

Janvier 2023

RAPPORT N°17.40



Institut des Études
et de la Recherche
sur le Droit et la Justice

Smart contracts

La première librairie européenne et
ouverte de *smart contracts* à destination
des professionnels du droit et de la justice

Sous la direction de

Amélie FAVREAU



Cette recherche est issue de l'appel à projet : *Droit, justice et numérique*

Recherche réalisée sous la direction de :

Amélie FAVREAU,

Maîtresse de conférences HDR, université Grenoble-Alpes

Ont également contribué à ce rapport de recherche :

Sihem AMER-YAHIA,

Directrice de recherche CNRS, université Grenoble-Alpes

Aïda BENNINI,

Maitresse de conférences, université de Caen

Alexis BOISSON,

Maître de conférences, université de Montpellier

Maître Lionel CHARBONNEL,

Avocat, docteur en droit, Marseille

Anna COMPANYY,

Étudiante à la faculté de droit de l'université Grenoble-Alpes

Abdoulaye DIALLO,

Doctorant à l'université Grenoble-Alpes

Thomas FÉRAUD,

Étudiant à Centrale Supélec, université. Paris Saclay

Julien FONTRIER,

Étudiant en 2e année de DUT Carrières juridique à l'IUT2 de Grenoble

Maître Fabien GILLIOZ,

Avocat associé, Cabinet Ochsner et Associé, Genève (Suisse)

Julien GOSSA,

Maître de conférences, université de Strasbourg, ICube (Informatics)

Maître Élise GUILHAUDIS,

Avocate inscrite au barreau de Grenoble et gérante de la Legaltech NUMETIK Avocats

Benjamin JEAN,

Consultant, Inno3, Open Law Association

Nicolas JONDET,

Chercheur, université d'Édimbourg, *SCRIPT*

Nathan ROUGIER,

Étudiant en 2e année de DUT Informatique à l'IUT2 de Grenoble

Alexandre VILAY,

Doctorant à l'université Grenoble-Alpes

Nos remerciements vont au Centre de recherches juridiques de l'université Grenoble-Alpes pour leur soutien à cette recherche ; à la société Crypto4All dirigée par Rémy OZCAN pour les échanges constructifs issus de leur pratique des *smart contracts* et à la société ZELAB pour la conception de la plateforme de *smart contracts*.

Le présent document constitue le rapport scientifique d'une recherche réalisée avec le soutien du Groupement d'Intérêt Public Institut des études et de la recherche sur le droit et la justice (convention n° 1740). Son contenu n'engage que la responsabilité de ses auteurs. Toute reproduction, même partielle est subordonnée à l'accord de l'IERDJ.

La nécessité d'une recherche sur les *smart contracts*. À une époque où la technologie et le développement du monde numérique ont un impact fort sur l'ensemble de notre société, il paraît essentiel de questionner les effets de cette évolution pour le droit. C'est en partant de ce constat et des craintes formulées par de nombreux professionnels quant aux pratiques de programmation, d'automatisation et de prédiction des opérations juridiques que ce projet de recherche sur les *smart contracts* est né.

Définition de la technologie *blockchain*. Il convient tout d'abord de dresser une définition précise de ce qu'est un *smart contract* ainsi que le support dans lequel il s'inscrit : la *blockchain*. Premièrement, la *blockchain* est une technologie de stockage et de transmission d'information décentralisée et sécurisée. Le terme « *blockchain* » désigne plus précisément une suite de transactions organisées en blocs qui relie le bloc « genèse » au bloc le plus récent formant ainsi une chaîne dont les données sont vérifiées à intervalles de temps réguliers. Ce système de vérification permet de protéger chacun des blocs de la chaîne contre toute modification. L'utilité de la *blockchain* s'observe au travers de sa capacité à maintenir en mémoire tous les échanges effectués entre les utilisateurs depuis sa création grâce à son système d'enregistrement en continu des données produites. Ces précisions sur ce qu'est la *blockchain* permettent désormais de mieux identifier ce qu'est un *smart contract*. Il s'agit d'un protocole informatique qui s'occupe de la vérification, la négociation ou l'exécution d'un contrat. Les *smart contracts* ou contrats intelligents sont régis par un code informatique enregistré dans une *blockchain*. Leur exécution est alors déclenchée par une transaction sur cette *blockchain*. Ce système permet une exécution automatique des contrats et assure ainsi leur force obligatoire. Enfin, pour effectuer les transactions qui viennent déclencher l'exécution des *smart contracts*, il est nécessaire de disposer de jetons ou *tokens*. Il s'agit d'une représentation numérique d'un actif ou d'un droit qui peut être transférable entre deux parties sur une *blockchain*. Les jetons ou *tokens* sont inclus dans la catégorie des actifs numériques au sens de l'article L. 552-2 du Code monétaire et financier qui les définit comme : « constitue un jeton tout bien incorporel représentant, sous forme numérique, un ou plusieurs droits pouvant être émis, inscrits, conservés ou transférés au moyen d'un dispositif d'enregistrement électronique partagé permettant d'identifier, directement ou indirectement, le propriétaire dudit bien »¹.

Le problème au cœur du projet. Le sujet des *smart contracts* étant complexe, il a rapidement été fait le choix de cibler la recherche autour du *smart contract* comme outil complémentaire à

¹ Voir l'article L. 552-2 du Code monétaire et financier créée par la LOI n°2019-486, Loi PACTE, du 22 mai 2019.

l'exécution d'un contrat. Ainsi, l'équipe de recherche constituée pour ce projet s'est demandé dans quelles mesures des stipulations contractuelles peuvent être traduites en langage informatique et insérées sur une *blockchain* dans le but d'automatiser leur exécution ?

Les objectifs de la recherche. Dès lors, l'objectif du projet fut d'évaluer la faisabilité de traduire en langage informatique des stipulations contractuelles sélectionnées au préalable afin de créer la première librairie de *smart contracts* européenne. L'idée était de réunir sur une plateforme en ligne, ouverte et gratuite, un clausier répertoriant plusieurs clauses en langage « naturel » (français et en anglais) ainsi que leur traduction en langage informatique.

Par la traduction de ces clauses en anglais et la présence de chercheurs de différentes nationalités, il apparaît que le projet entend couvrir une dimension internationale, ce qui est tout à fait cohérent avec l'esprit du numérique visant à dépasser les frontières.

L'intérêt de cette recherche est donc de permettre à l'ensemble des professionnels du droit d'avoir une meilleure connaissance des contrats auto-exécutants et de parvenir à s'approprier cette technologie afin de pouvoir la proposer dans le cadre de leur activité grâce à une plateforme pédagogique et facile d'accès proposant des modèles de *smart contracts*.

Afin de mener cette recherche, il a dans un premier temps été nécessaire de circonscrire les défis techniques et juridiques pour trouver des solutions permettant de les surmonter. Cette note de synthèse exposera donc tout d'abord l'important travail de recherche préparatoire réalisé par l'équipe ainsi que les choix méthodologiques effectués pour l'élaboration de la librairie (Partie I). Dans un second temps, il convient de présenter dans cette note de synthèse les résultats de la recherche, à savoir la réalisation de la librairie de *smart contracts* (Partie II). Enfin, cette note évoquera les perspectives dégagées au cours du projet concernant la portée et l'étendue des *smart contracts* à d'autres domaines (Partie III).

Partie I – Les travaux de recherche préparatoires au projet

Ce projet sur les *smart contracts* demandait de répondre à de nombreux défis d'un point de vue technique mais également juridique. C'est la raison pour laquelle l'équipe de recherche a effectué un important travail préparatoire afin de circonscrire l'étendue des recherches en fonction des objectifs énoncés précédemment. Cette préparation a nécessité une grande réflexion sur les enjeux des *smart contracts* et leur application à des stipulations contractuelles. Tout d'abord, il faut revenir sur les défis techniques concernant la technologie des *smart*

contracts (Paragraphe 1). Avant d'observer les enjeux juridiques que présente le choix des stipulations contractuelles à traduire en *smart contract* (Paragraphe 2).

Paragraphe 1 – Les enjeux techniques

Le trilemme de la *blockchain*. Les *smart contracts* fonctionnent en se déployant sur une *blockchain*. Une connaissance accrue du fonctionnement des *blockchains* a donc été nécessaire à l'équipe de recherche. Cette connaissance a permis de mettre en lumière le principal défi technique qui se posait. En effet, le développement des *blockchains* répond à un trilemme : décentralisation, scalabilité et sécurité. Ce trilemme permet de comprendre les limites auxquelles peut se heurter le développement d'une application de la *blockchain* tel que les *smart contracts*, car l'application ne peut se développer sur les trois fronts à la fois.

La première étape dans le raisonnement suivi par l'équipe de recherche a donc été de choisir quelle partie du trilemme privilégier et quelle partie sacrifier. Comment trouver un équilibre satisfaisant pour le déploiement des *smart contracts* ?

L'équipe de recherche a étudié chaque partie du trilemme afin de déterminer ce qu'il était le plus important de préserver au regard de l'objectif des *smart contracts*. Ainsi, il apparaît impossible de faire l'impasse sur la sécurité. La librairie étant à destination des professionnels du droit, elle ne peut en aucun cas concéder des failles de sécurité. L'intégrité, l'authentification ou la traçabilité des transactions sont autant de critères indispensables pour la programmation des *smart contracts* car c'est en partie sur cela que réside leur intérêt.

Concernant la scalabilité, celle-ci est conservée par le choix de développer les *smart contracts* sur la *blockchain* Ethereum. Ce système peut supporter une charge importante de transactions et s'ouvrir à un grand nombre d'utilisateurs. Le choix d'une *blockchain* publique est un critère très important car la transparence et la validation par le plus grand nombre représentent des éléments fondamentaux de la confiance dans les *smart contracts*. Une confiance indispensable en matière de droit et de justice.

Dès lors, c'est sur la décentralisation que l'équipe de recherche a accepté de faire des concessions. En effet, il est apparu que c'était le choix le plus pertinent car l'exécution des clauses par un *smart contract* implique de collecter des informations situées à l'extérieur de la *blockchain*. Il ressort alors que les *smart contracts* ont été envisagés dans un système plutôt centralisé avec comme priorité pour leur développement la sécurité.

Un projet de grande ampleur. Le projet de création d'une plateforme réunissant des stipulations contractuelles traduites en langage de programmation était mondialement inédit au moment du dépôt du projet en mai 2017. Toutefois, durant l'année 2018, deux initiatives privées se sont développées aux États-Unis : OpenLaw et Accord Project. L'équipe de recherche a donc observé ces deux initiatives afin de dresser un comparatif entre celles-ci et le projet dans le but d'aider à la réalisation de ce dernier.

Trois différences ressortent de ces observations. Tout d'abord, les projets américains sont des initiatives privées qui bénéficient d'un financement très important. Cela a permis une prise de conscience quant à l'ampleur du projet et de ses enjeux pour l'avenir. Ensuite, les modèles américains proposent des plateformes de génération automatique de contrat ainsi que leur traduction en *smart contract*. Ce n'est pas ce qu'envisageait l'équipe de recherche. En effet, le but du projet mené par l'équipe résidait dans l'automatisation et la traduction de certaines clauses préalablement sélectionnées pour leur pertinence. Enfin, l'équipe a noté une différence concernant la vision du *smart contract* et de son utilisation. Tandis que les projets américains s'inscrivent dans une démarche juridique libérale, mettant en avant l'efficacité, l'équipe de recherche a souhaité quant à elle donner une place importante à la réflexion autour des *smart contracts* et de leur utilité. L'ambition était de produire une librairie de *smart contracts* qualitative amenée à se développer avec le temps. C'est cette ambition qui a guidé l'équipe dans ses recherches, ses réflexions et a mis en lumière l'importance de choisir avec soin le langage informatique ainsi que les clauses à traduire.

Le choix du langage de programmation. L'équipe de recherche s'est attelée à dresser un inventaire des différents langages de programmation possibles pour la traduction des clauses. L'objectif était d'apprécier la diversité des langages de programmation, de mesurer les qualités et limites de chacun d'entre eux en établissant un tableau comparatif sur différents critères afin de choisir le plus adapté aux enjeux des *smart contracts*. Ainsi, les critères d'efficacité, de longévité, l'expressivité du langage ainsi que sa sécurité et la performance de la *blockchain* ont été particulièrement pris en considération dans le choix opéré. Le but était d'opter pour un langage durable, nécessaire au regard de l'évolution de la technologie, un langage expressif, permettant de traduire des engagements contractuels qui requièrent un raisonnement complexe, ainsi qu'un langage sécurisé pour limiter les bogues et les vulnérabilités que peuvent avoir certains langages de programmation.

Après établissement du tableau comparatif, le choix de l'équipe s'est porté sur le langage de programmation Solidity. Ce langage permet la traduction d'opérations complexes assez

facilement. Son seul défaut est sa vulnérabilité aux bogues. Néanmoins pour pallier cela, l'équipe de recherche a veillé à mettre en place des outils de vérification de la programmation pour assurer la sécurité des écritures informatiques de la librairie.

La nécessité d'établir un langage en « pseudo-code ». Comme énoncé précédemment, l'une des préoccupations principales de l'équipe de recherche était d'inscrire la plateforme de *smart contracts* dans le temps, d'en faire une ressource durable amenée à se compléter et à évoluer. Dès lors, l'équipe de recherche a relevé que la pérennité des langages de programmation étudiés n'étant pas assurée, il serait judicieux d'instaurer une étape supplémentaire dans l'écriture sur la plateforme entre le langage « naturel » et le langage de programmation. C'est ce qu'on appelle le pseudo-code. Il s'agit d'une façon de décrire un algorithme en langage *presque naturel*, sans référence à un langage de programmation particulier. Cette étape a permis à l'équipe de recherche de s'assurer de la pérennité de ses travaux. En traduisant préalablement les clauses juridiques en pseudo-code avant de les programmer en langage informatique, le travail de traduction effectué par les chercheurs est en grande partie préservé. En effet, à partir des clauses rédigées en pseudo-code il sera possible d'opérer une traduction dans un autre langage informatique de façon simplifiée.

Paragraphe 2 – Les enjeux juridiques

Avant de débiter le processus de traduction en *smart contract*, l'équipe de recherche a procédé à une sélection très pointilleuse des clauses susceptibles de faire l'objet d'un *smart contract*. En effet, il a rapidement été constaté que toutes les clauses ne peuvent pas faire l'objet d'un *smart contract*, ou du moins n'y trouvent pas d'utilité.

La notion de *smart contract*. Afin d'effectuer cette sélection, la notion de *smart contract* a dans un premier temps été analysée précisément dans le but d'identifier ce qu'elle recouvre et où elle peut trouver application. Les chercheurs ont à cette occasion rappelé que la notion de *smart contract* n'est qu'un outil informatique intéressant l'exécution d'un contrat. Ce n'est pas un contrat en lui-même. Fabien Gillioz indique dans sa contribution lors du séminaire introductif sur le projet : « en l'état actuel de la législation et de la technologie, un *smart contract* est plus approprié comme mécanisme d'exécution pour un ensemble d'obligations déterminées, plutôt qu'en tant que contrat en soi »². En effet, les *smart contracts* permettent d'automatiser l'exécution des clauses et servent également à automatiser les sanctions de l'inexécution

² F. GILLIOZ, « Du contrat intelligent au contrat juridique intelligent », *Dalloz IP/IT*, 2019, p. 16.

d'obligations contractuelles. Il ressort en outre de cette analyse des *smart contracts* que certaines étapes de la phase de conclusion du contrat telles que la remise de documents, des délais de réflexion ou la constitution de garantie peuvent être gérées par un *smart contract* et servir ensuite de moyen de preuve de leur exécution.

Les limites aux *smart contract*. L'équipe de recherche a fait le choix d'exclure de la traduction en *smart contracts* les règles issues de l'ordre public de protection et de l'ordre public de direction. Il a ensuite été question de l'application du droit commun des contrats aux *smart contracts*. L'équipe s'est questionnée sur l'incapacité d'une personne partie à un *smart contract* ou sur l'hypothèse d'un manque de pouvoir ou d'habilitation. Il apparaît alors pertinent de considérer en réalité le *smart contract* comme un accessoire d'un contrat traditionnel constituant le principal. Les règles de droit commun qui s'appliquent au contrat traditionnel, au principal, s'appliquent également au *smart contract*, à l'accessoire.

En ce qui concerne l'encadrement juridique des *smart contracts*, le groupe de recherche a pris en compte trois réflexions importantes qui ont permis d'effectuer un choix parmi les différents types de clauses. Tout d'abord, il faut prendre en considération le risque de disparition du tiers de confiance et ainsi le risque d'une absence ou d'une mauvaise transmission de l'information sur la *blockchain*. Ensuite, se pose la question de l'immutabilité du contrat puisque ce qui est inscrit sur la *blockchain* ne peut être modifié. Cette immutabilité est contraire au droit français qui a pour principe que les parties sont libres de conclure, modifier ou rompre des engagements contractuels dès lors qu'il y a une rencontre de volonté. Ainsi, l'équipe a soulevé l'importance d'intégrer dans la programmation informatique du *smart contract* la possibilité d'un « retour ». Enfin, une mise en garde concernant les possibles dysfonctionnements, bogues, erreurs de codage ou de conception est apparue nécessaire. Le *smart contract* se doit d'être fidèle au contrat juridique souscrit dans le monde réel. Les chercheurs ont alors émis l'hypothèse d'un principe de fidélité du *smart contract* au contrat juridique.

La méthode de sélection des clauses. L'équipe de recherche se trouvait dans un premier temps divisée sur la question du raisonnement à appliquer pour la création de la librairie. Une partie de l'équipe considérait qu'il fallait opter pour une approche par contrat car la question de la numérisation se pose plus généralement à l'égard de contrats entiers et non à l'égard des clauses. Pour une autre partie de l'équipe de recherche, évaluer l'intérêt du *smart contract* invitait davantage à raisonner par clause. En effet, il semblait essentiel de ne pas généraliser et de raisonner au cas par cas, en fonction de la nature du contrat, de son objet, et surtout des clauses elles-mêmes qui comportent souvent des réserves et des exceptions. Ce sont donc les clauses

qui ont été retenues comme objet d'étude et ont été appréciées au cas par cas afin d'observer l'intérêt de leur traduction en *smart contract*. Pour travailler sur l'établissement de ces clauses, l'équipe de recherche a utilisé l'ouvrage de technique contractuelle de Jean-Marc Mousseron³ qui reprend « dans l'ordre » quasiment chronologique les clauses d'un contrat d'affaires « typique » et en donne des exemples de rédaction.

Critères pour la sélection des clauses sur la plateforme. L'équipe a recherché des critères discriminants permettant de déterminer quelle clause pourrait être traduite en *smart contract*. Plusieurs pistes ont été proposées. Il a finalement été retenu de classer les clauses en fonction de deux critères : l'utilité et la validité. L'utilité correspond à l'intérêt économique, pratique. Ce critère présente ainsi l'avantage d'être universel. La validité correspond à la faisabilité juridique, la sécurité juridique. L'appréciation est toutefois ici différenciée selon les régimes juridiques. En suivant ces deux critères qui ont été présentés sous forme d'un schéma croisé définissant quatre zones, il apparaît qu'une clause est susceptible d'une traduction en *smart contract* quand cette traduction est utile et peut valablement être mise en place.

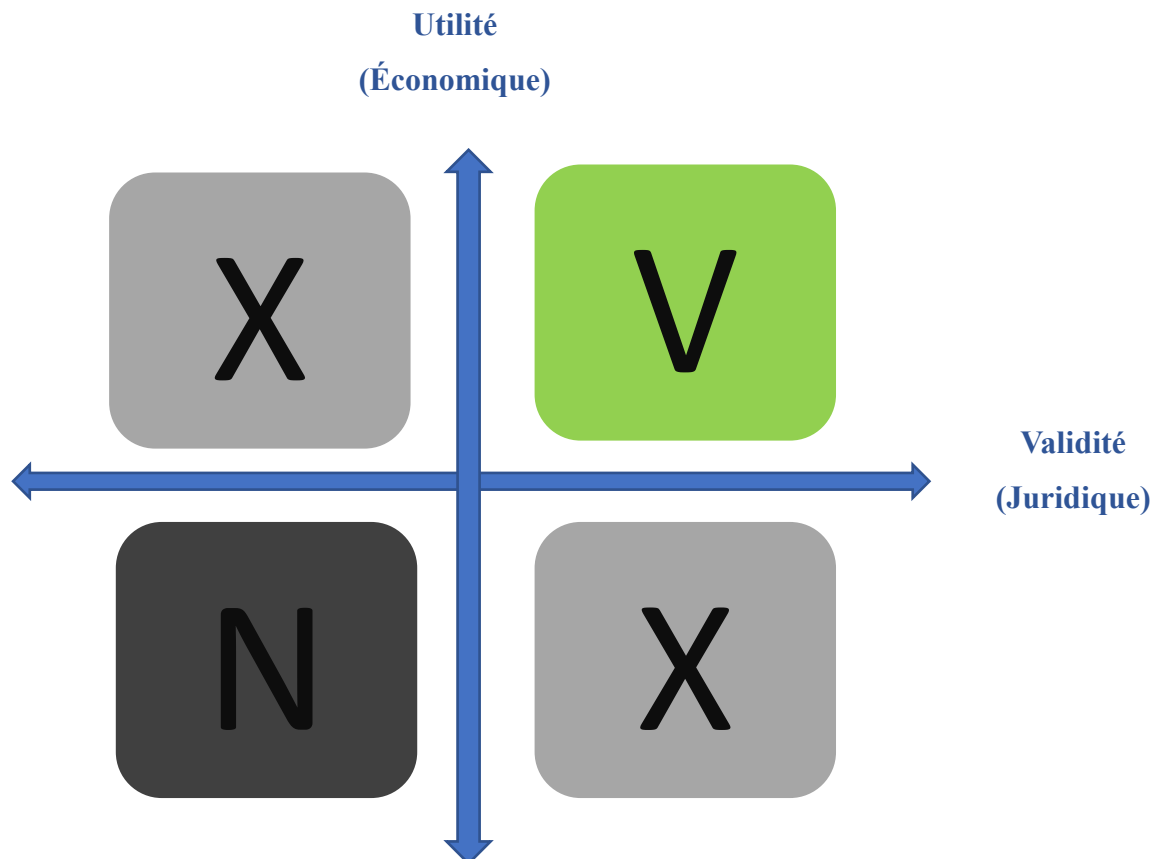


Schéma croisé représentant quatre zones de classement des clauses en fonction des critères utilité et validité.

³ Selon l'ouvrage J.-M. Mousseron *et al.*, *Technique contractuelle*, 5e éd., Paris, Francis Lefebvre, 2017. Le plan de l'ouvrage est davantage détaillé.

Par définition, les clauses pertinentes pour une mise en œuvre par *smart contract* sont celles dont l'exécution automatisée est possible, utile, licite. Pour cela, les conditions de déclenchement de l'exécution doivent être objectives, simples, sans contrôle judiciaire *a priori* et en l'absence de règles d'ordre public contrariant l'exécution automatique. C'est ce raisonnement qui a guidé le choix des clauses à traduire.

Les clauses éligibles au *smart contract*. En suivant les critères de sélection énoncés précédemment, le groupe de recherche a donné son accord de principe à la traduction de certaines clauses, en émettant parfois des réserves ou des conditions. De façon générale, il ressort des recherches effectuées que les clauses appartenant au domaine du **droit des affaires** et aux **relations contractuelles commerciales** sont celles qui se prêtent le plus, de par leur nature, à la traduction en *smart contract*.

Il a principalement été travaillé sur les **pactes d'actionnaires** puisque la titrisation possible sous la forme de *token* rend la valeur circulaire et le *smart contract* pertinent. Les **clauses d'option d'achat** semblaient aussi intéressantes puisque facilement automatisables. Le **droit de préemption, droit de suite et obligation de suite** se prêtent également très bien à cette automatisation de par leur fonctionnement.

La **condition résolutoire** a également été envisagée comme pouvant se gérer par un *smart contract* tout comme les **clauses portant sur l'indexation ou la révision du prix** en fonction de différents paramètres.

Le **paiement, le séquestre et la libération de fonds** peuvent également être facilement automatisés par le mécanisme de la *blockchain* par un transfert des valeurs dès la réalisation de certaines conditions. Toutefois, certaines limites sont à conserver quant à un paiement automatisé par *blockchain* pour l'accès à certains services. Entre ici en jeu la protection de la vie privée et du domicile ainsi que le fait de ne pas donner un droit de rétention de fait. C'est pourquoi selon les services, cette automatisation pourrait s'avérer complexe et qu'elle s'applique davantage dans le cadre du droit des sociétés, par exemple pour le cas d'une cession d'actions.

Les remèdes aux perturbations contractuelles telles que les **pénalités en cas de non-respect des délais impératifs** peuvent être gérées par un *smart contract* à condition que le contrat prévoit bien une obligation de résultat quantifiée et des délais précis. Cependant dans la pratique, ces clauses comportent des réserves, par exemple en cas de force majeure. C'est pourquoi l'équipe de recherche est restée réticente quant à la faisabilité de leur traduction en

smart contract. Le même raisonnement a été suivi concernant les perturbations définitives du contrat avec **les clauses d'engagement de la responsabilité et les clauses de garantie**.

Le groupe note que le **contrat de fiducie** semble propice à une automatisation par un *smart contract* des transferts d'actifs qu'il suppose.

Concernant, les causes d'extinction du contrat, il est possible d'inscrire **l'échéance d'un contrat** dans un *smart contract* afin d'en déclencher automatiquement les effets.

Enfin concernant les clauses de différend et notamment **la clause compromissoire**, l'équipe de recherche s'est questionnée sur l'intérêt de traduire ces clauses en *smart contract* et la possibilité d'admettre une résolution des litiges par la *blockchain*. En effet, il existe des plateformes qui mettent au service de la résolution des litiges une infrastructure reposant sur les caractéristiques de la *blockchain*, à savoir la décentralisation, l'immutabilité, la confidentialité, l'intégrité, l'authenticité, la non-répudiation et le caractère auditable. Alors que se développent ces plateformes de résolution des litiges reposant sur une technologie *blockchain*, il convient de s'interroger sur l'encadrement par les dispositions du Code de procédure civile des services de justice en ligne automatisée. Il est impossible d'assimiler de tels services à une procédure contentieuse, et il est également difficile de les faire entrer dans les catégories d'arbitrage ou de modes amiables de règlement des différends. C'est pourquoi l'équipe de recherche a finalement fait le choix de ne pas travailler sur les clauses compromissoires renvoyant à ces plateformes, car bien que techniquement le *smart contract* soit programmable, sa légitimité est discutable.

Partie II – Les résultats de la recherche : la réalisation de la librairie de *smart contracts*

L'aboutissement du projet de recherche fut l'élaboration d'une librairie de *smart contracts* traduisant en langage informatique des clauses de contrats juridiques. Pour parvenir à cette librairie, l'équipe à tout d'abord dû faire un choix définitif concernant les clauses à traduire (Paragraphe 1). Ensuite, l'équipe a procédé à une série de tests afin de contrôler le bon fonctionnement des *smart contracts* (Paragraphe 2). Ainsi, l'équipe de recherche est parvenue à créer une librairie de *smart contracts* tel que souhaité au départ du projet (Paragraphe 3).

Paragraphe 1 – La sélection définitive des clauses

Concentration sur certaines clauses. La programmation d'un *smart contract* étant une étape longue et coûteuse, l'équipe de recherche a fait le choix d'établir deux listes de clauses. Celles

susceptibles d'une traduction future et les clauses prioritaires qui ont fait l'objet d'une traduction et de tests dans le cadre du projet.

Les clauses secondaires. L'équipe de recherche a relevé différentes clauses tout à fait aptes à une traduction ultérieure en *smart contract*. Ce sont la clause d'indexation, la demande de renouvellement automatique de consentement en matière de cookies, la gestion automatique du droit de rétractation, la gestion automatique des révisions de prix, la suppression automatique des données personnelles dans les contrats de sous-traitance, et enfin les clauses d'un contrat de cession de droits d'auteur. Pour chacune de ces clauses, l'équipe a formulé une définition, établi le régime juridique et proposé un exemple de rédaction en préparation d'une éventuelle traduction future de ces clauses en *smart contract*.

Les clauses sélectionnées et traduites. Cinq clauses ont été retenues par les membres du projet de recherche pour être traduites et mises en ligne sur la plateforme. Il s'agit de la clause d'exclusion, la clause d'un contrat d'option, la clause de contrat à terme, la clause de « *buy or sell* » et enfin la clause de préemption. Ici encore, on constate qu'il s'agit de clauses à caractère commercial ce qui confirme que le droit des affaires est propice à l'établissement de *smart contracts*. Pour chaque clause, l'équipe a ici aussi formulé une définition, exposé le régime juridique et proposé un exemple de rédaction, le tout traduit en anglais dans l'objectif de rendre la librairie accessible à l'échelle européenne et même internationale. Une traduction des clauses en pseudo-code est ensuite inscrite pour couvrir l'objectif de longévité du projet énoncé précédemment. Enfin, la traduction en langage informatique a été réalisée, permettant la programmation de la clause en *smart contract*.

Paragraphe 2 – Tests sur les smart contracts

Réalisation de tests. Une fois traduites en langage informatique et ainsi transformées en *smart contracts*, les clauses ont été soumises à une série de tests dans le but de s'assurer de leur bon fonctionnement, notamment lors d'interactions entre plusieurs clauses. Toutefois faute de temps, la clause d'exclusion n'a pas pu faire l'objet de ces tests. Pour les autres, une simulation de la *blockchain* Ethereum a été réalisée par le module Python open source *ganache-cli*. L'environnement de compilation, d'exécution et de test a été géré par le module Python open source *brownie*. Ces modules permettent de recréer l'environnement dans lequel les clauses vont être amenées à se déployer. L'équipe a donc pu simuler l'exécution des clauses et ainsi tester leur application. Grâce à ces tests, l'équipe de recherche a pu construire une librairie de

smart contracts opérationnelle. Pour fonctionner, la présence de *smart contracts*, de *tokens* de paiement et de *tokens* de partitions est nécessaire. Rappelons qu'un *token* représente un actif sur une *blockchain*. Ainsi, un *token* de paiement représente une valeur de substitution qui remplace une certaine somme d'argent. Un *token* de partition représente quant à lui des titres ou actions existant dans le monde réel sur la *blockchain*. La librairie fonctionne donc grâce à un *smart contract* de *tokens* de paiement (ERC20), qui gère les paiements sur la *blockchain*, d'un *smart contract* de *tokens* de partitions (ERC1400), qui dépend d'un *token* de paiement et s'occupe de gérer les mouvements de titres, et enfin d'un *smart contract* par clause sélectionnée, qui dépendent des deux *tokens* énoncés précédemment.

Components diagram - Smart contracts & Tokens

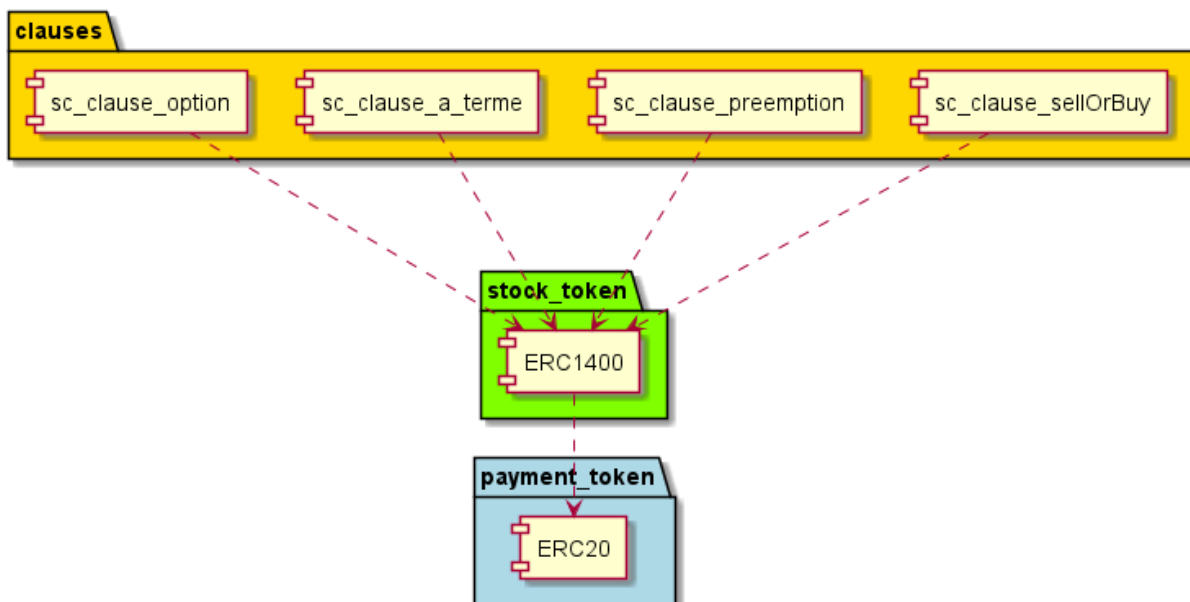


Diagramme représentant l'organisation de la librairie

Le déploiement de ces *smart contracts* permet une exécution automatique des clauses et produit un scénario différent en fonction des conditions remplies ou non par les parties au contrat. L'équipe de recherche a établi un schéma de fonctionnement pour chaque clause, permettant d'illustrer l'action des *smart contracts*. Une étape préliminaire de déploiement sur la *blockchain* commune à toutes les clauses a également été étudiée et schématisée. Durant cette étape du projet, l'équipe de recherche a veillé à ce que chaque cas de figure soit testé afin de s'assurer

que les *smart contracts* gèrent parfaitement les différentes possibilités et que chaque étape intermédiaire fonctionne correctement, de l'émission de l'avis d'achat ou vente au transfert de partitions et *tokens* de paiement. L'équipe a également soulevé l'opportunité pour de futurs tests d'ajouter une batterie de tests de sécurité afin de s'assurer de la robustesse des différentes méthodes des *smart contracts* d'un point de vue fonctionnel.

Paragraphe 3 – Création de la librairie

Une plateforme ouverte et accessible en ligne. Grâce à tout ce travail, l'équipe de recherche est parvenue à réaliser son projet en créant une librairie de *smart contracts* accessible en ligne, ouverte et gratuite⁴.

Il est possible d'accéder à la plateforme via ce lien : <https://opensmartcontract-front.netlify.app/>

Il est aussi possible d'accéder au clausier via le site internet créé pour partager le projet : <https://smart-contracts.univ-grenoble-alpes.fr/clausier>

La plateforme créée devait répondre à une double exigence qualitative : satisfaire les deux communautés d'informaticiens et de juristes. Le souhait de l'équipe de recherche était de parvenir à créer une plateforme permettant de faire le lien entre la communauté des personnes qui souhaitent développer des *smart contracts* mais ne savent pas comment les mettre à la disposition de tous, et la communauté des personnes qui souhaitent utiliser des *smart contracts* mis à leur disposition, mais ne savent ni les coder ni évaluer leur solidité. L'équipe a donc travaillé à la création d'une plateforme qui s'adapterait à ces deux populations. Ainsi, le choix s'est porté sur l'utilisation de la plateforme de partage de code GitHub⁵ qui permet de voir les codes des applications qui s'y trouvent et les modifications apportées à une application. Il était nécessaire d'opter pour une plateforme ouverte qui permettrait à tout le monde de contribuer à la création de *smart contract*. En effet, l'équipe souhaitait donner au projet une dimension collaborative en permettant à chacun de contribuer à la rédaction ou la modification des *smart contracts* présents sur la plateforme. Le site « Opensmartcontract »⁶ a été utilisé pour héberger les clauses car de cette façon, une personne souhaitant créer son propre *smart contract* peut via le back-office de la plateforme mise en place avoir accès à la partie configuration et importer directement les clauses et toutes les informations provenant de GitHub. Le site propose deux modes d'utilisation, un mode consultation, qui permet de consulter les clauses présentes sur le

⁴ <https://opensmartcontract-front.netlify.app/>

⁵ <https://github.com>

⁶ <https://opensmartcontract-front.netlify.app/>

site et de comprendre comment les utiliser, et un mode contribution, qui permet d'ajouter des *smart contracts*.

Toute personne a donc la possibilité de découvrir les clauses présentes dans le clausier et de consulter les informations relatives aux différentes clauses. Dès lors, chacun peut faire remonter des informations, ajouter des commentaires à une clause, comme par exemple des corrections ou des précisions sur les textes de loi s'agissant des juristes. L'objectif établi par l'équipe de recherche est alors rempli.

Une ambition internationale. Pour respecter la volonté de créer une plateforme à l'ambition internationale, toutes les informations et les clauses présentes sont traduites en français et en anglais. En outre, il est également possible de mélanger les langues lorsqu'on souhaite inscrire des écritures sur la plateforme, que ce soit pour les commentaires ou dans le codage des clauses. Ainsi, le champ linguistique du code est amené à s'élargir au fur et à mesure des contributions et tout cela est géré directement sur GitHub. Cette faculté permet d'espérer des perspectives internationales d'enrichissement du projet.

La question des licences sur les langages de programmation. L'équipe de recherche s'est montrée vigilante quant aux questions relatives aux licences. La plateforme en open source choisie pour le projet impose de déterminer quelle type de licence sera mis en place pour la reproduction et l'utilisation des *smart contracts* de la librairie. Plusieurs licences ont été analysées puis classées dans un tableau en fonction de différents critères.

Le choix de la Licence CeCILL. L'équipe de recherche a fait le choix d'opter pour la Licence CeCILL. Il s'agit d'une licence de logiciel libre permettant d'une part le respect des principes de diffusion des logiciels libres tels que l'accès au code source ou les droits étendus conférés aux utilisateurs, et d'autre part la désignation d'un droit applicable, le droit français, auquel elle est conforme, tant au regard du droit de la responsabilité civile que du droit de la propriété intellectuelle et de la protection qu'il offre aux auteurs et titulaires des droits patrimoniaux sur un logiciel.

La responsabilité de programmation des librairies de *smart contracts*. Avec la licence choisie, le logiciel est livré « *as is* » ce qui exonère de toute responsabilité concernant l'utilisation qui sera faite des *smart contracts* proposés sur la plateforme.

Partie III – Perspectives de la recherche

Les recherches menées au cours de ce projet ont permis l'émergence de nombreuses réflexions quant à l'utilisation des *smart contracts* dans des domaines très divers et l'utilité de développer des *smart contracts* dans des secteurs autres que celui des affaires. Une réflexion importante a pris place autour de la notion de « *social smart contracts* ».

Smart contracts et éducation. En matière d'éducation, la *blockchain* pourrait permettre de sécuriser la délivrance et la vérification des qualifications universitaires. Ce projet est soutenu par les Parlements français et européen. Toutefois, bien que techniquement et juridiquement réalisables, l'équipe de recherche n'a pas trouvé pertinent de mettre en place des *smart contracts* en matière d'éducation. En effet, qui serait prêt à supporter le coût d'une telle *blockchain* réunissant toutes les universités de France et de l'Union européenne, comment imposer ce système, et est-ce vraiment nécessaire d'avoir un tel niveau de sécurité ? L'équipe maintient ainsi sa position raisonnable consistant à n'utiliser la technologie *blockchain* que dans les situations les plus pertinentes.

Smart contracts et vie publique. La technologie *blockchain* peut aussi être envisagée dans le domaine public afin d'améliorer les processus de circulation d'informations. On observe que la technologie des registres distribués possède un fort potentiel en matière de décentralisation de la gouvernance. Grâce à cette technologie, il est possible d'automatiser la délivrance d'actes administratifs ou encore de créer un outil permettant le vote en ligne de façon sécurisée et anonymisée. Concernant le *smart contract* appliqué au vote, le groupe a effectué des recherches approfondies. Il en résulte que les situations les plus favorables pour voir l'émergence de *smart contracts* sont les systèmes de votes conditionnels par procuration, qui permettent de transférer la capacité de vote à une autre personne, possiblement sous certaines contraintes, et le vote par « *pairing* » qui implique la présence ou l'absence de deux personnes liées. L'équipe constate également que le *smart contract* pourrait être utilisé dans le processus précédant le vote afin d'éviter les « votes par ignorance ». L'équipe retient enfin que les recherches doivent se poursuivre en matière de vote par *smart contrat* car il s'agit d'un sujet prometteur.

Smart contracts et santé. Dans ce domaine également les *smart contracts* pourraient s'avérer d'un grand intérêt. Ils ont le potentiel d'améliorer la circulation des données, de mettre en place une vérification de l'identité plus efficace et ainsi d'améliorer la distribution des médicaments et le suivi des patients. La recherche sur ce sujet reste à réaliser. L'équipe insiste sur l'intérêt de clauses comme celles liées aux essais cliniques ou à l'accès aux données médicales dans le

cadre de contrats d'assurance. Ainsi, les perspectives de recherche sur les *smart contract* dans le domaine de la santé sont grandes et semblent revêtir l'utilité requise par l'équipe de recherche. C'est pourquoi elle estime que le travail de réflexion doit se poursuivre dans ce domaine afin d'aboutir à l'établissement de clauses pouvant être traduites en *smart contracts* et déposées sur la plateforme.

