu'en prolonger la dynamique¹⁸⁷. Cela constituera les deux résultats que nous mettrons en rapport avec les enjeux de la première

¹⁸⁷ Par ailleurs, le développement de Bitcoin a mis en évidence des nuisances potentielles du côté de la consommation énergétique requise. Cet aspect sera aussi abordé en lien avec l'analyse du protocole, en montrant notamment que l'évolution de cette consommation ne peut être maîtrisée en conservant les principes actuels du protocole.

partie qui étaient de resituer l'émergence du numérique dans le cadre de la dynamique du capital et de comprendre son rôle dans la phase actuelle du capitalisme marquée par la prédominance de la production de marchandises d'ordre 2.

Chapitre 6 : Une application numérique à la croisée de plusieurs chemins

Comme toutes les applications numériques, la conception de Bitcoin naît à la croisée de deux démarches. Il y a, d'une part, la formalisation du « problème à résoudre » de façon à ce que celui-ci soit compatible avec une solution prise en charge par un système de traitement automatisé d'informations, et qui s'inscrit donc dans le *formatage généralisé* dont les techniques numériques sont à la fois le ressort et le terrain. Il y a, d'autre part, les choix d'architecture spécifique et la réalisation concrète de ce système, en s'appuyant sur des principes et des composants techniques que l'ingénierie logicielle a établis par étapes successives tout au long de son développement. Dans le cas de Bitcoin, le « problème à résoudre » s'est manifesté par un dysfonctionnement des institutions bancaires en 2008 – même si ce genre d'événements, dont les apparitions sont récurrentes, a fait l'objet d'analyses bien auparavant dans la littérature consacrée aux crises financières. La solution proposée est celle d'une désintermédiation des échanges monétaires, l'architecture du système à même de la prendre charge est celle d'un réseau de pair-à-pair et les composants employés pour sa réalisation relèvent de la cryptographie. La crise de 2008, l'émergence des réseaux numériques en pair-à-pair et la recherche et développement en cryptographie numérique sont donc trois éléments de contexte qu'il convient de resituer pour mieux comprendre les conditions d'apparition des crypto-monnaies.

1. La crise de 2008

Le 3 janvier 2009, la première entrée dans le registre des transactions Bitcoin est inscrite sous la forme d'un bloc, qu'on peut se représenter comme une page du registre. Ce bloc, à partir duquel vont s'enchaîner tous les suivants selon le même schéma, est une

structure de données définie par le protocole bitcoin pour regrouper des informations de différents types dont, entre autres, une liste des transactions à ajouter au registre et un champ de données arbitraires. Ce champ n'a pas d'usage défini a priori et sa taille est la seule contrainte définie par le protocole. Nous verrons plus en détail les éléments constitutifs d'un bloc dans le troisième chapitre de cette seconde partie qui sera consacré au protocole. Il nous importe seulement pour l'instant de savoir que ce champ offre la possibilité d'inclure un commentaire libre. Cette possibilité est de fait employée dès le premier bloc forgé par Satoshi Nakamoto, créateur de Bitcoin. « Satoshi Nakamoto » n'est qu'un pseudonyme et rien ne permet aujourd'hui de conclure sur l'identité de la ou les personne(s) qu'il représente. Dans le cadre de la présente thèse, il importe peu de statuer sur cette énigme : les déclarations faites publiquement par l'intermédiaire de forums en ligne ou de listes de discussion par courriels et attribuables sans équivoque à une seule et même source sont suffisantes pour étayer notre propos. Nakamoto choisit donc de faire figurer pour la postérité, dans le champ libre de ce premier bloc, le message suivant :

The Times 03/Jan/2009 Chancellor on brink of second bailout for banks

Ce message fait référence au titre d'un article¹⁸⁸ publié à la une du quotidien *The Times* à cette même date. L'article en question évoque les tergiversations du ministre des finances britannique de l'époque, Alistair Darling, quant à l'opportunité de renflouer à nouveau les banques. En effet, malgré les premières mesures prises pour contrer la crise de liquidité qui a marqué l'automne 2008, les opérateurs financiers restent réticents à allouer des crédits, contribuant par là à retarder le rebond économique tant attendu.

Le geste qui a consisté à graver cette référence dans le marbre numérique est l'équivalent de la plaque commémorative fixée sur la première pierre posée lors de l'édification d'un nouveau bâtiment. On peut noter en passant que, si ce geste peut être interprété comme une forme de manifeste en creux, il n'a du coup pas l'ampleur ni la flamboyance d'une « *Déclaration d'indépendance du cyberspace* » comme a pu la rédiger John Perry Barlow (1996). La filiation qui peut être tracée entre ces deux gestes, comme nous le proposerons dans le chapitre suivant, sera donc aussi à nuancer en constatant que la communication est devenue plus « sèche », à l'image du passage des pages personnelles du

188 Disponible en ligne à l'adresse <https://www.thetimes.co.uk/article/chancellor-alistair-darling-on-brink-of-second-bailout-for-banks-n9l382mn62h> (Consulté le 26 avril 2017)

Web des années 1990 aux messages contraints par Twitter à se limiter à 140 caractères. On peut voir là en effet une manifestation anecdotique d'une volonté d'optimisation du discours qui accompagne la « gestionnarisation » que Pascal Robert (2014b) associe au mouvement d'informatisation : « Avec l'optimisation il en va d'une inflexion vers le champ lexical de l'économie : optimiser nous dit Le Robert, c'est "calculer le programme, le modèle optimal". Or le calcul ne se prête guère à la discussion, mais bien à la *production d'évidences* difficilement récusables » (Robert 2014b, p.214 , nous soulignons).

Mais quel que soit le caractère allusif de cette référence, il n'est pas anodin d'avoir fondé ce qui se veut une monnaie plus juste et efficace, selon ses promoteurs, sur le rappel d'une certaine effervescence, voire de la panique, ayant saisie brusquement le système bancaire dans sa globalité. Car c'est bien la crise bancaire de 2008 qui semble donner une soudaine légitimité à ce qui n'est alors encore qu'une expérimentation. Les principes fondateurs de cette expérimentation n'ont été formalisés que quelques semaines auparavant dans un article inaugural (Nakamoto, 2008) rendu public le 1^{er} novembre 2008 par l'intermédiaire d'une liste de discussion par courriels consacrée à la cryptographie¹⁸⁹. Le résumé de l'article décrivant les principes de Bitcoin commence en ces termes :

“A purely peer-to-peer version of electronic cash would allow online payments to be sent directly from one party to another without going through a financial institution.”¹⁹⁰

Dans l'introduction, l'auteur reprend la même idée en précisant qu'il va s'appuyer sur des procédés cryptographiques pour remplacer la confiance perdue dans les institutions financières :

“What is needed is an electronic payment system based on cryptographic proof instead of trust, allowing any two willing parties to transact directly with each other without the need for a trusted third party.”¹⁹¹

189 cf. <http://satoshi.nakamotoinstitute.org/emails/cryptography/1/> consulté le 26 avril 2017.

190 « Une monnaie électronique entièrement en pair-à-pair permettrait d'effectuer des paiements en ligne directement d'une personne à un autre sans passer par une institution financière »

191 « Ce dont nous avons besoin, c'est d'un système de paiement électronique basé sur des preuves cryptographiques au lieu d'un modèle basé sur la confiance, qui permettrait à deux parties qui le souhaitent de réaliser des transactions directement entre elles sans avoir recours à un tiers de confiance. »

C'est donc la défiance envers les institutions financières comme tiers de confiance qui constitue l'arrière-plan du démarrage de Bitcoin. Si Satoshi Nakamoto est le seul nom apposé pour signer l'article décrivant Bitcoin et lancer la première version de son implémentation concrète, la personne – ou le groupe – employant ce pseudonyme participe cependant à une communauté où sont discutées ses propositions, notamment par l'intermédiaire d'une liste de discussion par courriels portant sur la cryptographie que nous avons déjà évoquée, mais aussi sur des forums en ligne comme celui de la *P2P foundation*¹⁹². Il s'agit pour ces promoteurs de la première heure de faire la démonstration sur pièces, si l'on peut dire, de la pertinence de leur solution alternative, alors que les cendres produites par l'incendie sont encore chaudes.

Mais les événements qui se déroulent entre septembre 2008 et janvier 2009¹⁹³ s'inscrivent eux-mêmes dans une crise plus large qui débute à l'été 2007 avec la panique qui saisit le secteur des prêts à risques – les fameux *subprimes* – et se prolonge avec une crise de la dette publique qui touche la zone euro en 2010. Parmi les supports des *subprimes*, celui qui a constitué la principal contribution à l'effondrement de ce marché est l'immobilier aux États-Unis. La première moitié des années 2000 a en effet connu un phénomène de bulle immobilière, d'ailleurs alimenté par le manque de rigueur avec lequel étaient accordés des prêts hypothécaires par de nombreuses banques. Cette explosion de la valeur des biens immobiliers était cependant perçue comme un facteur positif contribuant au soutien de l'économie américaine de cette période car elle permettait aux ménages, via ces prêts hypothécaires, d'accéder à des liquidités qui ont contribué alors au boom de la consommation (Diop, 2009, p. 17)¹⁹⁴. Ce phénomène fut lui-même le bienvenu alors qu'une récession avait commencée en 2001, suite à l'explosion, au tournant des années 2000, d'une autre bulle, celle qui a affecté les « valeurs technologiques ». Cette phase spéculative concernait alors principalement les secteurs de l'informatique et des télécommunications – à ce titre, elle fut appelée la bulle Internet – et avait commencé à gonfler au milieu des années 1990. Quelques faillites retentissantes dans la foulée de l'explosion de cette bulle, dont les emblématiques Worldcom et Enron, ont mis à jour des pratiques de manipulations comptables à une échelle inédite visant à masquer des pertes occasionnées par des opérations spéculatives.

192 cf. <http://p2pfoundation.ning.com/forum/topics/bitcoin-open-source> consulté le 26 avril 2017. Nous aurons l'occasion de développer le sujet de la communauté Bitcoin au deuxième chapitre de cette seconde partie.

193 C'est la période qui marque l'acmé de la crise de liquidité des banques et autres institutions financières, ainsi que de l'impuissance des autorités publiques à la contenir, notamment avec la faillite de la banque d'investissement multinationale Lehman Brothers. (Artus et al. 2010)

194 « Réconfortées par des collatéraux qui prennent de la valeur, les institutions financières ont continué à prêter et les ménages à emprunter et à consommer davantage. »

La crise de 2008, qui frappe le secteur bancaire et se traduit par un tarissement des liquidités sur le marché interbancaire, semble apporter de l'eau au moulin des analyses des dysfonctionnements de l'économie centrées sur la création et la circulation monétaire et mettant en cause, si ce n'est la bonne foi, tout au moins la fiabilité des banques et des États quant aux missions qui leur sont confiées dans ce domaine (Artus et al. 2010). Ces analyses, qui ont été formulées, avec parfois des conséquences ou des recommandations divergentes, par différentes écoles de théories économiques telles que l'école de Chicago ou l'école autrichienne d'économie, et différents auteurs tels que Hayek, von Mises ou Friedman, constituent en tout cas le cadre principal qui guide la vision du bon fonctionnement d'une monnaie dont Nakamoto cherche la traduction dans un protocole numérique. Parmi ces principes, pas forcément compatibles entre eux si l'on prend les écoles et les auteurs cités à la lettre, on peut retrouver au cœur de Bitcoin, sous des formes plus ou moins explicites, ceux de l'étalon-or, de l'absence de banque centrale ou encore de la création monétaire non inflationniste (Weber 2016). Dans le mécanisme de l'étalon-or, l'unité monétaire représente un poids fixe d'or détenu comme contrepartie dans les coffres de la banque émettrice de la monnaie. Avec Bitcoin, la contrepartie à la monnaie ne serait plus l'or, mais une certaine quantité de puissance de calcul numérique dont nous verrons plus loin, dans le chapitre consacré à la description détaillée du protocole, à quel usage elle est destinée. Avec l'absence de banque centrale, c'est l'émission de la monnaie qui change de source. Nous verrons de même, dans le chapitre consacré à l'analyse du protocole Bitcoin, que cette émission et son allocation initiale est inscrite dans les spécifications du protocole et que ces tâches sont donc confiées à des algorithmes. Enfin les algorithmes en question sont définis avec des paramètres tels que la création monétaire est amenée à décroître dans le temps jusqu'à atteindre une masse totale fixée à l'avance.

La proposition de Satoshi Nakamoto apporte donc une « solution » fondée sur une vision bien particulière de la monnaie qui lui semble la réponse adéquate à la crise bancaire de 2008. Mais, à cette focalisation sur la crise de 2008, on peut objecter qu'elle ne prend pas en compte la séquence plus large décrite précédemment qui part du milieu des années 1990 et semble encore produire des effets aujourd'hui. Les éléments théoriques développés dans la première partie de cette thèse, et notamment la notion de capitalisme « inversé », nous permettent évidemment de prendre en compte cette objection et de donner, au-delà des

constats sur les phénomènes observés, une certaine cohérence à la séquence en question et un rôle non contingent à la montée en puissance du numérique qui lui est contemporaine.

« Comme le système capitaliste mondial retrouva, au cours des années 1980 et 1990, le chemin de la croissance, la croissance hypertrophiée de la superstructure financière fut de l'avis de tous considérée comme simple effet secondaire d'une poussée d'accumulation auto-entretenu. Jusqu'au krach de la "nouvelle économie" en 2000, le consensus régna plus ou moins pour voir dans le débordement des marchés financiers l'indice d'une solide dynamique auto-entretenu de l'économie réelle. Cet effondrement amorça un revirement d'opinion, qui devint manifeste au plus tard à l'automne 2008 au constat de l'affaissement du système bancaire transnational évité de peu. L'explosion des titres de propriété fut dès lors incriminée comme une évolution folle, qui avait poussé au bord du précipice un capitalisme sain en soi. Avec la résurgence de cette "légende du coup de poignard dans le dos", la façon de considérer l'activité des marchés financiers changea certes radicalement, mais le rôle réellement historique de la dynamique du capital fictif comme véritable source de la longue phase de boom postfordiste n'en demeure pas moins encore plus escamotée. » (Trenkle & Lohoff, 2014, p.242)

Ainsi, peut-on déjà relever que l'espoir déposé dans Bitcoin d'empêcher le genre le crise qui se manifeste à l'automne 2008, s'appuie sur le fait d'isoler cette manifestation particulière de la dynamique qui l'englobe et de faire de la création et de la circulation monétaire les causes déterminantes d'une défaillance qui ne serait attribuable qu'à des acteurs illégitimes parce qu'inefficaces.

Par ailleurs, le modèle de monnaie que l'application numérique Bitcoin est censée reproduire s'inscrit dans une phase du capitalisme antérieure à la phase « inversée ». Si le modèle de l'étalon-or a pu constituer un modèle viable dans la période du « fordisme » où l'accumulation de valeur pouvait s'accomplir sur ses propres bases en mobilisant les masses de travail requises par la production de nouvelles marchandises, il s'est trouvé de moins en moins adéquat à mesure que les conditions de cette dynamique s'effaçaient devant les hausses de productivité qui l'accompagnent nécessairement. Les politiques économiques keynésiennes ont tentées de trouver un substitut au ressort de plus en plus distendu en engageant la production de marchandise d'ordre 2¹⁹⁵ sous forme de dettes publiques. Mais cette impulsion

195 Pour rappel, les marchandises d'ordre 2 (Trenkle et Lohoff 2014) sont celles produites par l'industrie financière (publique ou privée) pour représenter une perspective de valeur à produire dans le futur, c'est-à-dire une consommation productive de travail humain sans contenu propre, devant être accomplie entre

était elle-même contrainte par les limites imposées à un budget public et il fallu privatiser cette production en la confiant à l'industrie financière dérégulée pour lui donner une ampleur supplémentaire. Or les raisons qui ont amené à supprimer l'étalon-or et à déréguler la finance, à savoir l'épuisement des possibilités de création de valeur au niveau requis par la masse de capitaux déjà accumulés, relèvent toutes du passage irréversible à la phase « inversée » du capitalisme : la création de valeur dans « l'économie réelle » n'est plus en mesure de s'accommoder d'un modèle monétaire fondé sur un étalon fixe, puisqu'elle est maintenant structurellement dérivée de la simulation qui se déploie dans la sphère financière. Le modèle monétaire de Bitcoin est donc une tentative de retour à une phase antérieure de la dynamique capitaliste, qui ne permet pas par ailleurs ce genre de trajectoires où le niveau de productivité régresserait de manière importante et durable : la concurrence entre capitaux aurait tôt fait de s'opposer au mouvement et de rétablir la marche en avant.

La « solution » proposée par Nakamoto semble donc inadaptée aux conditions d'apparition du problème qu'elle est censé résoudre, tout au moins concernant la mise en place d'une monnaie adossée à un étalon préservé de toute possibilité de manipulation selon les promoteurs de Bitcoin. Une telle « solution » ne peut tout simplement pas remplir la fonction remplie par la monnaie depuis que se sont imposées les conditions du capitalisme « inversé » et qui a de plus été encore bouleversée par la crise de 2008.

« [...] la monnaie mondiale qui avait existé jusqu'alors adopta ainsi la forme exacte que doit revêtir une monnaie mondiale adéquate aux nécessités du capitalisme inversé : avec le découplage vis-à-vis de l'or, le dollar ne représenta rien de plus que du capital-argent issu de l'anticipation de production de valeur future revenant à l'économie américaine. » (Trenkle & Lohoff, 2014, p.247)

Ce découplage n'est pas le fruit d'une « manipulation » visant à servir les intérêts de l'industrie financière ou à masquer le manque de responsabilité des états. Il n'est que le nécessaire dépassement des conditions devenues impraticables telles quelles pour la dynamique du capital. Le renversement de cette dynamique s'appuyant dorénavant sur le futur plutôt que sur le passé par la démultiplication de la production de marchandises d'ordre 2 requéraient un nouveau rôle pour la monnaie qui soit adéquat à cette nouvelle phase. Notons,

l'émission du titre et son échéance. *A contrario*, les marchandises d'ordre 1 sont toutes celles qui incorporent la valeur produite dès leur production et représentent donc un travail abstrait déjà accompli, et donc ayant déjà contribué à la valorisation d'un capital.

au passage, que la monnaie n'est pas une chose fixe aux propriétés immuables dès lors qu'on l'envisage en ne se limitant pas à ses qualités empiriques qui nous apparaissent dans la sphère de la circulation marchande. Rapportée à la sphère déterminante de la synthèse sociale capitaliste, celle de la production (y compris des marchandises d'ordre 2), la monnaie ne peut plus être appréhendée comme un invariant, ni d'une synthèse sociale à l'autre, ni à l'intérieur même de la synthèse sociale capitaliste tout au long de ses différentes phases.

À ce titre, la crise qui éclate en 2008 constitue une nouvelle détermination pour la monnaie. La dynamique de production de marchandises d'ordre 2 par l'industrie financière privée s'est trouvée elle-même en panne du fait d'une dégradation soudaine de la qualité des « porteurs d'espoir », du moins dans la perception des évaluateurs, entraînant le blocage des échanges interbancaires. Pour renverser ce blocage, les autorités des banques centrales en sont venues à prendre le relai de l'appareil privé de production de marchandise d'ordre 2 en allouant massivement des crédits aux banques mises en péril par l'absence de liquidité. Celles-ci apportaient comme collatéraux¹⁹⁶ les titres devenus suspects dans la sphère financière et qu'elles avaient au préalable isolé par l'intermédiaire de structure ad hoc de type « structure de défaisance » ou bien directement confié aux banques centrales, leur faisant ainsi jouer ce rôle de *bad banks*. Il s'agit, en quelque sorte, d'un retour dans le giron public de la production de marchandise d'ordre 2 après qu'elle ait été confiée pendant quelques décennies aux seuls acteurs privés en mesure de l'accomplir. Les titres ne pouvant plus entrer en circulation dès lors qu'ils n'offrent plus les perspectives nécessaires à la dynamique simulant la valorisation du capital, ont donc été accumulés dans le bilan des banques centrales qui ont assuré ainsi leur innocuité tant que dure la confiance dans les monnaies qu'elles émettent. Si la monnaie n'était rien de plus qu'une représentation du capital-argent depuis l'avènement du capitalisme « inversé » – tout simplement car il s'agissait de sa fonction la plus adéquate qu'elle puisse remplir dans cette phase – elle est devenue à l'occasion de la crise de 2008, l'actif déterminant sur lequel repose la poursuite de la dynamique.

« Pendant que les gardiens de la monnaie se portent acquéreurs de substitution et achètent des titres de propriété, qui ne seraient vendables, sans cela, qu'avec des primes de risque extrêmement élevées, ils délivrent assurément les États à sec de leur situation de resserrement aigu du crédit ; pourtant, le rachat généreux de titres pourris par les gardiens

196 Un collatéral, en finance, est une garantie destinée à couvrir le risque qu'un bénéficiaire de crédit de puisse plus remplir ses engagements de remboursement.

de la monnaie ne les transforme évidemment pas en de “solides” marchandises d’ordre 2, et il ne fait que déplacer le mouvement de dévalorisation en suspens à un autre niveau. Dans la mesure où les Banques centrales se muent en *bad banks*, c’est-à-dire en sites de stockage définitif pour les titres de propriété devenus irréalisables sur le marché des capitaux privés, le procès de crise se propage au médium argent [*i.e.* à la monnaie]. » (Trenkle & Lohoff, 2014, p.312)

Ainsi, non seulement la proposition de Nakamoto semble être une réponse anachronique à un problème dont les termes sont posés à partir de catégories inadéquates, mais la solution mise en avant a toutes les chances de participer à la propagation de la crise, au minimum en constituant un détournement de l’attention à porter aux facteurs déterminants, et éventuellement, comme nous le verrons en abordant le fonctionnement du protocole Bitcoin, en constituant la plateforme propice à la démultiplication du potentiel de crise maintenant situé dans la monnaie elle-même. En attendant, les personnes manifestant de l’intérêt pour la voie empruntée par Nakamoto ne manquent pas. Dès que ce dernier a fourni les moyens de déployer la première version opérationnelle du logiciel qu’il a développé et à partir de laquelle il a forgé le premier bloc, d’autres lui emboîtent le pas pour constituer un réseau en pair-à-pair, comme le requiert les spécifications de Bitcoin. Cette notion de réseau en pair-à-pair fait partie des innovations numériques sur lesquelles s’appuie Bitcoin et que nous décrivons dans la section qui suit.

2. Les innovations numériques

Cette adhésion au projet exposé par Nakamoto est donc en partie le produit d’une certaine vision du fonctionnement de la monnaie qui semble présenter une capacité à expliquer les phénomènes observés alors même que la crise bancaire de 2008 continue de se déployer et qu’elle fait l’objet de compte-rendus au jour le jour dans tous les médias¹⁹⁷. Mais

¹⁹⁷ cf. https://www.lemonde.fr/la-crise-financiere/article/2008/10/13/les-medias-parlent-ils-trop-de-la-crise_1106360_1101386.html (consulté le 21 mars 2019). Dans cet article du *Monde*, la journaliste rapporte la lassitude des lecteurs quant au caractère répétitif et anxiogène de la couverture médiatique de la crise, tout en constatant qu’en la présentant « comme un feuilleton avec chaque jour des rebondissements » il peut en résulter « un effet addictif » qui se traduit par « une montée progressive des ventes à mesure que la crise s’approfondissait ». L’article conclut sur une remarque d’un journaliste de *Libération* : « *A priori*, c’était un pari plutôt payant ». Au-delà de ce bref moment d’introspection, une étude menée par le SPERI (Sheffield Political Economy Research Institute, Université de Sheffield) concernant la couverture médiatique de la

les ressorts de la mobilisation des premiers participants s'inscrivent aussi dans un tableau incluant d'autres dimensions et jalonné de tentatives plus ou moins infructueuses pour mettre en œuvre des monnaies basées sur des protocoles numériques. Les autres dimensions de ce tableau ont pour cadre général le domaine des techniques numériques et sont organisées selon trois axes dominants et orthogonaux. Il y a tout d'abord les recherches en cryptographie et notamment le domaine de la cryptographie à clés asymétriques qui prend son envol dans les années 1970 (Diffie & Hellman 1976). Il y a par ailleurs les architectures de communication en pair-à-pair qui visent à mettre en œuvre des infrastructures décentralisées où aucun participant ne joue un rôle déterminant par rapport aux autres (Musiani 2015, p.247). Il y a enfin les pratiques – et pour ainsi dire la culture – des projets de développement logiciel en code dit ouvert (open source) ou libre (free software) selon les obédiences (De Filippi & Loveluck 2016). Nous allons présenter dans la suite de ce chapitre les deux axes concernant les innovations technologiques, tandis que celui relatif aux modes particuliers d'ingénierie logicielle et de gouvernance des projets fera partie du deuxième chapitre consacré à la communauté des promoteurs de Bitcoin.

La R&D en cryptographie

La majorité des innovations techniques qui jalonnent la préhistoire de Bitcoin ont émergé dans un champ particulier de la recherche et développement en informatique, celui de la cryptographie. Cette discipline est dédiée à la protection de l'information transmise dans des messages circulant par l'intermédiaire d'infrastructures ouvertes et/ou vulnérables – et donc supports de communications pouvant être interceptées – et cherche pour cela à formaliser des procédures à employer aussi bien par les émetteurs que les destinataires, ainsi qu'à fournir des outils qui concrétisent ces procédures et les rendent opérationnelles (Stinson 2003). L'avènement du numérique a permis de confier l'exécution de ces procédures à des machines bien plus performantes en la matière que les capacités cognitives humaines. Cela entraîne deux conséquences. La première est que la protection des messages peut être intégrée

crise de 2007-2008 et publiée en 2015, apporte la conclusion suivante : « If economic crisis is reified as a macro problem outside of human control – almost as a natural disaster – and if human beings are presented not as the victims of this calamity but rather as dehumanised consumers, it is harder for emotions such as anger to emerge through solidarity and compassion. » (cf. <http://speri.dept.shef.ac.uk/2015/12/17/new-speri-brief-neoliberalism-austerity-and-the-uk-media/> consulté le 21 mars 2019)

à des dispositifs de communication de façon beaucoup plus transparente dès lors que ces communications sont elles-même basées sur des techniques numériques, la vitesse de traitement permettant de réaliser les opérations de chiffrement et de déchiffrement sans que les échanges entre utilisateurs n'en soient trop pénalisés. Autrement dit, la surcharge introduite par la cryptographie numérique, aussi bien en termes de délais que de coûts, est négligeable pour les usages courants. La seconde est que les volumes des messages traités peuvent être beaucoup plus importants et donc couvrir des usages jusque-là inenvisageables, bien au-delà de ceux développés avec la mécanographie¹⁹⁸, par exemple.

Inversement, la cryptographie – plus exactement la cryptanalyse qui en est dérivée et qui consiste non pas à protéger les messages mais à percer à jour leurs protections – a joué un rôle capital dans l'avènement du numérique. En effet, les efforts à une échelle inédite fournis par les spécialistes de cryptanalyse des pays alliés pour déchiffrer les messages échangés par les armées de l'Axe durant la Seconde Guerre mondiale, ont contribué à des avancées significatives dans la mise au point théorique et pratique des premiers ordinateurs, même si ceux-ci ne sont réellement opérationnels que dans la deuxième moitié des années 1940, une fois la guerre terminée. On connaît, notamment depuis sa déclassification, toute l'activité des équipes mobilisées à Bletchley Park dont faisait partie, entre autres, Alan Turing (Hinsley & Stripp, 1993). Ainsi, les liens entre cryptographie et numérique font que les deux domaines se renforcent mutuellement : le numérique offre de nouveaux champs à l'application de la cryptographie qui peut être vue comme une fonctionnalité transverse permettant de protéger les informations et les communications de manière plus systématique ; inversement, l'intégration de ce genre de protection permet d'envisager de nouveaux usages du numérique qui requièrent des propriétés comme l'intégrité, l'identification ou la confidentialité des données.

Parmi les familles d'algorithmes relevant du domaine de la cryptographie, deux vont se retrouver au cœur du fonctionnement de Bitcoin, celle concernant les chiffrements à clés asymétriques et celle concernant les fonctions dites de hachage. Comme le terme l'indique, une fonction de hachage réalise de manière itérative une fragmentation/recomposition des données, de la même façon qu'en cuisine on produit un hachis en découpant de petits morceaux qui sont ensuite rassemblés pour renouveler l'opération jusqu'à obtention de la

198 La célèbre famille de machines Enigma, par exemple, fut réservée à des usages stratégiques qu'ils soient militaires, diplomatiques ou civils (transport ferroviaire, service postal, etc.), certes du fait de ces usages sensibles, mais aussi à cause de son coût suffisamment élevé pour ne pas pouvoir envisager une dissémination dans d'autres contextes.

consistance souhaitée. Concernant le chiffrement à clés asymétriques, des jalons importants dans ces domaines ont été posés à partir des années 1970, jusque dans les années 1990 qui ont vu les premières expérimentations s'appuyant sur ces avancées pour proposer des solutions de monnaies électroniques. On peut citer notamment le chiffrement RSA (Rivest, Shamir & Adleman, 1978), les arbres de Merkle (1989 (1979)), ainsi que l'algorithme ECDSA (Lopez & Dahab, 2000) proposé dès 1992 en réponse à un appel d'offre du NIST (National Institute of Standards and Technology). Parmi les tentatives infructueuses de monnaies électroniques employant ces éléments, certaines constituent des étapes où la formalisation des problèmes rencontrés donne des pistes de recherche pour les solutions proposées ultérieurement. DigiCash lancé par le mathématicien David Chaum, Hashcash inventé par Adam Back ou BitGold développé par Nick Szabo font partie de ces tentatives. Back et Szabo sont parmi les premiers interlocuteurs de Nakamoto et font tous plusieurs références à Chaum dans leurs échanges publics. Ils ont apporté, par ailleurs, des contributions majeures à Bitcoin avant même que Nakamoto n'annonce son retrait en 2010 et laisse à la communauté des développeurs assemblée autour des premières versions de Bitcoin, la responsabilité d'en définir les futures évolutions.

Le chiffrement à clés asymétriques consiste à assurer la protection des messages échangés entre deux interlocuteurs sans que ceux-ci n'aient au préalable besoin de partager une quelconque donnée sensible sur laquelle repose cette protection. Cette méthode assure donc un niveau de protection à la fois plus robuste et plus souple que celles reposant sur la transmission préliminaire d'un code secret qui, à ce stade des interactions, peut être interceptée, compromettant ainsi toutes les interactions qui vont s'appuyer ce code potentiellement compromis. Le terme asymétrique désigne le fait que le chiffrement va impliquer deux clés qui auront des usages et des rôles qui ne sont pas interchangeables entre l'émetteur et le récepteur. L'une des clés est publique tandis que l'autre est privée. La première peut être transmise sans avoir à en dissimuler le contenu, tandis que la seconde est conservée par le participant qui l'a produite, et son contenu n'a pas besoin d'être révélé pour néanmoins prendre part à la sécurisation de ses échanges. Pour ne pas compromettre la protection assurée par les algorithmes à clés asymétriques, il faut d'ailleurs que la clé privée soit protégée de tout risque de divulgation. Les bonnes pratiques liées à l'usage de ces méthodes de chiffrement indiquent donc que cette clé ne doit jamais circuler sur un réseau public, ni même être dupliquée. Si les clés publique et privée sont destinées à être employées

séparément, respectivement aux deux extrémités du canal qui relie les interlocuteurs cherchant à protéger leurs communications, elles forment cependant une paire indissociable et ne peuvent être employées qu'en concordance l'une avec l'autre. Lorsque l'une sert à chiffrer, l'autre sert à déchiffrer. Si la clé privée d'un participant A sert à chiffrer un message, alors le participant B peut utiliser la clé publique de A pour le déchiffrer et aura ainsi l'assurance que c'est bien A qui a chiffré le message. On a dans ce cas l'équivalent d'une signature du message par l'émetteur A. Si c'est la clé publique de B qui est utilisée par A pour chiffrer un message, alors A a l'assurance que seul B pourra le déchiffrer avec sa clé privée. On a dans ce cas l'équivalent d'un scellement du message destiné à B.

L'introduction des chiffrements à clés asymétriques donne une nouvelle dimension à l'affinité entre techniques numériques et cryptographie en apportant des réponses fiables aux problématiques de protection des messages échangés sur un réseau de communication sans avoir à s'appuyer sur des infrastructures dédiées ou des procédures hors ligne. Il devient, en effet, tout à fait simple de mettre en œuvre des protocoles qui s'appuient uniquement sur des réseaux publics et sans tiers de confiance, puisque c'est la même infrastructure qui va transporter en toute sécurité le contenu des messages et l'ensemble des éléments requis pour leur usage protégé. La cryptographie asymétrique permet ainsi le même genre de simplification des modes opératoires que celle qu'offre de manière générale la numérisation des informations et leur transmission via des réseaux œcuméniques. Les réseaux numériques publics deviennent ainsi l'infrastructure adéquate au déploiement de solutions de cryptographie à clés asymétriques, et inversement, ces solutions rendent possibles de nouveaux usages de ces réseaux qui requièrent la protection des messages.

Les fonctions de hachage constituent l'autre famille d'algorithme cryptographique qui a une grande importance dans le protocole Bitcoin. Une fonction de hachage est une fonction cryptographique qui a les propriétés suivantes : elle fournit une valeur numérique comprise dans un intervalle préalablement défini quelle que soit la taille des données fournies en entrée, d'une part, et d'autre part, de faibles variations de données en entrée provoquent de grands écarts entre les valeurs calculées correspondantes (Knuth 1998, section 6.4). Ces propriétés, combinées au fait que l'intervalle des valeurs calculées est assez large, permettent de définir chaque valeur calculée comme étant une empreinte unique – ou condensat – ne pouvant avoir été produite que par des données bien précises au bit près. Une autre propriété de la fonction de hachage est son irréversibilité pratique : calculer une empreinte est une opération

relativement simple et peu coûteuse, en revanche, déterminer quelles données vont produire telle ou telle empreinte est une opération pratiquement impossible.

Les fonctions de hachage peuvent être interprétées comme des fonctions de réduction. Mais cette réduction ne se fait pas dans l'objectif d'optimiser un traitement portant sur le contenu des données comme peuvent y contribuer par exemple les algorithmes de compression. L'objectif du calcul d'un condensat comme résultat d'une fonction de hachage est de réduire des données à un nombre qui peut être rattaché aux données initiales de manière univoque mais qui ne contient plus aucune trace explicite du contenu qu'elles représentent. Ce qu'il s'agit donc de produire avec les fonctions de hachage, c'est en quelque sorte une disparition du contenu même des données, tout en conservant paradoxalement un lien avec elles.

De manière générale, les fonctions de hachage constituent des briques élémentaires de la cryptographie numérique. Ces fonctions sont, en effet, souvent combinées avec des fonctions plus spécifiques, comme des algorithmes de chiffrement par exemple, pour définir des protocoles avancés. Il y a, là encore, un renforcement mutuel entre le caractère très général des techniques numériques et certaines de leurs applications qui démultiplient les opportunités de les employer. Nous trouvons avec la cryptographie numérique un exemple tangible de la dialectique entre le caractère abstrait du calcul au sens de Turing/Church, c'est-à-dire sans égard pour le contenu propre et la signification des éléments représentés, et le caractère concret, c'est-à-dire la nécessité malgré tout de trouver un « usage civil » à ces calculs pour servir de support à leur déploiement. Dans le cas de Bitcoin, les fonctions de hachage sont utilisées, entre autres, de façon à produire ce qu'on appelle des « preuves de travail ». Ce mécanisme déterminant sera étudié en détail au chapitre 8 pour mettre en lumière des propriétés de Bitcoin, qui seront alors rapprochées de manière plus précise des éléments théoriques élaborés dans la première partie qui a été consacrée à une analyse des catégories fondamentales des techniques numériques.

Les réseaux en pair-à-pair

L'autre domaine des techniques numériques pour lequel des innovations arrivées à maturité dans les années 1990 vont être employées dans la conception et la mise en œuvre de

Bitcoin est celui des réseaux en pair-à-pair. Une définition simple d'un réseau en pair-à-pair peut être la suivante : c'est une infrastructure de communication mettant en relation des participants de telle façon qu'aucun d'entre eux n'exerce un rôle différencié de manière prolongée. Ainsi, chacun peut prendre part à l'ensemble sans prérogative ni rôle subordonné. Ces participants indifférenciés sont caractérisés par Musiani (2015) comme étant ceux dont dépendent techniquement « [l]es opérations nécessaires au bon fonctionnement des systèmes, et au fait qu'ils fournissent correctement les services auxquels ils sont destinés » lorsque « leurs terminaux, leurs ressources informatiques, [sont] mobilisées de manière agrégée pour servir un objectif commun. » (*ibid.*, p.24). Musiani qualifie ces participants de « nains » relativement à la place occupée par les « géants », c'est-à-dire les opérateurs de services centralisées sur un mode client/serveur. L'organisation d'un réseau en pair-à-pair n'est pas à proprement parler une nouveauté puisque ce principe guide déjà la conception même du réseau Internet. La mise en circulation des données y est organisée sur la base du découpage des flux en paquets qui, outre les données à transporter, embarquent aussi les adresses des points de départ et d'arrivée. La définition de la route empruntée par ces paquets est alors confiée au bon soin du réseau lui-même. Celui-ci est, en effet, constitué de nœuds se contentant de relayer les paquets reçus au nœud qu'ils estiment le plus pertinent de mobiliser entre eux et la destination, sans connaissance du chemin global dont ils ne sont que de simples jalons. Le protocole de communication du réseau Internet (IP) formalise ces principes plus en détails, mais il ne constitue qu'une couche de base sur laquelle s'appuient d'autres protocoles destinés à prendre en charge des fonctions comme la fiabilité de la transmission (avec TCP qui offre une garantie sur le fait que les paquets de données soient bien reçus dans l'ordre de leur émission) ou des applications spécifiques en mode client-serveur et non plus en pair-à-pair (tel que HTTP pour le Web qui définit le format des requêtes et des réponses entre un serveur Web et un navigateur, par exemple), c'est-à-dire entre deux participants aux rôles rendus dissymétriques par ces protocoles applicatifs : le client ne fait qu'envoyer des requêtes, tandis que le serveur ne fait que lui fournir des réponses.

Comme la plupart des applications qui s'appuient sur Internet sont basées sur ces protocoles de plus haut niveau, telles que le Web avec HTTP, cette organisation sous-jacente en pair-à-pair n'est plus reflétée dans les usages répandus aujourd'hui. Le mode client-serveur s'est imposé comme mode d'interaction largement majoritaire quant à la fourniture des services sur Internet, la plupart étant disponibles via le Web et son client banalisé, le

navigateur. D'autres protocoles de type client-serveur existent, comme ceux employés pour le courriel par exemple, mais leur usage direct est de moins en moins répandu au bénéfice des interfaces Web qui permettent un accès ubiquiste aux services de messagerie de manière transparente pour les utilisateurs. En contrepartie, les fournisseurs de ces services ont des possibilités élargies pour mettre en place des modèles d'affaires basés sur la vente d'espaces publicitaires. Ces évolutions, quoique ayant fourni une voie pour la massification des usages d'Internet perçus comme des avancées en termes de libertés d'expression ou d'accès aux savoirs, ont aussi conduit à l'émergence d'infrastructures et d'acteurs qui posent aujourd'hui des problèmes fondamentaux dans les domaines suivants : atteintes à la vie privée, captation induite de la valeur économique ou même dépendance à des fournisseurs en position de quasi monopoles (Smyrnaioi 2017).

Ces préoccupations légitimes ont suscité assez vite des réflexions sur des moyens à mettre en œuvre pour contourner ces nouvelles contraintes, ou tout au moins les mettre en lumière dans le cadre de débats publics¹⁹⁹. D'autres préoccupations sortant du cadre légal, notamment quant au non respect des droits de reproduction, mais visant malgré tout au même contournement (Mattelart 2011), ont exploré depuis près de vingt ans la voie qui consiste à mettre en œuvre un protocole de haut niveau qui ne soit pas fondé sur le mode client-serveur, mais déploie un réseau en pair-à-pair pour des applications particulières (Gkouskou Giannakou Pergia 2006, pp. 202-203). C'est ainsi que le partage de fichiers au dépens des ayants-droits s'est imposé comme la vitrine de ce type de réseau. Depuis Napster, lancé en 1999, jusqu'à BitTorrent très actif aujourd'hui, en passant par FastTrack, Overnet, DirectConnect ou Gnutella, les solutions se sont multipliées au tournant des années 2000. Mais la problématique de la répartition des ressources, des responsabilités et du contrôle sur l'ensemble des parties prenantes d'un réseau de communication ne se limite pas au cas de l'échange illégal d'œuvres musicales, cinématographiques ou télévisuelles converties dans un format numérique de stockage. Le calcul distribué – ou distribution de la puissance de calcul – fait aussi partie des applications potentielles d'un réseau en pair-à-pair. Si BOINC²⁰⁰ fait parfois figure d'exemple de ce type d'applications, il faut cependant noter que le protocole sous-jacent est du type master/worker qui n'est qu'un cas particulier de client/serveur où le

199 On peut citer comme exemple l'action depuis 2001 du réseau d'éducation populaire Framasoft, et notamment sa campagne « Dégooglisons Internet » lancée en 2014

200 *Berkeley Open Infrastructure for Network Computing*. Comme son nom l'indique, c'est une plateforme ouverte de calcul distribué développée au sein de l'université de Californie à Berkeley, initialement pour le projet SETI@home de détection de signaux extraterrestres, mais aujourd'hui généralisée à des applications scientifiques diverses.

serveur distribue des tâches à accomplir sur sollicitation des clients et orchestre de manière centralisée la coopération des différents nœuds sur lesquels s'exécute le programme de calcul.

Bitcoin représente le premier cas de calcul²⁰¹ distribué réellement mis en œuvre sur un réseau en pair-à-pair décentralisé, du moins à cette échelle et avec ce niveau d'adoption par un public large et diversifié. Il présente en plus la particularité d'être simultanément un service de partage de fichiers puisque les calculs en question portent sur un registre de transactions dont chaque participant détient une copie locale. Avec ces participants répartis sur le réseau, nous sommes donc typiquement dans le cas de ces « nains » définis par Musiani, même s'il s'avère, comme nous le verrons au dernier chapitre, qu'un phénomène de concentration résultant de la logique même du protocole donne à certains de ces « nains » des dimensions industrielles. Par ailleurs, les « géants » auxquels ils se confrontent en se positionnant sur le terrain des transactions monétaires n'ont pas exactement le profil des « géants » des technologies de l'information énumérés par Musiani, à savoir Google, Facebook, YouTube ou Dropbox. Bitcoin s'oppose plutôt à des « géants » comme Visa, MasterCard, Western Union, SWIFT²⁰² ou PayPal²⁰³. Si ce dernier peut encore être rapproché des « géants » issus de l'Internet, les autres ne se caractérisent pas exactement par une architecture technique de type client/serveur sur un réseau public, ni par des usages nés avec la massification de l'accès à Internet, mais plutôt par leur rôle au cœur des systèmes de traitement et d'échanges du monde bancaire et financier. Bitcoin propose bien d'employer une architecture particulière, celle des réseaux en pair-à-pair, mais non pas pour contrer les effets indésirables d'une architecture client/serveur ayant favorisé la prise de contrôle par certains acteurs des usages massifs d'Internet, mais pour s'attaquer à des institutions qui précèdent largement l'avènement d'Internet, les institutions bancaires en l'occurrence. Nous avons vu dans la section précédente de ce chapitre en quoi cet objectif était fondé sur une compréhension du rôle de ces institutions et de celui de la monnaie qui n'était pas adéquate à la situation actuelle du capitalisme « inversé ». Cette inadéquation, combinée à des propriétés du protocole qui n'ont

201 Le calcul en question qui s'appelle « minage » dans le cadre du protocole Bitcoin sera étudié plus en détail dans les troisième et quatrième chapitres de cette seconde partie, concernant le protocole, d'une part, et ses propriétés remarquables, d'autre part.

202 *Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunication*. Il s'agit d'une coopérative de droit belge fondée par les plus grosses banques mondiales dans le but d'opérer des transferts interbancaires sur la base d'un service de messagerie électronique dédié.

203 Même si Google et Apple ont des offres concurrentes à PayPal avec respectivement Google Wallet et Apple Pay, ils n'occupent pas aujourd'hui la même place que PayPal sur le créneau des paiements en ligne ou mobiles. (Source site internet CNBC <http://www.cnn.com/2015/02/24/google-wallet-and-apple-pay-race-for-second-place.html> consulté le 10 mai 2017)

pas été anticipées par les concepteurs de Bitcoin, entame sérieusement la capacité de cette application numérique à remplir les objectifs de ses promoteurs, comme nous allons le constater progressivement, en étudiant successivement ceux-ci dans leurs différentes approches du composite Bitcoin, ainsi que le protocole en question.

Chapitre 7 : Les promoteurs de Bitcoin

Si la naissance de Bitcoin est justifiée selon Satoshi Nakamoto par une défiance à avoir nécessairement vis-à-vis du monde bancaire et qu'il s'emploie pour cela à en construire une alternative, il s'avère que cette industrie a su s'accommoder de la menace et même montrer de l'intérêt quant aux perspectives de nouvelles activités que les crypto-monnaies pouvaient ouvrir. Que le secteur bancaire se fasse aujourd'hui le promoteur des technologies qui ont été explicitement conçues pour s'en passer, cela relève à première vue du paradoxe déroutant. Pour résoudre le paradoxe en question, il va nous falloir mener un inventaire des différentes positions qui amènent des acteurs variés à se faire les soutiens, voire les contributeurs, à l'émergence et au développement de Bitcoin.

Depuis les tenants d'une informatisation du champ politique permettant de se passer des institutions jugées inefficaces – et donc à ce titre illégitimes, à leurs yeux – jusqu'aux porteurs de projets « disruptifs » censés ouvrir de nouveaux champs de valorisation, en passant par les virtuoses du développement (ouvert) de logiciels cryptographiques, mais aussi les nombreux médias spécialisés qui ont fleuri sur le terrain des crypto-monnaies, les promoteurs de Bitcoin présentent des visages variés et peuvent même souvent alterner ou combiner les masques en mariant différents registres de justification. Nous verrons dans ce chapitre sur quel fond commun sont répartis les rôles.

1. Une branche de l'idéologie californienne

Le déploiement des techniques numériques dans le domaine de l'information et de la communication a été porté par une communauté d'ingénieurs, d'entrepreneurs, d'artistes, mais aussi de théoriciens de sciences humaines et sociales, qui voient dans l'ordinateur l'outil privilégié pour optimiser les interactions au sein de la société sur la base d'une vision bien particulière de ces interactions (Turner 2013). Les promoteurs des crypto-monnaies s'inscrivent aussi dans ce même cadre de « l'idéologie californienne » qui considère que les TIC vont permettre de dissoudre les structures de pouvoir existantes et de les remplacer par des interactions directes entre individus autonomes au moyen des seules infrastructures numériques : réseaux de communication, logiciels et applications, terminaux personnels... Toute interférence avec ces interactions élémentaires est même proclamée comme grosse du genre de contrecoups auquel doivent s'attendre ceux qui défient les lois de la nature (Dostaler 2008). En quelque sorte, cette idéologie peut être caractérisée par l'idée que l'informatisation rend libre car elle permet d'effacer les interférences introduites par les structures et groupes sociaux qui s'interposent entre les individus. C'est avec des travaux datant de la fin des années 1990, tels que ceux de Barbrook et Cameron (1996), de Winner (1997) et de Borsook (2000) qu'a été mis en évidence ce qui a été alors nommé « l'idéologie californienne » pour rappeler que ses acteurs étaient souvent localisés en Californie où se trouvaient concentrés des centres de recherche universitaire, des industriels de l'électronique, des télécommunications et des médias, mais aussi quelques communautés utopistes cherchant à refonder le contrat social. Les travaux plus récents de Turner (2013 [2006], 2016) ont ajouté une profondeur historique à ce phénomène, en montrant notamment comment les idées de la contre-culture des années 1960 se retrouvaient mêlées au développement des techniques numériques, pourtant issues à cette époque des laboratoires contractant avec l'armée américaine, mais aussi comment ces idées de la contre-culture pouvaient elles-mêmes être l'expression d'une approche cybernétique de l'information tendant à promouvoir sa circulation et sa présentation tous azimuts pour contrer les tendances de la personnalité autoritaire. Le sentiment général qui prévaut au sein de ces milieux porteurs de « l'idéologie californienne » est donc que le développement des technologies de l'information et de la communication doit être promu comme le cadre général au sein duquel les innovations les plus récentes dans le domaine du numérique peuvent enfin permettre des changements sociaux profonds. Les tenants de crypto-monnaies, prolongeant cet état d'esprit, se proposent d'employer les techniques numériques

afin de promouvoir un changement social qui leur paraît primordial : l'adoption à grande échelle des monnaies privées.

Les crypto-monnaies relèvent en effet clairement de la catégorie « monnaie privée » puisque, de par leur conception même, elles ne sont ni émises (directement ou indirectement), ni garanties par un État. Il s'agit donc possiblement d'un *glissement de la prérogative politique*, tel que le définit Pascal Robert (2005), comme « possibilité, pour un acteur aux intérêts privés, de remplir de facto une fonction politique sans avoir à payer le coût d'accès au système politique démocratique (investissement électoral) et en contournant l'état » (Robert, 2014, §16). À ce titre, les crypto-monnaies sont activement promues et développées par ceux qui, dans la lignée des positions de Friedrich Hayek (1976), par exemple, cherchent les moyens de diminuer la capacité des États à manipuler l'économie à leur avantage. La forme fondamentale au travers de laquelle est appréhendée la notion de monnaie par le(s) concepteur(s) de Bitcoin est celle de l'échange contractuel (De Filippi & Jean, 2016), mais un contrat en quelque sorte *anonyme* qui permet donc son usage comme moyen de paiement par sa mise en circulation sur les seules bases de l'offre et de la demande. La monnaie n'a ainsi plus de lien, direct ou indirect, avec une autorité en charge de son émission et de sa régulation, et ne repose plus sur la confiance que le public en général et les acteurs économiques en particulier peuvent – et doivent – lui accorder pour en faire usage.

L'idéal de justice revendiqué par les promoteurs des monnaies privées est donc fondé sur la transparence, seule garante, selon eux, de l'application non distortue des principes de l'offre et de la demande. Derrière cette revendication, il y a une vision de l'agent économique usager de la monnaie comme étant un agent rationnel s'appuyant sur une information ouverte pour en tirer des décisions maximisant son intérêt. À l'irrationalité et aux manipulations introduites par l'État (et par les institutions à qui il délègue la gestion de la monnaie) comme agent privilégié abusant d'un pouvoir déclaré illégitime et opaque, les tenants des monnaies privées opposent l'action rationnelle et intéressée des agents individuels qui ferait émerger un équilibre optimum pour l'ensemble, au vu et au su de tous. On comprend dès lors tout l'intérêt que peut représenter, dans le cadre de cette approche de l'économie, le fait de disposer d'un réseau de communication déployé à une échelle globale et ne mettant aucune barrière à l'entrée pour limiter l'accès à certaines catégories d'utilisateurs ou d'usages. On peut à maints égards considérer qu'Internet n'est qu'une approximation de ce genre de réseau idéal. La mise en place concrète d'un réseau planétaire connectant des opérateurs et des usagers aux statuts

divers (commerciaux, étatiques, non gouvernementaux...) demande en effet des efforts et des ajustements qui sont autant de prétextes à une gestion sélective du trafic. Les controverses sur la neutralité du réseau (Schafer & Le Crosnier 2011) sont là pour illustrer que, aussi bien au niveau de l'architecture logique que de l'architecture physique, il y a suffisamment de leviers pour discriminer les usages. D'autre part, bien que les réseaux de téléphonie mobile aient contribué à étendre rapidement la couverture dans certains pays, il y a toujours une grande disparité dans l'accès à Internet selon les régions du monde et les catégories sociales. Son avènement représente tout de même une opportunité pour les promoteurs de monnaies privées qui tentent de surmonter les écueils sur lesquels ont buté les expériences passées en ce domaine.

2. La « scène » crypto

Cependant, cette justification des crypto-monnaies comme terrain concret de la mise en œuvre des visions de Hayek ne peut constituer le seul ressort de toutes les implications dans la « communauté crypto ». Celle-ci est aussi constituée par des individus qui peuvent certes parfois fonder leur participation sur des approches tout aussi instrumentales et transhistoriques de la monnaie, mais néanmoins dénuées des revendications explicites concernant le retrait de l'État portées par la frange libertarienne. Ce n'est pas une idéologie commune et préalable qui « produit » cette communauté mais bien la rencontre tissée autour de pratiques convergentes. Cela se rapproche de la notion de « scène » culturelle que Straw (2004) a conceptualisée autour de certaines pratiques musicales à Montréal.

“Scene designates particular clusters of social and cultural activity without specifying the nature of the boundaries which circumscribe them. Scenes may be distinguished according to their location (as in Montreal’s St. Laurent scene), the genre of cultural production which gives them coherence (a musical style, for example, as in references to the electroclash scene) or the loosely defined social activity around which they take shape (as with urban outdoor chess-playing scenes).” (Straw, 2004, pp. 412)²⁰⁴

204 « La scène désigne des constellations particulières d'activités sociales et culturelles, sans avoir à préciser la nature de leurs frontières. Les scènes peuvent se distinguer selon leur localisation (comme la rue Saint-Laurent, à Montréal), selon le genre de production culturelle qui leur donne une cohérence (un style musical par exemple, comme dans le cas de la scène electroclash), ou selon l'activité sociale plus ou moins définie autour de laquelle elles prennent forme (comme pour le jeu d'échecs pratiqué dans les parcs urbains) »

Straw propose donc de se pencher sur le panel d'activités concrètement menées par les acteurs d'une « scène » plutôt que de postuler a priori une culture commune qui les rassemblent.

“[...] we might move from the question of how urban culture “produces” scenes to that of how the activities transpiring within scenes produce urban culture as a set of institutions and textures.” (Straw, 2004, pp. 412-413)²⁰⁵

Les activités que déploient les participants de la « communauté crypto » présentent plusieurs facettes qui peuvent être réparties en trois catégories. Ces catégories sont la pratique du logiciel libre au sens large, l'entrepreneuriat numérique et la R&D en cryptographie. Il ne s'agit pas forcément et uniquement de contributions directes au code source, à la création d'entreprises ou à la mise au point de méthodes cryptographiques, qui sont les parts assumées respectivement par les développeurs, les entrepreneurs et les chercheurs. Mais cela concerne aussi toutes les activités explicites ou implicites de test des logiciels que peuvent prendre en charge des utilisateurs, ou le fait de prendre part aux débats autour des propositions de nouvelles fonctionnalités des applications et de l'évaluation de leurs impacts, et plus largement à une certaine effervescence autour de leurs annonces ou des figures entrepreneuriales qui les portent.

La notion de « scène » proposée par Straw peut sembler décalée dans un univers qui ne relève pas des courants musicaux ou littéraires, ni même du spectacle vivant, mais elle paraît déjà moins incongrue si l'on rappelle l'existence de la scène « démo » (Reunanen, 2017). Au sein de cette « scène », les pratiques de création artistique consistent à réaliser des programmes informatiques consommant peu de ressources et dont l'exécution déploie des œuvres musicales et graphiques intégralement numériques. Un certain rapport aux techniques numériques peut donc parfaitement constituer le ressort des pratiques constitutives d'une « scène ». La notion de « scène » constitue par ailleurs un modèle analytique tout à fait adapté si l'on tient compte du fait qu'aucun « mode de vie » spécifique ou aucune affiliation à une « sous-culture » comme identité spécifique n'est revendiqué par ceux qui se reconnaissent

205 « [...] nous pourrions déplacer la question de savoir comment une culture urbaine « produit » des scènes à celle de savoir comment les activités infusant dans les scènes produisent une culture urbaine comme ensemble d'institutions et de textures »

dans la « communauté crypto ». Il n’y a même à proprement parler aucune fonction sociale particulière qui puissent être mise en avant pour rendre compte de ce qui anime la « communauté ». Ces identités et ces fonctions existent bel et bien mais notre constat est que, si elles peuvent expliquer la présence et la contribution de tel ou tel participant dans la communauté, elles ne peuvent pas, en revanche, expliquer la dynamique qui anime l’ensemble. Chaque participant peut être amené à se positionner comme codeur, entrepreneur ou chercheur, mais la sociabilité de la communauté se maintient et évolue plutôt au gré des événements qui en ponctue l’agenda. La communauté n’est ni professionnelle, ni sectaire, ni d’intérêt, mais semble avant tout traversée et liée par l’enthousiasme, la ferveur des passionnés qui s’emploient à porter la bonne parole. C’est d’ailleurs une dimension de la notion de « scène » qui fait particulièrement sens dans le contexte de la « communauté crypto ». Cet enthousiasme manifesté en toute occasion agit comme un supplément de sociabilité et se déploie de manière virale. C’est à la fois le produit et le présupposé d’une certaine effervescence, marquée par des lieux « remarquables » – comme les désigne Straw dans le contexte des « scènes » – à partir desquelles se diffusent des objets, des signes, des expressions. À ce titre, La Maison du Bitcoin fait figure de point focal depuis son ouverture en 2014²⁰⁶. Localisée à Paris dans le quartier du Sentier où sont installés aujourd’hui de nombreux *datacenters*²⁰⁷ ainsi que des entreprises opérant dans le numérique, le lieu accueille un comptoir d’échanges pour l’achat et la vente de bitcoins, des jeunes entreprises innovantes qui proposent des produits et des services liés à Bitcoin, des sessions de formation sur les mêmes sujets pour des publics variés, des réunions publiques d’information sur l’actualité des crypto-monnaies, etc. Le fondateur du lieu, par ailleurs créateur d’une entreprise proposant un comparateur de prix en ligne qu’il a cédée à la fin de l’année 2013, explique ainsi les tenants et les aboutissants de son projet :

206 Le lieu a été renommé Coinhouse Paris Store en juin 2018 pour prendre une identité plus internationale et afficher son ouverture à d’autres cryptomonnaies. Ce changement de nom marque aussi le passage d’une activité centrée sur l’information au grand public vers des services ciblant des acteurs économiques plus institutionnels.

207 Centre de traitement des données : il s’agit de locaux dédiés aux infrastructures numériques dans lesquels sont regroupés trois fonctions. La première est une alimentation électrique sécurisée couplée à une climatisation et des systèmes de prévention contre l’incendie pour se prémunir de toute interruption des services pouvant entraîner des pertes de données. La deuxième est une puissance de calcul et de stockage organisé sur la base de matériels et de procédures d’exploitation standardisés pour en rationaliser le coût. La troisième est une connexion à haut débit au plus près des dorsales Internet, ces réseaux longues distances qui assurent le transit du trafic à un niveau global.

« Nous avons un certain nombre d'idées de développement autour de Bitcoin, mais nous avons vite compris qu'il était nécessaire d'assurer en parallèle la promotion de cette technologie, que ce soit auprès du grand public, des journalistes ou des entrepreneurs. L'idée est donc naturellement venue d'ouvrir un lieu qui regrouperait à la fois nos développements et un « show room » pour expliquer et promouvoir le Bitcoin. Cet espace souhaite aussi devenir un lieu d'échange autour de la technologie, en permettant aux enthousiastes – codeurs, mineurs, etc. – de pouvoir s'y retrouver et disposer de ressources leur permettant d'avancer dans leurs projets »²⁰⁸

Le concept de « scène » permet aussi de prendre en compte les extensions virtuelles de ces lieux concrets. Ces extensions se forment à partir de ressources diffusées sur Internet et ne se limitent pas à la publication de compte-rendus de l'activité des lieux par leurs représentants officiels, mais tissent des liens réciproques et contribuent à leur aura. Andy Bennett qualifie cette composition entre un lieu et ses extensions en ligne de « scène virtuelle » (Bennett, 2004, pp. 230-232). Dans le cadre de la communauté francophone, la « scène virtuelle » de Bitcoin est constituée de sites d'actualités, de forums de discussion et de blogs personnels qui ont tous un rôle dans le maintien de cette effervescence déjà évoquée. Mais parmi les outils en ligne mobilisés pour entretenir une animation permanente, la plate-forme Meetup²⁰⁹ représente une combinaison notable puisqu'elle propose de publier des annonces d'événements en lien avec un lieu et un groupe, et auxquels les membres utilisateurs de la plate-forme sont invités à signaler leur participation. Les événements sont eux-mêmes rattachés à des thématiques et les membres peuvent rejoindre les groupes appelés *meetups*, publier de nouveaux événements, ainsi que renseigner leur profil pour être mieux identifiés par les autres utilisateurs, ce qui complète la gamme des relations qui peuvent être établies – et parcourues – entre lieux, groupes, membres et événements. La navigation entre ces liens et la réception des notifications concernant les événements publiés tissent la trame de cette « scène virtuelle » et offre des opportunités toujours renouvelées de l'étendre et de la densifier.

Un dernier aspect de la notion de « scène » qui rend celle-ci pertinente à mobiliser pour étudier la « communauté crypto » renvoie au contexte urbain, et plus particulièrement à la phase post-industrielle qui caractérise le développement ou la reconfiguration des villes et de leurs quartiers dans les dernières décennies. Il n'est pas anodin que la Maison du Bitcoin soit

208 Propos d'Éric Larchevêque recueillis en février 2014 sur le site bitcoin.fr (<https://bitcoin.fr/la-maison-du-bitcoin/> consulté le 8 mai 2017).

209 Accessible en ligne à l'adresse <https://www.meetup.com>

installée dans un quartier qui est surnommé le « Silicon Sentier » en référence à la Silicon Valley, du fait de la concentration d'activités liées aux techniques numériques. Cette concentration s'explique par la combinaison de deux transformations majeures du quartier au tournant des années 1990. Il y a tout d'abord la délocalisation des nombreux ateliers de confection textile vers de nouveaux sites plus adaptés aux contraintes logistiques en banlieue nord de Paris. Cet exode met de larges espaces à disposition pour des activités tertiaires. Il y a par ailleurs la présence de sociétés financières et de l'Agence France Presse autour de l'ancienne place boursière du Palais Brongniart. À l'occasion de l'ouverture à la concurrence du marché des télécommunications, ces acteurs stimulent le déploiement de réseaux haut débit à base de fibre optique dans tout le quartier. En plus des centres de traitement de données déjà évoqués, le voisinage est en effet densément équipé d'espaces de travail partagés (*coworking*), ainsi que d'incubateurs et autres accélérateurs de jeunes pousses qui participent aussi à l'effervescence autour du numérique – à commencer par NUMA²¹⁰ qui combine ces différents aspects dans un seul lieu situé juste en face de la Maison du Bitcoin ou bien WILLA²¹¹ (ex-Paris pionnières) qui privilégie l'inclusion des femmes dans ce milieu, mais on peut aussi évoquer The Family²¹² ou Station F²¹³ dans d'autres quartiers de Paris. Si ces éléments peuvent être interprétés comme participant à *l'attractivité d'une ville créative* (Florida 2002), en pesant notamment sur les facteurs « Technologie » et « Talent », ce cadre analytique ne permet cependant que de prendre acte de la situation constatée, et éventuellement de lui attribuer un potentiel dans la concurrence qui se joue entre les métropoles pour attirer les acteurs du dynamisme économique suscité par le numérique. La « scène », comme modèle analytique, invite en revanche à situer l'émergence et la maturité d'une « scène » particulière, comme terrain concret, dans une histoire préalable où se succèdent des phénomènes liés. Ainsi, la contribution déterminante, selon Florida, de la classe créative dans le maintien d'une économie dynamique doit être relativisée. L'effervescence à laquelle les porteurs de ce genre de dynamique adhèrent et contribuent peut retomber sans qu'ils n'y puissent rien, car les ressorts même de cette effervescence sont insaisissables.

La « scène crypto » du Silicon Sentier n'émerge donc pas hors sol. En trouvant des attaches dans ce quartier en particulier, elle ne fait pas non plus que se nicher au milieu des infrastructures propices comme les immeubles de bureaux tout aménagés ou les réseaux de

210 cf. <https://www.numa.co/paris-fr> (consulté le 27 juin 2018)

211 cf. <http://www.pionnieres.paris/> (consulté le 27 juin 2018)

212 cf. <https://www.thefamily.co/> (consulté le 27 juin 2018)

213 cf. <https://stationf.co/fr/> (consulté le 27 juin 2018)

télécommunications à haut débit. Elle prolonge et relance aussi l'effervescence manifestée lors du basculement annoncé vers un monde post-industriel qui a constitué le mot d'ordre de la nouvelle économie numérique dans la seconde moitié des années 1990.

« À la fin des années 1990, les startups de l'Internet avait envahi les ateliers de textile du Sentier à Paris et de Soho ou Tribeca à New York. L'aventure avait tourné à la déroute pour la grande majorité de ces entreprises. Balayés en 2000-2001 par l'éclatement de la bulle de l'Internet [...], la Silicon Alley et le Silicon Sentier renaissent aujourd'hui de leurs cendres. L'outil de recherche sur le portail Néo-Nomade montre que la géographie du coworking dans Paris est concentrée au nord de la Seine dans les 2ème, 3ème, 10ème et 11ème arrondissements. Cette concentration illustre la renaissance du Silicon Sentier qui s'est développé dans le district du prêt-à-porter du même nom. » (Moriset, 2017, section 4.1)

Cette période s'était donc conclue par l'éclatement d'une bulle spéculative sur les marchés d'actions concernant les « valeurs technologiques » liées aux secteurs de l'informatique et des télécommunications. Mais les années allant de 1995 à 2000 environ ont été celles d'une certaine euphorie qu'on ne peut pas réduire à la frénésie irrationnelle des investisseurs, puisqu'elle s'est aussi traduite par la constitution de ce que l'on peut qualifier de « scène Internet ». C'est en effet le moment de la constitution d'un « web des professionnels » en France (Schafer & Thierry, 2016). Des salles de jeux d'arcade ou des boutiques de téléphones deviennent des cybercafés²¹⁴, des petites SSII (Société de Services et d'Ingénierie Informatique) généralistes s'affirment comme « Web Agency » flamboyante et se positionnent sur un marché global avant de retourner à l'anonymat²¹⁵, des structures associatives *ad hoc* prennent le relais pour des services rendus jusque-là par des équipes de recherche²¹⁶. Avec une quinzaine ou une vingtaine d'années d'écart selon les aspects, la « scène crypto » et la « scène Internet » présentent donc des caractères similaires.

Cette similitude prend évidemment une signification particulière dès lors qu'on l'interprète dans le cadre de la dynamique du capitalisme « inversé », et notamment en

214 cf. « 1995 - des innovations nées aux USA sauvent la Crèmerie de Paris », disponible en ligne à l'adresse <http://cremeriedeparis.com/cybercafedeparis/> (consulté le 9 mai 2017)

215 cf. « Fi System mis en vente », article en ligne du Journal du Net publié le 29 septembre 2003, disponible à l'adresse http://www.journaldunet.com/solutions/0309/030929_fisystem.shtml (consulté le 9 mai 2017)

216 cf. « Rapport annuel de gestion 1998 » de l'AFNIC, disponible à l'adresse <http://www.afnic.fr/medias/documents/vieasso/AG/1999/rapport-activite-1998.pdf> (consulté le 9 mai 2017)

rapprochant les effervescences respectives de la « scène Internet » et de la « scène crypto », de la notion de « porteur d'espoirs » qui lui est associée. Dans les deux cas, la période d'euphorie qui marque la montée en puissance des discours sur la « nouvelle économie » ou « l'Internet de la monnaie »²¹⁷ (Antonopoulos, 2016, 2017) s'accompagne d'une production massive de marchandises d'ordre 2 et donc de la multiplication des « porteurs d'espoirs » qui en sont, en quelque sorte, la matière première. Les « porteurs d'espoirs » de la « nouvelle économie » qui prend son essor dans la seconde moitié des années 1990 ont été numériquement décimés (peu de propositions ont réellement conduit à des modèles d'affaires pérennes) mais se sont avérés déterminants quant aux quelques rescapés. La capitalisation boursière des acteurs tels que Google, Amazon, Facebook, Apple ou Microsoft est en effet le socle sur lequel repose le prolongement de la dynamique de la production marchande, entraînant au passage de profondes transformations de nos usages et de la place des objets numériques (matériels ou immatériels) dans nos quotidiens. Le cas des crypto-monnaies présente cependant des spécificités qui découlent des conditions nouvelles induites par la crise de 2008, notamment concernant la place de la monnaie dans cette étape du capitalisme « inversé ». Ainsi, si l'on peut repérer des cas « classiques » de production de marchandise d'ordre 2 avec des titres attachés à un « porteur d'espoirs » comme dans le cas des fabricants de matériels dédiés au « minage »²¹⁸ des crypto-monnaies²¹⁹ ou bien encore la mise sur le marché de produits financiers dérivés²²⁰, les crypto-monnaies introduisent une innovation en assurant simultanément leur mise en circulation et le financement des projets par la vente de « jetons » (*coins* ou *tokens*) qui ne sont pas des titres de propriété ou des créances (comme des actions ou des obligations), mais bien des fractions de la masse monétaire émise. Le mécanisme de cette innovation est décrit comme une « offre initiale de jetons » (en anglais, *ICO* pour *Initial Coin Offering*, en référence aux *IPO* pour *Initial Public Offering*, qui désignent les introductions en bourse, c'est-à-dire les opérations menant à la cotation des actions d'une

217 cf. par exemple « Crypto-assets, Token, Blockchain, ICO: un nouveau monde ? » disponible à l'adresse <https://www.frenchweb.fr/crypto-assets-token-blockchain-ico-un-nouveau-monde/302275>, « L'Internet de la monnaie » disponible à l'adresse <https://www.contrepoints.org/2017/11/24/303851-linternet-de-monnaie>, « Le bitcoin est-il la monnaie de l'internet ou l'internet des monnaies ? » disponible à l'adresse <https://www.latribune.fr/opinions/tribunes/le-bitcoin-est-il-la-monnaie-de-l-internet-ou-l-internet-des-monnaies-766226.html>, (consultés le 27 juin 2018)

218 Cet aspect du protocole Bitcoin sera abordé dans le chapitre suivant.

219 cf. « Le mining de bitcoin va entrer en bourse », article en ligne du mercredi 16 mai 2018 publié par le magazine ZDNet, disponible à l'adresse <https://www.zdnet.fr/actualites/le-mining-de-bitcoin-va-entrer-en-bourse-39868276.htm> (consulté le 27 juin 2018)

220 cf. « La Bourse de Chicago institutionnalise le bitcoin » article en ligne du 11 décembre 2017 publié par Le Monde, disponible à l'adresse https://www.lemonde.fr/economie/article/2017/12/11/la-bourse-de-chicago-institutionnalise-le-bitcoin_5227679_3234.html (consulté le 27 juin 2018)

entreprise). Si les objectifs d'une IPO et d'une ICO sont proches puisqu'ils consistent dans les deux cas à collecter de l'argent nécessaire au démarrage d'une activité en faisant appel aux marchés, il y a tout de même une différence importante dans le fait que, dans le premier cas, l'argent collecté a pour contre-partie l'émission d'un titre de propriété d'une entreprise en particulier et que donc le prix de ce titre va refléter sa performance en terme d'activité « porteuse d'espoir », tandis que, dans le second cas, la contre-partie est constituée par une fraction monétaire qui n'est attachée à aucune activité « porteuse d'espoir » en particulier, mais ne fait que refléter un volume de circulation marchande, ici et maintenant. Avec une ICO, le « porteur d'espoir » est monté en généralité en ne s'attachant plus à une activité particulière mais à toutes les activités qui pourraient être mises en rapport par l'intermédiaire de la crypto-monnaie. C'est la réussite (ou l'échec) globale de ses activités (en termes de retour sur investissement) qui valide celle de la cryptomonnaie comme « porteur d'espoir » qui les subsume. Nous évoquerons de nouveau le phénomène des ICO dans la conclusion de cette seconde partie, en lien avec la démultiplication des projets de crypto-monnaies, dérivées ou non de Bitcoin. Il nous faut cependant indiquer ici que le démarrage de Bitcoin ne s'est pas réalisé formellement dans le cadre d'une ICO, qui n'a été introduit qu'avec le démarrage d'Omni (ex-Mastercoin) en 2013 puis d'Ethereum en 2014, le premier comme un protocole dérivé de Bitcoin, le second comme un tout nouveau protocole.

La création de Mastercoin en quelques semaines (et de nombreuses autres crypto-monnaies à sa suite), alors qu'il a fallu plusieurs années pour que mûrisse Bitcoin, a été rendu possible, entre autre, du fait que ce dernier a été développé sous la forme d'un logiciel libre dont le code source est couvert par une licence permettant d'en dériver des variantes sans restriction (si ce n'est de proposer ces variantes selon le même type de licences). La réplication de Bitcoin et sa dérivation en de multiples avatars a donc été facilitée par les pratiques générales adoptées par les projets de logiciel libre. Nous allons donc nous pencher dans la section suivante sur cette dimension, et voir en quoi Bitcoin infléchit certains aspects de ce type de projets.

3. Un projet de logiciel *libre* ?

Indéniablement, Bitcoin présente les caractéristiques d'un projet de logiciel libre : code source ouvert, communauté de développeurs basée sur la cooptation, gouvernance du projet par des méthodes « horizontales », etc. La forme d'engagement centrée sur la promotion d'une monnaie privée n'est par ailleurs pas en contradiction avec ces ressorts. Les contributeurs du mouvement du logiciel libre ont largement prouvé que leur maîtrise des outils numériques, loin de les amener à se replier sur la glorification de la virtuosité technique en soi, constituait à leurs yeux un point d'appui pour « intervenir dans la cité » hautement technicisée.

« [...]le Libre, des logiciels aux licences, se veut bon candidat à la réorganisation des valeurs sociales, culturelles, économiques voire politique dans une société marquée par les technologies. » (Paloque-Berges & Masutti, 2013)

Le mouvement du logiciel libre a une évidente propension à trouver dans ses propres pratiques et outils, des principes applicables à d'autres secteurs de la société. Cette propension est bien évidemment soutenue par le fait que les techniques numériques sont déjà omniprésentes dans tous les aspects de notre vie sociale. Si l'approche « libre » des logiciels offre un point de vue permettant de mettre en perspective la critique de tels ou tels de leurs effets en identifiant les choix de conception qui les ont induits, elle reste souvent aveugle au fait que les méthodes procédurales et formalistes qui fondent la pratique du développement informatique – y compris dans le monde du « libre » où les pratiques d'ouverture et de partage masquent parfois cette rigidité derrière un enthousiasme communicatif – ne sont pas forcément transposables à tout contexte social. Et même lorsque c'est le cas, ce n'est pas non plus forcément souhaitable.

« En tant que mouvement social, [le logiciel libre] a eu le grand mérite de politiser l'informatique, en montrant que les choix techniques ont des conséquences sociales importantes, tout en « informatisant » d'une certaine manière le champ politique, en y important ses méthodes de réflexion et d'engagement » (Broca, 2016b, p.100)

Les communautés organisées autour de la production, de la diffusion et de la promotion des logiciels libres n'en restent pas moins porteuses d'un ethos au sein duquel Sébastien

Broca (2013) identifie trois dimensions : l'autonomie dans le travail, la créativité technique et la libre circulation de l'information.

- La première dimension s'exprime dans l'idée qu'« une personne qui effectue un travail est [...] fondée à prendre toutes les décisions concernant celui-ci. » (Broca, 2013, p.107). Cet adage peut s'interpréter comme une résistance aux injonctions autoritaires du travail prescrit et un appel à l'épanouissement de l'individu dans son activité propre. Mais il peut aussi exprimer la défiance face aux difficultés d'une coordination négociée au sein de collectifs de travail, et au-delà, à la prise en compte des impacts de l'activité et de ses produits qui ne se limitent pas à cette coordination.
- La deuxième dimension renvoie à des pratiques de « bricolage astucieux » à travers lesquels peut être jaugée une certaine virtuosité technique qui constitue le fondement de la reconnaissance mutuelle des hackers. Afin de ne pas brider les possibilités de reconnaissance dont l'enjeu est sans cesse remis sur la table, les hackers en viennent à revendiquer que les objets techniques incluent dès leur conception cette propension à être détourné, et donc à se déployer dans des contextes et des usages non prévus initialement.
- La troisième dimension recoupe l'appel à constituer des monnaies privées sur la base de la publication libre et ouverte d'informations. Broca (2013, p.169) rappelle que la libre circulation de l'information s'enracine dans des « pratiques de programmation développées dans le monde universitaire depuis le début de l'informatique », mais qu'elle faisait aussi partie « des espoirs de transformation sociale associés aux outils de traitement de l'information depuis la cybernétique ». Plus que l'information en soi, c'est donc la perspective de son traitement sous tous azimuts que sous-tend cette nécessité de la faire circuler.

Ces trois dimensions²²¹ s'inscrivent sans difficulté dans la dynamique des techniques numériques telle que nous l'avons caractérisée dans la première partie. On peut même arguer qu'elles représentent une certaine façon à la fois de la manifester et de la renforcer. Mais nous voyons aussi qu'elles peuvent s'exprimer sous des formes contrastées, voire contradictoires, selon qu'elles prennent une tonalité positive ou négative, unificatrice ou clivante, souple ou rigide, etc. Cette tonalité peut être donnée par le contexte dans lequel le projet de logiciel libre

221 Il existe d'autres caractérisations des piliers constitutifs de la « philosophie » du logiciel libre. On peut citer par exemple les cinq principes énoncés par Christopher Kelty (2008) : une communauté engagée dans une réflexion permanente sur le contenu et la forme du logiciel libre, le partage du code source, la conception de systèmes ouverts, la rédaction de licences *ad hoc*, la coordination des contributions.

se déploie. Il peut en effet y avoir différentes motivations pour participer à un tel projet qui peuvent être plus ou moins convergentes ou compatibles. Il peut aussi y avoir des enjeux qui dépassent le seul cercle des développeurs et des utilisateurs et concernent plutôt des investisseurs en quête de modèles d'affaires rentables. Nous verrons dans le quatrième chapitre de cette seconde partie, consacré à une controverse au sein de la communauté Bitcoin, un exemple concret de ces différents facteurs qui peuvent mener l'éthos du logiciel libre à s'exprimer dans des positions antagonistes et irréconciliables.

Les communautés de logiciel libre mettent en œuvre des modes de gouvernance reflétant cet ethos général décrit par Broca, mais aussi les valeurs spécifiques de tel ou tel projet. Pour cela, elles emploient les outils qui leur semblent les plus adéquats pour encadrer et animer cette gouvernance. Nous allons présenter les outils adoptés par la communauté Bitcoin en relation avec les usages spécifiques auxquels ils répondent. Ces outils vont représenter un ensemble de terrains sur lequel nous enquêterons concernant cette communauté, notamment dans le chapitre consacré à la controverse qui l'a agitée et l'agite toujours en juin 2018.

Les espaces de discussion

Le tout premier espace où sont engagés des échanges publics entre Nakamoto et les premiers contributeurs qui l'ont rejoint pour développer Bitcoin, est une liste de discussion par courriel consacrée à la cryptographie. Cela permet à Nakamoto d'attirer l'attention d'un public averti en y diffusant notamment son article inaugural²²², ainsi que la première version du logiciel²²³. Assez rapidement, Nakamoto se tourne vers des forums en ligne, d'abord pour relayer l'annonce de l'existence de Bitcoin sur un forum hébergé par la *P2P foundation*²²⁴ qui promeut une société fondée sur les communs et les pratiques en pair-à-pair, puis en utilisant le forum associé à la plateforme *sourceforge* où le code source du projet est initialement hébergé, et enfin en créant *bitcointalk*, un forum dédié à Bitcoin²²⁵. Une liste de discussion par courriel dédiée aux développeurs (*bitcoin-dev*) et hébergée par la *Linux Foundation* est aussi créée en juin 2011²²⁶. Elle prendra un rôle spécifique dans le circuit de prise de décision concernant les évolutions à apporter au protocole et au réseau Bitcoin. Nous aborderons ce

222 cf. <http://satoshi.nakamotoinstitute.org/emails/cryptography/1/> consulté le 26 mai 2017.

223 cf. <http://satoshi.nakamotoinstitute.org/emails/cryptography/16/> consulté le 26 mai 2017.

224 cf. <http://p2pfoundation.ning.com/forum/topics/bitcoin-open-source> consulté le 26 mai 2017.

225 cf. <https://bitcointalk.org/index.php?topic=5.msg28> consulté le 26 mai 2017.

226 cf. <https://lists.linuxfoundation.org/mailman/listinfo/bitcoin-dev> consulté le 26 mai 2017.

point plus en détail dans une section ultérieure consacrée aux BIP (*Bitcoin Improvement Proposals*).

Les archives de la liste de discussion *bitcoin-dev* constituent un matériau incontournable pour repérer les temps forts du projet Bitcoin. On peut y noter, par exemple, la montée en puissance de la controverse qui sera traitée au dernier chapitre de cette seconde partie, par le simple fait qu'entre mai et septembre 2015 – alors que le sujet est évoqué pour la première fois sur la liste le 6 mai²²⁷ – 3456 messages vont être échangés alors qu'il n'étaient que 1013 sur la même période en 2014 et que les thèmes de 2015 relèvent presque tous du sujet de la controverse.

Le forum *bitcointalk* reflète aussi les temps forts du projet Bitcoin, mais son périmètre est plus large que celui des conversations engagées entre les développeurs sur la liste de discussion. La section qui connaît le plus de contributions est celle consacrée à l'économie, tandis que les sujets lancés spécifiquement sur Bitcoin représentent environ trois fois moins de messages. Même la section dédiée aux autres cryptomonnaies connaît deux fois plus de contributions que celle consacrée à Bitcoin. Il s'agit donc d'un forum généraliste qui, au-delà des sujets lancés ou traités par les développeurs, permet d'observer les thématiques et les points de vue issus d'autres préoccupations que celles relevant de la production du logiciel.

C'est donc un espace où se forment des discours contribuant à faire de Bitcoin un objet social aux enjeux élargis avec des intitulés de sections tels que « Bitcoin et la loi » dans la partie francophone. Dans cette section, les membres du forum abordent les sujets concernant la « cadre légal et juridique » dans lequel doivent évoluer les utilisateurs de Bitcoin. Parmi les sujets les plus fréquemment abordés, on trouve : la fiscalité liée à l'activité d'achat/vente/production de Bitcoin, les formulaires administratifs pour déclarer ces opérations, les projets de régulation annoncés par les gouvernements, les formes juridiques les plus appropriées pour exercer une activité liée à Bitcoin, les difficultés rencontrées par les opérateurs de ces activités dans leurs rapports avec les banques. Il s'agit là des préoccupations pratiques, légitimes et récurrentes des entrepreneurs qui ont identifié dans les crypto-monnaies de nouvelles opportunités d'activité.

Mais parmi les phénomènes dont le forum *bitcointalk* permet l'observation, les pratiques plus frauduleuses ont aussi une place de choix. Une des nuisances en ce domaine est constituée par le détournement de l'effervescence autour des crypto-monnaies par des escrocs

227 cf. <https://lists.linuxfoundation.org/pipermail/bitcoin-dev/2015-May/007869.html> consulté le 26 mai 2017.

employant la méthode déjà éprouvée que représente le système de Ponzi. Mais d'autres méthodes sont aussi mises en œuvre et l'ensemble de ces escroqueries est qualifié du terme générique de *scam*. Comme ces pratiques nuisent à l'image et au fonctionnement de Bitcoin, une veille est maintenue en permanence et se traduit par une section dédiée²²⁸ du forum où est recueillie la liste des annonces jugées malhonnêtes, ou tout au moins suspectes. Cette liste comporte près de 10000 entrées ajoutées entre juin 2012 et mars 2019, soit près de 4 signalements par jour en moyenne. Elle constitue une ressource déjà exploitée par la recherche académique²²⁹, mais selon des thématiques qui restent à l'écart du développement de Bitcoin en tant qu'application numérique.

Le référentiel de gestion de configuration

Le référentiel de gestion de configuration est l'outil qui permet aux développeurs de mettre en commun leurs contributions et d'en donner l'accès pour consultation au public. C'est un outil incontournable pour suivre les évolutions d'un système en général, et d'un logiciel en particulier, en permettant de garder la trace de toutes les modifications apportées à sa description, tout au long de la vie du projet. Cette description, que l'on appelle aussi configuration, est constituée du code source et de toute la documentation relative au projet. Parmi cette documentation, on peut trouver des documents de spécifications qui décrivent les fonctionnalités attendues, des fiches d'incidents qui relatent les dysfonctionnements et les associent aux éléments permettant de retracer la démarche engagée pour leur correction, des documents de conception qui exposent les principes architecturaux adoptés pour réaliser le logiciel, etc. L'accès au référentiel se fait au travers d'un outil de gestion de versions qui permet un travail collaboratif entre les développeurs. Chaque modification des éléments stockés dans le référentiel produit des versions successives dont on peut retracer l'historique et le contenu à chaque étape. Associé à des méthodes éprouvées, le référentiel de gestion de configuration constitue donc l'espace où se coordonnent les actions des développeurs.

Différentes solutions existent pour qu'un projet de développement logiciel mette en œuvre son référentiel de gestion de configuration. Le projet peut choisir d'héberger lui-même l'outil sur des infrastructures qu'il gère par ailleurs, ou bien le référentiel peut être hébergé sur des plateformes qui offrent un service mutualisé et donc en déléguer l'administration

228 « Scam Accusations » à l'adresse <https://bitcointalk.org/index.php?board=83.0> (consulté le 21 mars 2019)

229 cf. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.671.1283&rep=rep1&type=pdf> (consulté le 21 mars 2019)

technique. C'est ce dernier choix qu'a fait le projet Bitcoin en adoptant dans un premier temps la plateforme *sourceforge*, puis en migrant son référentiel vers la plateforme *github*²³⁰ dans un second temps. Outre ses fonctions de référentiel pour la gestion de configuration, GitHub offre des fonctionnalités le rapprochant d'un média social. Il est ainsi possible de s'abonner aux événements produits par tel ou tel utilisateur ou projet mais aussi de participer à des discussions en temps réel (*chat*). La plateforme intègre donc des outils classiques permettant d'animer la communauté des développeurs d'un ou de plusieurs projets simultanés. Mais dans ce domaine, la spécificité de GitHub repose surtout sur la facilité avec laquelle un développeur peut « forker »²³¹, c'est-à-dire dériver un nouveau projet à partir d'un existant, puis proposer au projet initial de réintégrer les modifications faites sur la nouvelle branche (*pull request*) et ainsi les fusionner (*merge*) si ces modifications parallèles sont acceptées par les mainteneurs de la branche originale. Chaque séquence de type *fork/pull request/merge* produit des événements qui enrichissent le profil de son initiateur et contribuent à asseoir sa réputation. Par ces fonctionnalités, GitHub a rapidement acquis une place privilégiée parmi les plateformes dédiées au développement de logiciels à code ouvert²³².

En accès public, cette plateforme permet de consulter de nombreuses informations concernant le projet, en plus du code source, de la documentation déjà évoquée et de l'historique de leurs modifications. On peut notamment identifier les contributeurs et les associer aux modifications dont ils sont responsables, aux incidents qu'ils ont décrits ou pour lesquels ils ont participé à la correction, ainsi que tous les commentaires que ces actions ont suscités. Par ailleurs, cette identification peut être croisée avec les interventions sur les espaces de discussion que nous avons préalablement cités, car les développeurs emploient le plus souvent des pseudonymes identiques à travers tous les outils qu'ils emploient pour collaborer.

La plateforme *github* relève donc indéniablement de la catégorie « contrôle et coordination » dans la classification des technologies intellectuelles (Robert 2010). Il s'agit cependant aussi d'une forme d'auto-contrôle induit par des mots d'ordre tel que « ouverture » et « automatisation »²³³, à tel point que la plateforme peut être vu aujourd'hui comme un lieu incontournable pour une partie importante des projets de logiciel libre. Ceux qui n'adoptent

230 cf. <https://github.com/bitcoin> consulté le 27 mai 2017.

231 De l'anglais « fork » qui signifie bifurcation, embranchement.

232 cf. <https://techcrunch.com/2012/07/14/what-exactly-is-github-anyway/> consulté le 8 juin 2017.

233 cf. <https://www.zdnet.com/article/how-github-sneaked-up-on-us-to-become-the-nexus-of-software-automation/> consulté le 26 juillet 2018.

pas *github* se tournent vers ses concurrents tels que *gitlab*²³⁴ ou *bitbucket*²³⁵, qui ne font que reproduire le même modèle.

Les événements internationaux

À l'image du réseau, la communauté Bitcoin se veut globale. De fait, elle implique aujourd'hui des participants de différents pays répartis sur tous les continents. Cette communauté comprend les développeurs et les utilisateurs, bien sûr, mais elle est aussi composée d'entreprises et d'investisseurs qui ont aussi voix au chapitre compte tenu des enjeux que Bitcoin représente et du rôle que remplissent ces acteurs économiques. Cette diversité d'acteurs ne s'accorde pas forcément de l'emploi des espaces de discussion en ligne, et *a fortiori* des outils plutôt destinés aux développeurs. Des contacts plus ou moins informels entre des individus pouvant servir de passerelle entre les catégories d'acteurs ne suffisent pas forcément à assurer des échanges suffisants pour que ses membres puissent entrevoir l'étendue de la communauté, de ses préoccupations et de ses activités. Aussi, à l'initiative de certaines figures en ayant la légitimité, des événements internationaux ont été lancés et reconduits, particulièrement dans les trois dernières années.

Pour les besoins de notre enquête, nous nous intéresserons plus spécialement à deux séries d'événements. La première est constituée par les trois conférences *Scaling Bitcoin*²³⁶ qui se sont tenues respectivement en septembre 2015 à Montréal, en décembre 2015 à Hong Kong et en octobre 2016 à Milan. Ces conférences sont dédiées à des communications autour de problématiques d'ingénierie et de recherche focalisées sur la croissance du réseau Bitcoin et de ses usages. Leur mode d'organisation s'apparente à celui des colloques scientifiques. Les sujets abordés sont d'un haut niveau de technicité, tout en permettant une certaine vulgarisation par l'intermédiaire des journalistes invités à rendre compte des présentations dans des publications spécialisées. Des captations des présentations, leurs supports et leurs transcriptions sont par ailleurs disponibles sur le site de l'organisation des conférences ainsi que via un canal de diffusion de la plateforme Youtube²³⁷, ce qui permet de les consulter dans leur intégralité de manière différée. Nous avons collecté l'ensemble de ces supports (textes et vidéos) afin de mener une analyse qualitative des discours énoncés à l'occasion des

234 cf. <https://about.gitlab.com/> consulté le 26 juillet 2018.

235 cf. <https://bitbucket.org/> consulté le 26 juillet 2018.

236 cf. <https://scalingbitcoin.org/about> (consulté le 18 juin 2018).

237 Disponible à l'adresse <https://www.youtube.com/channel/UCmwaDulmQtX-H8FOSQTKqMg/videos> (consulté le 18 juin 2018).

conférences, en se penchant notamment sur leur cadre d'énonciation, afin de caractériser la façon dont les organisateurs souhaitent positionner leur démarche et, partant, instituer certaines pratiques pour la gouvernance du projet Bitcoin.

Quatre types de documents ont été collectés à partir du site Web de l'organisation ainsi que de son canal de diffusion des vidéos hébergées par Youtube :

- des supports de présentation pour les exposés oraux des intervenants,
- des transcriptions de personnes assistant à ces exposés,
- des captations audiovisuelles de ces mêmes exposés,
- des articles indépendants des présentations dans une section dédiée²³⁸

Tous les documents relatifs aux présentations peuvent être consultés à partir d'une page dédiée du site Web²³⁹, qui énumère l'ensemble des exposés réalisés par différents intervenants au cours de chaque événement. Nous avons sélectionné sur cette page successivement les trois événements que nous avons retenus pour constituer notre corpus, afin d'accéder aux exposés correspondants. Ces derniers sont listés, sur la page Web, dans l'ordre chronologique et répertoriés par l'organisation avec un index au format SBX-YY, SB pour *Scaling Bitcoin*, X indiquant l'événement (1 = Montréal 2015, 2 = Hong Kong 2015 et 3 = Milan 2016), YY représentant *grosso modo* l'ordre dans la séquence des exposés. En examinant le code source de la page permettant de consulter les documents relatifs à chaque présentation, nous avons pu constaté qu'elle était accompagnée d'un ensemble de métadonnées qui associent de manière univoque les trois types de documents répertoriés pour une présentation donnée. Ce constat nous a permis d'envisager le développement d'un programme de récupération automatique de l'ensemble des documents que nous avons prévu de verser à notre corpus²⁴⁰. Dans la mise au point de ce programme, il a fallu faire quelques ajustements pour tenir compte :

- d'abord, du fait que chaque présentation n'était pas forcément accompagné d'un support ou d'une transcription,

238 Disponibles à l'adresse <https://scalingbitcoin.org/papers> consultée le 18 juin 2018.

239 cf. <https://scalingbitcoin.org/presentations> consulté le 18 juin 2018.

240 cf. Annexe : Code source pour l'extraction du corpus Scaling Bitcoin.

- mais aussi, du fait que plusieurs captations pouvaient être réunies dans une seule vidéo, chacune étant alors référencé par un marqueur temporel du début de la présentation,
- et enfin, du fait que les documents textuels accompagnant les présentations n'étaient pas systématiquement présents et pouvaient être dans des formats hétérogènes.

Le programme que nous avons développé permet de dresser l'inventaire complet des documents disponibles. Il effectue par ailleurs le téléchargement des documents textuels lorsqu'ils sont disponibles. Enfin, il fournit les identifiants des vidéos Youtube – sous la forme d'une série de onze caractères alphanumériques – que nous avons ensuite utilisés conjointement avec l'utilitaire *youtube-dl*²⁴¹ pour télécharger les vidéos référencées. Les tableaux des pages suivantes récapitulent l'ensemble des documents collectés. Pour chaque présentation (SBX-YY), il est indiqué lors de quel événement elle a eu lieu, quel est l'identifiant de la vidéo Youtube dans laquelle retrouver sa captation, à quel moment la présentation commence dans la vidéo, et enfin, si nous avons pu récupérer un support (au format PDF) ou une transcription (au format HTML) en lien avec la présentation.

241 cf. <https://yt-dl-org.github.io/youtube-dl/index.html> (consulté le 13 mai 2017).

Événement	Vidéo Youtube	Présentation	Début à	Support	Transcription
Montreal 2015	mhAsnzidtZ8	SB1-01	00:06:25	X	
		SB1-02	00:22:26		X
		SB1-03	00:33:16		X
		SB1-04	00:52:17	X	
	gpJrGuZEJsY	SB1-05	00:00:03	X	X
		SB1-06	00:14:18	X	X
		SB1-07	00:34:02	X	X
		SB1-09	00:48:28	X	X
	iKDC2DpzNbw	SB1-08	00:02:59	X	X
		SB1-10	00:12:50	X	X
		SB1-11	00:26:21		X
		SB1-12	00:40:53	X	X
	G6PnLSH401Q	SB1-13	00:00:01		X
		SB1-14	00:01:26		X
		SB1-15	00:03:38		
		SB1-16	00:08:58		
		SB1-17	00:13:06		
		SB1-18	00:21:16		
		SB1-19	00:30:42		
		SB1-20	00:32:38		
		SB1-21	00:35:50		
		SB1-22	00:40:39		
		SB1-23	00:47:43		
		SB1-24	00:51:35		
	Tgjrs-BPWDQ	SB1-25	00:06:01		
		SB1-26	00:25:14	X	
		SB1-27	00:41:59	X	X
		SB1-28	00:54:50	X	X
		SB1-29	01:03:34		
		SB1-30	01:41:29	X	X
		SB1-31	01:54:03		X
		SB1-32	02:01:46	X	X
		SB1-33	02:05:34		X
		SB1-34	02:48:30		X
		SB1-35	03:04:53	X	X
		SB1-36	03:21:00	X	X
		SB1-37	03:43:58	X	
		SB1-38	03:53:08	X	
	0SnjrdQtf8Y	SB1-39	00:08:57		
	fuZnYDtBJiY	SB1-40	00:10:26		
		SB1-41	00:14:50		X
		SB1-42	00:21:23		
		SB1-43	00:25:18		
		SB1-44	00:27:50		X
		SB1-45	00:33:00		X
		SB1-47	00:37:24		
		SB1-48	00:44:48		
		SB1-49	00:48:12		
		SB1-50	00:56:30		
		SB1-51	01:01:31		
		SB1-52	01:04:52		

Événement	Vidéo Youtube	Présentation	Début à	Support	Transcription
Hong Kong 2015	keLr7ib-qQY	SB2-01	00:03:03	X	X
		SB2-02	00:25:05	X	X
		SB2-03	00:53:24	X	X
	EfuRTDcsWrk	SB2-04	00:00:08		X
		SB2-05	00:21:18	X	X
		SB2-06	00:51:51	X	X
		SB2-07	01:30:23	X	X
		SB2-08	01:56:15	X	
		SB2-09	02:16:00		X
	FknDfW9em9s	SB2-10	00:02:31		
		SB2-11	00:00:57		
	30P55FXEVP8	SB2-12	00:04:03		
		SB2-13	00:07:46		
		SB2-14	00:09:35	X	
		SB2-15	00:13:27	X	
		SB2-16	00:17:42		
		SB2-17	00:23:11	X	
		SB2-18	00:25:47		
		SB2-19	00:28:32		
		SB2-20	00:33:10	X	
		SB2-21	00:40:47		
		SB2-22	00:43:21		
		SB2-23	00:47:44		
		SB2-24	00:51:18		
		SB2-25	00:52:16		
	zchzn7aPQjI	SB2-26	00:01:51	X	X
		SB2-27	00:30:41	X	X
		SB2-28	00:54:27	X	X
	8I1Z80mPWfE	SB2-29	00:00:00	X	X
		SB2-30	00:26:19	X	
		SB2-31	00:52:09	X	
	vfIs_trEhao	SB2-32	00:00:40	X	X
		SB2-33	00:35:51	X	X
		SB2-34	01:00:16	X	X

Milan 2016	8BLWUUPfh2Q	SB3-01	00:08:20	X	X
		SB3-02	00:36:36	X	X
		SB3-03	01:03:07	X	X
		SB3-04	01:29:28	X	X
		SB3-05	02:29:15	X	X
	Gzg_u9gHc5Q	SB3-06	00:02:44	X	X
		SB3-07	00:28:00	X	X
		SB3-08	00:47:47	X	X
		SB3-09	01:49:25	X	X
		SB3-10	02:13:49	X	X
	_z0ID-0D0nc	SB3-11	03:46:34		X
		SB3-12	00:14:23	X	X
		SB3-13	00:38:11	X	X
		SB3-14	01:03:57	X	X
		SB3-15	01:57:11	X	X
	uO-1rQbdZuk	SB3-16	02:27:37	X	X
		SB3-17	02:50:54	X	X
		SB3-18	00:25:46	X	X
		SB3-19	00:50:20	X	X
		SB3-20	01:16:15	X	X
		SB3-21	01:43:18	X	X
		SB3-22	03:46:59	X	
		SB3-23			

L'analyse de ce corpus et du site Web depuis lequel les documents qui le composent sont mis à disposition, permet d'en tirer les éléments suivants :

- Concernant le cadre général dans lequel les documents audiovisuels sont mis à disposition sur le site de l'organisateur, les éléments d'interaction qui leur sont associés sont agencés de telle façon que chaque captation vidéo est directement reliée à la possibilité de consulter l'éventuel support de la présentation correspondante ainsi que sa transcription lorsqu'elle est disponible. Ce dispositif indique donc implicitement que les supports textuels constituent des vecteurs tout aussi importants que les « performances scéniques » des intervenants aux yeux des organisateurs.
- Concernant le dispositif scénique des présentations, chaque orateur intervient individuellement (ou éventuellement par paire) debout derrière un pupitre sur scène face à un public assis dans une salle de conférence, pour y faire un exposé illustré par quelques diapositives projetées sur un écran. Les présentations sont filmées dans un cadre statique depuis une position qui correspond à celles des personnes assises dans la salle, tandis qu'un encadré reprend le contenu de la présentation destinée au public. Le dispositif correspond donc de nouveau au milieu académique et reprend les codes

du colloque universitaire en donnant la place de l'apprenant à celles et ceux qui vont visionner les captations.

- Concernant les documents textuels, ils se répartissent en trois catégories : support de présentation, transcription d'exposés, article traitant d'un sujet technique relatif aux domaines de la cryptographie, des réseaux, etc., tous en lien avec Bitcoin. Tous ces documents relèvent de la production scientifique et les articles, notamment, en adoptent les formes clairement identifiables : mise en page, appareil de notes, bibliographie, résumé en entête, etc. Ceux-ci sont par ailleurs souvent signés par leurs auteurs en indiquant leur statut académique.

Tout indique donc que les organisateurs des conférences *Scaling Bitcoin* cherchent à donner aux discours énoncés dans ce cadre, la légitimité et l'autorité des discours académiques. Au delà de donner du crédit à l'ensemble de la manifestation, c'est aussi un occasion de proposer (imposer ?) une gouvernance basée sur les modes de régulation des controverses scientifiques (Raynaud 2003) à une communauté dont ils estiment qu'elle a montré des défaillances dans ce domaine, notamment lors de l'examen de la proposition BIP-101²⁴² que nous étudierons dans le chapitre 9 traitant de la controverse sur la taille maximale des blocs.

La deuxième série d'événements sur laquelle nous nous pencherons est aussi constituée de trois conférences. Elles ont été organisées par *CoinDesk*, un site d'information dédié aux crypto-monnaies, sur lequel nous reviendrons dans la section suivante consacrée aux publications en ligne. Ces trois événements baptisés *Consensus* se sont tenus à New York respectivement en septembre 2015, mai 2016 et mai 2017. Le public ciblé par ces conférences est résolument celui des acteurs économiques avec la participation d'investisseurs, d'entreprises et de jeunes pousses innovantes²⁴³. Les intervenants ont majoritairement des profils de cadres dirigeants, de consultants ou d'entrepreneurs²⁴⁴ et seuls quelques ingénieurs ou universitaires font partie du panel. Contrairement aux événements *Scaling Bitcoin*, les compte-rendus ne sont pas disponibles sur le site de l'organisateur. La restitution du contenu des conférences est assurée par la couverture médiatique, à commencer par celle de

242 Pour une présentation du principe des BIP, voir la section suivante.

243 cf. <http://www.coindesk.com/events/consensus-2017/attendees/> consulté le 27 mai 2017.

244 cf. <http://www.coindesk.com/events/consensus-2017/speakers/> consulté le 27 mai 2017.

l'organisateur lui-même. En 2015²⁴⁵ et 2016²⁴⁶, une large couverture était assurée par divers médias. Coindesk fournissait, en plus des articles issus de sa propre équipe de journalistes et publiés sur son site, quelques captations vidéos sur la plateforme Youtube²⁴⁷. En 2017²⁴⁸, les médias n'étaient conviés que sur invitation. Seules quelques captations sporadiques sont alors publiées sur les plateformes de vidéos en ligne. Notons que l'édition 2018, qui ne fait pas partie de notre corpus, a bénéficié d'une diffusion en direct sur Youtube par l'organisateur de l'événement.

Introduction au BIP

La communauté Bitcoin, qui ne connaît aucune entité juridique ou formelle en mesure d'imposer une résolution ayant un caractère officiel et contraignant, s'est tout de même accordée sur une procédure de prise de décision qui combine deux composantes. D'une part les propositions d'évolution sont soumises à la communauté selon un format standard nommé BIP pour *Bitcoin Improvement Proposal* (Proposition d'amélioration de Bitcoin), et traitées selon un circuit qui a lui-même été formalisé dans une BIP²⁴⁹. Ce circuit comprend une phase d'échanges via la liste de discussions par courriel dédiée au protocole Bitcoin²⁵⁰. D'autre part, le déploiement de la proposition se fait sur la base d'« un critère spécifique reflétant une adoption tangible »²⁵¹ comme l'indique la BIP formalisant la procédure. Chaque proposition définit le critère en question en fonction de son contexte, mais ses termes doivent avoir été discuté au préalable, toujours via la même liste de discussion, et être « objectivement vérifiable »²⁵².

Ce cadre général pour la prise de décision concernant la conception et les évolutions d'un protocole est très proche de celui qui est adopté pour la communauté en charge du développement du langage Python avec les PEP (*Python Enhancement Proposals*). Ce dernier dérive lui-même du modèle historique employé dans la mise au point des « standards »

245 cf. <http://www.coindesk.com/events/consensus-2015/media/> consulté le 27 mai 2017.

246 cf. <http://www.coindesk.com/events/consensus-2016/media/> consulté le 27 mai 2017.

247 cf. https://www.youtube.com/watch?v=fy8TUtyySng&list=PLZWrc_gWChqlxeG5qphAoCaVlhn3CWZiX pour l'édition 2015 et https://www.youtube.com/watch?v=uxcNtQ_slLo&list=PLZWrc_gWChqlBObZQ3TqK8jXYvw3Nr3Sq pour l'édition 2016 (consulté le 18 juin 2018)

248 cf. <http://www.coindesk.com/events/consensus-2017/media/> consulté le 27 mai 2017.

249 cf. <https://github.com/bitcoin/bips/blob/master/bip-0002.mediawiki> consulté le 15 mai 2017.

250 cf. <https://lists.linuxfoundation.org/mailman/listinfo/bitcoin-dev> consulté le 15 mai 2017.

251 "specific criteria reflecting real-world adoption" (BIP 0002 consulté le 14 mai 2017)

252 "objectively verifiable" (BIP 0002 consulté le 14 mai 2017)

d'Internet via les RFC (*Requests For Comments*) publiées par l'IETF (*Internet Engineering Task Force*)²⁵³. Comme le signale Stéphane Bortzmeyer²⁵⁴ (2017)²⁵⁵, l'exemple de Bitcoin a été par ailleurs discuté au sein d'un atelier de l'IETF (Internet Engineering Task Force) qui s'est déroulé en 2013 pour mettre l'accent sur le rôle de l'incitation économique intégrée au protocole lui-même dans la réussite de son adoption. Le rapport qui est tiré de cet atelier et qui a été publié en 2014 sous forme de RFC²⁵⁶, indique que ce mécanisme pourrait aussi être un facteur de succès dans les phases de transition entre deux versions successives d'un protocole. Ce point de vue peut être nuancé compte tenu de l'analyse que nous faisons de la controverse sur l'augmentation de la taille maximale des blocs au quatrième chapitre de cette seconde partie.

Consensus et « fork »

La forme générale de gouvernance répandue dans les projets de logiciel libre et fondée sur des prises de décisions au consensus, entretient par ailleurs un rapport ambivalent avec les possibilités de dissensions au sein de la communauté. Plutôt que de mener les débats jusqu'à une prise de décision consensuelle, ces dissensions peuvent mener à des bifurcations – que l'on appelle « forks » selon le terme consacré en ingénierie logicielle – quant aux modifications apportées au code source. Comme l'indiquent De Filippi et Loveluck (2016),

“Forking is standard practice in free/libre and open source software development, and although it can be seen as a last resort solution which can sometimes put the survival of a project at risk (Robles & González-Barahona, 2012), it can also be considered a key feature of its governance mechanisms. For Nyman and Lindman: *The right to fork code is built into the very definition of what it means to be an open source program* – it is a reminder that developers have the essential freedom to take the code wherever they want, and this freedom also functions as a looming threat of division that binds the developer community together (Nyman & Lindman, 2013).” (De Filippi & Loveluck, 2016, p.15)²⁵⁷

253 cf. <http://www.ietf.org/rfc.html> consulté le 18 mai 2017.

254 Stéphane Bortzmeyer est ingénieur spécialiste de la sécurité des réseaux informatiques et travaille pour l'AFNIC (Association française pour le nommage Internet en coopération) qui gère le service de nommage des serveurs du domaine « .fr ». Il est par ailleurs de rédacteurs de plusieurs RFC.

255 source en ligne <http://www.bortzmeyer.org/7305.html> consultée le 18 mai 2017

256 source en ligne <https://tools.ietf.org/html/rfc7305> consultée le 18 mai 2017

257 « Le « fork » est une pratique standard dans le développement de logiciels libres ou open source, et bien qu'il peut être vu comme une solution en dernier ressort pouvant parfois mettre en péril la survie du projet,

Les mainteneurs du code source de Bitcoin, aussi appelés *core developers* – c’est-à-dire les principaux contributeurs historiques, ceux qui détiennent par ailleurs les droits nécessaires pour réellement inscrire des modifications dans le référentiel de code source de Bitcoin – sont les détenteurs en dernier ressort de ce droit privilégié dans la gouvernance de Bitcoin que représente la capacité de d’intégrer de nouvelles évolutions dans la branche principale du code source. Rien n’empêche par contre n’importe quel contributeur de « forker », c’est-à-dire de tirer une nouvelle branche de développement – et donc un nouveau projet – à partir de n’importe quel stade de la branche principale du projet initial. Si « fork » se traduit littéralement par fourche, il prend dans ce contexte le sens de bifurcation. Le terme dénote en effet un moment de la vie du projet où deux versions divergentes portant sur une portion plus ou moins importante du code source vont servir de point de départ à deux branches distinctes quant à ces évolutions. Ces branches serviront de support à des décisions souveraines qui distingueront deux nouvelles communautés l’une de d’autre. Chaque branche est en effet prise en charge par un groupe spécifique, même si certains membres peuvent choisir de participer de part et d’autre. Les groupes marqueront cependant leurs différences, au minimum en adoptant des noms de projets distincts. Mais, sur ce point, la filiation avec les projets de logiciels libres est tout de même entachée d’un biais, car la notion de « fork » n’a pas qu’un impact sur le code, mais aussi sur ce qu’il produit lorsqu’il est exécuté, c’est-à-dire le registre distribué des transactions. Or, ce registre ne se plie pas aussi facilement à l’idée d’une menace permanente de fragmentation ou de disparition, puisque les propriétaires de bitcoins n’ont pas d’alternative pour clamer leurs droits.

En cas de « fork » ou même de simple évolution dans la même branche du code source, la nature décentralisée du réseau Bitcoin implique la possible coexistence de versions différentes du logiciel s’exécutant sur les nœuds, qui peuvent alors avoir potentiellement des comportements divergents. De façon générale, les modifications qui conduisent à différentes versions du logiciel ne pouvant plus coopérer sur le réseau sont appelées « hard forks ». *A contrario*, les changements conservant l’interopérabilité sont appelés « soft forks ». Plus précisément, un « soft fork » permet à un nœud opérant une ancienne version de participer

cela peut aussi être considéré comme une fonction clé des mécanismes de sa gouvernance. Pour Nyman et Lindman, le droit de « forker » le code est inscrit dans la définition même de ce qu’est un *programme open source* – c’est un rappel que les développeurs ont la liberté essentielle d’amener le code où ils veulent, et cette liberté fonctionne aussi comme une épée de Damoclès qui incitent la communauté des développeurs à rester groupée »

malgré tout au consensus sur les transactions valides en collaborant avec les nœuds opérant une nouvelle version, tandis que le « hard fork » conduit les nœuds opérant les versions plus anciennes à rejeter les éléments soumis au consensus par les nœuds opérant les versions plus récentes. Ceci est susceptible de rompre la coopération entre les nœuds ou d'introduire des aléas pour les utilisateurs, qui pourraient pour cette raison se détourner de Bitcoin et entraîner sa dévalorisation. Tout changement modifiant le comportement des nœuds est donc un moment périlleux pour le réseau Bitcoin car il menace de le fractionner en plusieurs instances, et peut avoir pour conséquence de voir s'évaporer la valeur dont il est censé être le dépositaire.

Un « hard fork accidentel » a d'ailleurs eu lieu en mars 2013 suite à une montée en version du logiciel Bitcoin²⁵⁸. Une modification du code source a été introduite pour changer un composant ayant un comportement non désiré et le réseau s'est trouvé dans la situation où des versions antérieures et postérieures à ce changement étaient déployées sur les nœuds du réseau dans des proportions à peu près équivalentes. Or, il s'est avéré que la modification avait aussi des effets imprévus que la campagne de tests préalables au déploiement n'avait pu mettre en évidence. Lorsque la partie majoritaire du réseau a accepté un bloc avec une configuration bien particulière alors que la partie minoritaire le rejetait comme invalide, le réseau s'est scindé en deux consensus divergents. Les mesures prises pour contrer cette situation en urgence ont eu pour conséquence marginale qu'une même transaction émise deux fois a été prise en compte de part et d'autre. L'opération – dont le montant était relativement élevé – n'ayant pas d'intention frauduleuse, elle a été signalée par la personne qui l'a initiée et n'a pas prêté à d'autres conséquences. Par ailleurs, des mesures rapides ont été prises pour rendre au réseau son unité temporairement brisée en prenant contact avec certains opérateurs de nœuds. L'épisode s'est aussi conclu par la définition d'un cadre destiné à mieux se prémunir des conséquences d'un « hard fork accidentel » en s'assurant notamment que les opérateurs des nœuds, destinataires des messages d'alerte diffusés sur le réseau, sont rapidement joignables afin d'appliquer des mesures d'urgence.

Si cette gestion de crise a montré que la communauté n'était pas complètement démunie en cas de « fork » non consensuel, toute évolution du logiciel Bitcoin ne peut cependant en temps normal être déployé sans avoir fait préalablement la preuve d'une adhésion suffisante

258 Le retour d'expérience de cet incident a été formalisé dans un document de type BIP et classé dans la catégorie *Informational* (« à titre d'information »). cf. <https://github.com/bitcoin/bips/blob/master/bip-0050.mediawiki> consulté le 20 mai 2017.

des mainteneurs bien entendus, mais aussi des usagers de Bitcoin dans la mesure où le « fork » implique la possible perte de la valeur que le réseau Bitcoin est censé représenter. À ce titre, les mainteneurs du code source de Bitcoin ne peuvent brandir avec autant d'efficacité la menace d'un « fork » pour sortir d'une situation de blocage, à l'instar de n'importe quel projet de logiciel libre. Leur « liberté » semble bien entravée par des considérations économiques qui se nichent au cœur même du projet Bitcoin en tant que monnaie.

La gouvernance de Bitcoin ne semble donc pas pouvoir se glisser aussi facilement dans le costume type du projet de développement de logiciel libre. Elle doit prendre en compte les contributions de ceux qui font usage du logiciel au niveau de la totalité, et pas uniquement en privilégiant ceux qui s'accordent avec telle ou telle proposition d'évolution. La fragmentation n'est pas une option viable pour trancher la divergence de points de vue. Si la prise en compte des usages fait partie, de façon plus ou moins explicite, de la vie de tous les projets de logiciel libre, elle n'a pas la même dimension avec Bitcoin. Dans un projet standard, une meilleure prise en compte de certains usages et de leur contraintes spécifiques, peut passer par un « fork » mais cela n'a pas de conséquence pour les autres usages puisque une branche du code source leur sera toujours dédiée, tout au moins tant que l'usage persiste et justifie les efforts de maintenance. Dans le cas de Bitcoin, une évolution du code source, et donc des usages qu'il permet ou empêche, s'applique à l'ensemble du réseau et contraint tous les participants à s'aligner.

Pour cette raison, la gouvernance de Bitcoin est nettement plus conservatrice que celle d'un projet de logiciel libre « standard ». Elle tend à peser plus longuement les différents arguments avancés lors d'une controverse²⁵⁹. D'une certaine façon, on peut même dire qu'une gouvernance de projet de logiciel libre « standard » n'est plus applicable à Bitcoin. Cela se traduit notamment par la mise en place d'une BIP bien particulière puisqu'elle ne propose pas une amélioration du protocole Bitcoin, mais définit justement le processus d'amélioration lui-même. Il s'agit de la BIP-0123 qui définit une classification standardisée des BIP en les distribuant dans quatre catégories organisées à la manière d'une architecture logicielle, c'est-à-dire en couches abstraites les unes des autres et hiérarchisées (cf. note 89). Les propositions d'amélioration du protocole qui relèvent de la couche la plus fondamentale – à savoir celle qui

²⁵⁹ Ce processus précautionneux se déploie au risque d'envenimer les échanges si certains participants ont le sentiment d'un blocage sciemment organisé.

impacte le consensus sur la chaîne de blocs valide – sont ainsi marquées comme devant être étudiées par la communauté avec le maximum d’attention et être rejetées dès lors que l’on peut faire état d’un risque quelconque qui serait associé à sa mise en œuvre.

Ainsi la gouvernance du projet Bitcoin ne peut être simplement rabattue sur les pratiques « standards » de projets open source, quand bien même elle en adopterait les outils formels dérivés du principe “rough consensus and running code”²⁶⁰. Énoncé par David Clarke en 1992²⁶¹ après qu’il ait été en charge de l’architecture des protocoles Internet de 1981 à 1989, ce « mantra » oriente les méthodes de travail qui devraient prévaloir au sein de l’IETF. La notion de « consensus approximatif » a été formalisée ultérieurement dans un RFC publié en 1998²⁶².

“Working groups make decisions through a "rough consensus" process. IETF consensus does not require that all participants agree although this is, of course, preferred. In general, the dominant view of the working group shall prevail. (However, it must be noted that "dominance" is not to be determined on the basis of volume or persistence, but rather a more general sense of agreement.) Consensus can be determined by a show of hands, humming, or any other means on which the WG agrees (by rough consensus, of course). Note that 51% of the working group does not qualify as "rough consensus" and 99% is better than rough. It is up to the Chair to determine if rough consensus has been reached.” (Bradner, 1998, section 3.3)²⁶³

Le « code qui marche » est une façon de participer aux travaux de l’IETF qui est notamment exposé dans un guide du contributeur débutant²⁶⁴ :

260 « un consensus approximatif et du code qui marche ».

261 cf. https://groups.csail.mit.edu/ana/People/DDC/future_ietf_92.pdf consulté le 20 mai 2017

262 cf. <https://tools.ietf.org/html/rfc2418> consulté le 20 mai 2017.

263 « Les groupes de travail prennent des décisions selon une procédure de « consensus approximatif ». Le consensus de l’IETF n’exige pas que tous les participants soient d’accord bien que ce soit préférable. En général, l’avis prépondérant du groupe de travail doit l’emporter. (Cependant, il faut noter que la « prépondérance » ne se détermine pas par la quantité ou la ténacité, mais plutôt avec une attention plus globale au consentement.) Notez que 51 % du groupe de travail ne peut être qualifié de « consensus approximatif » et que 99 % est bien au-dessus de l’approximatif. C’est au modérateur du groupe de travail de déterminer si le consensus approximatif a été atteint »

264 cf. <https://www.ietf.org/tao.html> consulté le 20 mai 2017.

“You can help the development of protocols before they become standards by implementing (but not deploying) from I-Ds to ensure that the authors have done a good job. If you find errors or omissions, offer improvements based on your implementation experience.” (Moriarty & ten Oever, 2012, section 7.1)²⁶⁵

“IETF Standards Track specifications are not considered to be satisfactory standards until interoperable independent implementations have been demonstrated.” (*ibid.*, section A.5)²⁶⁶

Mais l’adoption de ces outils et procédures par la communauté Bitcoin doit plutôt être vue comme l’héritage d’une phase précoce où seuls des problèmes d’ingénierie logicielle se posaient à la communauté, problèmes qui pouvaient donc être résolus selon des méthodes éprouvées dans ce domaine. Les difficultés spécifiques que pose un « fork » dans le cas du réseau Bitcoin conduisent la communauté à rencontrer des problèmes de gouvernance si elle s’en tient à la méthode qui consiste à valider seulement une interopérabilité technique.

De Filippi et Loveluck (2016) ont aussi pointé un problème de gouvernance dans la communauté Bitcoin. Ils le situent dans la contradiction entre le caractère décentralisé revendiqué pour la conception et la mise en œuvre du réseau Bitcoin, d’un côté ; et la gestion centralisée des évolutions du code source par un groupe resserré de mainteneurs historiques, disposant des droits de modification et délibérant parfois de manière opaque, dans le but de perpétuer l’emprise de leur vision idéologique sur le protocole, de l’autre. Ils en appellent donc à une gestion plus démocratique qui prendrait exemple sur des instances de prise de décision ayant fait leurs preuves dans différents secteurs de l’Internet. Selon l’approche de De Filippi et Loveluck, le problème de gouvernance pourrait donc être détaché du protocole en modifiant ses caractéristiques, et devrait l’être car ce dernier serait indûment brandi comme juge de paix par les mainteneurs pour contrer toute évolution qui ne trouve pas leur aval.

265 « Vous pouvez contribuer au développement des protocoles avant qu’ils ne deviennent des standards en réalisant une implémentation (mais sans la déployer) à partir des I-D [NdT : Internet-Draft = premier jet d’un document spécifiant un protocole Internet] pour vous assurer que les auteurs ont fait du bon boulot. Si vous trouvez des erreurs ou des lacunes, proposez des améliorations à partir de votre expérience d’implémentation »

266 « Les spécifications suivant parcours certifié de l’IETF ne sont considérées comme des standards satisfaisants que lorsque des implémentations indépendantes ont fait la démonstration de leur interopérabilité »

L'analyse de ce protocole, que nous allons mener dans le chapitre suivant, permet cependant de douter du fait qu'on puisse se contenter de substituer certaines de ses composantes pour rétablir les conditions d'une gouvernance ouverte pilotant les conditions d'usage du réseau. Car les crises que connaît la montée en puissance du réseau Bitcoin, et dont nous traiterons un cas dans le quatrième et dernier chapitre de cette seconde partie, ne résultent pas tant du contenu du protocole que de la forme particulière qu'il adopte – et que la proposition suivante de De Filippi et Loveluck semble reconduire.

“[...] one of the main limitations of the Bitcoin protocol is that it is based on algorithmically quantifiable and verifiable actions (i.e. how much computing resources people are investing in the network) and it is therefore unable to reward those who contribute to the network in different manners, other than through hashing power.” (De Filippi & Loveluck, 2016, p.19)²⁶⁷

Ce portrait robot qu'ils tracent en creux, d'un protocole alternatif pouvant répondre aux critiques qu'ils adressent à Bitcoin pourrait correspondre à celui du projet Ethereum²⁶⁸ qui propose une évolution de son protocole permettant de remplacer la puissance de calcul par une autre forme d'implication des utilisateurs, mais en la fondant toujours « sur des actions algorithmiquement quantifiables et vérifiables ». Ethereum ambitionne, par ailleurs, de prendre en charge des interactions sociales bien au-delà des problématiques de la solidité et de la circulation monétaire en généralisant la notion de « *smart contracts* » qui est plus limitée dans Bitcoin. En effet, les contrats que Bitcoin peut mettre en œuvre sont limités par un jeu d'instruction restreint à un certain nombre d'opérations de calculs cryptographiques. Le protocole Ethereum propose, lui, un jeu d'instructions bien plus large qui permet notamment de couvrir tous les besoins d'une machine de Turing complète. Les contrats peuvent alors reproduire tous les algorithmes qu'on peut envisager de faire exécuter par un ordinateur et l'on peut donc développer d'autres applications que les transactions monétaires. De fait, le réseau constitué par l'ensemble des nœuds liés par le protocole Ethereum peut être vu comme

267 « [...] une des principales limitations du protocole Bitcoin est qu'il est basé sur des actions algorithmiquement quantifiables et vérifiables (i.e. combien de ressources en calcul les gens investissent dans le réseau) et il est pour cette raison incapable de récompenser ceux qui contribuent au réseau par d'autres voies que la puissance de calcul en soi ».

268 cf. <http://www.ethereum.org>

un immense ordinateur unique se consacrant à l'exécution des scripts inscrits dans le registre dupliqué sur chaque nœud. La démultiplication des possibilités en termes de programmation a suscité des projets ambitieux en termes d'*organisations autonomes décentralisées* (en anglais DAO, pour Decentralized Autonomous Organisation). Ces DAO ne sont ni plus ni moins que des automates exécutant des règles de gouvernance « transparentes et immuables » car inscrites dans le registre distribué de la blockchain Ethereum. Ses projets ambitieux n'ont pas toujours mobilisé les compétences requises (et parfois extrêmement pointues) pour garantir la sécurité et l'innocuité des automates ainsi déployés, comme l'a montré en 2016 l'expérience malheureuse de l'organisation tout simplement nommée *The DAO*.²⁶⁹

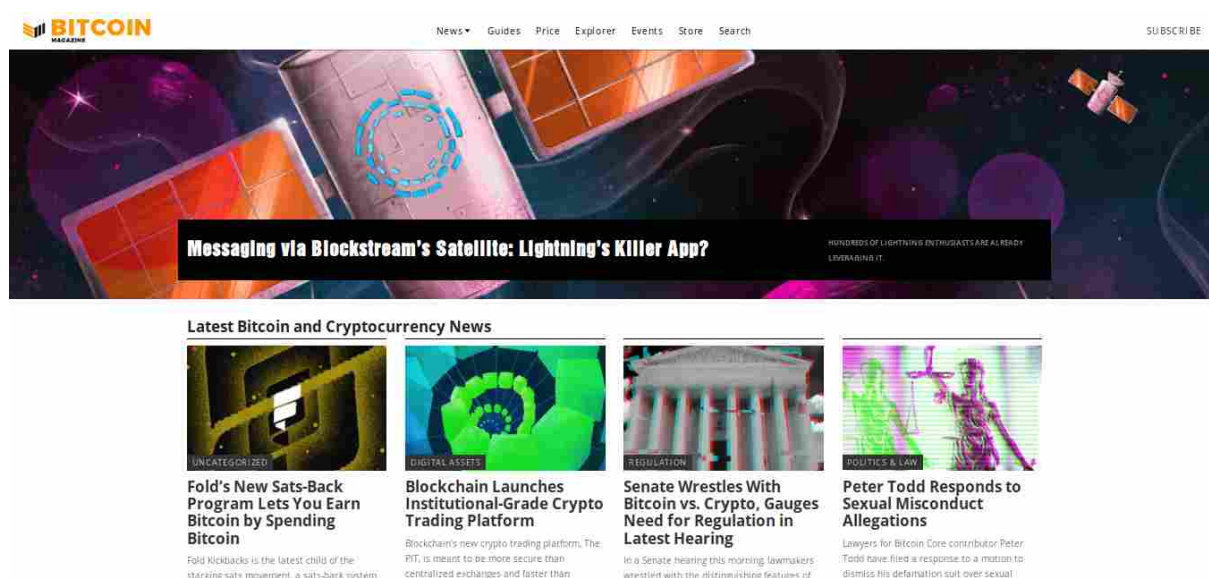
4. Les sites d'information dédiés

La popularité grandissante de Bitcoin s'est accompagnée de l'émergence de plateformes professionnelles d'information spécialisées dans les crypto-monnaies, les technologies sous-jacentes, les activités dérivées et les données de cotations. Ces plateformes proposent des services en ligne en publiant des dépêches, des reportages, des enquêtes, des dossiers, des analyses de données, etc. sur tous les sujets relatifs aux crypto-monnaies, depuis les aspects les plus techniques jusqu'aux modèles d'affaires les plus variés en passant par les pratiques sociales émergentes. Ces services peuvent être des bulletins d'actualité générale diffusés à des abonnés par courriel, mais les principaux vecteurs sont des sites Web donnant accès à différentes rubriques dont l'organisation est spécifique à chacun de leurs éditeurs. Nous allons analyser ces sites Web, entre autres sous l'angle de ces spécificités de rubriquage, mais aussi celles de leur charte graphique, afin de déterminer quelle(s) partie(s) de la communauté Bitcoin ils ciblent ou représentent. Ils ont, en effet, en commun un modèle d'affaire basé sur la vente d'espaces publicitaires à des annonceurs relevant du domaine des crypto-monnaies pour une audience particulièrement en adéquation avec ce domaine mais pouvant présenter des modes d'engagement variés. Par ailleurs, le contenu publié est souvent produit par des collaborateurs ayant le statut d'indépendant. Certaines publications sont même des contributions bénévoles, leurs auteurs bénéficiant de la visibilité de ces plateformes pour faire connaître leurs compétences. Elles constituent donc un point d'entrée pour la thématique du

269 cf. DuPont (2017), ainsi que <https://vessenes.com/deconstructing-thedao-attack-a-brief-code-tour/> (consulté le 26 juillet 2019) ainsi que .

digital labor (Cardon & Casilli, 2015) que nous avons abordée dans la première partie. Pour notre enquête, nous avons sélectionné trois publications d'importance, de par leur ancienneté, leur audience... ou leur fonctionnement problématique : *Bitcoin Magazine*²⁷⁰, *CoinDesk*²⁷¹ et *The CoinTelegraph*²⁷².

Bitcoin Magazine, première publication périodique consacrée aux crypto-monnaies, est créé en 2012 sous forme d'un magazine papier diffusé à ses abonnés dans le monde entier et vendu dans certaines librairies dont la chaîne de magasins *Barnes et Noble*. Une version numérique est aussi disponible en ligne via un site Web, tandis que la version papier a cessé d'être publiée en 2014 avec le numéro 22, suite au rachat par la société *BTC Media*.



Copie d'écran de la page d'accueil du site <https://bitcoinmagazine.com/>

(consulté le 31 juillet 2019)

Le magazine a été co-fondé par Vitalik Buterin, un jeune informaticien russo-canadien qui, après des contributions à la médiatisation de Bitcoin dès 2011 via des blogs et des vidéos en ligne, se lance en 2013 dans la création de Ethereum, une crypto-monnaie alternative qui, sous certains aspects, comme nous l'avons vu précédemment, étend le concept de *smart contracts* introduit par Bitcoin. Cette alternative a tout simplement pour visée de faire du réseau de calcul distribué sous-tendu par le protocole Ethereum, une « vraie » machine de Turing universelle dans sa globalité, et non plus seulement de s'appuyer sur un réseau de

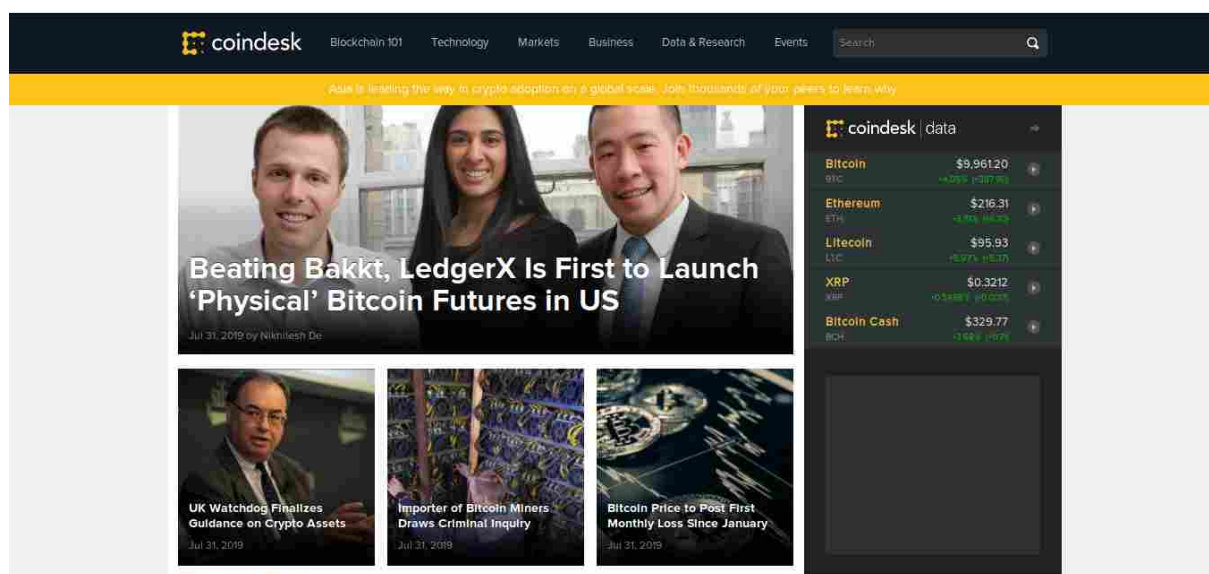
270 cf. <https://bitcoinmagazine.com/> consulté le 28 mai 2017.

271 cf. <https://www.coindesk.com/> consulté le 28 mai 2017.

272 cf. <https://cointelegraph.com> consulté le 28 mai 2017.

machine de ce type afin de mettre en œuvre uniquement une application de monnaie décentralisée. Par ailleurs, Butarin fait aujourd'hui partie du comité éditorial de *Ledger*²⁷³, une revue académique à comité de lecture sur le thème des crypto-monnaies.

CoinDesk est fondé en 2013 par Shakil Khan, un investisseur dans le secteur des plateformes numériques, qui est déjà connu à l'époque pour sa participation dans la société *BitPay*, un fournisseur de services de paiement basé sur Bitcoin qui sont proposés aux commerçants en ligne, mais aussi dans *Spotify*, une plateforme de diffusion musicale dont il a piloté le déploiement global jusqu'au début de l'année 2012.



Copie d'écran de la page d'accueil du site <https://www.coindesk.com/>
(consulté le 31 juillet 2019)

Une des spécificités de *CoinDesk* est d'avoir été le premier site d'information sur les cryptomonnaies à fournir un index de cotation du bitcoin qui ne soit pas attaché spécifiquement à une plateforme d'échange. La cotation proposée par *CoinDesk* est, en effet, une mesure dérivée à partir des prix constatés sur un panel de plateformes d'échange²⁷⁴. Ces plateformes fournissent des services en ligne permettant à des particuliers et des entreprises d'acheter et de vendre des bitcoins contre des devises à cours légal telles que l'euro ou le dollar. L'index calculé par *CoinDesk* joue un rôle de référence pour de nombreux acteurs de l'économie Bitcoin en fixant une grandeur qui n'est pas intrinsèquement fournie par le réseau,

273 cf. <http://www.ledgerjournal.org/ojs/index.php/ledger/index> consulté le 29 mai 2017.

274 cf. <http://www.coindesk.com/price/bitcoin-price-index/> consulté le 30 mai 2017.

mais doit être agrégée à partir de différents opérateurs. Par ailleurs, cet index est accessible via des API (*Application Programming Interface*)²⁷⁵, ce qui permet de l'intégrer dans d'autres applications numériques, comme des sites Web par exemple, tant que la référence à *CoinDesk* est explicitement présentée au regard de l'index. Toute proportion gardée, *CoinDesk* peut être vu comme le *Bloomberg News* des crypto-monnaies dans la mesure où l'entreprise fournit cette même combinaison entre des fils d'actualité et des éléments de cotation. Ce rapprochement est aussi renforcé par le fait que *CoinDesk* organise des événements aux formats semblables à ceux de *Bloomberg*²⁷⁶. Ces événements à mi-chemin entre les salons d'affaires et la mise en scène de figures entrepreneuriales contribuent à l'effervescence autour des technologies et des activités relatives à Bitcoin. Organisés sur une base annuelle depuis 2015, ces conférences ont pour titre *Consensus* pour mettre en avant l'idée qu'elles constituent un espace et un moment de rencontres destinées à faire émerger une vision globale et commune sur les tenants et les aboutissants de l'économie Bitcoin dans une phase encore considérée comme bouillonnante.

Dernière publication que nous intégrons dans notre corpus, *The CoinTelegraph* est présent en ligne depuis 2013. Ce média présente à première vue de fortes similitudes avec ceux que nous venons de présenter, mais se distingue aujourd'hui cependant par un traitement plus superficiel des sujets et un habillage graphique plus clinquant.



Copie d'écran de la page d'accueil du site <https://cointelegraph.com/>

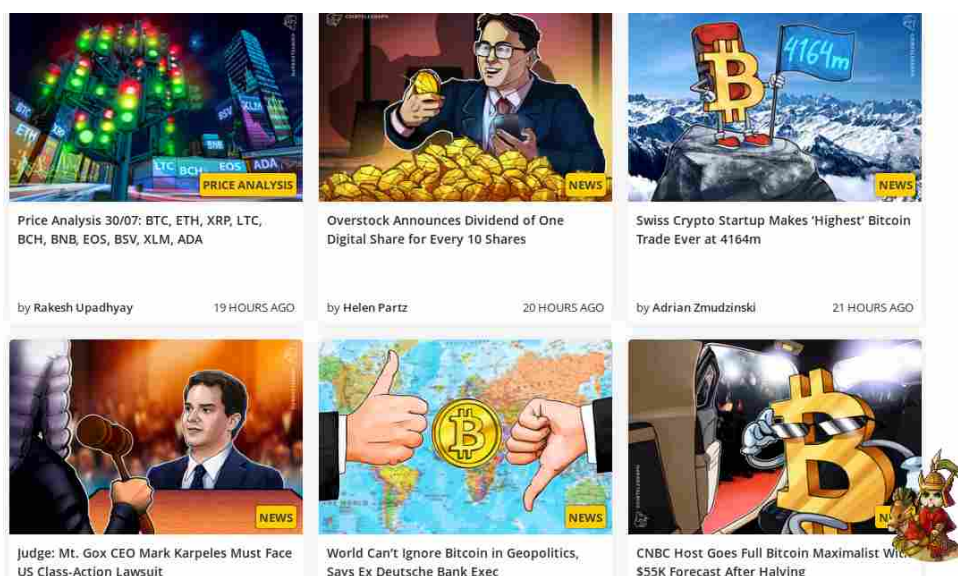
275 cf. <http://www.coindesk.com/api/> consulté le 30 mai 2017.

276 cf. <https://www.bloomberg.com/live/events> consulté le 30 mai 2017.

(consulté le 31 juillet 2019)

Le contenu rédactionnel proposé sur le site Web est publié exclusivement sous forme d'articles focalisés sur un fait d'actualité et se faisant la plupart du temps l'écho des sujets de discussion les plus actifs sur les forums tels que *bitcointalk*. Les illustrations en tête des articles ou sur la page d'accueil marquent une forte identité visuelle. Elles sont en effet toutes construites sur la superposition d'une photographie en arrière-plan et d'un dessin au premier plan réalisé à l'aide d'un logiciel de création graphique en reproduisant un schéma de composition leur donnant un air de famille. En effet, pour chacun d'entre elles, les deux éléments suivants sont systématiquement présents :

- La photographie représente un décor impersonnel relatif à la localisation ou au contexte du sujet traité, et est issue d'une banque d'images libres de droit.
- Le dessin en avant plan illustre plus spécifiquement le sujet : il peut s'agir de la personne évoquée dans l'article ou d'une figure allégorique.



Exemples d'illustrations pour les articles de The CoinTelegraph

Copie d'écran de la page d'accueil du site <https://cointelegraph.com/>

(consulté le 31 juillet 2019)

Ces illustrations sont produites à partir d'une bibliothèque de modèles ou de traitements appliqués à des portraits photographiques. Ces compositions assemblées sur un principe

simple, peu coûteux et donc propice à une haute productivité, permettent d'illustrer les articles au rythme de leur publication tout en leur conservant une unité de style requise pour un rendu homogène qui signale un site produit par des professionnels. Il faut noter qu'en 2015, les illustrations étaient produites par le graphiste Dennis Spaans²⁷⁷ avec des méthodes et un rendu légèrement différents. Elles assuraient aussi une identité visuelle au site Web, mais dans un style un peu moins clinquant et plus personnel.

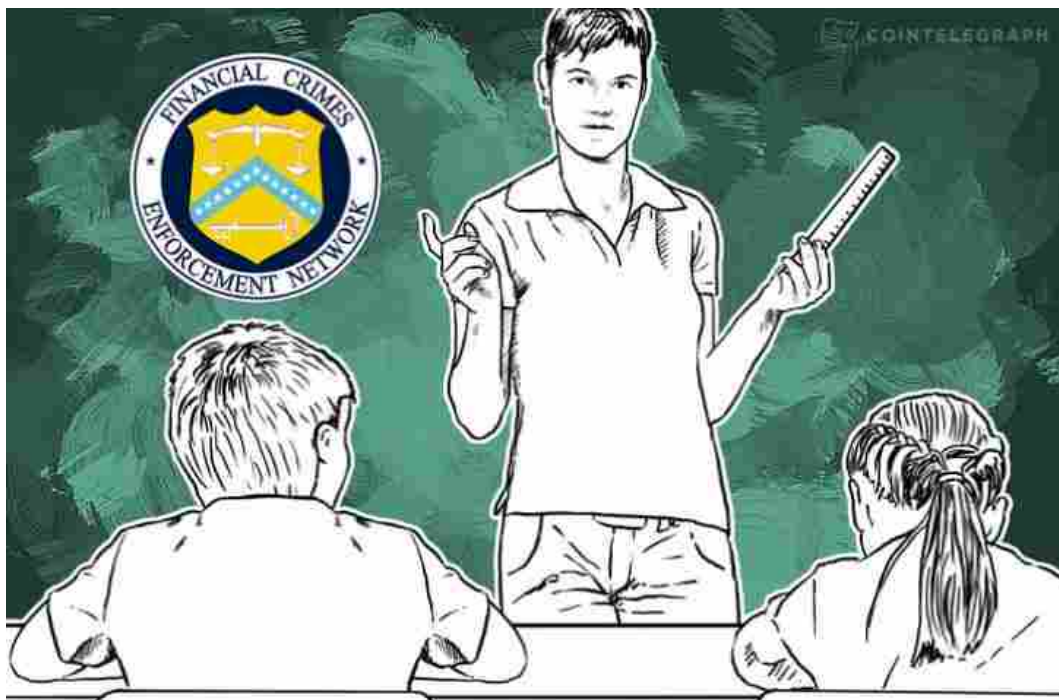
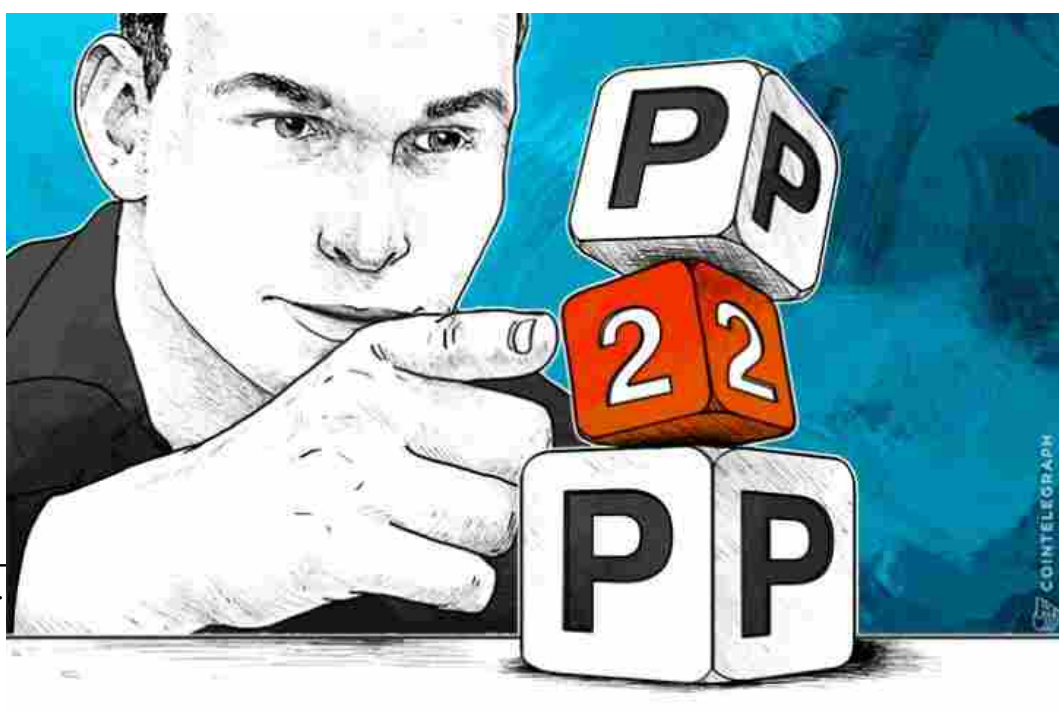


Illustration de Dennis Spaans pour The CoinTelegraph (1 sur 3)



²⁷⁷ cf.



Illustration de Dennis Spaans pour The CoinTelegraph (3 sur 3)

Par ailleurs, *The CoinTelegraph* a fait l'objet d'accusation de plagiat à diverses reprises. Certains de ces plagats ont été attribués à des auteurs ne maîtrisant pas suffisamment l'anglais et composant donc certaines parties de leurs articles à partir de copier/coller. Enfin, le contenu éditorial est produit par des personnes qui ne sont pas employées par *The CoinTelegraph*, y compris pour des fonctions d'encadrement de la rédaction, mais travaillent avec un statut d'indépendant en collaborant au travers d'une plateforme interne dédiée. Le site est aussi régulièrement accusé de faire la promotion d'offres frauduleuses (*scams*), non seulement en ne filtrant pas les annonces placées dans ses espaces publicitaires, mais aussi en acceptant contre paiement de rédiger du contenu promotionnel dans ses espaces réservés au contenu rédactionnel. Le rapport ambigu qu'entretient *The CoinTelegraph* avec des entités et des actions frauduleuses relève cependant moins de l'escroquerie planifiée que des contraintes de leur modèle d'affaire basé sur la vente d'espace publicitaire, combiné au recours massif à une force de travail indépendante et au fonctionnement des régies de publicité en ligne. Tous ces éléments permettent donc de relier la production problématique de contenu rédactionnel dans le domaine des crypto-monnaies à la thématique du *digital labor*, ainsi qu'avec la notion de *fake news*, en revenant notamment sur leurs modes de production.

En effet, comme le relate Antonio Casilli à l'occasion des débats sur le rôle des médias sociaux numériques dans l'orientation prise par les campagnes électorales et leurs résultats ces dernières années²⁷⁸, la manipulation de l'information sur Internet est un phénomène aujourd'hui massivement alimenté par l'emploi de « petites mains » qui peuvent être mobilisées par l'intermédiaire de plateformes numériques pour accomplir des tâches diverses allant de la production de supports de présentation destinés à appuyer des campagnes de promotion²⁷⁹ à la mise en ligne en série de sites diffusant des « fake news »²⁸⁰ en passant par le gonflement artificiel de l'audience ou de la popularité d'un sujet quelconque par l'achat en gros de « follows » et de « likes » provenant de comptes *ad hoc* sur les réseaux sociaux numériques. Mais nous pensons qu'il faut aller au-delà de l'implication de Facebook ou de Google, que Casilli pointe du doigt dans le cas particulier de l'élection présidentielle américaine de 2016. La situation qu'il décrit à cette occasion peut être étendue dans le cadre d'un schéma plus général. Pour que se développent des situations où la publication d'informations s'effectue avec des pratiques qui sont bien en dessous des standards déontologiques de la profession ou bien au-delà du colportage de rumeurs par des foules crédules et/ou imprégnées d'idéologies irrationnelles, il suffit de la conjonction entre, d'une part, une plateforme se rémunérant par la monétisation des actions des utilisateurs consultant les contenus publiés, et d'autre part, une plateforme réalisant l'allocation de tâches et leur validation selon des critères purement formels. Or, c'est bien la situation dans laquelle se trouve *The CoinTelegraph* puisque la plateforme interne au travers de laquelle collaborent les membres de l'équipe rédactionnelle ne leur permet pas d'entretenir spontanément le genre d'interactions propices à l'évaluation des contenus et auxquelles ils sont même plutôt peu incités à participer. Seuls les cas de plagiat manifeste ou les textes rédigés sans maîtrise suffisante de l'anglais peuvent éventuellement alerter les responsables d'édition, qui ne sont, de toutes façons, pas évalués eux-mêmes sur leur capacité à orienter la production vers des contenus de qualité.

De fait, le mode de production de ces contenus s'apparentent à celui que l'on peut constater sur les plateformes telles que Fiverr²⁸¹ où sont proposées des tâches requérant tout de

278 <http://www.casilli.fr/2016/11/17/qui-a-fait-elire-trump-pas-les-algorithmes-mais-des-millions-de-tacherons-du-clic-sous-payees/> (consulté le 18 juin 2018)

279 cf. <https://mothership.sg/2016/11/trump-team-outsourced-making-presentation-slides-to-sporean-teen-via-freelancer-site-fiverr/> (consulté le 18 juin 2018)

280 cf. https://www.buzzfeed.com/craigsilverman/how-macedonia-became-a-global-hub-for-pro-trump-misinfo?utm_term=.ha787a33q%23.ohVxarRRy (consulté le 18 juin 2018)

281 cf. <https://www.fiverr.com/> (consulté le 18 juin 2018)

même un niveau de compétence minimum, comme par exemple des aptitudes rédactionnelles et la maîtrise d'une langue. La fragmentation poussée et le caractère extrêmement peu qualifié des tâches que l'on peut rencontrer sur les plateformes telles que *Amazon Mechanical Turk* ne constituent pas en soi des facteurs suffisants pour expliquer l'incapacité à contrer la dégradation des contenus produits et des conditions d'emploi. De même, il n'est pas nécessaire qu'un modèle d'affaire basé sur les revenus publicitaires soit appliqué par une entreprise captant les données associée à une audience de portée globale pour induire le même genre de nuisances. Car, même à des échelles bien moindre que celles des plateformes telles que Facebook ou Google, on peut déjà constater l'impact des logiques combinées de la production marchande et de l'informatisation. La production du contenu publié par un site comme *The Cointelegraph* est en effet contrainte par les outils dont l'entreprise s'est doté afin de permettre la collaboration de contributeurs aux localisations, aux statuts juridiques, et même aux compétences linguistiques très hétérogènes. Si ce mode d'organisation et les outils afférents ont été sélectionnés, c'est pour permettre à l'entreprise de mener son activité avec le niveau de rentabilité requis pour rester dans la course engagée avec d'autres acteurs sur le même marché, et donc sans égard *a priori* pour les conditions concrètes dans lesquelles est menée cette activité.

Ces contraintes impliquent la saisie de toutes les opportunités d'augmenter la productivité en général, en abaissant les coûts et en accélérant le rythme du travail. Une part de cette compétitivité peut être obtenue par l'emploi des plate-formes numériques qui fournissent un matériau brut, au premier rang desquelles on trouve les applications de publication de contenus au sens large (réseaux sociaux, forums de discussion, blogs, etc.). Ce matériau n'a pas un coût nul cependant, car pour les employés de *The Cointelegraph*, il nécessite un travail préparatoire afin d'être exploitable : veille, sélection, évaluation, etc. Ce travail préparatoire est lui-même équipé numériquement, ne serait-ce que pour la consultation. On retrouve là les nécessités de la « rebrutification » que Samuel Goëta avaient identifié pour le cas de l'open data et que nous avons rattaché à la dimension bifide des données, elle-même héritée de leur inscription dans des traitements numériques. Mais ce matériau « brut » resterait justement stérile, s'il ne servait ensuite à alimenter les nombreuses plate-formes *internes* qui orchestrent leur « éditorialisation » (Bachimont 2007, Vitali-Rosati 2016, Epron et Vitali-Rosati 2018), c'est-à-dire la production des contenus à valeur ajoutée à l'ère numérique. Dans ce contexte, les contenus ne sont plus que des supports indifférents au développement

tautologique à la fois du capital mais aussi des procédures formelles automatisées. Ces logiques d'abstraction sont en quelque sorte les conditions de possibilités pour l'instauration de modèles d'affaires et d'outils de production aboutissant aux nuisances constatées, notamment avec la profonde transformation des modes de circulation de l'information. Tout en ne s'empêchant pas de situer les intérêts en jeu et les nuisances potentielles dans ces modèles d'affaires et ces outils de production, il nous semble que le rôle de la critique devrait être d'abord de montrer le caractère historiquement situé et donc dépassable de ces conditions de possibilité. C'est avec cette visée que les chapitres 8 et 9 seront notamment consacrés à une description du protocole Bitcoin et de ses multiples dérivations qui, au-delà et en deçà de la concurrence féroce entre leurs promoteurs respectifs ou des opportunités ponctuelles de production de marchandises d'ordre 2, permet de la caractériser comme une « matérialisation *particulièrement* adéquate aux *tout derniers développements* de la phase “*inversée*” du capitalisme ».

5. Conclusion : Un spectre large, un fond commun

Dans ce chapitre, nous avons observé différents milieux et acteurs exprimant une certaine forme de promotion de telle ou telle facette de Bitcoin, et avec différents niveaux d'implication. Nous avons sélectionnés quatre points d'entrée dans ces milieux afin de couvrir différents axes par l'intermédiaire desquels Bitcoin a pu devenir un sujet repris dans la sphère publique. Avec trois inflexions majeures, on a en effet pu voir apparaître dans les médias généralistes, d'abord de manière anecdotique puis comme sujet récurrent, des articles et des reportages abordant les crypto-monnaies en général et Bitcoin en particulier. La première inflexion correspond à la découverte de Bitcoin à l'occasion du blocus financier imposé à Wikileaks en 2010 et 2011 par les intermédiaires bancaires jusque-là utilisés pour collecter les dons (VISA, Mastercard, Bank of America, PayPal et Western Union)²⁸². Bitcoin est alors perçu comme un outil mis au service de la libre expression puisqu'il permet à Wikileaks de reprendre son activité en recevant des dons directs et anonymes. La deuxième inflexion accompagne la chute en octobre 2013 du site de marché noir *Silk road* qui servait de vitrine et

282 cf. <https://wikileaks.org/IMG/pdf/WikiLeaks-Banking-Blockade-Information-Pack.pdf> (consulté le 18 juin 2018)

de tiers de confiance pour la vente de différents produits illicites et garantissait l'anonymat des utilisateurs, aussi bien marchands que clients, par l'usage du réseau Tor et de la cryptomonnaie Bitcoin. Bitcoin devient à cette occasion la monnaie des transactions illégales dans de nombreux compte rendus de l'opération de saisie et fermeture menée les autorités américaines. La troisième inflexion marque l'attention portée à l'envolée du prix du bitcoin qui se déploie tout au long de l'année 2017. À cette occasion, les discours médiatiques relatifs au Bitcoin abordent celui-ci plus sous l'angle de l'actif financier que de la monnaie. Ce dernier aspect devient secondaire dans la mesure où celles et ceux qui découvrent Bitcoin à cette période sont plus intéressés par ses performances dans un objectif de rapide et massif retour sur investissement.

Les premiers promoteurs de Bitcoin peuvent être qualifiés de libertariens : ils présentent en effet un agenda explicite défendant la mise en place de monnaies privées et trouvent dans les techniques numériques les moyens de déployer concrètement cet agenda. La forte motivation découlant de leurs engagements militants pour des transformations de la société qu'ils estiment nécessaires afin d'en assurer un meilleur fonctionnement, alimente les laborieuses expérimentations menées pendant plus de deux décennies dans le but de trouver une combinaison adéquate entre les outils de la cryptographie numérique et le modèle idéal de monnaie qu'ils ont en tête. Pendant longtemps, ces investissements de forme (Boltanski et Thévenot 1991) sont menés en quelque sorte « à fonds perdus » mais sont tout de même animés par la conviction que les techniques numériques constituent enfin le levier permettant de concrétiser des modèles jusque-là abstraits ou n'ayant été qu'imparfaitement réalisés.

Lorsque ces projets sont suffisamment avancés pour pouvoir exhiber du « code qui marche », alors des acteurs porteurs d'un discours plus proche de la technique vont prendre le relais du développement. Plus exactement, c'est la conduite d'un projet de développement logiciel open source qui va devenir prépondérante et les impératifs d'une telle conduite mettent en retrait ceux de la transformation sociale escomptée. Cette transition peut passer inaperçu aux yeux de leurs différents protagonistes dans la mesure où ils partagent une approche commune à partir de laquelle la coopération peut s'établir et se déployer. Cette approche repose sur la conviction que les techniques numériques peuvent contribuer à dénouer des problèmes que la société n'était pas en mesure de résoudre sur ses propres bases, et de ne voir dans l'informatique que des solutions à portée de main (Robert 2012, Morozov 2014). Pour les uns, cette conviction est fondée sur une certaine défiance vis à vis des

institutions en place, pour les autres elle provient de leur proximité avec la technique qui alimente la confiance qu'ils ont dans le fait de la maîtriser.

Par ailleurs, cette coopération s'exerce dans un contexte d'effervescence partagée autour des nouvelles technologies numériques et de perspectives de nouvelles activités pouvant prendre le relai d'un ancien monde en voie d'essoufflement. Un phénomène similaire s'est manifesté avec l'émergence du Web dans la deuxième moitié des années 1990. Nous avons pu déjà, au chapitre précédent, tracer un lien entre la crise qui en a résulté et celle qui a servi de tremplin au démarrage de Bitcoin. Évidemment ce lien n'est pas fortuit dès lors qu'on l'interprète dans le cadre du capitalisme « inversé ». Ces deux épisodes constituent des tentatives de faire foisonner les potentiels « porteurs d'espoirs » dont l'industrie financière a besoin pour maintenir la dynamique de production de marchandise d'ordre 2. Car lorsque cette effervescence autour d'une nouvelle application des techniques numériques se cristallise dans des lieux emblématiques, qu'ils soient réels – à l'instar de la Maison du Bitcoin – ou virtuels – comme peuvent l'être les sites Web de la presse spécialisée ou certaines chaînes de youtubeurs – , elle constitue un pôle d'attraction pour de nouveaux contributeurs qui apportent une diversité supplémentaire dans les terrains explorés comme usages dérivés de ces applications.

Au delà de la mise en œuvre d'une monnaie, une des innovations introduites par le protocole Bitcoin et que l'on nomme blockchain – qui constitue le registre distribué des transactions, comme nous le verrons en détail dans le chapitre suivant – a en effet été rapidement envisagée comme propice à d'autres usages. Certains peuvent sembler logique dans la mesure où ils prolongent justement la forme contractuelle que le(s) concepteur(s) de Bitcoin attribue à la monnaie en général et à Bitcoin en particulier. La blockchain peut ainsi servir à enregistrer le transfert de propriété de n'importe quel actif dès lors qu'on peut l'associer à une empreinte numérique. Il suffit d'inscrire cette empreinte dans l'en-tête d'une transaction pour que soit scellé ce transfert, sans avoir à faire intervenir un quelconque tiers de confiance. D'autres propositions s'éloignent plus franchement de la mise en œuvre d'une monnaie et se fondent sur un discours distinguant blockchain et bitcoin où la première est considérée comme une simple infrastructure générique, tandis que le second n'en serait qu'une application. De nombreux scénarios d'emploi de la blockchain au-delà des seules transactions monétaires ont ainsi vu le jour, y compris en faisant de la blockchain une infrastructure non plus fondée sur un accès public, mais opérée par un prestataire de services.

IBM, par exemple, présente une quarantaine de « *use cases* » (cas d'emploi) entrant dans ce cadre sur une page dédiée de son site Web²⁸³.

La multiplication des pistes explorées et donc la variété des porteurs de projets faisant la promotion de Bitcoin et/ou de la blockchain restent malgré tout animées par un fond commun, celui du développement toujours plus problématique du capitalisme « inversé ». Si Bitcoin fournit en effet des porteurs d'espoir propice à la production de marchandises d'ordre 2, son fonctionnement propre recèle cependant aussi un potentiel de crise dont nous allons décrire les ressorts dans les chapitres suivants. Nous allons y aborder en détail le protocole qui régit le réseau Bitcoin, ainsi que les disputes concernant les orientations à lui donner.

283 cf. <https://www.ibm.com/blockchain/use-cases/> (consulté le 18 juin 2018)

Chapitre 8 : Deux configurations sociotechniques intriquées

Dans ce chapitre, nous allons nous pencher plus en détails sur le protocole mis en œuvre sur le réseau Bitcoin par ses participants. Au delà des principes énoncés par Satoshi Nakamoto dans son article initial, il nous faudra aller voir de plus près les éléments concrets déployés, tout en restant sur le terrain d'une analyse du point de vue des composants logiques impliqués et de leur articulation propre. À mi-chemin entre l'approche purement formelle qui voit Bitcoin sous l'angle de ses propriétés mathématiques, entre algèbre et probabilités, et celle purement sociologique qui chercherait à situer d'emblée des acteurs subjectifs plongés dans un cadre social, nous allons nous focaliser sur un objet intermédiaire qui a toute sa légitimité en sciences de l'information et de la communication : le protocole. Dans ce contexte, il n'est ni le déroulé déterministe d'un algorithme, ni une convention sociale avec laquelle chacun peut négocier librement son rapport. Il dessine plutôt progressivement, par son emploi répété, des chemins par lesquels il devient plus aisé de parcourir l'espace ainsi ouvert, tout en dissuadant d'emprunter des itinéraires moins bien praticables. Comme le signale Alexander Galloway (2004) dans son ouvrage consacré aux protocoles de l'Internet,

“[...] protocol is like the trace of footprints left in snow, or a mountain trail whose route becomes fixed only after years of constant wear. One is always free to pick a different route – and why wouldn't one want to follow it?” (*ibid.*, p.244)²⁸⁴.

284 « le protocole est comme comme une trace laissée dans la neige par des empreintes de pas, ou une piste de montagne dont le cheminement se stabilise seulement après des années d'usage continu. Chacun est toujours libre de choisir une autre voie – et pourquoi ne voudrait-on pas la suivre ? »

Un protocole fait en quelque sorte la démonstration de la pertinence ou des aberrations de ses ressorts non pas sur le papier, d'un point de vue formel, mais en se déployant sur le terrain même du problème auquel il est censé répondre. Il y a toujours une certaine pragmatique du protocole et même une certaine dialectique avec le réel, comme le signale à nouveau Galloway :

“Thus, a better synonym for protocol might be “the practical,” or even “the sensible.” It is a physical logic that delivers two things in parallel: the solution to a problem, plus the background rationale for why that solution has been selected as the best.” (*ibid.*)²⁸⁵

Une des conséquences pointées par Galloway est que cet aspect pragmatique et adapté à des problèmes concrets tend à faire émerger des communautés prenant en charge la pérennité des systèmes d'organisation que ces protocoles contribuent par ailleurs à installer, à l'instar des formes politiques de vie collective. Cette participation à la maintenance du système peut même se poursuivre alors que les membres de la communauté assemblée autour du protocole ne sont plus en phase avec le système qu'il a contribué à faire émerger :

“[...] protocol creates a community of actors who perpetuate the system of organization. And they perpetuate it even when they are in direct conflict with it” (*ibid.*, p.245)²⁸⁶

À ce titre, on ne peut jamais prendre pour argent comptant les justifications énoncées par les concepteurs et les utilisateurs d'un protocole quant à son adéquation avec la problématique qu'il est censé adresser. D'une part parce que les logiques propres d'un protocole peuvent finir par émerger sous des formes systémiques qui apparaissent à ce moment là en contradiction avec ces justifications. D'autre part parce que les utilisateurs du protocole seront enclins à interpréter ces écarts au sein d'un système – qui n'est par ailleurs

285 « Ainsi, un synonyme plus adéquat pour protocole pourrait être « le pragmatique », ou même « le judicieux ». C'est une logique concrète qui fournit deux choses simultanément : la solution à un problème, et les justifications sous-jacentes pour lesquelles cette solution a été retenue comme la meilleure »

286 « [...] le protocole crée une communautés d'acteurs qui perpétue le système d'organisation. Et ils le perpétuent même lorsqu'ils entrent en conflit direct avec lui »

pas remis en cause – comme des dérives à corriger, plutôt qu’à admettre le fait que le protocole puisse porter des logiques tout autres que celles revendiquées, et que seul l’usage récurrent a pu mettre en lumière. L’approche de Galloway tend donc à relativiser l’importance des imaginaires techniques et des représentations sociales et idéologiques (Flichy 2001) aussi bien dans la conception initiale des protocoles que dans leur déploiement concret ultérieur, tout en faisant de ceux-ci des objets sociaux à part entière. Ainsi la proclamation des bénéfices attendus du déploiement du réseau Bitcoin doit être reprise dans une perspective critique en confrontant ces promesses avec les effets concrets qui peuvent être constatés, mais surtout en montrant que ces effets sont les produits intrinsèques du protocole et sont inscrits dans ses ressorts sociotechniques. C’était déjà le constat fait par Galloway concernant les protocoles d’Internet :

“In many ways protocol is a dramatic move forward, but in other ways it reinstates systems of social and technical control that are deserving of critical analysis” (*ibid.*)²⁸⁷

Pour pouvoir reconstituer les effets réels d’un protocole et les relier aux phénomènes constatés d’une façon non contingente, il va nous falloir déployer une méthode qui permette de situer la ligne de moindre effort expliquant « les traces laissées dans la neige par les empreintes de pas » des différents utilisateurs du protocole. Il se dessinera ainsi la « piste [...] dont le cheminement se stabilise seulement après des années d’usage continu ». Il s’agit donc de dresser un tableau dynamique du fonctionnement du protocole plutôt que la seule vision statique qui considère un réseau déjà formé et stabilisé comme dans le calcul de la probabilité d’une attaque de la blockchain par un ou des mineurs²⁸⁸ malveillants (Nakamoto 2008, section 11). Pour cela, nous allons préalablement faire l’inventaire des éléments en interaction via le protocole, ainsi que des contraintes que ce protocole détermine pour chacun de ces éléments. Ces éléments et ces contraintes sont tirés bien sûr des spécifications formelles du protocole, mais aussi de son implémentation dans les applications réellement déployées sur le réseau. En effet, si celles-ci sont développées afin de remplir le contrat

287 « Dans bien des cas, le protocole est une avancée spectaculaire, mais dans d’autres cas, il rétablit des systèmes de contrôle social et technique qui méritent une analyse critique »

288 Dans le contexte de Bitcoin, le terme « mineur » fait référence à un rôle particulier dévolu à un automate (et par extension à son opérateur) dédié à l’exécution d’une part importante du protocole. Nous allons donner plus loin une caractérisation de ce rôle au sein du protocole.

formel des spécifications, elles peuvent, pour des raisons d'ingénierie logicielle, être amenés à introduire, non pas de écarts par rapport aux spécifications, mais des éléments et des contraintes supplémentaires découlant de leur architecture interne.

En terme de théorie des systèmes (Wiener 2014), vis-à-vis du protocole formel, les applications sont des « boîtes noires » dont on ne prend en compte que les interactions : leur fonctionnement interne n'est pas censé interférer avec les propriétés et les comportements attendus, définis par le protocole. Du point de vue de ceux en charge du développement des applications, celles-ci sont au contraire des « boîtes blanches » dont il s'agit justement de prédire le fonctionnement interne afin d'assurer la capacité à remplir le contrat défini par le protocole²⁸⁹. Pour mettre en place notre méthode d'enquête sur les effets concrets d'un protocole comme Bitcoin, il va nous falloir adopter une vision des composants mis en œuvre en terme de « boîtes grises ». Dans cette vision qui combine les deux précédentes, nous n'entrerons pas dans le détail du code source mais nous éclairerons quelques points des structures de données et des algorithmes utilisés par les applications. Il est par ailleurs important qu'éléments et contraintes définis par le protocole et son implémentation concrète soient traités de manière purement formel et sans en chercher des interprétations métaphoriques ou signifiantes. Car la logique même des techniques numériques est justement de pouvoir accomplir un traitement dans une totale indifférence pour le contenu de l'information traitée – sans pour autant pouvoir échapper à la nécessité que ce contenu existe comme simple support. Si notre méthode introduisait la nécessité de s'appuyer sur ce contenu et la signification qu'il porte pour les agents sociaux employant le système étudié, alors nous ne pourrions rendre compte *stricto sensu* des effets spécifiques découlant de l'emploi de ces techniques. Ce choix méthodologique trouve par ailleurs des justifications dans l'approche proposée par Galloway, dont nous reprendrons les arguments en conclusion de ce chapitre.

Lorsque les éléments et les contraintes sont correctement identifiés à partir de l'analyse du système et de ses composants selon la démarche qui vient d'être exposée, la seconde étape de la méthode consiste alors à parcourir pas à pas le chemin emprunté par les acteurs faisant usage du protocole afin de reconstituer le ou les scénarios les plus probables, et donc les trajectoires récurrentes. À ce stade, il ne s'agit pas seulement de prendre en compte les caractéristiques techniques du système, mais aussi d'intégrer dans le scénario à dérouler les

289 C'est le rôle notamment de l'ensemble des tests unitaires exécutés par une plateforme d'intégration continue dans les pratiques d'ingénierie logicielle que nous avons évoquées dans la section dédiée aux activités de l'informaticien dans le troisième chapitre.

contraintes socio-économiques qui orientent les prises de décision des utilisateurs. Cette démarche s'apparente à celle des tests de pénétration réalisés pour mettre à l'épreuve la sécurité des systèmes d'information. Le testeur n'a pas connaissance des informations internes (telles que le mot de passe d'un administrateur, par exemple), mais en observant la surface exposée (les métadonnées des réponses retournées par certaines requêtes particulières, par exemple ou bien encore l'organigramme des services qui font usage du système dans une entreprise) et en faisant quelques assertions réalistes sur l'organisation interne du système que cette surface sous-tend, il peut restreindre ses tentatives d'intrusion aux voies présentant des failles potentielles et trouver ainsi cette fameuse « ligne de moindre effort » qui rend le parcours plus aisé et autour de laquelle les promeneurs visant la destination où elle aboutit, vont naviguer.

Dans le cas du protocole du réseau Bitcoin, l'analyse que nous allons proposer permettra de mettre en évidence un ressort déterminant dans le fait que le protocole Bitcoin est constitué de l'intrication de deux configurations socio-techniques et présente donc deux faces en interaction : l'une prenant en charge les transactions des usagers de Bitcoin et l'autre assurant leur inscription dans un registre fiable, sans égard pour leur contenu particulier. En ce sens, le protocole Bitcoin offre un terrain propice à l'étude du caractère bifide des techniques numérique que nous avons mis en évidence à un niveau très général dans la première partie. Cela ne signifie pas que Bitcoin est conçu à l'image des techniques numériques et représente leur modèle ultime. Il faut plutôt envisager que les circonstances concrètes dans lesquelles ont été menées la conception et la mise en œuvre du protocole, ont conduit à la réalisation d'une application qui distingue plus explicitement les deux aspects sous lesquels n'importe quelle application numérique devrait être envisagée : celui de la généralité et celui de la particularité.

1. Un réseau en pair-à-pair pour un consensus décentralisé

Une infrastructure décentralisée

Le protocole bitcoin peut d'abord être vu comme un contrat définissant les messages à échanger et les tâches à accomplir par différents automates numériques – des programmes exécutés par des ordinateurs – communiquant via un réseau de pair-à-pair (Musiani, 2015). Par définition, la topologie de ce genre de réseau permet à chaque automate participant –

appelé aussi « nœud » – d’entrer potentiellement en communication avec n’importe quel autre.

De plus, dans le cas du réseau bitcoin, celui-ci est décentralisé, c’est-à-dire que cette communication s’établit directement d’un nœud émetteur à un nœud récepteur, sans passer préalablement par un autre nœud particulier détenant les informations concernant la carte du réseau. La propagation d’un message passe donc par la collaboration entre les nœuds. Un message émis par un nœud sera d’abord diffusé à quelques nœuds proches, connus de l’émetteur. Les messages reçus par un nœud peuvent à leur tour être réémis par ces premiers destinataires vers d’autres nœuds que l’émetteur initial.

Par ce mécanisme, il suffit que quelques nœuds soient accessibles en direct pour que, de proche en proche, n’importe quel nœud puisse diffuser un message qui atteindra l’ensemble des nœuds du réseau. Cela peut être réalisé sans que la topographie du réseau soit connue d’aucun nœud et fonctionne même lorsque celle-ci est mouvante à l’insu des nœuds. L’émetteur se contente de lancer le message dans son voisinage et laisse au réseau lui-même la responsabilité de sa propagation à l’ensemble.

La mise en œuvre du réseau bitcoin s’appuie actuellement sur les infrastructures d’Internet. Partout où Internet est accessible, le réseau Bitcoin l’est donc aussi. Il existe actuellement près de 10000 nœuds répartis à travers le monde, mais principalement localisés aux États-Unis (environ 24%), en Allemagne (environ 18%), en Chine (environ 9%) et en France (environ 7%)²⁹⁰.

Le rôle assigné au réseau dans sa globalité est de maintenir à jour un registre des transactions effectuées depuis son démarrage au tout début de l’année 2009. Pour cela, chaque nœud détient une copie de ce registre et communique aux autres, par échange de messages de pair-à-pair, tous les ajouts dont il est lui-même notifié, et seulement des ajouts car la modification et la suppression sont impossibles comme nous le verrons plus loin. Le rôle des

290 Source : <https://bitnodes.earn.com/> consultée le 29 juin 2017. Cette page Web fournit des informations sur le réseau Bitcoin en collectant les données publiques fournies par les nœuds. Il était initialement l’émanation de la société 21 Inc., start-up qui concevait et vendait des solutions matérielles et logicielles dédiées à la « production » des bitcoins. Ces composants contribuent au réseau Bitcoin en effectuant une tâche appelée « minage » qui est décrite un peu plus loin dans le présent chapitre. Le modèle d’affaire de 21.co a été complètement révisé à partir du moment où les fabricants asiatiques se sont avérés beaucoup plus compétitifs. L’entreprise, renommée Earn.com, propose aujourd’hui de rémunérer en bitcoins des micro-tâches qui consistent à répondre aux notifications des réseaux sociaux, ce qui relève totalement du *digital labor* (source : <https://news.earn.com/21-co-is-now-earn-com-3e37e50c444f> consulté le 29 juin 2018)

nœuds est aussi de vérifier la validité de ces ajouts avant de les propager à ses pairs. Les opérations à effectuer pour cette validation sont définies dans le protocole Bitcoin que chaque nœud met en œuvre de la même manière, de sorte que la propagation de ces ajouts construit de proche en proche un consensus sur cette validité, et donc sur le contenu du registre commun à tout moment.

On a donc là un mécanisme pour établir une base de données non localisée mais néanmoins consistante – dans le sens de solide, cohérente, non contradictoire – quel que soit le point d’entrée du réseau par lequel on y accède, en prenant en compte un délai raisonnable. Le temps de propagation moyen d’un message concernant un ajout au registre était en effet estimé en 2013 à une douzaine de secondes, et 95% des nœuds étaient atteints en moins de 40 secondes (Decker et Wattenhoffer, 2013). Des données plus récentes indiquent que ces temps de propagation se maintiennent depuis dans les mêmes ordres de grandeur, de quelques secondes à quelques dizaines de secondes²⁹¹. Des projets de « nuages » de micro-satellites en orbite basse, dédiés à la mise en œuvre de nœuds répartis tout autour du globe afin de consolider la résilience et la consistance du réseau, ont par ailleurs été à l’étude, sans pour l’instant trouver les financements requis²⁹².

Le contenu du registre des transactions

Un deuxième aspect du protocole Bitcoin est constitué par l’usage de fonctions cryptographiques pour construire les informations contenues dans le registre. Comme indiqué en introduction de cette seconde partie, les fonctions mises en œuvre ne sont pas destinées à masquer ce contenu mais à remplir deux services indispensables au fonctionnement d’un registre de compte.

Tout d’abord, il s’agit d’authentifier les parties prenantes de chaque transaction, celles qui apportent des fonds en entrée et celles qui bénéficient des paiements en sortie. Dans le cas du protocole Bitcoin, cette authentification s’appuie sur un identifiant non nominatif. L’identifiant ne désigne, en effet, pas une personne en particulier mais pointe vers les sorties des transactions précédentes dont la personne a pu être la bénéficiaire de façon anonyme.

291 Source : <http://bitcoinstats.com/network/propagation> consultée le 29 juin 2018.

292 Source : <https://www.bloomberg.com/news/articles/2015-10-26/the-bitcoin-startup-boom-comes-back-down-to-earth> consultée le 15 mai 2017.

Ainsi, cet identifiant permet de contrôler la validité des transferts – le solde correspondant à l'identifiant est reconstitué en parcourant l'historique des transactions impliquant cet identifiant – et de restreindre l'accès aux bitcoins à leurs détenteurs légitimes – il suffit de détenir une clé associée à l'identifiant et destinée à débloquent les fonds pour leur usage dans des transactions ultérieures. On peut noter que la « propriété » des bitcoins dépend uniquement de la possibilité d'exhiber cette clé au moment où l'on souhaite les transférer, c'est-à-dire les inclure comme entrée dans une transaction. Si la clé est perdue, les bitcoins deviennent inaccessibles. Si une autre personne prend connaissance de la clé, elle peut utiliser les bitcoins. En aucun cas, il n'y a de recours possible. On se rapproche donc, avec cette « propriété », de la façon dont sont employés les billets de banque et les pièces de monnaie.

Le deuxième service rempli par les fonctions cryptographiques est celui de l'intégrité des données. Il s'agit de garantir que celles-ci n'ont pas été altérées entre le moment où elles ont été produites et celui où l'on doit les consulter. Techniquement, authentification et intégrité sont assurées dans le cadre du protocole Bitcoin par des mécanismes de signature numérique combinant chiffrement asymétrique et fonction de hachage (Antonopoulos, 2014). Nous avons déjà abordé les grandes caractéristiques des fonctions de hachage dans le premier chapitre, mais nous y reviendrons à nouveau un peu plus loin, car elles sont aussi employées dans le troisième aspect du protocole Bitcoin, à savoir le calcul d'une preuve de travail.

2. L'ajout valide des transactions au registre par les preuves de travail

Le dernier aspect du protocole Bitcoin concerne la façon dont l'ensemble du réseau s'accorde sur les données à ajouter au registre des transactions. Si l'on a déjà vu comment les données étaient construites sur la base de fonction cryptographiques, d'une part, et comment le réseau diffuse ces données à l'ensemble des nœuds par des notifications de pair à pair, d'autre part, il reste à décrire d'où part le consensus sur les données qui constitueront un nouvel ajout au registre de compte. Le problème à résoudre, pour établir un certain niveau de confiance dans ces données, est d'éviter qu'un acteur malintentionné ne réussisse à y glisser des transactions frauduleuses. Pour cela, les acteurs dans leur ensemble doivent être en mesure de coopérer alors même qu'aucune autorité centralisée n'organise cette coopération. Il

faut donc un mécanisme qui leur permette d’agir chacun de leur côté tout en les incitant à le faire « honnêtement ». La part déterminante de l’innovation introduite par le protocole Bitcoin réside dans l’emploi de « preuves de travail » dans le cadre d’un réseau en pair-à-pair.

En première approche, on peut décrire le mécanisme comme une loterie dont un tirage est effectué toutes les dix minutes en moyenne. Les participants de cette loterie sont de nouveau des automates numériques, mais en charge d’autres opérations que les nœuds évoqués jusque-là. Ils mettent en œuvre un aspect du protocole Bitcoin que l’on appelle le « minage » et les opérateurs qui les contrôlent sont appelés des « mineurs ». Ces termes incongrus – pour une tâche à première vue immatérielle qui consiste à exécuter un algorithme numérique – sont employés pour désigner l’activité de ceux qui participent à la loterie en « extrayant » des *preuves de travail* : il s’agit effectivement de dénicher une pépite en déblayant de grandes quantités de « matériau immatériel » sans intérêt. Voyons plus en détail la séquence mise en œuvre par un automate de « minage » et ce que sous-tend la notion de preuve de travail comme matériau précieux à extraire.

Au préalable, l’automate de « minage » reçoit, via le réseau en pair-à-pair, les transactions émises par les utilisateurs de la monnaie Bitcoin. Chaque « mineur » collecte ces transactions pour les assembler dans une liste de transactions « à traiter ». Lorsque démarre une opération de « minage », le « mineur » prend un certain nombre de ces transactions « à traiter » et les assemble dans une nouvelle liste « en cours de traitement ». Puis il va calculer une valeur à partir des éléments de cette liste et d’un aléa choisi arbitrairement, l’ensemble constituant ce qu’on appelle un bloc. Le calcul en question s’appuie sur une fonction de hachage définie par le protocole et la valeur résultante est une empreinte (ou condensat) des données assemblées. La fonction retenue pour cette partie du protocole Bitcoin se nomme SHA-256. Elle fait partie de la famille de fonctions SHA-2 (*Secure Hash Algorithm*) mises au point par la NSA (*National Security Agency*) et publiées comme standard du gouvernement de États-Unis sous forme de FIPS (*Federal Information Processing Standards*)²⁹³.

La tâche du « mineur » est de faire varier l’aléa inclus dans le bloc à « miner », jusqu’à trouver une empreinte qui représente une valeur inférieure à une borne définie par le protocole Bitcoin et appelée « cible ». Cette borne est fixée de telle façon que le calcul d’empreinte

²⁹³ La dernière version en date de la spécification décrivant la fonction SHA-256 est publiée sur un site du NIST (National Institute of Standards and Technology) dédié à la sécurité informatique. Elle est disponible à l’adresse <https://csrc.nist.gov/publications/detail/fips/180/4/final> (consulté le 15 juin 2018)

n'aboutit que très rarement à une valeur adéquate. Compte-tenu des propriétés des fonctions de hachage, le « mineur » n'a pas d'autre solution pratique que de produire une quantité astronomique de variations de l'aléa et de répéter à chaque fois le calcul de l'empreinte. Si le calcul unitaire est rapide et peu coûteux, la répétition nécessaire pour tirer le bon aléa finit par représenter un temps non négligeable et des capacités de calcul importante. On estime donc qu'en trouvant une valeur adéquate, le « mineur » a fait la preuve qu'il a fourni un effort conséquent : ce qu'on appelle une preuve de travail. Cette notion de preuve de travail a d'ailleurs été étudiée initialement dans l'objectif d'empêcher les attaques de type « déni de service » sur les services en ligne en rendant leur coût dissuasif (Back, 2002). Ces attaques consistent à submerger le fournisseur sous une avalanche de requêtes monopolisant ses ressources. La parade consiste alors à exiger une preuve de travail avant de fournir une réponse à chacune des requêtes. Pour un utilisateur loyal, cette preuve de travail restera indolore, mais pour un attaquant, elle l'obligerait à engager des moyens qui dépasse le bénéfice escompté (Kaiser & Feng, 2007).

Lorsqu'un « mineur » trouve une valeur adéquate, il diffuse alors sur le réseau Bitcoin les éléments injectés dans le calcul gagnant, c'est-à-dire le bloc contenant les transactions et l'aléa. Par le mécanisme de transmission de pair à pair, tous les autres « mineurs » sont rapidement informés qu'un gagnant a été, en quelque sorte, tiré au sort. Chacun contrôle la validité des données impliquées dans le bloc du gagnant, l'ajoute à la copie du registre des transactions qu'il détient et retire les transactions figurant dans le bloc gagnant de sa liste « à traiter ». Cela donne le départ pour une nouvelle course au « minage » du prochain bloc, alors que le bloc courant est rattaché à ses prédécesseurs. Ce rattachement se fait par l'intermédiaire d'une autre information qui n'a pas été évoquée jusque-là et qui figure dans le bloc gagnant, faisant aussi partie des éléments pris en compte dans le calcul de son empreinte. Il s'agit de l'empreinte du bloc précédent. On peut alors voir la série des blocs comme une chaîne – la *blockchain*, en anglais – où chaque élément renforce les preuves de travail de ceux qui s'appuient dessus. Cet effet cumulatif démultiplie le caractère irréversible du mécanisme de preuve de travail puisque non seulement celle-ci s'appuie sur la puissance de calcul totale disponible à un moment donné pour forger un bloc, mais elle embarque aussi progressivement toute la puissance de calcul mise en œuvre pour les blocs qui lui succèdent.

Si le contrôle de la preuve de travail ne consiste qu'à (re)calculer l'empreinte du bloc gagnant et demande donc peu de ressources, on voit qu'il n'en est pas de même pour le gagnant qui a trouvé ce bloc qui a dû multiplier les essais infructueux avant de parvenir à une combinaison valide. Par ailleurs, l'effort fourni simultanément par l'ensemble des mineurs garantit que les informations que contient le bloc ne peuvent être remplacées par d'autres en diffusant un bloc alternatif, sauf à fournir un effort au moins équivalent à celui de l'ensemble des participants honnêtes travaillant à un instant t sur le réseau, ce qui revient à disposer d'une puissance de calcul au moins égale à celle mobilisée sur l'ensemble du réseau à ce moment là. Comment peut-on alors inciter les « mineurs » à participer à l'élaboration progressive et partagée du registre des transactions, s'il leur en coûte et qu'ils ne peuvent utiliser de raccourci dans la course au bloc ? La réponse figure de nouveau dans le protocole Bitcoin qui a prévu deux mécanismes de récompense. D'une part les « mineurs » ont le droit d'inclure, dans les blocs qu'ils produisent, une transaction spéciale les créditant d'un certain montant de monnaie bitcoin défini par le protocole Bitcoin. Cette incitation est d'ordre économique – la valeur intrinsèque du bitcoin est supposée refléter l'énergie consommée pour le calcul des empreintes, c'est-à-dire le coût de revient pour le mineur – et ne relève plus donc *stricto sensu* du fonctionnement d'un protocole numérique, même si les paramètres de cette incitation sont inscrits dans le protocole lui-même. On a là une interface qui assure la transmission d'effets d'une sphère à l'autre, du monde du calcul numérique au monde social de la circulation monétaire et inversement. On a aussi par là même la source de la création monétaire au fil de l'eau. Il faut par ailleurs noter que la masse monétaire en bitcoins est limitée par le protocole à 21 millions de bitcoins²⁹⁴. L'émission de bitcoins est pour cela programmée dans le temps selon une fonction asymptotique, par le fait que le nombre de bitcoins dont un « mineur » trouvant un bloc valide peut se créditer est divisé par deux tous les quatre ans environ²⁹⁵. Pour les promoteurs du bitcoin, cette limite est compensée par le fait que sa valeur en monnaie à cours légal, son pouvoir d'achat donc, est amenée à augmenter pour refléter la puissance de calcul mobilisée sur le réseau, et donc par là même la robustesse des informations inscrites dans la *blockchain*²⁹⁶. D'autre part, lorsque les montants en entrée

294 Les montants des transactions en Bitcoins peuvent indiquer une valeur jusqu'à la 10ème décimale, ce qui représente au total 210 mille milliards de la fraction monétaire indivisible que l'on appelle « satochi »

295 Exactement tous les 210000 blocs, ceux-ci étant espacés les uns des autres de 10 minutes en moyenne, comme cela est requis par le protocole.

296 Cette idée que la valeur intrinsèque du bitcoin (et de toute monnaie) est rattachée, directement ou indirectement, à un étalon correspondant à une grandeur physique peut être critiquée. Marx (2016) avait déjà montré que la monnaie telle que nous l'utilisons dans les sociétés contemporaines n'était pas fondée sur un étalon a priori, mais émergeait en tant que marchandise universelle sur la base de la pratique généralisée des

d'une transaction sont supérieurs aux montants en sortie d'une transaction, les mineurs ont le droit de collecter la différence en tant que frais optionnels pour leur contribution au fonctionnement du réseau. Les émetteurs de transaction sont incités à laisser ce pourboire par le fait que les « mineurs » vont traiter prioritairement les transactions qui en contiennent, et d'autant plus que ce pourboire est élevé. Ce mécanisme est amené à devenir à terme la principale incitation au minage à mesure que la récompense de base prendra des valeurs de plus en plus faibles.

Enfin, dernier point à évoquer concernant les preuves de travail, la « cible » à atteindre pour l'empreinte d'un bloc gagnant est un paramètre flottant, constamment ajusté à la puissance de calcul globale disponible sur l'ensemble du réseau. Cette « cible » varie inversement à cette puissance et l'ajustement se fait régulièrement au bout d'un certain nombre fixe de bloc minés, de façon à ce que le temps moyen entre la découverte de deux blocs gagnants reste de dix minutes. Cet intervalle de dix minutes est un paramètre fixe du protocole Bitcoin. Le paramètre flottant qui varie avec la puissance totale (et donc à l'inverse de la « cible ») est appelé « difficulté ».

Pour les « mineurs » de bitcoins, le calcul d'empreintes – dont la mise en œuvre massive est au cœur du protocole Bitcoin – est une fonction sans contenu propre. Elle ne délivre en effet pas de résultat particulier. Si cela était le cas, il y aurait potentiellement une incitation à réaliser les calculs pour un autre gain que celui alloué par le protocole lui-même. La puissance de calcul étant plus productive, les mineurs pourraient retirer une partie des moyens qu'ils y consacrent et abaisser par là-même le niveau de sécurisation du réseau Bitcoin dans son ensemble. L'activité des « mineurs » participe à la production purement formelle d'une totalité abstraite, celle des preuves de travail. Indépendamment des transactions concrètes qui sont menées par les utilisateurs de Bitcoin, l'exécution répétée de la fonction de hachage devient cependant pour ces « mineurs » le but même à accomplir et induit des effets bien réels sur et par les moyens mobilisés.

échanges marchands, donc uniquement dans un genre de société bien particulier. Jacques Le Goff (2010) a montré pour sa part que la signification et la fonction que nous attribuons aujourd'hui à la monnaie n'étaient pas ceux de l'Europe du Moyen-Âge et qu'à ce titre, la notion d'argent comme forme monétaire d'une richesse sans contenu propre était alors inconnue.

« La puissance globale consacrée aujourd'hui (le 26 octobre 2013) au minage de bitcoins est de 36 080 pétaflops [...] (1 pétaflops = 10¹⁵ opérations en virgule flottante par seconde). C'est plus de 1 000 fois la puissance du plus puissant ordinateur du monde (le Tianhe-2 détenu par la Chine), qui ne fait que 33 pétaflops, et c'est largement plus que la puissance cumulée des 500 ordinateurs les plus puissants. C'est considérable ! Ce qu'on peut voir comme un énorme gâchis de temps de calcul empirera si le bitcoin s'impose [...] » (Delahaye, 2013, p.80)

Cette activité doit par ailleurs être menée avec un niveau d'efficacité sans cesse plus élevé, comme nous le verrons dans la section suivante qui développe certaines propriétés du protocole Bitcoin. Malgré l'efficacité croissante des composants et des installations dédiés à ces calculs sans contenu propre, l'activité de minage mobilise une puissance en augmentation permanente qui ne peut pas ne pas avoir des effets de plus en plus visibles quant à la consommation électrique requise. En juin 2018, la province du Québec, qui dispose de vastes ressources hydroélectriques lui donnant une large autonomie sur un plan énergétique a « décrété un arrêt temporaire du traitement de toutes les demandes venant d'entreprises créant des crypto-actifs. » (La Tribune, 11 juin 2018). Par ailleurs, « elle envisage une hausse de tarifs pour cette catégorie de très gros consommateurs d'énergie. » (Ibid.). L'arrêt ministériel informant de cette décision indique que l'ensemble de la puissance électrique que requerraient les demandes déjà reçues auprès de l'administration à la date de l'annonce, mais encore en attente d'autorisation, représente entre un tiers et la moitié de la puissance produite par l'entreprise publique Hydro-Québec qui est d'environ 36 Gigawatts²⁹⁷ (Ibid.).

3. Quelques propriétés résultant du protocole Bitcoin

Nous venons de démontrer dans le début du présent chapitre que le protocole Bitcoin présentait une double nature. Il est à la fois un protocole de transactions monétaires et un protocole producteur de preuves de travail. Ces deux aspects sont intriqués et ne peuvent être mis en œuvre séparément. Les transactions sans le minage ne seraient pas sécurisées, tandis que le minage sans les transactions ne trouverait pas d'incitation à participer au renforcement

²⁹⁷ Pour donner un ordre d'idée, cela représente plus du quart de la puissance totale installée en France à la même date. (source : <http://bilan-electrique-2017.rte-france.com/production/le-parc-de-production-national>)

de la monnaie. Si le premier aspect représente un usage concret pour les utilisateurs impliqués dans les transactions, le second aspect correspond au déploiement tautologique de calculs sans contenu propre et participant à la constitution d'une totalité abstraite, celle des « preuves de travail ». Le protocole Bitcoin fournit donc une image explicite des propriétés générales des techniques numériques que nous avons exposées dans la première partie en mettant en évidence leur caractère bifide. De même que l'analyse formelle des techniques numériques permettaient de déduire une dynamique à partir de ce caractère bifide, nous allons maintenant voir comment l'analyse du cas Bitcoin permet d'illustrer cette dynamique générale dans une application particulière.

Quelques propriétés remarquables peuvent en effet être déduites de l'interaction entre ces deux faces du protocole et nous allons les exposer dans la suite de ce chapitre. Pour cela, nous allons poursuivre la méthode employée telle que nous l'avons précédemment décrite en introduction du chapitre et entamer la seconde phase qui consiste à dérouler pas à pas des scénarios basés sur les procédures définies par le protocole Bitcoin, soit qu'elles figurent explicitement dans le cahier des charges minimal qu'en a fait Nakamoto dans son article, soit qu'elles sont implémentées dans le code informatique qui réalise ces spécifications et donne un contenu aux parties implicites. À ces procédures formelles, il faudra joindre l'impact des incitations économiques et du cadre général d'interaction des mineurs.

Une dynamique aveugle et tautologique.

La production des preuves de travail se fait dans le cadre d'une compétition dans laquelle le gagnant emporte tout : un seul bloc est élu à chaque cycle et seul le mineur qui l'a constitué peut prétendre à la récompense attachée. La puissance minimum de calcul qu'un « mineur » doit mettre en œuvre pour que son activité de « minage » soit rentable – il faut pour cela qu'il ait quelques chances d'être le premier à trouver un bloc valide – est corrélée à la puissance totale disponible sur le réseau par l'intermédiaire du paramètre flottant « difficulté ». Chaque nouvel entrant dans l'activité de « minage » doit donc d'abord s'aligner sur ce niveau minimum pour tirer son épingle du jeu. Plus de puissance de calcul disponible pour un « mineur » lui offre cependant de meilleures chances de gain. En effet, la récompense est attribuée avec une chance proportionnelle au ratio entre sa puissance individuelle et la puissance totale. Cela incite les compétiteurs à ajouter individuellement de la puissance qui, à son tour, en s'ajoutant simultanément à la puissance totale, participe à l'augmentation de la

« difficulté » et donc à la diminution des chances de gain pour l'ensemble des compétiteurs. Pour s'aligner de nouveau sur cette nouvelle « difficulté » tout en restant dans le cadre d'une activité rentable, l'ensemble des « mineurs » vont chercher de nouvelles solutions techniques améliorant la productivité du « minage ». Ces solutions finiront par se diffuser dans l'ensemble des opérateurs de « minage » et ceux qui ne pourront les mettre en œuvre seront de fait exclus du jeu et disparaîtront à plus ou moins brève échéance.

Le protocole Bitcoin produit donc intrinsèquement une dynamique qui pousse à l'augmentation indéfinie de la puissance totale de calcul mise en œuvre sur le réseau et au renouvellement permanent et accéléré des technologies sous-jacentes. Cette dynamique n'est impulsée par aucun opérateur en particulier mais par le jeu de la concurrence entre tous. En dehors de tout facteur externe limitant, c'est une augmentation exponentielle de la puissance de calcul mobilisée qui en résulte²⁹⁸. Le rythme peut varier sous l'effet de contraintes qui ne sont pas issues d'une délibération cherchant à réguler le phénomène, mais qui sont des limites physiques imposant temporairement une augmentation plus linéaire²⁹⁹. Ces limites sont principalement constituées par le fait que le matériel exploité pour le « minage » incorpore à un certain moment toutes les innovations³⁰⁰ envisageables à court terme afin d'améliorer sa productivité et que les innovations à moyen terme requièrent des investissements à une échelle supérieure que les acteurs du marché ne sont pas en mesure d'engager dans l'instant. Mais quel que soit le rythme, on voit bien qu'aucune rationalité délibérative n'est convoquée pour définir le processus d'accroissement et encore moins pour le piloter.

Une accumulation maximisée de calculs

Les mineurs sont incités à participer à la compétition mise en place pour forger les blocs de transactions car les efforts qu'ils fournissent ont pour conséquence de rendre irréversibles les inscriptions dans le registre constitué par l'enchaînement des blocs. Comme nous l'avons vu en effet dans le chapitre précédent décrivant le protocole, chaque bloc reflète la puissance de calcul mobilisée par l'ensemble du réseau au moment de son élaboration car il contient un aléa ayant permis de calculer une empreinte selon une difficulté elle-même ajustée sur la

298 C'est par exemple ce que l'on peut observer entre octobre 2013 et octobre 2014 où la « difficulté » a été multipliée par un facteur de plus de 180, tandis que la puissance totale de calcul est passée de deux millions de milliards d'empreinte par seconde à plus de trois cents millions de milliards. (source : <https://blockchain.info/fr/charts/difficulty> et <https://blockchain.info/fr/charts/hash-rate>).

299 Comme ce fut le cas par exemple entre octobre 2014 et octobre 2015

300 cf. Chapitre 9 section 3 où sont abordés ces différentes innovations dans le détail.

puissance globale du réseau. Pour forger des blocs alternatifs, il faudrait disposer d'une puissance de calcul équivalente à celle-ci, ce qui représente un coût bien supérieur aux gains potentiels d'un mineur malhonnête. Ce mécanisme empêche donc qu'une chaîne de blocs divergente émerge sur la base d'un « détournement » hostile. Il y a là une logique de dissuasion qui fait partie de ces fonctions politiques relevant des prérogatives de l'État et dont Pascal Robert (2014 §16) observe le glissement progressif vers la prise en charge par les TIC. Si la prérogative échappe ici à la puissance publique, il est toutefois difficile d'identifier avec Bitcoin les intérêts privés qui peuvent en bénéficier. Bien sûr, il y a des gagnants dans la compétition de minage et sa course aux armements, mais ce serait un biais complotiste que de leur attribuer une capacité à piloter le processus. Le ressort qui verrouille les règles du jeu a plutôt un caractère impersonnel et ne présente aucune intentionnalité.

Cependant, le protocole doit aussi tenir compte du cas où cette divergence entre deux chaînes de blocs concurrentes apparaît pour des raisons tout à fait légitimes et dans le cadre d'un usage « normal ». En effet, les mineurs effectuant leurs tâches sans coordination préalable sur un réseau doté d'une certaine latence, il peut arriver que deux – ou plus – d'entre eux trouvent un bloc valide sans que leurs notifications respectives n'aient eu le temps de se propager à tous les autres nœuds. Il s'en suit alors que des mineurs peuvent commencer à chercher un nouveau bloc à partir d'un état du registre qui n'est plus en cohérence avec celui sur lequel travaillent d'autres mineurs ailleurs sur le réseau. Deux chaînes divergentes peuvent alors commencer à se constituer. Lorsque ces chaînes entrent en collision – par exemple, si un nœud reçoit des blocs attachés à des chaînes divergentes – alors il est nécessaire d'avoir un mécanisme pour départager les deux, et que ce mécanisme permette de faire émerger un consensus au sein des nœuds agissant toujours dans le cadre d'un réseau décentralisé.

Pour cela, le protocole indique que le nœud recevant les blocs relevant de chaînes divergentes doit retenir la chaîne « la plus longue » et rejeter « la plus courte ». Mais que signifie la longueur d'une chaîne dans ce contexte ? Cette longueur est mesurée non pas simplement par le nombre de blocs, mais sur la base d'une évaluation des efforts fournis pour produire la chaîne, c'est-à-dire du nombre d'empreintes qu'il faudrait calculer pour reconstituer une chaîne dans les conditions rencontrées à chacune de ses étapes. La difficulté faisant partie des informations inscrites dans chaque bloc de la chaîne, il est ainsi possible de reconstituer toute l'histoire de ces conditions. Le simple nombre de blocs serait un critère insuffisant pour départager des chaînes divergentes dans de nombreux cas et il serait possible

d'attaquer à peu de frais le réseau Bitcoin en y diffusant une chaîne constituée de blocs plus nombreux forgés sur la base d'une faible difficulté. Les premières versions de Bitcoin s'appuyait cependant uniquement sur le nombre de blocs pour déterminer la longueur d'une chaîne. Comme l'article inaugural de Satoshi Nakamoto (2008) précisait la nécessité de s'appuyer sur la notion d'effort fourni³⁰¹, il a été possible de modifier cette mesure ultérieurement sans incidence sur le fonctionnement du réseau, si ce n'est de mieux en assurer la pérennité. La chaîne la plus longue est donc celle qui contient le plus de preuves de travail, c'est-à-dire le plus de calcul. La sécurisation de la chaîne de blocs assurée par le « minage » est donc une mécanique qui revient à maximiser la quantité de calculs puisque c'est la chaîne la plus « longue » qui est retenue comme valide.

Jean-Paul Delahaye (2015) voit dans cet aspect du protocole Bitcoin « une forme réelle et pratique [d']une idée qui jusque-là restait théorique et sans application ». L'idée en question est que « certaines chaînes de caractères³⁰² ne peuvent résulter que d'un long calcul, autrement dit qu'elles possèdent *un contenu intrinsèque en calcul*, ou selon les termes de la théorie *une grande profondeur logique de Bennett* »³⁰³. Sans que la démonstration formelle soit acquise, Delahaye estime que les développeurs de Bitcoin aurait produit sur la base du calcul d'empreinte « une version concrète et matérielle de l'idée de Bennett ». Ainsi « longueur de la blockchain » et « profondeur de Bennett » semblent être les pendants respectivement pratique et théorique de la mesure d'une certaine forme de complexité qui reflète la quantité d'efforts à fournir pour produire des structures organisées.

301 "The majority decision is represented by the longest chain, which has *the greatest proof-of-work effort* invested in it." (Nakamoto, 2008, nous soulignons) (« La décision de la majorité est représenté par la chaîne la plus longue, celle qui contient le plus grand effort en terme de preuve de travail »)

302 Une « chaîne de caractères » est une expression qui doit être comprise ici comme équivalente à « des données numériques ». Utiliser des caractères alphanumériques (lettres et chiffres) ou des représentations binaires à base de 0 et de 1 n'a pas d'incidence sur les propriétés des calculs envisageables dans le contexte des théories de la complexité invoquées par Delahaye.

303 La profondeur de Bennett est une mesure de la complexité en informatique. Elle mesure plus exactement le nombre de pas (ou opérations élémentaires de calcul) nécessaires pour calculer une suite binaire, c'est-à-dire un nombre représenté en base 2 par une séquence de 0 et de 1. Comme toute donnée numérique, quel que soit ce qu'elle représente (texte, nombre, image, son...), peut être réduite à une suite binaire, la profondeur de Bennett mesure donc la quantité (ou le temps) de calcul nécessaire pour produire une donnée. La notion de profondeur de Bennett fait partie de la *théorie algorithmique de l'information* qui vise à évaluer le contenu en information d'un ensemble de données en le décrivant formellement comme une machine de Turing universelle (i.e. un algorithme). La complexité de l'algorithme peut alors correspondre à la « taille » de cette machine (le nombre minimum d'instructions élémentaires requis pour sa description et qu'on appelle complexité de Kolmogorov) ou à son temps d'exécution (le nombre de pas de calcul requis pour aboutir au résultat et qu'on appelle donc profondeur de Bennett). Si des liens peuvent être établis entre la *théorie algorithmique de l'information* et la *théorie de l'information de Shannon*, celle-ci se distingue par le fait qu'elle n'emploie pas la notion de calculabilité.

Le protocole Bitcoin est donc ainsi fait qu'il mettrait en place un vaste dispositif destiné :

1. à maximiser à chaque instant les efforts que doivent fournir ses participants selon des conditions qui sont fixées par leur mise en compétition généralisée,
2. à faire évoluer ces conditions dans un sens qui tend à augmenter indéfiniment les efforts à fournir pour rester compétitif et, donc, pour continuer à participer,
3. à ne pas pouvoir consacrer ces efforts à un objectif particulier autre que de maintenir la continuité du dispositif lui-même.

On retrouve donc bien, par cet exemple frappant, la dynamique générale des techniques numériques telle que nous l'avons établie à partir de leur noyau conceptuel caractérisé par une forme bifide. Le renversement induit par la caractéristique totalisante de la dimension abstraite fait de cette dernière la dimension déterminante de l'engagement des acteurs sociaux dès lors qu'il est médiatisé par des calculs au sens de Turing/Church, même si ces acteurs ne perçoivent ou justifient cet engagement que par la dimension concrète qui leur est phénoménologiquement accessible. Dans une perspective générale, la totalité abstraite des calculs au sens de Turing/Church est un espace aux limites indéfinies parcouru inlassablement par l'ensemble des applications numériques envisageables avec des ordinateurs. Ce parcours ouvre devant lui des perspectives sans cesse renouvelées d'applications qui servent, chacune à leur tour, de supports concrets à un mouvement qui les subsume dans l'indifférence de leur contenu propre. Dans la perspective restreinte au protocole Bitcoin, la totalité abstraite est constituée par les calculs d'empreintes SHA-256 menés sans égard pour un contenu concret particulier – les transactions monétaires – qui ne servent que de supports indifférents (mais nécessaires) à ces calculs. Bitcoin permet, en quelque sorte, d'illustrer dans une seule application ce qui anime le déploiement global de la collection indéfinie des applications numériques et qui tend à la maximisation des calculs relevant d'une totalité abstraite. Ce qui apparaît aux yeux des mineurs comme déterminant, à savoir la perspective d'un retour sur investissement, n'est qu'un aiguillon dans la compétition générale qui alimente, d'abord et avant, au niveau de la totalité, la dynamique orientée vers la maximisation de la croissance de la longueur de la blockchain.

4. Les aspects temporels du protocole

Pour qu'une transaction soit valide, il faut s'assurer que les fonds qui sont apportés n'ont pas été déjà dépensés dans une autre transaction. Dans les systèmes de paiement classiques, ce contrôle est du ressort de l'entité en charge de la tenue des comptes, comme une banque par exemple. Ce contrôle est donc rendu possible par le fait qu'un même opérateur détient les informations nécessaires dans des systèmes fermés d'une part, ainsi que les droits de les modifier d'autre part. Les critiques émises par les tenants des crypto-monnaies sont focalisées sur le fait que ce genre d'opérateurs, en tant que tiers de confiance entre les parties prenantes d'une transaction, peut introduire des biais en toute opacité et finir par servir ses intérêts propre plutôt que de remplir sa mission en toute transparence. Comme par ailleurs, l'État ne leur semble pas en mesure d'exercer une régulation efficace et impartiale, c'est du côté de la mise en œuvre de protocoles numériques qu'ils voient une solution, du fait du caractère automatique et impersonnel des procédures dont on leur confie l'exécution.

Dans le cas des protocoles en pair-à-pair, comme dans le cas de Bitcoin, cette exécution est répartie entre chaque participant et aucun acteur central n'est censé être en mesure d'exercer un rôle prédominant. Cette configuration pose évidemment le problème de l'élaboration d'un consensus entre les participants quant à la validité de telle ou telle transaction. La réponse apportée dans le cadre du protocole Bitcoin résulte de la combinaison d'une chaîne de blocs comme structure de données pour le registre, et des preuves de travail diffusées sur le réseau comme méthode pour sceller l'inscription des transactions dans le registre. Mais quel est le fait même sur lequel porte le consensus des participants obtenu par l'intermédiaire de ces choix de conception ? Il s'agit de l'ordre dans lequel est organisé la succession des transactions, indispensable pour pouvoir statuer sur leur validité. C'est d'ailleurs tout l'enjeu de la proposition formulée par Satoshi Nakamoto lorsqu'il présente les principes fondateurs de Bitcoin : "we need a system for participants to agree on a single history of the order in which they were received."³⁰⁴

Pour cela, Nakamoto énonce³⁰⁵ que la solution passe par la conception préalable et la mise en œuvre d'un « serveur d'horodatage ». Qu'est-ce qu'un serveur d'horodatage ? C'est

304 « nous avons besoin d'un système pour que tous les participants se mettent d'accord sur la séquence ordonnée dans laquelle les transactions sont reçues. »

305 « The solution we propose begins with a timestamp server » (« La solution que nous proposons commence par un serveur d'horodatage »)

un service disponible sur un réseau numérique qui a pour fonction de produire une empreinte (ou condensat, i.e. le produit d'une fonction de hachage, cf. la section sur les fonctions cryptographiques dans le premier chapitre de cette seconde partie) à partir d'un ensemble de données et d'un élément susceptible de les positionner dans le temps. Ainsi chacun peut vérifier ultérieurement le lien entre ces données et le moment de leur horodatage en recalculant l'empreinte et en la comparant avec celle fournie par le service. Par ce mécanisme, les données sont en quelque sorte scellées dans le temps – non pas enfouies dans le passé, mais attachées à une date – et peuvent ainsi constituer une série temporellement ordonnée de manière indiscutable.

Dans le cas de Bitcoin, les données à sceller sont celles inscrites dans un bloc de transactions, tandis que l'élément susceptible de les positionner dans le temps est l'empreinte du bloc précédent dans la chaîne. Ainsi le protocole Bitcoin ne produit pas une datation absolue des blocs, mais construit plutôt progressivement une séquence relative où chaque bloc est situé par rapport aux autres – cette datation absolue serait d'ailleurs incompatible avec l'impératif de décentralisation car les participants au réseau Bitcoin devraient se synchroniser sur une référence qui redonnerait un caractère central et privilégié à un agent en particulier. Par extension, la séquence des blocs s'applique aux transactions contenues dans les blocs et qui peuvent donc être validées de manière univoque à partir de celles qui les précèdent. Ainsi, le registre des transactions Bitcoin ne conserve que l'historique des transactions et non pas le solde des comptes en soi. Pour valider une transaction, on se s'appuie pas sur un état courant d'un compte, mais sur l'état de sortie des transactions précédentes fourni en entrée de la transaction à valider.

Comme d'autre part les paramètres du protocole sont ajustés de façon à ce que la durée moyenne qui s'écoule entre la production de chaque bloc soit fixée à dix minutes, on peut considérer que le réseau Bitcoin dans son ensemble introduit indubitablement une dimension temporelle universelle pour ses participants. En effet, le mécanisme qui constitue pas à pas la chaîne de blocs définit un processus fléché et cumulatif. Ce processus est marqué par des événements distribués selon une cadence quasi régulière centrée sur une valeur fixe. L'automate résultant de l'activité combinée des participants au réseau Bitcoin et qui déploie inlassablement la chaîne de blocs, peut tout autant être vu comme un clerc établissant un registre qu'une horloge rythmant l'activité des participants. La chaîne de blocs et le serveur d'horodatage désignent tous deux le même objet, mais vu sous deux angles différents.

Nakamoto n'emploie pour sa part que le terme « *timestamp server* » dans son article de 2008. Le terme « *block chain* » ne viendra ultérieurement qu'au cours de conversations avec Hal Finney³⁰⁶. Nous discuterons, plus avant, les implications de ce rapprochement entre la matérialisation d'un processus abstrait parcourant un espace indéfini (la production de la blockchain) et une dimension temporelle émergente (le service d'horodatage). Cette discussion sera développée dans le chapitre 10, où une section dédiée lui sera consacrée et où pourront être mobilisés pour cela d'autres éléments que nous allons exposer entre-temps.

5. Une dialectique entre concret et abstrait

Nous avons mené dans ce chapitre une analyse du protocole Bitcoin en s'en tenant au déploiement pas à pas de sa logique propre et sans chercher à rentrer dans une interprétation de la signification particulière des éléments interagissant dans cette logique. Les termes de « transaction » ou de « minage » par exemple ne sont pour nous que des métaphores qui sont susceptibles – ou pas –, par le truchement d'images mentales adéquates, de donner une meilleure prise à la compréhension de la logique protocolaire. Évidemment, ces métaphores constituent aussi un imaginaire (Flichy, 2001) partagé par les développeurs et les utilisateurs de Bitcoin et cet imaginaire contribue grandement aux justifications et aux usages de cette crypto-monnaie. Mais la logique propre du protocole se déroule en étant indifférente à cet imaginaire, sans en être non plus détachée : il suffit que cet imaginaire existe comme support au déploiement des calculs, quel qu'en soit le contenu propre. L'information véhiculée est requise comme médium incontournable mais sa signification n'importe pas pour que le protocole déploie ses effets. En cela, nous nous accordons avec Galloway sur l'idée que l'analyse critique des protocoles doit se faire contre toute interprétation ou recherche de sens puisque :

306 source : <http://satoshi.nakamotoinstitute.org/emails/cryptography/6/> consulté le 9 mai 2017. Finney était un spécialiste de cryptographie ayant fait des contributions importantes au sujet des *preuves de travail* et fut par ailleurs la première personne à recevoir des bitcoins envoyés par Nakamoto, dès le lendemain de la mise à disposition de la première version du portefeuille numérique (*wallet*) Bitcoin.

“Protocols do not perform any interpretation themselves; that is, they encapsulate information inside various wrappers, while remaining relatively indifferent to the content of information contained within.” (Galloway, 2004, p.52)³⁰⁷

Comme le formule Galloway de manière plus imagée, reprenant l'exemple fourni par Latour (1996) de la régulation de la vitesse des véhicules en ville, ce qui ralentit concrètement les conducteurs, ce sont les aménagements de type « dos d'âne » ou tout autre forme de ralentisseurs, et non pas la signalisation ou la peur du gendarme. Or, les protocoles, quoique spontanément associés à la notion de convention et à l'immatérialité supputée de l'information, s'avèrent être des objets tout aussi réels et efficaces que les ralentisseurs dont les effets pratiques se déploient en n'ayant que faire du contenu de l'information associé et des conventions sociales que leur attachent les usagers. À l'interface du protocole avec les mondes sociaux, là où des acteurs vont décider des usages et des interactions qu'ils souhaitent avoir par l'intermédiaire du protocole, les informations véhiculées peuvent reprendre un sens, et c'est sur la base de ces significations que se négocie l'engagement des utilisateurs. Mais une fois ces informations confiées au protocole, c'est sa logique propre qui en assurera le traitement, et les ressorts de cet engagement s'effacent devant ceux qui régissent les objets purement formels que le protocole définit et manipule. N'est-ce pas d'ailleurs en raison même de cet aspect impersonnel que l'on s'accorde à confier aux protocoles la mission de déployer des logiques qui doivent faire abstraction du contexte d'usage et du sens ? Galloway, de nouveau, en tire la conséquence suivante :

”protocological analysis must focus not on the sciences of meaning (representation/ interpretation/reading), but rather on the sciences of possibility (physics or logic)” (Galloway, 2004, p.52)³⁰⁸.

307 « Les protocoles n'effectuent aucune interprétation par eux-mêmes ; c'est-à-dire qu'ils emballent l'information dans différents contenants, tout en restant relativement indifférent à la signification de l'information ainsi contenue »

308 « l'analyse des logiques protocolaires ne doit pas se focaliser sur les sciences du sens (représentation/interprétation/lecture), mais plutôt sur les sciences de la potentialité (la physique ou la logique) »

Parce que les protocoles embarquent une logique propre qui est de nature processuelle et porte sur de pures formes, leurs conséquences ne peuvent pas être simplement déduites des usages sociaux dont ils sont censés être les simples vecteurs. Ce qui ne veut pas dire que le déploiement concret d'un protocole soit purement déterministe, car il est malgré tout alimenté par des événements qui sont extérieurs aux processus protocolaires et donc indéterminés. Ces événements sont produits par les usages sociaux concrets qui se développent à partir de la disponibilité abstraite des protocoles, sans égard pour le contenu propre de ces usages. L'histoire du déploiement d'un protocole connaît donc des accidents, des impondérables qui ne permettent pas de prédire mécaniquement sa trajectoire. Mais, la logique processuelle des protocoles trace tout de même des chemins, ouvre des voies dans un espace des possibles qui est distinct des usages sociaux, mais en est par ailleurs le support et ne peut donc par là que lui imposer certaines de ses déterminations.

Notre principal résultat à ce stade est donc que le protocole Bitcoin se présente avec deux faces simultanées dont l'interaction est constitutive même de sa logique. Il y a d'une part une face concrète, dans le sens où elle adresse un besoin particulier, qui est représentée par les transactions entre les utilisateurs de la monnaie bitcoin. La portée de cet aspect-là dans le réel commence et s'éteint avec l'usage qui est fait du protocole Bitcoin par les « parties contractantes ». Il y a d'autre part une face abstraite, dans le sens où elle est vide de contenu particulier qui est représentée par la puissance de calcul « sans qualité » mise en œuvre par les « mineurs » afin de produire des preuves de travail indéfiniment et quel que soit le contenu des transactions traitées. Cette face qui présente une *indifférence* à (et non pas *détachement de*) tout contenu particulier, induit une dynamique, comme nous l'avons exposé dans ce chapitre, et s'avère déterminante pour expliquer finalement les effets constatés dans le réel³⁰⁹, en deçà et au-delà de ceux escomptés par les promoteurs du protocole.

309 O'Dwyer et Malone (2014) ont estimé en 2014 que la puissance électrique requise pour le fonctionnement de l'ensemble des mineurs était de l'ordre de grandeur de celle d'un pays comme l'Irlande. Une autre estimation en terme de consommation annuelle, faite en juin 2018 par Jean-Paul Delahaye à partir des analyses de Marc Bevand (source : <http://blog.zorinaq.com/bitcoin-electricity-consumption/> consulté le 29 juin 2018) et de celles de Alex the Vries (source : <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption> consulté le 29 juin 2018), propose une fourchette de 40 à 70 milliards de kWh, c'est-à-dire dans les ordres de grandeur de la production de 5 à 10 réacteurs nucléaires commerciaux moyens en condition normale d'exploitation, ou bien encore 7 à 15 % de la consommation française (source *Key world energy statistics*, disponible en ligne à l'adresse <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2017.pdf>, p.62, consultée le 29 juin 2016).

Si cette dynamique, et ses conséquences en terme de consommation électrique, suscitent quelques débats dans la communauté Bitcoin, ceux-ci s'avèrent n'avoir que peu de portée en termes d'évolutions envisagées pour adresser le problème. Il est vrai que la notion de « preuve de travail », qui requiert un calcul sans contenu propre et donc une pure dépense d'énergie, ne peut être révisée sans remettre en cause les principes qui ont guidé la conception de Bitcoin, à savoir l'élimination des tiers de confiance. En effet, si les calculs menés pour trouver une « preuve de travail » avaient un quelconque autre usage, ceux qui auraient inévitablement un intérêt à orienter les usages dans telle ou telle direction exerceraient le genre de biais dont les concepteurs de Bitcoin voulaient se prémunir. Dit autrement, tout usage spécifique associé à un calcul numérique conduit ses bénéficiaires potentiels à en chercher une variante qui diminue sa profondeur de Bennet afin de le rentabiliser au mieux, et donc, en l'espèce, à s'écarter de la maximisation de la croissance de longueur de la blockchain qui est au cœur du protocole Bitcoin.

Les débats les plus animés, et qui ont inspiré le plus de propositions d'évolutions, tournent plutôt autour d'éventuels ajustements dans les paramètres du protocole, celui-ci demeurant fondamentalement inchangé. On retrouve là le constat fait par Galloway selon lequel « le protocole crée une communautés d'acteurs qui perpétue le système d'organisation ». Autrement dit, une fois le chemin tracé dans la neige, le choix de s'en écarter représente un coût relatif de plus en plus important que les marcheurs sont de moins en moins enclins à adopter, sous peine de se laisser distancer par la cordée.

Si des enjeux fondamentaux sont laissés de côté par la communauté Bitcoin pour se consacrer à des sujets relevant de réglages internes de la machinerie, cela ne fait pas pour autant de ces débats des terrains à négliger, car il permettent aussi de saisir comment les dynamiques générales se propagent dans ce milieu, mais aussi comment les différenciations en son sein, au départ négligeables, peuvent induire des trajectoires divergentes. Le prochain chapitre sera l'occasion d'étudier ce genre de moment de crise où la dynamique se redéploie en transformant les conditions de son application.

Chapitre 9 : La controverse sur la taille des blocs

La controverse est un moment privilégié pour enquêter sur un terrain (Raynaud, 2003 ; Lemieux 2007) car elle contribue à exposer des positions jusque-là implicites mais qui manifestent soudainement des approches divergentes (Pelizza & Kuhlmann, 2017). Ces divergences peuvent rester longtemps dans l'ombre tant qu'elles ne portent pas à conséquences. Les tenants et les aboutissants du débat qui fait irruption sont alors des points d'accroche pour lever le voile sur des catégories tenues pour évidentes et partagées sans autre forme de procès, mais qui s'expriment de manière contradictoire dès lors qu'un seuil est franchi dans leur développement.

Pelizza et Kuhlmann s'appuient notamment sur la notion de script introduite par Alkirch et Latour (1992) pour proposer de se pencher tout particulièrement sur les moments de crise, qui leur semblent les plus propices au dévoilement de certaines modalités inscrites dans des dispositifs techniques. Le script désigne l'ensemble des instructions incrustées dans la matérialité d'un objet lors de sa conception. Le processus qui réalise cette incrustation du textuel dans le matériel est appelé in-scription. Le processus inverse qui permet de restituer le texte sous-jacent à l'objet matériel est appelé de-scription. Les circonstances favorables à cette de-scription sont rares. La controverse en fait partie car elle conduit ses protagonistes défendant des points de vue divergents à exposer les fonctionnements techniques impliqués afin de tenter d'emporter l'adhésion des parties prenantes moins bien informées.

Cette possibilité de dévoiler le sous-texte qui guide la conception d'un objet technique et l'anime ensuite implicitement par les usages qu'il prescrit plus ou moins, doit cependant s'accompagner d'une attention particulière au fait que, dans le cas d'un algorithme ou d'un

protocole numérique, le script suivi par les concepteurs pour réaliser un artefact fait lui-même l'objet d'un processus de traduction bidirectionnelle entre les métaphores issues du monde social et les codes source qui les formalisent sans égard pour leur contenu propre. Comme nous l'avons vu précédemment, les concepteurs peuvent décrire un protocole en embarquant des éléments d'un imaginaire social, d'une part, et en réalisant les automates censés les prendre en charge, d'autres part, sans que ces deux formalisations ne se superposent quant aux effets induits. Il ne s'agit pas là seulement d'un écart entre une version complète et une version simplifiée du même objet, mais bien de la juxtaposition de deux objets distincts et pourtant mutuellement dépendants. Il convient donc de ne pas considérer le script comme unidimensionnel et, en l'occurrence, uniquement fondé sur les éléments que les protagonistes de la controverse vont être amenés à formuler plus ou moins explicitement à propos de leurs choix de conception. Une autre dimension du script qui peut être abordée dans le dépliage de la controverse est la conviction partagée sans autre forme de procès par ses protagonistes que la superposition entre la description du monde social et celle du logiciel peut être réalisée, au moins tendanciuellement.

Pour prolonger la démarche entamée par Pelizza et Kuhlmann, tout en mettant en avant cette attention à la spécificité des objets numériques et particulièrement des protocoles de communication, nous allons reprendre le même terrain. Nous allons donc aborder dans ce chapitre le débat qui agite la communauté Bitcoin au sujet de la meilleure méthode pour mettre en œuvre une supposée « nécessaire » augmentation de la taille maximale des blocs. L'exposé de ses enjeux, de ses acteurs et de leurs arguments, confronté à celui du protocole que nous venons de développer, va permettre de mettre en évidence les ressorts d'une crise, non pas dans ce qui divise les protagonistes, mais, paradoxalement, dans ce qui les réunit.

1. Le paramètre « taille maximale des blocs » (*maxblocksize*)

Ce débat porte sur un paramètre du protocole Bitcoin qui a été introduit au cours du développement des premières versions de Bitcoin en réponse à un risque potentiel, mais qui s'est avéré avoir une valeur de moins en moins adéquate à mesure que l'utilisation de Bitcoin progressait, et notamment que le nombre de transactions augmentait. La taille maximale que

peuvent atteindre les blocs est, en effet, un paramètre qui est encadré par deux contraintes qui s'avèrent contradictoires. Suivant le point de vue que l'on adopte sur la prépondérance à accorder à telle ou telle contrainte, les intervalles sur lesquels peut varier ce paramètre sont différents, mais peuvent encore avoir une intersection à partir de laquelle le choix d'une valeur adéquate est possible. Cependant, le succès même de Bitcoin a amenuisé cette intersection jusqu'à rencontrer la perspective de sa disparition. Il n'y a alors plus de consensus possible, une des contraintes doit être relâchée et une décision concernant l'orientation à prendre, entre le principe à privilégier et celui à délaisser, est nécessaire. Cette nécessaire décision met à l'épreuve la gouvernance du projet Bitcoin qui doit arbitrer entre des propositions techniques pour trancher entre des positions qui relèvent aussi d'intérêts économiques.

Avant d'exposer les termes du débat sur la taille maximale pour les blocs, voyons d'abord de plus près quelles sont les raisons qui ont poussé à introduire ce paramètre. Il s'agissait de limiter un risque lié au fonctionnement intrinsèque de Bitcoin, tel qu'il avait été initialement réalisé. Dans les premières versions de Bitcoin, les utilisateurs de la seule fonction portefeuille (*wallet*), c'est-à-dire ceux qui ne souhaitent qu'émettre des transactions et non pas participer au minage, devaient néanmoins assumer la charge d'un nœud complet en disposant d'une copie intégrale de la chaîne de blocs. Il fallait donc pour ces utilisateurs rester à l'écoute de l'ensemble des notifications de nouveaux blocs faites sur le réseau et réagir en conséquence en effectuant la vérification de la validité de ces blocs. Cette situation pouvait induire des cas où un acteur malveillant empêcherait les utilisateurs de dépenser leurs bitcoins en inondant le réseau de blocs invalides mais massifs dont la vérification finirait par accaparer toutes les ressources des nœuds. En limitant la taille des blocs et donc le nombre de transactions qu'ils peuvent contenir, ce genre d'attaque ne devenait possible qu'en disposant d'une large bande passante pour transmettre un grand nombre de blocs et d'une forte puissance de calcul pour les produire. La bande passante et la puissance de calcul requises ont un coût qui aurait alors été dissuasif.

Il est possible avec les versions plus récentes de Bitcoin de ne mettre en œuvre que les fonctionnalités du portefeuille et de ne pas activer celles nécessaires au minage, de telle façon qu'il n'est plus indispensable de faire fonctionner un nœud complet pour simplement émettre des transactions. Cela rend le paramètre « taille maximale des blocs » obsolète a priori, mais changer sa valeur, ou même lever toute limite, nécessite de redéployer une nouvelle version

du protocole qui relève du « hard fork ». On se retrouve donc dans la situation décrite au deuxième chapitre de cette seconde partie et qui requiert de soumettre des propositions selon le format du BIP.

Pas moins de dix BIP³¹⁰ proposant une augmentation de la taille maximale des blocs ont été soumises à un moment ou à un autre à la communauté Bitcoin, dont deux feront l'objet d'une description détaillée dans ce chapitre, sachant que l'une a été retiré par son auteur (BIP-0101) et que l'autre a été rejetée par un vote des mineurs (BIP-0109). Nous nous pencherons aussi sur deux autres propositions faites en dehors du cadre des BIP, l'une permettant de maintenir le paramètre en l'état (Lightning Network) et l'autre pour le supprimer définitivement (Bitcoin Unlimited). On y retrouvera un éventail suffisant des arguments échangés dans le cadre de la controverse.

2. Une limitation de la capacité du réseau...

Mais avant de voir les différences entre ces propositions, nous allons cerner les raisons pour lesquelles il serait souhaitable d'intervenir sur la taille maximale des blocs. Car il ne suffit pas que les raisons initiales ayant conduit à introduire ce paramètre soit devenues obsolètes pour justifier qu'on en modifie ultérieurement la valeur. Il paraîtrait même plus logique de se contenter de le supprimer s'il n'était qu'une réponse *ad hoc* à un problème finalement résolu par une autre voie. La valeur actuelle du paramètre a été introduite en 2010³¹¹ et fixée à 1 Mo, sur la recommandation de Nakamoto, dans le but de désamorcer l'attaque potentielle sur les portefeuilles précédemment décrite. Avant que ce paramètre ne soit introduit, il existait aussi une contrainte qui limitait la taille des blocs, mais elle résultait de restrictions techniques et non d'un choix de conception. Nakamoto avait cependant conscience que ce même paramètre pouvait être un facteur limitant aussi le nombre de

310 Numérotées de BIP-0100 à BIP-0109

311 cf. <https://github.com/bitcoin/bitcoin/commit/a30b56e> (modifications du code source en date du 15 juillet 2010) et <https://github.com/bitcoin/bitcoin/commit/a30b56e> (modifications du code source en date du 7 septembre 2010). Par les modifications du 15 juillet 2010, les mineurs ne peuvent plus produire de blocs dont la taille serait supérieure à 1Mo. Par les modifications du 7 septembre 2010, ce sont les nœuds qui ne peuvent plus accepter de blocs dont la taille serait supérieure à 1Mo. Dans l'intervalle, l'ensemble des mineurs est passé à la version limitant la taille maximale des blocs à 1Mo.

transactions pouvant être prises en compte dans un laps de temps donné. Aussi, avait-il prévu de laisser la communauté ajuster le paramètre ultérieurement en fonction du développement du réseau³¹².

La taille maximale des blocs est définie en nombre d'octets, c'est-à-dire en quantité de données numériques brutes. Cela ne constitue pas directement une limite en nombre de transactions par blocs, puisque les transactions peuvent occuper des tailles variables en fonction des entrées et des sorties qu'elles impliquent. Mais cela donne cependant une fourchette : depuis le début de l'année 2017, par exemple, le remplissage des blocs oscille entre 90 et 100 % et la tendance en milieu d'année est aux blocs remplis à plus de 97 %, pour un nombre de 1200 à 3000 transactions par bloc. Ce taux de remplissage n'était que de trois quarts en 2016 et environ 40 % en 2015. La croissance du taux de remplissage est évidemment le reflet d'un certain succès de Bitcoin et de son adoption de plus en plus large. La question peut éventuellement se poser de savoir à quels usages correspond cette adoption croissante. Laurent Salat³¹³ – qui développe une plateforme dédiée³¹⁴ à l'analyse statistique et à la visualisation des données contenues dans la chaîne de blocs – suggère³¹⁵ que certains usages de Bitcoin peuvent s'apparenter à de mauvaises pratiques, non pas dans le sens de « frauduleuses », mais dans le sens d'« inefficaces ». Des fournisseurs de services employant Bitcoin comme moyen de paiement n'auraient pas optimisé leurs usages alors qu'ils étaient confrontés à un changement d'échelle.

“I’m more and more convinced that we should stop talking [...] of spam or malicious activity when we talk about a public blockchain aiming to provide censorship resistance. Instead, we should focus our efforts and discussions on efficient processes & “good practices” VS inefficient processes & “bad practices”. The main reason is that **human intents don’t matter for the bitcoin blockchain and there is no difference between a spam attack and an inefficient process** because consequences are the same for the blockchain.

312 cf. <https://bitcointalk.org/index.php?topic=1347.msg15366#msg15366> consulté le 21 mai 2017

313 Laurent Salat est un informaticien qui exerce son activité principalement dans le domaine des outils d'analyse de la blockchain Bitcoin. Il est une des figures de la « scène crypto » évoquée au chapitre 4 dans la section 2, ayant présenté notamment diverses communications dans les lieux emblématiques de cette « scène », à commencer par la Maison du Bitcoin. (cf <https://www.youtube.com/watch?v=zaf1L7ZIUq4> consulté le 17 juin 2018).

314 cf. <https://oxt.me/landscapes> consulté le 21 mai 2017

315 cf. <https://medium.com/@laurentmt/doing-nothing-is-a-choice-2c26376358a2> consulté le 21 mai 2017

The point is that many services have grown very quickly and sometimes technical solutions which were fine at small scale [...] start to have a very noticeable impact when the service grows [...]. It's likely that many services [...] have room for optimizations and that just a few major services implementing a few optimizations would make a visible difference.” (Salat, 2016)³¹⁶

Avec cette montée en puissance des services « inefficaces » dont certains se comportent comme de véritables spammeurs, on a un exemple d'usage de la chaîne de blocs sans égard pour son contenu propre, mais dont l'existence comme usage « valide » n'est finalement contesté que par une extrême minorité.

Sachant que le temps moyen qui s'écoule entre le minage de chaque bloc est d'environ dix minutes, soit 600 secondes, on voit que le réseau traite au milieu de l'année 2017 environ deux à cinq transactions par seconde dans des conditions proches de la saturation. Certains estiment qu'en optimisant le remplissage des blocs, le réseau Bitcoin peut atteindre sept transactions par seconde. Si le réseau ne peut pas encore être considéré comme totalement saturé, certains effets de bord se sont déjà fait ressentir pour les utilisateurs, notamment concernant le temps d'attente avant qu'une transaction soit incluse dans un bloc et le niveau des frais qui doit être concédé pour inciter les mineurs à traiter une transaction prioritairement. Cet état de fait améliore à première vue la rentabilité des mineurs qui collectent ces commissions de traitement en plus de la récompense attachée à chaque nouveau bloc. On pourrait en conclure que ceux-ci sont plutôt favorable à la limitation de la taille des blocs. Cependant, d'autres considérations liées à la compétition qu'ils mènent entre eux conduit plutôt les plus actifs à demander une levée des contraintes sur la taille des blocs. Nous verrons un peu plus loin dans ce chapitre, dans l'analyse croisée des conditions réelles de

316 « Je suis de plus en plus convaincu que nous devrions arrêter de parler [...] d'abus ou d'activité frauduleuse lorsque nous parlons d'une chaîne publique destinée à fournir un bastion contre la censure. Au lieu de ça, nous devrions concentrer nos efforts et nos discussions sur des méthodes efficaces et des « bonnes pratiques » opposées à des méthodes inefficaces et de « mauvaises pratiques ». La principale raison est que **les intentions humaines ne comptent pas pour la chaîne de blocs Bitcoin, et qu'il n'y a aucune différence entre une attaque de spams et une méthode inefficace** car les conséquences sont les mêmes pour la chaîne de blocs. Le problème est que de nombreux services ont grossi très rapidement et parfois les solutions techniques qui marchaient à petite échelle [...] commencent à avoir un impact vraiment perceptible lorsque le service croît [...] Il est probable que de nombreux services ont des marges d'optimisations et qu'il suffirait de quelques gros services implémentant quelques optimisations pour produire une différence notable »

minage et des arguments exposés par les tenants des gros blocs, comment se résout ce paradoxe.

Pour que l'usage de Bitcoin ressemble à celui d'une monnaie employée au quotidien par tout un chacun, il faut pouvoir traiter des transaction au niveau où peuvent le faire les grands réseaux de paiement électronique tels que VISA ou MasterCard. Cette ambition, qui figure dans la vision initiale de Nakamoto et qui est portée par ses continuateurs, nécessite d'atteindre des rythmes de plusieurs dizaines de milliers de transactions par seconde³¹⁷. D'où l'augmentation « nécessaire » de la taille maximale des blocs que préconise ceux qui souhaitent faire de Bitcoin l'infrastructure privilégiée pour les transactions monétaires au sein du grand public. On peut noter en passant qu'une autre solution consisterait à produire les blocs plus rapidement en diminuant le délai moyen entre deux blocs, qui est un autre paramètre fixe du protocole. Mais on prend alors le risque de multiplier les blocs orphelins, c'est-à-dire des bouts de chaîne produits par des mineurs qui n'ont pas reçu la notification qu'une chaîne potentiellement plus longue a démarré par ailleurs, du fait du délai de propagation de ces notifications sur le réseau. La puissance de calcul consacrée à ces blocs orphelins est globalement et localement improductive : globalement car elle ne contribue pas au contenu en calcul finalement incorporé dans la chaîne de blocs ; et localement car elle détourne les efforts des mineurs produisant les blocs orphelins en les mettant sur une fausse piste. Si les blocs orphelins sont donc constitutifs de la mécanique déployée par le protocole Bitcoin pour établir un consensus décentralisé, leur multiplication peut aussi être contre-productive. Le délai moyen entre deux blocs ne peut donc être diminué drastiquement sans entamer à un moment la productivité du réseau et la rentabilité des mineurs.

Pour augmenter la capacité du réseau jusqu'à se hisser au niveau de celui de VISA ou MasterCard, on voit tout de suite qu'il faudra franchir plusieurs paliers en terme d'infrastructures sous-jacentes, tant les ordres de grandeur entre la solution actuelle et les performances visées relèvent encore du grand écart. Cette progression envisagée suggère des ajustements dans les moyens techniques mis en œuvre qui ne sont actuellement que dans les

317 D'après le rapport mondial sur les paiements (World Payment Report disponible en ligne à l'adresse <https://www.worldpaymentsreport.com/> consulté le 17 juin 2018) publié conjointement par la société de conseils Capgemini et la banque BNP Paribas, ce sont plus de 400 milliards de transactions dématérialisées qui ont été réalisées en 2015. Parmi ce type de transactions, les paiements par cartes représentent environ la moitié, mais c'est bien pour l'ensemble de ces transactions que le réseau Bitcoin ambitionne d'être une alternative, dans la vision de ses promoteurs. 400 milliards de transactions par an correspondent à plus de 12000 transactions par seconde en moyenne, et donc des pics de plusieurs dizaines de milliers de transactions par seconde dans les périodes de forte activité telles que les fêtes de fin d'année.

projections optimistes de ses partisans. Il faut en effet prévoir des bandes passantes bien plus larges pour émettre et recevoir des blocs bien plus gros. Il faut aussi multiplier la capacité en terme de « mémoire vive » attachée à chaque unité de calcul pour produire et valider ces blocs. Tout cela, bien sûr, avec la contrainte de conserver la rentabilité pour les mineurs, ce qui veut dire que les coûts de mise en œuvre soient encore compatibles avec l'engagement de nouveaux investissements. Même en se contentant d'extrapoler l'accroissement des performances à coûts maîtrisés selon une hypothétique prolongation de la loi de Moore, le niveau requis pour produire, diffuser et valider des blocs potentiellement dix mille fois plus gros ne pourra être atteint suffisamment tôt pour écarter tout risque de saturation permanente du réseau.

3. ...mais un frein nécessaire à la concentration du réseau

Le paramètre « taille maximale des blocs », introduit initialement pour la protection contre les attaques en déni de service, constitue donc aujourd'hui un obstacle pour la généralisation du réseau Bitcoin comme moyen de paiement électronique. Nous avons vu que sa suppression pure et simple est envisageable car la protection contre ces attaques est assurée par d'autres moyens dans les versions plus récentes de Bitcoin. Les capacités matérielles à mettre en œuvre constitueraient alors un nouveau facteur limitant pour réellement atteindre les performances attendues d'un réseau de paiement universel. Cependant, la suppression du paramètre ne peut être accomplie sans autre forme de procès car il s'est avéré entre-temps que la taille maximale des blocs avait d'autres conséquences et permettait notamment de contenir la tendance à la concentration de la puissance de minage entre un nombre toujours décroissant d'acteurs. En effet, une rentabilité suffisante est encore envisageable pour des acteurs avec des capacités d'investissement plus limitées, si la taille des blocs est jugulée. Et il est par ailleurs souhaitable que la puissance de calcul du réseau soit répartie au sein d'une multiplicité d'acteurs.

La concentration de la puissance de calcul au sein du réseau Bitcoin est en effet un risque funeste pour ce même réseau si aucune précaution n'est prise pour la limiter. S'il s'avère qu'un acteur est en mesure de mobiliser une puissance équivalente à l'ensemble des autres participants, alors il est aussi en mesure de calculer une chaîne de blocs pour ses propres intérêts et de l'imposer aux autres puisqu'elle est potentiellement plus longue au sens

où nous l'avons décrit au chapitre précédent. Si cette situation reste une hypothèse servant de repoussoir théorique compte tenu des obstacles que sa réalisation concrète peut rencontrer, il demeure que la concentration de la puissance de calcul est perçue comme un phénomène allant à l'encontre des principes fondateurs de Bitcoin. En effet, la récompense associée au calcul d'un bloc gagnant est conçue, dans l'esprit des concepteurs/promoteurs de Bitcoin, comme un moyen d'inciter les mineurs à participer honnêtement à la compétition et de contribuer ainsi au bien commun revendiqué, c'est-à-dire la consolidation globale du réseau et de la chaîne de blocs. Toute action menée en vue de s'abstraire de la compétition, ou tout au moins d'en reconfigurer les termes, est donc envisagée comme une forme de détournement. Pourtant, cette compétition est aussi une forte incitation pour chaque acteur à engager les moyens les plus performants auxquels il puisse accéder. Les infrastructures de « minage » mises en œuvre sur le réseau Bitcoin ont ainsi déjà connu trois grandes transitions³¹⁸. Chacune est associée à un changement dans le type de processeurs employés par les « mineurs » pour les calculs d'empreinte.

Le processeur est le composant au cœur d'un ordinateur en tant qu'unité centrale de calcul. L'architecture interne de ce composant peut être conçue de manière plus ou moins « rigide » afin d'optimiser ses performances vis à vis de telle ou telle classe d'algorithme. Au cours d'une première époque, la puissance de calcul était fournie par des particuliers utilisant des ordinateurs construits autour de processeurs « classiques » produits en masse (CPU³¹⁹) pour les usages « grand public ». Puis, des machines plus spécifiques ont été introduites en utilisant des processeurs dédiés aux opérations d'affichage (GPU³²⁰) que l'on trouve dans les cartes graphiques. En effet, les tâches pour lesquelles ces processeurs sont conçus et optimisés, nécessitent une architecture interne qui s'avère plus efficace pour le calcul d'empreintes employés dans le « minage » des bitcoins. L'évolution suivante a consisté à employer une nouvelle catégorie de processeurs dits « programmables » (FPGA³²¹). Ces

318 Marc Bevand identifie lui dix phases dans la course permanente à l'augmentation des performances du matériel de minage depuis le démarrage de Bitcoin. Il effectue en effet une distinction entre des matériels semblables en termes de conception générale, mais pour lesquels des constructeurs ont su proposer des améliorations drastiques dont l'introduction sur le marché se traduit par des inflexions dans l'évolution de la puissance totale de calcul mobilisée par le réseau. (source : <http://blog.zorinaq.com/bitcoin-electricity-consumption/> consulté le 29 juin 2018)

319 *Central Processing Unit* : unité de calcul centrale

320 *Graphics Processing Unit* : unité de calcul dédiée aux fonctions graphiques

321 *Field-Programmable Gate Array* : réseau de portes programmables *in situ*. En français, on parle aussi de circuit logique programmable dans le sens où l'on peut configurer *a posteriori* la connexion des composants inscrits sur un substrat matériel sans organisation *a priori*.

processeurs sont en quelque sorte vierges de toute architecture interne et c'est par l'application d'une cartographie *a posteriori* que cette architecture est définie. Cette technique permet de produire des processeurs optimisés pour un type d'algorithme particulier en partant d'un substrat physique générique. Enfin, le dernier stade consiste à inclure, dans la conception initiale même des processeurs, la prise en charge des algorithmes que l'on souhaite exécuter avec la plus grande efficacité possible. On développe pour cela des circuits intégrés spécifiques (ASIC³²²) dédiés au calcul d'empreinte.

Chaque transition a été l'occasion d'améliorer la puissance de calcul par processeur, tout en diminuant la consommation électrique unitaire. Avec la dernière génération, on bute cependant sur une limite en terme d'architecture de processeur envisageable. Des optimisations sont possibles mais elles resteront dans la même lignée technique et ne porteront plus que sur la diminution marginale de la consommation électrique unitaire. Si le moindre gain en la matière offre un avantage compétitif qui peut continuer à alimenter l'obsolescence, c'est cependant aussi sur le terrain des coûts d'exploitation que les compétiteurs se positionnent aujourd'hui. Ils visent pour cela à concentrer leurs infrastructures au plus près des sources d'énergie les moins coûteuses, par exemple. Une partie du débat sur la taille maximale des blocs peut s'interpréter à partir de l'idée que l'augmentation de cette taille serait un nouveau levier pour améliorer la productivité de certains acteurs du minage, particulièrement parmi ceux disposant des capacités d'investissement permettant la mise en œuvre d'infrastructures pouvant traiter des « gros blocs ». Il n'est pas nécessaire que ces acteurs aient une conscience exacte des gains attendus. Il suffit seulement qu'une perspective se dessine pour que certains s'engagent sur la voie, y compris au prix d'un affaiblissement de ce à quoi ils sont censés contribuer, i.e. la robustesse du réseau.

La répartition géographique des nœuds « altruistes » du réseau Bitcoin – ceux en charge de simplement conserver une copie du registre des transactions et qui servent de point d'entrée sur le réseau – montre une distribution principalement dans les pays dont les mainteneurs historiques de Bitcoin sont ressortissants. En revanche, la répartition de la puissance de « minage » montre que plus des quatre cinquièmes sont aujourd'hui contrôlés

³²² *Application-Specific Integrated Circuit* : circuit intégré développé à la demande d'un client.

par six opérateurs³²³ dont cinq sont originaires de Chine, et qui mettent tous en œuvre des infrastructures de type *datacenter* dont la localisation est contrainte par des critères de rentabilité. Ces opérateurs sont aussi des « pools », c'est-à-dire des agrégateurs de puissance de calcul : ils regroupent plusieurs milliers de « mineurs » afin de mettre en commun leur puissance de calcul et redistribuent les gains au prorata de la contribution de chacun. Chaque « mineur » obtient un revenu stable en fonction de la puissance qu'il fournit mais doit pour cela renoncer à la possibilité de choisir les blocs qu'il va « miner ». Une infrastructure de type *datacenter* consiste à concentrer dans un seul local un nombre important – de l'ordre de plusieurs dizaines de milliers, parfois plus – d'unités de calcul dans un objectif de standardisation et d'optimisation de leur exploitation. Évidemment, dans un souci de rentabilité, les critères de décision quant à la localisation des ces infrastructures sont principalement l'accès à une source d'énergie électrique peu coûteuse et la possibilité de dissiper efficacement la chaleur produite. Ces critères conduisent parfois à des choix étonnants, à première vue, mais d'une logique imparable dans le cadre du développement actuel des techniques numériques. Ainsi par exemple, l'entreprise chinoise HaoBTC (aujourd'hui renommée Bixin) qui, après avoir réalisé des installations en Mongolie Intérieure pour son charbon peu cher et abondant, s'est déployée en 2015 au Tibet afin d'utiliser les ressources hydroélectriques encore plus compétitives, au prix d'un isolement géographique qui ne peut être rapproché que de celui des installations nucléaires dans l'histoire des industries, mais pour des raisons évidemment bien différentes³²⁴. Ce détour par la géopolitique du réseau Bitcoin tel qu'il est constitué aujourd'hui permet d'indiquer que cette configuration ne fournit pas en soi les bases d'une explication quant à la distribution des positions respectives dans le débat sur la taille maximale des blocs – comme peuvent le faire, par exemple, ceux qui avancent que le facteur géostratégique est en quelque sorte déterminant, et expliquent donc les tensions au sein de la communauté Bitcoin comme résultant d'une opposition entre les mineurs chinois, figures de la puissance mondiale en devenir, et les mainteneurs occidentaux, gardiens des principes libertariens qui ont donné un cadre à la conception de Bitcoin³²⁵. Comme le montre les évolutions les plus récentes³²⁶, la distribution

323 *AntPool, BTC.TOP, F2Pool, SlushPool, BTC.com et ViaBTC*. Source : <https://blockchain.info/pools> consultée le 29 juin 2018.

324 Source : <http://www.coindesk.com/my-life-inside-a-remote-chinese-bitcoin-mine> consultée le 15 mai 2017.

325 cf. <https://asialyst.com/fr/2017/09/12/chin-puissance-dominante-bitcoin-crypto-monnaie-libertaire/> consulté le 10 novembre 2017.

326 cf. <http://theconversation.com/minage-de-bitcoin-la-grande-redistribution-geographique-mondiale-107827> consulté le 1^{er} février 2019.

géographique des puissances de minage ne se fixe par sur des critères géopolitiques et fluctue indépendamment des débats sur tel ou tel paramètre du protocole. Cette distribution est plutôt le résultat d'une spécialisation, selon des critères objectifs – comme le coût de l'énergie électrique ou celui de la production du matériel dédié au calcul d'empreintes SHA-256 – dans la prise en charge du caractère bifide qui entraîne, dans son unité fondamentale malgré tout, la bipartition des rôles entre les deux configurations socio-techniques du protocole Bitcoin.

4. Les enjeux liés à la taille maximale des blocs

On peut envisager les enjeux concernant la taille maximale des blocs comme résultant du fait que le réseau Bitcoin est le lieu à la fois de la solidité – par le minage – et de la circulation – par les transactions – de la crypto-monnaie. On voit donc que ces enjeux se distribuent entre deux façons avec lesquelles on peut appréhender le réseau. Il y a d'une part celle qui attribue à Bitcoin la mission de remplacer à terme les systèmes de paiement électronique aujourd'hui mis en œuvre par des entités « fermées », c'est-à-dire centralisant et/ou contrôlant tout ou partie des infrastructures requises au sens large, depuis les points d'accès au réseau jusqu'aux bases de données en passant par les protocoles et les logiciels déployés. Il y a, d'autre part, celle qui privilégie la robustesse du réseau Bitcoin qui est assurée par la décentralisation de la puissance de calcul mise en œuvre dans le processus global de minage assurée dans le cadre d'une compétition. Derrière la robustesse du réseau, c'est aussi une certaine garantie quant à la valeur que représente la monnaie produite par le minage et stockée dans la chaîne de blocs qui est privilégiée. Mais ces visions concernant les enjeux du réseau Bitcoin ne se plaquent pas mécaniquement sur deux types de propositions concernant la taille maximale des blocs, car d'autres contraintes objectives qui sont intrinsèques au protocole Bitcoin induisent des intérêts économiques qui traversent les promoteurs de telle ou telle vision, pouvant les amener à défendre des positions divergentes alors qu'ils revendiquent le même principe comme étant leur priorité.

Les partisans de Bitcoin comme réseau de paiement à haut débit peuvent par exemple réclamer de supprimer toute limite sur la taille maximale des blocs, comme c'est le cas avec Bitcoin Unlimited³²⁷, ou au contraire s'accommoder d'un paramètre conservé en l'état en

327 cf. <https://www.bitcoinunlimited.info/faq> consulté le 18 mai 2017.

mettant en place des canaux de paiement en parallèle de la chaîne de blocs et en nombre illimité, comme le propose Lightning Network³²⁸. Les partisans de Bitcoin comme stock de valeur sont plutôt enclins à conserver une limite relativement basse de la taille maximale des blocs, mais les tensions que cela peut induire sur le niveau des commissions à verser aux mineurs et les délais de prise en compte des transactions, présentent aussi la possibilité de voir les utilisateurs fuir le réseau Bitcoin pour lui préférer des crypto-monnaies alternatives³²⁹. Cela détournerait aussi l'activité de minage vers ces alternatives – provisoirement ? – plus rentables et donc affaiblirait le réseau Bitcoin. Des augmentations « maîtrisées » de la taille maximale des blocs sont donc aussi à l'agenda des tenants de Bitcoin comme stock de valeur.

Par ailleurs, ces deux approches du réseau Bitcoin ne se distribuent pas de manière tranchée au sein de la communauté. Certains peuvent en effet parfaitement défendre l'idée que les deux objectifs doivent être poursuivis simultanément ; il y a parmi eux ceux qui n'établissent pas de hiérarchie entre les deux objectifs, les estimant soit d'une importance équivalente, soit ne relevant pas de la même logique. Et il y a, toujours parmi ceux qui visent à poursuivre les deux objectifs, ceux qui estiment que les deux aspects concourent au même but sous-jacent, qui est de se passer des entités centralisatrices dans le domaine de la monnaie, que ce soit pour sa solidité ou sa circulation. Au final, c'est tout un panel d'avis aux multiples options qui doivent se répartir sur une ligne unidimensionnelle polarisée par deux cas limites : ne rien changer ou faire disparaître l'objet du débat, conserver le paramètre controversé en l'état ou le supprimer du protocole. Même en s'en tenant aux seuls intervenants qui se revendiquent comme continuateurs de Nakamoto, c'est donc à une profonde réduction du débat que conduit le fait de devoir prendre une décision sur un paramètre isolé. Même les propositions qui semblent sortir du cadre, comme Lightning Network et ses canaux de paiement hors chaîne – nécessitant par ailleurs quelques ajustements des formats de données

328 cf. <https://lightning.network/> consulté le 18 mai 2017.

329 En dehors de l'Ether, la crypto-monnaie associée au réseau/protocole Ethereum que nous avons déjà évoqué, il existe en effet de nombreuses variantes mettant en œuvre des réseaux/protocoles plus ou moins proches de celui de Bitcoin. Certaines de ces variantes sont issues directement de Bitcoin et de son code source d'autres ont été développées en repartant d'une page blanche. Parmi les premières, on peut citer Litecoin qui ne diffère de Bitcoin que par le fait que le temps moyen entre deux blocs est quatre fois plus court, afin que les confirmations de paiement soient plus rapides, et par l'utilisation de la fonction de hachage SCrypt au lieu de SHA-256 pour le minage, la première demandant de plus importante ressource en mémoire vive et donc censée être moins sensible à la mise en œuvre de moyens de calcul dédiés tels que les ASIC. Parmi les secondes, on peut évoquer ZCash dont la principale caractéristique est de permettre la validation des transactions intégrées dans un registre public sans avoir à divulguer à des tiers leurs montants, ni les identifiants de leurs parties prenantes. L'ensemble du marché des crypto-monnaies peut être consulté en ligne sur de nombreux sites spécialisés tel que <https://coinmarketcap.com/> (consulté le 17 juin 2018), par exemple.

stockées dans la chaîne de blocs – , ne font que se positionner en complément de l'existant et tiennent pour acquis le principe du minage décentralisé et compétitif avec incitation économique.

Nous pouvons constater de ce qui a été vu précédemment que le « rough consensus » – impératif que nous avons évoqué au deuxième chapitre et qui oriente la gouvernance des projets de développement des protocoles Internet, en particulier au sein de l'IETF – est loin d'être atteint pour l'instant en ce qui concerne l'évolution de la taille maximale des blocs. Cela n'empêche par que des propositions concrètes ont été avancées, propositions qui se font sur la base d'une implémentation pragmatique, selon l'autre impératif concernant le « running code ». Si les premières discussions publiques au sein de la communauté Bitcoin au sujet d'un nécessaire ajustement de la limite de taille des blocs commencent dès 2010 – notamment par l'intermédiaire du forum de discussion historiquement attaché à cette communauté, à savoir *bitcointalk.org*³³⁰ – les premières propositions concrètes soumises au processus formel d'approbation par cette communauté sous la forme d'une BIP datent de l'été 2015. Ces propositions proviennent de différents mainteneurs (*core developers*) tels que Gavin Andresen, Jeff Garzik ou Pieter Wuille. Nous allons maintenant étudier quelques unes de ces propositions en détail afin de situer les termes du débat tournant autour de différentes options quant aux finalités à attribuer à Bitcoin, et qui se traduisent par des choix techniques comme la taille maximale des blocs. Tout l'enjeu de la controverse pour ses participants est en effet de faire adopter leur vision des problèmes auxquels Bitcoin doit répondre par l'intermédiaire d'une adhésion à leurs propositions techniques ou d'un rejet des propositions de l'adversaire. Ces propositions sont toutes formellement justifiées par l'inadéquation de la taille maximale des blocs dans la version actuelle du protocole, mais la variété des options techniques montre bien que ce n'est pas sur ce plan purement technique³³¹ que se joue l'orientation à donner dans les versions futures. De sorte que, si le débat a parfois bien lieu dans les espaces de discussion communautaire³³² aussi bien en ligne que lors des conférences ou par l'intermédiaire des contributions publiées sur des sites personnels de type blog, il prend plutôt, autour de propositions pouvant déboucher sur des actions concrètes, la forme de procès en légitimité de leurs auteurs.

330 cf. <https://bitcointalk.org/index.php?topic=1347.0> consulté le 21 mai 2017

331 Auquel cas, il suffirait que la technique « parle » de manière univoque et que tout le monde se taise.

332 La communauté qui engage ce débat – et dont il sera question à partir de maintenant – est constituée par les développeurs du code source, les opérateurs de minage et les porteurs de projets proposant des modèles d'affaires incluant l'emploi de Bitcoin.

BIP-0101 et BitcoinXT

La première proposition que nous allons étudier en détail a été faite par Gavin Andresen en juin 2015 et formalisée dans la BIP-0101³³³. Elle a été retirée ultérieurement par son auteur après avoir constaté l'absence de consensus pouvant se dégager des vives disputes que la proposition a suscitées. Ces disputes ont notamment mis à jour le fait que, non seulement il n'y avait pas de consensus sur les critères selon lesquels l'augmentation de la taille maximale des blocs serait appliquée, mais plus fondamentalement sur le fait de s'en tenir à conserver le paramètre dans le protocole et l'ajuster selon un scénario de montée en charge prédéfini.

La proposition d'Andresen est résumée en ces termes :

“This BIP proposes replacing the fixed one megabyte maximum block size with a maximum size that grows over time at a predictable rate.” (Andresen, 2015, Abstract)³³⁴

La proposition d'Andresen consiste à augmenter la taille maximale des blocs à 8Mo immédiatement, puis à doubler cette taille tous les deux ans jusqu'à atteindre un seuil de 8Go à partir duquel cette limite resterait constante. Dans l'intervalle de deux ans entre chaque doublement, la taille maximale augmenterait linéairement. L'activation de cette nouvelle règle est prévue dès lors que, sur une série consécutive de mille blocs, on en trouve au moins les trois quarts indiquant une adhésion à la proposition. Cette indication étant faite par l'intermédiaire d'un champ présent dans le bloc, en l'occurrence le numéro de version, la procédure peut être considérée comme un vote représentatif d'une majorité qualifiée de la puissance de minage engagée sur le réseau.

Mike Hearn, ancien ingénieur chez Google, qui a préparé avec Andresen une implémentation de cette proposition, annonce en août 2015 sur la liste de discussion par courriel consacrée au développement de Bitcoin³³⁵ que le manque d'enthousiasme pour l'adoption de BIP-0101 les « contraint » à lancer un « fork » qui se concrétise avec un

333 cf. <https://github.com/bitcoin/bips/blob/master/bip-0101.mediawiki> consulté le 29 juin 2018.

334 « Cette BIP propose de remplacer la taille maximale des blocs fixée à un méga-octets par une taille maximale qui augmentent dans le temps selon un taux prédéterminé. »

335 cf. <https://lists.linuxfoundation.org/pipermail/bitcoin-dev/2015-August/010235.html> consulté le 21 mai 2017

nouveau projet : BitcoinXT³³⁶. La proposition formalisée selon une BIP (Bitcoin Improvement Proposal) devient donc caduque et Andresen la retire, marquant ainsi qu'ils ne cherchent plus à obtenir de la part de la communauté le « consensus approximatif » pouvant émerger au travers des espaces publics dédiés au processus de prise de décision, mais une validation par l'intermédiaire d'un vote des mineurs devant prendre position sur le « code qui marche ». Après une phase initiale où un nombre non négligeable mais largement insuffisant de mineurs prennent position pour BitcoinXT, l'adhésion reflue jusqu'à devenir anecdotique³³⁷.

Les reproches adressés à BitcoinXT, y compris par des acteurs qui avaient soutenu dans un premier temps la proposition BIP-0101 portent sur l'ampleur du choc potentiel et sur l'horizon trop lointain sur lequel pèsent les nouvelles contraintes proposées. Le premier palier de 1 à 8 Mo semble trop abrupt et donc susceptible d'emporter des effets secondaires imprévisibles, bien que de nombreux opérateurs de minage annoncent être prêts à traiter de tels blocs³³⁸. Mais surtout, figer dès maintenant les évolutions d'un paramètre pour les vingt années à venir semble être un pari bien trop audacieux sur une certaine continuité dans l'augmentation des performances des infrastructures requises pour le fonctionnement du réseau. Si ces performances ne suivent pas le plan projeté, cela ferait reposer les contraintes sur les opérateurs de minage à qui pourrait être reproché de ne pas investir suffisamment pour accompagner la progression d'un facteur pourtant connue à l'avance. Ce qui est dénoncé dans l'approche trop ambitieuse de BitcoinXT, c'est une forme de planification par la contrainte volontariste, ce qui est une vision irrecevable dans un milieu qui rejette par ailleurs tout pilotage *a priori* de l'économie. Quelle que soit la pertinence des projections futures quant à l'usage de Bitcoin, il n'est pas question d'imposer un scénario déjà tout écrit aux acteurs importants du fonctionnement de Bitcoin que sont les mineurs. Dans cet épisode agité de la vie du projet Bitcoin qu'a représenté la montée et la chute de BitcoinXT, Andresen et Hearn, héritiers de Nakamoto et de sa vision libertarienne en tant que *core developers*, se sont donc vus reprocher paradoxalement d'endosser la posture du planificateur par des industriels du minage opérant pour la plupart en République populaire de Chine.³³⁹

336 cf. <https://bitcoinxt.software/> consulté le 21 mai 2017

337 cf. <https://coin.dance/nodes/xt> consulté le 22 mai 2017

338 Source : <https://bitcoinmagazine.com/articles/major-mining-pools-make-stand-bitcoin-xt-fork-support-bip-100-grows-1440537258/> consultée le 22 mai 2017

339 Notons que Mike Hearn s'est exprimé sur le sujet en avril 2018, en revenant notamment sur ses échanges avec les représentants des mineurs au moment du lancement de BitcoinXT. Il considère que les réticences des mineurs chinois étaient dues à leur impossibilité de remettre en cause l'autorité, ici identifiée au groupe des *core developers* pouvant, dans leur grande majorité, faire état d'un doctorat alors qu'il n'était qu'un

Parmi les facteurs qui concourent au retrait des soutiens à la proposition d'Andresen et Hearn, il y a une autre proposition, faite par un autre mainteneur, Jeff Garzik³⁴⁰, et qui semble plus propice à rencontrer les faveurs des mineurs³⁴¹, cela pour deux raisons : premièrement, elle prétend suivre la procédure standard de validation des BIP et donc ne pas s'engager dans un « fork » offensif risquant de déstabiliser la communauté et le réseau ; deuxièmement elle donne aux mineurs la responsabilité de définir la taille maximale des blocs par l'intermédiaire d'une procédure de vote permanent incluse dans le protocole³⁴² et permettant de définir une majorité qualifiée rendant compte d'un niveau minimum de consensus. Mais ce projet de proposition de Jeff Garzik fera lui-même l'objet de nombreuses et virulentes contestations au sein de la communauté Bitcoin, notamment par les tenants d'une conservation du paramètre en l'état, au point que son auteur ne la soumettra finalement pas au circuit standard des BIP et que le numéro qu'il avait retenu (BIP-0100) ne sera jamais officiellement attribué. Luke Dashjr, la personne en charge de la publication officielle des BIP³⁴³, indique à ce sujet que :

”Jeff never submitted it, despite me asking him to multiple times. I'd just add it, but unfortunately he never put a copyright license on it, and without that nobody can legally add it.”³⁴⁴

Cependant, depuis mars 2017, Jeff Garzik semble vouloir de nouveau soumettre sa proposition initiale à la communauté selon la procédure standard des BIP³⁴⁵...

simple employé de Google. (cf. https://www.reddit.com/r/btc/comments/89z483/ama_ask_mike_anything/dwuq5rq/ consulté le 29 juin 2018). Toujours selon Hearn, « The vast majority of mining hash power was controlled by people who were psychologically incapable of disobedience to perceived authority » (L'immense majorité de la puissance de minage était contrôlée par des gens qui sont psychologiquement incapables de désobéir à l'autorité d'où qu'elle vienne).

340 cf. <https://github.com/jgarzik/bip100/blob/master/bip-0100.mediawiki> consulté le 22 mai 2017

341 cf. <https://bitcoinmagazine.com/articles/major-mining-pools-make-stand-bitcoin-xt-fork-support-bip-100-grows-1440537258/> consulté le 22 mai 2017

342 Cette idée de vote assoie bien sur la légitimité de la proposition car elle est l'un des principaux marqueurs de l'idéal démocratique. Dans un milieu qui a tendance à s'en remettre aux solutions techniques pour résoudre des problèmes qui ne le sont pas forcément, le caractère automatique donné à la procédure de vote signe aussi cependant une certaine incapacité à construire en amont les cadres de délibération et de prises de décision qui, s'en s'affranchir des impératifs démocratiques, permettent de prendre des décisions effectives.

343 cf. <https://github.com/bitcoin/bips/blob/master/bip-0002.mediawiki> consulté le 22 mai 2017, section BIP Editors

344 « Jeff n'a jamais soumis [sa proposition], bien que je lui ai demandé de nombreuses fois. J'aurais pu juste l'ajouter, mais malheureusement il n'y a jamais apposé de licence, et sans cela personne n'est autorisé à le faire » cf. https://www.reddit.com/r/btc/comments/5jn8r5/why_was_bip_100_removed_from_github/ consulté le 22 mai 2017. N.B.: Sur ce fil de discussion, le pseudo « luke-jr » est celui de Luke Dashjr.

345 cf. <https://github.com/bitcoin/bips/pull/498> consulté le 22 mai 2017

Toute perspective d'adoption de BitcoinXT devient donc illusoire et les échanges acerbes que cette tentative a suscités laissent des marques dans la communauté. Mike Hearn s'éloigne finalement du projet en indiquant qu'il ne contribuera plus que de loin en loin. Il finira même par considérer que Bitcoin est un échec sur tous les plans, que ce soit par sa gouvernance ou son impact sur les pratiques monétaires. Hearn proclame donc que Bitcoin est une expérience ratée, dès lors que la tentative de la faire évoluer selon ce qu'il considère être sa pente naturelle est elle-même mise en échec. Il émettra au passage un jugement négatif sur le rôle joué par les acteurs économiques dans l'insuccès de BitcoinXT en ces termes :

"Bitcoin can't be credibly described any longer as a decentralised system. In how it operates and how much influence users and merchants have, it is indistinguishable from any other proprietary payment network"³⁴⁶

L'ironie étant que Hearn rejoint au même moment R3³⁴⁷, un consortium de banques et d'institutions financières monté par une jeune entreprise innovante proposant d'employer les technologies issues de Bitcoin dans un cadre strictement propriétaire.

Afin d'apaiser les tensions et de retrouver les conditions pour faire émerger une proposition viable et consensuelle pouvant répondre au problème de plus en plus pressant de la limitation de la taille des blocs, des « rencontres au sommet » dédiées au problème de la scalabilité³⁴⁸ de Bitcoin sont organisées par le SBWG (*Scaling Bitcoin Working Group*) en septembre 2015 à Montréal³⁴⁹, puis en décembre 2015 à Hong Kong³⁵⁰, sous l'égide entre autres du MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) et avec le soutien des participants au groupe *Meetup* de San Francisco consacré aux différents aspects du développement de Bitcoin. Un des objectifs de ces rencontres est de faire en sorte que le contact direct entre les interlocuteurs permette des échanges plus sereins et focalisés sur les problèmes factuels à résoudre. Pour cela, le principe des conférences est d'organiser des groupes de travail sur lesquels ne pèse pas l'enjeu de la prise de décision. Ces groupes de travail se concentrent sur la formulation des problèmes et des solutions envisageables en partant de présentations

346 « Bitcoin ne peut plus être décrit raisonnablement comme un système décentralisé. D'après la façon dont il fonctionne et le niveau d'influence des utilisateurs et des services marchands, il ne peut être différencié d'un quelconque autre réseau de paiement propriétaire [i.e. centralisé et contrôlé par un tiers] » source : <http://www.coindesk.com/scalability-debate-bitcoin-xt-proposal-stalls/> consultée le 22 mai 2017

347 cf. <https://www.r3.com/team/mike-hearn/> consulté le 29 juin 2018

348 Le terme sera défini un peu plus loin.

349 cf. <https://scalingbitcoin.org/event/montreal2015> consulté le 22 mai 2017

350 cf. <https://scalingbitcoin.org/event/hongkong2015> consulté le 22 mai 2017

thématiques donnant aux participants un matériau en commun à discuter. On est assez proche de la forme des colloques scientifiques et ces rencontres sont explicitement consacrées aux problématiques de recherche et d'ingénierie et n'abordent pas celles liées à la gouvernance³⁵¹. La référence explicite dans l'exposé du cadre souhaité pour ces rencontres est celle du processus de conception du standard SHA-3 au sein du NIST (*National Institute of Standards and Technology*)³⁵².

“To aid the technical consensus-building process, we organize workshops to collect technical criteria, present proposals, and evaluate technical materials and data with academic discipline and analysis that fully considers the complex tradeoffs between decentralization, utility, security, and operational realities. This may be considered as similar in intent and process to the NIST-SHA3 design process where performance and security were in a trade-off for a security critical application.”³⁵³

Montréal³⁵⁴ a été choisi afin de faciliter la rencontre entre les participants venant du continent américain et notamment de la Silicon Valley, et ceux venant d'Europe et/ou ne pouvant pas ou ne souhaitant pas entrer sur le territoire des États-Unis. Le choix de Hong Kong découle de la nécessité d'impliquer les mineurs opérant en Chine. Une troisième conférence est organisée à Milan³⁵⁵ en octobre 2016 et sa localisation est justifiée par le fait que :

“Milan is an international and avant-garde city with a charming Bitcoin community of developers and adopters. Together, BlockchainLab and AssoB.it, have created a vibrant

351 Les problématiques de gouvernance sont plutôt discutées dans le cadre des événements baptisés *Consensus* que nous avons évoqués dans la section 3 du chapitre 4. La question de savoir si ce type d'événements à vocation publicitaire, ou tout du moins entrepreneuriale, est le plus adéquat pour traiter ce sujet reste ouverte.

352 cf. <https://www.nist.gov/news-events/news/2015/08/nist-releases-sha-3-cryptographic-hash-standard> consulté le 22 mai 2017

353 cf. <https://scalingbitcoin.org/> consulté le 22 mai 2017. « Afin d'accompagner le processus technique d'élaboration d'un consensus, nous organisons des ateliers pour recenser les critères techniques, les propositions du moment, et évaluer les éléments techniques et les données selon la méthode et la discipline académique qui prennent en compte dans sa globalité la complexité du compromis entre décentralisation, utilité, sécurité et contraintes opérationnelles de terrain. Cela peut être vu, aussi bien dans l'intention et la mise en œuvre, comme étant similaire au processus de conception de SHA3, outil pour lequel performance et sécurité sont associées dans une application critique en terme de sécurité »

354 On peut le voir comme un clin d'œil à la notion de « scène » qui a été présentée dans le deuxième chapitre de cette seconde partie et qui a été initialement forgée sur le terrain de certaines pratiques musicales justement basées à Montréal.

355 cf. <https://scalingbitcoin.org/event/milan2016> consulté le 22 mai 2017

environment for Bitcoin related starts-ups where they have fostered inclusive, rigorous and amicable technical discussions.”³⁵⁶

Ce sont donc les attraits de la « scène » locale qui donne à la fois une base logistique appropriée et un motif pour la rencontre en ces lieux. On retrouve là, avec aussi l’appui des groupes *Meetup* de San Francisco évoqués précédemment, ce tropisme pour les « scènes » – y compris virtuelles – qui caractérise le mode de participation à la communauté Bitcoin. Ce *retour à la communauté* marque la fin d’une phase où l’initiative était clairement du côté des mainteneurs, eux-mêmes acquiesçant au fait qu’il est nécessaire de faire alors ce retour, réclamant même une forme d’intervention de la part des utilisateurs. Cela ne les entraînent pas cependant à remettre en cause leur fonction particulière et les prérogatives sur lesquelles elle repose, c’est-à-dire le contrôle du référentiel de code source et la possibilité d’imposer ou de refuser une bifurcation si nécessaire. Comme l’exprime Andresen en janvier 2016 alors que l’échec de l’adoption de BitcoinXT est patent :

“The community should tell developers of the software they are using what they want. If the software developers can’t or won’t give it to them, then they should switch software.”³⁵⁷

Andresen implore donc les utilisateurs de définir des directives quant aux orientations à donner à Bitcoin afin de lui permettre de retourner à son activité première – la production du code – constatant qu’il ne peut jouer les deux rôles à la fois dès lors qu’il ne s’agit plus de problématique triviale sur l’ajustement d’un paramètre. Mais il balise bien le terrain par ailleurs en indiquant que si la base technique telle qu’elle est maintenue ne satisfait plus la communauté, elle a toujours la possibilité d’explorer des alternatives pour voir si d’autres options plus adéquates sont disponibles. Les rencontres organisées par le SBWG ont pour vocation d’ouvrir de nouveau champ en la matière.

356 « Milan est une ville internationale et d’avant-garde avec une sympathique communauté de développeurs et d’utilisateurs de Bitcoin. Conjointement, BlockchainLab et AssoB.it ont créé un environnement plein d’effervescence pour les jeunes pousses associées à Bitcoin, au sein duquel elles ont entretenu des échanges sur des sujets techniques dans une ambiance bienveillante, studieuse et inclusive »

357 « Les membres de la communauté devraient dire ce qu’ils veulent aux développeurs du logiciel qu’ils utilisent. Si les développeurs du logiciel ne peuvent pas ou ne veulent pas le leur donner, alors ils devraient changer de logiciel » (cf. <http://www.coindesk.com/scalability-debate-bitcoin-xt-proposal-stalls/> consulté le 22 mai 2017)

Les conférences de Montréal, Hong Kong et Milan mettent en avant la notion de scalabilité³⁵⁸ qui désigne la propriété d'un système à « monter en charge » ou à « changer d'échelle », c'est-à-dire à passer à un ordre de grandeur plus élevé quant aux sollicitations qui lui sont faites – nombre d'utilisateurs ou de requêtes simultanées, par exemple – et à maintenir malgré tout les caractéristiques attendues quant à ses performances (temps de réponse moyen, par exemple). C'est désormais en ces termes que sont formulées les problématiques soulevées par l'évolution des usages de Bitcoin, évolution qui n'a pas manqué de se poursuivre en parallèle des débats sur la technique et la destination de Bitcoin. Il ne s'agit plus seulement de viser tel ou tel objectif particulier, comme la capacité à égaler les performances d'un réseau de paiement électronique à l'échelle de VISA ou MasterCard, par exemple, mais de prendre en compte *tous les éléments et toutes les données* pour assurer une scalabilité sur *tous les fronts*. Le mot d'ordre de la scalabilité en soi est une montée en généralité par rapport à l'objectif initial. Ce glissement constitue le nouveau paradigme à partir duquel émergent les propositions relevant le défi sur lequel BitcoinXT a achoppé.

BIP-0109 et Bitcoin Classic

Alors que s'installe le paradigme de la scalabilité dans les réflexions et les expérimentations menées au sein de la communauté Bitcoin, émerge ce qui peut être vu comme la dernière branche en date issue des propositions de simple augmentation de la taille maximale des blocs inscrites dans le code source et formalisées en tant que BIP. Proposé initialement par Andresen sur la base de la BIP-0109 qui se contentait d'une limite fixe à 2 Mo, enrichi ultérieurement avec une règle proche de la BIP-0100, Bitcoin Classic représente une nouvelle tentative infructueuse d'obtenir l'adhésion des mineurs pour réorienter le réseau vers la vision fondatrice de Nakamoto : un réseau de paiement en pair-à-pair et non pas seulement une réserve de valeur.

Les premiers développements menés avec Bitcoin Classic reprennent la proposition BIP-0109 formulée par Andresen en janvier 2016 alors qu'il ne peut que constater que BitcoinXT ne reçoit plus de soutien. Cette proposition est résumé de la manière suivante :

358 Traduction littérale du mot anglais *scalability*. Nous employons le terme francophone, mais il s'agit d'un anglicisme – nombreux dans le secteur des techniques numériques.

”One-time increase in total amount of transaction data permitted in a block from 1MB to 2MB, with limits on signature operations and hashing.”³⁵⁹

Par rapport à BitcoinXT/BIP-0101, la proposition est plus simple puisqu’elle ne prévoit qu’une augmentation ponctuelle et que le saut est nettement moins important. Le doublement de la taille maximale des blocs permet de repousser les perspectives de congestion à très court terme sans pour autant rendre caduque la nécessité d’adjoindre des commissions pour obtenir leur traitement prioritaire par les opérateurs de minage. Plus de transactions auxquelles seraient toujours associées des commissions : il s’agit là d’un argument séduisant pour emporter l’adhésion des mineurs, surtout à l’approche d’une échéance importante, celle de la division par deux de la récompense associée à la découverte d’un bloc gagnant qui est attendue pour juillet 2016. Les limitations imposées quant aux calculs nécessaires pour valider les transactions avant de les inclure dans les blocs – calculs distincts de ceux requis pour le minage proprement dit, qui porte sur la recherche d’une empreinte répondant à la difficulté du moment à partir d’un bloc constitué entre autres de ces transactions préalablement validées – donnent aussi l’assurance à ces opérateurs que l’augmentation de la taille des blocs ne conduira pas à une consommation excessive des ressources qu’ils mettent en œuvre au dépens de la puissance allouée à la part « productive » que représente la recherche d’un bloc gagnant.

La proposition BIP-0109 est donc clairement taillée pour refonder un consensus entre les mainteneurs du code source qui portent la vision d’un réseau universel de paiement de pair à pair et les opérateurs de minage qui renforcent ce réseau en y apportant la puissance de calcul donnant de la valeur à la monnaie. Cette première étape, avec le doublement de la limite imposée aux blocs, se donne des objectifs aux ambitions réduites mais susceptibles de rassurer la communauté quant à la faisabilité et la pertinence de la tendance ainsi imprimée.

Bitcoin Classic, qui s’appuie initialement sur la proposition BIP-0109, est donc annoncé dans la foulée de cette proposition comme un « fork » de Bitcoin Core, la version originale maintenue par les *core developers*, de la même façon que l’avait été le démarrage de BitcoinXT à partir de la proposition BIP-0101. Bitcoin Classic prévoit par ailleurs d’autres évolutions³⁶⁰ qui ne sont pas couvertes par une proposition BIP et qui portent sur

359 cf. <https://github.com/bitcoin/bips/blob/master/bip-0109.mediawiki> consulté le 23 mai 2017. « Une augmentation ponctuelle du volume total de données sur les transactions autorisé dans un bloc de 1 Mo à 2 Mo, avec des limites sur les opérations de signature et le calcul d’empreintes »

360 cf. <https://github.com/bitcoinclassic/documentation/blob/master/roadmap/old/roadmap2016.md> et <https://github.com/bitcoinclassic/documentation/blob/master/roadmap/old/technical2016.md> consultés le 23

l'optimisation du protocole de transmission des blocs entre pairs afin de réduire la fréquence des blocs orphelins sur le réseau ainsi que la bande passante requise pour ces transmissions. De nouveau, ces optimisations visent à améliorer la productivité des mineurs.

Mais, malgré ces précautions pour emporter l'adhésion des opérateurs de minage, Bitcoin Classic connaît le même sort que BitcoinXT. Après un démarrage plutôt prometteur en février 2016, le nombre de nœuds affichant leur préférence pour Bitcoin Classic stagne puis décroît franchement à partir d'avril 2016 et ne représente plus aujourd'hui qu'un nombre très restreint, et même anecdotique, par rapport au réseau Bitcoin dans son ensemble³⁶¹. La méthode employée pour convaincre les opérateurs de minage d'accompagner le « fork » initié par Bitcoin Classic semble avoir été le principal obstacle à son adoption. Tout d'abord, elle a été perçue comme agressive car la communauté s'était accordée à l'issue de la conférence de Hong Kong sur le fait que les contributions à Bitcoin Core demeuraient la voie privilégiée pour introduire des évolutions. Quels que soient les bénéfices que pouvaient représenter pour les opérateurs de minage les optimisations proposées dans la feuille de route de Bitcoin Classic, l'engagement pris lors d'une autre réunion à Hong Kong en février 2016³⁶² avait un poids bien plus fort car il reposait sur la conviction largement partagée que le consensus représenté par Bitcoin Core était la meilleure voie pour préserver la valeur déjà accumulée au sein du réseau existant³⁶³. L'autre facteur qui a pu peser dans l'absence de relais pour les propositions de Bitcoin Classic au sein de la communauté est le fait de s'être focalisé sur l'adhésion des mineurs et d'avoir ainsi négligé d'autres acteurs qui voient dans la feuille de route de Bitcoin Core des propositions plus adaptées à leur propres objectifs. C'est le cas notamment de Lightning Network que nous présenterons ultérieurement.

La proposition BIP-0109 est formellement rejetée en novembre 2016 devant le constat qu'elle ne fait plus l'objet d'aucune activité en termes de développement ou de documentation, y compris au sein de Bitcoin Classic³⁶⁴. Une nouvelle feuille de route pour

mai 2017.

361 cf. <https://coin.dance/nodes/classic> consulté le 23 mai 2017.

362 cf. <https://medium.com/@bitcoinroundtable/bitcoin-roundtable-consensus-266d475a61ff> consulté le 23 mai 2017

363 Ce que Mike Hearn interprète de son côté comme une soumission « naturelle » à l'autorité provenant de personnes issues d'un pays cultivant cette propension, comme nous l'avons vu dans la note 257...

364 cf. <https://github.com/bitcoin/bips/commit/710a20ad331abcd64c01f114143fbb17dc47fae2> consulté le 23 mai 2017

Bitcoin Classic est par ailleurs publiée³⁶⁵ en novembre 2016, peu avant que le rejet de BIP-0109 soit acté. Cette feuille de route a été rédigée par Thomas Zander qui est aussi quasiment l'unique contributeur au code source³⁶⁶ et à la documentation³⁶⁷ de Bitcoin Classic depuis juillet 2016. Il y fait toujours référence à Nakamoto pour justifier la nécessité d'un réseau capable de traiter un volume important de transactions :

"The Bitcoin Classic team will work to realize Satoshi's vision of making Bitcoin scale into a global peer-to-peer cash system, not merely a settlement network. We believe on-chain scaling is crucial for the long term health of Bitcoin. On-chain scaling maximizes transaction volume, whose fees are needed to replace miner rewards on the medium to long term scale."³⁶⁸

Mais cette capacité à absorber un important volume de transactions ne passe plus par un ajustement de la taille des blocs déterminé par un paramètre, même évolutif, au sein du code source. Elle repose plutôt sur les « forces du marché » construit à partir d'indications fournies par les mineurs et de l'historique récent des transactions. Le contrôle du paramètre est donc remis au sein de la chaîne de blocs de manière plus générale.

"Our preferred strategy for on-chain scaling is move the control over the block size from the software developers to the open market. The maximum size hardcoded in the protocol should be replaced with one where block-creators (miners) choose the size based on what the market as a whole indicates they need. The indicators are acceptable block size on one side and transaction backlogs on the other."³⁶⁹

Cette évolution, qui part d'un paramètre constant fixé par les développeurs pour aller vers un mécanisme de marché fondé sur l'information produite par les utilisateurs et les mineurs de Bitcoin, en plus d'être de nouveau un exemple de l'extension du domaine du

365 cf. <https://github.com/bitcoinclassic/documentation/blob/master/roadmap/roadmap2016-2017.md> consulté le 23 mai 2017.

366 cf. <https://github.com/bitcoinclassic/bitcoinclassic/graphs/contributors> consulté le 23 mai 2017.

367 cf. <https://github.com/bitcoinclassic/documentation/graphs/contributors> consulté le 23 mai 2017

368 « L'équipe de Bitcoin Classic travaillera à réaliser l'intention de Satoshi de hisser Bitcoin au niveau d'un réseau de paiement en pair-à-pair, et pas seulement un réseau de compensation. Nous pensons que le fait de pouvoir monter en charge au sein même de la chaîne est crucial pour la vitalité à long terme de Bitcoin. Cette capacité permet un volume maximum de transactions dont les commissions sont requises pour remplacer les récompenses attribuées au mineurs à moyen et à long terme »

369 « Notre préférence pour la stratégie de montée en charge va au contrôle de la taille des blocs par le marché libre et non plus par les développeurs du logiciel. La taille maximale fixée par le protocole au niveau du code source soit être remplacée par celle que les créateurs de blocs (les mineurs) choisissent à partir de ce que le marché dans sa globalité leur indique comme nécessaire. Les indicateurs sont une taille de blocs acceptable d'une part, et l'historique des transactions d'autre part ».

calcul, résume au sein d'un même projet la trajectoire empruntée par bon nombre des tenants d'un réseau global de paiement en pair-à-pair. Le déploiement de cette trajectoire ne s'est pas fait sans friction, comme nous avons pu le voir avec les conflits entre les développeurs partant sur des « forks » et les autres acteurs de la communauté Bitcoin, qu'ils soient mainteneurs de Bitcoin Core, opérateurs de minage ou fournisseurs de services marchands basés sur la chaîne de blocs. Dans le cas de Bitcoin Classic, cette trajectoire semble aboutir pour l'instant à une impasse car, d'une part, le projet ne dispose plus de soutien de poids dans la communauté, et d'autre part, sa maintenance est assumée par une équipe très réduite. Les deux raisons sont bien sûr liées, et l'expérience des projets de développement de logiciel libre montre qu'il est peu probable qu'un rebond soit possible sans événement extérieur. Lorsqu'un projet perd son élan – c'est-à-dire *l'effervescence routinière*³⁷⁰ qui anime les contributions croisées avec régularité en récompensant symboliquement les participants agissant sous le regard de leurs pairs – c'est vers d'autres projets similaires que se reportent les attentions et donc les contributeurs. Quant à ceux qui considèrent Bitcoin Core comme ne représentant plus la vision initiale de Nakamoto et Bitcoin Classic comme une branche morte, c'est vers Bitcoin Unlimited qu'ils tournent aujourd'hui leurs regards. Une des ambitions de ce projet est, en effet, de résoudre non seulement les problèmes techniques posés par le changement d'échelle qui est fixé comme horizon à Bitcoin, mais aussi les problèmes de gouvernance au sein de la communauté qui comprend aussi bien des développeurs que des chercheurs, des entrepreneurs, des investisseurs et bien sûr des utilisateurs.

Bitcoin Unlimited

Bitcoin Unlimited est un « fork » de Bitcoin Core initié par Andrew Stone qui propose d'abandonner toute limite à la taille maximale des blocs qui serait inscrite dans le code source et s'imposerait donc aux opérateurs de minage sur le réseau comme point de départ incontournable pour élaborer le consensus sur la chaîne de blocs. Cette limite doit plutôt émerger du consensus lui-même et donc être coconstruite par les mineurs et les utilisateurs de

370 Nous proposons le terme *effervescence routinière*, pour qualifier l'état d'esprit dans lequel se trouve un contributeur actif d'un projet open source dès lors que ce projet bénéficie de contributions soutenues. Sur les grandes plateformes dédiées à l'hébergement de projets de ce type, telles que GitHub par exemple, l'activité des contributeurs fait sans cesse l'objet d'évaluation et de notification aux autres membres du projet. Ces éléments constituent un contexte de « gamification » de l'activité (Feyisetan et al. 2015) qui relève alors du *digital labor* tel qu'il se pratique sur les plateformes de micro-tâches (Casilli 2016, p.10)

Bitcoin. Pour cela, le protocole met en place une sorte de place de marché sur laquelle les mineurs annoncent leur préférence concernant la taille maximale des blocs, qu'ils déterminent par ailleurs en s'appuyant sur l'historique des transactions fournissant des informations telles que le volume de transactions, les délais de validation ou les montants des commissions. La valeur optimale pour limiter la taille des blocs résulte alors de la chaîne de blocs la plus longue, c'est-à-dire avec le plus grand contenu en calcul, qui émerge en continu de la concurrence que se livrent les mineurs. Il s'agira de miner des blocs susceptibles de ne pas être rejetés par les autres du fait de leur taille trop grande, tout en maximisant le revenu en inscrivant le plus de transactions et donc de commissions possibles. Le terme « Unlimited » ne désigne pas le fait qu'il n'y aurait plus de limite à la taille des blocs, mais qu'il y aurait un choix illimité de préférences émises par les mineurs et contribuant à l'établissement d'une valeur optimale reflétée dans la chaîne de blocs.

Parmi les différents « fork » de Bitcoin Core, Bitcoin Unlimited est aujourd'hui la version qui a fait l'objet d'une adhésion la plus prolongée parmi les nœuds concourant au réseau³⁷¹, même si elle n'a jamais atteint les niveaux qu'ont pu connaître BitcoinXT et Bitcoin Classic avant d'être délaissés et si ce niveau d'adoption est aujourd'hui à la marge du réseau Bitcoin. Car si cette version a reçu le soutien d'un panel diversifié d'acteurs de la communauté dont certains de poids comme la société Bitmain³⁷², ainsi qu'un financement conséquent – en bitcoins, bien évidemment – en provenance d'un mécène anonyme, la solution innovante qu'elle propose s'est avérée manquer de stabilité et de mise au point. Plusieurs incidents liés à cette version ont conduit à l'arrêt des nœuds qui l'avait déployée. Le « consensus émergent » sur la taille des blocs n'est pas en cause puisqu'il n'a pas encore été activé pour que les nœuds puissent continuer à coopérer, mais c'est le code source produit par l'équipe de développeurs qui a conduit à ces dysfonctionnements. Ces incidents³⁷³, et la façon dont ils ont été traités par les mainteneurs de Bitcoin Unlimited, ont conduit une partie de la communauté Bitcoin à s'interroger sur leur capacité à assurer le développement d'un projet de cette complexité au niveau des standards de qualité qu'il requiert.

371 cf. <https://coin.dance/nodes/unlimited> consulté le 24 mai 2017.

372 Bitmain est une entreprise spécialisée dans la conception de matériel de minage de type ASIC qui équipe la plupart des opérateurs industriels de minage, dont certains sont détenus par Bitmain lui-même. Bitmain assure la conception des ASIC, mais la fabrication elle-même est assurée principalement par TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company) un industriel taiwanais dans le secteur de la micro-électronique.

373 cf. <http://www.coindesk.com/bitcoin-unlimited-releases-bug-patch-as-exploit-brings-down-nodes/> consulté le 24 mai 2017.

Mais, au-delà du « fork » du code source afin d'implémenter de nouvelles règles pour le protocole, ce qui détache résolument Bitcoin Unlimited de Bitcoin Core, c'est la mise en place d'une gouvernance spécifique et explicite. Pour cela, le projet s'est doté d'institutions qui formalisent la statut de « membre de la communauté Bitcoin Unlimited » et définissent des rôles particuliers au sein de cette communauté, notamment un président et un secrétaire. Ce cadre formel est décrit dans une « constitution »³⁷⁴ dont le premier article revient sur la proposition initiale de Nakamoto publiée en 2008 et en fait donc le cœur des justifications du projet dans son ensemble. La deuxième section de ce premier article est titrée “*Governed by the code we run*”³⁷⁵. La formule peut sembler maladroite en évoquant certaines dystopies de la littérature ou du cinéma d'anticipation, telle que *Matrix*, par exemple. Mais elle fait surtout référence à “*code is law*”, titre d'un article écrit par Lawrence Lessig (2000). Il y fait le constat que « sur Internet, la régulation des comportements pass[e] moins par les normes juridiques que par l'architecture technique des plateformes que nous utilisons » (Maurel, 2014)³⁷⁶. Les évolutions du protocole proposées par Bitcoin Unlimited entrent cependant en contradiction avec cette référence puisque le protocole dont il est question ne constitue pas seulement une architecture technique, mais très explicitement un régulateur social, en l'occurrence le « libre marché ». C'est même en quelque sorte un renversement du constat de Lessig. Là où on peut voir dans les protocoles d'Internet, des choix techniques devenir des cadres pour des pratiques sociales, alors que ce n'était pas leur objectif, Bitcoin Unlimited propose comme principe premier un mode de régulation sociale qui doit ensuite guider la conception et la réalisation d'un protocole pouvant le prendre en charge, et en l'occurrence un protocole mis en œuvre par des techniques numériques. Ainsi, si le code va finir par imposer à ses usagers des contraintes qui semblent apparemment lui être intrinsèques, ce n'est cependant pas le code qui fait la loi, mais au contraire c'est la loi (du marché) qui a fait le code. Les rédacteurs de la « constitution » de Bitcoin Unlimited en appellent au libre choix du code auquel se conformer, mais ce libre choix est de fait plutôt un appel à la concurrence sur le « marché » des protocoles, et on en revient de nouveau à ce même principe régulateur premier qui ne semble pas pouvoir être écarté, et donc faire justement l'objet d'un libre choix. En définitive, il ne s'agit pas d'être gouverné par le code, que ce soit dans le sens de donner une

374 cf. <https://www.bitcoinunlimited.info/resources/BUarticles.pdf> consulté le 24 mai 2017.

375 « Gouverné par le code que nous exécutons »

376 cf. <https://scinfolex.com/2014/01/24/comment-code-is-law-sest-renverse-en-law-is-code/> consulté le 24 mai 2017

forme *automatique* à un contrat social ayant fait l'objet d'une délibération préalable³⁷⁷ ou bien de subir les effets inattendus d'une médiation technique³⁷⁸. Il s'agit bien plutôt d'automatiser un certain mode de régulation non négociable par le truchement du code³⁷⁹. Dans la vision des promoteurs de Bitcoin Unlimited, cela ne présente cependant pas de contradiction dans la mesure où ce mode de régulation est une loi « naturelle » qui identifie le libre choix avec la concurrence sans frein.

Dans ce contexte, la notion de consensus – littéralement, un « sentiment commun » – fait l'objet d'une profonde distorsion. Elle ne représente plus le produit d'une délibération collective, consciente et informée, toujours susceptible de rencontrer l'échec en n'aboutissant pas à une situation où la prise de décision commune serait possible. Cela devient plutôt l'optimum automatique et inconscient qui résulte d'un calcul demeurant opaque à ceux là même qu'il implique et qu'il isole tout à la fois. Le consensus qui est généralement invoqué pour fonder la gouvernance des projets de logiciels libres est celui correspondant à la première acception. Dans le cas de Bitcoin Unlimited, c'est explicitement la seconde qui exprime le principe fondateur de la conception du protocole et, à travers lui, une forme de régulation sociale qui a le caractère nécessaire et impersonnel d'une loi de la nature.

Lightning Network

Le projet suivant que nous allons étudier pour son implication dans la controverse sur la taille maximale des blocs prend une tout autre direction que ceux précédemment décrits. Ceux-ci proposent tous, en effet, d'assurer la montée en charge du réseau Bitcoin sur ses propres bases pour répondre à l'augmentation du nombre de transactions qui pourraient à terme être multipliées par un facteur dix mille. Le projet Lightning Network prévoit d'atteindre le même objectif non pas en modifiant la capacité du réseau Bitcoin en soi, mais en mettant en place un réseau connexe dédié aux paiements, la chaîne de blocs prenant alors

377 Ce qui peut s'inscrire dans une démarche visant à équiper techniquement un choix politique relatif au fonctionnement de la société, afin d'en optimiser la mise en œuvre, mais en conservant la primauté de ce choix et non pas visant l'efficacité technique à tout prix.

378 Ce qui peut traduire le manque de réflexion en amont sur des choix techniques, mais ne préjuge pas du fait que des visées politiques aient présidé à ces choix.

379 Ce qui correspond, dans ce cas, à une tentative de verrouillage d'un choix politique par son inscription dans un dispositif technique produisant une irréversibilité (Robert 2009, p.50). En termes de développement de logiciels, cela s'appelle une *encapsulation*.

résolument le rôle de stockage de valeur. Le réseau connexe est composé d'une collection de canaux de paiement pouvant être connectés les uns aux autres et permettant ainsi de tracer un chemin entre n'importe quels participants à une transaction. Il s'agit donc aussi d'un réseau de pair à pair. Ces canaux sont eux-mêmes créés ou fermés par l'intermédiaire d'une transaction sur le réseau Bitcoin, ce qui en garantit la solvabilité, ainsi que l'incitation pour les participants à une coopération honnête. Le nombre de canaux ouverts simultanément sur le réseau Lightning étant sans limite et chaque canal pouvant traiter de multiples transactions successives tant qu'il est ouvert, il n'y a plus de contrainte sur le nombre de transactions que ce réseau de paiement en pair-à-pair peut traiter dans un laps de temps donné, tout en conservant la valeur actuelle pour la taille maximale des blocs acceptés sur le réseau Bitcoin.

Il s'agit donc de détacher techniquement deux fonctions distinctes de la monnaie – moyen d'échange et réserve de valeur – en deux couches de protocoles dont l'une s'appuie sur l'autre, un peu à la façon dont sont architecturés les protocoles d'Internet. Chaque couche prend en charge un type de services, les couches les plus « élevées » s'appuyant sur les services rendus par les couches plus basiques. Cette « division du travail » protocolaire est un grand classique des pratiques de conception logicielle. Elle est permise par les notions d'abstraction et de découplage qui désigne en ingénierie logicielle le fait d'appréhender un composant uniquement par l'interface qu'il présente aux autres composants et de ne pas avoir à se préoccuper de son architecture interne. L'interface est en quelque sorte le contrat formel selon lequel le composant peut être invoqué. Une fois ce contrat rempli, n'importe quel composant peut se substituer à un autre formellement équivalent car l'interface définit sans ambiguïté les services accessibles et les modes opératoires pour y faire appel. Pour mettre en œuvre une architecture en plusieurs couches (*multi-layered*) il faut donc que les composants assemblés présentent eux-mêmes une interface stable et documentée qui permet aux développeurs des couches « supérieures » de ne pas se préoccuper des détails selon lesquels les composants « inférieurs » sont réalisés.

Or, cette documentation n'existe pas pour Bitcoin puisque le projet est fondé sur les deux bases suivantes : d'une part l'article de Nakamoto qui fournit une description générale de la solution et reste très éluusif en terme de conception logicielle ; et d'autre part le code source lui-même qui a connu de nombreuses évolutions et corrections sans le genre de planification et de vision d'ensemble que fournit généralement un document de spécifications

détaillées. Cette absence a des raisons qui s'expliquent par le fait que les premiers développeurs formaient un petit cercle qui partageait certainement une vision implicite issue d'une histoire commune, celle des *cypherpunks*³⁸⁰, et qu'il n'avaient donc pas besoin d'une documentation formelle pour coordonner leurs contributions. Pour qu'une architecture à plusieurs niveaux s'appuyant sur le réseau Bitcoin puisse être mise en œuvre, comme le prévoit Lightning Network, il y a, au contraire, besoin d'un travail préalable pour remettre à plat et définir avec précision la nature et la forme des services qui doivent être fournis. Les concepteurs de Lightning Network ont notamment identifié un certain nombre d'évolutions préalables de Bitcoin qui sont soit requises soit souhaitables pour pouvoir mettre en œuvre Lightning dans de bonnes conditions³⁸¹.

Quels que soient la qualité du code source et les mérites respectifs des développeurs historiques et de ceux qui en proposent une refonte, ce processus est générateur de frictions car il y a toujours un moment où ceux qui examinent l'existant pour en tirer des interfaces doivent faire la part entre le contenu concret dont ils héritent et la forme abstraite vers laquelle ils doivent tendre. Or, le caractère indissociable du contenu et de sa forme constitue aux yeux des promoteurs historiques de Bitcoin le ressort de leur engagement : il y a pour eux une unité entre la réalisation du système numérique et les transformations sociales revendiquées. L'approche technicienne, qui privilégie les bonnes pratiques de l'ingénierie logicielle pour laquelle contenu et forme doivent pouvoir être saisis indépendamment l'un de l'autre puis réunis dans la réalisation du logiciel, éventuellement par des personnes indifférentes au contenu, ne peut que heurter les *cypherpunks* qui portent un projet particulier de transformation sociale au travers d'un système numérique qui leur semble en être l'image et le moteur.

380 cf. <http://www.coindesk.com/the-rise-of-the-cypherpunks/> consulté le 25 mai 2017. Le terme *cypherpunk*, forgé par Jude Milhon – grande absente de l'article référencé ci-dessus – en accolant *cipher* (chiffrement) et *punk* en référence au genre de littérature de science-fiction nommé *cyberpunk*, désigne un groupe informel attaché à la protection de la vie privée. Il préconise pour cela l'emploi des outils de chiffrement pour les communications sur les réseaux publics et sont à l'initiative du développement de plusieurs de ces outils. Au sein de ce groupe, on peut noter la participation de Julian Assange, fondateur de WikiLeaks. Cette ONG spécialisée dans la publication de documents fournis par des lanceurs d'alerte, bénéficiera grandement de l'existence de Bitcoin en 2011 à l'occasion d'un blocus de son financement relayé notamment par Bank of America, VISA, MasterCard, PayPal et Western Union (cf. <https://www.forbes.com/sites/jonmatonis/2012/08/20/wikileaks-bypasses-financial-blockade-with-bitcoin> consulté le 8 juin 2017.)

381 cf. <https://diyhp.us/wiki/transcripts/scalingbitcoin/hong-kong/overview-of-bips-necessary-for-lightning/> consulté le 25 mai 2017.

Si le développement et le déploiement de Lightning Network ne nécessitent formellement pas de « hard fork » de Bitcoin – contrairement à BicoiXT, Bitcoin Classic et Bitcoin Unlimited – et pourraient sembler propices à une adoption sans obstacle au niveau technique, ils représentent tout de même un choc des cultures entre la vision *cypherpunk* et l’approche technicienne, un écart qui est parfois masqué par l’unité apparente ou proclamée de la communauté du logiciel libre. Le projet Lightning Network s’inscrit par ailleurs doublement dans la controverse sur la taille des blocs. D’une part, les évolutions du code source de Bitcoin requises pour répondre aux exigences d’interfaces abstraites et stables posées par le projet Lightning ne sont pas triviales et prennent du temps, ce qui exacerbe les tensions alors que l’on approche du moment où la saturation des blocs peut déstabiliser le réseau. De plus, ces évolutions doivent être réalisées par une équipe élargie pour absorber la charge de travail qu’elles représentent. Cet afflux de nouveaux contributeurs parmi les *core developers* est vécu par certains mainteneurs historiques comme une forme de prise de contrôle sur la destinée du projet. Ainsi la figure de Gregory Maxwell – directeur technique de la société Blockstream³⁸² qui porte le projet Lightning Network, mais aussi contributeur de Bitcoin Core³⁸³ – cristallise les critiques envers la direction prise par Bitcoin Core. Cette voie est d’autant plus considérée comme illégitime par les *cypherpunks* qu’elle est initiée par des personnes ne faisant pas partie des premiers contributeurs³⁸⁴ et, à ce titre, perçues comme porteuses d’un projet politique divergent.

Le projet Lightning semble par ailleurs être un projet de longue haleine dont le rythme est imposé par des contraintes relevant des « bonnes pratiques » des grands projets industriels d’ingénierie logicielle qui sont aussi ceux des grands projets d’infrastructure en général. Il y a d’abord la distinction entre une maîtrise d’ouvrage en charge de la définition des caractéristiques attendues³⁸⁵ et les maîtrises d’œuvre en charge de la réalisation³⁸⁶. Il s’agit ensuite de mener des tests régulièrement sur des infrastructures pilotes afin de valider le

382 Il quitte ce poste en janvier 2018. cf. <https://blockstream.com/2018/01/19/blockstream-bids-farewell-to-gregory-maxwell.html> (consulté le 29 juin 2018)

383 cf. <https://github.com/gmaxwell> consulté le 25 mai 2017.

384 cf. <http://www.coindesk.com/gregory-maxwell-went-bitcoin-skeptic-core-developer/> consulté le 25 mai 2017.

385 Elles sont définies dans un document publié sur un site dédié (<http://lightning.network/docs/> consulté le 1^{er} juillet 2018) dont la première version remonte à janvier 2017 et qui demeure toujours un document de travail en juillet 2018.

386 Quatre implémentations sont menées de front afin de fournir des alternatives. L’objectif est aussi de démontrer la possibilité d’assurer l’interopérabilité entre des applications s’appuyant sur des choix de conceptions internes différents.

comportement attendu et les performances obtenue. Cette démarche précautionneuse ne permet qu'une lente montée en charge et reste pour l'instant cantonnée à des usages limités³⁸⁷. Cette montée en charge, en plus de réclamer des étapes intermédiaires de validation technique, nécessite par ailleurs la mise en place de tout un nouvel écosystème de prestataires de services et d'opérateurs d'infrastructures, en complément de ceux déjà existant pour Bitcoin, auxquels s'appliquent des contraintes réglementaires ou économiques tout autant que techniques.

Bitcoin Cash

Ces perspectives semblent trop lointaines et incertaines pour un certain nombre d'acteurs de la communauté Bitcoin qui décident de franchir le Rubicon du « fork » au cours de l'été 2017 avec le démarrage de Bitcoin Cash le 1^{er} août 2017. Si les expériences BitcoinXT, Bitcoin Classic et Bitcoin Unlimited se sont avérées sans lendemain en terme d'adoption massive, Bitcoin Cash s'est installé rapidement et fermement dans le paysage des crypto-monnaies³⁸⁸, du fait du soutien du côté des opérateurs de pools de minage (ViaBTC, notamment), ainsi que de concepteurs de matériel dédié (principalement Bitmain, que l'on a accusé d'être à la manœuvre derrière le positionnement de ViaBTC), qui se sont de fait détachés du consensus élaboré avec les mainteneurs du code source (*core developers*) dès lors que ces derniers se sont engagés résolument dans le soutien à Lightning. Alors que le fonctionnement de Lightning requiert des ajustements préalables de Bitcoin Core afin d'activer des évolutions regroupées sous le nom de SegWit, tout en maintenant l'unité de la blockchain, le démarrage de Bitcoin Cash représente lui un « hard fork » à partir duquel les blockchains produites par Bitcore Core et Bitcoin ABC – l'application mettant en œuvre Bitcoin Cash – vont diverger. En effet, Bitcoin Cash définit une taille maximale de bloc à 8Mo – qui sera ultérieurement augmentée à 32 Mo – et n'inclut pas les évolutions SegWit. Tandis que le premier bloc dont la taille est supérieure à 1 Mo est miné sur la blockchain de Bitcoin Cash le 1^{er} août 2018, l'adoption définitive de SegWit est activée sur la blockchain Bitcoin le 23 août 2018.

387 cf. <https://diar.co/volume-2-issue-25/#1> (consulté le 1^{er} juillet 2018)

388 cf. <https://coinmarketcap.com/> (consulté le 1^{er} juillet 2018)

Chacun des deux camps qui s'affrontent met en avant la défense de la « décentralisation » de Bitcoin comme argument pour emporter l'adhésion de la communauté. Les tenants du *statu quo* en termes de taille maximale des blocs font valoir que la trajectoire qui va de SegWit à Lightning permettra réellement de faire de Bitcoin l'infrastructure de base d'un réseau de paiements global que de multiples opérateurs pourront investir et dont la mise en œuvre ne dépendra plus de la concentration de la puissance de minage. Les acteurs privilégiant l'augmentation de la taille des blocs favorable à la rentabilité de leurs activités au sein de l'écosystème Bitcoin font valoir que seule une poignée de développeurs privilégiés détiennent en dernier ressort la capacité de modifier le code source « officiel » de Bitcoin.

La puissance de minage consacrée à Bitcoin Cash dans les premières semaines qui suivent la bifurcation est suffisante pour maintenir la viabilité de cette blockchain en assurant une certaine rentabilité aux opérateurs de minage qui la privilégient. Il faut aussi noter que l'algorithme qui ajuste la difficulté de minage a été profondément modifié en novembre 2017 du côté de Bitcoin Cash. Cette modification a pour but d'amortir les changements abrupts induits par les va-et-vient de la puissance de minage entre les deux blockchains. En effet, comme celles-ci partagent le même algorithme de preuve de travail, les opérateurs peuvent basculer leurs ressources de l'une à l'autre en fonction de la rentabilité du moment. En raccourcissant le délai entre deux ajustements, l'écart entre la difficulté réelle et celle théorique tend moins à se creuser dans les phases où les opérateurs de minage révisent leurs priorités. Cette configuration permet à Bitcoin Cash de devenir une alternative crédible pour un certain nombre de cas d'emploi de crypto-monnaies – et donc d'activités économiques – que la hausse des frais de transactions avec Bitcoin avait rendu de moins en moins envisageables.

Si la puissance consacrée à Bitcoin Cash est suffisante pour qu'elle ne se dissolve pas dans les premiers temps et que des usages permettent ensuite d'en assurer la continuité, il s'avère que la blockchain qui se prolonge avec Bitcoin Core n'est que peu affectée par cette alternative car la puissance prélevée initialement n'a pas empêché la poursuite du calcul de nouveaux blocs, mais juste allongé temporairement le délai entre deux blocs. Ainsi, les deux blockchains cohabitent en adressant des usages spécifiques tout en fournissant autant d'opportunités de rentabiliser une infrastructure commune de calculs sans contenu propre.

Ainsi, le spectre du « fork » entraînant l'évaporation de la valeur constituée par la blockchain Bitcoin s'est éloigné sans faire plus de vague.

Nom	BIP	Proposition	Issue
BitcoinXT	BIP-0101	1. Augmentation immédiate de la taille des blocs à 8 Mo. 2. Augmentation ultérieure jusqu'à 8 Go par doublement tous les deux ans.	Échec suite à tentative de fork.
Bitcoin Classic	BIP-0109	1. Augmentation immédiate de la taille des blocs à 2 Mo. 2. Limitation sur les calculs de validation des transactions.	Échec malgré une proposition modérée.
Bitcoin Unlimited		1. Taille des blocs déterminée par « consensus émergent » : la valeur retenue est celle qui, parmi les propositions des mineurs, maximise la longueur de la blockchain.	Succès initial relatif, puis échec suite à diverses défaillances de l'équipe de développement.
Lightning Network	BIP-141 BIP-143 BIP-144 BIP-148	1. Découplage du protocole en deux couches : blockchain Bitcoin comme réserve de valeur, canaux Lightning comme réseau de paiements.	Longue mise au point nécessitant un lourd effort préalable de conception architecturale
Bitcoin Cash		1. Augmentation immédiate de la taille des blocs à 8 Mo, puis ultérieurement à 32 Mo. 2. Changement de l'algorithme ajustant la difficulté à la puissance de calcul mobilisée sur le réseau.	Succès relatif suite à un fork soutenu par certains grands opérateurs de minage.

Tableau récapitulatif des variantes de Bitcoin décrites dans la section courante

Trois catégories d'acteurs pour deux orientations

Lorsque Nakamoto introduit le paramètre « taille maximale des blocs » dans le protocole de Bitcoin, il n'est censé résoudre qu'un problème technique en répondant au risque d'une attaque potentielle par déni de service. Dès le départ, les mainteneurs du code source, à commencer par Nakamoto, ont conscience des limitations que cela pouvait imposer à la capacité du réseau. Mais, d'une part, la saturation semblait lointaine et d'autre part, d'autres contraintes techniques auraient tout de même induit de telles limitations, certes à un niveau plus élevé. Lorsque cinq ans après se profile concrètement la perspective du remplissage

continu des blocs, les propositions d'évolutions commencent à affluer mais la communauté Bitcoin – développeurs, mineurs, utilisateurs, investisseurs, etc. – est incapable de trancher selon la méthode du consensus car le problème s'avère ne pas avoir que des implications techniques. La controverse s'envenime et finit par accoucher de deux positions qui ne cherchent plus à défendre simplement telle ou telle valeur ou règle pour le paramètre, mais carrément à orienter le développement de Bitcoin dans deux directions qui sont perçues comme antagonistes : d'une part, un réseau unique assurant de manière monolithique toutes les fonctions d'une monnaie, d'autre part, la prise en charge de ces fonctions par des réseaux liés mais distincts. Schématiquement, la première position est défendue par ceux qui considèrent comme inséparables le projet de transformation sociale qui sous-tend Bitcoin et le système numérique qui tout à la fois représente et produit ce changement escompté ; tandis que la deuxième position est défendue par ceux qui voient dans les bonnes pratiques d'ingénierie logicielle des principes généraux devant guider le découplage des problèmes à résoudre en domaines séparés et hiérarchisés³⁸⁹. Une autre catégorie d'acteurs est aussi impliquée dans le projet Bitcoin sans se reconnaître explicitement ou implicitement dans les deux positions qui polarisent aujourd'hui le débat sur la montée en charge du réseau Bitcoin. Il s'agit de ceux qui sont intéressés au fonctionnement de ce réseau sur la base d'un modèle économique d'activité (*business model*). On peut classer dans cette catégorie les opérateurs de minage, bien sûr, mais aussi ceux qui proposent des plateformes de change entre les bitcoins et les monnaies officielles telles que le dollar ou l'euro, ou bien encore des services connexes aux transactions comme les *colored coins* qui représentent des actifs sur la base de très petites sommes en bitcoins³⁹⁰. Si ces acteurs économiques s'intéressent aux tenants et aux aboutissants de la controverse, c'est pour essayer de distinguer les risques afférents à chaque scénario et ainsi déterminer l'orientation la plus propice à leurs activités. Ils peuvent être amenés à faire eux-mêmes des propositions si cela leur paraît susceptible de rendre la situation moins incertaine. C'est par exemple l'objectif des conférences « *Consensus* » qui se sont tenues en 2015³⁹¹, 2016³⁹² et 2017³⁹³ à New York et dont la dernière a été le cadre pour

389 Comme nous l'avons vu dans la première partie, cette attitude peut aller jusqu'à appliquer les notions d'abstraction et de découplage aux méthodes et aux environnements de travail même des développeurs, comme le propose Joel Spolsky en les isolant de toute préoccupation concernant les autres fonctions de l'entreprise afin d'optimiser leur productivité. cf. <https://www.joelonsoftware.com/2006/04/11/the-development-abstraction-layer-2/> consulté le 26 mai 2017.

390 cf. <https://bitcoin.fr/colored-coins/> consulté le 26 mai 2017.

391 cf. <http://www.coindesk.com/events/consensus-2015/> consulté le 26 mai 2017.

392 cf. <http://www.coindesk.com/events/consensus-2016/> consulté le 26 mai 2017.

393 cf. <http://www.coindesk.com/events/consensus-2017/> consulté le 26 mai 2017.

aboutir à une déclaration commune³⁹⁴ de 58 entreprises pour appeler à mettre en œuvre sans délai une solution combinant l'activation des éléments nécessaires à Lightning Network et l'augmentation de la taille maximale des blocs à 2 Mo. Cette déclaration fait elle-même écho à la précédente proposition faite en février 2016 à l'issue de la table ronde organisée à Hong Kong³⁹⁵, avec cette différence qu'elle n'emporte plus l'adhésion des *core developers* qui avaient participé à la table ronde.

Les trois catégories d'acteurs que nous avons identifiées en exposant les ressorts de la controverse – les *cypherpunks*, les *architectes* et les *investisseurs* – s'accordent au moins sur un point : il faut développer le projet Bitcoin puisqu'il ouvre de nouvelles opportunités. Les opportunités que chaque catégorie met en avant sont bien sûr différentes, et le projet connaît actuellement une phase où elles semblent contradictoires. Les *cypherpunks* visent une transformation sociale, les *architectes* un système performant et évolutif et les *investisseurs*... un retour sur investissement. Mais la controverse ne marque pas une incompatibilité définitive de ces trois objectifs, seulement un moment de crise lié au changement d'échelle auquel la réussite même de Bitcoin appelle. Certes, cette crise peut se terminer par l'effondrement du réseau, mais d'autres crypto-monnaies proposent suffisamment de variations quant à leur conception pour qu'un autre modèle soit viable et prenne le relais, au moins temporairement, jusqu'à rencontrer ses propres limites intrinsèques. Ce qui reste incontournable, c'est que l'expérimentation de ces modèles se fera dans le double cadre des techniques numériques et des contraintes économiques.

Si les sciences de l'information et de la communication se sont penchées sur l'étude des controverses en de multiples occasions et pour de multiples raisons³⁹⁶, le numérique n'est pas pour autant systématiquement lui-même l'objet des controverses ainsi étudiées. Bien sur, sans être le sujet de la controverse, le numérique peut quand même faire partie des préoccupations de ce genre d'études, notamment sur un plan épistémologique, dès lors qu'il est de plus en

394 cf. <https://medium.com/@DCGco/bitcoin-scaling-agreement-at-consensus-2017-133521fe9a77> consulté le 27 mai 2017.

395 cf. <https://medium.com/@bitcoinroundtable/bitcoin-roundtable-consensus-266d475a61ff> consulté le 31 mai 2017.

396 Notamment pour y apporter le point de vue particulier de la perspective communicationnelle travaillée dans la discipline. Le numéro 73 de la revue *Hermès* est consacré à cette perspective qui pose qu'« une controverse ne peut être finement analysée sans prendre en compte le processus de publicisation du problème dont elle relève, la construction des cadrages médiatiques qui influence la perception de ses enjeux, les stratégies de communication qui déterminent en partie la trajectoire des arguments ou encore la matérialité des arènes qui conditionne la forme des échanges et des débats. » (Badouard et Mabi, 2015, p.12)

plus massivement mobilisé comme terrain d'où observer la controverse ou comme outil pour traiter les données et mettre en forme des résultats, jusqu'à susciter l'émergence d'un nouveau champ de recherche que certains comment « humanités numériques ». Des approches critiques permettent d'ailleurs de poser que « le rôle des SIC n'est pas tant de "*produire une épistémologie de ce type de recherche*" que de questionner leurs "prétentions" épistémologiques [...] » (Bigot, Julliard et Mabi, 2016). Il reste cependant que la place du numérique dans l'étude des controverses est aujourd'hui abordée principalement, en SIC, en évaluant l'impact de ses usages, qu'il s'agisse de ses effets sur le déploiement de la controverse ou des biais introduits par le dispositif sociotechnique dans le travail scientifique lui-même.

La controverse sur laquelle nous nous penchons porte, quant à elle, sur un objet numérique, et plus particulièrement sur sa conception technique et, même, sur la définition du *cahier des charges* auquel il doit répondre. Du fait que la méthode employée pour conduire le projet Bitcoin s'apparente à celle avec laquelle sont développés les protocoles de l'Internet (IETF) ou les standards industriels (NIST), comme nous l'avons déjà évoqué, nous sommes dans un registre spécifique des controverses technoscientifiques : il s'agit d'arbitrer entre des options techniques ou des fondements épistémiques, afin de produire de nouvelles « inscriptions » (Alkirch et Latour 1992) dans des dispositifs techniques tels que des logiciels ou des instruments de mesure. Les différentes « de-scriptions » du dispositif existant, qui sont faites par les protagonistes de la controverse, sont alors mobilisées pour faire valoir autant de points de vue visant à sélectionner telle ou telle « in-scription » comme étape suivante.

Lemieux (2007, p.195) caractérise la controverse par le fait que les conflits qui sont présentés comme tels « ont toujours une structure triadique : ils renvoient à des situations où un différend entre deux parties est mis en scène devant un public, tiers placé dès lors en position de juge ». De plus, « à l'intérieur de la "famille" des conflits triadiques, les controverses semblent se distinguer nettement par la composition très sélective du public qu'elles mobilisent. » (ibid., p.196). Si le public s'élargit bien au-delà, en impliquant des profanes ou la puissance publique, alors il ne s'agit plus de controverse, mais de crise institutionnelle. De même, si le public est exclu de la dispute, alors nous n'avons plus affaire qu'à « un différent privé entre pairs ». Cette structure triadique est bien présente dans la controverse sur la taille maximale des blocs, avec deux parties, représentées respectivement

par les *cypherpunks* et les *architectes*, dont le différend doit être tranché par les *investisseurs*, mis en position de juges.

Dans le cas d'une controverse autour d'un objet numérique, il faut cependant introduire quelques facteurs supplémentaires dans cette structure triadique pour comprendre pourquoi le conflit, loin d'être tranché par le public pris à témoin, est au contraire l'occasion d'une démultiplication des propositions qui sont, certes mises en concurrence, mais d'une façon qui alimente l'expansion de chacune plutôt que la neutralisation des unes par les autres. En effet, si le conflit autour de la taille maximale des blocs semble s'enliser, ce n'est pas parce que les *investisseurs* restent indécis, mais parce que chacune des positions constitue une opportunité de présenter un « porteur d'espoirs » dans le cadre d'une production – avérée ou projetée – de marchandise d'ordre 2. Le numérique a pour lui deux caractéristiques qui le rendent particulièrement adéquat à la constitution de ce genre d'opportunités.

Il y a tout d'abord le fait que les controverses soulevées par ce genre d'objet ne peuvent se départir de l'*impensé* (Robert 2009, 2012, 2014a) qui accompagne le mouvement d'informatisation et de numérisation. Les débats se trouvent donc piégés dans des ressassements de l'évidence, du formatage et des leurre qui sont les marqueurs³⁹⁷ du *macro-techno-discours*, cadre discursif de cet impensé. On peut même se poser la question de savoir si la controverse fait réellement débat, dans la mesure où l'ensemble des protagonistes restent enfermés dans ce cadre, et participent à sa reproduction, sans pouvoir dessiner d'échappatoire. L'objet Bitcoin lui-même n'est pas interrogé, seuls des paramètres à la marge sont discutés, et d'une manière qui ne permet pas de prise de décision effective. Il n'est, par exemple, pas envisageable d'aborder, sur le seul terrain de l'ajustement de telle ou telle propriété du protocole, la pertinence des assertions relevant d'un « solutionnisme numérique »³⁹⁸ (Morozov 2014, Laugée 2014), ni le postulat selon lequel des monnaies privées seraient plus viables et plus souhaitables que les monnaies émises par des états souverains ou leurs émanations. A ce titre, Bitcoin constitue, bien évidemment, un cas supplémentaire de *glissement de la prérogative politique* (Ibid.) accompagnant le déploiement des techniques numériques, ainsi qu'un terrain propice à la « *gestionnarisation* » (Ibid.) en mettant en place un moule unique standardisant les interactions humaines dans le format de la transaction.

397 Nous aborderons plus en détail ces marqueurs dans le chapitre 10, dans lequel nous opérerons un bouclage post-liminaire entre la première et la seconde partie de notre thèse.

398 Concernant la notion de « solutionnisme numérique », elle fera aussi l'objet d'un développement à l'occasion du bouclage évoqué ci-dessus.

Le caractère bifide concret/abstrait du numérique est l'autre caractéristique qui inscrit les controverses concernant les innovations et les évolutions de ce domaine dans la recherche de porteurs d'espoirs destinés à soutenir la production de marchandise d'ordre 2. En effet, les pairs mis en position de juger des propositions faites par les différentes parties – à savoir, les *investisseurs* – objective les éléments du débat non pas du point de vue des contenus concrets, comme pourraient le faire des pairs jugeant différentes approches théoriques dans une controverse scientifique, mais du point de vue de l'abstraction réelle que constitue l'espace des calculs envisageables avec une machine de Turing universelle. Dans le cas particulier de Bitcoin, cet espace s'objective et se quantifie de manière déterminante par la masse toujours croissante des calculs sans contenu propre réalisés par les opérateurs de minage. La comparaison entre les différentes propositions ne se fait donc pas dans l'objectif de trancher entre des contenus incommensurables, mais en laissant se déployer chacune d'entre elles pour élire au final un éventuel vainqueur sur la base d'un critère purement quantitatif et abstrait. Le processus ne peut que conduire à la multiplication des propositions, formellement réductibles les unes aux autres, et donc au déferlement.

Conclusion de la seconde partie

Notre objectif dans cette seconde partie, consacrée à divers aspects empiriques du composite Bitcoin, a été « de tenter de [le] décrire et de [le] formaliser [comme un] ensemble de représentations sociales, de productions matérielles, de relations sociales et de normes organisationnelles, qui sont rendues accessibles par l'analyse des phénomènes habituellement décrits en termes “d’usages”. » (Le Marec 2002a, p.185). Une première série d'interprétations a été construite au fil des descriptions de ces éléments, ces interprétations se faisant « au bénéfice de la construction d'autres conceptualisations » (*ibid.*, p.55) que nous avons exposées dans la première partie. La variété des interprétations que nous pouvons tirer de l'étude du composite montre bien qu'il s'agit d'« une unité hétérogène qui se saisit dans l'enquête, mais qui ne correspond pas à une réalité pré-conceptualisée par des acteurs. » (*ibid.*, p.188) et que seul l'effort théorique préalable permet de rassembler dans un schéma commun sans jamais toutefois en déterminer tous les aspects. Car, il s'agit aussi de montrer en quoi ce composite participe au développement de la logique bifide, que nous avons identifiée comme caractéristique des techniques numériques, en première partie.

A l'instar du protocole de recherche adoptée par Joëlle Le Marec et Igor Babou dans leur enquête sur la BPI (Bibliothèque Publique d'Information) du Centre Pompidou à Paris, nous avons choisi de nous « [interdire] la possibilité de désigner une catégorie sociale “d’usagers” qui pré-construirait l'usage comme étant ce que font ceux qui sont les usagers du dispositifs [sic] » (*ibid.*, p.186), (les lecteurs dans le cas des bibliothèques et les parties prenantes de transactions dans le cas de Bitcoin). L'usage n'est donc pas abordé comme « quelque chose qui achève un processus générant son inscription dans une organisation » (*ibid.*). Cette « dissolution de la notion d'usage dans son approche classique³⁹⁹ » (*ibid.*), est à la fois possible et nécessaire, dès lors qu'il s'agit de poursuivre l'objectif de notre seconde partie, évoqué en entame de sa conclusion. Si l'usage, au sens classique, se dissout comme *détournement* du terrain d'enquête, ce dernier est alors « construit par la recherche, défini *a priori* » (*ibid.*, 187) comme « une configuration hétérogène et dynamique » – un composite,

399 « L'usage est par exemple souvent saisi par la sociologie à travers des discours d'acteurs ou des comportements observés sans tenir compte de la circulation des textes, de même que les textes constituent pour la sémiotique une catégorie autonomisée en corpus et détachée des pratiques sociales » (Le Marec et Babou 2003, p. 235)

donc – qui « [décrit] des situations de travail⁴⁰⁰ au sein desquelles des individus mobilisent à la fois des objets matériels et des représentations (priméité), réalisent des actions (secondéité) et mettent en œuvre des systèmes de normes ou des règles opératoires (tercéité) »⁴⁰¹ (*ibid.*, p.187). De plus, une « situation de travail », parce qu'elle est socialement pertinente pour ses acteurs, permet de définir « l'unité par laquelle on saisit les usages et les objets qu'ils génèrent [...] en cohérence avec le terrain choisi à la fois dans sa propre logique et dans la nôtre. » (*ibid.*).

Pour construire le composite Bitcoin, nous avons donc décrit tout au long de cette seconde partie, des « situations de travail », en cherchant à cerner les objets, représentations, actions, normes et règles impliqués pour chacune d'entre elles, sachant que ces situations ne sont pas réductibles à des « choses inscrites », mais sont aussi des « unités socio-communicationnelles bornées et objectivables » (Le Marec 2002b, p.15). Nous allons rapidement reparcourir ces descriptions afin de donner une vision synthétique des éléments qui constituent le composite, ainsi qu'un schéma global les situant les uns par rapport aux autres, distribués entre priméité, secondéité et tercéité.

Nous avons d'abord exposé dans le premier chapitre de cette seconde partie des éléments de contexte pour situer les conditions qui concourent à l'émergence de Bitcoin. Le premier élément de contexte évoqué est la crise de 2008 qui est l'événement auquel est rattaché explicitement le démarrage du registre des transactions par son créateur et pour laquelle ses promoteurs initiaux ambitionnent d'apporter une solution. Pour élargir ce contexte à d'autres éléments significatifs, nous avons inscrit cette crise dans une séquence remontant au milieu des années 1990 et se poursuivant jusqu'à aujourd'hui avec des effets

400 Une « situation de travail » ne se réduit pas à une situation observée au sein d'une entreprise, d'une administration ou même dans un cadre associatif. Ces contextes ne sont pas les seuls où l'on puisse se pencher sur la combinaison de « tâches professionnelles », dans le sens où elles requièrent un certain degré de compétences, d'organisation et de coordination. Le cas du développement de projet « open source » en est un premier exemple, avec son mélange d'engagement militant et d'expertise technique prenant appui sur des outils collaboratifs dédiés au partage d'information et à la communication. La notion de *digital labor* permet d'en étendre encore la portée. Enfin, les « scènes » sont des cadres d'analyse tout à fait pertinent pour observer des « situations de travail », compatibles avec la description de composites.

401 La triade « priméité – secondéité – tercéité » est établie par le sémiologue Charles Peirce comme méthode pour clarifier les idées. Le Marec et Babou la réemploie dans la description des composites comme guide méthodologique, sans leur donner de rôle explicatif *a priori* : « Pour les arracher au flux des phénomènes reliés les uns aux autres par des points de vue empiriques locaux, nous les avons structurés au moyen des trois registres de signification de Pierce [sic], qui sont suffisamment arbitraires et larges à la fois, pour ne pas ressembler à une mécanique explicative, mais qui, tout au contraire, laissent toute latitude pour progresser peu à peu dans la conceptualisation en évitant l'exigence d'intégrer la totalité des articulations et de phénomènes perçus, sans opérer de découpe de confort, aveugle à elle-même, dans le flux de ces phénomènes. » (Le Marec 2002b)

toujours visibles. Cette mise en perspective permet d'indiquer que la bulle Internet n'est pas sans rapport avec la situation de 2008 qui impulse l'élan pour les crypto-monnaies, et qu'il n'est peut-être pas inutile d'étudier cette conjonction entre une séquence de crises à multiples rebondissements et la montée en puissance du numérique comme phénomène de masse. Le deuxième élément de contexte que nous avons exposé est constitué par le développement des outils de cryptographie numérique, et en particulier les fonctions de chiffrement à clés asymétriques et les fonctions de hachage. Ces fonctions font partie de la boîte à outils aujourd'hui disponible pour la conception et la réalisation des applications numériques. Les premières ouvrent de nouvelles opportunités à la communication sur des infrastructures numériques, tandis que les secondes présentent une capacité de réduction qui efface toute traces du contenu spécifique des données traitées sans pour autant s'en détacher complètement. Le troisième élément de contexte auquel les crypto-monnaies sont associées est le développement des réseaux numériques en pair-à-pair déployés sur Internet. Dans le cas de Bitcoin, ce choix d'architecture n'est pas seulement une alternative à un service centralisé fourni et contrôlé par un des opérateurs nés dans le cadre de la massification des usages d'Internet. Il s'agit de prendre en charge des fonctions transverses de l'économie assumées jusque-là par les institutions bancaires et financières, à savoir la création et la circulation monétaires.

Nous avons ensuite exposé dans le deuxième chapitre de cette seconde partie un panel d'acteurs et de milieux impliqués dans l'émergence de Bitcoin, en commençant par les positions des promoteurs des crypto-monnaies qui se déploient selon deux thématiques. Il y a tout d'abord celle portée par « l'idéologie californienne » qui voit dans le développement des techniques numériques les conditions d'une transformation sociale profonde et nécessaire pour résoudre les grands problèmes auxquels sont confrontés nos sociétés (Robert 2012, Turner 2013, Morozov 2014, Laugée 2014). L'autre thématique développée par les promoteurs de Bitcoin est celle des monnaies privées qui sont proposées comme alternative au contrôle centralisé de la monnaie par un acteur privilégié et à la délégation de certaines opérations à des tiers de confiance. Dans ce chapitre, nous avons poursuivi notre panorama de la communauté Bitcoin par une analyse de ses acteurs, lieux et événements parisiens en terme de « scène », ce qui conduit à caractériser cette communauté par une certaine effervescence et à la rapprocher de celle qui s'était développée dans la deuxième moitié des années 1990 autour d'activités contribuant à l'émergence d'un Web professionnel. Nous avons abordé

ensuite un autre pilier important de la communauté Bitcoin puisqu'il soutient la réalisation concrète des logiciels sur la base desquels se constitue le réseau. Ce pilier est le mode de gouvernance du projet Bitcoin, qui est fondamentalement celui d'un projet « open source » et que nous avons décrit au travers des outils que la communauté se donne pour le mettre en œuvre. Ce point a permis de mettre en évidence un rapport spécifique du développement de Bitcoin à la notion de « fork », puisqu'elle n'engage pas que les mainteneurs du code source, mais aussi l'ensemble de ses utilisateurs plus soucieux de conserver l'unité du réseau que de le faire évoluer vers des solutions plus adéquates à leurs besoins. Enfin, ce chapitre consacré aux parties prenantes de l'émergence de Bitcoin s'est penché sur les sites Web d'information dédiés aux crypto-monnaies. Concernant la ligne éditoriale adoptée par ces sites, deux tendances ont été mises en avant. La première aborde les crypto-monnaies comme des supports potentiels pour des activités économiques dérivées dans le domaine de la finance ou des services. Pour cette tendance, il s'agit donc de sélectionner et d'organiser l'information de façon à ce qu'elle puisse guider des décisions prises par des investisseurs professionnels. La seconde tendance privilégie une audience moins experte en proposant des contenus et des traitements plus anecdotiques. Cette tendance peut dériver vers le relais d'opérations frauduleuses par l'intermédiaire des espaces publicitaires voire du contenu éditorial, et les inscrit donc potentiellement dans le domaine des *fake news*.

Le troisième chapitre de cette seconde partie nous a permis de nous focaliser sur un objet particulier, le protocole mis en place sur le réseau Bitcoin. En déroulant pas à pas les différentes interactions dont il est le support, tout en restant dans une description « interne » qui ne cherche pas à attribuer de significations particulières aux composants impliqués, nous avons mis en évidence un caractère bifide qui associe une face concrète représentant les transactions menées par les utilisateurs et une face abstraite représentant les calculs sans contenu propre réalisés par les mineurs. À ce titre, nous posons l'hypothèse que Bitcoin peut être rapproché des plateformes numériques pour lesquelles les utilisateurs fournissent un contenu qui sert ensuite de carburant pour alimenter des algorithmes au bénéfice de l'opérateur de la plateforme. Ces plateformes opèrent sur un marché biface⁴⁰² (Rochet et Tirole 2003, Sonnac 2006) avec un service souvent fourni gratuitement d'un côté, généralement au grand public, et un service vendu de l'autre, correspondant souvent à la vente

⁴⁰² Les sciences économiques qualifient un marché de biface dès lors que celui-ci assure la coexistence entre deux clientèles échangeant des produits de natures différentes mais interdépendantes. Ce genre de marchés est caractérisé par le fait que chacune des deux sphères d'échanges, par son activité propre, fournit une opportunité de développer l'activité de l'autre sphère.

d'espaces publicitaires ajustés à leur audience, mais d'autres occurrences sont possibles. Le réseau Bitcoin présente aussi cette caractéristique d'adresser deux usages bien distincts, les transactions et le minage, mais avec des externalités croisées, c'est-à-dire que l'usage d'un côté est une incitation pour la participation des usagers de l'autre côté. Contrairement à une plateforme « classique », il n'y a pas d'opérateur central pour fixer les prix de part et d'autre. Mais on peut voir les algorithmes de Bitcoin comme un acteur impersonnel assumant ce rôle de faire émerger un coût de transaction – la commission – et un coût de minage – la difficulté. On voit au passage que la disparition formelle de cet opérateur central au profit d'une compétition généralisée n'est qu'une variation sur le même thème et ne conduit pas à modifier le rapport des usagers à la plateforme qui demeure celui d'une dépendance à un opérateur devenu par ailleurs – encore plus radicalement – impersonnel et sans possibilité de réappropriation.

Le quatrième chapitre de cette seconde partie a permis de mettre en évidence, au travers de la controverse concernant la taille maximale des blocs, un moment de défaillance des modes de gouvernance mis en place au sein de la communauté des parties prenantes du développement de Bitcoin. Si cette défaillance révèle, bien sûr, des divergences entre trois catégories d'acteurs impliqués aujourd'hui dans la mise en œuvre du réseau Bitcoin, il convient tout de même de signaler qu'elle advient à un moment critique de la croissance du réseau qui rend ces trois positions inconciliables de manière conjoncturelle. Jusque-là, les marges d'innovations disponibles au niveau du matériel et de la concentration de la puissance de calcul avaient permis d'assurer la nécessaire croissance de cette puissance. Mais plus aucune perspective d'évolution drastique dans le domaine de l'ingénierie des processeurs n'est réellement envisageable à court terme et la concentration de la puissance de calcul menace la robustesse de la chaîne de blocs, et donc la valeur qu'elle représente pour ses usagers. Seul l'ajustement des paramètres du protocole apparaît alors comme un moyen pouvant être mobilisé afin de maintenir la dynamique d'augmentation de la puissance de calcul tout en conservant des perspectives de rentabilité pour ceux qui la mettent en œuvre. Mais à ce stade, personne n'est en mesure de prédire quels seraient les effets de la modification de tel ou tel paramètre, selon telle ou telle valeur.

Dans le registre de la priméité – des individus mobilisent des objets et des représentations – nous pouvons classer les outils de cryptographie numérique et les réseaux numériques en pair-à-pair, ainsi que la notion de monnaie privée. Dans le registre de la

secondéité – des individus réalisent des actions – nous pouvons classer toutes les activités menées dans le contexte de la « scène » Bitcoin, qu’il s’agisse des contributions au code source, des rédactions de BIP, des publications de tribunes, de manifestes, d’ouvrages techniques, de sites d’information, etc, de l’organisation d’événements, conférences, séminaires et autres rencontres, de la création de « jeunes pousses » entrepreneuriales, de l’exploitation de fermes de minage... Dans le registre de la tercéité – des individus mettent en œuvre des normes et des règles – nous pouvons classer le mode de gouvernance d’un projet « open source », le circuit de rédaction et de validation des BIP et le protocole Bitcoin lui-même, par lequel se combinent transactions et minage. (voir schéma page suivante).

Nous avons reconnu la marque de la forme bifide des techniques numériques à différents endroits du composite, que ce soit au sein d’un de ses éléments ou à l’articulation entre certains autres. La première de ces traces se trouve dans l’emploi des fonctions de cryptographie numérique, dont nous avons vu qu’elles pouvaient être employées pour leur contenu propre, mais aussi de manière à étendre le domaine de la communication numérique sans égard pour un contenu particulier, participant ainsi à son extension indéfinie. Mais, au-delà de l’emploi d’un outil dont la polyvalence repose sur l’indifférence au contenu, Bitcoin mobilise certaines fonctions cryptographiques en faisant de cette indifférence le moteur même de son protocole. Les fonctions calculant des empreintes (ou condensats) assurent un lien asymétrique entre les données en entrée et le produit en sortie, rendant le calcul inverse impossible. Elles ont été justement sélectionnées pour cette propriété remarquable, afin de réaliser le concept de preuve de travail comme *pure dépense de puissance de calcul, sans égard pour le contenu propre*.

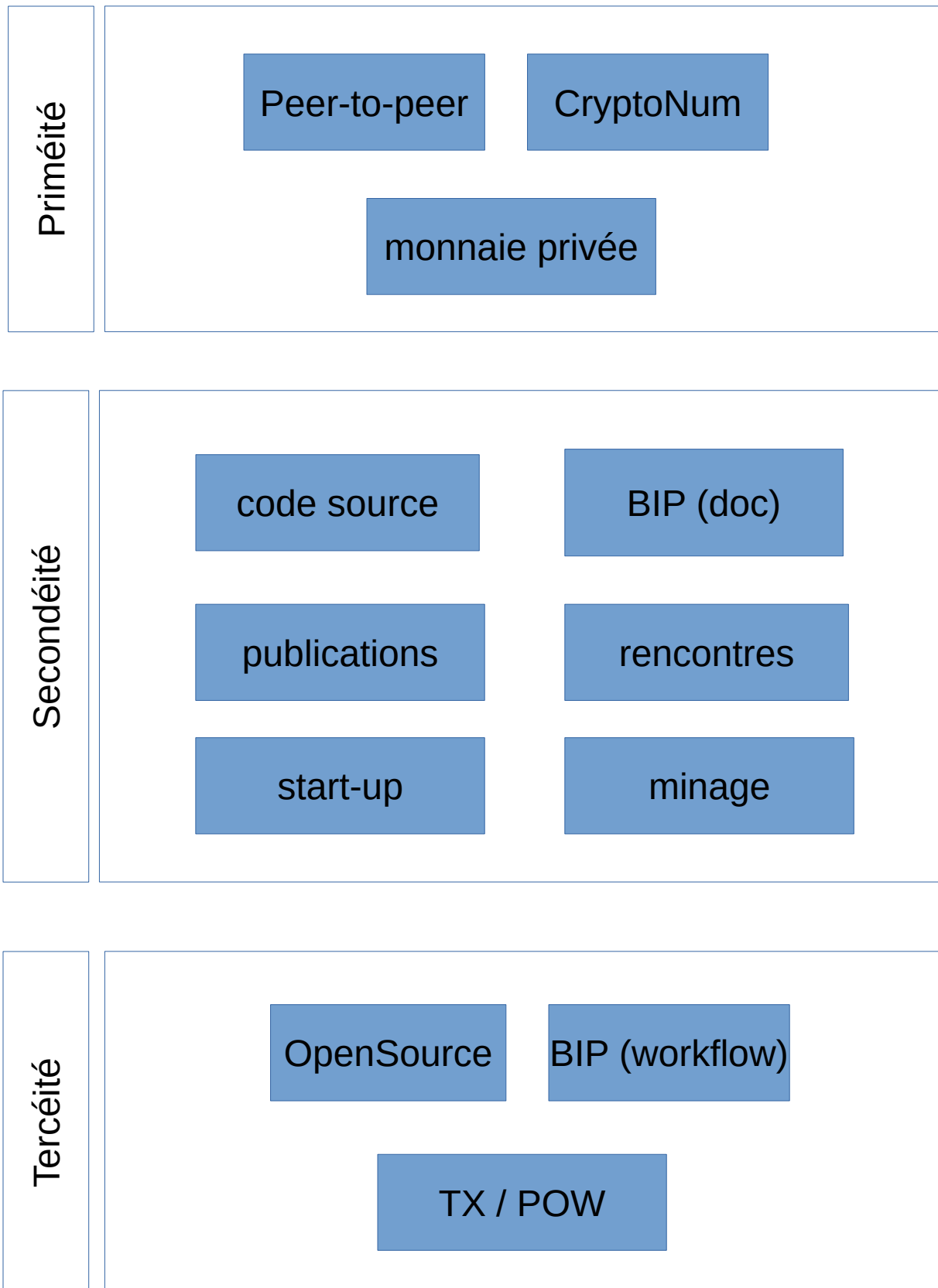


Schéma global du composite Bitcoin

Ces propriétés, découlant de la logique bifide déployée par le protocole Bitcoin, induisent une dynamique tendant à l'accumulation tautologique de calculs et un cadre temporel à la fois discrétisé et fléché. Cette logique intrinsèque et les propriétés dérivées imposent des contraintes aux interactions sociales qui s'appuient sur le réseau Bitcoin, sans pour autant les déterminer totalement. Plus exactement, la logique propre du réseau est prégnante au niveau de sa totalité, mais les interactions que les différents acteurs sociaux engagent individuellement, restent sous l'influence de contraintes locales qui peuvent être, sur ce périmètre restreint, des facteurs vus comme primordiaux. Ainsi, la croissance permanente de la puissance totale de calcul mobilisée sur le réseau peut aussi rencontrer parfois l'arrêt de l'activité de certains mineurs car leur rentabilité n'est plus suffisante par rapport à ceux qui engagent des moyens de calcul plus performants. Tout en imposant une augmentation de la puissance de calcul qui appelle à la participation de toutes les ressources mobilisables, la logique du protocole peut simultanément éjecter certains participants ne pouvant plus s'aligner sur la productivité minimum requise avec les seuls moyens dont ils disposent localement. Cette dynamique est impersonnelle car elle résulte de la compétition généralisée organisée par le protocole lui-même, en deçà et à côté de toute gouvernance envisageable.

Par ailleurs, la situation de blocage dans laquelle s'est trouvée la communauté Bitcoin en juin 2017 – et qui n'est toujours pas formellement résolue en juin 2019, bien que le démarrage de projets divergents, sur lesquels chaque vision peut s'investir séparément, ait permis d'atténuer la virulence des confrontations autour du code source – ne résultait donc pas seulement du conflit entre les différentes visions portées par différentes catégories d'acteurs ou d'une inadéquation des modes de gouvernance pour prendre en charge le processus vers une solution consensuelle. Ce blocage serait plutôt le point de fixation d'une contradiction qui peut se formuler dans les termes suivants : une évolution du protocole est tout à la fois nécessaire selon sa logique propre et impossible du point de vue des acteurs qui doivent la mettre en œuvre dans le cadre même de cette logique⁴⁰³. La contradiction est donc avant tout interne au protocole : sa dynamique propre l'amène à rendre de plus en plus intenable pour ses opérateurs de maintenir les conditions de cette dynamique dont eux-mêmes dépendent pour rentabiliser leur activité. Jusque-là, la contradiction a été maintenue dans un

⁴⁰³ On a aussi là les modalités d'un « paradoxe », au sens de Bougnoux (1998), qui est constitué par un conflit entre un énoncé et les conditions de son énonciation. Pascal Robert (2017) a montré par ailleurs qu'il peut être à l'origine d'« un trop plein de communication que l'on ne peut pas a priori absorber » (Ibid, p.25) et qu'il désigne avec le terme « incommunication ». Le déferlement de propositions quant à l'évolution de Bitcoin relèverait alors aussi, très probablement, de l'incommunication.

état latent, sans être résolue, par la mobilisation de facteurs externes comme les innovations techniques, la rationalisation industrielle de l'activité de minage et maintenant la diversification des blockchains, mais cela n'a fait que repousser sa manifestation en démultipliant le potentiel de crise. À ce titre, loin de clore la séquence de crises contemporaine résultant de la massification des usages du numérique entamée dans les années 1990 notamment avec l'émergence des plateformes du Web 2.0, et dont la dernière acmé en 2008 a suscité l'émergence des crypto-monnaies, Bitcoin et ses dérivés pourraient s'avérer un jalon supplémentaire dans cette série.

Chapitre 10 : Bitcoin à l'aune du fétichisme numérique

Nous voilà au terme du parcours annoncé dans notre chapitre préliminaire. Il nous aura permis dans une première partie de poser un cadre conceptuel pour élaborer une théorie sociotechnique du numérique en lien avec la dynamique du capital. Pour explorer ce cadre nous avons construit un véhicule adéquat sous la forme d'un modèle de l'informatique appliquant les principes de la modélisation CRITIC et prenant en compte le caractère bifide des techniques numériques. Dans la seconde partie, nous avons décrit différents aspects du cas Bitcoin, en l'abordant comme un objet composite et en posant quelques jalons pour rattacher ces aspects à notre cadre conceptuel. Il reste cependant, pour fermer la boucle, à ressaisir ces aspects dans ce cadre théorique afin d'en tirer une vision synthétique qui réassemble le général et le particulier. Avant de proposer une conclusion générale de notre thèse, le présent chapitre va donc se focaliser une dernière fois sur Bitcoin, non plus dans une perspective empirique mais en parcourant cette fois-ci les concepts sous-tendus par les notions de fétichisme numérique comme avatar du fétichisme de la marchandise (Marx 2016), de technique industrielle comme matérialisation adéquate à la dynamique du capital (Postone 2009), d'impensé numérique (Robert 2012) et d'espace de problèmes parcouru par ce véhicule particulier que constitue le numérique (Robert 2009).

1. Bitcoin et le fétichisme numérique

Les déclinaisons du fétichisme numérique

David Graeber (2014) donne une définition du fétichisme qu'il rattache explicitement aux analyses marxiennes :

« Collectivement, les être humains créent leurs mondes, mais en raison de l'extraordinaire complexité de la coordination sociale organisant toute cette activité créatrice, personne ne peut vraiment en suivre le processus, sans parler d'en prendre le contrôle. En conséquence, nous sommes constamment confrontés à nos propres actions et créations comme s'il s'agissait de puissances étrangères. Le fétichisme est tout simplement le cas où cela arrive avec des objets matériels » (Graeber 2014, p.314)

Pour inscrire résolument cette définition dans un contexte marxien, il faut cependant ajouter une précision importante : dans le cas du fétichisme de la marchandise, les objets matériels dont il est question sont justement des marchandises. La matérialité dont Marx rend compte à leur sujet n'est pas seulement physique, mais surtout sociale. Elle consiste en leur forme bifide concret/abstrait. Si cette forme doit être envisager comme relevant de la matérialité et non de l'idéalité, c'est bien parce qu'elle induit des effets tangibles et des contraintes objectives, dont il n'est pas possible de se déprendre simplement en corrigeant une erreur de perception ou de raisonnement. Par ailleurs, s'il s'agit de matérialité *sociale*, c'est que celle-ci est située dans un contexte particulier, une forme de synthèse sociale donnée, qui a une histoire à double titre : elle s'inscrit dans une série, diachronique et synchronique, de formes variées et aux ressorts irréductibles les uns aux autres, d'une part ; elle anime un mouvement historique propre à cette forme, sur la base de catégories qui lui sont spécifiques, d'autre part. Si l'histoire de la succession ou de la coexistence des fétichismes est de l'ordre de la contingence, celle d'une synthèse sociale en particulier connaît par contre des trajectoires contraintes par les propriétés du fétiche qui les caractérise.

Si le fétichisme est donc une projection, historiquement située, de l'agir social sur des produits de l'activité humaine, il n'est pas pour autant une simple illusion à dissiper, un voile à soulever. Du fait des détours et des formes successives qu'emprunte cet agir pour se

manifeste, il ne peut, en effet, être saisi et orienté de manière consciente par des agents structurellement séparés par ce qui constitue leur médiation : le travail pour la production marchande, le calcul pour le numérique. Mais, cette projection n'est cependant pas qu'une fantasmagorie : elle existe réellement dans la mesure où elle impose des contraintes objectives aux membres des sociétés instaurées sur ces médiations. Ils ne peuvent s'y soustraire sans que se profile leur exclusion de la forme de synthèse sociale, à plus ou moins long terme. Le fétichisme opère donc un renversement qui en fait une abstraction réelle. Avec la notion de fétichisme numérique, s'expriment plus spécifiquement deux modalités du caractère bifide concret/abstrait des produits de l'activité humaine à l'ère du capitalisme numérique, ceux-ci étant aujourd'hui tendanciellement porteurs à la fois de valeur et de calcul.

Il y a tout d'abord l'adéquation des techniques numériques avec la phase en cours de la dynamique du capital. Ces techniques sont en effet indissociables de la phase « inversée » du capitalisme, à la fois comme cause extrinsèque et comme cause intrinsèque. D'une part, elles ont élevé le niveau de productivité à un niveau empêchant toute reproduction du capital par une valorisation sur ses bases propres, à savoir la mobilisation sans cesse élargie de travail abstrait *accompli*. D'autre part, du fait des propriétés de la calculabilité (et des dispositifs destinés à parcourir/explore cet espace), elles constituent l'appareil de production privilégié pour le maintien d'une dynamique sur la base d'une production de marchandises d'ordre 2, qui sont autant de promesses d'un travail abstrait *projeté dans le futur*. Avec cette adéquation, le fétichisme numérique est une déclinaison du fétichisme de la marchandise dans sa phase « inversée ».

L'autre modalité du fétichisme numérique découle du fait que les acteurs sociaux ne peuvent percevoir spontanément que la face concrète de leur engagement numérisé dans la forme de synthèse sociale fétichiste. Le renversement que constitue l'abstraction réelle prend donc d'abord l'apparence d'une collection concrète de phénomènes apparentés⁴⁰⁴. La totalité abstraite des calculs envisageables avec des ordinateurs, à laquelle ces phénomènes contribuent selon leurs particularités, n'est pas prise en compte. Dès lors que le numérique ne se manifeste en tant qu'objet que sous la forme de multiples avatars, et que ces avatars sont malgré tout perçus comme unidimensionnels, la réflexion sur sa dynamique ne peut qu'en laisser tout un pan dans le domaine de l'impensé. Rapporté au caractère bifide propre aux techniques numériques, le fétichisme numérique n'est plus alors seulement une déclinaison du

404 Comme nous l'avons vu avec la notion de *digital labor*.

fétichisme de la marchandise. Sans avoir à faire l'hypothèse d'un détachement possible entre production marchande et numérique (et même plutôt dans le cadre du lien qui les attache), il faut donc aussi tenir compte du fait que le numérique présente un ressort qui lui est intrinsèque et qui peut s'exprimer dans chaque application numérique de manière immanente. Le fétichisme numérique a donc, pour nous, la définition suivante : c'est la projection de l'agir social à l'ère du capitalisme « inversé ». Il se manifeste par le déferlement des techniques numériques qui constituent la matérialisation adéquate à la dynamique du capital dorénavant basée sur la production de marchandises d'ordre 2.

Une plateforme porteuse d'espoir pour des marchandises d'ordre 2

Notre objectif, dans cette section, est d'aborder le fétichisme numérique selon les spécificités qui se manifestent avec Bitcoin, et que nous avons exposés dans la seconde partie. Comme nous l'avons évoqué dans la conclusion de la seconde partie, Bitcoin peut être envisagé comme une plate-forme numérique au même titre que toutes celles adressant des marchés bifaces⁴⁰⁵. Le modèle paradigmatique de ce genre de plate-forme est celui où sont associés d'un côté, un service diffusant un contenu culturel au sens large ou fournissant un moyen de communication à ses usagers, les deux fonctions pouvant être plus ou moins mélangées, et de l'autre côté, la vente d'espaces publicitaires en adéquation avec les centres d'intérêt des usagers du service.

Dans le cas de Bitcoin, nous avons montré que les deux usages qui peuvent (et doivent impérativement) être mis en relation sont d'un côté les transactions monétaires et de l'autre le minage. D'un côté, la plate-forme offre à ses usagers la possibilité d'établir une forme de communication par le truchement d'un échange monétaire ; elle peut aussi assurer la publication d'informations en inscrivant dans la blockchain des données corrélées à la transaction mais qui vont au-delà de celles concernant les parties impliquées et les montants

405 La caractéristique bifide des techniques numériques et les marchés à deux faces qu'adressent les plate-formes numériques sont deux notions totalement distinctes. Les modèles d'affaire dédiés à des marchés bifaces n'ont pas attendu l'emploi massif des ordinateurs dans les systèmes d'information pour être mis en œuvre, à commencer par ceux des médias « classiques » comme la presse, la radio ou la télévision, mais aussi celui des agences immobilières, par exemple. Réciproquement l'emploi des techniques numériques ne se limitent pas à l'intermédiation sur des marchés de ce type. Il reste cependant possible de s'interroger sur l'affinité qui pourrait émerger entre le bifide du numérique et le biface des marchés. Le cas de Bitcoin montre en tout cas que le rôle des pôles concret et abstrait peut être corrélé à la bipartition du marché. Avec le protocole Bitcoin, le calcul dont la part déterminante est attaché à un contexte particulier se déploie du côté des transactions, tandis que le calcul pour lequel la part déterminante ne s'attache à aucun contenu propre se déploie du côté du minage.

transférés⁴⁰⁶. De l'autre côté, elle permet à un fournisseur de puissance de calcul *sans qualité* d'obtenir une contre-partie de la mise à disposition de cette ressource sans avoir *a priori* à identifier un usage solvable spécifique et à assurer l'investissement de forme requis dans un logiciel pouvant l'équiper. Ce que les usagers attachent, comme significations et comme engagements, à la transaction qu'ils souhaitent inscrire dans la blockchain n'importe pas pour l'opérateur de minage qui va l'y sceller. Il est même requis que cela lui soit indifférent afin que la puissance de calcul qu'il y consacre soit tout entière dirigée vers la recherche d'une « preuve de travail » abstraite.

Ainsi l'intrication de deux configurations sociotechniques constitue la façon particulière pour Bitcoin de manifester le caractère bifide des techniques numériques. Si les deux pôles sont bien représentés par deux usages distincts du point de vue des acteurs sociaux impliqués, ils n'en sont pas moins indissociables puisque l'architecture du protocole Bitcoin dans son ensemble ne tient que par l'appui mutuel que ces deux usages représentent l'un pour l'autre. Partant de cette spécificité de Bitcoin comme plate-forme numérique, quelles sont ces contributions avérées ou potentielles à la dynamique du capital dans sa phase « inversée » ? Pour cela, il faut déterminer quelles activités menées par l'intermédiaire de la plate-forme constituent le point de référence d'une production de marchandise d'ordre 2.

Du côté des transactions

Les plate-formes de change entre les crypto-monnaies et les monnaies à cours légal ont constitué le premier type d'applications proposées pour connecter Bitcoin avec le reste de l'économie. Mais cette voie n'est pas la seule. En effet, au-delà des transactions monétaires, d'autres usages ont éclos en s'appuyant sur les protocoles des crypto-monnaies considérés comme des infrastructures au même titre que ceux définissant par exemple le Web. Le principe du registre immuable établi sans tiers de confiance mais uniquement par un protocole adéquat, peut en effet être employé à d'autres fins que l'échange monétaire. Josh Nussbaum, associé dans une entreprise d'investissement de type capital-risque, propose en 2017 une

⁴⁰⁶ Ce cas d'emploi correspond à des services de « notariation électronique », c'est-à-dire la « certification des différentes étapes de l'évolution d'un document électronique ». L'archivage sécurisé du document par le fournisseur du service est associée à la production de métadonnées. L'ensemble constitué du contenu du document et des ces métadonnées fait l'objet d'un calcul d'empreinte. Cette empreinte est alors inscrite dans le champ libre d'une transaction qui sera elle-même scellée dans la *blockchain*. Si le montant de la transaction elle-même peut être choisi arbitrairement et être ainsi négligeable, les montants élevés sur les frais de transactions peuvent limiter le recours à ce type de notariation électronique.

classification de l'« écosystème » *blockchain*⁴⁰⁷, c'est-à-dire de l'ensemble des applications envisagés ou réalisées sur la base de cette technologie. La pertinence de cette classification peut être discutée à plus d'un titre, à commencer par le fait qu'elle s'appuie sur un panorama figé à un instant « t ». Ce que nous en retiendrons cependant, c'est la tentative d'objectiver les différentes propositions de modèles d'affaire et donc d'établir les bases de leur évaluation en terme de « porteurs d'espoirs ». Il s'agit bien pour le capital-risqueur de définir une grille de lecture à travers laquelle seront appréhendés les projets innovants à la recherche d'investisseurs prêts à acheter les titres émis pour soutenir leur développement. La perspective de cette classification est donc la production de marchandise d'ordre 2.

Dans le même registre visant à établir un « écosystème » *blockchain*, mais cette fois-ci sur un mode effectif plutôt que descriptif, la société IBM met en avant le projet *Hyperledger* initié en 2015 par la *fondation Linux*⁴⁰⁸. *Hyperledger* est un assemblage de composants logiciels génériques⁴⁰⁹ constituant une infrastructure de type *blockchain* et servant de soubassement à des applications pouvant impliquer plusieurs partenaires économiques et non plus seulement les différents services d'une entreprise. Au delà de l'infrastructure technique, l'offre attenante de services proposés dans cet « écosystème » par IBM est destinée à coordonner différents acteurs dans la conception ou la réalisation des applications, mais aussi dans l'évaluation de leur potentiel économique. Parmi ces acteurs, les investisseurs de capital-risque sont explicitement visés⁴¹⁰. Encore une fois, la production de marchandise d'ordre 2 figure au cœur des préoccupations de ceux qui, dans la division des tâches au sein de l'économie, ont pour rôle de prescrire les bons usages productifs des techniques numériques.

Du côté du minage

L'autre configuration socio-technique intriquée dans la plate-forme Bitcoin est celle qui concerne l'activité de minage. Elle est menée aujourd'hui à une échelle industrielle, soit en

407 cf. https://medium.com/@josh_nussbaum/blockchain-project-ecosystem-8940ababaf27 (consulté le 29 mars 2019)

408 Cette fondation a été établie afin de « promouvoir, protéger et standardiser » le système d'exploitation Linux.

409 Aussi appelés *frameworks* en anglais, ce que l'on pourrait traduire par charpentes, cadres ou bien encore canevas. La notion de framework en ingénierie logicielle véhicule plusieurs dimensions simultanées : il s'agit à la fois d'un cadre générique de conception logicielle, d'une infrastructure transverse de déploiement des applications, d'outils et/ou de règles pour la production du code.

410 cf. <https://www.lemondeinformatique.fr/actualites/lire-ibm-mise-sur-hyperledger-fabric-pour-son-ecosysteme-blockchain-66731.html> (consulté le 29 mars 2019)

mobilisant la puissance de calcul que des particuliers fournissent à des *pools* de minage, soit en mettant en œuvre des infrastructures de type *data center* avec les contraintes d'alimentation en énergie électrique que nous avons évoquées. Dans les deux cas, l'augmentation permanente de la puissance calcul mobilisée a suscité un développement de la conception et de la fabrication de matériel adéquat. Les deux productions de composants électroniques qui ont connu un impact massif sont celle des cartes graphiques munies de GPU et celle des unités spécifiquement dédiées au minage de type ASIC. Par ailleurs, de nouvelles installations industrielles ont vu le jour avec les « fermes de minage » localisées au plus près des ressources en électricité bon marché, exacerbant une tendance déjà à l'œuvre dans le domaine du *cloud computing*.

L'activité concernant les composants électroniques a connu un fort engouement corrélé à l'augmentation des cours des différentes crypto-monnaies jusqu'à la fin de l'année 2017. Avec la baisse des cours tout au long de l'année 2018, l'activité de minage s'est avérée de moins en moins rentable, entraînant le retrait d'une portion importante des opérateurs et induisant mécaniquement une baisse de la difficulté de minage. Les matériels à la conception la plus récente ont rencontré de plus en plus de difficultés à être écoulés, fragilisant la position de leurs fournisseurs en tant que « porteurs d'espoirs ». Ainsi, des analyses⁴¹¹ estimaient début 2018 que le principal acteur du marché, Bitmain, était enfin rentable. A ce titre, l'entreprise prévoyait une introduction à la bourse de Hong Kong avant la fin de l'année pour une capitalisation à hauteur d'un milliards de dollars⁴¹². En l'espace de quelques mois, ces perspectives ont été balayées par la baisse des cours du bitcoin⁴¹³, qui a elle-même déclenché une baisse de la puissance de calcul mobilisée globalement sur le réseau Bitcoin. Il est trop tôt cependant pour statuer sur les implications de cette baisse quant à la pertinence de Bitcoin comme « porteurs d'espoir » pour la production de marchandise d'ordre 2. Seul l'activité de minage semble pour l'instant touchée. Par ailleurs, le potentiel de crise nourri par l'avènement des crypto-monnaies nous semble se situer plutôt dans l'introduction des « jetons ».

Le « jeton » comme « porteur d'espoirs »

411 cf. <https://www.cnbc.com/2018/02/23/secretive-chinese-bitcoin-mining-company-may-have-made-as-much-money-as-nvidia-last-year.html> (consulté le 31 mars 2019)

412 cf. <https://technode.com/2018/09/27/bitmain-ipo-hong-kong/> (consulté le 31 mars 2019)

413 cf. <https://www.ft.com/content/fb814562-4c8f-11e9-8b7f-d49067e0f50d> (consulté le 31 mars 2019)

Au-delà de Bitcoin, de multiples avatars reposant sur des principes plus ou moins semblables se sont multipliés, ouvrant dans leurs sillages autant d'usages, de communautés et d'enjeux économiques. Nous avons vu le cas de Bitcoin Cash qu'on peut estimer être le plus proche de Bitcoin lui-même puisqu'il prolonge les motivations de ses contributeurs initiaux et, jusqu'au point de bifurcation, une histoire commune inscrite à l'identique dans leurs blockchains respectives. Nous avons aussi vu le cas d'Ethereum qui démarre une nouvelle blockchain et élargit la notion de *smart contracts*. Cette crypto-monnaie introduit aussi une nouvelle pratique qui a depuis été largement reproduite dans d'autres projets et constitue même pour certains la seule phase réellement accomplie dans leur développement. Il s'agit des ICO (*Initial Coin Offering*) qui consiste en une pré-vente de « jetons » représentant une fraction monétaire et produits par l'application de minage afin de lever les fonds nécessaires au démarrage des projets. Les « jetons » sont créés au sein d'une blockchain pré-calculée avec une faible difficulté qui permet de les accumuler rapidement, puis mis en circulation au moment de l'ouverture publique de cette blockchain sur laquelle n'importe quel opérateur de minage peut alors contribuer. Si diverses justifications sont avancées par les promoteurs des ICO pour attribuer à ces « jetons » une utilité qui leur donnerait une valeur intrinsèque plutôt que d'être de simple moyen d'échange, il s'avère qu'ils sont très majoritairement traités comme des actifs financiers de la part de leurs vendeurs comme de leurs acquéreurs. Les ICO peuvent être vues comme des tentatives de contourner les règles qui s'appliquent sur les marchés régulés de la finance. Leur multiplication a d'ailleurs conduit à des cas de plus en plus fréquents d'escroquerie pure et simple. En conséquence, l'engouement pour les ICO s'est éteint tout au long de l'année 2018. Une nouvelle classe de « jetons » a été mise en avant pour se distinguer des émissions douteuses : les « security tokens »⁴¹⁴ (ou « jetons d'actifs »), proposés à la vente lors de STO (*Security Token Offer*). Ces « jetons » sont censés représenter une part de la société émettrice, et donc être similaires à des actions, les rendant plus fiables aux yeux des potentiels acquéreurs.

Avec ce mécanisme, on rentre potentiellement dans un nouveau stade du capitalisme « inversé ». Nous avons vu que, jusqu'en 2008, la production massive de marchandise d'ordre 2 était confiée, et ce depuis depuis le tournant des années 1980, à l'industrie financière plutôt qu'à la relance keynésienne par la création de dette publique dont les perspectives se sont avérées trop limitée dans les années 1970. Cette production de titres financiers nécessaire

414 cf. https://www.bilan.ch/opinions/utility_et_security_tokens_investissements_ou_gadgets (consulté le 29 mars 2019)

pour prolonger la dynamique de production marchande qui n'avait plus de base propre suffisante dans la production de marchandise d'ordre 1 (la soit-disant « économie réelle ») avait donc été en quelque sorte privatisée pour sortir des contraintes des budgets publics. En 2008, la fin de ce cycle oblige de nouveau la puissance publique à reprendre le relai à un stade supérieur et cela se traduit par la mise hors circulation des titres douteux, et donc leur « stockage » dans le bilan des banques centrales comme contrepartie d'une émission monétaire massive pour pallier une pénurie de capital-argent. Avec le mécanisme des STO se crée un potentiel retour de balancier, avec le soutien à la production de marchandise d'ordre 2 de nouveau pris en charge par le secteur privé qui devient l'émetteur d'un objet hybride entre la monnaie et l'actif financier. L'innovation introduite dans cette phase repose dans le fait que cet objet hybride produit numériquement est à la fois le « porteur d'espoir » et la marchandise d'ordre 2, qui va donc se référer à elle-même pour justifier cette production. Ce bouclage élève le potentiel de crise à un niveau inédit. Le calcul sans contenu propre est devenu potentiellement une marchandise pouvant assurer la dynamique de la production de marchandise d'ordre 2, elle-même ressort indispensable à celle de « l'économie réelle ». Cette détermination déjà, identifiée dans l'activité des plateformes numériques comme Google et Facebook, comme nous l'avons vu dans la première partie, et qui constitue par ailleurs le ressort de certaines formes de *digital labor*, prend avec les crypto-monnaies un nouveau visage. Rien ne permet à ce jour d'affirmer que, parmi toutes les opportunités qu'offre la démultiplication des applications numériques, les crypto-monnaies constitueront un nouveau ressort (encore plus problématique) de la dynamique du capital dans sa phase « inversée ». Mais leur apparition dans le contexte d'une restructuration de cette dynamique ne peut pas non plus être interprétée comme fortuite, ni encore moins comme le résultat d'une maturation de la technique. L'annonce en 2019 de la création par Facebook d'un « jeton » d'abord dédié à ces applications⁴¹⁵, puis avec un périmètre bien plus large porté par un consortium adoptant la forme juridique suisse de la fondation, suscite bien des inquiétudes au sein des institutions en charge de la régulation monétaire et financière⁴¹⁶. Mais ces inquiétudes s'en tiennent aux potentiels blanchiment d'argent, financement du terrorisme ou accaparement de données personnelles, sans prendre la mesure du rôle des techniques numériques dans la phase actuelle

415 cf. <http://blockchainpartner.fr/les-questions-etourdissantes-que-souleve-le-projet-de-cryptomonnaie-de-facebook/> (consulté le 21 juin 2019)

416 cf. https://www.lemonde.fr/pixels/article/2019/07/17/le-g7-finances-va-agir-rapidement-face-au-libra-la-cryptomonnaie-de-facebook_5490543_4408996.html (consulté le 18 juillet 2019)

du capitalisme « inversé » qui nécessite un nouveau moteur de la production de marchandises d'ordre 2.

L'articulation entre ces phénomènes nous semble insaisissable dès lors qu'on ne prend pas en compte la dynamique propre du capital telle que l'analyse marxienne permet de la reconstituer. La monnaie est sans cela appréhendée comme une donnée quasi-anthropologique récurrente et stable dans ses fondements, dont les formes peuvent varier, mais dont la signification profonde est établie dès son avènement et pour laquelle ne varient que ses manifestations superficielles, que ce soit de manière contingente ou évolutive⁴¹⁷. Ainsi, seules des fonctions dérivées et purement techniques caractériseraient les développements les plus récents notamment dans l'expansion de la sphère financière ou la dématérialisation des échanges monétaires. Les variations historiques ne correspondraient qu'à l'avènement de formes de plus en plus sophistiquées, mais aussi épurées, de moyens mis en œuvre pour viser des fins quasi naturelles comme le serait la circulation des biens ou des informations, par exemple. On peut objecter à ces positions qu'elles ont en commun un biais réducteur : la rétro-projection sur les sociétés pré-capitalistes de catégories qui sont propres à cette forme de synthèse sociale bien particulière. Les particularités en question sont à la fois absentes et omniprésentes dans les théories de la monnaie correspondant à ces positions antagonistes : absentes car non interrogées, omniprésentes car constituant le cadre dans lequel sont rabattus des phénomènes qui relèvent d'une autre logique et d'une autre histoire.

2. Bitcoin et la mesure d'un temps abstrait

En étudiant les propriétés du protocole Bitcoin, nous avons mis en évidence sa dimension temporelle et nous avons rattachée cette dimension à la dialectique entre concret et abstrait qu'il met en œuvre. Cette dimension n'est pas fortuite dès lors qu'on l'interprète dans le cadre conceptuel que nous nous sommes donné, puisque la notion de travail abstrait spécifique à la synthèse sociale capitaliste est elle-même associée à une notion de temps abstrait. En effet, dans son analyse de la valeur et du travail, Moishe Postone reprend la

⁴¹⁷ C'est par exemple le fond de l'approche institutionnaliste employée par Jacques Sapir et Maël Roland dans leur séminaire à l'EHESS où ils abordent les crypto-monnaies dans le contexte de crise (cf. <https://enseignements-2017.ehess.fr/2017/ue/2504/> consulté le 1^{er} juillet 2018)

catégorie de « temps de travail socialement nécessaire » établie par Marx dans le *Capital*. Il s'agit d'une pure quantité représentant la valeur des marchandises dans leur globalité. Cette quantité abstraite résulte de la conjonction de tous les travaux privés dès lors que leur synthèse s'opère par cette dimension abstraite déterminante qu'ils attachent aux marchandises produites. Elle impose des contraintes objectives aux activités productives qui, pour être socialement valides, doivent s'aligner sur le niveau de productivité qui en découle. Elle prend donc la forme d'une abstraction réelle.

Postone s'interroge cependant sur le « type de temps » dont il s'agit exactement dans cette catégorie de « temps de travail socialement nécessaire ». Pour répondre à cette question, il va s'appuyer sur des travaux d'historiens⁴¹⁸ au sujet de diverses conceptions du temps et développer une réflexion sur sa nature socialement située ainsi que sur les spécificités de celle qui a cours dans les sociétés capitalistes (Postone 2009, pp. 298-320), notamment par contraste avec les conceptions qui prévalaient dans les sociétés pré-capitalistes :

« Avant l'apparition et le développement de la société capitaliste moderne en Europe occidentale, les conceptions dominantes du temps ont consisté en diverses formes de temps concret : le temps n'était pas une catégorie autonome, indépendante des événements, on pouvait donc le définir qualitativement, comme bon ou mauvais, sacré ou laïc » (Ibid. p.298)

Un des faits marquants de la société capitaliste, c'est l'apparition d'une conception inédite d'un temps « vide, homogène, continu, uniforme [et] indépendant des événements » que Postone qualifie de « temps abstrait ». Cette vision est évidemment celle inscrite dans les lois du mouvement que Newton formule à la fin du XVII^e siècle. Mais Postone ne s'en tient pas à une origine dans la révolution scientifique newtonienne et cherche antérieurement les traces de cette conception, ailleurs que dans le domaine des représentations. Il montre alors, en éliminant un à un les facteurs qui se retrouvent aussi dans d'autres contextes tels que le développement technique ou l'existence d'unités de temps constantes, que la conception d'un temps abstrait n'émerge « dans la préhistoire du capitalisme, à la fin du Moyen Âge » qu'à la faveur d'une pratique sociale particulière. Pour Postone, « l'origine du temps abstrait paraît

418 Gustav Bilfinger, Eleanora Carus-Wilson, Aaron Gourevitch, David Landes, Jacques Le Goff, Lewis Mumford, Joseph Needham, Edward Palmer Thompson, Sylvia Thrupp, Gerald James Whitrow.

donc être reliée à l'organisation du temps social » (Ibid., p.305). Le temps social dont il est question est celui de la journée de travail mesurée dans la production drapière, notamment dans les Flandres, à partir du XIV^e siècle. À partir de cette époque et dans ce contexte particulier, il s'impose dans l'organisation du travail « une forme de discipline temporelle où les unités de temps servent de *mesure* à l'activité » (Ibid., p.310, souligné par l'auteur). Les horloges rythmant jusque-là la vie religieuse, en vinrent à changer de fonction pour « coordonner le temps de travail d'un grand nombre de travailleurs » (Ibid., p.312). Postone en conclut que « l'apparition de cette nouvelle forme de temps est liée au développement de la forme-marchandise des rapports sociaux » (Ibid., p.313).

Postone fait donc de l'horloge mesurant ce temps abstrait une conséquence matérielle d'une forme de vie sociale particulière⁴¹⁹. De même, la blockchain Bitcoin⁴²⁰ représente une matérialisation⁴²¹ particulière d'un temps « vide, homogène, continu, uniforme [et] indépendant des événements » et en tant que telle réalise bien la fonction d'une horloge dans le cadre de la forme de synthèse sociale constituée par la production marchande généralisée. En combinant leurs fonctions de plate-formes numériques orientées vers la production de marchandises d'ordre 2 et d'horloge mesurant un temps abstrait, les crypto-monnaies en général, et Bitcoin en particulier, s'avèrent être, en tant que techniques industrielles, des matérialisations particulièrement adéquate à la dynamique du capitalisme dans sa phase « inversée ». A l'instar des horloges qui rythmèrent le travail des ouvriers drapiers, d'abord dans les Flandres puis dans toute l'Europe du XIV^e siècle, les blockchains ont le potentiel requis pour imposer la cadence à la production des marchandises devenues déterminantes depuis la fin de la phase fordiste du capitalisme. Cette adéquation est renforcée par le fait que, depuis la crise financière de 2007-2010, la place de la monnaie dans cette production a connu un renversement, reportant sur cette marchandise particulière tout le potentiel de crise accumulé jusque là et l'élevant à un niveau supérieur.

419 « Cette invention technique elle-même ainsi que la conception d'un temps abstrait doivent [...] être comprises en termes de constitution "pratique" d'un tel temps, c'est-à-dire par rapport à une nouvelle forme de rapports sociaux qui engendrèrent des unités de temps constantes et, partant, un temps abstrait en tant que socialement "réel" et faisant sens »

420 Ainsi que celle de n'importe quelle crypto-monnaie puisque, quels que soient les paramètres spécifiques de leurs protocoles, elles produisent toutes une séquence de blocs liés dans une chaîne continue selon une fréquence stable.

421 Rappelons que le numérique n'est pas suspendu dans le ciel des idées et que son déploiement s'inscrit forcément dans une matérialité, certes difficiles à localiser et à appréhender avec nos sens, mais matérialité tout de même.

La signification que l'on peut néanmoins attribuer à cette adéquation n'est pas celle d'une détermination inexorable. Non pas qu'il puisse être envisagé sans peine d'orienter, par un effort volontaire, les crypto-monnaies vers telle ou telle une trajectoire. Mais cette adéquation est une potentialité, un support possible à la poursuite de la dynamique du capital. Elle n'est qu'une occurrence parmi d'autres issues des techniques numériques. Cette occurrence est portée par les acteurs représentatifs de la « scène » Bitcoin, oscillant entre « régime utilitaire » et « régime technico-instrumental » (Shinn et Ragouet 2005) dans la production de savoirs et d'artefacts technico-scientifique. Concernant le premier cas,

« La formation de ces acteurs hétérogènes se fait dans des départements universitaires dédiés, comme ceux de l'ingénierie. Leurs pratiques très diverses correspondent à la bigarrure de leurs apprentissages : production industrielle, étalonnage, métrologie, expertise. *La convergence épistémologique d'acteurs et de pratiques aussi variés opère à travers la scène marchande* : l'arène visée est celle des utilisateurs des produits du régime utilitaire (industriels, consommateurs, entreprises, consortiums). L'obtention de brevets, la validation économique des innovations et la satisfaction économique des clients constituent les objectifs qui unissent ces collectifs composites. » (Lamy et Saint-Martin, 2011, p.386, nous soulignons)

Pour le second cas,

« le régime technico-instrumental rend compte de ces agents aux compétences suffisamment protéiformes pour générer *des instruments souches susceptibles de convenir à plusieurs communautés de spécialistes*. Les pratiques déployées sont d'abord techniques et engagent une certaine conception de la *plasticité artefactuelle*. Une nouvelle fois, ce ne sont pas des collectifs qui sont pointés, mais des généalogies d'instruments (et de concepteurs d'instruments par conséquent) qui sont étudiées. » (ibid., p.387, nous soulignons)

La « scène » Bitcoin constitue donc un terreau fertile pour faire émerger des artefacts adéquats à la production marchande et à son besoin de mesurer une forme de temps qui lui est

spécifique. Ce besoin s'avère, par ailleurs, connaître de nouvelles contraintes à l'ère du capitalisme « inversé ». Comme pour l'horloge, dont la fonction est re-déterminée par de nouvelles pratiques sociales au XIV^e siècle, la blockchain peut donc être vue comme « une conséquence matérielle d'une forme de vie sociale particulière ».

3. Bitcoin et l'impensé numérique.

Les marqueurs de l'impensé numérique

Pascal Robert identifie un certain nombre de marqueurs du MTD (macro-techno-discours), cadre discursif de l'impensé numérique, que nous allons reprendre en partie à notre compte dans notre enquête sur le terrain Bitcoin. Afin de s'assurer que nous avons bien affaire au phénomène d'impensé numérique, ce n'est pas moins de trois d'entre eux dont nous chercherons la trace. Le premier de ces marqueurs est celui de l'*évidence* : l'informatique est considéré comme un vivier inépuisable de solutions pour résoudre n'importe quel problème qui pourrait advenir dans la société. Avec une telle vision instrumentale, informatique et société sont abordées comme deux domaines ontologiquement distincts permettant au premier de peser sur le second en évacuant au passage toute perspective d'une ou plusieurs déterminations en retour. Dès lors que cette *évidence* est posée comme telle, la société n'est plus qu'une matière malléable à volonté, à partir des formes que l'on peut lui imprimer à l'aide d'outils mobilisables depuis un en dehors purement technique et allant de soi. La société telle qu'elle est est donc évacuée, pour ne plus être saisie que par des abstractions sans contenu propre. Ce biais induit un deuxième marqueur dans les discours qui relèvent de l'impensé numérique, celui du *formatage*. Toutes les activités sociales et leur coordination sont envisagées comme des procédures algorithmiques mécanisables. Celles-ci se prêtent à une prise en charge par une machine qui est tout à la fois très spécifique, puisqu'elle ne sait que dérouler mécaniquement ce genre de procédures, et quasi universelle, puisque tout est préalablement passé au crible de cette forme particulière. Enfin, le troisième et dernier marqueur dont nous allons chercher la trace est celui du *leurre*. Il est repérable par le fait que les débats sur l'informatique ne mettent en scène que des positions internes à l'informatique elle-même. Les débats en question sont alors brandis comme preuve que l'informatique peut

être orientée par des décisions politiques élaborées depuis un espace public. Mais ils ont pour effet premier de tenir à distance tout questionnement débordant de ce cadre internaliste en saturant l'espace public de problématiques resserrées sur des détails techniques.

Le solutionnisme numérique

Les discours des promoteurs de Bitcoin que nous avons décrits au chapitre 7, qu'ils relèvent de « l'idéologie californienne » ou du mouvement du logiciel libre, s'inscrivent dans un cadre global que l'on peut qualifier de « solutionnisme numérique » (Morozov 2014, Laugée 2014), et qui postule que tout problème se présentant dans la société peut être adressé par une solution prenant la forme d'une application numérique. La conception et la réalisation de cette application peuvent être menées sur la base d'un modèle formel muni d'un ensemble restreint de paramètres considérés comme décisif dans le fonctionnement de la société. En retour, l'adoption à grande échelle de cette application suffirait à orienter l'évolution de la société vers le fonctionnement explicite inscrit dans les algorithmes sélectionnés.

En évacuant la société telle qu'elle est, aussi bien empiriquement que conceptuellement, ces discours participent donc à établir l'évidence d'une informatique ontologiquement séparée des phénomènes sociaux, et donc apte à en orchestrer la coordination depuis une position extérieure. Ils induisent par ailleurs l'idée que l'échec des projets d'informatisation s'enracine dans le monde social et son reliquat d'irrationalité, qu'il s'agit dès lors de traquer en développant de nouvelles solutions numériques toujours plus sophistiquées. Comme le formule Pascal Robert, « l'informatique et les TIC sont *posées* dans une logique de l'*évidence* de leur performance, qui disqualifie d'autant la posture critique » (Robert 2016, p.144)

Tout est transaction, tout est calcul (sans qualité)

Comme toutes les applications numériques, la conception de Bitcoin part de la formalisation d'un *problème à résoudre* de façon à ce que celui-ci soit compatible avec une solution prise en charge par un système de traitement automatisé d'informations numériques. Le problème à résoudre dans le cas de Bitcoin est celui du transfert direct et irréversible d'un objet numérique non duplicable entre des parties ne pouvant s'appuyer sur un tiers de confiance. Ce transfert est aussi appelé transaction. Quel que soit l'usage de l'objet numérique en question et quel que soit le nombre de parties impliquées, il suffit qu'il puisse être attaché à une représentation numérique univoque pour faire l'objet d'une transaction. En retour, toutes

les interactions fondées sur l'usage de Bitcoin sont réductibles à des transactions, c'est-à-dire à une série de données numériques requises par le protocole. Ainsi, l'emploi de Bitcoin, comme plate-forme dédiée à la mise en œuvre de transactions, nécessite un « formatage préalable du milieu » (Robert 2009, p.67) dans lequel ces transactions vont être accomplies et prendre sens, que ce soit des transferts monétaires ou toute autre application envisageable sur le même principe. Cette contrainte propre à l'informatisation de manière générale prend cependant un caractère particulier dans le cas de Bitcoin. Car si le formatage généralisé induit par l'informatisation « nous familiarisent [...] avec cette attitude fondamentale d'une interprétation du monde au travers d'une transcription informationnelle » (Ibid., p.199), il manifeste avec Bitcoin un caractère résolument dynamique. En effet, les données des transactions ne servent pas uniquement à maintenir un registre récapitulant les soldes des parties prenantes, mais elles sont aussi employées dans des calculs destinés à assurer la sécurité même de ce registre. Nous avons montré au chapitre 8, en analysant cette spécificité du protocole Bitcoin, que celui-ci « produit [...] intrinsèquement une dynamique qui pousse à l'augmentation indéfinie de la puissance totale de calcul mise en œuvre sur le réseau ». Indépendamment des transactions concrètes qui sont menées par leurs parties prenantes et peuvent fluctuer au gré des usages, les calculs sans contenu propre menés par les opérateurs assurant leur sécurisation finissent par devenir la part déterminante des tenants et de aboutissants du développement de Bitcoin. Ainsi le formatage généralisé induit par le mouvement d'informatisation ne se traduit pas seulement par un nécessaire alignement du monde social sur des formats numériques, mais aussi par de nouvelles opportunités de déployer des calculs pris en charge par des ordinateurs, sans égard pour le contenu propre des données initialement collectées pour un usage spécifique.

La focalisation des enjeux sur la décentralisation

Comme nous l'avons vu au chapitre 9, les positions qui s'affrontent dans les débats sur la taille maximale des blocs mettent toutes en avant la défense de la *décentralisation* de Bitcoin comme argument pour emporter l'adhésion de la communauté. Certains font valoir que telle ou telle orientation permettra réellement de faire de Bitcoin l'infrastructure de base d'un réseau de paiement global que de multiples opérateurs pourront investir. D'autres font valoir que seule une poignée de développeurs privilégiés détiennent en dernier ressort la capacité de modifier le code source « officiel » de Bitcoin et conservent ainsi la main sur la

définition du paramètre controversé. En focalisant les débats concernant l'avenir de Bitcoin sur la problématique de la *décentralisation* et les paramètres techniques du protocole, d'autres enjeux sont bien éludés, à commencer par la pertinence de l'adoption à large échelle des crypto-monnaies. La notion de *décentralisation* agit donc comme un leurre et constitue par là même une des « opérations discursives qui travaillent à entraver l'émergence d'une réelle compréhension des enjeux » (Robert 2012, p.28).

Parmi les enjeux peu ou pas interrogés concernant Bitcoin, il y a bien sûr ceux liés à la gestionnarisation et au glissement de la prérogative politique. Dans le registre de la gestionnarisation, il n'est en effet pas anodin de voir advenir une infrastructure dont l'objectif avoué est d'automatiser les transactions *de bout en bout*, sachant que cette notion de transaction sert, dans l'esprit des promoteurs de Bitcoin, de modèle à toutes les formes d'interactions que peuvent engager des êtres humains, considérés eux-mêmes comme de simples atomes de la mécanique sociale. Cette vision, tirée de l'individualisme méthodologique, est pourtant partagée bien au-delà des cercles cyberlibertariens, même si ces derniers sont les suspects habituels dénoncés par certaines critiques de gauche du solutionnisme numérique, en dédouanant peut-être un peu trop vite ceux qui se contentent de dénoncer des excès tout en restant sur le terrain indépassable de l'impensé informatique et de la naturalisation des catégories de l'économie, telles que travail, argent, marchandises, etc. Dans le registre du glissement de la prérogative politique, il y a bien évidemment le fait que la monnaie ne soit plus envisagée comme un attribut de la souveraineté, mais une pure application de la logique contractuelle derrière laquelle s'efface toute perspective de biens communs. Avec les crypto-monnaies, il ne s'agit pas seulement de déposer, dans une infrastructure numérique impersonnelle, les clés de la création et de la circulation monétaire, mais aussi de multiplier les expérimentations techniques parmi lesquelles des opérateurs privés pourront un jour sélectionner les fondements d'une offre de service les mettant en position de « remplir une fonction politique sans avoir à payer le coût d'accès au système politique démocratique ». Facebook a récemment proposé la création d'un consortium destiné à gérer un tel projet⁴²², sous forme d'une fondation de droit suisse.

Évidence, formatage, leurre : ces trois marqueurs de l'impensé sont donc bien présents dans les discours tenus par les différents acteurs de la communauté Bitcoin. Leur repérage

422 cf. <https://journalducoin.com/bitcoin/facebook-aurait-envisage-dutiliser-bitcoin-avant-de-se-decider-pour-libra/> consulté le 9 septembre 2019.

permet de conclure que Bitcoin est bien un nouvel avatar de l'impensé numérique et, qu'à ce titre, l'avènement des crypto-monnaies s'inscrit dans le mouvement général d'informatisation, en restant à l'abri des épreuves de justification (Robert 2009, p.45). Cependant, l'objet Bitcoin ne se laisse pas appréhender sous un angle unique ni même privilégié. Il n'est pas possible de négliger le fait qu'il s'agisse d'une application des techniques numériques dans un domaine particulier de la communication, ni le fait qu'il soit brandi par ses promoteurs dans le cadre d'un projet de transformation sociale qui trouve des justifications dans une lecture de la crise bancaire réduite à la dénonciation des institutions dévoyées. Bitcoin s'inscrit alors dans la problématique complexe de la « rencontre » entre crises du capitalisme et déferlement numérique, dont l'impensé est un aspect primordial.

4. Bitcoin, véhicule d'exploration du problème monétaire

Nous avons présenté, en première partie, un modèle CRITIC de l'informatique prenant en compte le caractère bifide de cette technique. Dans ce modèle, l'informatique est tout d'abord un des véhicules dédiés à la construction et au parcours de l'espace des problèmes relevant de la fonction macro-sociétale de *mémorisation, traitement et circulation de l'information*. Le renversement opéré du fait de ce caractère bifide, par lequel la part abstraite devient déterminante, et le formatage généralisé qui en résulte, donnent toutefois à l'informatique une portée bien plus large, lui donnant accès, potentiellement, à toutes les fonctions macro-sociétales, dès lors que les investissements de formes requis pour le formatage sont engagés pour couvrir le domaine. La question se pose alors de savoir quel est l'espace de problèmes parcourus par Bitcoin. Deux possibilités, non exclusives, doivent être envisagées. La première correspond à un espace lié directement à celui de la mémorisation, du traitement et de la circulation de l'information, la seconde à un espace constitué par un des domaines ouverts à l'informatique, du fait de son caractère bifide.

Dans le premier cas, Bitcoin, sa blockchain et son protocole, jouent le rôle « classique » d'un moteur d'inférence et de gestion des formes (MOTIF, cf. Robert 2009, p.68). Les crypto-monnaies peuvent alors être vues comme des infrastructures supplémentaires destinées à

soutenir, via des investissements de formes, la poursuite du formatage généralisé qui permet de saisir toutes les opportunités de faire émerger des porteurs d'espoirs susceptibles de prolonger la production de marchandises d'ordre 2. La nouveauté introduite par Bitcoin réside dans le fait de fournir une infrastructure œcuménique, globale et ouverte, à l'image du réseau Internet sur lequel s'appuie ce genre d'applications. Au travers de cette infrastructure, le travail d'objectivation des porteurs d'espoirs peut être mené à une échelle plus large et, surtout, se fonder sur des méthodes de comparaison plus homogènes, propres à faire émerger des standards améliorant la productivité de cette activité. L'espace des problèmes parcouru par le véhicule Bitcoin est donc une portion spécifique de celui qui est plus largement construit par l'informatique autour de la fonction macro-sociétale de mémorisation, traitement et circulation de l'information.

Dans le deuxième cas, la multiplication des propositions de crypto-monnaies – avec des variations pouvant aller de la marge (ajustement d'un paramètre du protocole) au cœur des applications (passage de la preuve de travail à la preuve d'implication) en passant par des éléments plus ou moins structurants (choix des algorithmes de cryptographie) – peut-être vue comme une manière de parcourir l'espace de problèmes soulevés par le potentiel de crise monétaire, qui marque le moment actuel de la phase « inversée » du capitalisme. Loin d'être une solution exempte de risques, comme nous l'avons vu au chapitre 9, ces expérimentations tous azimuts participent tout de même à un ajournement de la manifestation de la crise, tout en élevant ses conséquences à un niveau supérieur. Le rôle des crypto-monnaies n'est plus alors circonscrit à celui d'une application des techniques numériques au soutien de la production de marchandises d'ordre 2, mais s'étend à la prise en charge du potentiel de crise introduit par la « grande dévalorisation » des monnaies fiduciaires à cours légal.

Avec Bitcoin, on peut poser l'hypothèse que le numérique accompagne une transition entre deux sous-phases du capitalisme « inversé » : d'une part, celle qui court de la fin de la phase fordiste, au tournant des années 1970-1980, jusqu'à la crise financière de 2007-2010, pour laquelle les techniques numériques sont, d'abord et avant tout, massivement mobilisées, directement ou indirectement, dans la production de marchandise d'ordre 2 ; d'autre part, à partir de la « grande dévalorisation », tout en prolongeant la soutien à cette production, les techniques numériques doivent en plus faire la preuve de leur adéquation à prendre en charge ce nouvel aspect de la crise de la valorisation.

Conclusion générale

Notre recherche est partie du constat empirique de l'omniprésence et de l'extension permanente des techniques numériques dans des domaines variés de la vie sociale contemporaine, et ce alors que ces techniques ne se déploient tous azimuts que depuis le tournant des années 1960. Jusqu'à cette date, leur conception initiale et leur mise au point avaient d'abord été menées pour améliorer la productivité de tâches calculatoires bien spécifiques dans les domaines scientifique, militaire et statistique. Ce constat nous a amené à nous interroger sur les ressorts de la dynamique du déferlement numérique. Notre enquête a adopté comme méthode la conception d'un modèle socio-technique de l'informatique qui puisse rendre compte de ces spécificités. Elle a donc débuté par une analyse formelle des propriétés de la machine au cœur de l'informatique, à savoir l'ordinateur, que nous avons caractérisé par la forme bifide abstrait/concret de son fonctionnement.

Le noyau conceptuel au cœur de notre modèle de l'informatique se trouve dans cette forme bifide du véhicule dédié au parcours de l'espace des calculs au sens de Turing/Church. L'étude des modes de déploiement des applications numériques ne peut donc être décorrélée de cette spécificité que porte l'ordinateur et qui donne son unité à l'informatique. Nous avons tiré cette spécificité de différents constats empiriques – tant sur le plan historique, que phénoménologique ou sociologique – que nous avons ensuite cherché à ramener à un plus petit dénominateur commun. L'histoire de la mise au point des premiers ordinateurs, l'identification et l'élargissement progressif de leurs domaines d'emploi, l'évolution des pratiques d'ingénierie logicielle, la reconstitution rétrospective des fondements de l'informatique théorique, les représentations populaires de l'informaticien, etc. : à la convergence de toutes ces facettes, il y a la présence ici et maintenant, dans une société historiquement située, d'une machine qui ne se caractérise pas uniquement par son fonctionnement interne, sa définition technique et ses usages particuliers, mais aussi par le genre de prise qu'elle offre à son engagement dans les activités sociales. Si cette forme d'engagement ne détermine pas les activités isolées puisque chacune conserve son contenu propre par lequel les agents sociaux la perçoivent et la justifient (ou la contestent), elle présente tout de même la possibilité de contribuer fortement à la synthèse sociale elle-même en les rendant commensurables via une dimension machinique commune. La dimension en

question, c'est une capacité unique inscrite dans l'ordinateur, matérialisation du concept de machine de Turing universelle : pouvoir dérouler le calcul correspondant à n'importe quelle procédure formelle (ou fonction calculable au sens de Turing/Church). Cette face abstraite, sans égard pour un contenu particulier, est en mesure de connecter l'ensemble des activités humaines qui sont alors soumises à une injonction au « formatage généralisé » (Robert 2009) afin de mieux s'inscrire dans une collection indéfinie de procédures formelles qui tend alors à leur « gestionnarisation » (Robert 2009).

Par ailleurs, il faut de nouveau rappeler que cette dimension machinique est elle-même dérivée d'un facteur humain historiquement et socialement situé puisqu'il s'agit de la mécanisation de l'activité menée par des calculateurs humains qui déroulent pas à pas une procédure formelle en suspendant toute interprétation sur son contenu pendant la durée de l'opération. Il faut donc pour concevoir cette machine avoir au préalable un monde où ce type de calculs est, si ce n'est pratiqué, du moins envisageable et même rendu problématique du fait de son expansion jusqu'à des seuils où seul un équipement technique dédié permet de les prendre en charge. Ce monde est celui de la complexité induite par l'accélération permanente des flux matériels, humains et informationnels (Beniger 1989, Robert 2009, Rosa 2010), elle-même manifestant la caractère tautologique de la dynamique du capital (Postone 2009, Trenkle et Lohoff 2014).

Cette complexité « ne peut pas être appréhendée à l'aide de notre seul cerveau » (Robert 2013), tout en sachant qu'« il ne s'agit pas pour autant de renier [ce dernier] » (Ibid.). L'introduction des machines computationnelles pour prendre en charge cette complexité a bien accompli ce programme paradoxal : dépasser les capacités humaines considérées comme limitées, tout en s'appuyant sur une représentation bien particulière de ces capacités qui naturalisent cette limitation. La cerveau humain envisagé comme simple processeur d'informations est en effet le point de départ de la conception et de la mise en œuvre d'une machine censée en démultiplier les performances. Si cette vision réductionniste a été critiquée ultérieurement dans le champ de la philosophie de l'esprit, avec notamment l'expérience de pensée dite de « la chambre chinoise » proposée par John Searle (1980)⁴²³, ces critiques n'ont

423 Afin d'argumenter contre le réductionnisme des partisans de l'intelligence artificielle forte, qui pensent pouvoir reproduire mécaniquement, sur la base de seuls calculateurs, les capacités de l'esprit humain, y compris celle qui conduit à l'émergence de la conscience, Searle propose une expérience de pensée par l'absurde. Il imagine un dispositif où un opérateur isolé dans une chambre est chargé de répondre à des questions formulées en chinois, alors qu'il ne connaît pas cette langue, sur la seule base d'une série de règles à dérouler automatiquement. Les questions sont transmises sous formes de symboles et l'opérateur ne fait que leur appliquer des transformations syntaxiques. Peut-on dire dans ces conditions que l'opérateur « parle

pas pour autant cherché à situer le caractère opératoire de cette définition quant à l'avènement de l'ordinateur. Pourtant, tant dans la conception *sur le papier* que dans sa matérialisation, cette machine a plutôt singé, par son caractère bifide, une forme de vie sociale historiquement située – celle qui assure sa reproduction sur la base de la production généralisée de marchandises – qu'un modèle anthropologique de la pensée humaine. La démultiplication des performances qui en résulte passe, non pas tant par une augmentation des performances concrètes du cerveau du fait de la mécanisation de la pensée que par la conceptualisation d'une dimension abstraite intrinsèque à l'espace même de ces calculs, cette propriété immanente induisant par ailleurs un effet dynamique, à l'image de la production marchande. L'oubli de cette origine historiquement située dans une forme de synthèse sociale particulière et sa projection sur une représentation à la fois mécanique et naturalisée de la pensée humaine sont bien sur liés : ils sont les produits conjoints d'un fétichisme qui projette sur les choses la puissance de l'agir humain à l'échelle social qu'aucun individu n'est en mesure d'appréhender de manière isolée. Ce fétichisme est celui de la marchandise, tel que l'avait mis en évidence Karl Marx dès les premières pages du *Capital*. En lui s'enracine le phénomène de l'impensé informatique.

Cette caractérisation de l'informatique par la nature bifide de l'ordinateur satisfait donc aux critères que nous nous sommes donnés pour poser les fondements d'une théorie de l'informatique relevant des sciences humaines et sociales en général et des sciences de l'information et de la communication en particulier. Elle permet en effet, dans le cadre d'une modélisation à l'échelle macrosociologique de type CRITIC, de caractériser l'ordinateur comme un véhicule d'exploration/construction d'un espace de problèmes ouvert par la mise en tension d'une fonction macro-sociétale (Robert 2009), mais aussi, du fait du renversement induit par son caractère bifide, d'en faire un véhicule général pouvant explorer/parcourir tous les espaces pour lesquels sont fournis des efforts préalables de formatage généralisé comme investissements de formes. Dans le cas que nous avons étudié en particulier, cet investissement s'est étalé sur plusieurs décennies, bien avant la mise en œuvre effective, il y a dix ans, du protocole Bitcoin. Il comprend des innovations dans le domaine de la cryptographie, des réseaux en pair à pair ainsi que la notion de preuve de travail. Mais l'investissement de forme porte aussi sur la modélisation du fonctionnement d'une monnaie

chinois », alors que, d'un point de vue extérieur, il semble suffisamment maîtriser la langue pour entretenir une conversation, mais qu'il n'a pourtant aucune compréhension de la signification des phrases transmises et produites ?

qui soit conforme à l'idée que s'en font les membres d'une société où celle-ci se présente comme un équivalent universel faisant abstraction du contenu des choses rapportées les unes aux autres (et qui n'est en rien l'ultime avatar le plus sophistiqué de la mise en circulation des productions humaines vue comme constante anthropologique, mais un phénomène propre au capitalisme).

L'ordinateur, comme véhicule d'exploration/construction d'un espace de problèmes qui connecte alors formellement les activités les unes aux autres, peut être envisager comme le fondement d'une forme de synthèse sociale fétichiste (Sohn-Rethel 2010). En effet, la réponse apportée par l'informatique aux différents espaces de problèmes se réalise non pas seulement d'un point de vue strictement technique – comme avec l'emploi de réseaux numériques de communication, par exemple – mais par *la médiation d'une technique aux propriétés spécifiques qui impliquent d'adosser ces activités à une dimension commune sans égard pour leurs contenus propres*. Ainsi, l'ordinateur s'avère un objet aussi bien social que technique sans que ses deux dimensions puissent être envisagées séparément. Il ne s'agit pas de facteurs qui se croisent de manière contingente, mais de deux moments indissociables participant à la description adéquate d'un même processus. L'un sous-tend l'autre et y prend simultanément appui. Par l'emploi de l'ordinateur à la base des systèmes d'information et de communication, toutes les activités info-communicationnelles ainsi équipées se trouvent implicitement connectées les unes aux autres – et ceci indépendamment de la mise en œuvre d'une infrastructure en réseau – par la dimension abstraite que constitue l'espace des calculs envisageables avec cette machine. Dans le même temps, le parcours de cet espace ne peut s'accomplir que par le truchement d'un usage concret et trouve ainsi son inscription dans l'espace global des interactions sociales, sans préjugé de telle ou telle orientation privilégiée si ce n'est leur formalisation préalable dans le paradigme des données et des calculs.

Si la totalité résultante peut être qualifiée de forme-fétiche, c'est qu'à un certain stade de généralisation des données numériques et de leurs traitements médiatisés par des machines computationnelles, on peut envisager que l'utilité revendiquée par un producteur ou un usager d'application numérique ne devienne plus que le prétexte, le support nécessaire mais seulement transitoire du point de vue de la dynamique globale – et parfois même plutôt encombrant – dans cette chaîne tautologique. Les interactions médiatisées par un calcul numérique, qu'elles s'inscrivent entre des utilisateurs humains ou entre un utilisateur et une machine pourraient alors être vues comme un carburant, requis mais indifférent quant à son

contenu, pour le déploiement tautologique de ces calculs. Cette configuration généralisée ferait des acteurs sociaux du monde numérique des agents *au service de* l'informatique comme MOTIF (MOTeur d'Inférence et de gestion des Formes) (Robert, 2009, p. 68), une entité sans conscience ni intentionnalité et constituée par la totalisation abstraite d'activités fragmentées, éparses, qui reviennent faire face à leurs protagonistes, parfois de manière hostile, sans qu'ils sachent y reconnaître leur propre agir social : un fétiche, donc. Ce que les agents en question produisent et reproduisent ainsi, c'est une forme de synthèse sociale qui leur échappe⁴²⁴ individuellement et collectivement, mais qui leur assure aussi une certaine forme de garantie existentielle dès lors que tous les aspects de leur vie sont représentés par un traitement numérique qui en organise la coordination.

Parmi les aspects de ce rapport inconscient mais pour autant bien réel – c'est-à-dire posant des contraintes dont l'origine se perd dans les méandres d'un dispositif sociotechnique, au point de lui donner l'aspect d'un environnement objectif et quasi « naturel » (Robert 2012, Rouvroy & Berns 2013) – les différents avatars du phénomène de réticulation (Borel 2014) occupent évidemment une place éminente. La mise en réseau des machines computationnelles constitue en quelque sorte une voie logique de leur mise en œuvre en manifestant ainsi la connexion implicite qu'elles opèrent à un niveau formel. Une des traductions concrètes de ce lien intrinsèque entre toutes les applications de l'informatique se trouve effectivement dans le déploiement des réseaux numériques de communication qui accompagnent l'informatisation pratiquement depuis ses balbutiements⁴²⁵ et se manifestent notamment par l'apparition et la montée en puissance des plateformes numériques qui sont à leur tour le cadre d'émergence du phénomène de *digital labor*. Ce rapprochement entre numérique et travail n'est pas fortuit. Il est d'abord possible de faire un parallèle entre les propriétés formelles du calcul réalisé par des ordinateurs et de la production de marchandises, qui développent tous les deux une dialectique entre concret et abstrait. De plus une relecture du « fragment sur la machinerie » permet de donner aux techniques numériques comme facteur de production, un niveau

424 À la fois qu'il ne maîtrise pas et dont il n'est même pas nécessaire qu'ils aient conscience. L'impensée informatique travaille à cette inconscience, non pas tant pour tenir les acteurs sociaux à l'écart de tout débat sur l'informatique que pour maintenir une cohésion autour de ce qui est de plus en plus objectivement le ressort de la synthèse sociale.

425 C'est ainsi que les ordinateurs mis au point au début des années 1950 trouvent leurs applications dans le domaine militaire au sein du réseau SAGE (*Semi-Automatic Ground Environment*). Au tournant des années 1960, c'est une application commerciale qui met en œuvre à son tour un réseau de machines computationnelles : SABRE (*Semi-Automated Business Research Environment*). Enfin tout au long des années 1960, la mise en place du réseau de recherche académique ARPANET (*Advanced Research Projects Agency Network*) conduira à établir les bases d'Internet.

d'adéquation à la dynamique du capital d'un ordre supérieur aux techniques industrielles en général.

Le *digital labor* est par ailleurs un thème abordé par différents auteurs dont les approches se réclament directement ou indirectement des analyses de Marx sur la société capitaliste. Ces approches mettent cependant en avant une compréhension du travail⁴²⁶ qui fait de celui-ci une catégorie positive comme pôle antagoniste du capital, alors qu'il n'en est qu'un moment constitutif de sa reproduction. Par ailleurs, cette appréhension positive du travail dès lors qu'il peut présenter un caractère productif de valeur⁴²⁷, induit une propension à ramener dans son giron, sur un plan conceptuel, des formes d'activité qui ne relèvent pourtant pas directement de la reproduction du capital. Il s'agit en quelque sorte d'élever ces activités au même niveau de respectabilité que le travail productif de valeur, respectabilité qui s'avère pourtant fort contestable dans une perspective critique. Mais surtout, ce qui est totalement masqué par l'indistinction entre travail productif et travail improductif (de valeur), c'est la lente décomposition de la synthèse sociale fondée sur l'accumulation du premier et dont la raréfaction tendancielle est pourtant tout aussi inhérente à la dynamique même du capital. Le rôle ambivalent des techniques numériques dans cette décomposition qui se traduit aujourd'hui par une phase de capitalisme « inversé », permet de caractériser l'émergence du *digital labor* non pas comme une nouvelle source de valorisation réussie pour le capital, mais comme un « porteur d'espoirs » requis pour maintenir la seule production qui prolonge, avec un potentiel de crise démultiplié, sa dynamique. Cette production est celle des marchandises d'ordre 2 par l'industrie financière. La phase de capitalisme « inversé » voit donc se

426 Le travail n'est pas un invariant anthropologique dont on trouverait la déclinaison dans n'importe quelle société humaine. Il s'agit en fait d'une certaine façon de faire, propre aux sociétés fondées sur la production marchande généralisée, qui conduit à envisager toutes les activités humaines comme relevant d'une même catégorie générale qui les subsume.

427 Le travail productif (de valeur) dans la société capitaliste, c'est l'activité sans contenu propre qui contribue à la production (et à la reproduction) du capital au niveau global. Les autres activités (ou plus exactement, la part improductive des activités, car la frontière entre productif et improductif au sens du capital traverse éventuellement une activité vécue comme unitaire par son agent) représentent l'ombre portée du capital, ce qui ne contribue pas directement à sa dynamique tautologique mais s'avère malgré tout indispensable aux conditions mêmes de sa reproduction (le soin sous toutes ses formes, par exemple). Ces activités improductives (au sens du capital) s'exercent « sous contraintes » de la reproduction du capital, mais n'en assurent pas directement la réussite, tout simplement car elles sont socialement validées selon d'autres critères que ceux qui valident la (re)production du capital. La société capitaliste opère là une dissociation (Scholz R. 2007) entre productif et improductif qui lui est propre et par ailleurs indifférente au contenu concret des activités : seul le fait que l'activité soit validée socialement sur la base de la mesure abstraite du temps de travail au niveau global fait de cette activité un travail productif. Sinon, il s'agit du domaine des « faux-frais » que chaque capital individuel va tendre à diminuer, mais qui ne peuvent être totalement abandonnés sans que la pérennité de la production marchande soit elle-même mise en cause.

rencontrer, dans une certaine émulation, deux formes de fétichismes : celui de la marchandise et celui du numérique, dont le premier constitue le ressort, sans cesse plus contraint, de la forme de synthèse sociale aujourd'hui globalisée après plus de deux siècles de développement. Quant au second, il se manifeste par le déferlement des applications numériques dont chacune représente à la fois le côté abstrait du calcul sans contenu propre et le côté concret d'un usage spécifique dans un contexte particulier. Cette dialectique impose de se pencher sur chaque application selon ces deux dimensions se présentant comme l'avvers et le revers d'une même pièce. Sous l'angle de l'abstraction, on peut situer la contribution de telle ou telle application à une totalité dynamique, celle des calculs envisageables avec un ordinateur. Sous l'angle du concret particulier, on peut étudier la façon dont une application peut refléter et/ou infléchir cette dynamique. Dans le cas de Bitcoin, par exemple, sa contribution à la production de marchandise d'ordre 2 prend un caractère inédit puisque la production particulière qui servirait de porteur d'espoir sous-jacent est celle de la monnaie elle-même, tout au moins dans la perspective invoquée par ses promoteurs. Or, cette circonstance est loin d'être anodine alors que la dynamique « inversée » du capital a connu une restructuration importante entre 2007 et 2010, transférant à la monnaie un potentiel de crise démultiplié. Le contenu spécifique de l'application Bitcoin ne peut donc être ignoré. Il ne peut non plus être saisi adéquatement sans reconstituer le rapport dialectique qu'il entretient avec une totalité abstraite. En participant à cette totalité selon ses particularités, ce contenu en prolonge la dynamique tout en alimentant ce qui la mine.

Avec la notion de « fétichisme », Marx reprend le terme forgé par Charles de Brosses au milieu du XVIII^e siècle dans son ouvrage *Du culte des dieux fétiches*, mais l'emploie pour sa part avec ironie et même avec une visée de renversement. En effet, pour de Brosses, le fétichisme est la marque de l'irrationalité des « sauvages » qui vénèrent des objets arbitrairement choisis dans un « culte puéril ». Marx fait de son côté un parallèle entre ce concept⁴²⁸ et ce qu'il constate du fonctionnement de la production marchande généralisée dans les sociétés capitalistes⁴²⁹. Il ne prétend pas qu'il s'agit là d'un phénomène de même nature que celui relaté par de Brosses, mais que la marchandise fonctionne *comme si* elle était un

428 Concept dont l'anthropologie s'est depuis détaché, au moins pour sa dimension ethnocentrée

429 La première phrase du *Capital* est : « La richesse des sociétés dans lesquelles règne le mode de production capitaliste apparaît comme une "gigantesque collection de marchandises" » (Marx, 2016). Il y a donc bien, dès les premières lignes, une distinction opérée par Marx entre richesse et marchandises, entre force créatrice humaine et la façon dont elle peut « apparaître » à ses agents, notamment dans le cadre du mode de production capitaliste.

fétiche. Alors que le terme fétichisme était utilisé pour accabler les « sauvages » en leur prêtant un comportement irrationnel, Marx dénonce plutôt justement le caractère irrationnel de la pratique des sociétés capitalistes, réputées modernes, qui déposent dans les choses produites et leurs rapports, entre elles et avec les humains, la puissance de l’agir social et donc les rapports des humains entre eux. Ce qui était de l’ordre d’un religieux irrationnel – « les produits du cerveau humain »⁴³⁰ et donc de la confusion des esprits – dans la vision de de Brosses, passe avec le fétichisme de la marchandise dans le domaine du faire – « la main de l’homme »⁴³¹ – et d’un *faire* bien particulier puisqu’il consiste à produire des marchandises pour assurer la synthèse sociale et la reproduire.

Pour Marx, il est évident qu’il ne peut qu’y avoir « de la société ». Et même que la société est première : toute sa démarche est une opposition ferme à l’individualisme méthodologique. Son analyse de la société marchande permet même d’expliquer pourquoi, dans le capitalisme, cet individualisme méthodologique vient spontanément à l’esprit de ceux qui tentent de reconstituer les lois de l’économie sur un plan purement phénoménal et fondent leur modèle de l’activité humaine sur des robinsonnades. *Faire société* est donc certainement un invariant anthropologique au yeux de Marx. Le constat qu’il fait pour la société marchande, c’est que ce *faire* y a des particularités qui le distingue des sociétés pré-capitalistes, comme par exemple le caractère dynamique et tautologique (la production pour la production augmentée) induit par la forme bifide (concret/abstrait) des produits de l’activité humaine/sociale. La question de savoir si d’autres *faire* sont possibles est vite résolue : ce fut le cas justement de toutes les sociétés pré-capitalistes dont les diverses formes de synthèse sociale étaient radicalement différentes de la notre (Guerreau 2001, Le Goff 2010, Baschet 2006, 2013). Est-ce que d’autres façon de *faire* seront possibles ? La question est plus ouverte. Le capitalisme nous laissera-t-il le temps d’en sortir ? Dans quel(s) état(s) ? Et pour faire quoi à la place ? Faudra-t-il en passer par un nouveau fétiche ou bien sera-t-il possible de faire une société ayant totalement conscience d’elle-même et de sa forme de synthèse⁴³² ? Si c’est la première solution qui s’avère la réponse, alors la formule « l’histoire de toute société jusqu’à nos jours n’a été que l’histoire de la lutte de classes » qui figure dans le manifeste du parti communiste de 1848 et paraît justement trop liée à la forme de synthèse sociale capitaliste, serait plutôt remplacée par celle-ci : « l’histoire de toute société jusqu’à nos jours n’a été (et

430 cf. citation p.147

431 Idem.

432 Ce qui constituerait le vrai début de l’Histoire, selon Marx

ne sera) que l'histoire du déploiement et de la chute des fétichismes ». Le fétichisme du numérique sera-t-il le successeur de celui de la marchandise ? Ou lui est-il trop intrinsèquement lié pour qu'ils ne s'effacent pas simultanément ? Et s'il pouvait lui survivre, quel(s) genre(s) de société(s) est-il en mesure de soutenir ? Serait-elle souhaitable ? L'étude du cas de Bitcoin semble pour l'instant indiquer que le dépassement (voire l'abolition) du capitalisme, loin de s'inscrire dans la mobilisation des potentialités du numérique, ne peut s'engager sans un retour critique sur les multiples innovations dans le domaine des TIC à l'ère numérique. Pour peu que l'on souhaite ce dépassement/abolition, il ne peut se fonder sur une simple réappropriation des moyens constitués au cours de l'histoire du capitalisme, mais doit d'abord en passer par une lutte consciente contre leur *impensé*, un travail théorique permettant d'écarter les fausses pistes.

Dans son ouvrage *Réseaux, libertés et contrôle. Une généalogie politique d'internet*, Benjamin Loveluck (2015) a rappelé la filiation entre la tradition de l'économie politique libérale et les approches qui tentent d'inclure les aspects informationnels à l'âge des réseaux numériques. C'est notamment avec le travail de Yochai Benkler (2009) que cette filiation est mise en évidence, le titre de son livre *La richesse des réseaux* étant un écho de celui d'Adam Smith, *La richesse des nations*. Dans cette tradition libérale, l'enjeu de l'analyse de l'économie politique réside dans le fait de déterminer les conditions les plus justes (et efficaces) de la répartition des fruits de l'activité sociale envisagée sur le mode d'une accumulation de robinsonnades. La critique marxienne, exposée dans les premiers chapitres du *Capital*, a consisté, en revanche, à analyser les catégories de base de l'économie politique (travail, argent, marchandise...) – et non pas à fournir les éléments d'une économie politique alternative plus juste – en montrant notamment leur caractère fétiche, c'est-à-dire en tant que produit inconscient et irrationnel d'une activité généralisée (la production marchande) saisie uniquement par ses aspects phénoménaux (la circulation des marchandises).

À partir du moment où il est possible d'identifier un caractère fétiche similaire dans l'avènement des techniques numériques, la vision libérale de l'économie politique des réseaux numériques appelle à la formulation d'une critique qui puisse relier les phénomènes constatés aux ressorts profonds qui animent le développement de ces techniques particulières. Il est peut-être temps – à la fois possible et nécessaire, donc – qu'advienne un travail critique que l'on pourrait titrer *Das Komputal*.

Bibliographie

Adams Scott (1995), *Dilbert (strips du 3 au 6 juillet 1995)*. Récupérés le 4 juin 2014 depuis le site de l'auteur (disponibles en ligne à l'adresse <http://dilbert.com/strip/1995-7-3>)

Adams Scott (1997), *Seven Years of Highly Defective People*. Kansas City, MO, Andrews McMeel Publishing.

Adorno Theodor W. (1964), « L'industrie culturelle » dans *Communications vol.3 n°1*, pp. 12-18

Adorno Theodor W., Horkheimer Max (1983), *La dialectique de la raison : fragments philosophiques*,

Adorno Theodor W. (1984) « Temps libre » dans *Modèles critiques*, pp. 179-188.

Adorno Theodor W. (2001), *Le caractère fétiche dans la musique*, Paris, Allia.

Aigrain Philippe (2005), *Cause commune : l'information entre bien commun et propriété*, Fayard

Alaimo Cristina & Kallinikos Jannis (2016), « Encoding the Everyday: The infrastructural Apparatus of Social Data » dans Sugimoto Cassidy, Ekbia Hamid & Mattiolo Michael (dir.) *Big data is not a monolith*, MIT Press, pp. 77-90

Amilec Alicia, Citton Yves (2013), « De l'exploitation à l'exploit », dans *Multitudes n° 54*, pp. 214-220

Andresen Gavin (2015), « BIP-0101 », proposition d'amélioration de Bitcoin disponible en ligne à l'adresse <https://github.com/bitcoin/bips/blob/master/bip-0101.mediawiki> (consulté le 29 juin 2018)

Antonopoulos Andreas (2014), *Mastering Bitcoin*, O'Reilly Media

Antonopoulos Andreas (2016), *The Internet of Money (vol.1)*, Merkle Bloom

Antonopoulos Andreas (2017), *The Internet of Money (vol.2)*, Merkle Bloom

Arvidsson Adam et Colleoni Elanor (2012), « Value in Informational Capitalism and on the Internet » dans *The Information Society*, vol. 28, n° 3, pp. 135-150.

Arrivé Éric (2015), « Du caractère fétiche des techniques numériques », dans *Cultiver le « numérique »*, *Interfaces Numériques* vol. 4 n°3, pp. 253-268

Arrivé Éric (2016), « Déplacer les montagnes avec le vent numérique », dans *Liberté, Egalité, Computer | Liberty, Equality, IT, Justice Spatiale | Spatial Justice*, n°10, disponible en ligne <http://www.jssj.org/article/deplacer-des-montagnes-avec-le-vent-numerique/> (consulté le 17 mars 2017)

Artus Patrick, Betbèze Jean-Paul, De Boissieu Christian, Capelle-Blancard Gunther (2010). *De la crise des subprimes à la crise mondiale*, La documentation Française

Atelin Philippe, Dordoigne José (2006), *Réseaux informatiques - Notions fondamentales Normes, Architecture, Modèle OSI, TCP/IP, Ethernet, Wi-Fi,...*, Éditions ENI

Badouard Romain et Mabi Clément (2015), « Introduction », *Hermès, La Revue*, vol. 73, no. 3, pp. 11-14.

Back Adam (2002), « Hashcash – a denial of service counter-measure », article disponible en ligne à l'adresse <http://hashcash.org/papers/hashcash.pdf> (consulté le 29 juin 2018)

Bachimont Bruno (2004), *Arts et Sciences du numérique : ingénierie des connaissances et critique de la raison computationnelle*, Mémoire d'Habilitation à diriger les Recherche

Bachimont Bruno (2006). « Signes formels et computation numérique : entre intuition et formalisme », dans Schramm H., Schwarte L. et Lazardig J. (eds.), *Instrumente in Kunst und Wissenschaft - Zur Architektonik kultureller Grenzen im 17. Jahrhundert*, Walter de Gruyter Verlag, Berlin. [traduction en français du chapitre de l'ouvrage disponible en ligne à l'adresse http://www.utc.fr/~bachimon/Publications_attachments/Bachimont.pdf (consulté le 8 mars 2019)]

Bachimont Bruno (2007), « Nouvelles tendances applicatives : de l'indexation à l'éditorialisation » dans Patrick Gros (dir.), *L'indexation multimédia : Description et recherche automatiques*, Hermès

Bachimont Bruno (2010), *Le sens de la technique : Le numérique et le calcul*, Encre Marine.

Bachimont Bruno (2015), « Le numérique comme milieu : enjeux épistémologiques et phénoménologiques. Principes pour une science des données » dans *Cultiver le « numérique »*, *Interfaces Numériques* vol. 4 n°3, pp. 385-401

Barassi Veronica (2015), « The Everyday Critique of Digital Labor », dans *Activism on the Web : Everyday Struggles against Digital Capitalism*, pp. 81-98, Routledge

Barbrook Richard, Cameron Andy (1996), « The Californian Ideology », dans *Science as Culture* vol.6 n°1, p. 44-72

Bardini Thierry (2000). *Bootstrapping: Douglas Engelbart, Coevolution, and the Origin of Personal Computing*, Stanford University Press (Writing Science Series). Stanford

Barel Yves (2008), *Le paradoxe et le système : essai sur le fantastique social*, Presses universitaires de Grenoble.

Barnes Barry (2005), « Elusive Memories of Technoscience » dans *Perspectives on Science* vol.13 n°2, pp. 142-165.

Baschet Jérôme (2006), *La civilisation féodale : de l'an mil à la colonisation de l'Amérique*, Flammarion

Baschet Jérôme (2013), « Ce monde qui n'était pas encore le nôtre et qui s'est emparé des Amériques », disponible en ligne à l'adresse <http://www.editionspapiers.org/laboratoire/ce-monde-qui-n-est-pas-encore-le-n%C3%B4tre-et-qui-s-est-empar%C3%A9-des-am%C3%A9riques> (consulté le 16 juin 2018)

Bell Daniel (1976), *La Société post-industrielle*, Robert Laffont

Beller Jonathan (2012), « Digitality and the Media of Dispossession » in Scholz Trebor (dir.) *Digital Labor: The Internet as Playground and Factory*, Routledge.

Benkler Yochai (2009), *La richesse des réseaux*, PUF

Benkler Yochai (2011), *The Penguin and the Leviathan*, Crown Publishing

Berlan Aurélien (2012), *La fabrique des derniers hommes. Retour sur le présent avec Tönnies, Simmel et Weber*, La Découverte.

Bidet Jacques (2004), *Explication et reconstruction du « Capital »*, PUF

Bigot Jean-Edouard, Julliard Virginie, Mabi Clément (2016), « Humanités numériques et analyse des controverses au regard des SIC » dans *Revue française des sciences de l'information et de la communication*, 8 | 2016, disponible en ligne à l'adresse <http://journals.openedition.org/rfsic/1783> (consulté le 5 septembre 2019)

Bogardus Emory (1945), « Sociology of the cartoon » dans *Sociology and Social Research*, vol.30 n°2, pp. 139-147.

Boltanski Luc & Thévenot Laurent (1991), *De la justification : les économies de la grandeur*, Gallimard

Borel Simon (2014), *Et les réseaux sauveront le monde... ? Essai sur l'idéologie réticulaire*, Le Bord de l'eau

Borsook Paulina (2000), *Cyberselfish. a critical romp through the terribly libertarian culture of high tech*, PublicAffairs.

Bortzmeyer Stéphane (2017), « Report from the IAB Workshop on Internet Technology Adoption and Transition » compte rendu d'un atelier de travail de l'IAB (Internet Architecture Board) publié en ligne et disponible à l'adresse <http://www.bortzmeyer.org/7305.html>

Bounoux Daniel (1998), *Introduction aux sciences de l'information et de la communication*, La Découverte

Bouquillion Philippe (2012), « Concentration, financiarisation et relations entre les industries de la culture et industries de la communication » dans Miège Bernard (dir.), *La théorie des industries culturelles (et informationnelles), composante des SIC. Revue française des sciences de l'information et de la communication*, 1 | 2012, disponible en ligne à l'adresse <http://rfsic.revues.org/94> (consulté le 20 mars 2017)

Bourdieu Pierre (1972), *Esquisse d'une théorie de la pratique. Précédé de Trois études d'ethnologie kabyle*, Librairie Droz

Bradner Scott (1998), « IETF Working Group Guidelines and Procedures », document publié en ligne sur le site de l'IETF et disponible à l'adresse <https://tools.ietf.org/html/rfc2418> (consulté le 27 juin 2018)

Breton Philippe (1987), *Une histoire de l'informatique*, Seuil

Breton Philippe (1995), *À l'image de l'Homme. Du Golem aux créatures virtuelles*, Seuil

Broca Sébastien (2013), *Utopie du logiciel libre. Du bricolage informatique à la réinvention sociale*, Le Passager clandestin

Broca Sébastien (2015), « Les deux critiques du capitalisme numérique », texte accompagnant la communication donnée à l'occasion du séminaire *Digital labor et capitalisme numérique* organisé par Antonio Casilli à l'EHESS (séance du 2 novembre 2015) disponible en ligne à l'adresse <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01137521/document> (consulté le 26 mars 2019)

Broca Sébastien (2016a), « Le *digital labor* est-il vraiment du travail ? », INA Global, disponible en ligne à l'adresse <http://www.inaglobal.fr/numerique/article/le-digital-labor-est-il-vraiment-du-travail-8674> (consulté le 16 mars 2017)

Broca Sébastien (2016b), « Le mouvement du logiciel libre contre l'impensé informatique ? Apports et limites d'une critique interne » dans Robert Pascal (dir.), *L'impensé numérique. Tome 1 : des années 1980 aux réseaux sociaux*, éditions des archives contemporaines, pp. 89-105

Broca Sébastien (2017), « Le digital labour : l'hybridation des marxismes et ses fragilités théoriques » dans *Poli n°13. Exploitation 2.0*, pp. 26-37, POLI éditions

Caffentzis George (2011), « A Critique of « Cognitive Capitalism » », dans Peters Michael A. & Bulut Ergin (dir.), *Cognitive Capitalism, Education and Digital Labor*, pp. 23-56, Peter Lang Publishing

Campagne Armel (2017), *Le Capitalocène. Aux racines historiques du dérèglement climatique*, Éditions Divergences

Cantwell Smith Brian (2002), « The Foundations of Computing », dans Matthias Scheutz (dir.), *Computationalism: New Directions*. MIT Press , pp. 23-58

Cardon Dominique (2013), « Dans l'esprit du PageRank. Une enquête sur l'algorithme de Google », *Réseaux* 2013/1 (n° 177), pp. 63-95.

Cardon Dominique (2015), *À quoi rêvent les algorithmes. Nos vies à l'heure des big data*, Seuil

Cardon Dominique, Casilli Antonio (2015), *Qu'est-ce que le Digital Labor ?*, INA

Cardon Dominique, Cointet Jean-Philippe et Mazières Antoine (2018), « La revanche des neurones. L'invention des machines inductives et la controverse de l'intelligence artificielle », *Réseaux* 2018/5 (n° 211), p. 173-220.

Caron François (2000), « Troisième révolution industrielle et nouvelle économie » dans *Le Débat* n° 112, pp. 27-38

Casilli Antonio (2016), « Is There a Global Digital Labor Culture? : Marginalization of Work, Global Inequalities, and Coloniality », communication du 7 avril 2016 au second symposium du PARGC (Project for Advanced Research in Global Communication), Annenberg School for Communication, University of Pennsylvania, disponible en ligne à l'adresse <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01387649/document> (consulté le 17 juin 2018)

Charrieras Damien (2007), « L'apport des cultural studies à l'étude des instances de production professionnalisée de la culture » dans *Les Enjeux de l'information et de la communication* vol. 2007 n°1, p. 21-33.

Citton Yves (2013), « Économie de l'attention et nouvelles exploitations numériques » dans *Multitudes*, n° 54, pp. 163-175

CNNNum (2015), *Ambition numérique : pour une politique française et européenne de la transition numérique*, disponible en ligne à l'adresse :
<https://contribuez.cnnumerique.fr/sites/default/files/media/CNNNum--rapport-ambition-numerique.pdf>

Collet Isabelle (2006), *L'informatique a-t-elle un sexe ? Hackers, mythes et réalité*, L'Harmattan

Collet Isabelle (2011), « Effet de genre : le paradoxe des études d'informatique », *tic&société*, Vol. 5, n° 1, en ligne : <http://journals.openedition.org/ticetsociete/955> (consulté le 10 mars 2019)

Copeland Jack et Proudfoot Diane (2005), « Turing and the computer » dans *Alan Turing's Automatic Computing Engine: The Master Codebreaker's Struggle to Build the Modern Computer*, Oxford University Press.

Cotte Dominique (2009), « Système, information, média, Le SI comme objet des Sciences de l'information et de la communication » dans *Communication & langages* 2009/2 (n° 160), pp.39-48

Coutant Alexandre (2015), « Les approches sociotechniques dans la sociologie des usages en SIC » dans *Revue française des sciences de l'information et de la communication* n°6 - *Usages et usagers de l'information à l'ère numérique*, article disponible en ligne à l'adresse <https://journals.openedition.org/rfsic/1271> (consulté le 13 août 2018)

Coutant Alexandre (2016), « “Vu sur Facebook !” : l'impensée des médias socionumériques » dans Robert Pascal (dir.), *L'impensé numérique. Tome 1 : des années 1980 aux réseaux sociaux*, éditions des archives contemporaines, pp. 105-117

Crosby Alfred W. (2006), *Children of the Sun: A History of Humanity's Unappeasable Appetite for Energy*, W.W. Norton

Crutzen, Paul, Stoermer, Eugene (2000), « The “Anthropocene” » dans *Global Change Newsletter*, n°41, pp. 17-18.

Daylight Edgar G. (2012), *The Dawn of Software Engineering: From Turing to Dijkstra*, Lonely Scholar

Daylight Edgar G. (2015), « Towards a Historical Notion of ‘Turing—the Father of Computer Science’ » in *History and Philosophy of Logic*, 36:3, pp. 205-228

Dean Jodi (2012), « Whatever Blogging » in Scholz Trebor (dir.) *Digital Labor: The Internet as Playground and Factory*, Routledge.

Debord Guy (1971), *La société du spectacle*, Champ libre

Decker Christian, Wattenhoffer Roger (2013), « Information Propagation in the Bitcoin Network », 13th IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing, texte de la communication disponible en ligne à l'adresse https://www.tik.ee.ethz.ch/file/49318d3f56c1d525aabf7fda78b23fc0/p2p2013_041.pdf

(consulté le 29 juin 2018)

De Filippi Primavera. & Loveluck Benjamin. (2016), « The invisible politics of Bitcoin: governance crisis of a decentralised infrastructure » dans *Internet Policy Review*, vol.5 n°3

De Filippi Primavera, Jean Benjamin (2016), « Les Smart Contracts, les nouveaux contrats augmentés ? » dans *Conseils et Entreprises, la revue des Avocats Conseils d'Entreprise*, n°24

Didier Sophie, Gardin Jean, Quentin Aurélie (dir.) (2016), « Liberté, Egalité, Computer », *JSSJ* (en ligne : <http://www.jssj.org/issue/juillet-2016-dossier-thematique>)

Diffie Whitfield et Hellman Martin (1976), « Multiuser cryptographic technics » dans *Proceedings of AFIPS National Computer Conference, juin 1976*, p. 109–112

Diop Samba (2009), « La crise du crédit à risque américain : une interprétation par l'Hypothèse d'Instabilité Financière de Minsky », *Revue de la régulation*, n°5 | 1er semestre, disponible en ligne : <http://regulation.revues.org/pdf/7510>

Doherty Elizabeth (2010), « Joking Aside, Insights to Employee Dignity in “Dilbert” Cartoons: The Value of Comic Art in Understanding the Employer–Employee Relationship » dans *Journal of Management Inquiry*, vol.20 n°3, pp. 286-301.

Dostaler Gilles (2008), « Les lois naturelles en économie. Émergence d'un débat », dans *L'Homme & la société*, n°170-171 (*L'économie hétérodoxe en crise et en critique*), pp. 71-92

Dubey Gérard, de Jouvancourt Pierre (2018), *Mauvais temps. Anthropocène et numérisation du monde*, éditions Dehors.

DuPont Quinn (2017), « Experiments in Algorithmic Governance. A history and ethnography of “The DAO”, a failed Decentralized Autonomous Organization », chapitre 8 dans Malcolm Campbell-Verduyn (ed.), *Bitcoin and Beyond*, Routledge

Durepaire Denis (2019), « Au plus près de la machine » dans *Le monde en pièces. Pour une critique de la gestion. 2. « informatiser »*, pp. 77-102, La Lenteur.

Edwards Paul (1996). *The Closed World*, MIT Press, Cambridge.

Engelbart, Douglas (1962). « Augmenting Human Intellect : A Conceptual Framework » dans *SRI Summary Report AFOSR-223*, disponible en ligne :

http://www.douengelbart.org/pubs/papers/scanned/Doug_Engelbart-AugmentingHumanIntellect.pdf

Epron Benoît et Vitali-Rosati Marcello (2018), *L'édition à l'ère numérique*, La Découverte

Federal Trade Commission (2014), « Data Brokers. A Call for Transparency and Accountability », disponible en ligne <http://www.ftc.gov/system/files/documents/reports/data-brokers-call-transparency-accountability-report-federal-trade-commission-may-2014/140527databrokerreport.pdf> (consulté le 15 mars 2017)

Feyisetan Oluwaseyi, Simperl Elena, Van Kleek Max, Shadbolt, Nigel (2015), « Improving Paid Microtasks Through Gamification and Adaptive Furtherance Incentives » dans *Proceedings of the 24th International Conference on World Wide Web*, ACM, pp. 333-343

Fischer Eran et Fuchs Christian (dir.) (2015), *Reconsidering value and labour in the digital age*, Palgrave Macmillan

Flichy Patrice (2000), « Technologies fin de siècle : l'Internet et la radio » dans *Réseaux, vol.18 n°100, Communiquer à l'ère des réseaux*, pp. 249-271

Flichy Patrice (2001), *L'imaginaire d'Internet*, La Découverte

Florida Richard (2002), « The rise of the creative class — and how it is transforming leisure, community and everyday life », Basic Books

Franck Georg (2013), « Capitalisme mental » dans *Multitudes*, n° 54, pp. 199-213

Frayssé Olivier (2014), « Work and Labour as Metonymy and Metaphor » dans Sandoval Marisol et al. (dir.), *Philosophers of the World Unite! Theorising Digital Labour and Virtual Work - Definitions, Dimensions and Forms, Triple-C, vol.12 n°2*, pp. 468-485

Fuchs Christian (2011), *Foundations of Critical Media and Information Studies*. Routledge.

Fuchs Christian (2017), « The Information Economy and the Labor Theory of Value » dans *International Journal of Political Economy* vol. 46 n°1, pp. 65-89

Fuchs Christian, Mosco Vincent (2012), « Introduction : Marx is Back – The Importance of Marxist Theory and Research for Critical Communication Studies Today » dans Fuchs Christian, Mosco Vincent (dir.), *Triple-C*, vol.10 n°2, pp.127-140

Fuchs Christian (2012), « With or Without Marx? With or Without Capitalism? A Rejoinder to Adam Arvidsson and Eleanor Colleoni » dans Fuchs Christian, Mosco Vincent (dir.), *Triple-C*, vol.10 n°2, pp.633-645

Fuchs Christian, Sandoval Marisol (2014), « Digital Workers of the World Unite ! A Framework for Critically Theorising and Analysing Digital Labor », *Triple-C*, vol.12 n°2, pp. 486-563

Galloway Alexander (2004), *Protocol. How Control Exists After Decentralization*, MIT Press

Galloway Alexander, Thacker Eugene (2007), *The Exploit. A Theory of Networks*, University of Minnesota Press

de Gaulejac Vincent, Hanique Fabienne (2015), *Le Capitalisme paradoxant. Un système qui rend fou*, Seuil

Gille Bertrand (1978, dir.), *Histoire des techniques : Technique et civilisations, technique et sciences*, Gallimard

Gillespie Tarleton (2010), « The Politics of ‘Platforms’ » dans *New Media & Society* vol.12 n°3, disponible en ligne à l’adresse https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1601487 (consulté le 19 mars 2019)

Gkouskou Giannakou Pergia (2006), « Pair-à-pair, grille, certificats, filtres... Projets, objets et plates-formes technologiques influençant l’avenir d’Internet » dans *Multitudes*, vol. 26, n°3, pp. 197-208.

Goëta Samuel (2016), *Instaurer des données, instaurer des publics - Une enquête sociologique dans les coulisses de l'open data*, thèse de doctorat en Sociologie des techniques disponible en ligne à l'adresse <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-01458098/document> (consulté le 8 juin 2018)

Goody Jack (1979), *La Raison graphique*, éditions de Minuit

Gordon Robert J. (2016), *The rise and fall of American growth: the U.S. standard of living since the Civil War*, Princeton University Press

Gorz André (2003), *L'Immatériel*, Galilée

Goyette-Côté Marc-Olivier et Langlois Philippe (2014), « La participation sur les espaces de contenus générés par les utilisateurs, une exploitation collaborative » dans *TIC et société*, Vol. 8, n° 1-2, *Quelles perspectives critiques pour aborder les TIC ?*, pp. 84-105

Graeber David (2014), *Des fins du capitalisme*, Éditions Payot & Rivages

Granjon Fabien (2015), « Des fondements matérialistes de la critique » dans *Revue française des sciences de l'information et de la communication* n°6, disponible en ligne <http://rfsic.revues.org/pdf/1257>

Granjon Fabien (2016), « Présentation » dans Granjon Fabien (dir.), *Matérialismes, culture & communication*, Tome 1, Presses des Mines, pp. 11-36

Guerreau Alain (2001), *L'avenir d'un passé incertain : Quelle histoire du Moyen Âge au XXI^e siècle ?*, Le Seuil

Guichard Eric (2004), « L'internet, une technique intellectuelle » dans Guichard Eric, Abitboul Serge, Cobena Gregory, *Mesures de l'internet*, Les Canadiens en Europe, pp. 19-49

Hardt Michael, Negri Antonio (2000), *Empire*, Harvard University Press

Hayek Friedrich (1976), *The Denationalization of Money*, Institute of Economic Affairs

Hembrink J. & Stenberg P-G. (2013), « Continuous Integration with Jenkins », disponible en ligne à l'adresse

http://fileadmin.cs.lth.se/cs/Personal/Lars_Bendix/Teaching/Lund/Coaching-course/2013-14/Reports/2013/HembrinkStenberg.pdf (consulté le 15 mai 2018)

Herrenschmidt Clarisse (2007), *Les trois écritures, langue, nombre et code*, Gallimard

Hess Charlotte et Ostrom Elinor (2007), *Understanding knowledge as a commons*, MIT Press

Hinsley Harry & Stripp Alan (1993), *Codebreakers: The inside story of Bletchley Park*, Oxford University Press

Hoffsaes Colette (1990), « Les informaticiens, de la bidouille à la traduction », *Culture Technique*, n°21, pp. 160-165.

Jaimes Nicolas (2016), « Comment Google s’empare du marché français de la pub », article publié le 12 décembre 2016 sur le site du *Journal du Net*, disponible en ligne à l’adresse <http://www.journaldunet.com/ebusiness/publicite/1189438-comment-google-est-en-train-de-s-emparer-du-marche-francais-de-la-pub/> (consulté le 17 mars 2017)

Jappe Anselm (2003), *Les aventures de la marchandise*, Denoël

Jappe Anselm (2012), « Peut-on s’émanciper du fétichisme ? », conférence du 26 octobre 2012 à l’université de Lausanne dans le cadre du colloque Penser l’émancipation. Théories, pratiques et conflits autour de l’émancipation humaine

Jacquet Piment Hélène (2016), « Modèle communicationnel d’un réseau socionumérique d’entreprise », dans Coutant Alexandre & Domenget Jean Claude (dir.), *Communication & professionnalisation, Le communicateur bousculé par le numérique : quelles compétences à transmettre ?*, pp.100-123.

Jacquet Piment Hélène (2018), *Analyse du dispositif info-communicationnel formé par un réseau social d’entreprise : quelle communication pour quel travail ?*, thèse de doctorat en sciences de l’information et de la communication disponible en ligne à l’adresse <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02043934/document> (consulté le 7 mars 2019)

Kaiser Ed, Feng Wu-chan (2007), « mod_kaPoW: Mitigating DoS with Transparent Proof-of-Work », 3rd Annual CoNEXT Conference Columbia University, New York, 10-13

décembre 2007, article disponible en ligne à l'adresse <http://conferences.sigcomm.org/conext/2007/papers/studentabstracts/paper46.pdf> (consulté le 29 juin 2018)

Kelty Christopher (2008), *Two Bits. The Cultural Significance of free Software*, Duke University Press, disponible en ligne : <http://twobits.net/pub/Kelty-TwoBits.pdf> consulté le 6 juin 2017.

Knuth Donald (1998), *The Art of Computer Programming, vol. 3 : Sorting and Searching*, Addison-Wesley.

Kosik Karel (1988), *La dialectique du concret*, éditions de la passion

Kurz Robert (2011), *Vies et mort du capitalisme*, Éditions Lignes

Kurz Robert (2012), *Geld ohne Wert - Grundrisse zu einer Transformation der Kritik der politischen Ökonomie*, Horlemann Verlag

Lainé-Cruzel Sylvie (2004), « Documents, ressources, données : les avatars de l'information numérique » dans *RevueI3 - Information Interaction Intelligence*, vol. 4 n°1, pp. 105-119.

Lamarche Thomas (2005), « Les postures critiques de l'informatisation » dans *revue Terminal n° 93-94 hiver 2005-2006*, pp. 101-110

Lamy Jérôme et Saint-Martin Arnaud (2011), « Pratiques et collectifs de la science en régimes. Note critique » dans *Revue d'histoire des sciences*, vol. 64 n°2, pp. 377-389.

Lardellier Pascal (2013), « Un anthropologue à l'Apple Store – Notes de terrain sur le millénarisme d'Apple » dans *Questions de communication n°23*, pp. 121-144

Lassègue Jean (1998), *Turing*, Les Belles lettres, Paris.

Latour Bruno (1989), *La Science en action*, La Découverte

Latour Bruno (1996), *Petites leçons de sociologie des sciences*, Seuil

Laugée Françoise (2014), « Solutionnisme » dans *La revue européenne des médias et du numérique*, n°33, disponible en ligne à l'adresse <http://la-rem.eu/2015/04/15/solutionnisme/> (consulté le 17 juin 2018)

Lazuly Pierre (2006), « Télétravail à prix bradés sur Internet » dans *Le Monde diplomatique* n°629, pp. 16-17

Le Goff Jacques (2010), *Le Moyen Âge et l'argent : essai d'anthropologie historique*, Perrin

Le Marec Joëlle (2002a), *Ce que le « terrain » fait aux concepts. Vers une théorie des composites*, mémoire d'habilitation à diriger des recherches, disponible en ligne à l'adresse http://science.societe.free.fr/documents/pdf/HDR_Le_Marec.pdf (consulté le 23 juin 2017)

Le Marec Joëlle (2002b), « Situations de communication dans la pratique de recherche : du terrain aux composites » dans *Études de communication*, disponible en ligne à l'adresse <http://edc.revues.org/831> (consulté le 14 mars 2017).

Le Marec Joëlle et Babou Igor (2003), « Chapitre IV. De l'étude des usages à une théorie des "composites" : objets, relations et normes en bibliothèque » dans Emmanuël Souchier, Joëlle Le Marec et Yves Jeanneret (dir.), *Lire, écrire, récrire : objets, signes et pratiques des médias informatisés*, pp 233-299.

Lemieux Cyril (2007), « À quoi sert l'analyse des controverses ? » dans *Mil neuf cent. Revue d'histoire intellectuelle*, n° 25, pp. 191-212

Lessig Lawrence (2000), « Code Is Law. On Liberty in Cyberspace » dans *Harvard Magazine*, numéro de janvier-février 2000, article disponible en ligne à l'adresse <https://harvardmagazine.com/2000/01/code-is-law-html> (consulté le 29 juin 2018)

Lévy Pierre (1990), *Les technologies de l'intelligence*, La Découverte

Licklider J.C.R. & Clark Welden (1962), « On line man-computer communication » dans *Proceedings of the Spring Joint Computer Conference*, AFIPS, pp. 113-128

López Julio, Dahab Ricardo (2000), « An Overview of Elliptic Curve Cryptography » disponible en ligne à l'adresse <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.37.2771> (consulté le 24 juin 2018)

Loveluck Benjamin (2015), *Réseaux, libertés et contrôle. Une généalogie politique d'internet*, Armand Colin

Magis Christophe (2016), « Économie politique de la communication et théorie critique des médias. Épistémologie d'un héritage théorique critique » dans *Réseaux* 2016/5 (n° 199), pp.43-70.

Malm Andreas (2016), *Fossil Capital: The Rise of Steam Power and the Roots of Global Warming*, Verso.

Malm Andreas (2017), *L'Anthropocène contre l'histoire : le réchauffement climatique à l'ère du capital*, La Fabrique

Marx Karl (1971), *Un chapitre inédit du Capital*, Union générale d'éditions

Marx Karl (2011), *Manuscrits de 1857 - 1858 dits « Grundrisse »*, Éditions sociales

Marx Karl (2016), *Le Capital, livre I*, Éditions sociales

Mattelart Armand (2015), *Communication, idéologie et hégémonies culturelles. Une anthologie en trois volumes (1970-1986). Tome I*, Presses des Mines

Mattelart Tristan (2011, dir.), *Piratages audiovisuels. Les voies souterraines de la mondialisation culturelle*. De Boeck Supérieur

Maurel Lionel (2014), « Comment “Code Is Law” s’est renversé en “Law Is Code” », article de blog publié en ligne à l’adresse <https://scinfolex.com/2014/01/24/comment-code-is-law-sest-renverse-en-law-is-code/> (consulté le 29 juin 2018)

Merkle Ralph (1989 (1979)), « A Certified Digital Signature » dans *Advances in cryptology - CRYPTO '89*. (actes du colloque tenu à l'Université de Californie de Santa Barbara du 20 au 24 août 1989), pp. 218-238⁴³³, disponible en ligne à l’adresse https://www.researchgate.net/profile/Ralph_Merkle/publication/221355342_A_Certified_Digital_Signature/links/0f31753a3305a7c9f5000000/A-Certified-Digital-Signature.pdf (consulté le 24 juin 2018)

433 Cet article avait été initialement soumis à la revue *Communications of the ACM* en 1979 sans que le processus d'évaluation avant publication ait pu aboutir à l'époque, du fait du manque combiné de réactivité de l'auteur, de l'évaluateur et de l'éditeur.

Miège Bernard (2012, dir.), *La théorie des industries culturelles (et informationnelles), composante des SIC. Revue française des sciences de l'information et de la communication*, 1 | 2012, disponible en ligne <http://rfsic.revues.org/75> (consulté le 16 mars 2017)

Moriarty Kathleen, ten Oever Niels (2012), « The Tao of IETF - A Novice's Guide to the Internet Engineering Task Force », document publié en ligne sur le site de l'IETF et disponible à l'adresse <https://tools.ietf.org/html/rfc4677> (consulté le 27 juin 2018)

Moriset Bruno (2017), « Inventer les nouveaux lieux de la ville créative : les espaces de coworking » dans *Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement* 34 | 2017

Morozov Evgueni (2014), *Pour tout résoudre, cliquez ici : l'aberration du solutionnisme technologique*, Fyp éditions

Mosco Vincent (2009), *The Political Economy of Communication*, SAGE

Moulier-Boutang Yann (2007), *Le capitalisme cognitif, la nouvelle grande transformation*, Éditions Amsterdam

Musiani Francesca (2015), *Nains sans géants - Architecture décentralisée et services Internet*, Presses des Mines

Nakamoto Satoshi (2008), « Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System », disponible en ligne à l'adresse <http://www.bitcoin.org/bitcoin.pdf>

Negri Antonio (1979), *Marx au-delà de Marx*, éditions Bourgeois.

Negri Antonio, Vercellone Carlo (2008), « Le rapport capital / travail dans le capitalisme cognitif » dans *Multitudes* n°32, pp. 39-50

von Neumann John (1945). *First Draft of a Report on the EDVAC*. Philadelphia : Moore School of Electrical Engineering, University. of Pennsylvania

O'Dwyer Karl, Malone David (2014), « Bitcoin Mining and its Energy Footprint », Irish Signals & Systems Conference, Université de Limerick, 26 et 27 juin 2014, article disponible en ligne à l'adresse http://karlodwyer.com/publications/pdf/bitcoin_KJOD_2014.pdf (consulté le 29 juin 2018)

Olivier de Sardan Jean-Pierre (1995), « La politique du terrain », *Enquête n°1*, mis en ligne le 10 juillet 2013, consulté le 02 septembre 2016. <http://enquete.revues.org/263>

Parikka Jussi (2015), *A Geology of Media*, University of Minnesota Press.

Pasquinelli Matteo, Blanchard Aurélien (2013), « “Digitalisme” L’impasse de la media culture » dans *Multitudes*, n° 54, pp. 176-190

Pasquinelli Matteo & al. (2014), « Chapitre 9. Google PageRank : une machine de valorisation et d’exploitation de l’attention », dans Yves Citton (dir.), *L’économie de l’attention*, La Découverte, pp. 161-178.

Pégny Maël (2012), « Les deux formes de la thèse de Church-Turing et l’épistémologie du calcul » dans *Philosophia Scientiae vol. 16 n°3*, disponible en ligne à l’adresse <http://philosophiascientiae.revues.org/769> (consulté le 23 mai 2018).

Pelizza Annalisa, Kuhlmann Stephan (2017), « Mining Governance Mechanisms: Innovation policy, practice and theory facing algorithmic decision-making » dans *E. G. Carayannis, D. F. J. Campbell, & M. P. Efthymiopoulos (dir.), Handbook of Cyber-Development, Cyber-Democracy, and Cyber-Defense*. pp. 1-23

Perlman Fredy (1968), *Essay on Commodity Fetishism*, New England Free Press

Perticoz Lucien (2012), « Les industries culturelles en mutation: des modèles en question », dans Miège Bernard (dir.), *La théorie des industries culturelles (et informationnelles), composante des SIC. Revue française des sciences de l’information et de la communication, 1 | 2012*, disponible en ligne <http://rfsic.revues.org/112> (consulté le 20 mars 2017)

Peugeot Valérie (2013), « Biens communs et numérique : l’alliance transformatrice » dans Lisette Calderan et al. (dir.), *Le document numérique à l’heure du web*, ADBS, pp.141-154.

Postone Moishe (2009). *Temps, travail et domination sociale*. Mille et une Nuits, Paris.

Postone Moishe (2013), *Critique du fétiche Capital*, PUF

Prodnik Jernej (2012), « A Note on the Ongoing Processes of Commodification: From the Audience Commodity to the Social Factory » dans Fuchs Christian, Mosco Vincent (dir.), *Triple-C*, vol.10 n°2, pp.274-301

Proulx Serge (2016), « Postface. Politiser la question du numérique ? » dans Robert Pascal (dir.), *L'impensé numérique. Tome 1 : des années 1980 aux réseaux sociaux*, éditions des archives contemporaines, pp. 163-168

Raynaud Dominique (2003), *Sociologie des controverses scientifiques*, PUF

Rebillard Franck, Smyrnaio Nikos (2010), « Les infomédiaires, au cœur de la filière de l'information en ligne. Les cas de google, wikio et paperblog », *Réseaux* 2010/2 (n°160-161), pp. 163-194.

Reunanen Markku (2017), *Times of Change in the Demoscene. A Creative Community and Its Relationship with Technology*, thèse de doctorat disponible en ligne : http://www.kameli.net/~marq/reunanen-times_of_change.pdf consulté le 6 juin 2017

Rivest Ronald, Shamir Adi et Adleman Leonard (1978), « A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems » dans *Communications of the ACM* vol.61 n°2, pp. 120-126, disponible en ligne à l'adresse <https://people.csail.mit.edu/rivest/Rsapaper.pdf> (consulté le 24 juin 2018)

Robert Pascal (2000a), « Qu'est-ce qu'une technologie intellectuelle ? » dans *Communication & Langages* n°123, pp. 97-114

Robert Pascal (2000b), « Le MOTIF : de l'informatique comme moteur d'inférence et de gestion de formes » dans *revue Solaris* n° 7, décembre 2000 / janvier 2001

Robert Pascal (2004), « Entre critique et modélisation, pour une nouvelle posture critique face à l'informatisation », XIII^e colloque international, « société de l'information, société de contrôle », co-organisé par le CREIS et la revue Terminal, Paris, Juin 2004.

Robert Pascal (2005), *La logique politique des technologies de l'information, critique de la logistique du « glissement de la prérogative politique »*, Presses universitaires de Bordeaux

Robert Pascal (2009), *Une théorie sociétale des TIC*, Hermès-Lavoisier

Robert Pascal (2010), *Mnémotechnologies*, Hermès-Lavoisier

Robert Pascal (2011), « Critique de la “gestionnarisation” », colloque international EUTIC 2011, Transformation des organisations : évolution des problématiques et mutations fonctionnelles, Bruxelles, 23-25 novembre 2011.

Robert Pascal (2012), *L’impensé informatique*, Éditions des archives contemporaines

Robert Pascal (2013), « Esquisse d’une archéologie de l’informatique communicante » dans *Camille Paloque-Berges, Christophe Masutti (dir.) Histoires et cultures du Libre – Des logiciels partagés aux licences échangées*, Framasoft

Robert Pascal (2014a), « Les logiques politiques des TIC, les TIC, entre impensé, glissement de la prérogative politique et gestionnarisation » dans *Revue française des sciences de l’information et de la communication*, 5 | 2014

Robert Pascal (2014b), « Critique de la logique de la “gestionnarisation”. Au miroir du cas des universités » dans *Communication et organisation* n°45, pp. 209-222

Robert Pascal (2015), « Le biblion et les substituts du livre » dans *communication & langages* n°184, pp.3-23

Robert Pascal (2016a, dir.), *Bande dessinée et numérique*, CNRS éditions

Robert Pascal (2016b, dir.), *L’impensé numérique. Tome 1, Des années 1980 aux réseaux sociaux*, Éditions des archives contemporaines

Robert Pascal (2017), *De l’incommunication au miroir de la bande dessinée*, Presses Universitaires Blaise Pascal

Robert Pascal (2018), *La bande dessinée, une intelligence subversive*, Presses de l’ENSSIB

Rochet Jean-Charles et Tirole Jean (2003), « Platform Competition in Two-Sided Markets » dans *Journal of the European Economic Association* vol.1 n°4, pp. 990–1029

Rosa Harmut (2010), *Accélération. Une critique sociale du temps*, La Découverte

Rosdolsky Roman (1976), *La Genèse du « Capital » chez Karl Marx*, traduit de l'allemand par Jean-Marie Brohm et Catherine Colliot-Thélène, Maspero

Roubine Isaak (2009), *Essais sur la théorie de la valeur de Marx*, Éditions Syllepse

Rouvroy Antoinette et Berns Thomas (2013), « Gouvernamentalité algorithmique et perspectives d'émancipation » dans *Réseaux*, vol.31, n°177, pp. 163-196.

Sandoval Marisol & al. (2014, dir.), *Philosophers of the World Unite! Theorising Digital Labour and Virtual Work - Definitions, Dimensions and Forms. Triple-C*, vol.12 n°2, pp. 464-801

Schafer Valérie et Le Crosnier (2011, dir.), *La Neutralité d'internet. Un enjeu de communication*, CNRS, collection « Les Essentiels d'Hermès »

Schafer Valérie et Thierry Benjamin (2013), « Qui a inventé Internet ? Une vraie “fausse question”... » dans *Le Temps de médias* n°20, pp. 223-235

Schafer Valérie et Thierry Benjamin (2016), « The “Web of pros” in the 1990s: The professional acclimation of the World Wide Web in France » dans *New Media & Society*, vol. 18, n°7, pp. 1143-1158, disponible en ligne <https://doi.org/10.1177/1461444816643792>

Schafer Valérie (2017), « Femmes, genre et informatique : une question historique » dans le *Bulletin de la société informatique de France, Hors-série n°2 Femmes et informatique*, pp. 43-49

Scholz Roswitha (2000), *Das Geschlecht des Kapitalismus*, Horlemann Verlag

Scholz Roswitha (2004), *Théorie de la dissociation sexuelle et théorie critique adornienne*, texte présenté lors du symposium Roberto Schwarz de São Paulo (Brésil) en août 2004. (traduit de l'allemand)

Scholz Roswitha (2007), « Remarques sur les notions de “valeur” et de “dissociation-valeur” » dans *Illusio* n°4/5, pp.555-566

Scholz Trebor (2012, dir.), *Digital Labor: The Internet as Playground and Factory*, Routledge

Sevignani Sebastian (2013), « Review of the Book “Digital Labor: The Internet as Playground and Factory”, Edited by Trebor Scholz » in *Triple-C*, vol.11 n°1, pp.127-135

Shinn Terry et Ragouet Pascal (2005), *Controverses sur la science : Pour une sociologie transversaliste de l’activité scientifique*, Raisons d’agir.

Smyrnaio Nikos (2017), *Les GAFAM contre l’internet : Une économie politique du numérique*, INA

Sohn-Rethel Alfred (2010), *La pensée-marchandise*, éditions le croquant

Sonnac Nathalie (2006), « Médias et publicité, ou les conséquences d’une interaction entre deux marchés » dans *Le Temps des médias* n°6, pp. 49-58

Srnicek Nick (2018), *Capitalisme de plateforme. L’hégémonie de l’économie numérique*, Lux

Stinson Douglas (2003), *Cryptographie - Théorie et pratique*, Vuibert

Straw Will (2004), « Cultural Scenes » dans *Loisir et société / Society and Leisure* vol.27 n°2, pp. 411-422

Thévenot Laurent (1986), « Les investissements de forme » dans *Conventions économiques*, PUF, Paris, pp. 21-71.

Thierry Benjamin (2013), *Donner à voir, permettre d’agir. L’invention de l’interactivité graphique et du concept d’utilisateur en informatique et en télécommunications en France (1961-1990)*, thèse de doctorat en Histoire contemporaine⁴³⁴.

Thierry Benjamin (2015), « De l’abonné au miniteliste. L’invention du “grand public” entre usage et utilisation (1970-1984) » dans *Communication* vol. 33/2 | 2015, disponible en ligne <http://communication.revues.org/6079> (consulté le 3 aout 2017)

Tibon-Cornillot Michel (2003), « En route vers la planète radieuse - déferlement des techniques, insolence philosophique » dans *Rue Descartes*, 2003/3, n°41, pp. 52-63

Trenkle Norbert, Lohoff Ernst (2014), *La grande dévalorisation*, Post-éditions

⁴³⁴ Disponible en ligne en trois tomes :

<http://www.benjaminthierry.fr/wp-content/uploads/2015/08/The%CC%80se-Benjamin-Thierry-Tome-1.pdf>
<http://www.benjaminthierry.fr/wp-content/uploads/2015/08/The%CC%80se-Benjamin-Thierry-Tome-2.pdf>
<http://www.benjaminthierry.fr/wp-content/uploads/2015/08/The%CC%80se-Benjamin-Thierry-Tome-3.pdf>

La Tribune (2018), « Le minage des cryptomonnaies suspendu au Québec par le ministère de l'Énergie », article de Delphine Cuny publié en ligne le 11 juin 2018 et disponible à l'adresse <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/energie-environnement/le-minage-des-cryptomonnaies-suspendu-au-quebec-par-le-ministere-de-l-energie-781361.html> (consulté le 16 juin 2018)

Turing Alan (1936), On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society*, vol. 2, n° 42, pp. 230-265.

Turner Fred (2013), *Aux sources de l'utopie numérique : De la contre culture à la cyberculture*, C&F Editions

Turner Fred (2016), *Le Cercle démocratique. Le design multimédia, de la Seconde Guerre mondiale aux années psychédéliques*, C&F Editions

Vercellone Carlo (2003), *Sommes-nous sortis du capitalisme industriel ?*, La Dispute

Vercellone Carlo (2010), « The crisis of the law of value and the becoming-rent of profit » dans Fumagalli Andrea, Mezzadra Sandro (dir.), *Crisis in the global economy*, MIT press, pp. 85-118

Vitali-Rosati Marcello (2016), « Qu'est-ce que l'éditorialisation » dans *Sens Public* [revue en ligne], article disponible à l'adresse <http://www.sens-public.org/article1184.html> (consulté le 22 mars 2019)

Vitalis André (2016), *L'incertaine révolution numérique*, iSTE éditions

Voirol Olivier (2010), « La Théorie critique des médias de l'École de Francfort : une relecture » dans *Mouvements vol. 1 n°61*, pp. 23-32

Voirol Olivier (2011), « Retour sur l'industrie culturelle » dans *Réseaux n° 166*, pp. 125-157

Voirol Olivier (2012), « Quel est l'avenir de la théorie critique ? » dans *Questions de communication n°21*, pp. 107-122

Wagner Pierre (2005), « Wittgenstein et les machines de Turing » dans *Revue de métaphysique et de morale* n°46, PUF, pp. 181-196

Weber Warren E. (2016), « A Bitcoin standard: Lessons from the gold standard » dans *Bank of Canada Staff Working Paper* n°2016-14, disponible en ligne à l'adresse <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/148121/1/856129119.pdf> (consulté le 15 juin 2018)

Wiener Norbert (2014), *Cybernétique et société : L'usage humain des êtres humains*, Points (nouvelle traduction de *The Human Use of Human Beings*, 1950, Houghton Mifflin)

Winner Langdon (1997), « Cyberlibertarian Myths and the Prospects for Community » dans *Computers and Society* vol.27 n°3, ACM SIGCAS, pp. 14-19, disponible en ligne à l'adresse <http://homepages.rpi.edu/~winner/cyberlib2.html> (consulté le 26 juin 2018)

Annexe

Code source pour l'extraction du corpus Scaling Bitcoin

```
<?php
$START = "<!-- ##### CONTENT START ##### -->";
$END = "<!-- ##### CONTENT END ##### -->";

$lines = file('https://scalingbitcoin.org/presentations', FILE_IGNORE_NEW_LINES);
$index = 0;
while ($lines[$index] != $START) {
    $index ++;
}
$index++;
$file = 'ScalingBitcoin.xml';
unlink($file);
while ($lines[$index] != $END && $lines[$index] != '<script
type="text/javascript">') {
    if (!empty(trim($lines[$index]))) {
        $lines[$index] = str_replace('is-active', '', $lines[$index]);
        $lines[$index] = str_replace('&', '&amp;', $lines[$index]);
        file_put_contents($file, $lines[$index] . "\n", FILE_APPEND);
    }
    $index ++;
}
$events = [];
$document = new DOMDocument();
$document->load($file);
$xPath = new DOMXPath($document);
$tabs = $xPath->query('//a[@class="mdl-tabs__tab "]');
if ($tabs) {
    foreach ($tabs as $tab) {
        $index = substr($tab->getAttribute('href'), 3, 1);
        $event = $tab->textContent;
        $events[$index] = [
            'event' => $event,
            'videos' => []
        ];
    }
}
ksort($events);
foreach ($events as $index => $event) {
    $presentations = $xPath->query('//div[@id="SB" . $index .
'-tab"]//div[@class="presentation-card mdl-card mdl-shadow--2dp sixteen-nine "]');
    if ($presentations) {
        foreach ($presentations as $presentation) {
            $fragment = simplexml_import_dom($presentation);
            $media = $fragment->children()[0];
            $menu = $fragment->children()[1];
            $support = $media->children()[1];
            $author = ''.$support->children()[0];
            $id = ''.$support->children()[2];
            $title = null;
            foreach (dom_import_simplexml($support)->childNodes as $child) {
                if ($child->nodeType === XML_TEXT_NODE && ! empty(trim($child-
>textContent))) {
```

```

        $title = trim($child->textContent);
        break;
    }
}
$data = $media->attributes()['data-video'];
$video = substr($data, strlen('youtube:'), 11);
$time = gmdate("H:i:s", (int) substr($data, strpos($data, 'start=') +
strlen('start='), - strlen('&autoplay=1&rel=0')));
$data = [
    'id' => $id,
    'title' => $title,
    'author' => $author,
    'time' => $time
];
if ($menu && $menu->children()) {
    foreach ($menu->children() as $child) {
        if ($child->attributes()['title'] == 'Presentation Slides') {
            $data['slides'] = ".$child->attributes()['href'];
        } else if ($child->attributes()['title'] == 'Transcript') {
            $data['transcript'] = 'https://scalingbitcoin.org' . $child-
>attributes()['data-url'];
        }
    }
}
$events[$index]['videos'][$video][] = $data;
}
}
}
$filename = 'ScalingBitcoin.csv';
unlink($filename);
file_put_contents($filename, "Événement\tVidéo Youtube\tPrésentation\tDébut à\tTitre\tAuteur\tSupport\tTranscription\n", FILE_APPEND);
foreach ($events as $index => $event) {
    file_put_contents($filename, $event['event'] . "\t", FILE_APPEND);
    $i = 0;
    foreach ($event['videos'] as $video => $presentations) {
        file_put_contents($filename, $i == 0 ? '' : "\t", FILE_APPEND);
        file_put_contents($filename, $video . "\t", FILE_APPEND);
        shell_exec('youtube-dl --id https://www.youtube.com/watch?v=' . $video);
        $j = 0;
        foreach ($presentations as $presentation) {
            file_put_contents($filename, $j == 0 ? '' : "\t\t", FILE_APPEND);
            file_put_contents($filename, $presentation['id'] . "\t", FILE_APPEND);
            file_put_contents($filename, $presentation['time'] . "\t", FILE_APPEND);
            file_put_contents($filename, $presentation['title'] . "\t", FILE_APPEND);
            file_put_contents($filename, $presentation['author'] . "\t", FILE_APPEND);
            if (isset($presentation['slides'])) {
                copy($presentation['slides'], $presentation['id'] . '.pdf');
            }
            if (isset($presentation['transcript'])) {
                $lines = file($presentation['transcript'], FILE_IGNORE_NEW_LINES);
                $index = 0;
                while ($lines[$index] != $START) {
                    $index ++;
                }
                $index++;
                $doc = $presentation['id'] . '.html';
                unlink($doc);
                while ($lines[$index] != $END) {
                    if (!empty(trim($lines[$index]))) {
                        file_put_contents($doc, $lines[$index] . "\n", FILE_APPEND);
                    }
                    $index ++;
                }
            }
        }
    }
}
}

```

```

        file_put_contents($file, (isset($presentation['slides']) ? 'X' : '')) . "\t",
FILE_APPEND);
        file_put_contents($file, (isset($presentation['transcript']) ? 'X' : '')) . "\n", FILE_APPEND);
        $j++;
    }
    $i++;
}
}
?>

```