



Fondation Paris-Dauphine



Blockchain et marchés de l'énergie

Synthèse de conférence

**Conférence organisée par l'AEE en coopération avec la Chaire
Gouvernance et Régulation**

Université Paris-Dauphine, 16 mai 2018



Conférence organisée par l'**AEE** en coopération avec la
Chaire Gouvernance et Régulation



Table des matières

Blockchains : quels enjeux, quelle stratégie ?.....	3
Blockchain et autoconsommation collective	5
Blockchain et partage de l'énergie	7
Échanges avec la salle	10
Table ronde : Quelle gouvernance pour les blockchains dans l'énergie ?	13
Enedis-Tecsol : une expérimentation de la blockchain dans l'autoconsommation collective	13
Points de vue juridiques sur la blockchain	16
Échanges avec la salle	20

Blockchain et marchés de l'énergie

Conférence de la Chaire Gouvernance & Régulation
16 mai 2018

La blockchain s'invite dans le paysage énergétique, facilitant le développement de pratiques innovantes : autoconsommation collective, échanges de pair à pair ou sur les marchés de gros, charge des véhicules électriques en itinérance, certificats verts... Dans quelle mesure ces nouvelles modalités questionnent-elles l'organisation du secteur, le rôle des opérateurs historiques et le cadre de régulation ? Comment tirer parti de la technologie blockchain pour répondre aux aspirations émergentes des consommateurs et des territoires au regard de la consommation d'énergie ?

Blockchains : quels enjeux, quelle stratégie ?

Joëlle Toledano

Professeure d'économie, Chaire Gouvernance et Régulation

La *blockchain* peut être définie comme une nouvelle façon de stocker de l'information, de la préserver sans possibilité de la modifier, d'y accéder et d'y intégrer de nouveaux éléments devenant, à leur tour, infalsifiables. Le caractère distribué des fichiers d'information de la *blockchain*, ou « registres », assure la transparence et l'auditabilité du système. Les questions de contrôle et de sécurité, tant problématiques dans l'informatique centralisée d'aujourd'hui, s'en trouvent radicalement modifiées.

Une promesse de disruption ?

La *blockchain* soulève deux enjeux importants pour l'économie. D'une part, elle présente sous un nouveau jour les problèmes de confiance dans les institutions politiques et économiques – problèmes que les *blockchains* publiques sont même censées résoudre. D'autre part, en limitant les intermédiaires et en automatisant des transactions, elle pourrait accroître la productivité dans des domaines, notamment financiers, qui accusent un certain retard en la matière.

Les multiples applications de la *blockchain* identifiées jusqu'à présent se rangent en deux catégories.

- La première, dont relèvent les *blockchains* appliquées à l'énergie, est de type notarial : elle vise la traçabilité de la chaîne logistique ou d'échanges de biens, la certification de process industriels ou financiers, et encore la fourniture de preuves et de signatures.
- La seconde, plus disruptive, relève de l'internet de la valeur. Elle couple le monde physique avec une transaction (généralement monétaire) réalisée dans le monde virtuel, sans nécessairement recourir à une intervention humaine.

Dans les *blockchains* publiques, les acteurs qui contribuent à la validation d'une transaction sont rémunérés par des cryptomonnaies. Les cryptomonnaies et les cryptoactifs sont donc au cœur de la technologie *blockchain*. Cette réalité est souvent éludée dans les discours, tant la cryptomonnaie – dont il faut préciser qu'elle n'est pas à proprement parler une monnaie – fait encore l'objet de suspensions.

Les *Initial Coin Offerings* (ICO) offrent un exemple symptomatique de cette intrication. Cette modalité de levée de fonds et de financement de l'innovation s'effectue, en effet, en cryptomonnaie. Les ICO ont représenté 4 à 8 milliards de dollars en 2017 contre 1 milliard de dollars de financement par le capital-risque, avec un engouement spéculatif intense.

Les institutions, dont l'AMF, s'efforcent de réglementer les ICO. Or, entre autres difficultés, l'on ignore encore comment inscrire en comptabilité les cryptomonnaies levées à cette occasion, et quelle fiscalité leur appliquer. Autant dire que le sujet de la régulation des cryptomonnaies reste ouvert, parallèlement à celui de la *blockchain*.

La technologie *blockchain* présente encore un certain nombre de limites : sécurité, temps de validation, scalabilité, robustesse de la programmation des *smart contracts*,

confidentialité des transactions et des identités, consommation d'énergie, robustesse des modèles d'affaires, valeur des jetons... Des voies de solution sont toutefois identifiées pour la plupart de ces enjeux.

Quelle régulation des *blockchains* et des cryptomonnaies dans le monde ?

La plupart des pays industriels ont réservé aux *blockchains* des politiques dites de « bac à sable », autorisant tests, maquettes et autres expérimentations. De façon plus fine, chaque pays développe une stratégie propre à leur égard. Après une forte ouverture, la Chine leur impose une nette fermeture. Le Japon a opté pour une ouverture contrôlée, après un épisode cuisant de fraude en 2014. En Corée, l'ouverture initiale a laissé la place à une phase de contrôle. A cela s'ajoutent des stratégies de spécialisation des applications des *blockchains* : l'Estonie mise par exemple sur les services publics, la Suisse sur les ICO et les start-ups.

Quant au sujet régalien de la cryptomonnaie, partout sont instaurées des mesures de contrôle, de type Know Your Client (KYC, vérification de l'identité des clients) ou Anti Money Laundering (AML, lutte contre le blanchiment).

Fin 2017, 400 000 personnes en France et quelques dizaines de millions dans le monde détenaient des cryptomonnaies. L'environnement hexagonal n'est encore guère incitatif en matière de levées d'ICO. Des initiatives portées par des acteurs institutionnels comme l'AMF pourraient toutefois contribuer à lancer une dynamique. Du reste, la communauté des adeptes des *blockchains* et des cryptomonnaies est très active, et en demande de régulation.

Si la France entend asseoir ses positions dans cet environnement, il est temps qu'elle quitte le « bac à sable ». N'attendons pas que les technologies soient parfaitement au point pour nous en saisir. Il nous faut tout à la fois réglementer les usages délictueux et favoriser l'innovation. Il est temps d'introduire des régulations, susceptibles d'être révisées, qui soutiendront et sécuriseront l'investissement et les compétences.

Blockchain et autoconsommation collective

Philippe Abiven
E-CUBE Strategy Consultants

L'autoconsommation collective et le développement de la *blockchain* sont deux phénomènes indépendants, bien que souvent assimilés. Quel potentiel offre la *blockchain* à l'autoconsommation collective, au regard des autres solutions existantes ?

Enjeux de l'autoconsommation collective

L'autoconsommation collective vise un équilibre instantané, sur une « poche » locale du réseau, entre la quantité d'électricité injectée dans le réseau et la quantité soutirée. Elle repose sur un cadre contractuel incitant les producteurs et les consommateurs à synchroniser leurs injections et leurs soutirages : concrètement, un habitant déclenche un appareil électroménager gourmand en électricité lorsque le panneau photovoltaïque de son voisin en produit. Il peut en résulter des économies sur les coûts de réseau, grâce à une diminution des pertes en ligne ou parce que certains besoins d'investissement dans les infrastructures sont reportés ou évités. Ni le réseau existant ni les règles physiques de circulation du courant n'en sont cependant modifiés.

L'autoconsommation collective soulève, au premier chef, un enjeu pour les systèmes d'information. Ainsi, le distributeur d'énergie doit prendre en compte, dans sa facturation, l'électricité achetée ou vendue « entre voisins ». Il doit traiter ces données supplémentaires, tout en garantissant leur confidentialité et leur sécurité. L'acceptation par les utilisateurs de cet usage de leurs données personnelles est incontournable. La *blockchain* peut apporter des réponses à ces deux enjeux, puisqu'elle génère une forme de consensus et de confiance. Au-delà, l'autoconsommation collective pose des questions de gouvernance : comment gérer les contentieux entre personnes physiques ou morales voisines échangeant de l'énergie ?

A une échelle plus large se dessinent des enjeux économiques. Un moindre recours au réseau d'électricité risque en effet d'entraîner une baisse des investissements dans celui-ci, ce qui peut le conduire à l'obsolescence. Pourtant, il est probable que le réseau restera toujours nécessaire à la plupart des consommateurs, ne serait-ce que pour assurer une sécurité d'approvisionnement. Le cadre réglementaire se trouve également interrogé, sachant qu'aujourd'hui, le même tarif d'électricité est appliqué à tout consommateur, par péréquation, quel que soit son éloignement des sources de production.

Portée et limites de la *blockchain* appliquée à l'autoconsommation collective

Une *blockchain* est un système collaboratif de validation d'un registre (i.e. d'une liste d'informations) distribué (i.e. existant dans le même état sur une multitude d'ordinateurs qui peuvent être répartis partout dans le monde). Ce registre prend la forme d'une liste chaînée, autrement dit de blocs reliés les uns aux autres par des liens cryptographiques. Il est par conséquent impossible de modifier un bloc ancien sans rompre la chaîne. En outre, ce registre n'est pas contrôlé par un acteur unique. Il se distingue en cela d'une base de données centralisée, gérée par un tiers de confiance – une banque par exemple.

La *blockchain* permet d'effectuer des opérations que l'on sait réaliser avec d'autres systèmes informatiques : stocker et échanger des données, exécuter du code. Elle peut revêtir des formes variées, plus ou moins publiques ou privées, selon l'étendue des acteurs auxquels elle attribue des droits de lecture, d'écriture, de détention et de validation des données. Ces modalités ne sont pas sans effet sur degré de performance et le mode de gouvernance des systèmes.

La *blockchain* peut présenter deux principales sources de valeur :

- par sa désintermédiation : elle établit une confiance et un consensus entre une multiplicité d'acteurs, sans que l'un d'eux ne supporte une responsabilité particulière. Les coûts d'intermédiation lors des transactions peuvent s'en trouver réduits ;
- par sa sécurisation des données : le registre est supposé immuable et décentralisé, et par conséquent résistant aux piratages ou aux pannes.

Cependant, la *blockchain* présente encore des limites et soulève des interrogations, que ce soit en matière de confidentialité (pourra-t-on identifier les auteurs des transactions ?), de coûts (sa compétitivité reste à démontrer par rapport aux bases de données centralisées) ou encore de rapidité.

La valeur de désintermédiation de la *blockchain* dépend largement du contexte réglementaire. Nous aurons toujours besoin d'un opérateur de comptage des quantités d'électricité consommées. En France, ce rôle est assumé par un distributeur en monopole local, la plupart du temps auprès d'un très grand nombre de consommateurs. La *blockchain* ne pourra pas désintermédier ce rôle : le distributeur restera donc au centre du système, jouant le rôle d'« oracle » de la *blockchain*. Par conséquent, le choix de la *blockchain* pour l'autoconsommation collective en France devra reposer sur d'autres sources de valeur que la désintermédiation, à savoir la sécurité des données, les coûts et la rapidité (s'ils sont démontrés) et enfin la transparence, tous les utilisateurs ayant accès au registre des transactions.

La *blockchain*, support d'autres échanges d'énergie pair à pair

L'utilisation de la *blockchain* pour l'autoconsommation collective est aujourd'hui au stade d'expérimentation ou de pilote. Mais cette technologie peut aussi avoir d'autres applications dans le secteur énergétique. Ainsi les échanges d'énergie peuvent-ils être enregistrés dans une *blockchain* à la maille nationale. L'on peut aussi recourir à une *blockchain* pour enregistrer des échanges d'énergie sur le marché de gros. Enel et RWE ont lancé une initiative en ce sens, Enerchain. La *blockchain* peut en outre être employée en tant que registre notarié pour les garanties d'origine. Elle peut enfin supporter des applications d'internet des objets, par exemple pour gérer les systèmes de paiement de bornes de recharge opérées par une multiplicité d'acteurs.

Blockchain et partage de l'énergie

David Vangulick
Université de Liège

Comme l'ont expliqué les intervenants précédents, la *blockchain* est un registre ouvert et distribué qui permet d'enregistrer efficacement, de manière vérifiable et permanente, les transactions entre deux parties. C'est aussi une combinaison de technologies de l'information et de cryptographie visant à créer un système robuste basé sur les théories du jeu et le consensus.

Une affaire de confiance

Pour l'illustrer les usages de la *blockchain*, prenons un exemple historique. A la fin du XIXe siècle, le roi Edouard VII a souhaité offrir le cottage de York à son fils, le futur George V. Il lui a d'abord fallu prouver que ce bien lui appartenait. Il l'avait en l'occurrence reçu de sa mère, mais aurait aussi pu l'avoir bâti lui-même. Il a ensuite dû identifier le destinataire, et signer la preuve de la transaction. La manière classique d'y procéder est de recourir à un notaire, « homme du milieu » détenant l'autorité légale de prouver que la transaction est vraie et qu'elle n'est pas réalisée sous la contrainte, mais entre des parties dûment informées. Ceci est détaillé dans une promesse officielle consignée dans un registre. Cette autorité sera incarnée par une banque dans le cas d'une transaction financière, ou par une société de lecture de compteurs dans le monde de l'énergie.

La transaction repose donc sur la confiance que l'on accorde à « l'homme du milieu ». Comment se prémunir de sa défaillance, mais aussi du risque d'altération, de falsification ou de manipulation des enregistrements ? La réponse passe par la démultiplication et la décentralisation des registres, de sorte que des copies conformes soient présentes sur plusieurs ordinateurs.

Dans ce nouvel univers décentralisé, il importe de créer un consensus attestant que les transactions réalisées sont correctement signées, sont vraies et font l'objet d'une promesse officielle – et tout ceci, de manière numérique. Deux actions interviennent donc ici : la vérification de la transaction d'une part, la création d'un consensus d'autre part. On signe une transaction en l'encryptant, et l'on officialise la promesse en créant une chaîne de blocs.

Pour en revenir à notre exemple, le don du cottage de York serait jeté dans un « réservoir de transactions » regroupant, par exemple, toutes les transactions royales. Une instance, appelée « mineur », sélectionne un certain nombre de transactions, les vérifie et juge qu'elles sont correctes. Le mineur les additionne ensuite dans un bloc qu'il rend immuable en le cryptant de manière très précise. Ce bloc contient de surcroît la référence du bloc précédent. C'est pourquoi on parle de « chaîne de blocs ».

Le rôle du mineur est essentiel. Pour s'assurer qu'il exerce son rôle correctement, trois murs de protection sont mis en place :

- Le mineur est choisi au hasard parmi une communauté de mineurs.

- Les autres mineurs vérifient son travail et le valident en ajoutant le bloc nouvellement créé à leur propre chaîne de blocs.
- Seule la chaîne de blocs la plus longue est valide.

De ces trois conditions naît le consensus.

Pourquoi recourir à une *blockchain* ?

Le choix de la solution *blockchain* peut être pertinent dès lors que l'on a besoin de partager une base de données commune et actualisée, que plusieurs acteurs ou parties sont impliqués et qu'ils ont des intérêts divergents, ne sont pas dignes de confiance ou risquent d'être attaqués. Les règles qui régissent les participants doivent être relativement identiques et stables. La *blockchain* répond en outre à un besoin d'archivage immuable.

Dans le secteur de l'énergie, nous pouvons citer l'initiative allemande Conjoule d'autoconsommation collective supportée par la *blockchain*. Pour décrire schématiquement son fonctionnement, prenons un groupe de maisons (dont certaines ont des panneaux solaires) et une école raccordée à un poste de moyenne tension. Un résident part travailler le matin, après avoir déposé son enfant à l'école : durant la journée, l'énergie produite par ses panneaux solaires retourne au réseau. Dans le même temps, l'école consomme à plein régime. Ce même habitant peut d'ailleurs souhaiter que l'énergie qu'il produit mais ne consomme pas profite directement à cette école. Cette dernière consomme pour partie de l'électricité produite localement, et pour partie de l'électricité du marché. A chaque période de temps (un quart d'heure en Allemagne), il faut pouvoir identifier précisément la part de ces énergies. Cela demande de combiner un écosystème *blockchain*, permettant d'enregistrer les échanges d'énergie opérés localement, avec le marché de gros.

Un tel mécanisme doit remplir un certain nombre de conditions, à commencer par la précision et la fiabilité des mesures, la traçabilité des flux et la capacité à distinguer les échanges entre pairs d'une part, de la consommation sur le marché d'autre part. Le système doit assurer le respect de la vie privée, c'est-à-dire offrir une défense suffisante pour protéger les informations personnelles en cas d'attaque externe. Ce sujet est extrêmement délicat : à titre d'exemple, la consommation d'énergie pendant le ramadan permet d'identifier les musulmans pratiquants. Enfin, ce système doit offrir au client une information validée proche du temps réel, de sorte qu'il profite au mieux de l'autoconsommation.

La *blockchain* permet de répondre à ces exigences. A ce stade, il nous faut expliquer comment un mineur est choisi, et par conséquent la façon dont la confiance et le consensus s'établissent. Deux modalités sont possibles à cet égard : la preuve de travail et la preuve d'enjeu.

• **La preuve de travail**

Le principe est pour le mineur de résoudre un puzzle mathématique sans connaître l'image de départ. S'il y réussit, il reçoit une incitation par exemple 12.5 BTC dans le cas de la chaîne de block bitcoins, s'ajoutant aux frais de transaction. Cette modalité est simple à mettre en œuvre et très efficace quand les mineurs sont de parfaits inconnus, non dignes de confiance *a priori*. Elle nécessite cependant une gigantesque consommation

d'énergie, et sa temporalité n'est pas adaptée au besoin de synchroniser les échanges d'énergie avec les périodes de temps du marché. Le temps de résolution du puzzle étant une probabilité dont il est possible de déterminer le temps moyen mais pas le temps exact de résolution.

- **La preuve d'enjeu**

Dans cette méthode, les participants de l'écosystème reçoivent un jeton de vote chaque fois qu'ils réalisent une transaction. Les candidats au rôle de mineur s'annoncent au système. Pour ce faire, ils envoient des jetons de vote au mineur en cours, en guise de pari sur leur capacité propre à réussir. La valeur du jeton de vote est modulée par deux autres critères : l'âge du bloc (plus le bloc que vous avez créé est vieux, plus vous avez de chance de recréer un bloc) et la réputation. Il en résulte une valeur, base sur laquelle le mineur est choisi. Le vainqueur est annoncé à la communauté. Ce mode de validation a l'avantage d'être rapide et de pouvoir se synchroniser avec le marché. Pendant la période du vote, tous les autres candidats, ignorant s'ils seront sélectionnés, créent un bloc avec les transactions d'énergie de la période de temps du marché, et le diffusent. Les autres mineurs n'accepteront que le bloc du vainqueur. C'est ainsi que l'on crée un consensus. Une telle chaîne de blocs synchronisés peut donc être intéressante pour de l'autoconsommation collective.

Échanges avec la salle

Outre l'autoconsommation collective, quelles peuvent être les applications de la blockchain dans l'énergie ?

Philippe Abiven

Un certain nombre d'applications consistent à tenir un registre, de garanties d'origine par exemple. S'y ajoutent des applications de nature transactionnelle, notamment en vue d'une désintermédiation sur le marché de gros. Un autre domaine d'application est les bornes de recharge des véhicules électriques.

David Vangulick

La Wallonie propose à des clients précarisés un compteur à prépaiement. Ce dispositif est parfaitement adapté à la *blockchain* : le consommateur peut charger son compteur avec un certain nombre de jetons, lesquels sont traduits en kWh. Lorsque son crédit est épuisé, il passe en régime de secours.

Patrice Geoffron

Des nombreuses initiatives sont actuellement menées pour expérimenter la contribution des technologies *blockchain* à la mise en œuvre de l'accord de Paris, qui suppose un transfert du Nord au Sud de 100 milliards de dollars par an a minima. Dans les pays récepteurs, des registres devront permettre de comptabiliser les tonnes de gaz à effet de serre qui n'auront pas été émises. La *blockchain* pourrait y contribuer.

L'autoconsommation collective d'énergie solaire ne concerne-t-elle pas une proportion extrêmement limitée d'individus ?

Philippe Abiven

Il n'est pas déraisonnable d'anticiper une hausse de la production d'énergie solaire par les particuliers, cette solution devenant de plus en plus intéressante économiquement. La preuve en est que la Commission de régulation de l'énergie (CRE) envisage un tarif d'utilisation des réseaux publics d'électricité (TURPE) spécifique en la matière.

Quelle valeur ajoutée représenterait une désintermédiation dans le système français actuel – en matière de confiance vis-à-vis des gestionnaires notamment ? Le recours alterné par un même individu à plusieurs fournisseurs (en autoconsommation et auprès du marché) ne risque-t-il pas d'entraîner une complexité insurmontable dans la gestion des données ?

David Vangulick

La Wallonie compte 100 000 maisons particulières dotées des panneaux solaires. L'autoconsommation collective implique de désigner une entité chargée de gérer l'ensemble des échanges d'énergie. Ceci peut être traité par un *smart contract*, algorithme qui s'assure que les parts de production auxquelles chacun a droit sont correctement échangées. La communauté peut alors se débrouiller seule, sans avoir besoin de recourir à un tiers pour effectuer ce comptage des échanges. Une fois les échanges réalisés, cette donnée peut être transmise au gestionnaire du réseau de distribution, qui en tiendra compte dans l'allocation finale de la facturation. Par ailleurs, nous considérons qu'il n'y a pas une vente d'électricité entre les autoproducteurs et les autoconsommateurs, mais la mise à disposition d'un moyen de production.

Philippe Abiven

Les questions de gestion des données sont en effet complexes. Mais si ces applications sont jugées pertinentes, des solutions seront trouvées.

Joëlle Toledano

C'est bien la raison pour laquelle il faut sortir du « bac à sable » et dépasser les preuves de concept. Identifions les pistes où se dessinent des perspectives solides, notamment en matière de construction de *blockchains* publiques, susceptibles d'offrir des gages de confiance.

Des systèmes de blockchain pourraient-ils permettre d'effectuer des échanges directs entre un fournisseur de biométhane et une entreprise industrielle, pour simplifier les investissements et tracer les certificats d'origine ?

Philippe Abiven

La *blockchain* peut être mobilisée dans tout domaine, dès lors que l'on enregistre des transactions. Il reste à déterminer si elle présente un avantage par rapport aux autres solutions en termes de simplicité, de coût et de sécurité. La réponse dépend de la situation et de la confiance mutuelle que s'accordent les parties.

Pourriez-vous donner des exemples de blockchains entre pairs ? Vous avez par exemple cité le cas d'Enel.

Philippe Abiven

Au sein d'Enerchain, Enel utilise la *blockchain* pour enregistrer des transactions sur le marché de gros de l'énergie, et ainsi désintermédier des acteurs financiers comme les *brokers* et les *clearing houses*.

David Vangulick

S'il y a un intérêt à ce que des transactions soient auditable et transparentes, alors la *blockchain* peut présenter une valeur ajoutée. Sinon, eBay fonctionne aussi très bien ! L'avantage de la *blockchain* est de pouvoir être déployée extrêmement rapidement, à condition qu'elle soit publique.

Joëlle Toledano

Le grand problème est que l'on ignore le coût de la transaction dans une *blockchain* publique. Comment construire un modèle économique dans ces conditions ?

Comment la notion de blockchain peut-elle s'appliquer aux contrats ? Qu'en est-il des smart contracts ?**David Vangulick**

Un *smart contract* n'est autre qu'un algorithme. Si, par exemple, vous avez convenu avec vos voisins que l'électricité que vous injectez dans le réseau profitera à 80 % à untel et à 20 % à tel autre, cette répartition sera codée dans un algorithme et inscrite dans la *blockchain*, de sorte qu'elle se mette en œuvre automatiquement. C'est ce qu'on appelle un *smart contract*, bien qu'il n'ait aucun caractère juridique. Rien de vous empêche par ailleurs d'intégrer un contrat signé dans une *blockchain*.

Joëlle Toledano

La question de la responsabilité en cas de défaillance d'une des parties de ces soi-disant contrats reste posée. En amont, si le logiciel de mise en œuvre d'un *smart contract* comporte une faille, qui en est responsable ?

Table ronde : Quelle gouvernance pour les blockchains dans l'énergie ?

Enedis-Tecsol : une expérimentation de la blockchain dans l'autoconsommation collective

Jean-Baptiste Galland
Directeur de la stratégie, Enedis

Enedis a la conviction que deux points d'inflexions ont été passés : la prise en compte, dans l'ensemble de ses décisions, des enjeux environnementaux d'une part, et digitaux d'autre part. Quel rôle peut jouer la *blockchain* dans ce contexte ?

Pour y répondre, nous avons d'abord observé le secteur bancaire, très avancé sur le sujet. Les banques considèrent que les transactions et les flux d'informations peuvent encore être suivis dans des bases de données conventionnelles qui présentent des avantages en termes de rapidité et sécurité. Pour éviter de subir une désintermédiation, leur stratégie privilégie un modèle mixte combinant plateformes interbancaires classiques et *blockchains* privées.

Dans le domaine de l'énergie, de nombreuses expérimentations de *blockchains* sont en cours à l'échelle mondiale : échanges d'énergie de pair à pair (transactive grid), trading sur les marchés d'énergie, itinérance des services de charge pour les véhicules électriques (RWE BlockCharge en Allemagne), certification d'origine pour les énergies renouvelables (SolarCoin), sécurisation des données pour l'activation d'objets connectés et l'effacement (PeakCoin), prépaiement d'énergie avec bitcoins (Eskom). Notez que la *blockchain* peut aussi contribuer à l'automatisation des procédures internes et à la réingénierie des process. Certains imaginent, enfin, que la *blockchain* impulse un système totalement décentralisé.

Pour mieux en appréhender la complexité et les opportunités, Enedis a lancé deux preuves de concept (POC) sur les *blockchains* :

- à Paris, un POC interne autour de la certification du recueil du consentement du client quant à l'utilisation des données collectées par son compteur communicant ;
- à Perpignan, en partenariat avec Tecsol-Sunchain, un POC dans le cadre de la première opération d'autoconsommation collective en France. Il recouvre tout à la fois les échanges d'énergie de pair à pair et leur interaction avec le réseau – les premiers ayant un impact sur le second en termes de circulation des flux physiques. Ce POC permettra à Enedis de définir un nouveau type d'interface de flux de données avec un tiers, ce qui le confortera comme source de référence des données énergétiques y compris pour les solutions utilisant les *blockchains*.

A ce stade, des premiers enseignements se dégagent de ces POC.

- Les consommateurs, dans leur grande majorité, ne souhaitent pas visualiser les transactions. Il faut néanmoins prévoir une option de visualisation pour ceux qui le

souhaitent.

- L'éthereum évolue très vite. Dans le cas du recueil du consentement, les coûts induits ont rendu cette solution moins compétitive que le système informatique classique. L'émergence d'un standard pourrait néanmoins changer la donne.
- Le cadre juridique lié aux *blockchains* n'étant pas fixé, une telle solution pourrait ne pas répondre aux exigences de certification et de compatibilité avec le règlement général sur la protection des données (RGPD).
- Les infrastructures de comptage communicant sont parfaitement adaptées à la mise à disposition de données utiles dans le cadre de smart contracts – en l'occurrence, le logiciel Tecsol qui gère les échanges d'énergie.

Au total, la technologie *blockchain* pourrait apporter une certaine valeur dans la réingénierie des process et l'amélioration constante. Il reste à savoir si elle permettra de réaliser des actions qui étaient impossibles jusque-là. C'est peut-être dans les échanges Nord-Sud qu'elle aura une utilité déterminante. Il a été noté que la *blockchain* était très adaptée à la tenue de registres. Ceci peut être illustré par les logiques qui régissent, schématiquement, un cadastre européen et un cadastre africain. Le premier indique noir sur blanc qui est le possesseur d'une parcelle. C'est le modèle traditionnel. En Afrique, cette information résulte du consensus oral exprimé par une communauté. Tel est le modèle de la *blockchain*.

Alexandra Batlle
Chargée de développement, Tecsol

Spin-off de Tecsol, Sunchain a été créé en 2016 et détient le label GreenTech Verte. Il a noué un partenariat avec Enedis sur la *blockchain*.

L'avenir est à l'accroissement de la production décentralisée, notamment solaire. En effet, le prix des modules photovoltaïques ne cesse de baisser, tandis que celui de l'électricité issue du réseau croît continûment. Demain, il est fort probable que toutes les toitures seront équipées de panneaux solaires. Une multitude d'usages en sont possibles : utilisation en itinérance de l'énergie produite en un point donné, stockage virtuel de l'énergie solaire dans le cloud, certification de l'origine renouvelable de l'énergie, répartition de l'énergie entre consommateurs dans le cadre de réseaux privés, autoconsommation collective via le réseau public de distribution d'électricité... C'est sur ce dernier aspect que nous nous sommes focalisés.

Le cadre réglementaire s'est ouvert pour permettre l'autoconsommation collective, c'est-à-dire la réunion entre un ou plusieurs producteurs et consommateurs au sein d'une personne morale organisatrice d'échanges d'énergie entre ces acteurs, pourvu qu'ils soient situés à l'aval d'un poste de transformation de moyenne en basse tension. En matière de partage de l'énergie, ce cadre prévoit que les courbes de charge de la production et de la consommation d'électricité solaire sont mesurées sur un pas de temps de 30 minutes, de même que la part de production attribuée à chaque consommateur. Il prévoit également que les règles d'affectation peuvent être statiques ou dynamiques.

La répartition de l'électricité de façon dynamique est l'un des principaux avantages de l'autoconsommation collective. Elle permet d'optimiser le foisonnement des consommations. A partir des données des compteurs Linky, l'électricité est répartie au plus juste au gré de la production et des consommations à chaque pas de 30 minutes, et non à l'aune de critères préétablis (surface occupée, nombre d'habitants du foyer...).

Architecture de la solution Sunchain

Pourquoi asseoir l'autoconsommation collective sur la *blockchain* ? Cette dernière constitue tout d'abord un gage de confiance. A cet égard, Sunchain met en œuvre trois grands principes constitutifs d'une *blockchain*.

- **Un consensus distribué**

Il institue une confiance entre des tiers qui, *a priori*, ne se font pas confiance. La gouvernance est ainsi partagée entre différents nœuds participants décidant de valider ou non les transactions. Il peut s'agir de membres de l'opération, de la personne morale organisatrice mais aussi d'entités extérieures légitimes (organismes publics). Le rôle de Sunchain est de mettre en œuvre ces nœuds, après quoi il n'y accède plus.

- **Le registre**

La liste des transactions est distribuée, ce qui rend le système résistant à la fraude.

- **La cryptographie asymétrique**

L'émetteur des données de consommation et de production est certifié. Les transactions sont signées numériquement grâce à une clé privée, ce qui permet leur traçabilité.

Le fonctionnement que nous appliquons avec Enedis est le suivant. Tout d'abord, la production et la consommation sont mesurées par les compteurs Linky. Les index sont relevés par Enedis et par Sunchain. Les données de production et de consommation sont ensuite enregistrées et certifiées via la *blockchain*, et la répartition de l'énergie est effectuée. Les coefficients de répartition sécurisés sont alors mis à disposition d'Enedis par Sunchain. Ceci permet à Enedis de générer les index modifiés et de les envoyer au fournisseur d'électricité, pour la facturation du client. Le fournisseur facture enfin le client final pour l'énergie consommée, déduction faite de l'énergie solaire affectée par la répartition.

Sunchain s'est lancé dans cette démarche sans *a priori* technologique, mais en recherchant une solution alliant efficacité et sobriété énergétique. En conséquence, notre *blockchain* ne met pas en œuvre de minage mais est de type consortium, avec un consensus relativement léger. Elle a été pensée sans jeton et implémentée de manière indépendante, sans être basée sur une cryptomonnaie. Ceci la prémunit d'un détournement de sa vocation à des fins de spéculation. Enfin, elle repose sur une plateforme en code source ouvert, Hyperledger.

Les participants ont accès à leurs données de consommation et sont informés de la quantité d'énergie solaire qui leur est allouée. Cette connaissance contribue à les sensibiliser et à en faire des « consomm'acteurs ». Ils peuvent à tout moment auditer la *blockchain*. Enfin, Sunchain a mis en place une solution d'anonymisation des données personnelles, conforme au RGPD.

Points de vue juridiques sur la blockchain

Guillaume Dezobry

Avocat, Fidal & maître de conférences en droit public, Université d'Amiens

Dans quelle mesure la *blockchain* peut-elle s'intégrer dans des échanges décentralisés d'électricité verte à une maille locale ?

- Différents dispositifs juridiques permettent de tels échanges :
- l'autoconsommation collective (article L.315-2 du Code de l'énergie) ;

le service de flexibilité locale (article 199 de la loi de transition énergétique pour la croissance verte) ;

- les réseaux fermés (article L.344-1 du Code de l'énergie) ;
- les réseaux intérieurs (article L.345-1 du Code de l'énergie).

Citons également les communautés énergétiques locales, qui figurent dans l'article 16 de la proposition de directive sur le marché intérieur de l'électricité. Dans l'affaire Valsophia enfin, une décision du Comité de règlement des différends et des sanctions du 6 mai 2015 permettait à un aménageur de demander à Enedis un raccordement au réseau pour gérer lui-même les échanges d'énergie entre une ombrière et trois immeubles tertiaires. La Cour d'appel a annulé cette décision, précisant que « ce rejet prononcé au vu de la législation applicable à la date de la décision entreprise ne préjuge pas de la possibilité que l'ordonnance 2016-1725 autorise ». Précision importante, ceci fait référence non pas à l'autoconsommation collective mais au réseau fermé.

Les textes sur l'autoconsommation collective, les réseaux fermés et les réseaux intérieurs doivent donc être lus de deux manières : au vu de ce qu'ils permettent et ne permettent pas. A titre d'exemple, ils n'autorisent l'autoconsommation collective qu'en aval d'un poste de distribution HTA/BT. En conséquence, les échanges décentralisés d'électricité avec des résidentiels ne sont possibles que dans le cadre de l'autoconsommation collective.

Blockchain et autoconsommation collective

Dans l'autoconsommation collective, qui sont les participants de la *blockchain* ? *A priori*, l'on peut supposer que ce sont les membres de la personne morale (producteurs et consommateurs) créée pour l'opération. Les textes n'indiquent pas quelle forme juridique doit prendre cette personne morale. Il convient toutefois de veiller à ce qu'elle permette d'inscrire l'opération dans la durée, de façon dynamique. Si, par exemple, le locataire d'une maison dotée de panneaux photovoltaïques déménageait, le nouveau locataire serait-il lié par l'opération d'autoconsommation collective ? Le désengagement d'un participant risquerait de faire tomber l'équilibre du système. Il n'y a alors guère d'autre solution que d'inscrire la participation au dispositif dans le bail du nouveau locataire. Persistent néanmoins les questions de liberté de choix du fournisseur et de consentement au recueil des données personnelles. Dans le cas de l'opération Lyon Confluence opérée par Bouygues, la *blockchain* a été implémentée dans une association syndicale libre (ASL), qui présente l'avantage de lier les bâtiments et non les occupants.

Les fonctions des *blockchains* soulèvent par ailleurs des questions de traçabilité et de certification. La traçabilité doit être assurée en coopération avec le gestionnaire de réseau, lequel effectue le comptage. A cet égard, la *blockchain* peut présenter un avantage pour la répartition de la production.

Quant à la certification, les textes précisent que seules les garanties d'origine peuvent certifier de l'électricité verte. Notez qu'un nombre croissant d'habitants souhaitent consommer une énergie provenant d'un site précis. Il serait intéressant d'étudier la capacité de la technologie *blockchain* à y répondre.

Enfin, si ces opérations peuvent présenter un intérêt financier sur la part fourniture, c'est moins certain sur la part acheminement et sur la part fiscalité, en l'absence d'exonération sur la contribution aux charges de service public de l'électricité et sur les taxes locales.

En conclusion, la *blockchain* n'a de sens que si elle est pilotée par un *energy manager*. Quel est alors le rôle du gestionnaire du réseau de distribution ? Les règles d'*unbundling* sont-elles adaptées à ces expérimentations ?

Gérald Vignal **R&D, RTE**

Si RTE s'intéresse à la *blockchain* et aux solutions digitales susceptibles de révolutionner les échanges d'énergie, c'est notamment parce qu'il est en charge des règles dites de responsabilité d'équilibre, qui structurent ces échanges en France. Comment y intégrer les attentes sociales et économiques qui s'expriment actuellement ?

Dans les discussions en cours sur le Clean Energy Package, la Commission européenne affiche l'objectif de placer le consommateur au centre du système énergétique. C'est sous cet angle que j'aborderai ici la *blockchain*.

Au préalable, pour broser le paysage, il est utile de faire un détour par les dispositifs d'effacement de consommation, qui ont impulsé une évolution du secteur. La loi de 2013 fixe leur cadre juridique. Désormais, l'effacement de consommation est placé sur un pied d'égalité avec la production. L'ensemble des marchés y sont ouverts. Autre changement majeur, la réglementation a conduit à sécuriser juridiquement des opérateurs indépendants ayant la faculté de valoriser des effacements de consommation auprès de leurs clients, indépendamment de l'accord des fournisseurs d'énergie. Le monopole des fournisseurs sur les sites est ainsi remis en cause. L'arrivée de nouveaux agrégateurs d'effacement a de surcroît entraîné une baisse des coûts. C'est ainsi qu'en une décennie, le volume d'effacement de consommation est passé d'une centaine de mégawatts à quelque 2 gigawatts.

Libérer les énergies

Les nouveaux types d'échanges qui apparaissent dans le paysage énergétique questionnent l'organisation du secteur et du marché. Il y va du rôle des intermédiaires et des fournisseurs historiques, mais aussi du métier de gestionnaire de réseau de transport, des interfaces que ce dernier entretient avec l'écosystème, ainsi que de la mission qui

lui est confiée : proposer au régulateur des règles de marché autour du dispositif de responsabilité d'équilibre. Hormis les évolutions relatives à l'effacement, ce dispositif reste, dans sa philosophie, assez proche de ce qu'il était à sa naissance en 2002, lors de l'ouverture des marchés.

Prenant acte des nouvelles modalités d'échange d'énergie s'exprimant notamment au sein de collectivités locales ou de syndicats d'énergie, RTE réfléchit aux évolutions pouvant leur permettre de se déployer dans un cadre cohérent pour l'exploitation globale du système électrique.

Aujourd'hui, trois barrières principales font obstacle à l'essor de ces nouvelles formes d'échange d'énergie.

- Une barrière géographique

Il prévaut une confusion entre les échanges en pair à pair et la dimension géographique. La majorité des expérimentations portent jusqu'à présent sur des échanges d'énergie entre voisins. Or la technologie *blockchain* n'est en rien contrainte par un périmètre géographique. Un autoproducteur des Alpes-Maritimes pourrait échanger avec un consommateur vivant à Brest, par exemple. Des échanges transfrontaliers pourraient également être envisagés.

- Une barrière réglementaire

La situation actuelle des nouveaux échanges d'énergie est comparable à celle dans laquelle se trouvait l'effacement avant les évolutions réglementaires. Les échanges de pair à pair sont possibles à condition que les consommateurs soient situés dans le même périmètre de responsable d'équilibre. Ils ne sont pas autorisés, en revanche, entre consommateurs situés dans des périmètres de responsables d'équilibre différents. Dans le même esprit que pour l'effacement, il serait intéressant de tester de nouvelles modalités d'échange, avec la possibilité pour un producteur de valoriser son énergie à certains pas de temps, dans certaines conditions, en dehors du périmètre du responsable d'équilibre auquel il est rattaché et du fournisseur. Cette barrière est déjà en partie levée pour les clients industriels.

- Une barrière digitale

Les mécanismes actuels ont été conçus à une époque où il existait principalement des compteurs à index. Aujourd'hui, les nouvelles solutions technologiques, dont la *blockchain*, permettent d'envisager d'autres modèles.

Digitalisation et modèle de marché

Le modèle de marché actuel repose sur l'unicité entre le point de consommation et le fournisseur. Hormis l'effacement, le fournisseur est en situation de monopole sur son site. Les nouvelles technologies, notamment la *blockchain*, permettent d'envisager un système où un site serait connecté à plusieurs responsables d'équilibre. Des applications directes en découlent, comme l'électromobilité. Il s'agit par exemple pour le propriétaire d'une voiture électrique de charger sa batterie sur des panneaux solaires, où que se trouve son véhicule. Il peut aussi s'agir pour des sites en autoconsommation de valoriser des surplus à certaines périodes. Un autre usage consisterait pour des collectivités locales à flécher

des électrons vers certains consommateurs en situation de précarité énergétique.

L'enjeu, pour RTE, est de proposer des évolutions des règles intégrant ces nouveaux usages. Nous nous efforçons de nous extraire du débat classique entre décentralisation et centralisation, pour explorer une troisième voie, dans une logique distribuée. Les initiatives locales pourraient alors faire l'objet de valorisations sur la plaque française ou européenne.

Dominique Jamme
Conseiller spécial du Président, CRE

Le régulateur ne s'étant pas encore exprimé sur la question des *blockchains* dans l'énergie, je ferai part ici de considérations personnelles. La CRE nourrit pour autant une réflexion sur le sujet, dont les avancées peuvent être consultées sur le site www.smartgrids-cre.fr.

Au regard de l'autoconsommation collective, il est important de rappeler quelques principes posés par la régulation. Ainsi, les utilisateurs des réseaux doivent payer pour les coûts qu'ils occasionnent, et recevoir un bénéfice s'ils contribuent à réduire les coûts. La décision préliminaire publiée par la CRE le 15 mai 2018 va en ce sens, préconisant un abaissement du TURPE lorsque l'autoconsommation collective induit des économies de réseau, mais aussi une augmentation possible du tarif dans certains cas contraires. Ajoutons que la CRE est neutre d'un point de vue technologique : elle n'est ni favorable ni opposée à la *blockchain*. La régulation doit en outre encourager l'innovation et, à ce, titre faciliter les expérimentations dans la mesure où le cadre législatif le permet et où des dérogations sont envisageables.

La CRE est favorable à l'autoconsommation. Elle voit dans la décentralisation une tendance positive qui confère du pouvoir au consommateur, favorise les énergies renouvelables et répond à une attente de la société. Pour autant, il convient de respecter le principe de péréquation nationale et de veiller à ce que des mécanismes ne conduisent pas certains privilégiés à être subventionnés par tous les autres utilisateurs.

A ce stade, la *blockchain* semble n'être qu'un outil, qui n'est pas susceptible d'avoir un effet direct sur les régulations ou les réseaux. Faut-il préférer une *blockchain* publique ou privée ? La *blockchain* publique offre certes des garanties de sécurité, mais est onéreuse, lente et énergivore. La *blockchain* privée est plus souple mais moins sécurisée, et pose la question des instances de validation. Si elle est gérée par un opérateur privé, l'on peut se demander en quoi elle se distingue d'une base de données classique.

La *blockchain* semble donc se situer dans le champ des innovations permises par la dynamique concurrentielle des marchés de l'énergie. A ce stade, elle n'induit pas un besoin de gouvernance spécifique qui conduirait à envisager une transformation profonde de la régulation.

Échanges avec la salle

Le TURPE pourrait-il est employé comme une incitation pour les autoconsommateurs à adopter un comportement favorable au réseau électrique ?

Dominique Jamme

En principe, le TURPE est conçu pour cela. Il est moins cher si, à l'échelle de l'opération d'autoconsommation collective, il y a correspondance entre les flux de production et de consommation. Mais plus le périmètre d'autoconsommation collective est large, plus il soulève des questions complexes : un nouveau locataire peut-il décider d'y participer ou non ? Peut-il choisir son fournisseur ?

Alexandra Batlle

Tecsol-Sunchain accompagne une commune de l'Hérault qui souhaite organiser une opération d'autoconsommation collective impliquant le bâtiment de la mairie-école, le bureau de poste, la boulangerie et un centre culturel. Nous devons redoubler de pédagogie pour expliquer aux participants pourquoi, quand leur taux de consommation d'énergie solaire n'est pas suffisant, ils devraient payer un tarif d'acheminement de l'électricité plus élevé. Cela paraît injuste. On ne peut pas en vouloir au boulanger de faire son pain au petit matin.

Jean-Baptiste Galland

Certains coûts sont spécifiquement liés au démarrage d'un système jusqu'alors inédit. Une entité devrait-elle les supporter, alors que l'ensemble de la collectivité en bénéficiera in fine ? Il ne s'agit pas ici d'une question de tarifs, au sens où ceux-ci doivent traduire la réalité des coûts, mais de politiques d'aide. Un soutien au développement de ces systèmes innovants paraît nécessaire, pour impulser une transition.

Gérald Vignal

Plus largement, j'estime qu'il faut offrir une pluralité de choix aux consommateurs. Certains sont attachés à la dimension locale des échanges, mais d'autres s'inscriront dans d'autres types de communautés. Plutôt que d'échanger de l'électricité photovoltaïque avec leur voisin, ils préféreront donner de l'énergie à leur enfant habitant à 500 kilomètres, entre autres exemples.

En phase de développement soutenu du photovoltaïque dans des logiques d'autoconsommation de microgrids, il se pose nécessaire, à un certain stade, des questions de foisonnement des aléas et d'échanges des surplus. Ce sujet mérite d'être anticipé sur des plaques larges, dans une logique de réduction des coûts. Préparons dès à présent des outils permettant une mutualisation à plus grande échelle. Les consommateurs et les collectivités choisiront ensuite les modalités qui leur conviennent le mieux.

L'un des avantages de la blockchain est de permettre de mutualiser des infrastructures, y compris entre des acteurs en concurrence ou ne se faisant pas confiance. Grâce à la blockchain, pourrait-on imaginer des services mutualisés entre des acteurs de l'énergie et des acteurs extérieurs à ce secteur, relevant par exemple du transport ?

Dominique Jamme

Il y a une dizaine d'années, la CRE a mené une étude sur l'opportunité de créer un compteur commun pour l'électricité et le gaz. La conclusion fut plutôt négative, les risques de cette mutualisation s'avérant supérieurs aux gains. Rien n'empêche cependant de rapprocher les informations issues de différents compteurs. Outre les données individuelles, dont l'utilisation requiert le consentement du consommateur, une série de données agrégées sont mises à disposition par les distributeurs. La plateforme en open data ORE réunissant des distributeurs d'électricité et de gaz ainsi que des transporteurs va en ce sens¹.

Jean-Baptiste Galland

Encore faut-il que les formats et les pas de temps de ces données soient compatibles. Nous essayons d'avancer sur ce sujet pour les données en open data, lesquelles relèvent toutefois du domaine statistique plutôt que de la gestion en temps réel du système. Quoi qu'il en soit, l'interfaçage entre les opérateurs est un enjeu majeur, et le sera d'autant plus que ces pratiques s'étendront.

Guillaume Dezobry

Dans de nombreuses opérations immobilières, les aménageurs décident d'installer des compteurs en aval de ceux des gestionnaires de réseau, pour récupérer des données énergétiques sur les flux d'électricité, de gaz et de chaleur. De ce point de vue, la solution *blockchain* peut présenter un intérêt.

Yannick Perez

Professeur associé d'économie, CentraleSupélec

Après avoir envisagé des innovations en silos, approche nécessaire dans un premier temps, il conviendra de s'intéresser aux synergies possibles entre secteurs. Pourquoi ne pas imaginer de coupler, par exemple, l'autoconsommation, le véhicule électrique et la *blockchain* ? Ce serait d'autant plus stimulant que le photovoltaïque va à l'encontre des intérêts des distributeurs, quand le véhicule électrique tend plutôt à les enrichir. Cela laisse également présager des échanges intéressants avec les consommateurs pour expliquer le design des tarifs...

¹ <http://opendata.agenceore.fr>



Fondation Paris-Dauphine

Chaire Gouvernance et Régulation
Fondation Paris-Dauphine
Place du Maréchal de Lattre de Tassigny - 75016 Paris (France)
<http://chairgovreg.fondation-dauphine.fr>