



HAL
open science

Escrow Smart Contracts et Risque de Liquidité dans le Commerce International Maritime

Vincent Iehlé, Emy Lécuyer, Martin Vernay

► **To cite this version:**

Vincent Iehlé, Emy Lécuyer, Martin Vernay. Escrow Smart Contracts et Risque de Liquidité dans le Commerce International Maritime. 2023. halshs-04124060v3

HAL Id: halshs-04124060

<https://shs.hal.science/halshs-04124060v3>

Preprint submitted on 22 Jun 2023

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

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

Public Domain

Escrow Smart Contracts et Risque de Liquidité dans le Commerce International Maritime*

Vincent IEHLÉ, Emy LÉCUYER et Martin VERNAY

LERN (UR 4702), Université de Rouen Normandie, France.

22 juin 2023

*Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet CATALYSE (FNADT, CPIER et GIS Vallée de la Seine, Région Normandie, 2022-23). Les auteurs remercient Patrick Barban, Cyrille Bertelle, Sara Biancini, Imad Chehade, Claude Duvallet, Maxence Lambard, Frédéric Leplat, Célestin Mayoukou, Fabrice Leonel N'Tchatat Tounya et Régis Renault pour leurs commentaires.

Résumé

Les ventes internationales entre un acheteur et un vendeur sont souvent associées à une phase de transport maritime, longue, coûteuse et risquée. Ce type de ventes est régi par des classes de contrats - les Incoterms - qui définissent les rôles et responsabilités de chaque agent. Nous montrons comment ces classes de contrat sont transposables à l'environnement des smart contracts. Ces contrats automatisés inscrits dans la blockchain permettent de contrôler de manière simple et flexible différents risques inhérents à cet environnement. Nous identifions ainsi une séquence adéquate de mises sous séquestre qui limite, en particulier, les risques de liquidité et de transport associés à ce type de transactions, et qui est facilement implémentable à l'intérieur d'un smart contract dédié.

Mots-clés : transport de marchandises, smart contract, risque de liquidité, risque de transport, contrat de vente internationale, Incoterms, séquestre, paiement programmable, blockchain.

Abstract

International transactions between a buyer and a seller often involve a lengthy, costly, and risky stage of maritime transportation. This particular type of trade is regulated by contracts known as Incoterms, which outline the roles and responsibilities of each party involved. In this paper, we demonstrate how these contract frameworks can be adapted to the smart contract environment. By utilizing automated contracts recorded on the blockchain, we can effectively monitor and mitigate various risks associated with this environment in a straightforward and adaptable manner. Our study presents a well-suited sequence of escrows that effectively minimize liquidity and transportation risks typically associated with these transactions. Moreover, this sequence can be easily implemented within a dedicated smart contract platform.

Keywords: transportation, smart contract, liquidity risk, transportation risk, international trade, Incoterms, escrow, programmable payment, blockchain.

JEL : D81, D82, F30, F39, C78.

1 Introduction

Le transport maritime représente 80% du commerce international de biens et il est, à ce titre, fondamental pour l'économie mondiale ¹. Toutefois, ses acteurs sont exposés à de multiples risques, eu égard aux distances et temps de trajet (par exemple, le temps de transit estimé entre Shanghai et le Havre est de 40 jours en moyenne par voie maritime), à la nature même de ce mode de transport, et à l'absence, le cas échéant, de liens de confiance entre partenaires lointains.

La question du choix de la méthode de paiement est majeure dans ces circonstances. On observe que la méthode de l'*open account* (consistant à payer la marchandise à une date future spécifiée dans le contrat de vente) est la méthode de paiement privilégiée dans le commerce international, bien qu'elle n'apporte aucune garantie de paiement au vendeur et soit défavorable au réinvestissement dans son activité. Les méthodes de paiement intermédiées, crédit documentaire et remise documentaire ² qui permettent de mieux répartir les risques entre l'acheteur et le vendeur ne sont utilisées dans 15% des cas et seulement pour les transactions les plus volumineuses (Niepmann et Schmidt-Eisenlohr, 2017a). Ce faible taux d'usage s'explique principalement par la complexité de leur mise en place (nombre d'intervenants élevés, nombre important de documents à fournir, coût élevé) ³. Or, en l'absence de garantie pour le vendeur, certains échanges n'ont tout simplement pas lieu ⁴.

Dans ce contexte, les *smart contracts* ont été de plus en plus considérés comme nouvelle forme de paiement pour des transactions internationales. Un smart contract permet l'exécution automatisée d'obligations contractuelles, enregistrées sur un registre infalsifiable :

¹<https://unctad.org/webflyer/review-maritime-transport-2021>

²Dans le cadre d'un crédit documentaire ou d'une remise documentaire, la banque de l'acheteur s'engage à payer la banque du vendeur pour le compte de son client, en échange de la remise par le vendeur de documents prouvant l'exécution de ses obligations, telles les preuves d'expédition de la marchandise fournies par le port de départ. Dans le cas du crédit documentaire, la banque de l'acheteur se porte garante du paiement dans le cas où l'acheteur serait dans l'incapacité de l'effectuer.

³En particulier, au sein de l'union européenne, le crédit documentaire est rarement utilisée car son temps de mise en place est supérieur au temps d'acheminement des marchandises (Hofmann et al., 2017, Ganne, 2018). Par ailleurs, les banques elles-même peuvent se montrer réticentes à assurer certaines transactions.

⁴En effet, d'après Kowalski et al. (2021) environ 60% des demandes de financement émises par des petites et moyennes entreprises de pays en voie de développement sont rejetées par les banques. Dans les cas extrêmes, l'incapacité des importateurs à souscrire des lettres de crédit peut conduire à l'annulation de l'échange. Niepmann et Schmidt-Eisenlohr (2017b) mesurent ainsi qu'un choc négatif d'un écart type sur l'offre de crédit documentaire réduit de 1,5 point de pourcentage les exportations américaines vers le pays affecté.

une *blockchain*. C'est un algorithme, spécifiant la réalisation d'opérations à certaines conditions. Il permet par exemple d'automatiser le versement d'un certain montant d'un agent à un autre, sous réserve qu'une obligation soit remplie. La blockchain Tradelens (lancée en 2017 par IBM et Maersk) et la blockchain Contour (créée par Bangkok Bank, BNP Paribas, CTBC Holding, HSBC, ING, NatWest, SEB et Standard Chartered en 2017) ont ainsi été développées pour proposer des versions numériques des crédits documentaires. Cependant, en dépit de leurs avantages en termes de réduction des coûts et de temps de traitement, ces projets ont rencontré un succès modéré (Tradelens a été abandonnée en janvier 2023 face aux réticences de certains intervenants traditionnels à y participer).

Pourtant, le transport maritime fournit un écosystème relativement propice à la mise en place de *smart contracts*. Les différentes étapes et interactions après la signature du contrat de vente sont généralement bien délimitées dans le temps et l'espace, et facilement identifiables (départ de l'usine, arrivée au port, chargement, transport, déchargement, etc ...). Les ports modernes sont par ailleurs hautement (inter-)connectés, et collectent des quantités importantes de données de façon automatisée (Molavi, Lim et Race, 2020) pouvant servir d'*oracle* - source d'informations extérieures à la blockchain - pour valider la réalisation de certaines étapes du *smart contract*. Il est donc intéressant (au moins à court terme) d'envisager d'autres formes de *smart contract* comme méthodes de paiement apportant de meilleures garanties que l'*open account* et nécessitant un nombre plus faible d'intervenants qu'un crédit documentaire. Le *smart contract* le plus pertinent dans ce contexte est l'*escrow smart contract*, c'est-à-dire le paiement avec mises sous séquestre des fonds, qui dans ses formes les plus simples nécessite l'intervention uniquement de l'acheteur et du vendeur. Concrètement, un *escrow smart contract* spécifie les montants mis sous séquestre par l'acheteur, placés dans un compte séquestre (ou plutôt une adresse) sur la blockchain ⁵ et les conditions qui déclenchent le versement des montants mis sous séquestre au vendeur. Le compte est créé directement sur la blockchain sans passer par une plateforme de trading et ne génère pas d'intérêts⁶.

La littérature actuelle sur les *escrow smart contracts* s'est focalisée sur les *smart contracts* avec une unique mise sous séquestre réalisée à la signature du contrat (Takahashi, 2018, Zimbeck, 2014 et Asgaonkar et Krishnamachari, 2019). L'adoption de ce type d'*escrow smart*

⁵Pour un exemple de création d'une adresse commune, voir la création des canaux de paiement (lightning network) ou les créations d'adresses multisig.

⁶L'absence de plateforme intermédiaire est une sécurité supplémentaire. En effet, le récent scandale FTX illustre les dangers de la gestion des fonds par un tiers.

contract semble peu réaliste dans le commerce international actuel car elle nécessite d’immobiliser les fonds très tôt dans le processus d’achat. Or, comme précisé précédemment on observe qu’en pratique les paiements sont plutôt effectués en fin de processus d’acheminement des marchandises (ou réalisés en deux fois avec un premier versement sous forme de *cash-in-advance* et un deuxième versement sous forme d’*open account* (Kim, 2021). Pour ces raisons, nous proposons d’étudier la mise en place d’*escrow smart contracts* offrant plus de flexibilité avec la possibilité d’échelonner les mises sous séquestre du prix de vente au cours du temps. L’avantage d’un tel *escrow smart contract* est qu’il offre de meilleures garanties au vendeur que l’*open account* tout en offrant de la souplesse à l’acheteur dans sa gestion de trésorerie.

Nous examinons donc dans un premier temps dans cet article l’apport des *escrow smart contracts* avec deux mises sous séquestres dans le cadre de transactions internationales. Nous nous plaçons ensuite dans un cadre d’étude simplifié et déterminons les *escrow smart contracts* permettant la réalisation de l’échange lorsque l’on prend en considération deux des risques inhérents à une vente internationale : le risque que l’acheteur ait un problème de liquidité avant d’avoir terminé de payer la marchandise et le risque de transport (nous laissons en particulier en suspens dans cet article la question particulièrement intéressante des problèmes liés à l’asymétrie d’information entre les parties). Notre question de recherche revient à résoudre un problème de choix intertemporel pour déterminer les structures de mises sous séquestre acceptables pour chaque partie en fonction du risque de liquidité de l’acheteur, des paramètres du contrat de vente international (prix de vente, Incoterm), du coût de production de la marchandise et de la valeur qu’accorde l’acheteur à la marchandise. Nous étudions ensuite les structures de mises sous séquestre choisies par les co-contractants en fonction de leur pouvoir de négociation respectif.

Nos résultats prennent la forme suivante. Nous caractérisons d’abord sous quelles conditions une séquence de mises sous séquestre est acceptable, en faisant abstraction du transport et par conséquent de l’Incoterm choisi. Nous montrons que les agents déterminent l’acceptabilité du contrat en comparant le taux de marque du contrat à son risque (ici risque de liquidité). En particulier, si le taux de marque du contrat qui leur est le moins favorable est supérieur au risque de liquidité, alors tous les contrats sont acceptables pour eux. Si ce n’est pas le cas, alors l’ensemble des contrats acceptables est réduit et il exclut les contrats qui leur sont les plus défavorables. Lorsque l’on intègre la dimension transport, les termes

de l'Incoterm choisi rentrent dans la détermination des contrats acceptables. Lorsque l'Incoterm est défavorable à une partie, on montre que celle-ci est plus exigeante sur la séquence de mises sous séquestre choisie et réciproquement. En particulier, les Incoterms de classe D - les plus favorables à l'acheteur, qui ne supporte ni le coût ni le risque de transport - ont le plus de chances d'être associés à une séquence de mise sous séquestre en "un coup", avec versement total du prix à la signature du contrat. Cependant, ces résultats ne permettent pas de déterminer précisément quelle séquence est choisie par les parties. Ce choix dépend du pouvoir de négociation de chaque partie. Une solution possible est donnée par la solution du marchandage à de Nash, seule solution Pareto optimale, symétrique, invariante aux représentations d'utilité équivalentes et indépendante aux alternatives non pertinentes.

L'article est présenté de la façon suivante. Dans la section 2 nous présentons une revue de la littérature sur les *smarts contracts* comme méthode de paiement dans le commerce international. La section 3 présente les spécificités des contrats de vente propres au commerce international, en particulier le recours aux Incoterms. Dans la section 4, nous présentons les méthodes de paiement traditionnellement utilisées dans le commerce international ainsi que les risques qu'elles présentent. Puis nous proposons une nouvelle forme de paiement prenant la forme d'un *smart contract* avec mises sous séquestre (*escrow smart contract*) et discutons comment ce mode de paiement peut réduire les risques précédemment identifiés. Dans la section 5, nous modélisons un contrat de vente spécifiant l'utilisation d'un *escrow smart contract* comme méthode de paiement. Dans la section 6, nous étudions les séquences de mises sous séquestre compatibles avec l'établissement du contrat, étant donné le risque de liquidité, les préférences de l'acheteur et du vendeur, le prix de vente, le coût de production de la marchandise. Dans la section 7, nous différencions ces résultats en fonction de la classe choisie d'Incoterms en y intégrant le risque associé au transport puis nous étudions les profils de mises sous séquestre choisis en fonction du pouvoir de négociation de l'acheteur et du vendeur.

2 Revue de la littérature

L'utilisation de la blockchain et des *smarts contracts* a été suggérée à de nombreuses reprises pour rendre les crédits documentaires plus attractifs. Pour Ganne (2018) et Belu (2019) la numérisation des crédits documentaires permettrait d'en réduire la complexité et les coûts.

En particulier, l'uniformisation des documents nécessaires à l'établissement du contrat et la mise en place de processus KYC ⁷ sur blockchain rendrait ces contrats plus efficaces. Néanmoins, une part de la littérature est sceptique à l'égard du potentiel succès des crédits documentaires sur blockchain. En effet, [Agibalova, Ilovaysky, Kayl et Usanova \(2019\)](#) et [Ruslan \(2022\)](#) considèrent que l'adoption de ces formes de paiement est peu réaliste à court terme, car la législation doit être développée et harmonisée au niveau international pour garantir une valeur juridique aux contrats sur blockchain.

Cependant, bien que les crédits documentaires sur blockchain soient les plus discutés et étudiés, la blockchain offre des formes nouvelles de paiement. En particulier, elle est tout à fait adaptée à la mise en place de paiements avec mises sous séquestre des fonds, que l'on appelle *escrow smart contract*. [Kumar \(2019\)](#) et [Toorajipour et al. \(2022\)](#) expliquent que les *escrow smart contract* rendent les paiements avec mises sous séquestre plus attractifs pour le commerce international, car ils ne nécessitent pas d'avoir confiance en un tiers chargé de gérer les montants sous séquestre. De plus, ils présentent les *escrow smart contracts* comme étant efficaces contre la fraude, fiables et rapides à mettre en place. De son côté, [Hofmann, Strewe et Bosia \(2017\)](#) montre comment l'utilisation de la blockchain peut améliorer la liquidité du vendeur en favorisant son accès aux marchés financiers grâce à la *reverse securitization*.

Plusieurs articles décrivent comment les *escrow smart contracts* pourraient être développés. [Takahashi \(2018\)](#) détaille le fonctionnement d'un *escrow smart contract* faisant intervenir un intermédiaire et détaille comment les *escrow smart contracts* peuvent réduire son risque de fraude. [Zimbeck \(2014\)](#) et [Asgaonkar et Krishnamachari \(2019\)](#) proposent de leur côté des *escrow smart contracts* sans intermédiaire. Ils considèrent une situation d'asymétrie d'information (aléa moral) et requièrent qu'à l'établissement du contrat, chaque partie mette sous séquestre des fonds qui seront confisqués en cas de manquement aux obligations contractuelles et versés en dédommagement à la partie flouée. Les montants mis sous séquestre ne sont pas spécifiés dans la proposition d'[Asgaonkar et Krishnamachari \(2019\)](#), alors que [Zimbeck \(2014\)](#) considère qu'à la fois l'acheteur et le vendeur doivent mettre sous séquestre le prix de la marchandise lors de la signature du contrat. [Gans \(2019\)](#) propose une situation d'aléa moral similaire. Bien qu'il ne considère pas la possibilité de mettre sous séquestre des fonds à la signature du contrat, il détermine le niveau des montants qui doivent être confisqués et versés en dédommagement à la partie flouée, en cas de manquement aux obli-

⁷ *Know Your Customer*, collecte d'informations en vue de l'identification des clients d'une plate-forme.

gations contractuelles. Il établit ainsi un smart contract autonome, capable de donner les bonnes incitations aux agents pour qu'ils respectent leurs engagements contractuels ⁸.

Le point commun entre les propositions d'*escrow smart contracts* présentées précédemment est que la mise sous séquestre des fonds est effectuée à une unique occasion, au moment de la signature du contrat. Ce type de contrat présentant un coût d'opportunité très élevé pour l'acheteur, nous privilégions une nouvelle classe d'*escrow smart contracts* permettant de payer la marchandise en mettant sous séquestre le prix de vente en plusieurs fois. Ces smart contracts n'ont pas encore fait l'objet d'étude dans la littérature sur les nouveaux modes de paiement dans le commerce international. Nous discutons dans la suite de l'article leurs avantages et inconvénients et nous proposons l'une des premières formalisations microéconomiques d'un escrow smart contract. Une contribution notable qui peut être associée à cette approche est celle de [Kahn et van Oordt \(2022\)](#) qui étudient le cas où un acheteur n'achète pas un bien mais un service à un vendeur, par exemple un service bancaire ou un service téléphonique. [Kahn et van Oordt \(2022\)](#) montrent que le nombre optimal de paiement mis sous séquestre et la durée optimale de ces mises sous séquestre dépendent de la durée de la relation contractuelle entre l'acheteur et le vendeur. En particulier, dans une relation de long terme, ils montrent que les mises sous séquestres deviennent intéressantes seulement en fin de relation contractuelle.

3 Obligations des acheteurs et vendeurs

Un acheteur et un vendeur dont les entreprises sont implantées dans des pays différents et souhaitant échanger une marchandise doivent établir un contrat spécifique appelé Contrat de Vente Internationale (CVI). Le CVI indique a minima le type de marchandise échangé et la quantité échangée, le prix de vente, la date et le lieu de livraison, les conditions de livraison (répartition des frais de transports et point de transfert des risques de transport) généralement spécifiées par référence à un Incoterm (contraction des termes anglais « International Commercial Terms »), la méthode d'emballage et d'empaquetage, et pour terminer la méthode

⁸[Bakos et Halaburda \(2021\)](#) développent un concept d'équilibre stratégique entre agents microéconomiques qui permet de dissocier les effets positifs (voir négatifs) directement imputables à l'intégration de smart contracts des effets liés à la mise en place de capteurs connectés (IoT). Smart contracts et capteurs jouent en effet des rôles différents dans une relation contractuelle, les premiers garantissant une forme d'engagement de la part des participants, les seconds enrichissant la structure informationnelle associée au contrat.

de paiement. Dans la suite de cette section, nous présentons les méthodes de paiement puis les différents type d'Incoterms utilisés dans le commerce maritime international.

3.1 Méthodes de paiement

Les méthodes de paiements traditionnellement utilisées pour une vente internationale sont le *cash-in-advance*, l'*open account*, la remise documentaire, et le crédit documentaire (Kim, 2021).

Le *cash-in-advance* et l'*open account* sont des méthodes de paiement directes. Le *cash-in-advance* engage l'acheteur à payer la marchandise avant son expédition, voire avant sa fabrication. L'*open account* indique que l'acheteur s'engage à payer la marchandise à une date future ou au plus tard un certain nombre de jours après une étape de l'expédition, par exemple 30 jours après la livraison. Il existe également des contrats indiquant que le prix de vente soit payé en partie par *cash-in-advance* et le reste par *open account*.

La remise documentaire et le crédit documentaire sont des méthodes de paiement intermédiées faisant intervenir les banques de l'acheteur et du vendeur. La remise documentaire est une méthode de paiement où le vendeur mandate sa banque afin de remettre les documents nécessaires à l'acheteur pour prendre possession de la marchandise (factures, certificat de transport, titres de propriété, ...) contre paiement. Dans le cas du crédit documentaire, la banque de l'acheteur s'engage, à la demande et pour le compte de son client, à régler le vendeur contre remise des documents conformes justifiant de la valeur et de l'expédition des marchandises. Comme la banque de l'acheteur offre une garantie de paiement, en général, un crédit documentaire requiert à son ouverture que l'acheteur mette sous séquestre la totalité du prix de vente.

3.2 Classes d'Incoterms

Les responsabilités et obligations du vendeur et de l'acheteur concernant la répartition des frais de transport des marchandises (emballage, manutention, transport, formalités, droits et taxes douanières, assurances, etc.) et le point de transfert des risques, c'est-à-dire l'étape à partir de laquelle l'acheteur sera responsable de la marchandise en cas de dommage ou d'avarie, sont généralement spécifiés par une référence à un Incoterm. Les Figures 1 et 2 ex-

plicitent la répartition des coûts et des risques de transport pour les Incoterms multimodaux et maritimes. Il existe trois grandes classes d'Incoterms utilisés dans le commerce maritime international : les classes F, C et D, auxquelles s'ajoute l'Incoterm EXW.

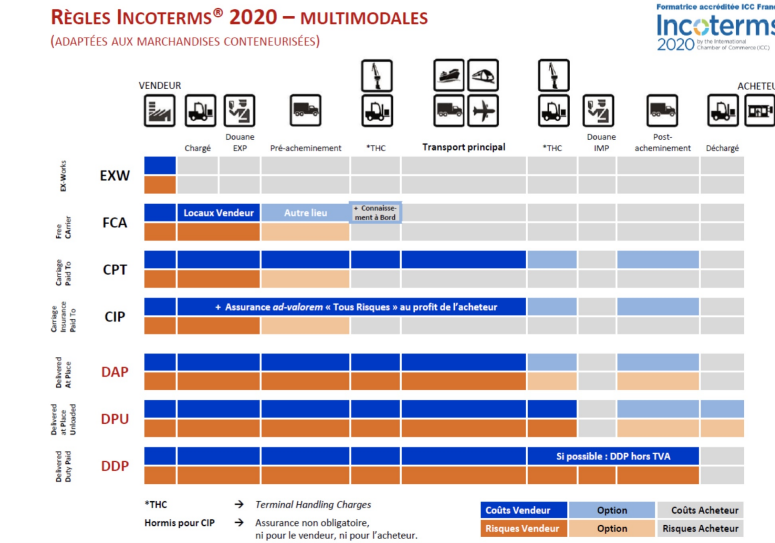


FIGURE 1 : Classes d'Incoterms pour les conteneurs (source : douanes)

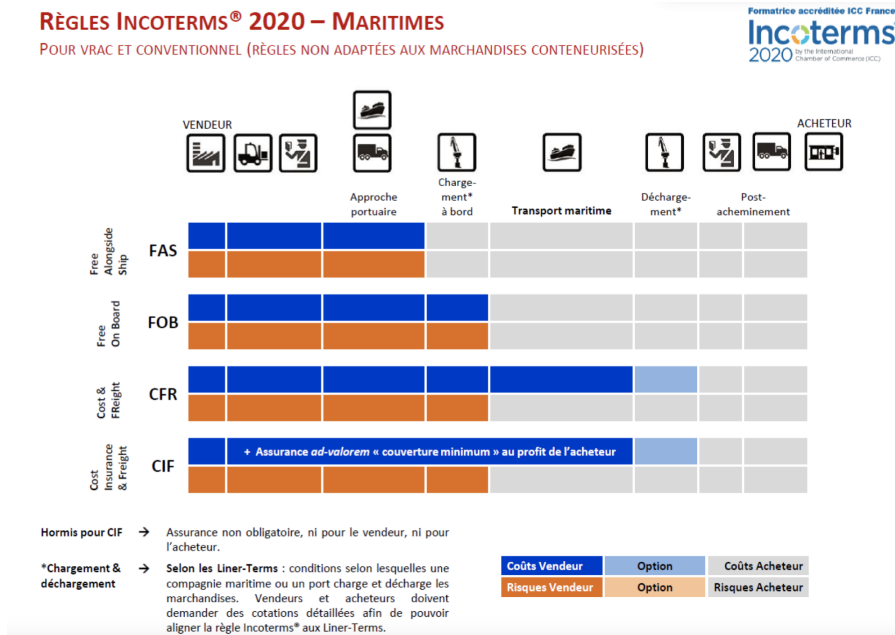


FIGURE 2 : Classes d'Incoterms pour le vrac (source : douanes)

Pour l'Incoterm EXW et les Incoterms de classe F, l'ensemble des coûts et des risques

liés au transport principal sont supportés par l’acheteur. À l’inverse, ils sont intégralement supportés par le vendeur dans les Incoterms de la classe D. Enfin, dans la classe C, le coût est supporté par le vendeur alors que le risque est supporté par l’acheteur.⁹ Rosal (2016) montre que les Incoterms EXW et des classes F et C étaient les plus utilisés pour les flux commerciaux impliquant un transport maritime à destination ou en provenance d’Espagne en 2011¹⁰.

Incoterms	Vendeur	Acheteur
EXW	— — —	coût + risque
F	— — —	coût + risque
C	coût	risque
D	coût + risque	— — —

TABLEAU 1 : Répartition des coûts et risques de transport

Il est à souligner que les Incoterms ne règlent jamais le transfert de propriété de la marchandise. Il est commun que celui-ci soit subordonné au paiement complet de la marchandise, souvent lié à une livraison conforme.¹¹

Certaines obligations et responsabilités de l’acheteur et du vendeur dans le cadre d’une vente internationale sont précisées par des conventions internationales. Par exemple, l’article 38 de la convention de Vienne sur les CVI précise les règles concernant le contrôle de la qualité par l’acheteur. Il indique que l’acheteur doit examiner les marchandises ou les faire examiner dans un délai aussi bref que possible eu égard aux circonstances. Néanmoins, si le contrat implique un transport des marchandises, l’examen peut être différé jusqu’à leur

⁹Certains Incoterms de type C contraignent le vendeur à souscrire une assurance au profit de l’acheteur. Ainsi, dans l’Incoterm CIP, le vendeur est obligé de souscrire une assurance tous risques et dans l’Incoterm CIF, une assurance couvrant au minimum le prix de la marchandise majoré de 10%. Dans les Incoterms CPT et CFR, le vendeur n’est pas contraint de souscrire une assurance.

¹⁰Par ailleurs, Rosal (2016) montre, pour cette même année, que le choix de l’Incoterm utilisé dépend principalement de trois facteurs : la distance entre les cocontractants (mais seulement dans le cas des importations), le rapport poids/valeur de la marchandise et le PIB par habitant du pays partenaire. Il trouve que la probabilité de choisir un Incoterm de classe C ou D diminue lorsque la distance entre les cocontractants augmente. À l’inverse, un rapport poids/valeur élevé augmente la probabilité que le vendeur organise le moyen de transport principal (i.e. qu’un Incoterm C ou D soit choisi). Aussi, plus le PIB par habitant du pays partenaire de l’entreprise espagnole est élevé, plus la probabilité d’utiliser un Incoterm C ou D est importante. Ainsi il apparaît qu’un partenaire issu d’un pays plus riche préfère gérer les moyens de transport maritime, qu’il s’agisse d’opérations d’importation ou d’exportation.

¹¹Au sens juridique, la livraison ne correspond pas nécessairement à la réception de la marchandise au port d’arrivée. La livraison correspond au point de transfert des risques de transport. Elle peut donc s’effectuer soit avant le transport principal, c’est le cas des Incoterms des classes EXW, F et C, soit après celui-ci dans le cas des Incoterms de classe D. De plus, la livraison n’entraîne pas nécessairement le transfert de propriété.

arrivée à destination. Le contrôle de la qualité par l'acheteur, qui en a peut-être délégué la supervision, se fait donc potentiellement à deux moments : à la réception de la marchandise dans le port de destination, ou à la livraison

Dans la section suivante, nous nous intéressons plus en détail aux risques que présentent les méthodes de paiement utilisées dans le commerce international, et nous proposons une nouvelle méthode de paiement prenant la forme d'un *escrow smart contract*.

4 Smart contracts et risques associés au paiement

4.1 Risques associés au paiement

Les ventes dans le commerce maritime international ont pour spécificité que l'acheteur et le vendeur sont distants et potentiellement ne se rencontreront jamais. De plus, les temps de transport peuvent être très longs. Par exemple, le temps de transit estimé entre Shanghai et le Havre est de 40 jours en moyenne par voie maritime. Il existe ainsi des risques spécifiques liés à ce type de transaction que le CVI doit essayer de mitiger. En particulier, il existe des risques liés au paiement. Le choix de la méthode de paiement est donc une composante essentielle du CVI car elle détermine comment sont répartis ces risques entre l'acheteur et le vendeur.

Comme illustré par [Gans \(2019\)](#), lorsque le paiement a lieu après réception de la marchandise, le vendeur prend le risque de ne pas être rémunéré soit par opportunisme de l'acheteur (risque de non-paiement), soit parce que celui-ci a un problème de liquidité. Inversement, lorsque la marchandise est intégralement payée avant réception de la marchandise, voire à la signature du contrat, l'aléa moral porte sur le vendeur qui peut être incité à ne pas envoyer la marchandise ou à minima à produire à bas coût un produit de mauvaise qualité.

Ainsi, le paiement par *cash-in-advance* est dès lors la méthode de paiement la plus avantageuse pour le vendeur, protégé des risques de liquidité et de non-paiement. En revanche, cette méthode est très contraignante pour l'acheteur qui, en plus de supporter les risques de livraison et de conformité des marchandises, doit gérer les problèmes de flux de trésorerie que le *cash-in-advance* est susceptible de générer.

À l'opposé, la méthode de l'*open account* est très avantageuse pour l'acheteur aussi bien

pour sa gestion de trésorerie que parce qu'elle réduit les risques de livraison et de conformité. Cependant, cette opération est risquée pour le vendeur qui livre les marchandises sans aucune garantie ou sécurité pour le paiement.

Les méthodes intermédiées répartissent plus équitablement les risques liés au paiement entre l'acheteur et le vendeur. Néanmoins, la *remise documentaire* ne protège pas le vendeur du risque de liquidité et du risque de non-paiement. Seul le crédit documentaire assure une sécurité de paiement pour le vendeur tout en garantissant à l'acheteur de recevoir une marchandise conforme. De plus, il peut servir d'instrument de financement au vendeur en cas de demande de prêt.

Pourtant, comme le montre la figure 3, en dépit du risque important supporté par le vendeur, l'*open account* est la méthode de paiement privilégiée par le commerce international (Kim, 2021). En 2011, seulement 15% des échanges internationaux utilisaient les méthodes de la remise documentaire et du crédit documentaire (Niepmann et Schmidt-Eisenlohr, 2017a)¹².

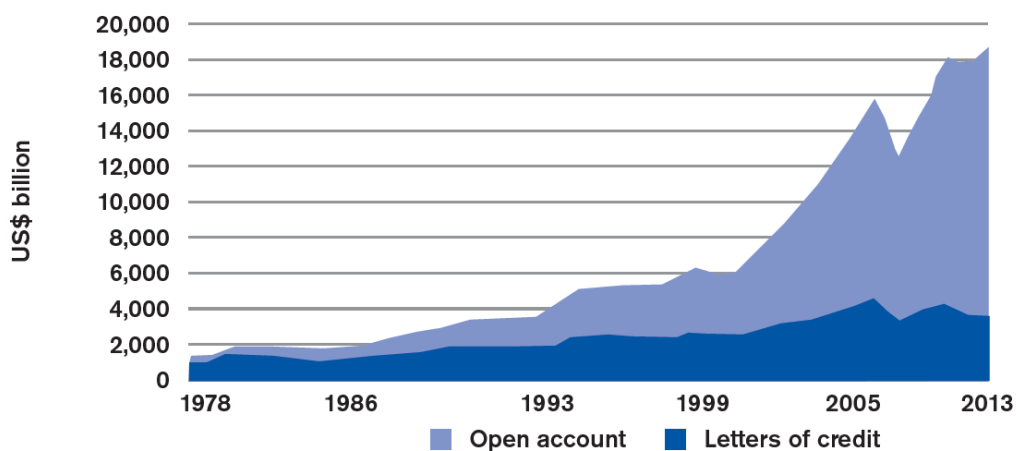


FIGURE 3 : Évolution de l'utilisation de l'open account et du crédit documentaire (source Ganne, 2018).

¹²Niepmann et Schmidt-Eisenlohr (2017a) utilisent les données de la Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunications (SWIFT), le fournisseur de la plate-forme de communication la plus importante pour les banques qui couvre environ 90% des transactions interbancaires de crédits documentaires dans le monde. Ces résultats remettent en cause l'idée reçue selon laquelle les crédits documentaires sont les méthodes de paiement privilégiées des échanges internationaux (l'enquête de l'IMT-BAFT de 2011 estimait cette part à 47%).

Ce faible taux d'usage s'explique par la complexité de la mise en place des méthodes de paiement intermédié ainsi que par leurs coûts élevés, en particulier pour le crédit documentaire.

4.2 *Escrow smart contract*

Un *escrow smart contract* permet à l'acheteur de placer des fonds sous séquestre de manière vérifiable par le vendeur et de déclencher des versements conditionnés, à partir de ces fonds. Par exemple, l'acheteur pourra procéder à un versement initial sur le compte séquestre décentralisé à la signature du contrat, puis verser le reste à payer ultérieurement, avant la réception de la marchandise.

Le transfert de propriété de ces fonds s'effectue lorsqu'un ensemble de conditions spécifiées dans le *smart contract* sont remplies. Ces conditions peuvent faire intervenir des *oracles*, c'est-à-dire des informations extérieures à la blockchain, comme la réalisation d'une action ou au contraire son absence, ou encore une évolution de l'environnement économique telle une variation du prix d'un actif, ou du cours d'une monnaie (risque de change)... Par exemple, le *smart contract* peut requérir de l'acheteur qu'il confirme la réception de la marchandise puis sa conformité avec le contrat avant que les fonds soient débloqués. Le transporteur ou le port d'arrivée peuvent également jouer un rôle dans l'étape de validation des conditions. En tant que tiers numérique, il peut accuser réception et remise de la marchandise.

À titre d'illustration, on peut décrire le protocole de déploiement d'un ESC minimal utilisé comme méthode de paiement pour le commerce maritime international. Le protocole est délibérément très simplifié et ne gère pas toutes les possibles exceptions en cas de litiges, qui ne sont pas abordées dans cet article et feront l'objet de recherches futures.

1. **Établissement du CVI hors blockchain** : L'acheteur et le vendeur établissent un contrat de vente internationale en dehors de la blockchain et conviennent d'un paiement sur blockchain par ESC. Le CVI précise le profil de mises sous séquestre (m_0, m_1) , tel que la somme des mises sous séquestre est égale au prix de vente.
2. **Déploiement de l'ESC** : L'acheteur déploie l'ESC sur la blockchain.
3. **Vérification et acceptation** : La seconde partie, dans cet exemple le vendeur, vérifie que l'ESC correspond aux critères établis dans le CVI et, le cas échéant, le signe (c'est-

à-dire, le valide électroniquement). L'acheteur est notifié et, à son tour, signe l'ESC s'il a été préalablement accepté par le vendeur. Si le vendeur refuse de signer l'ESC, une autre proposition corrigée de l'ESC est envoyée au vendeur pour vérification.

4. **Création d'une adresse propre à l'ESC** : Une fois accepté, l'ESC crée une adresse multi-signature 2-par-2 (*2-by-2 multisig address*) à partir des clés de chaque partie, sur laquelle les fonds seront mis sous séquestre, avant d'être transférés au vendeur.
5. **Première mise sous séquestre** : l'ESC requiert de l'acheteur qu'il mette sous séquestre le premier montant m_0 .
6. **Choix du transporteur** : le transporteur est déclaré à l'ESC par la partie responsable de le choisir et de le rémunérer.
7. **Expédition** : le vendeur déclare l'envoi des marchandises à l'ESC.
8. **Intervention de l'oracle** : un oracle déclare l'arrivée des marchandises au port de destination. En pratique, un employé du port pourrait, par exemple, scanner un QR-code sur l'emballage, ce qui transmettrait automatiquement un signal à la blockchain.
9. **Seconde mise sous séquestre** : l'acheteur met sous séquestre le deuxième montant m_1 .
10. **Inspection** : l'ESC déclenche l'envoi à l'acheteur et au transporteur d'un QR code permettant l'inspection des marchandises. L'acheteur établit le degré de conformité selon une procédure hors de l'objet de cet article, et le déclare à l'ESC.
11. **Litiges** : une procédure de gestion des litiges est enclenchée si les marchandises ne sont pas conformes ¹³.
12. **Retrait des marchandises et paiement** : si les marchandises sont conformes, l'ESC déclenche l'envoi d'un nouveau QR code à l'acheteur et au transporteur permettant le retrait des marchandises, et verse au vendeur les montants mis en séquestre. En cas de problème de conformité résultant d'un incident durant le transport, et si le vendeur supporte le risque de transport conformément à l'Incoterm choisi dans le CVI, alors

¹³Nous ne traitons pas la procédure de gestion des litiges dans cet article, elle sera l'objet d'un travail complémentaire futur. [Gans \(2019\)](#) présente un exemple d'une telle procédure en faisant abstraction du transport et de son risque.

une partie des mises sous séquestre est envoyée à l'acheteur pour compenser ses pertes, et le reste est versé au vendeur comme paiement.

La Figure 4 présente le fonctionnement de l'ESC dans le cas où l'acheteur supporte le risque de transport (Incoterms EXW, ou de classes F ou C), si bien que l'intégralité du prix est versée au vendeur même si la marchandise est endommagée. Dans le cas d'un Incoterm de classe D, l'acheteur recevrait un dédommagement prélevé sur les sommes mises sous séquestre.

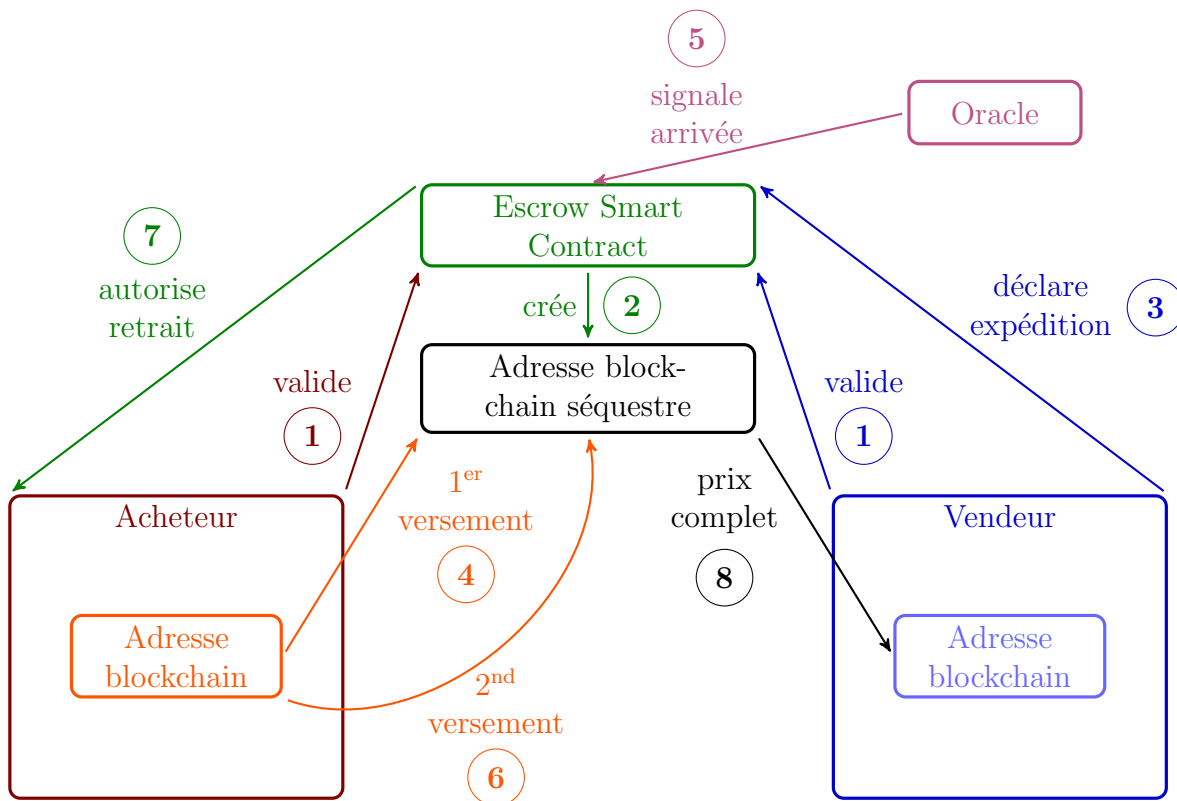


FIGURE 4 : Escrow smart contract avec risque de transport à la charge de l'acheteur

La bonne conception du smart contract pour gérer les exceptions permet de protéger les parties contre un certains nombre de risques. Par exemple, si la marchandise n'est pas expédiée par le vendeur alors la première mise en séquestre est reversée à l'acheteur. L'ESC avec deux mises en séquestre est donc moins risqué que de verser directement un acompte à la signature du contrat. Réciproquement, si l'acheteur ne verse pas le second séquestre, alors il ne peut pas retirer la marchandise et la première mise en séquestre est versée au vendeur,

ce qui protège ce dernier contre le risque de non-paiement.

De plus, l'ESC présente un autre avantage en comparaison avec l'open account ou la remise documentaire : comme le paiement de la première mise sous séquestre est sécurisé pour le vendeur (s'il remplit sa part du contrat), l'ESC peut servir d'instrument financier (garantie) en cas de demande de prêt, facilitant ainsi le réinvestissement. Contrairement au crédit documentaire, l'ESC ne protège certes pas intégralement le vendeur contre le risque de liquidité, dans le cas où l'acheteur serait défaillant et ne pourrait pas verser le second séquestre à l'arrivée au port des marchandises - exception faite du cas limite où le prix serait intégralement mis en séquestre à la signature du contrat. Cependant, comme il fait intervenir moins d'intermédiaires, le déploiement de l'ESC devrait être moins coûteux et plus rapide que celui du crédit documentaire.

Les ESC présentent également un avantage considérable : permettre la réalisation de transactions là où les méthodes de paiement traditionnelles ne laissent pas place à la « rencontre des volontés », pour reprendre l'expression du droit français. Cet argument est illustré par les Figures 5 et 6 ¹⁴.

La Figure 5 représente les principales méthodes de paiement classiques, en fonction du degré de protection qu'elles accordent à chaque partie. Ainsi, l'acheteur préfère l'open account à la remise documentaire, elle-même préférée au crédit documentaire, tandis que le cash in advance est le plus défavorable à l'acheteur. Les préférences du vendeur sont exactement inverses. La zone orange représente l'intervalle des contrats acceptables pour l'acheteur dans cet exemple théorique ¹⁵ : comme elle s'interrompt entre la remise documentaire et le crédit documentaire, l'acheteur serait prêt à accepter un contrat plus favorable au vendeur que la première, mais pas autant que le second. Réciproquement, la zone verte représente les contrats acceptables pour le vendeur. Comme l'intersection entre les deux intervalles n'est pas vide, il existe des compromis théoriquement acceptables par les deux parties, représentés par la zone entre accolades. N'importe quel point dans cette zone centrale est suffisamment protecteur pour le vendeur comme pour l'acheteur.

Néanmoins, les méthodes de paiement traditionnelles forment un ensemble de choix « discrets », et ne permettent pas un ajustement continu du partage des risques, et du degré de

¹⁴Les Figures 5 et 6 sont inspirées d'une figure similaire de Kim (2021), qui compare les méthodes de paiement existantes en fonction de la protection au risque qu'elles offrent à chaque partie.

¹⁵Cet intervalle pourrait évidemment, en pratique, se présenter différemment : il a été choisi ici pour illustrer un cas de non-réalisation d'une transaction avantageuse.

protection accordé à chaque partie. Ainsi, le passage de la remise documentaire au crédit documentaire altère lourdement la répartition des risques au profit du vendeur. Dans cet exemple, la remise documentaire est acceptable pour l'acheteur, mais pas pour le vendeur. Il en est inversement du crédit documentaire. Par conséquent, si les parties n'ont à leur disposition que les modes de paiement traditionnels, elles ne seront pas en mesure d'accéder à la zone des compromis acceptables. Le commerce n'aura donc pas lieu. Comment, dès lors, permettre aux parties d'atteindre cet intervalle ?

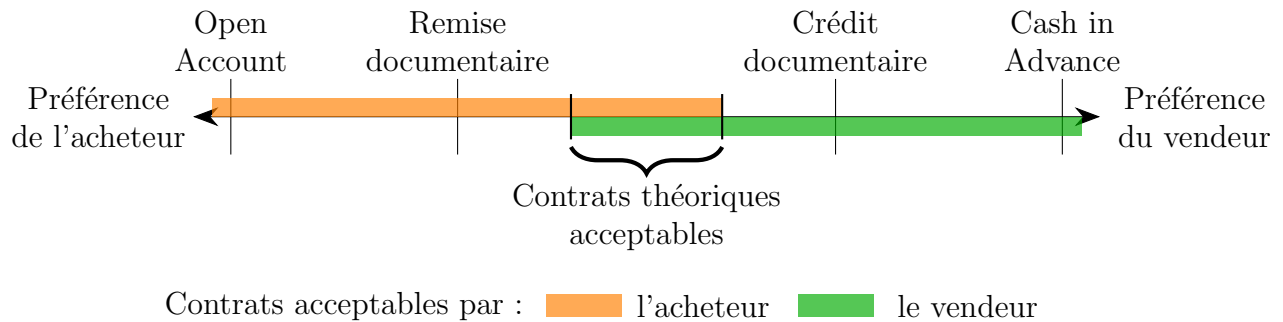


FIGURE 5 : Transaction non-réalisable par les modes de paiement classiques

Les ESC pourraient apporter une solution. En effet, un simple ESC en deux versements, tel que présenté ici, permet une infinité de combinaisons en termes de mises sous séquestre, allant d'un versement du prix complet par l'acheteur avant expédition à un paiement complet à l'arrivée de la marchandise. Le premier de ces deux extrêmes se rapproche du cash in advance en termes de partage des risques, tandis que le second est comparable à l'open account. En général, plus la part du versement avant expédition est importante, plus le vendeur est protégé, et inversement pour l'acheteur. L'ensemble des ESC réalisables peut donc être représenté sous la forme d'un continuum, en fonction de la part du premier versement, et mis en rapport avec le partage des risques.

La Figure 6 reprend les paramètres de la Figure 5 - les degrés de protection acceptables par les parties sont inchangés - et y ajoute une représentation de l'ensemble des ESC. Le bleu pâle correspond aux ESC où l'essentiel du prix est mis sous séquestre à l'arrivée au port des marchandises ; inversement, le bleu foncé représente les ESC où la part versée à la signature du contrat est dominante. Les deux points extrêmes $ESC(p, 0)$ et $ESC(0, p)$ correspondent respectivement au cas où le prix est entièrement mis sous séquestre à la signature, et au

cas où il est entièrement mis sous séquestre à l'arrivée des marchandises au port. Entre ces deux extrêmes existent une infinité de compromis possibles. En particulier, l'intervalle représentant l'ensemble des ESC inclut l'intervalle des compromis réalisables. Il existe donc des ESC acceptables, permettant la réalisation d'une transaction autrement impossible¹⁶. En « continuisant » un ensemble restreint de choix discrets, les ESC pourraient ainsi développer les opportunités de commerce de longue distance.

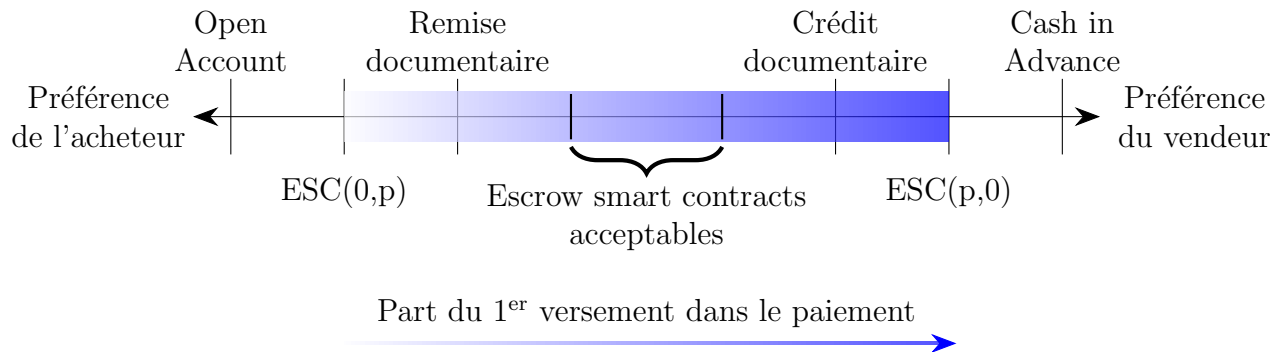


FIGURE 6 : Escrow smart contracts et accès à un intervalle d'accord mutuel

En pratique, la séquence de mises sous séquestre retenue dépendra des paramètres du contrat, ainsi que des revenus et préférences des agents. Dans la suite, nous déclinons donc les séquences admissibles pour chaque agent en fonction du risque de liquidité de l'acheteur, puis en fonction des classes d'Incoterms et du risque associé au transport.

5 Modélisation d'un contrat avec mises sous séquestre

On considère le cas de figure stylisé où le risque de marchandise non-conforme est exclu, qu'il soit lié, ou pas, à l'opportunisme du vendeur. On suppose également qu'une fois un contrat de vente établi, le vendeur n'a pas de raison de le rompre et va produire et expédier la marchandise selon les termes mentionnés dans le contrat. On ne fait pas d'hypothèse de ce type du côté de l'acheteur qui peut être sujet à un risque de liquidité. L'acheteur reste néanmoins un agent non stratégique (pas de fausse déclaration). Les deux parties sont par

¹⁶L'ESC effectivement choisi par les parties dépendra généralement de leur pouvoir de négociation respectif, comme discuté en sous-section 7.4.

ailleurs soumises à un risque lié au transport maritime de la marchandise dont les effets sont supportés par l'acheteur ou le vendeur suivant la classe d'Incoterm choisie.

5.1 Primitives

On considère deux dates $t = 0, 1$. Le futur est incertain. L'incertitude est représentée par un ensemble $\mathbf{S} = \{1, 2, 3, 4\}$ d'états de la nature pouvant se réaliser en date 1 afin de rendre compte du risque de liquidité et de celui lié au transport (voir section 5.3). La probabilité que l'état de la nature s se réalise est notée $\pi(s) > 0$. Il y a un unique bien de consommation périssable disponible à chaque date. On suppose que les agents peuvent créer une épargne en date 0 au taux d'intérêt $r \in \mathbb{R}_+$. On note ℓ_0 la quantité épargnée en date 0. On note $\mathbf{C} = \mathbb{R}_+ \times \mathbb{R}_+^4$ l'ensemble des consommations. On note $\omega_0 \in \mathbb{R}_+$ la dotation de l'agent en date 0 et $\omega_1 \in \mathbb{R}_+^4$ sa dotation en date 1. Un agent est représenté par un triplet (ω_0, ω_1, u) où $u : \mathbf{C} \rightarrow \mathbb{R}$ représente les préférences de l'agent sur les consommations, pour chaque période et état possible de la seconde. On suppose dans la suite que les agents sont neutres au risque. De plus, ils n'ont pas de préférence pour le présent et "escomptent" objectivement leur consommation future. Formellement, leurs préférences sont représentées par les fonctions d'utilité définies par

$$u^i(c_0^i, c_1^i) = c_0^i + \frac{1}{1+r} \sum_{s=1}^4 \pi(s) c_1^i(s).$$

avec $i = A$ pour l'acheteur et $i = V$ pour le vendeur.

5.2 Contrat

On analyse la situation dans laquelle le contrat de vente spécifie que le paiement de la marchandise (et donc le transfert de propriété) s'effectue à la réception de la marchandise dans le port d'arrivée, bien qu'il existe d'autres cas de figure ¹⁷. La date 0 représente la date de signature d'un contrat de vente international et la date 1 la date d'arrivée des marchandises dans le port de destination. On suppose que le délai entre l'arrivée de la marchandise dans le port et la réception de celle-ci par l'acheteur est négligeable. On ne modélise donc pas explicitement une troisième date représentant la date de réception de la

¹⁷Voir section 3. Nous nous consacrons à celui-ci afin de limiter la multiplication des déclinaisons possibles.

marchandise si les paiements sont conformes ¹⁸. La marchandise coûte $c \in \mathbb{R}_+^*$ à produire (en termes de numéraire de la date 0). La disposition à payer de l'acheteur est $v \in \mathbb{R}_+^*$ (en termes de numéraire de la date 1).

Les agents établissent un contrat de vente pour échanger la marchandise. Formellement, le contrat de vente spécifie en premier lieu le prix de vente $p \in \mathbb{R}_+^*$ de la marchandise (en termes de numéraire de la date 1, à payer à réception de la marchandise). Le contrat spécifie ensuite la partie responsable du paiement du coût de transport $c_T \in \mathbb{R}_+$ (en numéraire de la date 0, payable à la signature du contrat). Rappelons que ce coût de transport est supporté par l'acheteur dans le cas de l'incoterm EXW et de la classe F d'Incoterms et par le vendeur dans les classes C et D. Enfin, le contrat décrit la modalité de paiement.

On s'intéresse au cas où la modalité de paiement est une séquence de mises sous séquestre progressives du prix de vente. Un premier versement sous séquestre $m_0 \in \mathbb{R}_+$, en numéraire de la date 0, est effectué à la signature du contrat. Puis, un second versement sous séquestre $m_1 \in \mathbb{R}_+$, en numéraire de la date 1, est effectué à l'arrivée de la marchandise dans le port de destination, juste avant la réception pour protéger le vendeur du risque de non-paiement. Le montant m_1 est spécifié en date 0, il sera mis ou non sous séquestre en date 1 en fonction de l'état de la nature qui sera réalisé. Le contrat spécifie également les conditions qui donnent lieu aux versements des séquestres. En cas de rupture de contrat par l'acheteur, le séquestre m_0 est toujours versé au vendeur à la date 1. Si le contrat est pleinement exécuté alors les séquestres m_0 et m_1 sont versés au vendeur à la réception de la marchandise. Pour simplifier l'exposition, on ne considère pas, en cas de rupture du contrat par l'acheteur à la date 1, les coûts associés à une éventuelle réexpédition de la marchandise, à la dépréciation de la marchandise ou à la recherche d'un nouvel acheteur par le vendeur. La marchandise est perdue, ce qui rendra le vendeur plus exigeant sur la séquence de mises sous séquestre choisie¹⁹.

¹⁸On n'explicite pas non plus les modalités d'un retour de la marchandise dans le cas d'un échec de la réception.

¹⁹En l'état, notre modèle pourrait convenir pour modéliser le cas d'une marchandise périssable qui nécessite de trouver rapidement un nouvel acheteur suffisamment proche du port de destination initial. Des extensions immédiates du modèle de base pourraient permettre de modéliser les cas des marchandises non périssables, avec des vendeurs plus clairvoyants.

5.3 Profils de mises sous séquestre acceptables

L'objectif principal est d'étudier l'impact des différents paramètres sur le profil de mises sous séquestre $(m_0, m_1) \in \mathbb{R}_+ \times \mathbb{R}_+$ défini par le contrat. Nous considérons que l'immobilisation de m_0 par sa mise sous séquestre ne génère pas d'intérêts ni pour l'acheteur ni pour le vendeur (voir section 1). Le montant perçu par le vendeur en date 1 correspond donc à m_0 . Par conséquent, un profil de mises sous séquestre sera dit réalisable s'il permet de couvrir exactement le prix de vente.

Définition 1 *Un profil de mises sous séquestre (m_0, m_1) est **réalisable** si $p = m_0 + m_1$.*

Remarque 1 L'absence d'intérêts sur les montants immobilisés en date 0 résulte en une perte « sèche » rm_0 pour les co-contractants, interprétable comme un coût de transaction.

De plus, un profil de mises sous séquestre sera dit acceptable si chaque agent préfère le contrat de vente à l'absence de contrat.

Définition 2 *Un profil de séquestres (m_0, m_1) est **acceptable** si*

$$u^A(c_0^A, c_1^A) \geq u^A(\tilde{c}_0^A, \tilde{c}_1^A) \quad \text{et} \quad u^V(c_0^V, c_1^V) \geq u^V(\tilde{c}_0^V, \tilde{c}_1^V)$$

avec c et \tilde{c} qui désignent respectivement la consommation en cas de contrat (avec les montants m_0 et m_1) et la consommation en l'absence de contrat.²⁰

On note $\beta > 0$ la probabilité que l'acheteur ait un problème de liquidité en date 1 l'empêchant de verser m_1 . L'éventuel problème de liquidité de l'acheteur n'est connu qu'en date 1 (avant la mise sous séquestre de m_1); en date 0, seule la probabilité β est connue de l'acheteur et du vendeur. On suppose que le transport est risqué. Avec une probabilité $\alpha \geq 0$, la valeur des marchandises peut être diminuée d'un montant $d \in [0, v]$ (en termes de numéraire de la date 1). En fonction de l'Incoterm spécifié dans le contrat, soit l'acheteur soit le vendeur supporte ce risque. Dans le cas où le vendeur supporte le risque (qui correspond aux Incoterms de classe D), on suppose qu'en cas de détérioration du produit durant le transport, le vendeur effectue un versement compensatoire à l'acheteur correspondant à la perte de valeur d .

²⁰Par abus de notation et dans le but d'alléger la présentation, la dépendance avec (m_0, m_1) n'est pas indiquée dans la fonction d'utilité. Les consommations c et \tilde{c} sont explicitées dans les sections suivantes.

La figure suivante représente les 4 états de la nature qui peuvent se réaliser en date 1 ainsi que la probabilité qu'ils se réalisent.

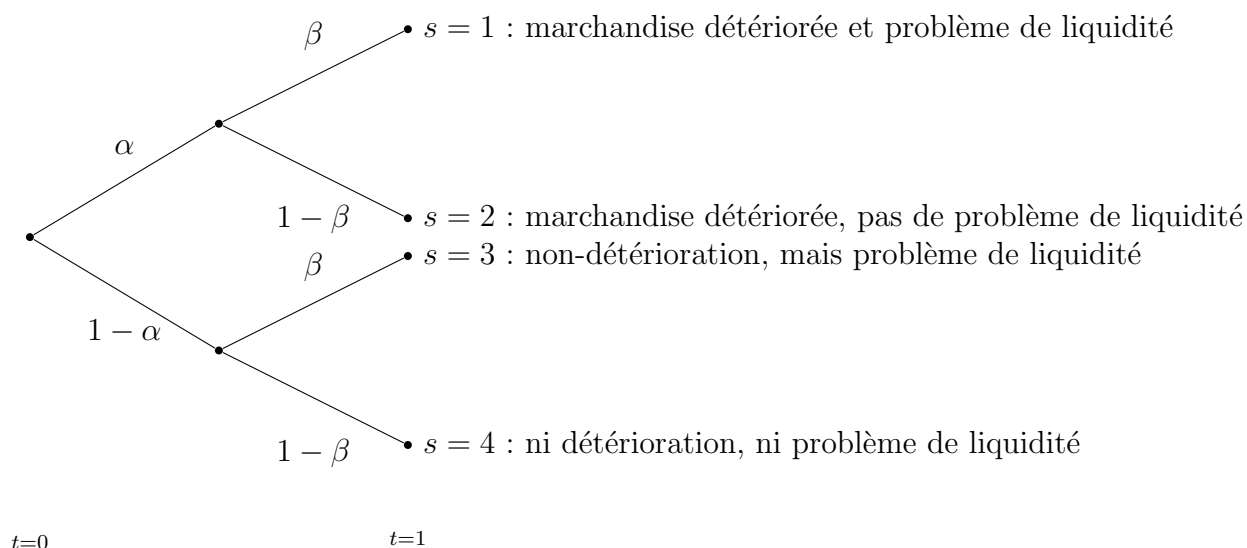


FIGURE 7 : Représentation de l'arbre des évènements

Pour simplifier l'exposition, on considère que la réception des marchandises et le versement des séquestres au vendeur se font également en $t = 1$. En réalité, ces évènements surviennent peu de temps après l'amarrage du bateau, à une date $t = 1 + \epsilon$. Dans la suite, on note $\mathbf{1}_E \in \mathbb{R}^4$ le vecteur dont les coordonnées prennent la valeur 1 lorsqu'elles correspondent à un état de la nature $s \in E$, avec $E \subseteq S$, et 0 sinon. On note $M_1 = m_1 \mathbf{1}_{\{2,4\}}$ le vecteur représentant le montant mis sous séquestre en date 1, dans les états de la nature où l'acheteur n'a pas de problème de liquidité. On note $V = v \mathbf{1}_{\{2,4\}}$ la valeur reçue par l'acheteur en date 1 lorsque m_1 est versé et que $p = m_0 + m_1$ avec $m_0 < p$. On note $D = d \mathbf{1}_{\{1,2\}}$ le vecteur représentant la perte de valeur des marchandises pendant le transport en date 1, si celle-ci a eu lieu.

La Figure 8 résume la chronologie des évènements.

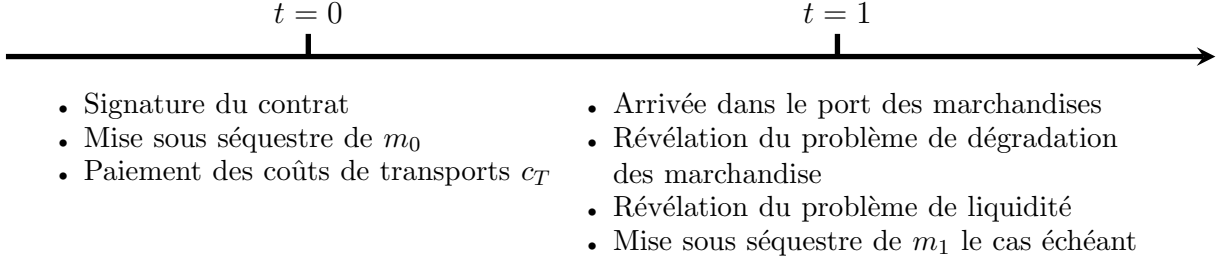


FIGURE 8 : Chronologie des évènements

Nous caractérisons dans la suite de cette section les contrats acceptables. Comme étape préliminaire, nous considérons uniquement le risque de liquidité de l'acheteur en date 1 en faisant abstraction du problème de transport. Nous supposons donc que le coût de transport et le risque de transport sont nuls. Dans la suite, nous intégrons la dimension transport et nous déclinons nos résultats en fonction de l'Incoterm EXW, F, C ou D considéré.

6 ESC et risque de liquidité

Nous identifions donc dans cette section les profils acceptables lorsqu'il n'y a pas de coût ni de risque de transport ($c_T = 0$ et $\alpha = 0$). Seul le risque de liquidité influence l'acceptabilité de l'ESC.

Considérons tout d'abord **le cas du profil** $(p, 0)$ où l'intégralité du prix de vente est mis sous séquestre en date 0. Dans ce cas, l'éventuel problème de liquidité n'a pas d'impact sur la transaction : en date 1, le vendeur reçoit p et l'acheteur reçoit v . Les contraintes budgétaires de l'acheteur sont

$$\begin{aligned}
 c_0^A + p + \ell_0^A &= \omega_0^A && \text{(date 0)} \\
 c_1^A(s) &= \omega_1^A(s) + (1+r)\ell_0^A + v && \text{(date 1, état de la nature } s \in \mathbf{S})
 \end{aligned}$$

et celles du vendeur sont

$$\begin{aligned}
 c_0^V + c + \ell_0^V &= \omega_0^V && \text{(date 0)} \\
 c_1^V(s) &= \omega_1^V(s) + (1+r)\ell_0^V + p && \text{(date 1, état de la nature } s \in \mathbf{S}).
 \end{aligned}$$

En date 0, l'acheteur alloue sa dotation entre consommation, épargne et le montant p qu'il met sous séquestre. Le vendeur alloue sa dotation entre consommation, épargne et coût

de production. En date 1, les agents récupèrent leurs épargnes avec les intérêts. L'acheteur reçoit la marchandise et le vendeur reçoit le prix de vente.

Pour l'acheteur, le taux de marque du contrat avec mises sous séquestre $(p, 0)$ est $\frac{v-(1+r)p}{v}$ car l'ensemble du prix est mis en séquestre dès la période 0. Pour le vendeur, le taux de marque de ce contrat est $\frac{p-(1+r)c}{p}$.

Dans le contrat $(p, 0)$, comme le prix est sécurisé dès la période 0, les agents n'encourent pas le risque que la transaction n'aille pas jusqu'au bout. Pour déterminer si le contrat $(p, 0)$ est acceptable, les agents regardent alors uniquement si le taux de marque est positif. S'il est positif pour un agent alors celui-ci acceptera le contrat, sinon il le refusera.

Proposition 1 *Le profil de séquestres $(p, 0)$ est acceptable si, et seulement si,*

$$0 \leq \min \left\{ \frac{p - (1+r)c}{p}; \frac{v - (1+r)p}{v} \right\}. \quad (1)$$

Pour un temps long entre les dates 0 et 1 - comme dans notre cadre - le taux r et donc le coût unitaire seront élevés et non-négligeables. Il sera donc plus difficile de satisfaire l'équation 1. Cependant la situation $\min \left\{ \frac{p-(1+r)c}{p}; \frac{v-(1+r)p}{v} \right\} < 0$ n'implique pas pour autant qu'aucun contrat ne peut être conclu entre l'acheteur et le vendeur. En effet, une mise sous séquestre partagée entre les deux dates peut permettre d'aligner les intérêts de l'acheteur et du vendeur lorsque le risque de liquidité n'est pas trop élevé, notamment car elle diminue le coût d'opportunité supporté par l'acheteur pour qui la situation $(p, 0)$ est la plus défavorable.

On s'intéresse maintenant au **cas du profil** (m_0, m_1) avec $m_0 < p$. Le risque de liquidité devient crucial car il détermine les paiements des deux agents à la date 1.

Les contraintes budgétaires de l'acheteur se réécrivent

$$\begin{aligned} c_0^A + m_0 + \ell_0^A &= \omega_0^A && \text{(date 0)} \\ c_1^A(s) + M_1(s) &= \omega_1^A(s) + (1+r)\ell_0^A + V(s) && \text{(date 1, état de la nature } s \in \mathbf{S}) \end{aligned}$$

et celles du vendeur

$$\begin{aligned} c_0^V + c + \ell_0^V &= \omega_0^V && \text{(date 0)} \\ c_1^V(s) &= \omega_1^V(s) + (1+r)\ell_0^V + m_0 + M_1(s) && \text{(date 1, état de la nature } s \in \mathbf{S}). \end{aligned}$$

Lorsque l'acheteur n'a pas de problème de liquidité ($s = 2, 4$), celui-ci met sous séquestre le restant du prix à payer m_1 , et reçoit la valeur de la marchandise v tandis que le vendeur

reçoit l'intégralité des séquestres. Si l'acheteur a un problème de liquidité ($s = 1, 3$) alors il est dans l'incapacité de mettre sous séquestre m_1 et il ne reçoit pas la marchandise. Le vendeur reçoit alors uniquement le séquestre m_0 .

On montre que les profils de séquestres réalisables avec $m_0 \neq p$ sont tous acceptables si, et seulement si, les seuils identifiés précédemment sont supérieurs au niveau de risque de liquidité. Autrement dit, dès que le risque de liquidité est présent, le risque de rupture du contrat devient significatif (y compris si le risque de liquidité porte sur un montant m_1 faible), les agents "réclamant" en contre-partie des niveaux de rentabilité supérieurs.

Proposition 2 *Les profils de séquestres réalisables avec $m_0 \neq p$ sont tous acceptables si, et seulement si,*

$$\beta \leq \min \left\{ \frac{p - (1+r)c}{p}; \frac{v - (1+r)p}{v} \right\}. \quad (2)$$

Remarque 2 L'examen de la démonstration du résultat montre en fait que la condition 2 est équivalente à une condition sur les taux de marque associés à certains contrats avec $m_0 \neq p$. Elle dit que le taux de marque du contrat le plus défavorable pour chaque agent doit être positif ou nul ²¹.

La proposition 2 permet de quantifier un seuil minimal qui garantit que les contrats sont tous acceptables. La proposition suivante est plus générale et traite du cas de figure où cette condition n'est pas toujours satisfaite par les variables du modèle. Elle décrit des conditions spécifiques où seuls certains contrats de mises sous séquestres partagées sur deux dates sont acceptables et permettent la signature du contrat ²².

On suppose que l'hypothèse suivante est satisfaite.

Hypothèse 1 *Le prix de vente p satisfait : $\frac{v}{1+r} \geq p > (1+r)c$.*

L'hypothèse 1 est une condition nécessaire minimale pour que la transaction ait bien lieu, y compris aux dates défavorables pour chacun des agents. Elle implique que le prix de vente

²¹La condition 2 revient à écrire : $\frac{(1-\beta)v - (1+r)p}{(1-\beta)v} \geq 0$ et $\frac{(1-\beta)p - (1+r)c}{(1-\beta)p} \geq 0$. Le premier correspond au taux de marque le plus défavorable pour le vendeur et le deuxième au taux le plus défavorable pour l'acheteur lorsque $m_0 \neq p$, voir la preuve de la Proposition 2.

²²Clairement, si $\beta = 1$ aucun contrat (m_0, m_1) avec $m_0 \neq p$ n'est acceptable. En effet, les contrats (m_0, m_1) avec $m_1 < p$ ne sont pas acceptables pour l'acheteur qui a la certitude de perdre m_0 et de ne pas recevoir la marchandise, et le contrat $(0, p)$ n'est pas acceptable pour le vendeur qui a la certitude de ne pas recevoir le prix de vente alors qu'il a produit la marchandise.

est strictement supérieur au coût de production de la marchandise actualisé et est inférieur à l'évaluation de l'acheteur. Sous cette hypothèse, on montre la proposition suivante qui est le principal résultat théorique de cet article.

Proposition 3 *Un profil de séquestres réalisable (m_0, m_1) avec $m_0 \neq p$ est acceptable si, et seulement si, une des conditions suivantes (i., ii. ou iii.) est satisfaite :*

$$i. \beta \leq \min \left\{ \frac{p-(1+r)c}{p}; \frac{v-(1+r)p}{v} \right\};$$

$$ii. \min \left\{ \frac{p-(1+r)c}{p}; \frac{v-(1+r)p}{v} \right\} < \beta \leq \max \left\{ \frac{p-(1+r)c}{p}; \frac{v-(1+r)p}{v} \right\} \text{ et on a}$$

$$1) \text{ si } \min \left\{ \frac{p-(1+r)c}{p}; \frac{v-(1+r)p}{v} \right\} = \frac{p-(1+r)c}{p}$$

$$0 < \frac{1}{\beta}[(1+r)c - (1-\beta)p] \leq m_0 < p;$$

2) sinon

$$0 \leq m_0 \leq \frac{1-\beta}{\beta+r}(v-p) < p;$$

$$iii. \max \left\{ \frac{p-(1+r)c}{p}; \frac{v-(1+r)p}{v} \right\} < \beta \leq \bar{\beta} < 1 \text{ et on a}$$

$$0 < \frac{1}{\beta}[(1+r)c - (1-\beta)p] \leq m_0 \leq \frac{1-\beta}{\beta+r}(v-p) < p$$

$$\text{avec } \bar{\beta} = \frac{v-(1+r)c-rp+\sqrt{[rp+(1+r)c-v]^2+4rv(p-(1+r)c)}}{2v}.$$

Comme indiqué dans la note de bas de page 21, les conditions de la proposition 3 se réexpriment comme des conditions sur les taux de marque des agents. L'interprétation de i. est identique à celle de la proposition 2. Dans le cas ii., le taux de marque de l'un des agents est négatif sous le profil le plus défavorable à cet agent : $(0, p)$ pour le vendeur, et $(p - \epsilon, \epsilon)$ avec $\epsilon > 0$ arbitrairement petit, pour l'acheteur. Ce profil le plus défavorable - et potentiellement d'autres profils proches - n'est alors pas acceptable. Il sert néanmoins de point de référence : en effet, la condition en ii. sur le risque de liquidité β peut être reformulée comme condition sur le taux de marque dans le profil le plus défavorable (cf preuve de la proposition 2).

Dans le cas ii.1), le vendeur est le « facteur limitant » et se montrera plus exigeant : m_0

est borné inférieurement et est strictement positif. Inversement, dans le cas *ii.2*), l'acheteur est le plus « contraignant » des agents : m_0 est borné supérieurement, le montant mis en séquestre en période 0 ne devra donc pas dépasser ce seuil.

Dans le cas *iii*, les deux agents ont un taux de marque strictement inférieur à 0 dans le profil le plus défavorable. Le risque de liquidité β est borné supérieurement : lorsqu'il est trop élevé ($\beta > \bar{\beta}$), aucune mise sous séquestre n'est acceptable. Le vendeur exige un premier versement trop élevé pour l'acheteur, et inversement. En revanche, si le risque de liquidité est suffisamment petit ($\beta \leq \bar{\beta}$), alors il existe des contrats acceptables spécifiant des séquences de mises sous séquestre hybrides, c'est-à-dire en deux coups.

Conformément avec la discussion précédente de la fin de la section 4.2, les propositions 1 et 3 montrent bien que les modalités de mises sous séquestre en *un coup*, que ce soit en $t = 0$ ou $t = 1$, ne permettent pas toujours d'atteindre un consensus entre les agents dans notre modèle. Ces modalités sont similaires à un paiement en *cash-in-advance* (paiement intégral en $t = 0$) et à un paiement en *open account* (paiement intégral en $t = 1$), à ceci près que les montants sont mis sous séquestre. Il est ainsi intéressant de noter que l'utilisation exclusive de ces modalités dans un univers incertain semble peu efficace puisqu'il peut en résulter une absence d'échanges entre les deux parties.

On peut extraire la relation suivante de la Proposition 3. Nous examinerons, dans la suite, comment elle est affectée par le choix des Incoterms, lorsque le coût et le risque associés au transport sont pris en compte.

Corollaire 1 *Tout profil de séquestres acceptable et réalisable (m_0, m_1) avec $m_0 \neq p$ vérifie*

$$\frac{1}{\beta}[(1+r)c - (1-\beta)p] \leq m_0 \leq \frac{1}{\beta+r}(1-\beta)(v-p).$$

Concernant les paramètres du contrat, on observe, toutes choses égales par ailleurs, qu'une hausse de la valeur qu'accorde l'acheteur à la marchandise, v , le rend plus enclin à accepter des mises sous séquestres qui lui sont moins favorables (m_0 élevé). En revanche, il y sera moins enclin si, toujours toutes choses égales par ailleurs, le prix de vente p ou le taux d'escompte r augmentent. En ce qui concerne le vendeur, une hausse du prix p , toutes choses égales par ailleurs, implique un surplus potentiel en période 1 plus élevé, il sera donc plus favorable à des mises en séquestres moins avantageuses si elles permettent de conclure le contrat. En

revanche, si son coût de production c ou si le taux d'escompte r augmente, toutes choses égales par ailleurs, alors le vendeur exigera une mise sous séquestre m_0 plus importante pour couvrir ses propres coûts irrécupérables.

7 Application aux différentes classes d'Incoterms

7.1 Incoterms EXW et de classe F

On suppose maintenant que le transport n'est pas négligeable, son coût et son risque sont tous deux positifs ($c_T \geq 0$ et $\alpha \geq 0$). On va s'intéresser dans cette section à la situation dans laquelle les parties s'entendent pour spécifier un contrat de vente qui suit les dispositions contractuelles correspondant à un Incoterm de classe EXW ou F, c'est-à-dire que selon le contrat, l'acheteur supporte à la fois le coût et le risque de transport. Sa dotation initiale est donc diminuée de c_T et la valeur qu'il accorde à la marchandise dépend de la survenue de la perte de valeur d .

On note d'abord que dans le cas où l'acheteur met le prix de vente intégralement sous séquestre en date 0, alors son éventuel problème de liquidité en date 1 n'a pas d'impact sur la transaction. Cependant, le contrat ne sera accepté par les deux parties que sous certaines conditions spécifiées dans la proposition 4. Notons d'abord que pour un contrat de mises sous séquestre $(p, 0)$ et un Incoterm de classe EXW ou F, les contraintes budgétaires des parties prennent la forme simple suivante. Les contraintes budgétaires de l'acheteur sont

$$\begin{aligned} c_0^A + p + c_T + \ell_0^A &= \omega_0^A && \text{(date 0)} \\ c_1^A(s) &= \omega_1^A(s) + (1+r)\ell_0^A + v - D(s) && \text{(date 1, état de la nature } s \in \mathbf{S}) \end{aligned}$$

et celles du vendeur sont

$$\begin{aligned} c_0^V + c + \ell_0^V &= \omega_0^V && \text{(date 0)} \\ c_1^V(s) &= \omega_1^V(s) + (1+r)\ell_0^V + p && \text{(date 1, état de la nature } s \in \mathbf{S}). \end{aligned}$$

Les contraintes budgétaires du vendeur sont les mêmes que dans la section 6. Les contraintes de l'acheteur sont modifiées pour prendre en compte les coûts de transport et le risque que la marchandise soit dévaluée.

Proposition 4 *Pour les Incoterms de classe EXW et F, un contrat de mises sous séquestre $(p, 0)$ est acceptable si, et seulement si,*

$$\frac{p - (1 + r)c}{p} \geq 0 \quad \text{et} \quad \frac{v - \alpha d - (1 + r)(p + c_T)}{v - \alpha d} \geq 0.$$

Comme dans la section précédente, le vendeur et l'acheteur accepteront le contrat $(p, 0)$ si, et seulement si, leurs taux de marque sont positifs.

Remarque 3 Les contrats de mise sous séquestre $(p, 0)$ avec un Incoterm de classe EXW ou F ne font supporter aucun risque au vendeur.

On s'intéresse maintenant aux situations dans lesquelles le contrat spécifie un montant mis sous séquestre en période 0 inférieur au prix de vente ($m_0 < p$). Lorsque le contrat est conclu, les contraintes budgétaires de l'acheteur sont :

$$\begin{aligned} c_0^A + m_0 + \ell_0^A + c_T &= \omega_0^A & (t = 0) \\ c_1^A(s) + M_1(s) &= \omega_1^A(s) + (1 + r)\ell_0^A + (V(s) - D(s)) & (t = 1, s \in \mathbf{S}) \end{aligned}$$

et celles du vendeur :

$$\begin{aligned} c_0^V + c + \ell_0^V &= \omega_0^V & (t = 0) \\ c_1^V(s) &= \omega_1^V(s) + (1 + r)\ell_0^V + m_0 + M_1(s) & (t = 1, s \in \mathbf{S}). \end{aligned}$$

Comme l'acheteur supporte seul le risque de transport, il sera plus exigeant sur la forme du contrat, c'est-à-dire sur la séquence de mises en séquestre choisie. On peut quantifier ce changement en le comparant à la borne obtenue dans le Corollaire 1.

Proposition 5 *Toutes choses égales par ailleurs, lorsque l'acheteur supporte le coût et le risque de transport, la borne supérieure sur m_0 de tout profil de séquestres acceptable (m_0, m_1) , avec $m_0 \neq p$, diminue d'un montant $\frac{1}{\beta + r}[(1 - \beta)\alpha d + c_T(1 + r)]$ par rapport au cas de référence :*

$$m_0 \leq \frac{1}{\beta + r}(1 - \beta)(v - p) - \frac{1}{\beta + r}[(1 - \beta)\alpha d + c_T(1 + r)].$$

Plus le coût de transport c_T est élevé, toutes choses égales par ailleurs, moins l'acheteur est disposé à mettre un montant m_0 élevé en séquestre. En effet, le coût de transport est un

coût irrécupérable et l'acheteur ne souhaite pas alourdir ses pertes en gageant un montant m_0 inchangé si un problème de liquidité futur mettait fin à la transaction.

7.2 Incoterms de classe C

Dans le cas où les parties s'entendent pour spécifier le contrat de vente suivant les dispositions contractuelles correspondant à un Incoterm de classe C, le vendeur supporte le coût de transport tandis que l'acheteur en supporte le risque. La dotation initiale du vendeur est donc diminuée de c_T et la valeur qu'accorde l'acheteur à la marchandise est diminuée de αd .

Comme dans les sections précédentes, le contrat de mises sous séquestre $(p, 0)$ doit être traité à part comme il élimine l'éventuel problème de liquidité de l'acheteur des considérations de chaque partie. Les contraintes budgétaires de l'acheteur sont

$$\begin{aligned} c_0^A + p\ell_0^A &= \omega_0^A && \text{(date 0)} \\ c_1^A(s) &= \omega_1^A(s) + (1+r)\ell_0^A + v - D(s) && \text{(date 1, état de la nature } s \in \mathbf{S}) \end{aligned}$$

et celles du vendeur sont

$$\begin{aligned} c_0^V + c + c_T + \ell_0^V &= \omega_0^V && \text{(date 0)} \\ c_1^V(s) &= \omega_1^V(s) + (1+r)\ell_0^V + p && \text{(date 1, état de la nature } s \in \mathbf{S}). \end{aligned}$$

On obtient le premier résultat suivant

Proposition 6 *Pour les Incoterms de classe C, un contrat avec mises sous séquestre $(p, 0)$ est acceptable si, et seulement si,*

$$\frac{p - (1+r)(c + c_T)}{p} \geq 0 \quad \text{et} \quad \frac{v - \alpha d - (1+r)p}{v - \alpha d} \geq 0.$$

De nouveau, l'acheteur et le vendeur acceptent le contrat si, et seulement si, leurs taux de marque ajustés des coûts et risque de transport sont positifs.

Remarque 4 Les contrats de mises sous séquestre $(p, 0)$ et un Incoterm de classe C ne font supporter aucun risque au vendeur.

Pour les contrats spécifiant des mises sous séquestres réalisables différentes de $(p, 0)$, les contraintes budgétaires des agents sont :

$$\begin{aligned}
c_0^A + m_0 + \ell_0^A &= \omega_0^A & (t = 0) \\
c_1^A(s) + M_1(s) &= \omega_1^A(s) + (1+r)\ell_0^A + (V(s) - D(s)) & (t = 1, s \in \mathbf{S})
\end{aligned}$$

pour l'acheteur et

$$\begin{aligned}
c_0^V + c + c_T + \ell_0^V &= \omega_0^V & (t = 0) \\
c_1^V(s) &= \omega_1^V(s) + (1+r)\ell_0^V + m_0 + M_1(s) & (t = 1, s \in \mathbf{S})
\end{aligned}$$

pour le vendeur.

Concernant m_0 , c_T agit exactement comme une hausse du coût de production c : il resserre la contrainte du vendeur qui exigera davantage de garanties pour compenser ses coûts irrécupérables. De même, comme il supporte le risque de transport et donc le risque d'obtenir une marchandise dévaluée, l'acheteur sera aussi plus exigeant sur la séquence de mises sous séquestre choisie lorsque l'on compare les bornes obtenues avec le Corollaire 1.

Proposition 7 *Toutes choses égales par ailleurs, lorsque l'acheteur supporte le risque de transport et le vendeur le coût de transport, la borne inférieure sur m_0 de tout profil de séquestres acceptable (m_0, m_1) , avec $m_0 \neq p$, augmente d'un montant $\frac{c_T(1+r)}{\beta}$ et la borne supérieure sur m_0 et diminue d'un montant $\frac{\alpha d(1-\beta)}{\beta+r}$ par rapport au cas de référence :*

$$\frac{1}{\beta}[(1+r)c - (1-\beta)p] + \frac{c_T(1+r)}{\beta} \leq m_0 \leq \frac{1}{\beta+r}(1-\beta)(v-p) - \frac{\alpha d(1-\beta)}{\beta+r}.$$

7.3 Incoterms de classe D

Dans le cas où les parties s'entendent pour spécifier que le contrat de vente suit les dispositions contractuelles d'un Incoterm de classe D, le vendeur supporte le coût de transport ainsi que le risque. La dotation initiale du vendeur est donc diminuée de c_T . Comme spécifié dans la section 5.2, on suppose pour simplifier qu'en cas de détérioration du produit durant le transport, le vendeur effectue un versement à l'acheteur correspondant à la perte de valeur d , de sorte que le surplus en numéraire de ce dernier reste inchangé.

Lorsqu'un contrat de mises sous séquestre $(p, 0)$ est conclu alors les contraintes budgétaires de l'acheteur sont

$$\begin{aligned}
c_0^A + p\ell_0^A &= \omega_0^A & (\text{date } 0) \\
c_1^A(s) &= \omega_1^A(s) + (1+r)\ell_0^A + v & (\text{date } 1, \text{ état de la nature } s \in \mathbf{S})
\end{aligned}$$

et celles du vendeur sont

$$\begin{aligned} c_0^V + c + c_T + \ell_0^V &= \omega_0^V & (\text{date } 0) \\ c_1^V(s) &= \omega_1^V(s) + (1+r)\ell_0^V + p - D(s) & (\text{date } 1, \text{ état de la nature } s \in \mathbf{S}). \end{aligned}$$

On obtient le premier résultat suivant.

Proposition 8 *Pour les Incoterms de classe D, un contrat de mises sous séquestre $(p, 0)$ est acceptable si, et seulement si,*

$$\frac{p - \alpha d - (1+r)(c + c_T)}{p - \alpha d} \geq 0 \quad \text{et} \quad \frac{v - (1+r)p}{v} \geq 0.$$

Lorsque les parties choisissent un Incoterm de classe D, l'acheteur ne supporte ni le coût ni le risque de transport alors que de son côté le vendeur supporte les coûts et risques de transport. Le vendeur ajuste donc son taux de marque pour déterminer si le contrat est acceptable.

Remarque 5 Les contrats de mises sous séquestre $(p, 0)$ avec un Incoterm de classe D sont les seuls contrats qui ne font supporter aucun risque à l'acheteur.

Pour les autres contrats $(m_0 \neq p)$, les contraintes budgétaires de l'acheteur sont :

$$\begin{aligned} c_0^A + m_0 + \ell_0^A &= \omega_0^A & (t = 0) \\ c_1^A(s) + M_1(s) &= \omega_1^A(s) + (1+r)\ell_0^A + V(s) & (t = 1, s \in \mathbf{S}) \end{aligned}$$

et celles du vendeur sont :

$$\begin{aligned} c_0^V + c + c_T + \ell_0^V &= \omega_0^V & (t = 0) \\ c_1^V(s) &= \omega_1^V(s) + (1+r)\ell_0^V + m_0 + M_1(s) - D(s) & (t = 1, s \in \mathbf{S}). \end{aligned}$$

Le vendeur est donc plus exigeant sur le montant mis sous séquestre en date 0 lorsqu'il supporte le risque de transport.

Proposition 9 *Toutes choses égales par ailleurs, lorsque l'acheteur supporte le risque de transport et le vendeur le coût de transport, la borne inférieure sur m_0 de tout profil de séquestres acceptable (m_0, m_1) , avec $m_0 \neq p$, augmente d'un montant $\frac{1}{\beta}[(1-\beta)\alpha d] + (1+r)c_T$ par rapport au cas de référence :*

$$\frac{1}{\beta}[(1+r)c - (1-\beta)p] + \frac{1}{\beta}[(1-\beta)\alpha d] + (1+r)c_T \leq m_0.$$

7.4 Surplus et marchandage

Différentes méthodes existent pour déterminer les montants de séquestre parmi les profils acceptables. Nous en abordons deux brièvement dans cette section, en nous inspirant notamment de l'approche de [Brainov et Sandholm \(1999\)](#) qui considèrent aussi une situation de négociation bilatérale entre un acheteur et un vendeur. Pour une modélisation plus synthétique, nous introduisons une variable $\mathbb{1}_{A_c}$ qui vaut 1 lorsque l'acheteur supporte le coût de transport et 0 lorsque c'est le vendeur. De même, nous introduisons une variable $\mathbb{1}_{A_r}$ qui vaut 1 lorsque l'acheteur supporte le risque et 0 lorsque c'est le vendeur. Les contraintes budgétaires des agents se réécrivent

$$\begin{aligned} c_0^A + m_0 + c_T \mathbb{1}_{A_c} + \ell_0^A &= \omega_0^A && \text{(date 0)} \\ c_1^A(s) + M_1(s) &= \omega_1^A(s) + (1+r)\ell_0^A + V(s) - D(s)\mathbb{1}_{A_r} && \text{(date 1, état } s) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_0^V + c + \ell_0^V + c_T(1 - \mathbb{1}_{A_c}) &= \omega_0^V && \text{(date 0)} \\ c_1^V(s) &= \omega_1^V(s) + (1+r)\ell_0^V + m_0 + M_1(s) - D(s)(1 - \mathbb{1}_{A_r}) && \text{(date 1,} \\ &&& \text{état } s) \end{aligned}$$

Le montant m_0 acceptable peut être sélectionné de façon à maximiser le surplus social. On montre alors que cela revient à déterminer le montant m_0 acceptable limitant la perte sèche rm_0 liée à l'immobilisation des fonds.

Proposition 10 *Si l'ensemble des profils réalisables et acceptables est non vide alors le surplus social est maximisé parmi ces profils par le (m_0, m_1) réalisable vérifiant*

$$m_0 = \max \left\{ 0, \frac{1}{\beta} [(1+r)(c + c_T(1 - \mathbb{1}_{A_c})) - (1 - \beta)(p - \alpha d(1 - \mathbb{1}_{A_r}))] \right\}.$$

Toutes choses égales par ailleurs, on observe que le surplus social est maximisé par les Incoterms de classe EXW et F qui font supporter le coût de transport et son risque à l'acheteur (lorsque $\mathbb{1}_{A_r}$ et $\mathbb{1}_{A_c}$ valent 1).

Lorsque l'acheteur et le vendeur ont un pouvoir de négociation, d'autres profils (m_0, m_1) peuvent être sélectionnés.

Définition 3 *On dit qu'un profil de mises sous séquestre (m_0, m_1) est **quasi-inacceptable***

pour l'agent i s'il lui permet d'obtenir une utilité inférieure ou égale à l'utilité obtenue en l'absence de contrat.

En particulier lorsque les profils de mises sous séquestre en "un-coup" sont quasi-inacceptables, une alternative pour le partage des paiements repose sur la solution du marchandage de Nash qui revient à chercher la solution (m_0, m_1) qui maximise le produit de Nash défini comme le produit des surplus des agents associés aux profils de séquestre.

Proposition 11 *Si le profil de mises séquestre $(p, 0)$, respectivement $(0, p)$, est quasi-inacceptable pour l'acheteur, respectivement pour le vendeur, et que l'ensemble des profils réalisables et acceptables est non vide alors la solution du marchandage de Nash parmi ces profils vérifie m_0 égal à*

$$\frac{1}{2} \left[\frac{1-\beta}{\beta+r} (v - p - \alpha d \mathbf{1}_{A_r}) - \frac{1+r}{\beta+r} c_T \mathbf{1}_{A_c} - \frac{1-\beta}{\beta} (p - \alpha d (1 - \mathbf{1}_{A_r})) + \frac{1+r}{\beta} (c + c_T (1 - \mathbf{1}_{A_c})) \right].$$

Plus le vendeur engage des coûts de production importants, plus il va exiger que le montant m_0 soit élevé. Plus l'acheteur accorde une valeur élevée à la marchandise, plus il va consentir à mettre sous séquestre un montant m_0 important. En revanche, on observe que plus le prix de vente est élevé plus le montant mis sous séquestre m_0 sera faible. Ceci s'explique par le fait que le surplus que l'acheteur espère retirer de la transaction est réduit, et que ce dernier est donc moins favorable au dépôt d'un montant m_0 élevé sous séquestre.

8 Conclusion

La conception de smart contracts pour les transactions internationales est un thème de recherche nouveau. Nous analysons dans cet article l'apport des escrow smart contracts comme méthode de paiement. Puis, dans un cadre simplifié admettant seulement deux sources de risques, le risque de liquidité de l'acheteur et le risque de transport, nous déterminons les escrow smart contracts acceptables par chaque partie en fonction de la séquence de mises sous séquestre du prix de vente. Plus le risque de liquidité est élevé, plus les agents sont sélectifs sur le type d'escrow smart contract acceptable. En particulier, la mise sous séquestre totale du prix de vente juste avant la réception de la marchandise (qui pourrait être assimilée à de l'*open account*) n'est pas acceptable pour le vendeur lorsque le risque de liquidité est impor-

tant. En revanche, nous montrons que d'autres formes d'escrow smart contracts, impliquant la mise sous séquestre d'une partie du prix de vente à la signature du contrat, permettent l'acceptation du contrat de vente lorsque le risque de liquidité demeure en dessous d'un certain seuil.

Plusieurs pistes nécessitent d'être explorées pour concevoir un escrow smart contract encore plus adapté au commerce international. En particulier, nous n'avons pas traité dans cet article les problèmes d'asymétries d'information. Or un escrow smart contract pourrait gérer de façon autonome une partie des litiges et inciter les parties à respecter leurs obligations contractuelles. En effet, [Gans \(2019\)](#) montre qu'un système de pénalités spécifique enclenché par le smart contract en cas de litige crée un mécanisme incitatif pour les parties. Ici, le système proposé par [Gans \(2019\)](#) ne s'applique pas directement car le risque de transport crée une incertitude sur la responsabilité du vendeur en cas de réception d'une marchandise détériorée. Cependant, un mécanisme inspiré de cette proposition pourrait réduire l'incitation des parties à dévier de leurs obligations contractuelles et demeure une piste de recherche future intéressante. Les escrow smart contracts offrent également la possibilité de démultiplier les mises sous séquestres du prix de vente et ne requièrent pas de se limiter à deux mises sous séquestre comme analysé dans cet article. Dans la lignée du travail de [Kahn et van Oordt \(2022\)](#), un autre axe de recherche concerne donc l'étude de l'impact de l'augmentation des mises sous séquestres sur l'acceptabilité du contrat et la détermination du nombre optimal de mises sous séquestre.

Par ailleurs, la question de la nature du jeton numérique utilisé dans les paiements sur blockchain est également une source de risque pour les parties, que nous avons ignorée dans ce travail. En effet, les blockchains sont des registres consignnant les avoirs numériques de chaque participant, mais ne permettant pas le transfert de fonds directement en monnaie fiduciaire - du moins, en l'absence de monnaies numériques de banque centrale (MNBC), pour l'heure encore en projet, hormis le cas du yuan numérique en Chine. Les parties font dès lors face à un risque de change exacerbé si elles utilisent des cryptomonnaies volatiles. Une solution serait d'utiliser un *stablecoin*, c'est-à-dire un actif sur blockchain au cours indexé sur celui d'un actif réel, généralement le dollar, et échangeable contre un montant équivalent de l'actif de référence. Cette option permettrait le recours au dollar comme unité de compte, et à la blockchain comme support d'enregistrement des transactions. Elle pose néanmoins le problème de la confiance accordée à l'entité émettrice du stablecoin, qui doit détenir des

réserves suffisantes pour garantir la convertibilité en dollars des jetons sur blockchain. Autre possibilité envisageable : le recours à des prestataires de services sur blockchain, tel Ripple qui propose un système de paiement aux banques et institutions financières confrontées aux lourdeurs des règlements internationaux ²³.

Une autre option repose sur la création par un réseau portuaire d'un *stablecoin* propre, géré de façon transparente, collégiale et contrôlable par l'ensemble des membres du consortium commercial, et réservé à sa blockchain interne. Cela éviterait aux parties prenantes de recourir aux services de sociétés trop liées au secteur notoirement risqué des cryptomonnaies, et dont le statut règlementaire reste incertain ²⁴.

Les solutions au problème de l'actif de référence utilisé comme moyen de paiement ne manquent donc pas, chacune présentant ses avantages et inconvénients, et les suggestions ébauchées ci-dessus n'épuisent pas la question. La mise en place d'un moyen de paiement numérique stable et sécurisé dépasse le cadre de l'article, mais constituerait une autre extension intéressante dans le cadre d'un programme de recherche appliquée interdisciplinaire.

9 Appendice

Preuve. [Proposition 1] On note d'abord que lorsqu'aucun contrat n'est conclu les contraintes budgétaires des agents s'écrivent, pour l'acheteur :

$$\begin{aligned}\tilde{c}_0^A + \tilde{\ell}_0^A &= \omega_0^A & (t = 0) \\ \tilde{c}_1^A(s) &= \omega_1^A(s) + (1+r)\tilde{\ell}_0^A & (t = 1, s \in \mathbf{S})\end{aligned}$$

et pour le vendeur :

$$\begin{aligned}\tilde{c}_0^V + \tilde{\ell}_0^V &= \omega_0^V & (t = 0) \\ \tilde{c}_1^V &= \omega_1^V(s) + (1+r)\tilde{\ell}_0^V & (t = 1, s \in \mathbf{S})\end{aligned}$$

Il suffit ensuite de reprendre les contraintes budgétaires de l'agent en cas de contrat.

²³La valeur ajoutée de ce type de service réside dans sa rapidité, mais aussi l'élimination des immobilisations sur comptes Nostro en devises que les banques doivent maintenir chez leurs contreparties étrangères.

²⁴Voir par exemple le procès opposant actuellement Ripple au régulateur américain des marchés, la Securities and Exchange Commission (SEC), ou l'interdiction prononcée par la même SEC de l'émission de nouveaux jetons du stablecoin BUSD par son émetteur Paxos.

On obtient pour l'acheteur : $u^A(c_0^A, c_1^A) = \omega_0^A - p - \ell_0^A + \frac{1}{1+r} \sum_{s \in \mathbf{S}} \pi(s) \omega_1^A(s) + \frac{1}{1+r} ((1+r)\ell_0^A + v)$ et $u^A(\tilde{c}_0^A, \tilde{c}_1^A) = \omega_0^A + \frac{1}{1+r} \sum_{s \in \mathbf{S}} \pi(s) \omega_1^A(s)$. Donc $u^A(c_0^A, c_1^A) \geq u^A(\tilde{c}_0^A, \tilde{c}_1^A)$ est équivalent à $v \geq p(1+r)$.

Du côté vendeur, les contraintes budgétaires donnent : $u^V(c_0^V, c_1^V) = \omega_0^V - c - \ell_0^A + \frac{1}{1+r} \sum_{s \in \mathbf{S}} \pi(s) \omega_1^V(s) + \frac{1}{1+r} ((1+r)\ell_0^A + p)$ et $u^V(\tilde{c}_0^V, \tilde{c}_1^V) = \omega_0^V + \frac{1}{1+r} \sum_{s \in \mathbf{S}} \pi(s) \omega_1^V(s)$. Donc $u^V(c_0^V, c_1^V) \geq u^V(\tilde{c}_0^V, \tilde{c}_1^V)$ est équivalent à $p \geq (1+r)c$. ■

Preuve. [Proposition 2.]

(\Rightarrow) Supposons que les profils de séquestres (réalisables) (m_0, m_1) tel que $m_0 \neq p$ sont tous acceptables. Pour ces profils (m_0, m_1) on sait que $u^A(c_0^A, c_1^A) \geq u^A(\tilde{c}_0^A, \tilde{c}_1^A)$. En utilisant les contraintes budgétaires et la définition de l'utilité, on trouve que l'utilité de l'agent associée au contrat est définie comme suit :

$$u^A(c_0^A, c_1^A) = \omega_0^A - m_0 - \ell_0^A + \frac{1}{1+r} \sum_{s \in \mathbf{S}} \pi(s) \omega_1^A(s) + \frac{1-\beta}{1+r} ((1+r)\ell_0^A + v - (p - m_0)) + \frac{\beta}{1+r} ((1+r)\ell_0^A)$$

L'utilité sans contrat de vente est donnée par : $u^A(\tilde{c}_0^A, \tilde{c}_1^A) = \omega_0^A + \frac{1}{1+r} \sum_{s \in \mathbf{S}} \pi(s) \omega_1^A(s)$. On en déduit l'inégalité suivante : $\frac{1-\beta}{1+r} v - \frac{1-\beta}{1+r} p + \frac{1-\beta}{1+r} m_0 - m_0 \geq 0$. Puis, $(1-\beta)v \geq (1-\beta)p + (\beta+r)m_0$. Puisque l'inégalité est vraie pour tous les profils tels que $m_0 \neq p$, on en déduit par passage à la limite quand m_0 tend vers p que $(1-\beta)v \geq (1+r)p$. C'est-à-dire que $\beta \leq \frac{v-p(1+r)}{v}$.

On peut procéder de la même manière pour le vendeur : $u^V(c_0^V, c_1^V) \geq u^V(\tilde{c}_0^V, \tilde{c}_1^V)$. Il vient que

$$u^V(c_0^V, c_1^V) = \omega_0^V - c - \ell_0^A + \frac{1}{1+r} \sum_{s \in \mathbf{S}} \pi(s) \omega_1^V(s) + \frac{1-\beta}{1+r} ((1+r)\ell_0^A + m_0 + m_1) + \frac{\beta}{1+r} ((1+r)\ell_0^A + m_0)$$

L'utilité sans contrat de vente est donnée par : $u^V(\tilde{c}_0^V, \tilde{c}_1^V) = \omega_0^V + \frac{1}{1+r} \sum_{s \in \mathbf{S}} \pi(s) \omega_1^V(s)$. On en déduit l'inégalité suivante : $-c + \frac{\beta}{1+r} m_0 + \frac{1-\beta}{1+r} p \geq 0$. Comme l'inégalité est vraie *a fortiori* pour le cas $m_0 = 0$, on en déduit que $\beta \leq \frac{p-c(1+r)}{p}$.

(\Leftarrow) Pour montrer l'autre implication, supposons que l'inégalité $\beta \leq \min \left\{ \frac{p-(1+r)c}{p}; \frac{v-(1+r)p}{v} \right\}$ soit vérifiée.

En examinant les paiements de l'acheteur donnés précédemment, on remarque que ce contrat de vente est acceptable si $(1-\beta)v \geq (1-\beta)p + (\beta+r)m_0$. Or cette inégalité est vraie si $(1-\beta)v \geq (1-\beta)p + (\beta+r)p$ ce qui est bien le cas par hypothèse puisque $\beta \leq \frac{v-(1+r)p}{v}$.

Pour le vendeur, on peut procéder de la même façon, le contrat sera acceptable si $-c + m_0 + \frac{1-\beta}{1+r}(p - m_0) \geq 0$, c'est-à-dire si $-c + \frac{\beta+r}{1+r}m_0 + \frac{1-\beta}{1+r}p \geq 0$. L'inégalité est vérifiée si $-c + \frac{1-\beta}{1+r}p \geq 0$ ce qui est le cas par hypothèse. ■

Preuve. [Proposition 3] On suppose d'abord que le profil réalisable (m_0, m_1) avec $m_0 \neq p$ est acceptable et on va montrer que $\frac{1}{\beta}[(1+r)c - (1-\beta)p] \leq m_0 \leq \frac{1}{\beta+r}[(1-\beta)(v-p)]$, avec $\beta \leq \bar{\beta} < 1$ où $\bar{\beta} = \frac{v-(1+r)c-rp+\sqrt{[rp+(1+r)c-v]^2+4rv(p-(1+r)c)}}{2v}$. Comme le profil est acceptable, l'inégalité suivante est satisfaite pour l'acheteur : $u^A(c_0^A, c_1^A) \geq u^A(\tilde{c}_0^A, \tilde{c}_1^A)$. En utilisant les contraintes budgétaires et la définition de l'utilité, on trouve que l'utilité associée au contrat est définie par $u^A(c_0^A, c_1^A) = \omega_0^A - m_0 + \frac{1}{1+r} \sum_{s \in \mathbf{S}} \pi(s) \omega_1^A(s) + \frac{1}{1+r}(1-\beta)(v - m_1)$. De son côté, l'utilité sans contrat de vente est donnée par : $u^A(\tilde{c}_0^A, \tilde{c}_1^A) = \omega_0^A + \frac{1}{1+r} \sum_{s \in \mathbf{S}} \pi(s) \omega_1^A(s)$. On en déduit l'inégalité suivante $0 \leq -m_0 + \frac{1}{1+r}[(1-\beta)(v - m_1)]$, et en utilisant le fait que le contrat est réalisable, c'est-à-dire que $p = m_0 + m_1$, on obtient

$$m_0 \leq \frac{1}{\beta+r}[(1-\beta)(v-p)].$$

On peut procéder de la même manière pour le vendeur. De l'inégalité, $u^V(c_0^V, c_1^V) \geq u^V(\tilde{c}_0^V, \tilde{c}_1^V)$, il vient que $u^V(c_0^V, c_1^V) = \omega_0^V - c + \frac{1}{1+r} \sum_{s \in \mathbf{S}} \pi(s) (\omega_1^V(s) + m_0) + \frac{1}{1+r}(1-\beta)m_1$. De son côté, l'utilité sans contrat de vente est donnée par $u^V(\tilde{c}_0^V, \tilde{c}_1^V) = \omega_0^V + \frac{1}{1+r} \sum_{s \in \mathbf{S}} \pi(s) \omega_1^V(s)$. En utilisant le fait que le profil est réalisable on obtient l'inégalité suivante $\frac{1}{\beta}[(1+r)c - (1-\beta)p] \leq m_0$.

Or, on a

$$\frac{1}{\beta}[(1+r)c - (1-\beta)p] \leq \frac{1}{\beta+r}[(1-\beta)(v-p)]$$

seulement si

$$(\beta+r)[(1+r)c - (1-\beta)p] \leq \beta[(1-\beta)(v-p)]$$

c'est-à-dire seulement si

$$\beta^2 v + \beta[(1+r)c + rp - v] + r(1+r)c - rp \leq 0.$$

Pour déterminer explicitement la condition sur β , on cherche la solution de l'équation du second degré

$$\beta^2 v + \beta[(1+r)c + rp - v] + r(1+r)c - rp = 0.$$

Son déterminant est

$$\Delta = [(1+r)c + rp - v]^2 - 4v[r(1+r)c - rp].$$

Par l'hypothèse 1, $r(1+r)c - rp \leq 0$ et $(1+r)c + rp - v < 0$ donc $\Delta > 0$. L'équation 9 admet donc deux solutions dont une positive donnée par $\bar{\beta} = \frac{v-(1+r)c-rp+\sqrt{\Delta}}{2v}$. Comme la racine carré est sous-additive, on a

$$\bar{\beta} \leq -\frac{(1+r)c + rp - v}{2v} + \frac{rp + (1+r)c - v}{2v} + \frac{2\sqrt{rv(p - (1+r)c)}}{2v}$$

De plus comme la racine carré est une fonction croissante, par l'hypothèse 1, on a

$$\bar{\beta} \leq \sqrt{\frac{r(p - (1+r)c)}{v}} \leq \sqrt{\frac{r(p - (1+r)c)}{rp}}.$$

Donc

$$\bar{\beta} \leq \sqrt{1 - \frac{(1+r)c}{p}} < 1.$$

Une mise sous séquestre réalisable (m_0, m_1) avec $m_0 \neq p$ est donc acceptable seulement si

$$\frac{1}{\beta}[(1+r)c - (1-\beta)p] \leq m_0 \leq \frac{1}{\beta+r}[(1-\beta)(v-p)]$$

avec $\beta \leq \bar{\beta} < 1$.

On suppose maintenant que le profil de séquestre réalisable (m_0, m_1) avec $m_0 \neq p$ satisfait

$$\frac{1}{\beta}[(1+r)c - (1-\beta)p] \leq m_0 \leq \frac{1}{\beta+r}[(1-\beta)(v-p)]$$

avec $\beta \leq \bar{\beta} < 1$ où $\bar{\beta} = \frac{v-(1+r)c-rp+\sqrt{[rp+(1+r)c-v]^2+4rv(p-(1+r)c)}}{2v}$. On va montrer que (m_0, m_1) est acceptable. En examinant les fonctions d'utilité de l'acheteur et du vendeur lorsqu'un contrat est conclu et lorsqu'aucun contrat n'est conclu, on observe qu'un profil de mises sous séquestre est acceptable si

$$\frac{1-\beta}{1+r}(v-m_1) - m_0 \geq 0 \quad \text{et} \quad \frac{1}{1+r}[m_0 + (1-\beta)m_1] - c \geq 0.$$

En utilisant le fait que le profil est réalisable, ces conditions se réécrivent

$$(1 - \beta)(v - p) - (\beta + r)m_0 \geq 0 \quad \text{et} \quad \beta m_0 + (1 - \beta)p - c \geq 0$$

Or par hypothèse,

$$(1 - \beta)(v - p) - (\beta + r)m_0 \geq (1 - \beta)(v - p) - (\beta + r)\frac{1 - \beta}{\beta + r}(v - p) = 0$$

et

$$\beta m_0 + (1 - \beta)p - c \geq \beta \frac{1}{\beta} [(1 + r)c - (1 - \beta)p] + (1 - \beta)p - c = 0.$$

Le profil est donc acceptable.

Etant donné que $p > m_0 \geq 0$ et $p \geq m_1 \geq 0$, les bornes de l'équation 9 ne sont pas toujours contraignantes quand $\beta \leq \bar{\beta}$. On remarque d'abord que lorsque $\beta \leq \frac{v-(1+r)p}{v}$, on a $\beta v \leq v - (1 + r)p$, qu'on peut réécrire $0 \leq v - \beta v - p - pr + \beta p - \beta p$, c'est-à-dire $0 \leq -(\beta + r)p + (1 - \beta)(v - p)$. Donc on a $p \leq \frac{(1-\beta)(v-p)}{\beta+r}$. Or, par hypothèse $m_0 < p$. Ensuite, lorsque $\beta \leq \frac{p-(1+r)c}{p}$, on a $p - (1 + r)c \geq \beta p$, c'est-à-dire $0 \geq (1 + r)c - (1 - \beta)p$ et a fortiori $0 \geq \frac{1}{\beta} [(1 + r)c - (1 - \beta)p]$ Or, m_0 doit être positif ou égal à 0.

Dans la suite de la démonstration, on détermine plus précisément les bornes sur m_0 en fonction des valeurs prises par β .

Lorsque $\beta \leq \min\left(\frac{p-(1+r)c}{p}, \frac{v-(1+r)p}{v}\right)$, les bornes de l'équation 9 ne sont pas contraignantes donc les profils (m_0, m_1) avec $m_0 < p$ sont tous acceptable. Lorsque $\min\left(\frac{p-(1+r)c}{p}, \frac{v-(1+r)p}{v}\right) \leq \beta \leq \max\left(\frac{p-(1+r)c}{p}, \frac{v-(1+r)p}{v}\right)$, avec $\min\left(\frac{p-(1+r)c}{p}, \frac{v-(1+r)p}{v}\right) = \frac{p-(1+r)c}{p}$ seule la borne inférieure est contraignante donc les profils (m_0, m_1) avec $m_0 < p$ acceptables sont ceux qui vérifient $0 < \frac{1}{\beta} [(1 + r)c - (1 - \beta)p] \leq m_0 < p$.

Si $\min\left(\frac{p-(1+r)c}{p}, \frac{v-(1+r)p}{v}\right) = \frac{v-(1+r)p}{v}$ alors seule la borne supérieure est contraignante et les profils acceptables sont ceux qui vérifient $0 \leq m_0 \leq \frac{1}{\beta+r}(1 - \beta)(v - p) < p$.

Enfin, lorsque $\max\left(\frac{p-(1+r)c}{p}, \frac{v-(1+r)p}{v}\right) < \beta \leq \bar{\beta}$, les deux bornes sont contraignantes et les profils (m_0, m_1) avec $m_0 < p$ acceptables sont ceux qui vérifient

$$0 < \frac{1}{\beta} [(1 + r)c - (1 - \beta)p] \leq m_0 \leq \frac{1}{\beta + r} (1 - \beta)(v - p) < p.$$

Lorsque $\beta > \bar{\beta}$, il n'existe aucun profil acceptable. ■

Preuve. [Proposition 4] En l'absence de contrat, on sait que :

$$\begin{aligned}\tilde{c}_0^A + \tilde{\ell}_0^A &= \omega_0^A & (t = 0) \\ \tilde{c}_1^A(s) &= \omega_1^A(s) + (1+r)\tilde{\ell}_0^A & (t = 1, s \in \mathbf{S})\end{aligned}$$

et

$$\begin{aligned}\tilde{c}_0^V + \tilde{\ell}_0^V &= \omega_0^V & (t = 0) \\ \tilde{c}_1^V &= \omega_1^V(s) + (1+r)\tilde{\ell}_0^V & (t = 1, s \in \mathbf{S})\end{aligned}$$

Dans le cas d'un contrat EXW et de classe F, on a donc :

$$u^A(c_0^A, c_1^A) = \omega_0^A - (p + c_T) - \ell_0^A + \frac{1}{1+r} \sum_{s \in \mathbf{S}} \pi(s) \omega_1^A(s) + \frac{1}{1+r} ((1+r)\ell_0^A + v) - \frac{1}{1+r} \alpha d$$

et

$$u^A(\tilde{c}_0^A, \tilde{c}_1^A) = \omega_0^A + \frac{1}{1+r} \sum_{s \in \mathbf{S}} \pi(s) \omega_1^A(s).$$

Donc $u^A(c_0^A, c_1^A) \geq u^A(\tilde{c}_0^A, \tilde{c}_1^A)$ est équivalent à $v - \alpha d \geq p(1+r)$.

Du côté vendeur, les contraintes budgétaires étant les mêmes que dans la section 6, on obtient : $u^V(c_0^V, c_1^V) \geq u^V(\tilde{c}_0^V, \tilde{c}_1^V)$ est équivalent à $p \geq (1+r)c$ (voir preuve de la proposition 1). ■

Preuve. [Proposition 5] Les contraintes du vendeur étant identiques à celles de la section 6, on examine seulement les contraintes de l'acheteur. Supposons que le profil réalisable (m_0, m_1) avec $m_0 \neq p$ soit acceptable et réalisable. On sait que l'inégalité suivante est satisfaite : $u^A(c_0^A, c_1^A) \geq u^A(\tilde{c}_0^A, \tilde{c}_1^A)$. En utilisant les contraintes budgétaires et la définition de l'utilité, on trouve que l'utilité de l'agent associée au contrat EXW ou de type F est définie comme suit : $u^A(c_0^A, c_1^A) = \omega_0^A - m_0 - c_T + \frac{1}{1+r} \sum_{s \in \mathbf{S}} \pi(s) \omega_1^A(s) + \frac{1-\beta}{1+r} (v - m_1) - \frac{1-\beta}{1+r} \alpha d$ ²⁵. De son côté, l'utilité sans contrat de vente est donnée par : $u^A(\tilde{c}_0^A, \tilde{c}_1^A) = \omega_0^A + \frac{1}{1+r} \sum_{s \in \mathbf{S}} \pi(s) \omega_1^A(s)$. On en déduit l'inégalité suivante : $0 \leq -m_0 - c_T + \frac{1-\beta}{1+r} (v - m_1) - \frac{1-\beta}{1+r} \alpha d$, et en utilisant le fait que le contrat est réalisable, c'est-à-dire que $p = m_0 + m_1$, on obtient alors

²⁵Le dommage d est comptabilisé seulement lorsque la transaction a bien lieu avec une probabilité $(1-\beta)$.

$$0 \leq -m_0 + \frac{1-\beta}{1+r}m_0 - c_T + \frac{1-\beta}{1+r}(v-p) - \frac{1-\beta}{1+r}\alpha d$$

Puis

$$m_0 \leq \frac{1}{\beta+r}(1-\beta)(v-p) - \frac{1}{\beta+r}[(1-\beta)\alpha d + c_T(1+r)]$$

■

Preuve. [Proposition 6] Même raisonnement que pour la preuve de la Proposition 4 en intégrant le coût de transport à la contrainte du vendeur. ■

Preuve. [Proposition 7] Même raisonnement que pour la preuve de la Proposition 5 en intégrant le coût de transport à la contrainte du vendeur. ■

Preuve. [Proposition 8] Même raisonnement que pour la preuve de la Proposition 4 en intégrant le coût et le risque de transport aux contraintes du vendeur. ■

Preuve. [Proposition 9] Même raisonnement que pour la preuve de la Proposition 5 en intégrant le coût et le risque de transport aux contraintes du vendeur. ■

Preuve. [Proposition 10] On note $v^A(m_0, m_1) = u^A(c_0^A, c_1^A)$ avec c_0^A et c_1^A donnés par les contraintes budgétaires de l'acheteur. En reprenant les calculs immédiats des preuves précédentes et en utilisant le fait le profil est réalisable, on obtient que l'utilité de l'acheteur est de la forme $v^A(m_0, m_1) = -\frac{\beta+r}{1+r}m_0 + K^A$ où K^A est une constante. De même, $v^V(m_0, m_1) = u^V(c_0^V, c_1^V)$ avec c_0^V et c_1^V donnés par les contraintes budgétaires du vendeur. On obtient que $v^V(m_0, m_1) = \frac{\beta}{1+r}m_0 + K^V$ où K^V est une constante.

On cherche les mises sous séquestre (m_0, m_1) qui maximisent $v^A(m_0, m_1) + v^B(m_0, m_1)$ sous la contrainte que (m_0, m_1) est réalisable et acceptable. On obtient donc que

$$(m_0, m_1) \in \operatorname{argmax}\left\{\frac{-r}{1+r}m_0 \mid (m_0, m_1) \text{ est réalisable et acceptable}\right\}$$

La solution est atteinte sur la borne minimale de m_0 qui rend le profil acceptable. En admettant que le profil (m_0, m_1) est bien réalisable et acceptable, et d'après la Proposition 9 sur les incoterms, cela donne : $m_0 = \max\{0, \frac{1}{\beta}[(1+r)(c+c_T(1-\mathbb{1}_{A_c}) - (1-\beta)(p-\alpha d(1-\mathbb{1}_{A_r})))]\}$. ■

Preuve. [Proposition 11] On pose U l'ensemble des utilités atteignables par les agents qui contractent avec des profils de mises sous séquestre réalisables et acceptables

$$U = \{(z^A, z^V) \mid v^A(m_0, m_1) = z^A, v^V(m_0, m_1) = z^V \text{ et } m_0 + m_1 = p\}$$

avec $v^A(m_0, m_1) = u^A(c_0^A, c_1^A)$ et $v^V(m_0, m_1) = u^V(c_0^V, c_1^V)$. On note Ω^i le revenu intertemporel de l'agent i , c'est-à-dire, $\Omega^i = \omega_0^i + \frac{1}{1+r} \sum_{s \in \mathbf{S}} \pi(s) \omega_1^i(s)$. Si les agents ne contractent pas ils obtiennent les utilités $u^V(\tilde{c}_0^V, \tilde{c}_1^V) = \Omega^V$ et $u^A(\tilde{c}_0^A, \tilde{c}_1^A) = \Omega^A$. On suppose que $\Omega^V \geq v^V(0, p)$ et $\Omega^A \geq \lim_{x \rightarrow p, x \neq p} v^A(p, 0)$. On rappelle que

$$v^A(m_0, m_1) = -\frac{\beta+r}{1+r}m_0 - c_T \mathbf{1}_{A_c} + \frac{1-\beta}{1+r}(v-p - \alpha d \mathbf{1}_{A_r}) + \Omega^A$$

et

$$v^V(m_0, m_1) = \frac{\beta}{1+r}m_0 + \frac{1-\beta}{1+r}[p - \alpha d(1 - \mathbf{1}_{A_r})] - c - c_T(1 - \mathbf{1}_{A_c}) + \Omega^V.$$

Le graphe de la frontière de Pareto de l'ensemble U est donc une fonction affine h de la forme $h(v^V) = -\frac{\beta+r}{\beta}v^V + b$ avec $b \in \mathbb{R}$ où b s'écrit

$$\begin{aligned} b = & \frac{1-\beta}{1+r}(v-p) - c_T \left[\mathbf{1}_{A_c} + \frac{\beta+r}{\beta}(1 - \mathbf{1}_{A_c}) \right] - \frac{1-\beta}{1+r} \alpha d \left[\mathbf{1}_{A_r} + \frac{\beta+r}{\beta}(1 - \mathbf{1}_{A_r}) \right] + \Omega^A \\ & + \frac{\beta+r}{\beta} \left[\frac{1-\beta}{1+r}p - c + \Omega^V \right]. \end{aligned}$$

On peut alors appliquer la Proposition 2.3 de [Muthoo \(1999\)](#). La solution du marchandage de Nash (v^{A^*}, v^{V^*}) est l'unique solution des équations $-h'(v^V) = \frac{\beta+r}{\beta} = \frac{v^A - \Omega^A}{v^V - \Omega^V}$ et $v^A = h(v^V)$ et vérifie

$$v^{V^*} = \Omega^V + \frac{1}{2} \left[\frac{\beta}{\beta+r}b - \frac{\beta}{\beta+r}\Omega^A - \Omega^V \right] \quad \text{et} \quad v^{A^*} = \Omega^A + \frac{1}{2} \left[b - \Omega^A - \frac{\beta+r}{\beta}\Omega^V \right].$$

On obtient que m_0^* est égal à

$$\frac{1}{2} \left[\frac{1-\beta}{\beta+r}(v-p - \alpha d \mathbf{1}_{A_r}) - \frac{1+r}{\beta+r}c_T \mathbf{1}_{A_c} - \frac{1-\beta}{\beta}(p - \alpha d(1 - \mathbf{1}_{A_r})) + \frac{1+r}{\beta}(c + c_T(1 - \mathbf{1}_{A_c})) \right].$$

■

Références

- Agibalova, E. N., Ilovaysky, I. B., Kayl, Y. Y. et Usanova, V. A. : 2019. Use of letter of credit form of payment in the implementation of smart contracts and blockchain technology. Institute of Scientific Communications Conference. Springer. pp. 160–170.
- Asgaonkar, A. et Krishnamachari, B. : 2019. Solving the buyer and seller’s dilemma : A dual-deposit escrow smart contract for provably cheat-proof delivery and payment for a digital good without a trusted mediator. 2019 IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency (ICBC). IEEE. pp. 262–267.
- Bakos, Y. et Halaburda, H. 2021. Blockchains, smart contracts and connected sensors : Substitutes or complements?. NYU Stern School of Business.
- Belu, M. G. 2019. Application of blockchain in international trade : An overview. The Romanian Economic Journal **71**(22), 2–16.
- Brainov, S. et Sandholm, T. : 1999. Contracting with uncertain level of trust. Proceedings of the 1st ACM conference on Electronic commerce. pp. 15–21.
- Ganne, E. : 2018. Can Blockchain revolutionize international trade?. World Trade Organization Geneva.
- Gans, J. S. : 2019. The fine print in smart contracts. Technical report. National Bureau of Economic Research.
- Hofmann, E., Strewe, U. M. et Bosia, N. : 2017. Supply chain finance and blockchain technology : the case of reverse securitisation. Springer.
- Kahn, C. et van Oordt, M. R. 2022. The demand for programmable payments. Available at SSRN.
- Kim, S.-m. : 2021. Payment methods and finance for international trade. Springer.
- Kowalski, M., Lee, Z. W. et Chan, T. K. 2021. Blockchain technology and trust relationships in trade finance. Technological Forecasting and Social Change **166**, 120641.
- Kumar, A. 2019. Escrow transactions and crypto governance. International Journal of Intelligent Computing and Technology **3**, 01–06.

- Molavi, A., Lim, G. J. et Race, B. 2020. A framework for building a smart port and smart port index. International journal of sustainable transportation **14**(9), 686–700.
- Muthoo, A. : 1999. Bargaining theory with applications. Cambridge University Press.
- Niepmann, F. et Schmidt-Eisenlohr, T. 2017a. International trade, risk and the role of banks. Journal of International Economics **107**, 111–126.
- Niepmann, F. et Schmidt-Eisenlohr, T. 2017b. No guarantees, no trade : How banks affect export patterns. Journal of International Economics **108**, 338–350.
- Rosal, I. D. 2016. Factors influencing the choice of delivery terms used in spanish seaborne container trade. International Journal of Shipping and Transport Logistics **8**(3), 318–333.
- Ruslan, Z. 2022. Blockchain letter of credit : A systematic literature review.
- Takahashi, K. 2018. Blockchain technology for letters of credit and escrow arrangements. Banking LJ **135**, 89.
- Toorajipour, R., Oghazi, P., Sohrabpour, V., Patel, P. C. et Mostaghel, R. 2022. Block by block : A blockchain-based peer-to-peer business transaction for international trade. Technological Forecasting and Social Change **180**, 121714.
- Zimbeck, D. 2014. Two party double deposit trustless escrow in cryptographic networks and bitcoin. White Paper pp. 1–3.