



ANALYSE ÉCONOMIQUE DES INSTALLATIONS DE MINAGE D'ACTIFS CRYPTOGRAPHIQUES

Présentée à
Direction Grands clients et
Direction Développement des affaires - Québec
Vice-présidence – Clientèle
Hydro-Québec Distribution

KPMG s.r.l./S.E.N.C.R.L.

26 février 2018

Table des matières

1	CONTEXTE ET OBJECTIFS	1
1.1	Mise en contexte	1
1.2	Objectifs de la présente analyse	2
1.3	Démarche suivie	3
2	CONTOUR DES ACTIVITÉS ANALYSÉES ET CHAÎNE DE VALEUR DU MINAGE DE BITCOINS	5
2.1	La technologie « blockchain » et les cryptomonnaies	5
2.2	La « chaîne de valeur » du minage de bitcoins	12
3	VALEUR ÉCONOMIQUE DES ACTIVITÉS DE MINAGE DE BITCOINS	16
3.1	Les paramètres de base	16
3.2	Les principaux résultats	19
4	CONTRIBUTION POTENTIELLE D'ACTIVITÉS ADDITIONNELLES DE LA CHAÎNE GLOBALE DE VALEUR DU MINAGE	22
4.1	Les différents types d'activités additionnelles considérées	22
4.2	Les impacts économiques de ces activités additionnelles	24
5	CONCLUSION	28



Depuis le milieu de 2017, le Québec et Hydro-Québec ont reçu plusieurs demandes de branchement pour des centres de calcul de type « réseau blockchain ». Ces demandes sont non seulement très nombreuses, mais représentent également des quantités très importantes d'énergie. Elles se concentrent notamment dans une application bien spécifique de la technologie « blockchain », soit celle liée au minage d'actifs cryptographiques et en particulier au minage de la cryptomonnaie bitcoin. En quelques mois, plusieurs dizaines de projets de ce type ont été présentés à Hydro-Québec, représentant dans leur globalité plusieurs milliers de MW, soit au-delà de la totalité de l'énergie excédentaire disponible au Québec sur l'horizon des prochaines années.

Compte tenu de cet intérêt marqué pour l'implantation d'installations de minage de cryptomonnaie bitcoin au Québec, la direction Grands clients et la direction Développement des affaires – Québec de la Vice-présidence – Clientèle d'Hydro-Québec Distribution ont souhaité mieux cerner le niveau potentiel de contribution économique de ces centres de calcul afin de pouvoir répondre à des questions telles : Les impacts économiques des installations de minage sont-ils similaires à ceux de centres d'hébergement de données traditionnels ? Est-il pertinent ou non de développer activement la présence de ces centres de minage au Québec ? Pour quel type de centres ? À quelles conditions ?

1.2 Objectifs de la présente analyse

La présente analyse s'inscrit donc dans ce contexte d'ensemble. Hydro-Québec recherche une évaluation rigoureuse et neutre de la valeur économique associée aux activités des installations de minage d'actifs cryptographiques et en particulier de celles pour la cryptomonnaie bitcoin. Cette évaluation s'ajoutera à d'autres analyses et travaux internes chez Hydro-Québec.

Plus spécifiquement, l'analyse s'est concentrée sur la mesure de la valeur économique brute générée par quatre grands types d'installation de minage de cryptomonnaies. Ces types ont été définis à partir des principales caractéristiques de l'ensemble des projets qui ont été soumis à Hydro-Québec Distribution entre janvier 2017 et janvier 2018. Ces projets ne reflètent pas nécessairement tous les types d'activités et toutes les applications pouvant être réalisées par des centres de calcul utilisant le protocole « blockchain ». Par contre, ils sont représentatifs des demandes de blocs d'énergie déposées jusqu'à présent.

L'analyse permet d'évaluer la valeur économique ou la création de richesse au Québec des dépenses hors électricité de quatre types d'installations de minage de cryptomonnaie bitcoin. La portion des retombées économiques découlant des dépenses d'électricité n'est pas mesurée pour ne pas présupposer du tarif d'électricité pouvant être offert.



1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

1.1 Mise en contexte

Dans son dernier Plan stratégique 2016-2020, Hydro-Québec a retenu la contribution au développement économique du Québec comme un de ses quatre (4) grands objectifs. Cet apport à la création de richesse collective québécoise pourra prendre différentes formes au cours des années qui viennent. Parmi les leviers que l'organisation compte employer, on retrouve l'utilisation de l'énergie excédentaire à des fins de développement industriel.

À cet effet, Hydro-Québec a lancé un tarif spécial de développement économique pour des projets d'investissement énergivores dans des secteurs d'activité porteurs de croissance. Ce tarif spécial n'est pas négligeable puisqu'il offre une réduction initiale de 20 % par rapport au tarif applicable. L'hébergement de données constitue par exemple l'un de ces secteurs porteurs qui fut identifié. Ce choix se justifie notamment par les perspectives de croissance de ce secteur, par les nombreux atouts du Québec dans le domaine et ultimement, par la création nette ou additionnelle de richesse que permettent ces projets par rapport au « manque à gagner » tarifaire.

Si les impacts économiques liés aux activités des centres « traditionnels » d'hébergement de données sont assez bien circonscrits, il existe un nouveau segment en pleine ascension qui possède ses caractéristiques propres, soit les centres de données de type « réseau blockchain ». En fait, ces derniers s'apparentent plus à des centres de calculs qu'à des centres d'hébergement de données. Ces installations n'hébergent pas vraiment des données au sens traditionnel des centres de données, mais réalisent et valident des calculs mathématiques et cryptographiques.

Comme les centres d'hébergement de données, les centres de calcul de type « réseau blockchain » prennent la forme de lieux physiques avec de nombreux équipements informatiques et des besoins électriques importants. Mais ces centres de calcul diffèrent aussi sensiblement des centres de données traditionnels, et ce, à plusieurs titres : ils n'ont pas les mêmes équipements, les mêmes besoins de connectivité, ni les mêmes besoins de sécurité et les mêmes besoins de refroidissement... Ces différences peuvent par le fait même avoir des répercussions importantes sur la nature et l'envergure des dépenses engendrées par ces centres et, par conséquent, sur ses effets en termes de création de richesse sur les territoires où ils sont localisés.



Par contre, la quantité d'énergie nécessaire au fonctionnement de chacun de ces quatre types est indiquée. Le document illustre aussi comment la valeur économique des activités de minage pourrait être accrue pour l'économie québécoise si elles s'accompagnaient d'activités complémentaires de fabrication, de R&D ou de services.

La section qui suit (section 2) présente brièvement le contour des activités analysées et la chaîne de valeur liée au minage de bitcoins. La section 3 porte sur l'évaluation des retombées économiques des activités liées au minage de cryptomonnaies de type bitcoin. La section 4 aborde les répercussions d'autres types d'activités qui pourraient s'ajouter au minage de bitcoins, ou qui pourraient être exigées pour certains types d'installations de minage. La conclusion reprend, sous forme de synthèse, l'ensemble des grands constats de l'analyse économique.

1.3 Démarche suivie

Contrairement aux centres d'hébergement de données traditionnels, il existe peu d'informations complètes ou rigoureuses sur les activités des installations de minage de bitcoins, au Québec comme ailleurs. Ce type d'activités est non seulement relativement nouveau, mais aussi entouré d'un certain « secret ». Les statistiques officielles ne permettent pas d'isoler ce secteur d'activités et les renseignements diffusés par les entreprises de minage ou les promoteurs de telles installations sont minimaux.

La présente analyse a donc cherché à « reconstituer » les activités inhérentes à quatre types d'installations de minage de bitcoins. Les quatre types reposent sur quatre tailles d'installations différentes. Cette notion de taille a été retenue pour refléter l'éventail des divers projets soumis à Hydro-Québec Distribution, de même que l'effet de ce facteur sur les impacts économiques générés. Les quatre types seront décrits plus loin, mais correspondent respectivement à des installations de minage exigeant des appels de puissance électrique de 3 MW, 20 MW, 75 MW et 250 MW.

Pour reconstituer les activités inhérentes au minage de bitcoins et, plus particulièrement, les structures de dépenses associées à chacun des types d'installations retenus, des experts techniques ont été consultés et des promoteurs de projets interrogés. Ces promoteurs pouvaient être des organisations qui exploitaient déjà des installations de minage de bitcoins ou qui avaient des projets très avancés.

L'analyse présente une première évaluation à haut niveau des impacts qui pourraient être générés dans l'économie québécoise par les dépenses des activités de minage de bitcoins, excluant celles consacrées à l'achat d'électricité. L'impact spécifique d'un projet particulier



pourrait différer des résultats présentés ci-après. Par contre, l'ordre de grandeur de ces résultats apparaît non seulement réaliste, mais représentatif de la situation générale existante au début de 2018. Il est utile de souligner également que cette évaluation de la valeur économique ne tient pas compte de l'impact des revenus nets ou des profits générés par ces activités sur le Québec. Toutefois, il se révélait difficile d'intégrer cette composante à ce stade compte tenu de plusieurs facteurs qui demeureraient encore inconnus au moment de la réalisation de l'étude, par exemple le niveau, la localisation et le traitement fiscal de ces revenus nets.

Enfin, il importe de distinguer entre le potentiel de la technologie blockchain et celui de la cryptomonnaie bitcoin. Si la technologie blockchain est très certainement vouée à un futur prometteur, le minage de la cryptomonnaie bitcoin reste empreint de plusieurs incertitudes et risques. À tout moment, cette cryptomonnaie peut être sujette à une crise de confiance, un scandale, des freins politiques ou réglementaires, pour ne nommer que quelques facteurs qui pourraient nuire à son utilisation des prochaines années, voire des prochains mois. Dans de telles éventualités, la puissance de calcul des appareils supportant le réseau Bitcoin pourrait être redirigée en partie vers d'autres actifs cryptographiques. Ces autres actifs cryptographiques vont toutefois devoir reposer sur le même système de preuve de travail que le réseau Bitcoin, soit l'algorithme SHA-256. Comme ce système de preuve de travail est plus complexe et coûteux à opérer, il ne constitue pas la voie privilégiée pour les autres types d'application de la technologie blockchain. On ne peut donc éliminer le risque que les entreprises qui s'établiraient au Québec pour réaliser du minage de bitcoins, ou certaines d'entre elles, réduisent voire ferment leurs opérations si le contexte change.

Le présent document ne se veut ni un appui à la cryptomonnaie bitcoin, ni une indication de confiance quant à ses perspectives à venir. Il ne cherche qu'à estimer les retombées économiques potentielles des dépenses associées aux activités de minage de bitcoins.



2 CONTOUR DES ACTIVITÉS ANALYSÉES ET CHAÎNE DE VALEUR DU MINAGE DE BITCOINS

2.1 La technologie « blockchain » et les cryptomonnaies

La « blockchain » est une nouvelle technologie habilitante qui a et aura des impacts majeurs dans plusieurs champs d'activité différents. L'un de ces champs d'activités a toutefois pris son envol plus rapidement, soit celui de son utilisation pour soutenir le développement de cryptomonnaies, notamment le bitcoin. C'est notamment cette application spécifique qui exerce des pressions à la hausse sur les besoins en consommation électrique et qui a fait l'objet de plusieurs demandes auprès d'Hydro-Québec Distribution.

La technologie « blockchain »

Le protocole blockchain est une technologie de stockage et de transmission d'informations transparente, sécurisée, et fonctionnant sans organe central de contrôle¹. Un réseau blockchain constitue une base de données qui contient l'historique de tous les échanges effectués entre tous ses utilisateurs depuis sa création. L'intégrité de ce registre (base de données) est garantie par l'utilisation d'algorithmes cryptographiques de signature et de vérification des transactions. Elle est partagée par ses différents utilisateurs, sans intermédiaire, ce qui permet à chacun de vérifier la validité de la chaîne. Le cryptage des entrées d'information, le partage de l'historique des échanges, de même que cette capacité de validation par tous, expliquent que la base de données soit sécurisée et décentralisée.

Il existe des réseaux blockchains publics, ouverts à tous, et des réseaux blockchains privés, dont l'accès et l'utilisation sont limités à un certain nombre d'acteurs. Le premier réseau blockchain est apparu en 2008 avec la monnaie numérique bitcoin, développée par un inconnu se présentant sous le pseudonyme Satoshi Nakamoto. Ce dernier n'a d'ailleurs pas nommé l'innovation, ce n'est qu'après que le terme blockchain a fait son apparition. Cette première application est devenue l'architecture sous-jacente de la technologie blockchain.

Chaque réseau blockchain utilise un algorithme de consensus, méthode permettant au registre de se mettre à jour en acceptant ou en refusant de nouvelles transactions. La méthode utilisée par Satoshi Nakamoto dans la première implantation de transaction décentralisée est un algorithme de consensus appelé « proof-of-work ». Cet algorithme

¹ Cette section est principalement tirée de Blockchain France.



demeure celui utilisé pour la cryptomonnaie bitcoin. Il existe aussi d'autres méthodes de consensus utilisées, par exemple *proof-of-stake*, *proof-of-burn*...²

Si la technologie blockchain et le bitcoin ont été construits ensemble, l'utilisation de cette technologie peut s'appliquer à bien d'autres domaines et intéresser de nombreux acteurs différents (entreprises, institutions financières, gouvernements, etc.). Les applications de la technologie blockchain sont habituellement regroupées en trois grandes catégories :

- Les applications pour le **transfert d'actifs** (utilisation monétaire, mais également pour d'autres types d'actifs comme des actions, obligations, propriétés immobilières...);
- Les applications en tant que **registre** (votes, certificats, transactions, titres...);
- Les applications pour l'**exécution de contrats** numériques (soit des programmes autonomes qui exécutent automatiquement des actions à effectuer au registre, sans nécessiter d'intervention humaine)³.

On remarque immédiatement que les champs d'utilisation de la technologie blockchain sont à la fois variés et immenses : banques, assurances, santé et industrie pharmaceutique, chaîne d'approvisionnement, transport et logistique, services publics, énergie, immobilier... En utilisant des systèmes informatiques décentralisés, la technologie blockchain a ainsi le potentiel de remplacer ou de modifier les activités d'intermédiation, notamment celles reposant sur des « tiers de confiance » centralisés.

Toutefois, l'utilisation de la technologie blockchain en est encore à ses premiers balbutiements. En 2017, la valeur des dépenses associées à cette technologie aurait été inférieure à 1 milliard de dollars à l'échelle mondiale selon IDC⁴. La plupart des experts fondent néanmoins de grands espoirs sur le potentiel de cette technologie. D'un stade principalement expérimental, on pourrait assister à plusieurs déploiements de plus grande importance dans les prochaines années. Les industries les plus propices à une adoption rapide sont le secteur financier, notamment bancaire, et le secteur de la distribution.

Les centres de calculs de type « réseau blockchain » représentent l'infrastructure sous-jacente au fonctionnement de ses différentes applications de la technologie. Ils sont nécessaires au maintien du registre des transactions réalisées, à l'exécution des contrats

² Comme mentionné plus loin, les diverses méthodes de consensus ne requièrent pas la même quantité d'énergie pour réaliser les calculs inhérents au réseau blockchain et l'algorithme « proof-of-work » du réseau Bitcoin est celui le plus intensif en énergie.

³ Comme le présent document se concentre sur les installations de minage de bitcoins, cette section ne s'attarde pas sur les nombreuses applications potentielles de la technologie blockchain.

⁴ Voir International Data Corporation (IDC), « Worldwide Semiannual Blockchain Spending Guide », janvier 2018.



intelligents (*smart contract*) et à la vérification des transactions s'y rapportant. À noter que l'intelligence artificielle est vue comme un complément porteur à la technologie blockchain, car elle permettrait de hiérarchiser les transactions, de faciliter l'exécution automatique des contrats et de réduire l'effort de validation.

Si la technologie blockchain implique nécessairement l'utilisation d'équipements informatiques, les besoins en énergie électrique peuvent varier sensiblement selon l'algorithme de consensus employé et le degré de décentralisation du réseau. Par exemple, un réseau privé ne requiert en général que quelques serveurs pour fonctionner, alors qu'un réseau comme celui de Bitcoin ou d'Ethereum utilise des centaines de milliers de machines.

Les cryptomonnaies et le bitcoin

Les cryptomonnaies ont constitué les premières applications de la technologie blockchain et demeuraient, au début de 2018, la principale utilisation de cette technique. Ces cryptomonnaies ont émergé en 2009 et elles sont particulièrement en expansion depuis 3-5 ans, à la fois en nombre et en utilisation. En janvier 2018, on pouvait dénombrer au moins une trentaine de cryptomonnaies d'une certaine importance, mais leur nombre total est beaucoup plus grand⁵. Le bitcoin est non seulement la pionnière dans le domaine, mais encore aujourd'hui, et de loin, elle reste la plus importante cryptomonnaie en termes de capitalisation⁶.

On analyse généralement les cryptomonnaies selon trois grandes caractéristiques soit : la dimension « Émission » (nombre d'unités en circulation et masse monétaire); la dimension « Type de preuve » (règles de consensus utilisées pour sécuriser le registre distribué); la dimension « Algorithme » (nature de la signature électronique, du protocole et/ou de la preuve de travail). Il est important de mentionner que chaque cryptomonnaie ne correspond pas nécessairement à un nouveau réseau. En fait, plusieurs coins numériques, voire la plupart, utilisent les règles de consensus du réseau Ethereum.

Comme toute autre application blockchain, les cryptomonnaies exigent que toutes les transactions soient signées cryptographiquement de manière à les individualiser pour ne pas les imiter. Les transactions effectuées entre les utilisateurs du réseau sont ensuite regroupées par blocs, qui sont eux aussi signés cryptographiquement. Chacune des

⁵ Pour la liste des principales cryptomonnaies et leurs caractéristiques, voir par exemple le site crypto encyclopédie au <https://www.cryptoencyclopedie.com/cryptomonnaies>. Une quarantaine de ces cryptomonnaies avaient une capitalisation dépassant 1 milliard de \$ US en janvier 2018.

⁶ L'importance relative de la capitalisation du bitcoin dans l'ensemble des cryptomonnaies diminue par ailleurs. Elle dépassait 90 % du total au cours de l'année 2016 et est tombée à près de 60 % en moyenne pendant l'année 2017. Le 7 janvier 2018, cette part relative atteignait à peine 33 %. Voir <https://coinmarketcap.com/>.



nouvelles transactions et chacun des blocs sont enchaînés aux précédents pour pouvoir détecter ou prévenir toute manipulation et tout changement a posteriori. Chaque bloc est validé par les nœuds du réseau appelés les « mineurs », selon des techniques qui dépendent du type de blockchain.

Comme mentionné précédemment, la technique de validation du réseau Bitcoin est appelée la preuve de travail et consiste en la résolution de problèmes algorithmiques. Toute la chaîne est mise à jour en continu sur des périodes très courtes et elle est transparente pour tous les participants afin de respecter son principe de validation décentralisée. Tout ce système de support et de preuve de travail est connu sous l'appellation de minage. Le bitcoin emploie l'algorithme SHA-256 comme système de preuve de travail. Contrairement à d'autres cryptomonnaies, le bitcoin exige des systèmes de calcul plus puissants.

Les mineurs effectuent, avec leur matériel informatique, les calculs mathématiques supportant le réseau bitcoin. Comme récompense pour leurs services, ils collectent les bitcoins nouvellement créés ainsi que les frais des transactions qu'ils confirment. Les mineurs (ou les coopératives de mineurs) sont en concurrence et leurs revenus sont généralement proportionnels à la puissance de calcul déployée.

L'évolution des activités de minage de bitcoins

Depuis le milieu de 2017, plusieurs facteurs se sont conjugués et ont « animé » le marché des cryptomonnaies, notamment celui du bitcoin. D'une part, on a assisté à des variations importantes de la valeur du bitcoin avec une tendance significative à la hausse au cours de l'année 2017. Malgré une correction importante à la baisse au début de 2018, le cours de cette cryptomonnaie a néanmoins été multiplié par 8 par rapport au début de 2017⁷. D'autre part, l'utilisation des monnaies virtuelles s'est accrue et de nouveaux instruments financiers reposant sur les cryptomonnaies ont été développés⁸. En parallèle, plusieurs états ont commencé à réagir pour encadrer les échanges de bitcoin sur leur territoire ou pour sensibiliser leurs citoyens aux risques financiers que comporte la détention de cette cryptomonnaie.

⁷ Le cours du bitcoin s'est maintenu autour de 1 000 \$ US pendant tout le début 2017 pour ensuite commencer à monter en avril 2017. Il atteignait 2 000 \$ en mai, 3 000 \$ en juin, 4 000 \$ en août, 5 000 \$ en octobre, 10 000 \$ en novembre, près de 20 000 \$ en décembre, pour revenir autour de 8 000 \$ au début février 2018. Voir <https://www.coindesk.com/price/>.

⁸ On a notamment assisté au lancement de produits dérivés, d'options, ou encore, de fonds d'investissement axés sur les cryptomonnaies ou le bitcoin.



Ces facteurs ont en parallèle exercé des pressions importantes sur les activités et les installations de minage. La demande accrue, et en particulier la hausse de la valeur du bitcoin, ont augmenté sensiblement la rentabilité potentielle des activités de minage. Cette espérance de gains a stimulé un accroissement sensible des capacités de minage, que ce soit par le biais de nouveaux entrants ou par l'expansion de mineurs existants⁹. La demande pour les équipements de minage a en parallèle bondi, incluant le prix de ceux-ci car il est indexé sur la valeur du bitcoin.

Par ailleurs, le protocole Bitcoin a été conçu pour avoir une mise à jour toutes les 10 minutes, soit un nouveau bloc toutes les 10 minutes. Pour permettre la stabilité de l'émission de nouveaux bitcoins (appelée distribution monétaire), le système ajuste automatiquement la complexité du système tous les 15 jours. La rémunération du mineur, qui obtient la création d'un nouveau bloc (événement qui arrive toutes les 10 minutes), est elle-même divisée par 2 à tous les 2 016 blocs (soit environ tous les 4 ans). Ces ajustements constants ainsi que l'augmentation significative de la valeur du bitcoin ont eu pour effet de favoriser l'augmentation du niveau de puissance de calcul à déployer pour obtenir un même niveau de bitcoins.

Ces phénomènes ont eu des répercussions sur la structure des installations de minage. On a assisté à une augmentation de la taille des centres et du nombre de grands centres de minage. Des centres de services, qui pratiquent le « cloud mining » et la colocation, ont aussi émergé. Ces centres vendent de la capacité de calcul à leurs clients et ces derniers reçoivent en échange les fractions de bitcoins minés, après déduction de frais de gestion du centre de services. Autre changement majeur du côté des installations de minage, on a assisté au cours des derniers mois de 2017 à un déplacement géographique des nouveaux projets de minage. Cette évolution a été alimentée notamment par l'incertitude liée aux politiques de certaines autorités gouvernementales, notamment en Chine et en Corée du Sud.

Le minage de bitcoins s'est développé majoritairement en Chine et les plus gros mineurs sont des entreprises chinoises. Les opérations de « minage » se sont même concentrées dans des régions rurales du Sichuan, soit au plus près des zones de production d'énergie

⁹ Le seuil de rentabilité des installations de minage est fonction du prix du bitcoin, du taux de succès du minage et de leurs coûts d'exploitation. Le taux de succès diminue avec la croissance de la capacité de calcul dédiée au minage et de la diminution du taux de rétribution dans le temps qui est inhérent au protocole du réseau Bitcoin. Les coûts d'exploitation sont essentiellement liés aux coûts des machines et aux prix de l'électricité. Le prix minimum du bitcoin pour atteindre ce seuil de rentabilité varie dès lors dans le temps et selon les caractéristiques du mineurs (localisation, prix payé pour les machines, opérateur existant, nouvel entrant...). Au début 2018 pour une installation au Québec, les experts estimaient que le seuil de rentabilité correspondait à un prix du bitcoin se situant entre 3 000 et 4 000 \$ pour un opérateur existant.



électrique. Le minage de bitcoins est une activité entraînant une dépense d'électricité significative. Il est en effet relativement aisé de démarrer l'activité de minage puisque la technologie est libre et des solutions prêtes à l'emploi sont disponibles. Les véritables difficultés résident dans l'accès aux équipements et systèmes « reconnus » et dans un approvisionnement en électricité à coût compétitif. Les lieux disposant d'une énergie à bas coût ont donc forcément un avantage direct. Ainsi, de larges « mines » de bitcoins ont été localisées sur le territoire de Leshan, dans la province du Sichuan. Une ville qui a peu de lien avec les technologies numériques émergentes, mais qui dispose d'un accès à une source d'énergie électrique importante et peu coûteuse. Or, à la fin de 2017 et au début de 2018, les autorités chinoises ont pris diverses mesures de resserrement envers le bitcoin et l'interdiction du minage de cette cryptomonnaie était même envisagée.

Dans cette foulée, Hydro-Québec a reçu une quantité importante de demandes de branchement électrique pour des installations de minage. Les efforts déployés au cours des mois précédents pour attirer au Québec des centres de données, autant en termes de promotion du territoire que de tarifs d'électricité offerts, n'étaient certes pas étrangers à cet intérêt soudain et marqué de la part des mineurs de bitcoins.

Les principaux avantages du Québec en matière de minage de bitcoins

Les avantages du Québec en matière de minage de bitcoins s'apparentent beaucoup à certains de ceux qui sont liés aux activités de centres d'hébergement de données plus traditionnels. Parmi ces avantages du Québec, on peut souligner :

- **Une source d'énergie électrique peu coûteuse.** Une dimension très importante étant donné la très grande part des coûts énergétiques dans les dépenses d'exploitation des installations de minage (ceux-ci peuvent représenter en moyenne plus de 60 % des coûts d'exploitation, l'électricité servant à alimenter les systèmes informatiques et à ventiler les équipements). Au Québec, le faible coût relatif de l'électricité représente le principal avantage du territoire québécois pour les activités de minage de bitcoins. Cet aspect n'est évidemment pas étranger à la multitude de projets déposés ces derniers mois et démontre en quelque sorte le bas niveau des tarifs québécois, par rapport au marché mondial, pour les clients grande puissance¹⁰;

¹⁰ Bloomberg New Energy Finance a réalisé une comparaison des prix moyens de l'électricité de plusieurs territoires considérés par les mineurs de bitcoin. Si cette comparaison inclut une moyenne canadienne, et non pas les tarifs québécois, il est tout de même possible de noter que le Québec se retrouve parmi les territoires ayant les plus bas tarifs électriques (avec l'Islande, la Russie, la Suisse, le Paraguay et la Géorgie). Voir <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-02-04/power-hungry-crypto-mines-clean-up-as-cost-of-electricity-grows>.

- **Une source d'énergie verte.** Le prix de l'électricité demeure beaucoup plus important que sa dimension verte. Toutefois, la croissance majeure de consommation d'énergie au cours des derniers mois par les mineurs de cryptomonnaies a accaparé beaucoup d'attention médiatique. L'utilisation de sources d'énergie plus verte est par le fait même devenue un peu plus significative;
- **Une disponibilité de blocs d'énergie d'importance et stable.** On compte peu de régions qui disposent non seulement d'énergie électrique à prix compétitifs, mais également de blocs d'énergie significatifs disponibles sur un court horizon. La situation actuelle d'énergie excédentaire du Québec suscite l'intérêt d'investisseurs qui envisagent la réalisation de projets majeurs à court terme;
- **Un climat froid.** Un facteur qui contribue à diminuer la facture d'électricité et, par le fait même, à réduire les coûts totaux d'exploitation des installations de minage de bitcoins;
- **Une stabilité légale et politique.** Les installations de minage se sont développées au départ dans des pays où les cadres légaux et politiques étaient plus volatiles. Plusieurs mineurs ont par le fait même vécus les risques et les coûts associés à des changements brusques du cadre de fonctionnement, ou à ses incertitudes. La stabilité, comme la transparence des cadres légaux et politiques du Québec, deviennent par le fait même un facteur important et apprécié par les mineurs;
- **L'ouverture aux investissements étrangers.** Plusieurs mineurs, et les plus importants mineurs actuels, sont des entreprises étrangères. L'ouverture du Québec face aux investissements directs étrangers et le support de tout genre accordé à ces investisseurs constituent un facteur favorable au territoire québécois.

Au cours de 2017 et au début de 2018, le Québec, comme le Canada plus globalement, s'est retrouvé parmi les territoires qui ont suscité le plus d'intérêt auprès des mineurs qui souhaitent établir de nouvelles installations de minage de bitcoins. Parmi les autres régions sollicitées ou considérées, on compte notamment l'Islande, la Suisse et la Russie.

Il existe aussi des différences importantes avec les centres traditionnels de données. La proximité des États-Unis, où les lois sur la protection des renseignements personnels sont importantes pour les centres de données, mais pas du tout pour les installations de minage. L'accès à de larges bandes passantes, où les coûts de connectivité ne sont pas non plus des facteurs considérés par les centres de minage, mais sont importants pour les centres d'hébergement de données. L'étendue du territoire au niveau des capacités en technologies d'information (TI) ne constitue pas un élément significatif pour les installations de minage compte tenu du type d'emplois occupés. Par contre, la sécurité informatique prend une



importance encore plus grande avec le fait que plusieurs mineurs ou détenteurs de cryptomonnaies se sont fait voler des actifs au cours des derniers mois.

Ces différences font en sorte que les installations de minage n'ont pas besoin d'être localisées dans de grands centres urbains. Dès lors, des installations de minage de bitcoins peuvent être situées un peu partout sur le territoire pourvu que le site ait accès à un approvisionnement électrique. Ce type d'activités peut par le fait même s'établir plus facilement dans des régions confrontées à des difficultés économiques plus importantes (taux de chômage plus élevés, concentration industrielle élevée, revenus de travail plus faible...).

2.2 La « chaîne de valeur » du minage de bitcoins

Bien que le marché du minage de bitcoins demeure fragmenté, il existe néanmoins un certain nombre de grands mineurs qui accaparent une part de marché très importante. Par ailleurs, la technologie blockchain employée pour le minage de bitcoins fait appel à certains équipements et à certaines composantes critiques, notamment au niveau des « appareils de minage » et des semiconducteurs (« chips ») utilisés. Or, peu d'entreprises fabriquent ces équipements et composantes critiques.

La figure qui suit schématise la « chaîne de valeur » du minage de bitcoins et d'altcoins (soit les autres cryptomonnaies). Cette chaîne a été décomposée en quatre grands maillons : i) le premier correspond aux principales composantes qui entrent dans les équipements de minage; ii) le second porte sur la fabrication ou l'assemblage d'équipements de minage;

CONCEPTEUR / FABRICANTS DE COMPOSANTES	FABRICANTS / FOURNISSEURS D'APPAREILS DE MINAGE	MINEURS	OPÉRATEUR POOLS
Chip Design – ASIC (Bitcoin)	Appareils de minage (Bitcoin)	Mineurs à des fins personnelles	Services de hosting
BITMAIN	BITMAIN (FA/FO)	BITMAIN	Backbone Hosting Solutions
Bitfury	Bitfury (FA/FO)	Bitfury Hut8 (partenariat)	Hypertech DCS
GMO Internet Group	GMO Internet Group (FA/FO)	GMO Internet Group	ROOT Data Center
Halong Group	Halong Group (FA/FO)	Halong Mining	Colo-D
Chip Design – GPU (Altcoins)	Appareils de minage (Altcoins)	Guotong	Services de minage sur le Cloud
AMD (R&D, FA/FO)	Asus (cartes GPU, cartes mères)	Genesis Mining	Genesis Mining
nVidia (R&D, FA/FO)	Gigabyte (cartes GPU, cartes mères)		Antpool
Guotong (R&D)	eVGA (cartes GPU, power supply)		ViaBTC
Fournisseurs – Chips	Autres fournisseurs		
TSMC	Clara (matériel informatique / minage)		
			Pool's minières
			BTCC
			BWPool
			Sleash Pool
			Bitfury

¹ GMO Internet Group est dans le processus d'augmenter sa capacité de production et prévoit commencer la distribution publique.

² Clara est une firme de distribution de matériel informatique propriété du groupe Hypertec. Elle vend du matériel de minage Altcoin (cartes mères, cartes GPU, power supply)

iii) le troisième s'attarde à l'activité de minage en elle-même; iv) le dernier est en quelque sorte une extension du précédent et couvre les activités des coopératives de mineurs. Ce schéma présente certains des principaux acteurs de chacun de ces maillons.

À noter que les équipements « standards » des installations de minage ne sont pas représentés (câbles, ventilateur, « rack »...). De même, cette chaîne n'inclut pas l'ensemble des intrants nécessaires au minage (électricité, espace, bureau...). Le schéma se concentre en amont sur les fournitures et équipements spécialisés du minage. Il importe d'ailleurs de souligner qu'il existe des différences importantes au niveau des deux premiers maillons selon que le minage de cryptomonnaies porte sur des bitcoins ou des altcoins.

L'activité de minage de bitcoins se fait ainsi à partir de matériel conçu spécifiquement pour cette activité. Ce matériel utilise des semiconducteurs de type ASIC (« *Application Specific Integrated Circuit* »). Ces semiconducteurs permettent d'exécuter à très haute vitesse le même algorithme des millions de fois par seconde¹¹. Plusieurs entreprises conçoivent des semiconducteurs de type ASIC dédiés au réseau Bitcoin. Parmi les principales fonderies sollicitées pour la production de semiconducteurs ASIC dédiés aux réseaux blockchain, on retrouve Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC). TSMC est la plus importante fonderie de semiconducteurs indépendante. Son siège social est situé à Hsinchu, à Taïwan. Samsung, de Corée du Sud, produit aussi des semiconducteurs utilisés pour le minage de bitcoins.

Quatre entreprises étaient par ailleurs plus actives dans le design des semiconducteurs utilisés pour le minage de bitcoins (Bitmain, Bitfury, GMO Internet Group, Halong Group)¹². Ces quatre entreprises sont également les seuls fabricants des équipements de minage prêt à l'emploi et ayant au moins en partie la portée d'être commercialisés au grand public. Bitmain, entreprise chinoise basée à Beijing, fabrique le Antminer. Cette entreprise a émergée comme étant le principal fabricant de machines de minage et demeure, au début 2018, le principal fournisseur. Son Antminer S9 était considéré au moment de cette étude comme la machine la plus utilisée. La gamme d'équipements Avalon, fabriquée également par une société chinoise, était également encore employée pour le minage de bitcoins, mais

¹¹ Ce calcul est appelé hash. La capacité de calcul du matériel utilisé pour le minage de bitcoins est ainsi mesurée en « hashrate ». Par exemple, la capacité d'un Antminer S9, matériel dédié au minage de bitcoins possède un « hashrate » de 13,5 TH/s. En date du 24 janvier 2018, la capacité totale du réseau Bitcoin était estimée à 19 600 000 TH/s.

¹² Avec la poussée de la valeur du bitcoin en 2017 et la croissance du minage, plusieurs entreprises avaient des projets de développement de nouveau design de puces électroniques ASIC ou de nouvelles gammes d'équipement de minage de bitcoins. Il est possible que d'autres acteurs émergent en 2018.

ces machines ne sont plus commercialisées¹³. Bitfury, entreprise basée à Amsterdam, fabrique le Blockbox. Cette entreprise se positionne davantage comme un acteur de la technologie blockchain, mais elle assemble aussi des unités mobiles de minage de bitcoins, soit le Blockbox, qui intègre au sein d'un conteneur l'ensemble des pièces et de l'équipement nécessaires à ce minage. À la fin de 2017, la société Halong Group, également chinoise, a présenté une nouvelle gamme d'équipements de minage de bitcoins, soit la série DragonMint, dont le modèle phare sera le DragonMint 16T. Ce produit n'était pas encore commercialisé au moment de la réalisation de l'étude et sa mise en marché était prévue en mars 2018. Cet appareil apparaît plus performant sur le plan de la vitesse et de l'efficacité énergétique que l'Antminer S9¹⁴. GMO, entreprise japonaise basée à Tokyo, est un nouvel entrant dans ce maillon. Cette entreprise ne commercialisait pas encore de machines de minage de bitcoins au début 2018, mais développait une nouvelle carte mère (mining board) qui serait équipée de nouveaux semiconducteurs dédiés à cette activité¹⁵. La performance de ce nouveau produit semble supérieure au DragonMint. GMO pourrait ainsi devenir un joueur important si l'entreprise parvient à commercialiser ce produit en développement et à fournir en termes de production¹⁶.

En ce qui concerne les mineurs, on retrouve trois principaux types d'organisations, soient : i) celles qui minent le bitcoin pour leur propre compte; ii) celles hébergeant et entretenant des équipements de minage appartenant à des clients (Services de *hosting*); et iii) celles louant du « hashing power » (puissance de calcul) à des clients (Services de minage sur le Cloud). Le schéma présente uniquement quelques mineurs de chacun de ces types. Le nombre total de mineurs est inconnu, mais il se compte fort probablement en plusieurs dizaines de milliers. Il est difficile de connaître à la fois les principaux mineurs et leur part respective de marché. Par contre, il est de notoriété que Bitmain est le plus grand mineur de bitcoins. À noter que plusieurs installations minent à la fois du bitcoin et du altcoin (en particulier Ethereum). Ceci est particulièrement le cas pour les nouvelles installations mises

¹³ Les fondateurs de la société qui a conçu la gamme de produits Avalon se sont séparés et le projet d'un nouveau produit Avalon plus performant tarde à aboutir. La fin de la commercialisation de ses produits pourrait être le signe d'un niveau de performance non compétitif, d'une R&D défailante ou d'une utilisation exclusivement en propre.

¹⁴ Halong Group dit avoir consacré près de 30 millions \$ US et 12 mois de recherche dans le développement d'une génération de puces électroniques ASIC, soit le DM8575 ASIC. Cette puce tournerait plus rapidement (une vitesse de 85 GH) et serait plus efficace sur le plan énergétique (environ 0,075J/GH). Halong vise à s'appuyer sur le prix attractif de ces équipements et sur les caractéristiques alléchantes de son produit pour détrôner le leader du marché, soit Bitmain.

¹⁵ L'entreprise a ainsi développé un nouveau semiconducteur dédié au minage, soit le « 12 nm FFC mining chip ». Les cartes mères que l'entreprise compte commercialiser seraient toutefois équipées de la prochaine mouture de ce semiconducteur, soit le « 7 nm FFC mining chip ».

¹⁶ La plupart des fournisseurs de machines de minage de bitcoins pré-vendent leur matériel. Dans le contexte existant au moment de l'étude, il fallait souvent attendre quelques mois (3-4) pour recevoir les équipements achetés, les fournisseurs étant régulièrement en rupture de stock.

en place dans les derniers mois de 2017, du fait de la relative facilité d'acquérir du matériel de minage pour Ethereum (comparativement aux délais d'approvisionnement ou à la nécessité de faire des commandes de grand volume dans le cas du matériel spécifique au bitcoin)¹⁷.

On remarque également dans le schéma que les quatre fabricants de matériel sont également des mineurs. On peut légitimement se demander pourquoi ces mineurs commercialisent leurs équipements. Or, le principe de décentralisation d'un réseau blockchain incite les fabricants de matériel à également commercialiser leurs produits pour maintenir une distribution de la puissance de calcul et éviter une surconcentration sur trois ou quatre acteurs. Une telle concentration défierait le principe même de décentralisation, alors que le réseau Bitcoin en particulier est déjà très centralisé au goût de certains.

Les coopératives de mineurs (« pools minières ») combinent le *hashing power* de plusieurs mineurs afin d'augmenter la probabilité et la fréquence de trouver un bloc. Les récompenses minières sont ensuite distribuées au pro rata, en fonction de la proportion du *hashing power* apporté. Les pools sont un instrument essentiel de l'opération d'un mineur, permettant de rendre les revenus quotidiens plus stables et constants. Le nombre de ces « pools » est également important, mais moins nombreux évidemment que le nombre de mineurs individuels. On retrouve ici aussi certaines entreprises qui sont présentes dans tous les autres maillons de la chaîne, comme Bitmain (qui opère Antpool), ou encore Bitfury.

En terminant, on peut mentionner que l'activité de minage d'Ethereum se fait à partir de matériel grand public et que la carte graphique GPU est le cœur de ce système. Les machines dédiées à ce type de minage sont montées individuellement et comprennent entre 5 et 8 cartes GPU par système. Cet assemblage est plus complexe que les systèmes préfabriqués pour le réseau Bitcoin.

¹⁷ À noter qu'il y a aussi eu une grande pénurie des semiconducteurs de type GPU utilisés par le réseau Ethereum au cours de l'été 2017. Les deux principaux fabricants de ce type de semiconducteurs, AMD et nVidia, n'ont pas été en mesure de répondre à la demande.



3 VALEUR ÉCONOMIQUE DES ACTIVITÉS DE MINAGE DE BITCOINS

3.1 Les paramètres de base

L'analyse de valeur économique correspond à la création de richesse sur le territoire. La création nette de richesse peut être évaluée en mesurant, d'une part, la valeur ajoutée générée au Québec par un projet spécifique, et, d'autre part, en y soustrayant la valeur du choc tarifaire découlant de l'écart entre le coût marginal de l'électricité et le tarif accordé. Le présent document se concentre toutefois sur la création brute de richesse et ne tient pas compte du coût d'approvisionnement en électricité. Les responsables d'Hydro-Québec peuvent toutefois facilement évaluer la valeur économique nette en y appliquant le coût d'opportunité approprié pour l'électricité.

La **valeur ajoutée** est composée de l'ensemble de la rémunération des agents économiques québécois, soit la somme des salaires et gages avant impôts, des revenus nets des entreprises et des autres revenus bruts avant impôts. La mesure de création de valeur économique comprend à la fois les effets directs des dépenses engagées par les installations de minage et les effets indirects (soit l'impact chez les fournisseurs de ces installations excluant l'électricité¹⁸). Les dépenses de fonctionnement et d'investissement doivent être intégrées à l'analyse. Les dépenses d'investissement peuvent être ramenées à une forme de dépenses annuelles en tenant compte de l'amortissement annuel des immobilisations réalisées. À noter que les profits ou revenus nets réalisés par les mineurs ne sont pas intégrés à l'analyse¹⁹. Dans la mesure où des agents québécois réalisent des bénéfices nets sur ces activités et que ces revenus sont localisés au Québec, la valeur économique totale serait plus élevée que celle présentée plus loin.

Outre la valeur ajoutée qui correspond à la création de richesse, l'impact économique peut aussi être mesuré en termes d'**emplois soutenus**. Le niveau d'emplois et la qualité des emplois associés à une activité économique demeurent des variables significatives et importantes. L'emploi soutenu présenté comprend l'emploi direct (soit les principaux emplois nécessaires au fonctionnement des installations de minage) et l'emploi total (qui inclut aussi les emplois soutenus dans la chaîne des fournisseurs de ces installations). Le niveau d'emploi est mesuré en équivalent temps plein (les emplois à temps partiel sont ramenés à une base de temps plein). À noter que la notion d'emplois directs est associée

¹⁸ Cette exclusion n'est pas liée à la faible importance de l'approvisionnement en électricité. Au contraire, ce poste correspond et de loin à la principale dépense de fonctionnement engagée par les mineurs. Par contre, pour des raisons de confidentialité, la présente analyse ne couvre pas le coût d'approvisionnement marginal d'approvisionnement à utiliser, ni le tarif offert. Par contre, la quantité d'électricité consommée est présentée.

¹⁹ Ces revenus nets varient fortement selon la valeur du bitcoin tout en étant fonction du moment où ils sont transférés en devises reconnues, sans compter l'endroit où ces revenus nets sont reconnus. Comme indiqué plus tôt, le niveau, la localisation et le traitement fiscal de ces revenus nets comportaient encore plusieurs inconnues au moment de la réalisation de l'étude.

dans ce document aux principaux emplois que l'on retrouve au sein de l'installation. Certains de ces emplois pourraient ne pas correspondre à des personnes directement rémunérées par le mineur et être des activités qui sont imparties ou réalisées par des firmes externes (par exemple, la sécurité des installations)²⁰.

Par ailleurs, aux fins de la présente analyse, on a distingué **quatre types d'installations de minage**. Ces quatre types sont représentatifs de la diversité des demandes déposées chez Hydro-Québec Distribution sur la période allant de janvier 2017 à janvier 2018. Ces quatre types sont présentés dans le tableau qui suit. Ils se distinguent essentiellement sur le plan de leur taille et par conséquent sur le niveau d'appel de puissance électrique nécessaire à leur fonctionnement.

TABLEAU 1 – TYPES D'INSTALLATIONS DE MINAGE DE BITCOINS ANALYSÉS

	TYPES D'INSTALLATIONS DE MINAGE ANALYSÉS			
	« Petit » centre de minage	« Moyen » centre de minage	« Grand » centre de minage	« Très grand » centre de minage
Fourchette d'appel de puissance nécessaire au fonctionnement	2 à 5 MW	5 à 50 MW	50 à 100 MW	Plus de 100 MW
Niveau d'appel de puissance retenu pour le centre type	3 MW	20 MW	75 MW	250 MW
Nombre de « machines » de minage installées	1 950	13 000	48 750	162 500

Source : Analyse KPMG

Cette typologie est également intéressante sur le plan technique et tarifaire. Ainsi, Hydro-Québec Distribution n'a pas d'obligation d'approvisionnement pour les deux plus grands centres de minage puisqu'ils sont sujets à la politique d'octroi des blocs d'électricité de plus de 50 MW. Par ailleurs, au-dessus de 25 MW, le client doit être approvisionné par le réseau de lignes à haute tension, alors qu'en dessous de 25MW, il peut être alimenté par le réseau de base. Les deux plus petits centres de minage se retrouvent donc sous ce seuil de 25 MW. Enfin, le plus petit centre est sujet au tarif M, le moyen au tarif LG, alors que les deux derniers peuvent obtenir le tarif LG selon leur niveau de création de richesse au Québec.

²⁰ Habituellement la notion d'emplois directs fait référence aux employés qui sont directement rémunérés par l'entreprise. Comme certains mineurs préfèrent garder certaines activités à l'interne et d'autres préfèrent les externaliser, l'approche adoptée permet de comparer plus facilement les projets entre eux. Cette différence, par rapport à la notion habituellement utilisée, ne change toutefois pas les résultats des impacts économiques totaux mesurés.

À noter que l'activité de minage ne nécessite pas un minimum de 2 MW. En fait, des particuliers peuvent acquérir quelques machines et réaliser ce type d'activités à partir de leurs résidences. Il existe également un nombre important de microsites qui nécessite moins de 1 MW. Par contre, l'analyse s'est concentrée sur des installations « industrielles » de minage. De même, il peut exister des installations de taille gigantesque pouvant dépasser les 1 000 MW d'appel de puissance. Comme mentionné plus loin, la décision d'approvisionner en électricité ce type de mégasites pourrait faire l'objet d'une analyse spécifique et fort probablement s'accompagner d'exigences en termes d'autres types d'activités génératrices de richesse économique pour le Québec.

Par ailleurs, la vocation des installations n'est pas fixe et peut être hybride. Certaines installations peuvent miner plusieurs cryptomonnaies différentes, utilisant des technologies et des équipements différents²¹. L'analyse s'est toutefois concentrée sur le minage de bitcoins car plus de 80 % de la capacité inhérente aux demandes reçues en date de janvier 2018 étaient du type bitcoin. Par ailleurs, les centres de services de type « cloud mining » peuvent avoir une structure de dépenses légèrement différentes de celle des centres propriétaires. De même, la proportion des bénéfices nets captée par le Québec peut être plus grande chez les centres de propriété québécoise par rapport à ceux de propriétés étrangères²². Pour minimiser le nombre de types d'installation de minage analysés, ces dimensions ont été considérées, mais traitées séparément.

Les impacts économiques des quatre types d'installations de minage de bitcoins ont été mesurés en proportion de leur intensité énergétique spécifique, que ce soit par MW ou par kWh. Il importe de souligner que cette intensité énergétique reflète la situation du début 2018 en termes d'équipements utilisés. Comme indiqué plus tôt, certaines entreprises prévoient commercialiser de nouvelles gammes de machines en 2018. Ces équipements apparaissent plus performants à la fois sur le plan de la vitesse et de l'efficacité énergétique. Comme les impacts économiques, hors dépenses d'électricité, sont très liés au nombre de machines de minage installées, les gains en efficacité énergétique se traduisent automatiquement par de meilleurs ratios retombées par MW ou par kWh (excluant le coût de l'électricité)²³.

²¹ Voir la section précédente sur les équipements de minage de bitcoins par rapport à ceux qui minent des cryptomonnaies utilisant le protocole Ethereum.

²² Les bénéfices additionnels potentiels d'une entreprise de propriété québécoise sont de trois grands types : plus d'emplois liés à des fonctions administratives et décisionnelles; plus de dépenses locales (services professionnels, dons et commandites...); plus de taxes et impôts (employés administratifs supplémentaires, dirigeants et propriétaires résidents au Québec, moins de transferts...).

²³ À titre illustratif, il apparaît que le DragonMint 16T serait environ 5 % plus efficace en consommation électrique que l'Antminer S9 (qui est notre appareil de référence pour le calcul des impacts). Par ailleurs, le produit que pourrait commercialiser GMO apparaît 20 % plus efficace que l'Antminer S9 si les spécifications indiquées sont véritablement atteintes.

3.2 Les principaux résultats

Impacts économiques par type d'installations de minage

Dans un premier temps, nous nous attarderons aux résultats en proportion des appels de puissance demandés. Le tableau suivant présente les niveaux d'emplois directs et totaux par MW. Il faut rappeler que les emplois directs correspondent ici aux principaux emplois que l'on retrouve au sein de l'installation de minage. Ces emplois sont de trois types : i) gestion générale de l'installation (direction générale, finances, comptabilité, achat, représentation, ressources humaines...); ii) gestion du fonctionnement des équipements de minage (réseautique, entretien et maintenance des équipements...); iii) gestion du bâtiment (sécurité, entretien et maintenance du bâtiment...). Sans surprise, on observe des écarts importants entre les quatre grands types d'installations de minage analysés. Ce ratio varie du simple au triple. À noter que l'on remarque des écarts similaires au niveau de la valeur ajoutée par MW. La relation entre la taille d'une installation et son impact économique est négative. Plus une installation de minage est grande, moins son impact en termes de création de valeur économique par unité d'énergie est élevé. Enfin, la valeur ajoutée par emploi soutenu ne varie pas beaucoup d'un type d'installation à l'autre, oscillant entre 77 500 \$ et 80 500 \$.

TABLEAU 2 – IMPACT ÉCONOMIQUE PAR MW ET PAR TYPE D'INSTALLATIONS DE MINAGE ANALYSÉ (excluant l'impact des achats d'électricité)

	TYPES D'INSTALLATIONS DE MINAGE ANALYSÉS			
	« Petit » centre de minage (3 MW)	« Moyen » centre de minage (20 MW)	« Grand » centre de minage (75 MW)	« Très grand » centre de minage (250 MW)
Emplois directs/MW	2,3	1,2	0,7	0,4
Emplois totaux /MW	3,1	1,9	1,4	1,0
Valeur ajoutée totale/MW	244 405 \$	150 182 \$	110 331 \$	80 985 \$
Valeur ajoutée totale/kWh	2,8 ¢/kWh	1,7 ¢/kWh	1,3 ¢/kWh	0,9 ¢/kWh
Valeur ajoutée totale/Emploi total	77 708 \$	79 085 \$	78 426 \$	80 642 \$

Source : Analyse KPMG



Ces écarts étaient toutefois anticipés. Si certaines dépenses sont proportionnelles aux nombres de machines installées, d'autres n'augmentent pas dans les mêmes proportions. À noter par ailleurs que ces écarts seraient moins grands si on incluait les dépenses d'électricité. En effet, ce poste est de loin la principale dépense des installations de minage et la consommation électrique est directement fonction du nombre de machines installées²⁴. L'écart lié à ce poste serait uniquement fonction des tarifs payés par les différents types d'installations.

Ces impacts économiques sont par ailleurs inférieurs à ceux observés au niveau des centres traditionnels de données, notamment au niveau des emplois. [REDACTED]

On peut rappeler que l'étude KPMG de 2017²⁶ indiquait que le niveau d'emplois directs par MW des centres de données « propriétaires » oscillait entre 4 et 10, avec une concentration autour de 5 (11,5 emplois totaux par MW). Celui des centres de « colocation » variait entre 10 et 20 par MW avec une concentration autour de 12 (19 emplois totaux par MW). Quant aux centres à « vocation élargie », les écarts étaient plus importants, car il s'agissait de centres avec des vocations différentes d'un cas à l'autre. Par contre, on observait pour ce type une concentration autour de 20 à 30 emplois directs par MW (32,5 emplois totaux par MW). Fait à noter, aucun des centres d'hébergement de données analysés en 2017 ne dépassait un appel de puissance de 10 MW (et aucun ne dépassait 45 MW une fois pleinement déployé). Les mégacentres d'hébergement de données traditionnels auraient affiché des impacts plus faibles que ceux détaillés dans l'étude des centres de données, mais néanmoins plus importants que les mégacentres de minage de bitcoins.

Niveau de rémunération des emplois soutenus par les installations de minage de bitcoins

Le niveau de rémunération rattaché aux emplois directs des installations de minage de bitcoins oscillerait autour de 61 000 \$. Ce niveau de rémunération correspond au mix des

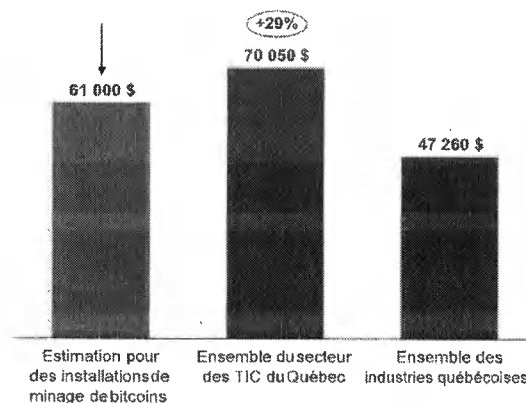
²⁴ L'électricité constitue le principal poste de dépenses des mineurs de bitcoins qui donne lieu à des retombées économiques au Québec. On retrouve ensuite la masse salariale ou le loyer selon la taille de l'installation de minage (le loyer, ou le coût pour l'espace occupé, pouvant devenir plus important que la masse salariale pour les installations de très grande taille). À noter que l'on a assisté au Québec, fin 2017 et début 2018, à une course aux espaces avec branchement électrique disponible. Ce contexte a eu pour effet d'augmenter la valeur de ces espaces et, du coup, les retombées financières pour leurs propriétaires.

²⁵ À noter que le minage d'altcoins utilisant le protocole Ethereum n'a pas fait l'objet de la présente analyse. Les impacts de ce type de minage par MW pourraient être un peu plus élevés dans la mesure où le matériel est un peu plus volumineux (plus d'espace), l'installation et la maintenance exigent plus de temps et qu'un plus grand nombre de pièces ou composants peut faire l'objet d'un approvisionnement local. Par contre, les informations colligées ne permettent pas de déterminer l'envergure de l'effet additionnel.

²⁶ Voir KPMG, *Analyse économique des centres de données*, présentée à Hydro-Québec Distribution, 3 juillet 2017.

emplois observés dans ces installations. Il s'agit d'une moyenne couvrant tous les types de postes et d'occupations. Il s'agit donc généralement d'emplois de qualité (avec une rémunération plus élevée que la moyenne des salaires du Québec et légèrement moins élevée que celle que l'on retrouve dans l'ensemble du domaine des TIC au Québec). Ce niveau de rémunération moyen est du même ordre que celui observé dans les centres traditionnels d'hébergement de données.

SCHÉMA 3 – COMPARAISON DES SALAIRES MOYENS DE 2017, EN \$
(résultats de l'enquête et statistiques officielles)



Source : Analyse KPMG

Sur la base des analyses réalisées, les installations de minage pourraient avoir du mal à justifier l'obtention du tarif spécial de développement économique (TDE). La création de valeur économique, qui est en sus de celle obtenue par l'électricité achetée, couvre à peine le crédit de 20 % qui serait accordé sur le tarif d'électricité normal. De plus, il apparaît que le seuil minimal fixé pour les centres de données puisse difficilement être atteint par les installations de minage.

Dans tous les types d'installations de minage, il serait toutefois possible d'accroître le niveau de création de valeur économique si la fonction minage s'accompagnait d'activités additionnelles. Comme ces activités consomment peu d'électricité, leur ajout contribue à accroître l'impact économique par MW appelé ou par kWh consommé. La prochaine section s'attarde à cet aspect.

4 CONTRIBUTION POTENTIELLE D'ACTIVITÉS ADDITIONNELLES DE LA CHAÎNE GLOBALE DE VALEUR DU MINAGE

4.1 Les différents types d'activités additionnelles considérées

Le minage de bitcoins génère globalement peu de retombées économiques en sus de l'électricité consommée. Comme remarqué dans la section précédente, cette activité est peu intensive en main-d'œuvre et fait principalement appel à des équipements fabriqués à l'extérieur du Québec. Par rapport à des centres traditionnels de données, elle est également économe en espace occupé, particulièrement si le déploiement des appareils est optimisé. En fait, des configurations d'installations de minage de bitcoins ont même été développées pour tenir à l'intérieur d'un conteneur²⁷.

Dans la mesure où l'on souhaite développer les activités de minage de bitcoins au Québec, tout en générant plus de valeur pour l'économie québécoise, il serait possible d'encourager ou d'exiger des promoteurs qu'ils réalisent d'autres types d'activités sur le territoire. Cette approche a par exemple été utilisée dans les années 2000 au Québec dans le cas des alumineries²⁸. Cette approche est en fait encore existante puisqu'elle est sous-jacente à la décision d'accorder ou non le tarif de développement économique²⁹ et elle demeure en vigueur pour les demandes de bloc d'énergie supérieur à 50 MW.

Les activités additionnelles qui pourraient être ajoutées à un projet de minage de bitcoins peuvent prendre plusieurs formes différentes. Pour les fins du présent exercice, cinq grands types ont été retenus. Cette liste n'est assurément pas exhaustive³⁰. Les activités additionnelles considérées sont :

²⁷ Voir par exemple <https://www.grcooling.com/bitcoin/>. Ce type de configuration implique un espace occupé qui est 2 à 3 fois moindre (selon que l'on considère un conteneur de 40 pieds ou de 20 pieds) que celui utilisé dans la présente analyse qui repose sur des installations au sein d'un bâtiment.

²⁸ Pour pouvoir obtenir de grands blocs d'électricité additionnels, les alumineries devaient bonifier leur projet d'expansion. Cette bonification pouvait être de plusieurs types (création d'un fonds d'investissement, création d'emplois en transformation secondaire, investissement en R&D, contribution à des universités...). L'envergure de la bonification était mesurée en création de richesse additionnelle pour le Québec.

²⁹ Le tarif de développement économique (TDE) n'est pas négligeable puisqu'il offre une réduction initiale de 20 % par rapport au tarif applicable. Ce tarif spécial est accordé ou non à un projet selon des critères applicables, mais aussi selon la valeur ajoutée et les retombées économiques générées pour le Québec.

³⁰ Plusieurs des grands mineurs ont des activités diversifiées et certains possèdent même des structures de fonds d'investissement (par exemple, ██████████). On pourrait ainsi les inciter à faire des investissements locaux, ouvrir une filiale ou participer dans un fonds local d'investissements en proportion de leurs revenus, de leur appel de puissance demandé, ou en fonction de la création de richesse additionnelle souhaitée.

- **La fabrication, l'assemblage ou la réparation d'équipements de minage.** Comme indiqué plus tôt, on compte seulement quelques fabricants d'équipements de minage de bitcoins. Ces fabricants sont également des mineurs. Dans la mesure où ces mineurs songeraient à s'installer au Québec, on pourrait envisager de les encourager à établir en parallèle des installations de fabrication, d'assemblage ou de réparation sur le territoire québécois. Compte tenu que les principales composantes ou pièces continueraient d'être fort probablement importées, il risque d'avoir peu de différences en termes de valeur économique générée au Québec pour ces trois types d'activités. Pour des fins de simplification, elles ont donc été regroupées pour les fins de cette analyse³¹.
- **La distribution d'équipements de minage.** Ces mêmes mineurs pourraient alternativement établir en sol québécois des installations de distribution d'équipements de minage. On comprendra que ces activités représentent généralement moins d'emplois, des emplois à moins grande valeur ajoutée, et par le fait même moins de retombées économiques que le bloc précédent.
- **Le développement de logiciel.** La partie logicielle des installations de minage est déjà relativement établie, mais certains mineurs ont des activités de ce type. Ces activités de développement de logiciel peuvent être liées ou non au minage de bitcoins. En fait, il pourrait même être plus intéressant que ces activités débordent du minage de bitcoins pour couvrir d'autres aspects ou d'autres applications de la technologie blockchain.
- **La réalisation de recherche et développement.** Quelques mineurs réalisent de la R&D interne, par exemple dans le design de semiconducteurs. On pourrait les inciter à implanter une équipe de recherche ou un centre d'excellence au Québec. Au-delà de la recherche et développement à l'interne, on pourrait encourager certains promoteurs à financer de la R&D au Québec. On retrouve au Québec plusieurs organisations de recherche ou équipes de chercheurs dans des domaines complémentaires au minage de bitcoins ou à la technologie blockchain. On peut certes envisager différents types de projets de recherche connexes à l'industrie du blockchain (par exemple, développement de nouveaux réseaux, nouvelles applications, nouveaux services...).
- **L'implantation d'un centre de services de support.** Certains mineurs ont des activités qui vont au-delà du minage de bitcoins et qui impliquent une interface avec des clients

³¹ À noter que l'on présume que les mesures de bonification qui accompagneraient un projet de minage de bitcoins feraient l'objet d'une évaluation spécifique. Les impacts économiques présentés dans cette section, par type de mesures considérées, peuvent servir de guide, mais ne doivent pas se substituer à une appréciation plus fine des mesures spécifiquement proposées par un promoteur.



pour leurs produits ou leurs services. Dans ces cas, il pourrait être intéressant d'encourager les promoteurs à établir un centre de services de support client au Québec.

Comme pour le cas des centres traditionnels de données, les activités précédentes n'ont pas à être localisées à proximité des installations de minage de bitcoins. Cette proximité ne génère pas d'avantages compétitifs spécifiques. Le développement du minage en Chine le démontre amplement. Ainsi, le territoire de Leshan, où de larges « mines » de bitcoins ont été localisées, ne constitue pas un lieu de technologies numériques notable, mais un endroit qui dispose d'un accès à une source d'énergie électrique importante et peu coûteuse. Il s'agit dès lors de voir comment on peut intéresser, voire inciter, des mineurs à réaliser d'autres activités sur le territoire. Les mineurs pourraient aussi dans certains cas y retrouver leur compte en bénéficiant du large et riche écosystème qui existe au Québec dans le secteur des TI.

Doit-on rappeler que l'on compte une masse critique d'activités sur le territoire québécois dans plusieurs domaines différents des technologies numériques et que le Québec offre de nombreux avantages aux entreprises qui souhaitent y localiser des activités du secteur des TI (bassin de travailleurs qualifiés, organismes de recherche, institutions de formation, regroupement et réseaux d'acteurs, coûts d'exploitation, soutien gouvernemental...). Et il ne s'agit pas seulement d'un « discours », car le secteur québécois des TI affiche une croissance importante et continue de son niveau d'emplois depuis plusieurs années maintenant, tout en représentant année après année la part la plus importante des nouveaux investissements directs étrangers dans le Grand Montréal.

4.2 Les impacts économiques de ces activités additionnelles

Il est possible d'obtenir une évaluation à haut niveau des répercussions économiques associées à chacun des différents types d'activités additionnelles considérés. Cette évaluation à haut niveau peut servir de guide sur l'envergure de l'effort à déployer pour atteindre un certain niveau de valeur économique supplémentaire au Québec. **Il importe néanmoins de noter que chaque projet diffère et comporte ses retombées spécifiques qui peuvent être plus élevées ou moins élevées que celles présentées dans cette section. Les résultats de cette section ne doivent pas se substituer à une analyse plus spécifique des mesures proposées par des promoteurs.**

Le tableau suivant présente la valeur économique en termes de valeur ajoutée au Québec de cinq grands types d'activités additionnelles considérés. Pour les fins de présentation, elles sont exprimées par tranche de 10 emplois directs et par tranche de 1 M\$ par année de dépenses ou de valeur de production. On note une certaine convergence dans l'impact de

ces grands types d'activités sur l'économie québécoise. En somme, chaque tranche de 10 emplois directs ajoute près de 1,4 million de dollars dans l'économie québécoise (ou 140 000 \$ par emploi). L'écart est plus important lorsque l'on analyse la valeur ajoutée par tranche de 1 M\$ par année de dépenses ou de valeur de production. Cette différence s'explique par la valeur des biens et services qui sont importés et qui varie beaucoup selon le type d'activités considérés.

TABEAU 3 – VALEUR ÉCONOMIQUE DES TYPES D'ACTIVITÉS ADDITIONNELLES CONSIDÉRÉS
(Valeur ajoutée réalisée au Québec par tranche de 10 emplois directs ou de 1 M\$/an de dépenses ou valeur de production)

TYPES D'ACTIVITÉS ADDITIONNELLES CONSIDÉRÉS	VALEUR AJOUTÉE AU QUÉBEC (EN \$)	
	PAR TRANCHE DE 10 EMPLOIS DIRECTS	PAR TRANCHE DE 1 M\$/AN DE DÉPENSES OU VALEUR DE PRODUCTION
La fabrication, l'assemblage ou la réparation d'équipements de minage	██████████	██████████
La distribution d'équipements de minage	██████████	██████████
Le développement de logiciel	██████████	██████████
La réalisation de recherche et développement	██████████	██████████
L'implantation d'un centre de services de support informatique	██████████	██████████

¹ En valeur de production; ² En valeur de ventes; ³ En valeur de dépenses

Source : Analyse KPMG

Dans tous les types d'installation de minage, il est dès lors possible d'accroître le niveau de création de valeur économique si la fonction minage s'accompagne d'autres types d'activités additionnelles. Comme ces activités consomment peu d'électricité, leur ajout contribue à accroître l'impact économique par MW appelé ou par kWh consommé. On peut donc estimer les impacts économiques additionnels qui découleraient de ces différentes mesures de bonification de projet.



Le tableau suivant reprend les résultats pour une « grande » et une « très grande » installation de minage de bitcoins. Il présente la valeur ajoutée supplémentaire en ¢/kWh selon différents niveaux d'emplois additionnels pour chacune des activités additionnelles considérées.

TABEAU 4 – VALEUR ÉCONOMIQUE SUPPLÉMENTAIRE SELON DIVERS NIVEAUX D'EMPLOIS ADDITIONNELS POUR LES ACTIVITÉS CONSIDÉRÉES (Valeur ajoutée réalisée au Québec en ¢ par kWh)

TRÈS GRANDE INSTALLATION DE MINAGE (puissance appelée de 250 MW)

TYPES D'ACTIVITÉS ADDITIONNELLES CONSIDÉRÉS	VALEUR AJOUTÉE SUPPLÉMENTAIRE AU QUÉBEC EN ¢/KWH		
	POUR 10 EMPLOIS	POUR 50	POUR 100
	DIRECTS	EMPLOIS DIRECTS	EMPLOIS DIRECTS
La fabrication, l'assemblage ou la réparation d'équipements de minage	██████████	██████████	██████████
La distribution d'équipements de minage	██████████	██████████	██████████
Le développement de logiciel	██████████	██████████	██████████
La réalisation de recherche et développement	██████████	██████████	██████████
L'implantation d'un centre de services de support informatique	██████████	██████████	██████████

GRANDE INSTALLATION DE MINAGE (puissance appelée de 75 MW)

TYPES D'ACTIVITÉS ADDITIONNELLES CONSIDÉRÉS	VALEUR AJOUTÉE SUPPLÉMENTAIRE AU QUÉBEC EN ¢/KWH		
	POUR 10 EMPLOIS	POUR 50	POUR 100
	DIRECTS	EMPLOIS DIRECTS	EMPLOIS DIRECTS
La fabrication, l'assemblage ou la réparation d'équipements de minage	██████████	██████████	██████████
La distribution d'équipements de minage	██████████	██████████	██████████
Le développement de logiciel	██████████	██████████	██████████
La réalisation de recherche et développement	██████████	██████████	██████████
L'implantation d'un centre de services de support informatique	██████████	██████████	██████████

Source : Analyse KPMG



On remarque que pour une très grande installation dont l'appel de puissance est de 250 MW, aucun des scénarios présentés ajoute 1 ¢/kWh. On atteint entre 0,5 et 0,7 ¢/kWh avec un ajout de 100 emplois directs dans l'une ou l'autre des activités considérées. Pour le grand centre de 75 MW, on obtient 1 ¢/kWh de plus avec 50 emplois directs.

L'ajout d'activités additionnelles permet d'accroître la valeur économique générée au Québec. Toutefois, la consommation électrique des grandes et très grandes installations de minage est telle que la bonification doit être substantielle pour pouvoir être matérielle en termes de ¢/kWh supplémentaire.

5 CONCLUSION

L'objectif poursuivi dans ce document était de réaliser une analyse de la valeur économique d'activités d'installations de minage de bitcoins pour le Québec. Contrairement à l'exercice réalisé en 2017 pour les centres traditionnels d'hébergement de données, qui reposait sur des informations de centres véritablement actifs au Québec, la présente analyse se base sur une « reconstitution » des activités inhérentes à quatre types d'installations de minage de bitcoins. Ils correspondent respectivement à des installations de minage exigeant des appels de puissance électrique de 3 MW, 20 MW, 75 MW et 250 MW.

La création de richesse et d'emplois de ces quatre types varie du simple au triple pour une même consommation énergétique. On observe aussi une relation inverse entre la puissance appelée et la valeur économique générée par unité d'énergie. Les impacts économiques par unité d'énergie des installations de minage de bitcoins sont par ailleurs bien inférieurs à ceux observés pour des centres traditionnels d'hébergement de données, incluant des centres qui ont des niveaux d'appels de puissance similaire.

Sur la base des analyses réalisées, les installations de minage pourraient avoir du mal à justifier l'obtention du tarif spécial de développement économique (TDE). La création de valeur économique qui est en sus de celle obtenue par l'électricité achetée couvre à peine le crédit de 20 % qui serait accordé sur le tarif d'électricité normal. De plus, il apparaît que le seuil minimal fixé pour les centres de données puisse difficilement être atteint par les installations de minage.

Dans tous les types d'installations de minage, il serait toutefois possible d'accroître le niveau de création de valeur économique si la fonction minage s'accompagnait d'activités additionnelles. Comme ces activités consomment peu d'électricité, leur ajout contribue à accroître l'impact économique par MW appelé ou par kWh consommé. Toutefois, la consommation électrique des grandes et très grandes installations de minage est telle que la bonification doit être substantielle pour pouvoir être matérielle en termes de ϕ /kWh supplémentaire.

Il importe de rappeler en terminant que cette analyse fournit une évaluation à haut niveau des répercussions économiques associées à différents types d'installations de minage de bitcoins et à différents types d'activités additionnelles. Cette évaluation peut servir de guide pour la détermination de la valeur économique générée au Québec par différents projets. Il faut néanmoins noter que chaque projet peut différer de notre installation type et par le fait même comporter des retombées spécifiques qui peuvent être plus ou moins élevées que celles obtenues. Dans un tel contexte, et pour les plus gros projets, il serait avisé d'exiger



certaines renseignements plus précis de la part des promoteurs sur la nature et l'envergure de leurs dépenses au Québec, et ce, afin de mieux apprécier leur impact économique.

Il importe aussi de distinguer entre le potentiel de la technologie blockchain et celui de la cryptomonnaie bitcoin. Si la technologie blockchain est très certainement vouée à un futur prometteur, le minage de la cryptomonnaie bitcoin reste empreint de plusieurs incertitudes et risques. À tout moment, cette cryptomonnaie peut être sujette à une crise de confiance, un scandale, des freins politiques ou réglementaires, pour ne nommer que quelques facteurs qui pourraient nuire à son utilisation des prochaines années, voire des prochains mois. Dans de telles éventualités, la puissance de calcul des appareils supportant le réseau Bitcoin pourrait être redirigée en partie vers d'autres actifs cryptographiques, mais pas nécessairement vers d'autres types d'applications de la technologie blockchain. Les autres applications n'utilisent généralement pas le système de preuve de travail du réseau Bitcoin, soit l'algorithme SHA-256. On ne peut donc éliminer le risque que les entreprises qui s'établiraient au Québec pour réaliser du minage de bitcoins, ou certaines d'entre elles, réduisent voire ferment leurs opérations si le contexte change.

Enfin, le présent document ne se veut ni un appui à la cryptomonnaie bitcoin, ni une indication de confiance quant à ses perspectives à venir. Il ne cherche qu'à estimer les retombées économiques potentielles des dépenses associées aux activités de minage de bitcoins.

Nous n'assumons aucune responsabilité ou obligation relativement à toute perte subie par quiconque et qui pourrait résulter de la distribution, publication, reproduction ou utilisation (par une personne ou une entité autre qu'Hydro-Québec) de ce rapport.

Les observations contenues dans notre rapport ne constituent pas et ne sauraient être interprétées comme constituant une opinion juridique.

Nos analyses doivent être considérées comme formant un tout. La sélection de portions du présent rapport, sans la considération de tous les facteurs, pourrait mener à une vue incomplète de nos analyses.

