

HEC MONTRÉAL

**Amélioration des méthodes d'évaluation de
produits dérivés au Ministère des Finances
du Québec**

Par :
Régis Wadel

Maîtrise ès sciences de la gestion (M. Sc.)
Ingénierie Financière

Déposé le mardi 27 février 2018.

HEC MONTRÉAL
3000, chemin de la Côte-Sainte-Catherine
Montréal (Québec)
Canada H3T 2A7

Projet supervisé
6-002-08

Amélioration des méthodes d'évaluation de produits dérivés au Ministère des Finances du Québec

Par :
Régis Wadel

Sous la supervision de :
Georges Dionne – Professeur titulaire, Département de finance

Résumé

Durant l'été 2017 j'ai eu l'opportunité d'effectuer mon projet supervisé de maîtrise au Ministère des Finances du Québec. Ma mission était de proposer des outils et des méthodes pour améliorer les méthodes d'évaluation des produits dérivés transigés par le ministère. La première partie de ma contribution a consisté en une revue de littérature sur les X-Value Adjustment, la gestion de collatéral et sur les modèles générateurs de taux. La deuxième partie s'est concentrée sur la mise en place d'outils dans le but de calculer les Credit Value Adjustments (CVA) pour l'ensemble du portefeuille des produits dérivés. La troisième partie s'est focalisée sur une méthode d'évaluation des Zero-Coupon Inflation Swaps (ZCIS) du marché canadien.

Pour le calcul de la CVA la première étape consiste à évaluer l'exposition au risque de crédit, un ensemble de méthodes a été passé en revue pour finalement retenir une approche paramétrique proposée par le comité de Bâle III. La méthodologie complète pour l'évaluation de la CVA n'a pu être mise en place par manque de temps, mais pourra être complétée à l'aide de l'exposition au risque de crédit déterminée par l'approche paramétrique implémentée.

Pour ce qui est des ZCIS, la méthodologie choisie consiste en une détermination de l'inflation espérée à l'aide d'obligations gouvernementales. La principale problématique de cette technique est l'ajustement nécessaire à effectuer pour prendre en compte la prime pour la liquidité incluse dans les obligations les moins transigées. Cette prime n'étant pas observable à l'aide des données du marché canadien, elle est alors évaluée à l'aide des données sur les mêmes types d'obligations du marché américain. L'hypothèse d'une prime équivalente sur les deux marchés a alors été testée et semble être valide.

Table des matières :

1. Introduction	5
2. Revue de littérature	7
2.1. XVA's.....	7
2.2. Modèles générateurs de taux	10
2.3. Credit Support Annex	12
3. Exposition au risque de contrepartie	16
3.1. Problématique.....	16
3.2. Méthodologie.....	16
3.3. Bâle III.....	20
4. Produits dérivés indexés sur les rendements réels	23
4.1. Problématique.....	23
4.2. Méthodologie.....	23
4.3. Application au marché canadien.....	27
5. Conclusion.....	34
Figures	35
Références	39
Annexe 1	41

1. Introduction

Durant l'été 2017 j'ai eu la chance d'effectuer mon projet supervisé au Ministère des Finances du Québec plus précisément au département de la « Direction de la gestion de la dette et de la modélisation financière » (DGDMF). Mon mandat au sein de l'équipe était d'effectuer une récitation des écrits dans le but d'améliorer et de compléter les modèles utilisés ou d'en créer de nouveaux. Le projet s'est divisé ainsi en deux phases, une première de recherche académique et une deuxième phase consistant à implémenter les concepts et idées tirés de cette recherche. Bien évidemment mes activités de recherches se concluaient par la rédaction d'une note partagée en interne avec les autres membres du département en plus de la phase d'implémentation. Mes sujets de recherche étant dépendant tant de l'avancement de mon travail que des activités de mes collègues, le mandat initial qui m'avait été attribué a quelque peu évolué au cours des semaines. Néanmoins le cadre général de mon travail est resté le même, c'est-à-dire améliorer les outils d'évaluation de produits dérivés transigés par le Ministère.

En effet sur le marché, le Ministère des Finances n'est pas un animateur de marché (« Market Maker »). La majorité du temps il transige des produits dérivés over-the-counter (OTC). Son rôle n'est pas de fournir un prix lorsqu'il fait affaire avec un contrepartiste, mais de vérifier et analyser les prix qui sont proposés. Cette position sur le marché implique donc qu'il n'y a pas d'équipe spécialisée dans l'évaluation de produits dérivés comme l'on peut trouver dans la plupart des grandes institutions financières, ce qui a pour conséquence que les modèles présents restent peu élaborés et améliorables par rapport à ce que l'on pourrait trouver chez d'autres acteurs du marché.

En tant que stagiaire j'avais ainsi un champ de recherche vaste et profond sur différents points d'amélioration envisageable, ce qui explique notamment la divergence de mes activités par rapport au projet initial.

Depuis la crise de 2008 la gestion des transactions sur produits dérivés a évolué pour mieux gérer les risques de contrepartie et les coûts de financement. La valorisation de ce type de produits financiers est maintenant ajustée pour prendre en compte un maximum de facteurs. Ces ajustements sont appelés X-VA, pour X-Value Adjustment. Cette méthode d'évaluation,

étant relativement récente, n'est pas pleinement maîtrisée par de nombreux acteurs du marché et est sujette à des améliorations régulières issues de la recherche dans le domaine. Une autre conséquence de la dernière crise est la popularité croissante des demandes de garanties dans le but de faire face au risque de crédit. Ces garanties sont généralement assurées sous forme de collatéral échangé lors de la transaction. La recrudescence de ce type de garantie nécessite donc l'amélioration d'outils et modèles d'estimation de produits dérivés pour prendre en compte ce facteur.

Finalement mon intervention a été divisé en trois parties. La première partie de mon travail a consisté à effectuer une revue de littérature sur les théories traitantes des X-VA ainsi que sur les pratiques du marché, ceci incluant notamment la modélisation des taux sans risque préalables à l'application des X-VA. Ensuite à la lumière de mes recherches, mes activités ont été orientées sur l'implémentation du modèle de calcul du capital règlementaire selon les normes de Bâle III, dans l'objectif de fournir une première méthode d'évaluation du Credit Value Adjustment. Enfin la fin de mon mandat s'est concentrée sur l'implémentation d'une méthode pour évaluer l'inflation espérée du marché canadien à l'aide des données de marché, sans passer par une approche économique, dans le but d'optimiser l'évaluation du rendement à exiger sur les différents produits financiers influencés par ou ayant comme sous-jacent l'inflation ou le rendement réel de l'économie canadienne.

Le reste de mon rapport est divisé en quatre parties. La section 1 sera une revue de littérature sur les X-VA, les modèles générateurs de taux et le Credit Support Annex. La section 2 se concentrera sur la problématique liée à l'exposition au risque de contrepartie. La section 3 sera dirigée sur la problématique liée aux produits dérivés indexés sur les rendements réels. Enfin la section 4 fournira un résumé des résultats obtenus et quelques remarques en conclusion.

2. Revue de littérature

2.1. X-VA's

Une conséquence de la crise de 2008 a été le développement des transactions incluant un collatéral pour réduire le risque de crédit. Mais l'inclusion d'un collatéral dans les transactions nécessite la prise en compte de termes d'ajustements pour déterminer le prix des produits dérivés. Ces charges sont appelées X-VA (X-Value Adjustment) et il en existe de nombreuses : Credit value adjustment, Debit value adjustment, Funding value adjustment, Margin value adjustment, Collateral value adjustment, Capital value adjustment, etc.). Nous procéderons ici à une revue des X-VA les plus communes ainsi que des pratiques du marché relatives à celles-ci, en nous appuyant notamment sur les sondages de Deloitte (2013) et la contribution de John Gregory (2015).

Credit value adjustment (CVA)

Elle représente un ajustement par rapport à la valeur sans risque du produit dérivé pour tenir compte de la probabilité de défaut du contrepartiste. La CVA dépend de 3 paramètres qui sont le taux de recouvrement en cas de défaut, l'exposition espérée au moment du défaut et la probabilité de défaut. La CVA peut également être exprimé en tant que « spread ». Elle ne dépend alors que de l'espérance d'exposition moyenne et du « credit spread » du contrepartiste. La CVA est définie et utilisée de différentes façons selon le département. Il y a la CVA comptable à rentrer dans les livres et archives, la CVA pour le front office qui sert à tarifier les nouvelles transactions, la CVA des régulateurs qui sert à déterminer le capital requis.

Dans la pratique 70% des institutions interrogées par Deloitte utilisaient la « Current exposure method » pour calculer le capital associé CCR (counterparty credit risk) et 30% utilisaient un model interne utilisant le alpha donné par la réglementation mais la plupart envisageaient dans le futur de migrer vers un modèle interne.

Des sondages ont été effectués par Solum Financial pour se renseigner sur les façons dont les acteurs du marché utilisent les CVA et dans la pratique la plupart des CVA calculées (64%) l'étaient dans le cadre des transactions sur taux d'intérêt, provenant principalement des swaps

de taux d'intérêt. Pour ce qui est du partage des modèles entre le front office et le département de gestion des risques seulement un tiers des sondés partageaient leur modèle entre ces deux unités, un autre tiers ne le partageait pas mais prévoyait de le faire dans le futur et le dernier tiers ne le partageait pas et n'avait pas prévu le faire. Cela vient du fait que le front office a besoin d'un modèle très rapide et précis et ne se concentre que sur une petite partie du portefeuille global, tandis que le département de gestion des risques et les régulateurs doivent couvrir une très large population de transactions. C'est pourquoi le système n'a pas besoin d'être aussi sophistiqué, rapide et bien calibré. La méthodologie utilisée pour 80% des institutions est la simulation Monte Carlo pour simuler l'exposition, la fréquence de calcul étant généralement quotidienne parfois overnight selon les nombres de paramètres. Pour certaines institutions le calcul n'était fait que de manière hebdomadaire. Le modèle de taux utilisé est le Libor Market Model (LMM) développé par Brace, Gatarek et Musiela (1997) en majorité car il est plus intéressant pour ce qui est de la calibration de la volatilité et la tarification des produits exotiques, mais le modèle de Heath, Jarrow et Morton (HJM) (1990) est également utilisé. Néanmoins beaucoup de raccourcis sont faits pour ne pas dépasser les capacités de calcul. Par exemple, la volatilité stochastique est trop complexe pour être incluse dans les modèles d'approche de la CVA. La corrélation entre les produits dérivés, utile au calcul de la CVA, est déterminée majoritairement à l'aide des données historiques. De plus seulement 31% des modèles prenaient en compte le Wrong-Way Risk dans leur calcul CVA mais plusieurs avaient l'intention de le faire dans le futur selon le sondage de Solum Financial (2013). Le taux d'actualisation utilisé comme taux sans risque est le taux OIS dans 90% des modèles, avec une partie utilisant même un modèle de taux stochastique.

Margin Value Adjustment (MVA)

Elle se réfère à tous les coûts associés à la marge initiale ou aux variations de marge sur l'échange de collatéral. La MVA dépend de quatre paramètres principaux qui sont l'espérance de la marge initiale, le coût de financement lié au transfert de la marge initiale, la rémunération de la marge initiale et la probabilité de survie. La principale difficulté dans l'évaluation de la MVA est le calcul de l'espérance de la marge initiale. Elle est généralement calculée à l'aide de simplifications de la VaR (Valeur à risque) traditionnelle impliquant notamment des approximations d'évaluation comme « delta » et « gamma » ou à l'aide de simulations Monte Carlo.

Capital Value Adjustment (KVA)

Elle se réfère à l'ajustement du prix du contrat pour prendre en compte le capital réglementaire requis pendant la durée de vie du contrat. Ce capital est un coût puisqu'il requiert un retour sur investissement. Les paramètres à prendre en compte dans le calcul de la KVA sont le capital requis espéré, le coût du capital et la probabilité de survie. L'une des particularités de la KVA est qu'elle doit être calculée pour l'ensemble du portefeuille. Elle ne devrait pas être calculée pour une transaction en particulier puisque les transactions dans des buts de couverture nécessitent aussi du capital. Le paramètre le plus difficile à évaluer est le capital espéré. Il peut être déterminé selon la Current Exposure Method (CEM), la Standardised approach for counterparty risk (SA-CCR) ou l'Internal model method (IMM). La pratique a montré l'importance de la KVA à parmi les XVA. C'est pourquoi une attention particulière devrait être portée sur le calcul de celle-ci. Elle devrait ainsi être gérée et couverte pour l'ensemble du portefeuille. Dans la pratique pour 80% des institutions sondées la KVA est incluse dans l'évaluation des transactions et la KVA a un impact modéré voir important sur la gestion, même si pour le moment les standards comptables n'obligent pas à inclure la KVA dans la fair value des portefeuilles de produits dérivés, la fair value devant simplement refléter le prix que la compagnie aurait à payer pour sortir de la position.

Certains spécialistes estiment que les banques pourraient utiliser un benchmark pour déterminer leurs coûts de KVA en prenant une moyenne de l'industrie comme font les banques pour calculer la composante FVA d'un prix de sortie. Les deux principes utilisés pour le calcul de la KVA par l'industrie sont l'estimation du capital consommé sur la durée de vie du produit dérivé et l'estimation basée sur le prix de la transaction évaluée à l'aide des trajectoires futures. La façon exacte pour calculer la KVA est la méthode appelée Nested Monte Carlo, mais celle-ci est lente et très complexe. Une méthode d'approximation couplée à une simulation Monte Carlo est alors utilisée, cela permet d'obtenir un résultat satisfaisant en faisant moins de simulations. Dans la pratique le Nested Monte Carlo est très peu utilisé et seulement deux répondants sur neuf affirment utiliser une méthode d'approximation, quatre répondants utilisent un ROE sur les transactions et trois répondants utilisent une autre méthode non précisée. Pour le calcul de la KVA, 100% des sondés incluent le risque de

contrepartie, 70% incluent le CVA capital et le ratio de levier, 60% incluent le Market Risk Capital. Pour ce qui est de l'importance, quatre répondants sur neufs estiment que la KVA est la X-VA la plus importante. Trois quarts de ceux-ci estiment que la CVA est la deuxième plus importante. Deux répondants estiment que c'est la CVA qui est la X-VA la plus importante.

Collatéral Value adjustment (CoIVA)

Elle se réfère aux ajustements de valeurs faits pour tenir compte des différences dans les termes du contrat par rapport à un accord de garantie parfait. Cela comporte principalement deux éléments qui sont la différence de rémunération du collatéral payé ou reçu par rapport au taux d'actualisation et les différentes options à propos du collatéral posté ou reçu.

2.2. Modèles générateurs de taux

Le principal avantage de l'évaluation selon la méthode des X-VA est que le taux de rendement à utiliser dans le modèle est un taux sans risque unique. Le taux n'a plus besoin d'être estimé pour chaque contrepartiste, pour chaque type de produit dérivés... Les ajustements ne se font plus à l'aide du taux exigé mais à l'aide des ajustements effectués à postériori. Il existe différents taux qui sont appelés « taux sans risque » dans la littérature. Ici nous étudierons les différents modèles utilisés à travers le temps. Le LIBOR market model est un modèle qui sert à déterminer les taux forward à partir des taux forward qui déterminent le prix des caps et des swaptions européennes observables sur le marché. L'idée principale du calcul est d'exprimer le taux forward dans l'univers forward-neutre, avec comme numéraire le prix d'un zéro coupon. Le taux forward est une martingale. Il est alors possible d'assumer que chaque taux forward suit une loi log normale et que chaque taux forward a une volatilité qui dépend du temps et d'une corrélation avec les autres taux forward dépendants du temps aussi.

Le calcul final des taux forward se fait par simulation Monte Carlo puisqu'ils ne peuvent pas être représentés par des arbres recombinaux. Il y a plusieurs méthodes pour calibrer la

volatilité et la corrélation utilisée dans le modèle. Il est possible d'utiliser une analyse des données historiques, l'utilisation des données de marché actuelles (caplets et les swaptions européens par exemple) ou encore choisir la calibration des paramètres selon des anticipations personnelles du marché futur. Le Libor Market Model est une bonne base pour l'évaluation de taux mais il reste très simpliste et ne prend pas en compte de nombreux aspects auxquels sont confrontés les agents du marché dans la réalité comme la présence de collatéral, les produits en devise étrangère, les produits complexes... C'est pourquoi différentes extensions à ce modèle sont apparues dans le but d'être en mesure d'obtenir la meilleure évaluation pour tous les produits existants sur le marché.

Nous allons donc examiner certaines de ces extensions. Avant l'apparition du LMM le modèle de courbe de taux proposé était celui de David Heath, Bob Jarrow et Andy Morton (HJM) (1987) mais ce dernier présentait deux inconvénients majeurs : le modèle se fonde sur les taux forward instantanés qui ne sont pas observables directement et son calibrage est délicat. C'est pourquoi Brace, Gatarek et Musiela (BGM) (2004) tout comme Jamshidan, Sandmann et Sondermann (1997) ont proposé un nouveau modèle qui est le LMM. Avant la crise de 2008 le taux sans risque utilisé sur les marchés était le taux LIBOR (London Interbank Offered Rate) mais celui-ci comprenait une portion de risque de contrepartie. Alors lors de la crise de liquidité de 2008, l'écart de taux entre le taux OIS et LIBOR, qui était minime auparavant, atteignit des valeurs non négligeables au point que le marché fut obligé de migrer vers le taux OIS (Overnight Index Swap) comme référence pour le taux sans risque dans l'évaluation des produits dérivés avec présence de collatéral. Un swap overnight est un swap de taux d'intérêts entre une patte fixe et une patte flottante où le taux flottant est indexé selon un taux d'intérêt overnight. Le taux OIS quant à lui représente le coût, répété sur une longue période, d'emprunts overnight. Il est considéré comme étant le taux le plus proche du taux sans risque puisque le risque de crédit pour un emprunt overnight est très proche de zéro.

En comparaison au taux Libor qui lui est relatif à des prêts de plus longues durées (1 mois, 3 mois, 6 mois...) le taux OIS est inférieur puisqu'il a un risque de crédit plus faible. La différence entre ces deux taux est appelé le « OIS-Libor spread ». En général ce spread est très faible mais en période de crise ce spread s'accroît et peut atteindre plusieurs dizaines de points de bases comme cela s'est produit durant la crise de 2008. Dans cette situation de crise

le spread n'est alors plus négligeable. Le taux OIS est donc le taux à utiliser dans l'évaluation de portefeuille de produits avec collatéral, évaluation dans laquelle on tiendra compte des différentes X-VA. Il est à noter que la publication du taux OIS se fait un jour après la date de maturité, et jusqu'à ce moment le taux payé par le payeur flottant n'est pas connu. Les swaps OIS ont une maturité, en général, inférieure à trois mois, mais les transactions à maturité supérieur à 5 ans deviennent de plus en plus communes sur le marché.

Selon les devises, il existe différents indices d'OIS les plus connus étant le FED FUNDS pour l'USD, le SONIA pour la GBP et l'EONIA pour l'Euro. Le taux pour chaque indice est calculé chaque jour en prenant la moyenne des taux overnight payés par les institutions financières dans la journée. La construction de la courbe des taux OIS se fait directement à l'aide d'une méthode de bootstrapping s'appuyant sur les taux OIS cotés. On sépare alors la courbe en deux parties. Pour la partie court terme (jusqu'à deux mois environ) les taux OIS sont relativement stables d'une journée à une autre entre les « Monetary Policy meeting dates ». Ils sont donc considérés comme constants, mais autour de ces dates les taux ont un comportement de saut. Dans la pratique un facteur d'actualisation journalier est utilisé pour cette zone de courbe pour produire un taux OIS « lissé ». Pour la partie long terme les méthodes classiques de bootstrapping et d'extrapolation sont utilisées. Les courbes OIS peuvent également être utilisées dans le cas où le collatéral est dans une autre devise, ou pour le cas des « Cross Currency Swap » par exemple. Dans ce cas il est possible à partir des courbes OIS de chacune des devises de déterminer par bootstrapping la courbe LIBOR associée à la monnaie pour ensuite déterminer la courbe « cross currency ».

2.3. Credit Support Annex

Comme expliqué précédemment, les échanges de collatéral comme dépôt de garantie sont de plus en plus communs sur les marchés. On assiste alors au développement des « Credit Support Annex » ou « CSA » et à une complexification pour tenter d'en réduire ses faiblesses exposées par Edmund Parker et Aaron McGarry (2009). Ce sont des documents légaux qui servent à la régulation de la gestion du collatéral pour les transactions de produits dérivés. La maîtrise des CSA est indispensable pour une bonne gestion des différentes X-VA. L'instauration de ces dernières tire son origine du fait qu'il n'y ait pas d'obligation légale de déposer du collatéral en garantie sur le marché OTC. C'est dans le cadre d'un ISDA Master Agreement qu'il est possible

d'inclure un CSA dans la transaction pour réduire le risque de contrepartie en trouvant un accord sur un dépôt de collatéral comme garantie. L'ISDA Master Agreement est un cadre bilatéral qui contient les termes et conditions gouvernant les transactions de produits dérivés OTC. Il couvre plusieurs types de transactions sous un cadre général à l'aide d'un noyau auxquelles viennent s'ajouter de nombreux termes ajustables à chaque opération. Ces termes soumis à l'accord des deux parties ont pour but de prendre en compte tout ce qui a rapport aux compensations (« netting »), au collatéral, à la résiliation de contrat, à la définition du défaut et au processus de liquidation principalement. Le rôle principal de L'ISDA Master Agreement proposée par l'« Association Internationale des Swaps et Dérivés » (2013) est de réduire les incertitudes légales et de fournir les mécanismes relatifs à la réduction du risque de contrepartie. Le CSA doit être suffisamment général pour prendre en compte tous les scénarios futurs possibles et il couvre l'ensemble des paramètres relatifs aux éléments suivants :

- Le timing et la méthode d'évaluation du sous-jacent.
- Le calcul du montant de collatéral à échanger. Ce calcul doit prendre en compte le seuil, c'est-à-dire le montant en deçà duquel aucun collatéral n'est échangé. Il doit aussi prendre en compte la marge initiale, c'est-à-dire le montant minimal qui doit être déposé peu importe la valeur du sous-jacent. La marge initiale est généralement calculée en tant que pourcentage du montant nominal de la transaction. De plus le CSA doit également inclure les informations sur les montants minimaux à échanger et sur les arrondis.
- Les mécanismes et le timing de transfert de collatéral.
- Les types de collatéraux éligibles.
- La substitution de collatéral.
- La résolution des conflits.
- La rémunération du collatéral déposé.
- Les « haircuts » applicables, soit les réductions de valeur de l'actif déposé en garantie pour tenir compte du fait que son prix peut chuter entre le dernier appel de collatéral et la liquidation s'il y a défaut. Les « haircuts » sont ajustées selon la volatilité de l'actif, sa liquidité, sa maturité, son risque de défaut et le « wrong way risk ».
- La réutilisation ou la ré-hypothèque des titres déposés en collatéral.
- Les événements impactant la valorisation du collatéral, notamment sa relation avec la qualité de crédit du contrepartiste.

Les termes d'un CSA peuvent être modifiés au cours de la durée de vie d'un contrat, mais cela reste un processus lourd nécessitant un accord bilatéral et ne doit donc pas provenir d'un changement de conditions de marché. Ce manque de flexibilité du CSA est un facteur à l'origine du risque de liquidité de financement. Les types de CSA diffèrent selon les types de contrepartistes engagés dans la transaction, notamment selon leurs capacités ou non à déposer du collatéral en garantie. Il existe trois situations possibles à propos du collatéral déposé. S'il n'y a pas de collatéral, alors il n'y a pas de CSA, s'il y a dépôt de collatéral de la part des deux parties, on est alors en présence d'un « two-way CSA » et s'il y a dépôt de collatéral de la part d'un seul parti, on est alors en présence d'un « one-way CSA ».

Historiquement sur le marché OTC les conditions posées sur le collatéral sont principalement liées à sa qualité de crédit, puisque les complications arrivent lorsqu'il y a dégradation de la cote de crédit du collatéral déposé en garantie. Il faut alors procéder à une augmentation du montant en dépôt pour compenser. Un problème majeur lié à cette situation est que le changement effectif de cotation peut se produire relativement tard par rapport à la dégradation de qualité de crédit réelle.

Il est très courant que les types de collatéraux éligibles incluent des titres en différentes devises. Si l'on combine ceci avec le fait qu'il y est possible d'effectuer des substitutions de collatéral, alors l'évaluation du collatéral doit être ajustée pour tenir compte des possibles substitutions de collatéral sur la durée de vie du contrat. Ce droit, appelé « optionalité de collatéral », a une certaine valeur qui doit être prise en compte dans le prix de la transaction, mais la valeur de ce droit est complexe à estimer. Il y a deux types de CSA permettant de rédiger les termes spécifiques au collatéral : l'« English Law » et le « New-York Law ». Bien qu'ayant de nombreux points communs ils se distinguent sur un point majeur, sous l'« English Law » les CSA sont considérés comme des transactions à part entière, c'est-à-dire qu'il y a transfert complet de propriété des titres déposés en collatéral. Cette nuance a un impact majeur lorsque l'une des parties souhaite effectuer une substitution de collatéral. Il est alors nécessaire d'obtenir l'accord du contrepartiste pour effectuer ce changement. Dans la pratique la plupart des demandes de substitution sont autorisées mais il arrive, en particulier en temps de crise, que ce type de requête soit refusé. La plupart des acteurs du marché s'accordent pour dire que pour les transactions faites en présence de collatéral, le taux d'actualisation utilisé devrait être le taux

OIS associé à la devise du collatéral échangé, et ceci peu importe les devises échangées dans la transaction sous-jacente. Le taux d'actualisation se base alors sur celui du collatéral « cheapest-to-deliver » (CTD) à chaque jour, c'est-à-dire celui dans la devise dont le taux de retour sur collatéral est le plus élevé. Néanmoins la devise CTD d'aujourd'hui n'est pas nécessairement la même que celle de demain. Il faudrait donc théoriquement construire la courbe CTD pour la durée de vie de la transaction et effectuer des substitutions de collatéral à chaque changement de devise optimal. La méthode de construction de la courbe CTD commence par la construction de la courbe des taux pour chaque type de collatéral (Cash, Treasury Bonds, Corporate Bonds...) et ceci pour chaque devise. Puis chacune de ces courbes est convertie dans une unique devise choisie afin de les comparer. On construit ensuite la courbe en choisissant pour chaque point de la courbe la devise la plus intéressante. C'est un processus qui peut être long puisque cela nécessite de modéliser beaucoup de courbes si le nombre de devises et/ou de types de collatéral est élevé.

Dans la pratique les méthodes sont différentes. Certains utilisent la courbe CTD, d'autres utilisent la devise qui est la moins chère aujourd'hui sur toute la durée de vie du contrat, mais la plupart se basent sur les taux d'actualisation à terme pour construire la courbe de valeur intrinsèque selon Justin Clarke (2013). Les principales difficultés avec ces méthodes sont la gestion du risque et la gestion de la liquidité puisque ces techniques peuvent nécessiter d'importantes substitutions d'actifs. Dans le but de standardiser les pratiques dans la gestion de collatéral pour les produits OTC, l'International Swaps and Derivatives Association (ISDA) a mise en place le Standard Credit Support Annex (SCSA). Il sert principalement à supprimer l'optionnalité du CSA actuel en imposant un type de collatéral pour chaque devise transigée. À chaque transaction sera assigné l'un des 17 « Designated Collateral Currency (DCC) Silos ». De plus le SCSA préconise l'utilisation de cash seulement comme collatéral éligible pour les variations de marge. Sous le SCSA les calculs d'exposition des produits dérivés et du collatéral déposé en garantie sont regroupés par devises similaires, ou en « silos ».

Chaque « silo » de devise est alors évalué indépendamment et le collatéral est ajusté pour cette devise. Si l'une des parties décide de déposer du collatéral dans une autre devise que celle du « silo » associé à la transaction, le « collatéral rate » sera ajusté de manière à ce qu'il retranscrive les effets économiques de la devise standard. Si la devise de la transaction n'est

pas incluse dans les différents « silos » on lui assigne alors le « silo » USD. Le collatéral sera donc constitué du USD en cash ou d'une autre devise ajustée au USD. L'avantage du SCSA est qu'il fournit un cadre d'évaluation homogène entre les différentes transactions en promouvant par exemple l'adoption du facteur d'actualisation OIS. Le SCSA sert également à appliquer les nouvelles réglementations mises en place par les autorités financières, par exemple pour ce qui est des niveaux de marge requis. En effet le SCSA est modifié régulièrement pour que les transactions, sous le contrôle de celui-ci, puissent satisfaire aux nouvelles obligations imposées par les régulateurs. Pour le moment l'utilisation du SCSA n'est pas obligatoire, les acteurs du marché ont encore le choix entre l'utilisation du CSA actuel ou du SCSA, mais l'ISDA encourage fortement l'utilisation du SCSA.

3. Exposition au risque de contrepartie

3.1. Problématique

Dans le but d'évaluer la CVA pour les transactions sur produits dérivés il est nécessaire dans un premier temps de mettre en place une méthode d'évaluation du risque de contrepartie du portefeuille actuel et des transactions futures. Cette évaluation est compliquée car les contrepartistes sont multiples et les produits financiers complexes, impliquant notamment plusieurs devises et ceci sur des maturités très longues (parfois plus de trente ans). La première partie de cette section s'est concentrée sur une revue de littérature des différentes méthodologies existantes.

3.2. Méthodologie

Le risque de contrepartie est le risque que l'entité avec laquelle on s'est engagé ne soit pas en mesure de remplir ses obligations contractuelles. L'exposition quant à elle est le gain non réalisé sur un contrat à valeur positive lorsque le contrepartiste fait défaut. On parle d'une exposition à valeur négative pour une partie lorsque celle-ci a une dette envers une autre contrepartiste et doit légalement régler ce montant. A l'inverse on parle d'exposition à valeur positive lorsqu'une partie est engagée dans une transaction où c'est le contrepartiste qui a une dette envers elle. Dans une transaction l'exposition à laquelle on s'intéresse est l'exposition

positive puisque c'est celle qui engendrera des pertes si notre contrepartiste fait défaut. L'exposition est donc définie comme suit:

$$\textit{Exposition} = \max(\textit{Valeur du contrat}, 0) \quad (1)$$

De la même manière on peut calculer la perte engendrée aux autres contrepartistes dans le cas où l'on fait défaut, c'est ce qu'on appelle la « Negative exposure ». Elle est calculée de la manière suivante selon John Gregory (2015) :

$$\textit{Negative exposure} = \min(\textit{Valeur du contrat}, 0) \quad (2)$$

L'une des particularités du risque de contrepartie est sa nature asymétrique. En effet si la valeur de l'exposition est positive il y a un risque de perte, mais si celle-ci est négative il n'y a aucun gain associé. Le profil de risque est comparable à celui d'une position short sur une option.

Même s'il peut être intéressant de calculer l'exposition actuelle ou passée liée à un portefeuille, c'est généralement l'exposition future qui nous intéresse. Si l'exposition actuelle peut être connue de manière certaine, l'exposition future doit être envisagée sous un œil probabiliste puisque les mouvements de marché et des termes contractuels à venir sont incertains. Quantifier le risque d'exposition est très difficile puisqu'il est influencé par de nombreuses variables sur de très longues périodes. Il existe différentes méthodes pour mesurer l'exposition :

- La valeur future espérée (Expected Future Value - EFV) : c'est la valeur future espérée (moyenne) calculée selon une mesure de probabilité choisie.
- L'exposition future potentielle (Potential Future Exposure - PFE) : c'est l'exposition qui ne sera pas dépassée pour un niveau de confiance choisi (ex : 99%).
- L'exposition espérée (Expected Exposure - EE): c'est la moyenne des expositions positives futures.
- La PFE maximum : c'est le maximum de la PFE atteint au cours d'un intervalle de temps donné.
- L'exposition positive espérée (Expected Positive Exposure - EPE) : c'est la moyenne pondérée de toutes les EE au cours du temps, si les points sont espacés de manière égale alors c'est simplement la moyenne.

- L'exposition négative (Negative Exposure - NE): celle-ci représente l'exposition du point de vue d'un contrepartiste, de la même manière que pour l'exposition positive on peut calculer la NEE et la ENE.
- L'effective expected positive exposure (EEPE) : c'est un terme utilisé exclusivement dans le calcul de capital réglementaire qui représente la moyenne de l'« effective expected exposure », qui est elle-même une version non décroissante de l'exposition espérée.

Sur la figure 1 en annexe est représentée la variation dans le temps de chacune de ces mesures d'exposition dans le temps pour un produit dérivé choisi arbitrairement. L'évolution de chacune de ces mesures pendant la durée de vie d'un contrat, ici vingt périodes, montre bien la différence qu'il existe entre chacune d'entre elles. Certaines comme la PFE ou le maximum de la PFE peuvent être pertinentes dans un contexte de gestion des risques. En effet elles permettent de quantifier les expositions extrêmes auxquelles il est possible de faire face sur une position donnée. Alors que l'exposition espérée aura d'avantage tendance à être utilisée dans le cadre de la tarification de produit espéré puisque c'est une représentation de l'exposition moyenne au risque de défaut du contrepartiste.

Dans la littérature trois principales approches sont présentées comme étant celles les plus couramment utilisées, si l'on ne prend pas en compte les approches mises en place en interne par les grandes institutions. Les approches internes, bien que très performante, restent néanmoins complexes et non divulguées publiquement. Ainsi tenter de reproduire de tels modèles représenterait une tâche presque impossible. Dans le but de l'instauration d'une telle mesure, une étude de la littérature a été effectuée et trois approches principales se sont dégagées.

L'approche paramétrique

L'approche récente proposée par le Comité de Bâle III pour déterminer le risque de contrepartie est appelée la « Standardised Approach for measuring Counterparty Credit Risk exposure » (SA-CCR). Elle a pour but de remplacer les deux méthodes non internes déjà existantes que sont la « Current Exposure Method » (CEM) et la « Standardised Method » (SM). Ces méthodes servent à mesurer l'« exposure at default » (EAD) des contrepartistes. Les anciennes méthodologies présentaient d'importants défauts, aucune des deux ne faisaient la distinction entre les transactions avec et sans collatéral et elles ne modélisaient pas

suffisamment bien la volatilité lors des périodes de stress par exemple. La SA-CCR présentée par la « Bank for International Settlement » en mars 2014 prend en compte de deux facteurs : le « Replacement cost (RC) » et la « Potential future exposure » (PFE). On a alors :

$$\text{Exposure at default} = \text{EAD} = \alpha * (\text{RC} + \text{PFE})$$

Avec le "*alpha*" fixé par le Comité de Bâle à 1.4 et les deux autres facteurs sont calculés selon une méthodologie fournie par le comité de Bâle.

L'approche par méthode semi-analytique

La méthode semi-analytique est une méthode qui permet de calculer l'exposition d'une manière plus élaborée que par la méthode paramétrique tout en étant plus rapide que la simulation Monte-Carlo. Elle repose sur deux principes majeurs qui sont la mise en place d'hypothèses simples sur les facteurs de risque et la détermination de la distribution des variables associées aux facteurs de risque. À l'aide de ces deux principes l'on peut alors approximer de manière semi-analytique une mesure de risque pour la distribution de l'exposition future à l'aide de formules établies. De nombreuses formules simples ont été décrites dans la littérature pour différents produits, comme les swaps de taux d'intérêt en devise unique (Sorensen and Bollier (1994)) ou les « cross currency swap » (Brigo and Masetti (2005b)). Cette méthode est particulièrement adaptée pour évaluer l'exposition d'une seule transaction mais montre ses limites lorsqu'il s'agit de calculer l'exposition d'un portefeuille complet ou de produits plus complexes. En effet il n'est pas toujours possible de déterminer la distribution des différentes variables en jeu où alors cela nécessite d'effectuer des approximations importantes qui rendent le résultat final peu représentatif de la réalité. De plus cette méthode ne permet pas d'évaluer les produits dérivés dits « path-dependant » comme les options asiatiques par exemple. Enfin cette méthode ne permet pas la plupart du temps la prise en compte du « netting » ce qui est un aspect crucial dans l'évaluation de portefeuilles de titres.

L'approche par simulation Monte-Carlo

L'approche Monte-Carlo est un outil puissant pour mesurer l'exposition au risque de contrepartie puisque cette méthode peut être appliquée à tous types de produits dérivés et de portefeuilles des plus simples au plus complexes. Selon la capacité de calcul, les besoins de

précision et de sensibilité, la simulation Monte-Carlo peut montrer certaines limites, mais elle reste la principale méthode utilisée par les acteurs du marché. Pour le domaine de la gestion des risques, la simulation Monte-Carlo doit représenter au mieux les possibles scénarios de marchés futurs. Pour la calibration du modèle un compromis est fait entre accessibilité des données et utilisation du modèle. Par exemple pour le calcul des corrélations les acteurs du marché utilisent majoritairement les données historiques (mesure monde réel) du fait que les produits servant à déterminer les corrélations implicites sont peu nombreux et peu liquides sur le marché (ex: option basket). La méthode de calcul d'exposition par simulation est donc la seule qui peut être utilisée avec précision pour un portefeuille complexe, mais c'est celle qui nécessitera le plus de travail d'implémentation, de calibration et d'optimisation pour être utilisable dans un contexte de gestion des risques qui nécessite un suivi quotidien de l'exposition.

3.3. Bâle III

L'approche finalement sélectionnée par le directeur de la DGDMF a été l'approche paramétrique de Bâle III, la « Standardised approach for measuring counterparty credit risk exposure » (SA-CCR) pour différentes raisons. Cette méthode présente de nombreux avantages dans le contexte de l'institution. C'est d'abord une méthode explicite et relativement simple à mettre en place. Ensuite l'exposition obtenue étant utile pour le calcul du capital réglementaire exigé par Bâle III, un tel processus pourrait être repris dans le futur pour installer le processus complet requis par les accords de Bâle III. Néanmoins, même si cette méthode d'évaluation joue très bien son rôle elle suscite quelques critiques (Roth Ulrich, May 2017). Si globalement l'instauration de cette nouvelle régulation est une réussite, il y a certains détails qui sont aujourd'hui sujets à débat et des voix s'élèvent pour réclamer du changement. En effet depuis l'instauration de la SA-CCR en 2014, les acteurs du marché ont eu l'occasion de tester cette méthode et d'analyser les résultats obtenus avec celle-ci

Pour ce qui est des résultats, la SA-CCR a rempli sa mission initiale qui était de fournir une méthode acceptable pour remplacer la « Current Exposure Method » (CEM), mais une étude de l'ISDA et de la FIS a montré que la SA-CCR pouvait être une méthode plus sévère que la CEM pour certains portefeuilles, par exemple pour les portefeuilles de swap de taux

d'intérêts. Cette étude montre que pour les transactions sans marge, l'« exposure at default » (EAD) est 2.5 fois plus grande avec la SA-CCR qu'avec la méthode du modèle interne et 2.3 fois plus grande en comparaison avec la CEM. Pour les transactions avec marge les résultats sont encore plus marqués puisque l'exposition est 2.8 fois plus grande avec la SA-CRR qu'avec la méthode du modèle interne. Ces chiffres montrent donc que la SA-CCR est très conservatrice dans ses calculs d'exposition. Elle l'est même trop pour certains qui réclament des ajustements dans la méthodologie, dans le but de se rapprocher des résultats obtenus avec les autres méthodes de calcul comme l'explique Philip Alexander dans son article de 2017.

Le facteur alpha dans la SA-CCR a été utilisé pour prendre en compte les erreurs de modélisation, notamment le fait qu'il n'y ait pas de paramètre spécifique à la capture du « wrong way risk ». Mais le choix de ce facteur fait aujourd'hui débat puisqu'il est considéré comme dépassé par certains. En effet il est basé sur les conditions du marché de l'époque de sa calibration il y a une dizaine d'années et non celles d'aujourd'hui. Or les conditions de marché et la régulation ont bien changé. Il y a par exemple beaucoup plus de « netting set » incluant du collatéral déposé en garantie. Le wrong way risk est alors considéré séparément en mettant à part les « netting sets » où il y a une part du « wrong way risk ». Avec le facteur alpha on inclue alors deux fois la composante de « wrong way risk » dans le calcul. De plus au moment de son élaboration l'alpha était déjà considéré comme arbitraire et conservateur et avait été conçu pour les modèles internes et non pour une approche standard déjà calibrée de façon conservatrice. Pour ces raisons de nombreux acteurs du marché réclament une suppression ou du moins une réduction de la valeur de ce paramètre pour se rapprocher des résultats obtenus par la méthode du modèle interne. En effet depuis son instauration le facteur est resté identique, mais le Comité de Bâle ne semble pas être dans l'optique de le modifier dans le futur.

Une autre critique de la SA-CCR est la faible reconnaissance de la compensation par rapport à la méthode du modèle interne (IMM). En effet théoriquement il est possible, avec le « floor » fixé par Bâle à 5%, de compenser jusqu'à 95% de l'exposition à l'aide d'un collatéral. Mais dans la pratique des valeurs inférieures à 70% sont plus courantes. Les bénéfices de la compensation peuvent même parfois atteindre seulement 30%. Pour atteindre le niveau de 95% il faut typiquement avoir une marge initiale deux, trois voir cinq fois plus grande qu'avec

la IMM pour compenser une même « potential future exposure ». Une autre faiblesse de la SA-CCR est qu'avec cette compensation limitée à 95%, pour les transactions qui ont une valeur au marché très négative, l'exposition ne pouvant pas descendre sous la valeur plancher, peut alors atteindre des valeurs jusqu'à 2000 fois plus élevées que si les calculs avaient été effectué avec la méthode du modèle interne. De ce fait de nombreux acteurs demandent à ce que d'avantage de compensation soit reconnue, soit en diminuant la valeur du « floor » soit en renvoyant la méthode de calcul proposée.

La principale difficulté dans la mise en place a été l'analyse et l'utilisation des données disponibles. En effet la SA-CCR nécessite de classifier chaque transaction selon de nombreux critères précis (contrepartiste, maturité, devises, type de produit dérivé...). Or cette catégorisation n'était pas spécialement effectuée dans la base de données disponibles au sein du Ministère. De plus le codage utilisé devait être suffisamment complet pour pouvoir être applicable aux transactions à venir, même si celles-ci se faisaient sur de nouveaux produits dérivés jamais transigés, sans avoir à modifier le code ou le processus de compilation des données, puisque celle-ci était effectuée par un autre département du Ministère. Une autre caractéristique que devait posséder le code est la souplesse. En effet comme expliqué précédemment la mesure d'exposition calculée a pour but d'être utilisée pour différentes applications. Ainsi la possibilité de compléter ou de modifier le code facilement était l'un des critères prioritaires. Sur un plan plus personnel, une autre difficulté a été l'utilisation du langage de commande SAS qui m'était inconnu à mon arrivée, puisqu'étant le langage principalement utilisé par l'équipe du département. Le code informatique (dont les principales étapes sont expliquées à l'Annexe 1) avait pour but de fournir quotidiennement, une fois les données de marché actualisées dans la base de données, l'exposition en dollars canadiens au risque de contrepartie pour chacun de la douzaine de contrepartistes du Ministère.

4. Produits dérivés indexés sur les rendements réels

4.1. Problématique

Dans le cadre de ses activités de financement et d'investissement le Ministère des finances du Québec est sujet à transiger des « Zero Coupon Inflation Swaps » (ZCIS). Ainsi en tant que « Market Taker » il n'est pas dans l'obligation de disposer d'un outil d'évaluation pour effectuer des transactions, mais utiliser un tel outil permettrait d'augmenter son pouvoir de négociation vis-à-vis des autres acteurs du marché. Ainsi c'est dans ce but qu'a été confié à notre équipe la tâche de proposer une méthodologie afin de déterminer l'inflation implicite du marché canadien pour la tarification des ZCIS à l'aide des données de marché disponibles. Pour rappel un Zero Coupon Inflation Swaps est un échange de cash-flow à échéance entre deux contrepartistes, l'un des contrepartistes verse un montant fixe alors que l'autre contrepartiste verse un montant ajusté pour l'inflation selon le « Consumer Price Index » (CPI). Le cash-flow est déterminé de la manière suivante :

$$CF = Nominal * [(1 + X\%)^t - 1] \quad (3)$$

$X\%$: Le taux zéro-coupon coté du marché représentant la moyenne annuelle espérée du taux d'inflation sur la période.

t : Le nombre d'années jusqu'à l'échéance.

4.2. Méthodologie

La Direction de la gestion de la dette et de la modélisation financière (DGDMF) a procédé à une recension des écrits des différentes méthodes utilisées sur le marché. Trois pistes ont été abordées : la relation entre les investissements en infrastructure et l'inflation implicite, la tarification d'un swap indexé à l'inflation à l'aide d'une formule analytique, et l'évaluation de l'inflation espérée à l'aide des Zero Coupon Inflation Swaps du marché américain. Sur les trois pistes seule la dernière a abouti à des résultats satisfaisants, les trois méthodes seront décrites mais c'est uniquement la meilleure méthode qui sera décrite le plus en détail ici.

La première est l'utilisation des investissements en infrastructure. Les infrastructures sont définies comme des ensembles d'installations de service ou d'équipements nécessaires au

développement socio-économique d'un pays. Ce type d'investissement possède plusieurs avantages dus au fait que les contrats liés aux infrastructures prévoient un ajustement périodique des prix selon l'inflation, le premier étant une faible corrélation avec les fluctuations boursières et une demande inélastique très peu impactée par les cycles économiques. Un autre avantage est la présence de rendements de très long termes stables. Enfin ils apportent une protection contre l'inflation et les taux d'intérêts. La plupart des investisseurs étant plus intéressés par les flux monétaires réels que nominaux, le risque d'inflation est alors l'une de leurs préoccupations majeures. De par leur capacité à fixer les prix, les investisseurs en infrastructure ont le pouvoir de transférer les coûts liés à l'inflation aux consommateurs et ainsi maintenir une marge constante dans le temps. Néanmoins ces types d'investissement sont relativement récents et posent deux problématiques pour l'évaluation de l'inflation espérée. La première est que ce genre d'actif est très peu liquide et la deuxième est l'absence d'actifs comparables offrant des rendements nominaux. Pour toutes ces raisons les investissements en infrastructure représentent une classe d'actifs à fort potentiel, mais du fait qu'ils présentent plusieurs risques, qu'ils soient assez nouveaux et que la disponibilité des données soit extrêmement limitée, le directeur de la DGMDf a décidé de ne pas entreprendre de développements plus approfondis sur la manière d'évaluer l'inflation implicite à partir des investissements en infrastructure.

Se basant principalement sur les travaux de F. Mercurio (2004), un modèle stochastique de génération de taux a été mis en place pour la tarification de swaps indexés sur l'inflation. Le modèle emploie dans un premier temps une spécification de Hull et White (1996) pour la génération de *taux* nominaux et réels courts termes. Ensuite un terme d'inflation est déduit de ces taux, chacun de ces taux respectant respectivement les équations différentielles stochastiques suivantes:

$$dn(t) = [\theta_n(t) - a_n n(t)]dt + \sigma_n dW_n(t) \quad (4)$$

$$dr(t) = [\theta_r(t) - a_r r(t) - \rho_{r,I} \sigma_I \sigma_r]dt + \sigma_r dW_r(t) \quad (5)$$

$$dI(t) = I(t)[n(t) - r(t)]dt + \sigma_I I(t)dW_I(t) \quad (6)$$

$n(t)$: Le taux nominal au temps t .

$r(t)$: Le taux réel au temps t .

$I(t)$: L'inflation au temps t .

$W(t)$: Un mouvement brownien au temps t .

$\rho_{r,I}$: Le coefficient de corrélation entre W_r et W_I

Le terme d'inflation suit ainsi un mouvement brownien géométrique dont le terme de dérive correspond à l'écart entre le taux nominal et le taux réel.

Une analyse numérique a ensuite été effectuée en faisant varier la corrélation des mouvements browniens des taux nominaux et réels puisque ce sont ces termes qui impactent le plus l'inflation. Les trois scénarios testés ont été les suivants : une corrélation fortement positive (+0.99), fortement négative (-0.99) et nulle. Les résultats obtenus montrent que dans les cas d'une corrélation fortement positive et négative, les taux nominaux sont bien supérieurs aux taux réels, ce qui est cohérent avec l'intuition économique d'une inflation positive. Néanmoins dans le cas d'une corrélation nulle, il arrive que les taux réels soient supérieurs aux taux nominaux ce qui impliquerait une inflation négative, scénario très peu probable pour le marché canadien. À cause de ce problème d'inflation possiblement négative le directeur de la DGMDF, en accord avec les membres de l'équipe ayant travaillé sur ces recherches, a décidé de ne pas entreprendre de développements plus approfondis sur la manière d'évaluer les swaps indexés sur inflation à l'aide de ce modèle.

Pour l'évaluation de l'inflation espérée à l'aide des ZCIS du marché américain, la méthode commence par déterminer l'inflation espérée du marché à l'aide l'équation de Fisher :

$$(1 + \text{taux d'intérêt nominal}) = (1 + \text{taux d'intérêt réel}) * (1 + \text{inflation}) \quad (7)$$

Le taux d'intérêt nominal et le taux d'intérêt réel étant respectivement les rendements à l'échéance des obligations nominales gouvernementales et des obligations à rendement réel du marché associé. Les TIPS ou obligations à rendement réel du marché américain, sont des obligations payant un coupon semestriel fixe dont le nominal est ajusté pour l'inflation selon le Consumer Price Index (CPI). Pour le marché canadien on parle de Real Return Bonds (RRB). Néanmoins les TIPS et les obligations nominales gouvernementales ayant des caractéristiques différentes, l'écart de rendement ne peut être imputé exclusivement à

l'inflation. Il y a aussi, même s'ils sont très faibles, des spreads liés à différents risques comme l'exposent Fleckenstein Matthias, Longstaff Francis et Lustig Hanno (2010):

- Le risque de liquidité : Les obligations nominales du gouvernement et les TIPS ne sont pas aussi liquides.
- Le risque de crédit : Les deux types de titres ont un risque de crédit proche puisqu'ils sont émis par la même entité, mais les TIPS ont un risque de crédit légèrement supérieur lorsque l'émetteur est en charge de la gestion de la monnaie associée au titre. En effet en cas de difficulté l'émetteur pourrait imprimer de la monnaie pour rembourser la dette associée aux obligations du gouvernement, mais cette stratégie serait moins efficace pour rembourser la dette des TIPS puisque cela créerait de l'inflation donc une augmentation de la dette à rembourser.
- Le risque de déflation : le nominal des TIPS s'ajuste par rapport à l'inflation ou à la déflation mais jusqu'à un certain point seulement, puisqu'en aucun cas le nominal pourra avoir une valeur inférieure à celle qu'il avait au moment de son émission. Il y a alors une asymétrie dans le rendement à l'échéance dans le cas d'une déflation majeure par rapport aux ZCIS.

Pour la suite on considèrera comme négligeable les risques de crédit et de déflation et donc les spreads de rendement qui leurs sont associés.

Lorsque l'on calcule le rendement à l'échéance d'un Zéro-Coupon Inflation Swap on obtient directement le niveau d'inflation espéré pour une date donnée. En effet ces produits étant nettement plus liquides que les titres présentés précédemment, ils ne contiennent pas de prime pour la liquidité. Même si les volumes de transaction journaliers des swaps sont inférieurs à ceux des TIPS, Michael J. Fleming et John R. Sporn (avril et mai 2013), les swaps sont plus liquides dans le sens qu'ils peuvent être créés à la demande. Le volume de transaction n'est ici pas un indicateur pertinent pour estimer la profondeur du marché des ZCIS. En soustrayant à l'inflation espérée (obtenue avec les TIPS) le rendement à l'échéance des ZCIS on trouve alors une évaluation de la prime de liquidité appliquée aux TIPS.

Les estimations des primes de liquidité du marché américain déterminées selon cette méthode sont représentées dans la figure 2. Sur le graphique on peut voir l'évolution des primes depuis 2005 pour trois maturités de TIPS. Les primes de liquidité historiques obtenues par le calcul coïncident avec les événements de marché passés. On peut voir que pendant la crise de 2008, la prime de liquidité a explosé pour les différentes échéances de swaps. En effet, pendant cette crise financière les banques et les principales institutions financières se sont retrouvées à court de liquidités, provoquant ainsi une crise de liquidité sur les marchés. Dans ce contexte, la prime pour la liquidité a explosé fin 2008. Sur le graphique on peut voir que cette prime est passé de 0.5% en moyenne avant la crise à 1.5% au paroxysme de la crise. Un autre enseignement que l'on peut tirer de la figure 2 et qui coïncide avec ce qui est attendu, est que depuis ce krach de l'automne 2008, les marchés ont repris leur marche en avant et continuent leur développement. On peut en effet observer une diminution progressive de la prime de liquidité ainsi qu'une réduction de sa volatilité. Ce phénomène s'explique par le développement du secteur financier et de ses outils qui ont facilité les échanges financiers, améliorant ainsi la liquidité des marchés. La méthodologie développée pour l'évaluation de la prime de liquidité du marché américain des ZCIS semble donc être concluante.

4.3. Application au marché canadien

L'une des applications potentielles est l'approximation de l'inflation espérée du marché canadien. En effet pour le marché canadien il n'y a pas de données disponibles sur les Zero Coupon inflation swaps, mais il est à présent possible d'estimer le rendement à l'échéance de ceux-ci. Si l'on prend comme hypothèse que la prime de liquidité du marché canadien est la même que celle du marché américain, la méthode qui peut être utilisée consiste à soustraire à l'inflation espérée du marché canadien le spread de liquidité du marché américain. De la même manière que pour le marché américain l'inflation espérée canadienne est calculée à l'aide des RRB et des obligations nominales du gouvernement. On obtient alors une évaluation du rendement à l'échéance qu'auraient approximativement des Zero Coupon Inflation Swaps du marché canadien.

Dans la figure 3 sont représentés les rendements qu'auraient eu des ZCIS canadiens depuis 2005 pour quatre maturités de contrats différentes. Ce rendement comprend ainsi une partie

liée à l'inflation et une autre pour la liquidité. Les résultats obtenus montrent une diminution progressive du rendement qui provient en partie de la réduction de la prime pour la liquidité depuis 2008 comme expliquée précédemment. Autour de la fin de 2008 on observe quelques mouvements extrêmes, pour les maturités les plus courtes notamment, qui peuvent être expliqués par la soudaine variation de la prime de liquidité du marché américain. Néanmoins les rendements restent peu volatiles en comparaison à ceux des ZCIS américain. En effet la crise de liquidité ne s'est que peu propagée au marché canadien. La solidité du système financier canadien a donc permis d'éviter une crise de liquidité. De plus, si l'on regarde les résultats obtenus pour 2017, ils coïncident avec les données de marché actuel et ceci pour chacune des maturités. Par exemple pour une échéance de 30 ans en juin 2017, la méthode donne un rendement de 1.74%, ce qui est tout à fait en accord avec une inflation du marché canadien autour de 1.50%, associée à une prime de liquidité de 0.3%. Cette prime de 0.3% étant celle actuellement proposée au Ministère par les « Price Maker » du marché.

L'une des principales hypothèses dans l'approximation des rendements des zéro-coupon inflation swaps du marché canadien est que la prime de liquidité entre les marchés américain et canadien est identique, ce qui n'est pas trivial. Plusieurs pistes ont été développées pour tenter d'établir la relation entre les primes pour la liquidité de ces deux marchés.

1. Étude des spreads bid-ask comme indice de liquidité.

Le spread bid-ask est un indicateur de la profondeur d'un marché. Sachant cela, l'analyse de ce spread pour les différents marchés obligataires étudiés permet de tirer des enseignements sur leur liquidité. Ainsi, pour les obligations gouvernementales nominales canadiennes et américaines, ainsi que des TIPS et des RRB à échéance proche, le spread bid-ask en pourcentage du prix a été calculé. Puis l'écart entre le spread de l'obligation indexée sur l'inflation et le spread de l'obligation nominale gouvernementale a été évalué pour différentes échéances sur de longues périodes. Les résultats n'ont montré aucune relation ou corrélation particulière qui serait en mesure d'affirmer ou de contredire notre hypothèse de base sur l'égalité de la prime de liquidité entre les deux marchés étudiés.

2. Étude des spreads de rendement On-the-run/Off-the-run.

Lorsqu'une obligation est émise, elle est fortement transigée les premiers instants après son émission, puis les volumes de transactions diminuent progressivement au cours du temps. Partant de ce constat Christensen Jens et Gillan James (2012) ont expliqué que le spread de rendement entre des obligations similaires (même émetteur, même échéance, même sous-jacent...) mais ayant une date d'émission différente peuvent s'expliquer par la prime de liquidité s'appliquant sur l'obligation la moins transigée, c'est-à-dire celle émise il y a plus longtemps. Le spread entre des obligations émises très récemment (obligation On-the-run) et des obligations émises il y a plus longtemps (Off-the-run) a été évalué pour les différents types d'obligation étudiés. N'existant pas de RRBs ayant la même échéance, l'étude se concentrera sur les obligations nominales gouvernementales des deux marchés. Les résultats obtenus encore une fois ne démontrent pas de relation claire entre le spread On-the-run et Off-the-run pour chacun des marchés au moment de l'émission du titre le plus récent. Ces observations ne nous permettent donc pas de confirmer ou de rejeter notre hypothèse de base sur l'équivalence des primes de liquidité

3. Étude des spreads des rendements entre les obligations nominales gouvernementales et des obligations corporatives cotées AAA.

Les obligations nominales gouvernementales et les obligations corporatives cotées AAA partagent une caractéristique, leur très faible niveau de risque de crédit. Sachant cela, l'écart de rendement entre ces deux types d'obligations doit être expliqué par d'autres facteurs que la prime pour le risque de crédit, la majeure différence entre ces titres est leur liquidité. En effet les obligations nominales gouvernementales sont de très loin les titres les plus liquides du marché obligataire. Le spread de rendement correspondrait alors principalement à la prime de liquidité appliquée aux obligations corporatives. Au Canada il n'existe pas d'obligation corporatives cotées AAA, le choix s'est donc porté sur les obligations d'un organisme paragouvernemental qui lui est coté AAA: Canada Housing Trust. Aux États-Unis il n'existe que deux obligations corporatives cotées AAA, ce sont celles de Microsoft et Johnson & Johnson. Pour compléter cette liste d'émetteur d'obligation potentiel un organisme paragouvernemental a également été étudié : Freddie Mac. Les écarts de rendements à l'échéance pour ces différentes obligations ont donc été calculés et analysés sur de longues

périodes. Les résultats obtenus ne démontrent pas de relation claire entre le spread de chacun des marchés. Ces observations ne nous permettent donc pas de confirmer ou de rejeter notre hypothèse de base sur l'équivalence des primes de liquidité.

4. Utilisation d'une méthode « Liquidity scoring ».

Dans l'article « Bond Liquidity Scores », Mohamed Ben Slimane et Marielle De Jong (2017) présentent un modèle pour évaluer la liquidité des différents types d'obligations. Le modèle se base sur celui développé par Barclays tout en étant plus simple à utiliser n'incluant pas de variables sur les volumes transigés périodiquement. En effet cette donnée n'étant pas accessible sur de nombreux marchés, il est judicieux de ne pas l'inclure pour mettre en place un modèle applicable à la vaste majorité des obligations existantes. Le modèle inclut en tout 17 variables, dont neuf « dummy variables » (δ) selon si l'obligation appartient à certaines catégories:

1. « Treasury ».
2. « Investment Grade ».
3. « Inflation linked ».
4. « Subordinated debt ».
5. « Zero coupon ».
6. « Major currency » (AUD, CAD, CHF, EUR, JPY, KRW, NOK, NZD, SEK, SGD et USD).
7. « Financial corporate ».
8. « Supranational ».
9. « Government related ».

Le modèle inclue ensuite huit autres variables propres à chaque obligation :

10. s^1 : « Issue size » (nominal en \$US) qui représente la dette émise.
11. s^2 : « Size of issuing group » (\$US) qui représente la dette de l'émetteur.
12. s^3 : « Size of issuing country » (\$US) qui représente la dette du pays auquel l'émetteur est rattaché.
13. a : « Age », c'est la durée depuis laquelle l'obligation a été émise.
14. t : « Time to maturity », qui représente la durée jusqu'à l'échéance de l'obligation.
15. co : « Coupon », qui représente le taux de coupon de l'obligation.

16. r : « Numerical credit rating », variable prenant une valeur numérique selon la cote de crédit de l'obligation (AAA=0.3, AA+=0.5, AA=1, AA-=1.5, A+=2, A=2.6...)
17. ca : « Carry », qui est défini comme le taux de coupon divisé par le « numerical credit rating ».

Ces variables sont ajustées à l'aide des facteurs β qui ont été calibrés de telle sorte que le résultat obtenu soit en accord avec le bid-ask spread des 20 000 obligations échantillonnées. Enfin le modèle donne le « Liquidity Scores » (LS) pour chaque titre obligataire à l'aide de la formule :

$$LS = \alpha + \sum_{k=1}^9 \delta_k + \beta_a * \ln(a) + \beta_t * \ln(t) + \beta_{s^1} * \ln(s^1) + \beta_{s^2} * \ln(s^2) + \beta_{s^3} * \ln(s^3) + \beta_{co} * co + \beta_r * r + \beta_{ca} * ca$$

Avec un facteur α paramétré à -3.18.

Pour chacune des obligations disponibles sur le marché le « LS » est calculé, puis le ratio des « LS » des obligations nominales gouvernementales sur le LS des obligations indexées sur l'inflation est calculé pour chacun des marchés.

$$Ratio\ liquidité = \frac{LS_{obligation\ nominale\ gouvernementale}}{LS_{obligation\ gouvernementale\ indexée\ sur\ l'inflation}} \quad (8)$$

Lorsqu'il n'y a pas de données pour une certaine échéance, la valeur du « LS » est estimée par interpolation, à l'inverse lorsqu'il y a plusieurs obligations pour une même échéance donnée la valeur du « LS » retenue est la moyenne des différents « LS » obtenus.

La figure 4 présente le ratio de liquidité défini précédemment des deux marchés nationaux pour des échéances comprises entre 2021 et 2046. L'analyse numérique montre que les ratios de liquidité des TIPS (RRB) sur les obligations nominales gouvernementales américaine (canadienne) des deux marchés sont très proches et ceci pour toutes les échéances. La liquidité des obligations à rendement réel semblent donc être corrélée à celle sur les obligations nominales gouvernementales de la même manière sur les deux marchés.

En calculant également le ratio de la liquidité relative du marché américain sur celle du marché canadien les résultats donnent une prime de liquidité canadienne légèrement plus élevée.

$$\text{Ratio liquidité CAD/U.S.} = \frac{\text{Ratio de liquidité du marché CAD}}{\text{Ratio de liquidité du marché U.S.}} \quad (9)$$

La figure 5 montre l'évolution du ratio de liquidité défini précédemment pour l'ensemble des échéances de 2021 à 2046. Ce ratio représente le facteur nécessaire pour ajuster la prime du marché américain pour le marché canadien. En observant les résultats, on constate que pour adapter la prime, il faudrait donc multiplier celle-ci par des valeurs allant de 1.012 à 1.019 au niveau de confiance 95%. Ces valeurs étant relativement proches de un pour toutes les échéances, l'approximation d'une prime de marché équivalente sur les deux marchés est une hypothèse acceptable.

5. Étude de la volatilité des prix des obligations indexées sur l'inflation

Les anticipations d'inflation sont relativement stables dans le temps et ne devraient pas varier à chaque jour. C'est pourquoi les variations quotidiennes de prix des obligations indexées sur l'inflation ne peuvent pas être exclusivement expliquée par les changements de perspective d'inflation. Un des facteurs qui peut expliquer ces oscillations de prix est la liquidité. Pour mesurer ces déformations liées à la liquidité la méthode choisie a été de calculer l'écart entre les prix quotidiens et une moyenne mobile sur dix jours des prix. Ces spreads peuvent alors être interprétés comme une mesure de la liquidité du marché étudié. Une analyse de la corrélation entre ces écarts a été effectuée pour des TIPS et des RRB de différentes échéances (2022, 2042 et 2045) sur une durée allant de 2012 à maintenant. Les résultats obtenus, présentés à la figure 6, montrent une forte corrélation entre cette mesure de liquidité, selon cette méthode d'évaluation des deux marchés; de plus cette corrélation est stable avec l'échéance.

En complément de cette analyse, une étude de la relation entre les prix sur le marché obligataire canadien et américain montre une relation très forte. En effet on obtient des corrélations des prix allant de 0.75 à 1 pour ce genre de titres, que ce soient des obligations nominales gouvernementales ou des obligations gouvernementales indexées sur l'inflation.

Ainsi l'ensemble des analyses présentées précédemment laissent à penser que l'approximation d'une prime de liquidité équivalente sur les deux marchés est tout à fait envisageable. En effet deux méthodes sur cinq vont dans le sens de cette hypothèse et aucune des trois méthodes restantes n'a permis de la rejeter. Pour conclure la méthode qui semble donc être la plus adaptée pour l'évaluation de l'inflation espérée dans le cadre de la tarification des zéro-coupon inflation swaps canadiens est celle consistant à déterminer l'inflation espérée, à l'aide des RRB et des obligations nominales gouvernementales, à laquelle on soustrairait la prime de liquidité qui est appliquée sur le marché américain pour les TIPS. Grâce à ce modèle il est donc possible d'obtenir une évaluation objective à l'aide des données de marché de l'inflation espérée du marché canadien. L'un des principaux avantages est de pouvoir disposer cette information aussi régulièrement que souhaité, contrairement par exemple aux méthodes de sondage d'acteurs du marché, ces sondages n'étant publiés que périodiquement.

5. Conclusion

La première partie de mon intervention consistant à effectuer une revue de littérature qui a ainsi permis de fournir les connaissances suffisantes pour pouvoir faire face aux problématiques auxquelles j'ai été confronté par la suite. Les modèles mis en place ou étudiés par la suite ont permis de bâtir une base pour l'amélioration des techniques d'évaluation de différents produits financiers utilisés par le Ministère des Finances du Québec. Les modèles étant complexes une implémentation complète n'a pu être possible en seulement quatre mois, mais le travail effectué pourra être complété ultérieurement par d'autres membres de l'équipe. Les premiers résultats qui ont néanmoins pu être observés ont été satisfaisants pour ce qui est de l'implémentation de la procédure Bâle III. Ces résultats trouveront possiblement d'autres applications en plus de celle initialement prévue. Enfin la méthode d'évaluation de l'inflation espérée canadienne à l'aide des Zero Coupon Inflation Swaps semble être un outil pleinement satisfaisant puisque les résultats obtenus sont en accords avec les prix des produits dérivés sur inflation qui ont été proposés par les Market Makers au Ministère des Finances du Québec. Le modèle semble donc répondre parfaitement aux exigences de la problématique énoncée.

Figures

Figure 1

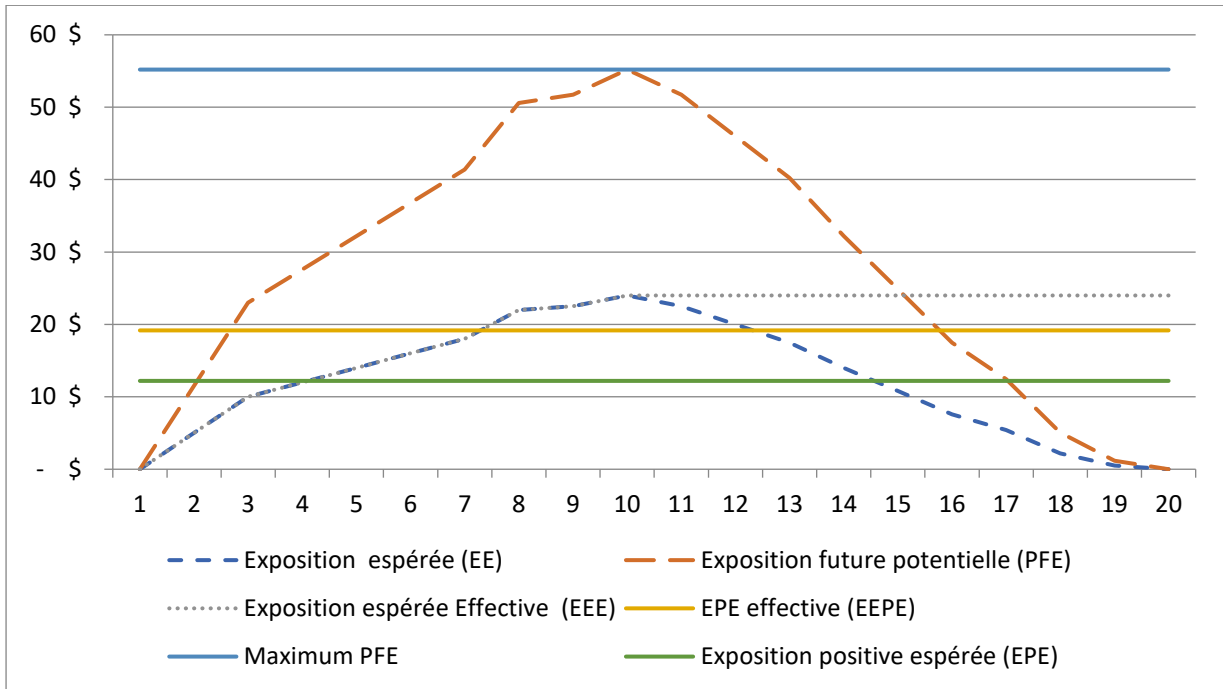


Figure 1 : Représentation des différentes mesures d'exposition pour une position sur un produit dérivé choisi arbitrairement avec une maturité de vingt périodes.

Figure 2

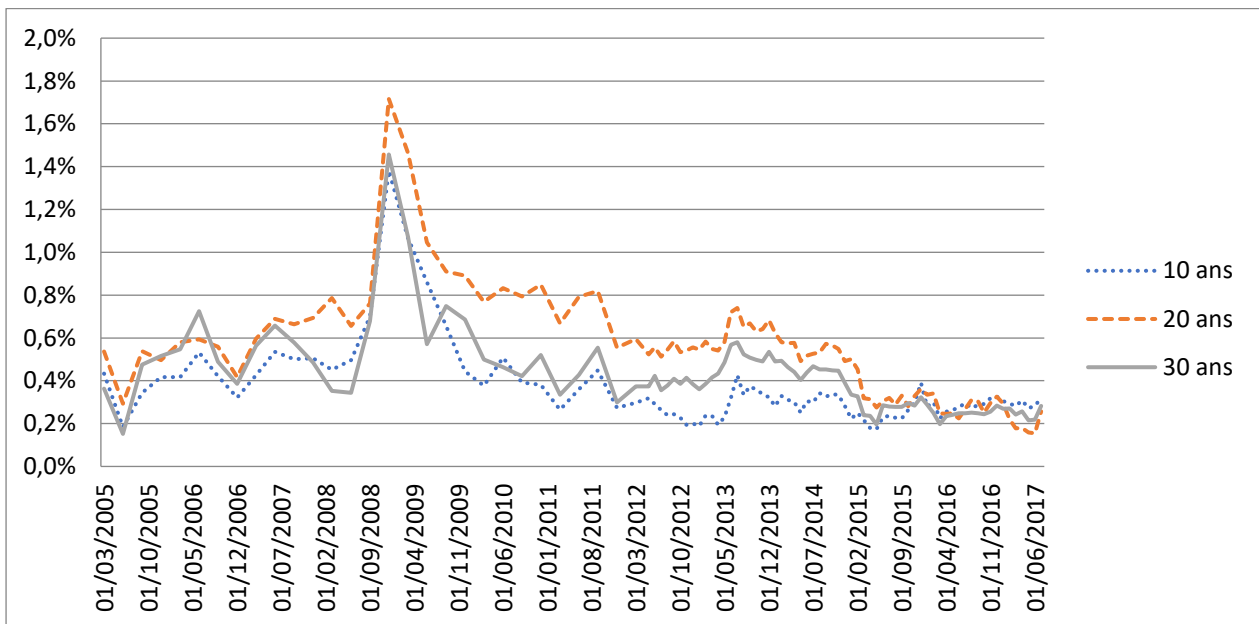


Figure 2 : Historique depuis 2005 de la prime de liquidité appliquée au TIPS selon la maturité du contrat.

Figure 3

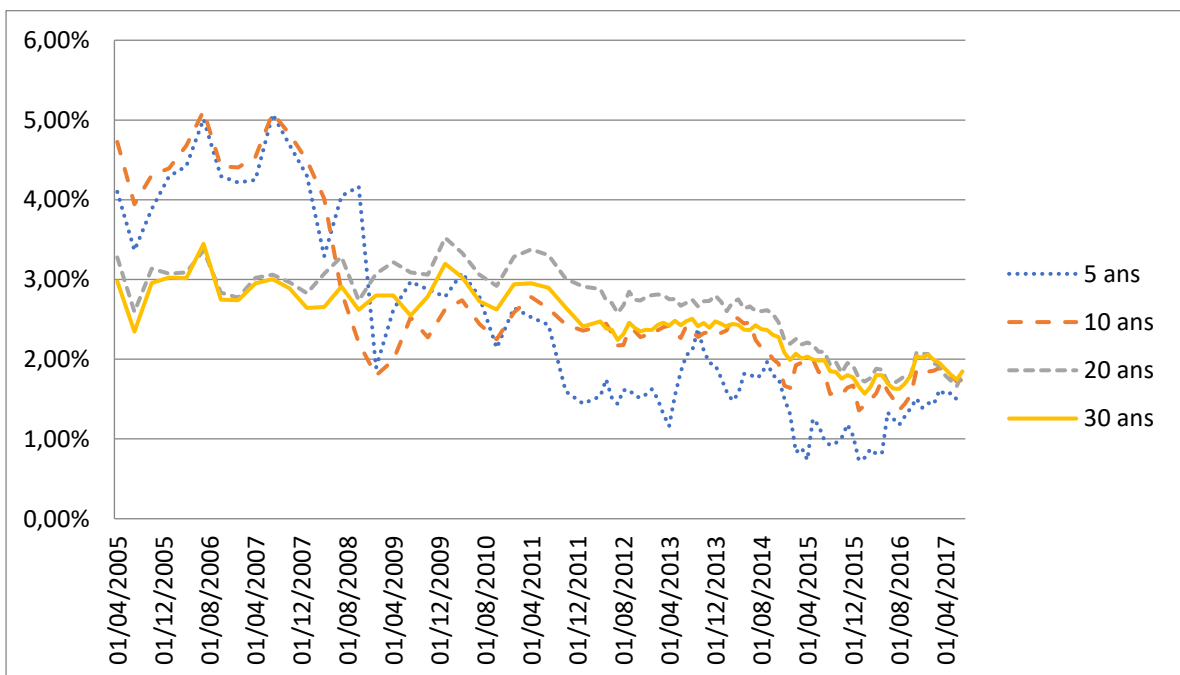


Figure 3 : Estimation du rendement à l'échéance de ZICS canadiens depuis 2005 pour des échéances de 5 à 30 ans selon la méthode proposée.

Figure 4

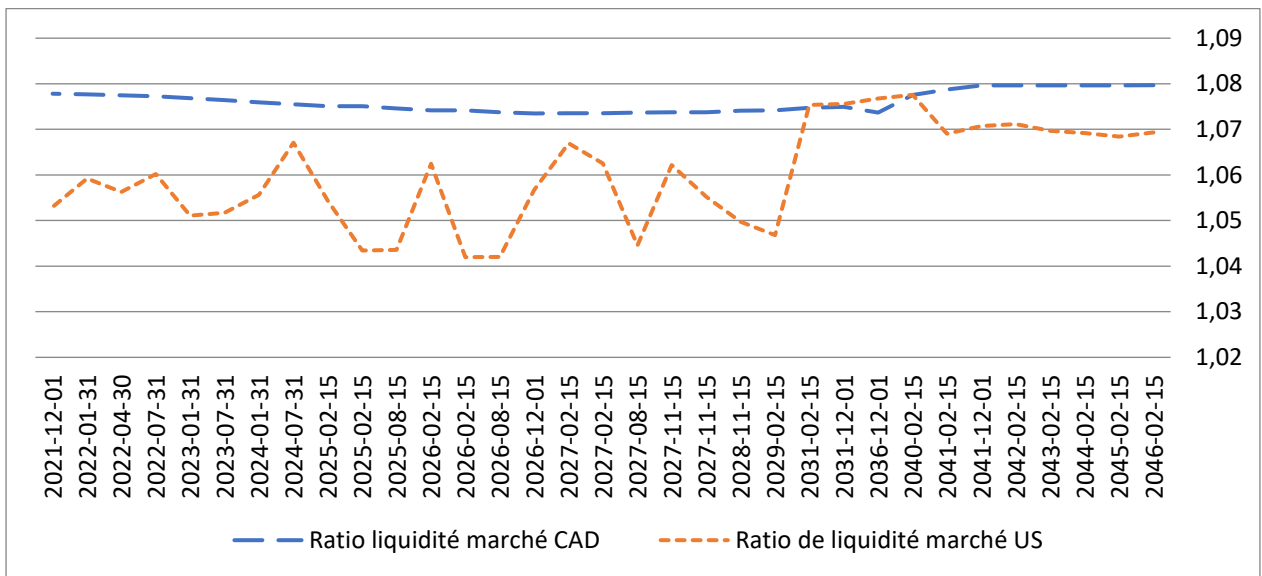


Figure 4 : Ratio de liquidité des marchés canadiens et américains pour des maturités allant de 2021 à 2046

Figure 5

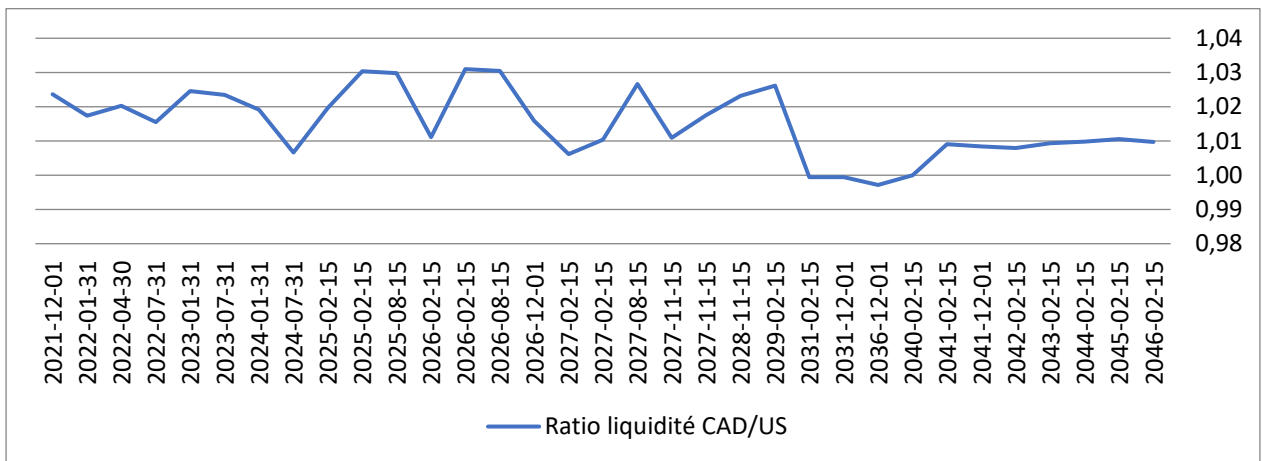


Figure 5 : Rapport du ratio de liquidité du marché canadien sur le marché américain pour des maturités allant de 2021 à 2046

Figure 6

<i>Année d'échéance</i>	2022	2042	2045
<i>Coefficient de corrélation entre les mesures de liquidité</i>	0,74	0,73	0,71

Figure 6 : Coefficient de corrélation entre les mesures de liquidité du marché canadien et américain pour trois dates d'échéance.

Références

- [1] Alexander Philip, May 2017, *EU Regulator dampens SA-CCR reform hopes*, Risk.net.
- [2] Bank for international settlement, March 2014, *The standardised approach for measuring counterparty credit risk exposures*.
- [3] Ben Slimane Mohamed and De Jong Marielle, 2017, *Bond Liquidity Scores*, The Journal of Fixed Income, Volume 27 number 1, Summer 2017.
- [4] Brace, A., Gatarek, D. et Musiela, M. (1997): "The Market Model of Interest Rate Dynamics", *Mathematical Finance*, 7(2), 127-154
- [5] Christensen Jens and Gillan James, March 2012, *Do Fed TIPS Purchases Affect Market Liquidity?*. FRBSF Economic letter.
- [6] Clarke Justin, 2013, *Swap Discounting & Pricing Using the OIS Curve*, Edu-Risk International
- [7] Deloitte, Solum Financial Partners, February 2013, *Counterparty risk and CVA Survey, Current market practice around counterparty risk regulation, CVA management and funding* ».
- [8] Edmund Parker, Aaron McGarry, 2009, *The ISDA Master Agreement and CSA: close-out weaknesses exposed in the banking crisis and suggestions for change*. Butterworths Journal of International Banking and Financial Law.
- [9] Gregory John, 2015, *The xVA challenge* (3^{ème} édition). Cornwall, UK.
- [10] Heath, D., Jarrow, R. and Morton, A. (1990). Bond Pricing and the Term Structure of Interest Rates: A Discrete Time Approximation. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 25:419-440.

- [11] Hull J. and White A., 1996, *Hull-White on Derivatives: A compilation of Articles by John Hull and Alan White*. London: Risk Publications.
- [12] ISDA Publishes 2013 Standard Credit Support Annex (SCSA).
- [13] Fleckenstein Matthias, Longstaff Francis and Lustig Hanno, September 2010, *Why does the treasury issue TIPS? The TIPS-Treasury bond puzzle*, NBER Working paper series, Working paper 16358.
- [14] Fleming Michael J. and Sporn John R., May 2013, *Trading activity and price transparency in the Inflation swap market*, FRBNY Economic Policy Review.
- [15] Fleming Michael J. and Sporn John R, Avril 2013, *How liquid is the inflation swap market?*, Liberty Street Economics.
- [16] Fujii M., Takahashi A., « Choice of collateral currency », University of Tokyo, Tokyo, 2010.
- [17] Mercurio F., 2004, *Pricing inflation-indexed derivatives*. Product and Business Development Group Banca IMI Corso Matteotti, 6-20121 Milano, Italy.
- [18] Ramirez Juan, 2015, Accounting for derivatives, Second Edition, *John Wiley & Sons*.
- [19] Roth Ulrich, May 2017, *Rethink urged over Basel's counterparty exposure framework*, Risk.net.
- [20] US Treasury Trading Volume, The Securities Industry and Financial Markets Association (SIFMA).

Annexe 1

Étapes du processus de calcul de l'« Exposure at default » selon le modèle réglementaire proposé par Bâle III :

1. Importation de la table des résultats de SVMDR regroupant les différentes informations sur les transactions en cours (numéro de contrat, contrepartiste, type de contrat, devise, date d'échéance...).
2. Calcul du « solde_moyen » pour les transactions dont le notionnel n'est pas constant (ex : SWINVM), le « solde_moyen » est calculé comme étant la moyenne de la balance ou du solde de la transaction entre la date de début de transaction (ou la date actuelle si la transaction est déjà en cours) et la date de maturité du contrat.
3. Importation des informations sur les « Tranno » et les « Trancode » des transactions et ajout de ces données à la table principale.
4. Fixation des valeurs du « Floor » et de la « Margin period of risk (MPOR) » à 5% et 10 jours selon Bâle.
5. Calcul du prix d'exercice et du prix du sous-jacent pour les « Optiq30 » à l'aide de l'ensemble des prix de sous-jacent et des prix d'exercice générés par simulation. La valeur retenue sera la moyenne des valeurs obtenues par simulation.
6. Modification de la variable « curr_curr » pour pouvoir regrouper les paires de devises ensembles plus tard.
7. Modification de la variable « type_contrat » pour certaines transactions de façon à ce que l'ensemble des swaps de taux d'intérêt soient regroupés sous le même nom : « SWAPIN ».
8. Calcul du « Maturity factor » à l'aide des dates de début et maturité de chacune des transactions.
9. Conversion du notionnel dans le cas des transactions incluant des devises étrangères, s'il n'y a qu'une seule patte en devise étrangère le notionnel prend la valeur de cette patte convertie en dollar canadien. Si les deux pattes sont en devises étrangères alors le notionnel est égal à la patte dont la valeur en dollar canadien est la plus élevée.
10. Calcul du facteur de « Delta Adjustment » prenant la valeur 1 ou -1 selon que l'on soit en position long ou short dans la transaction. Pour les « Optiq30 » le « Delta Adjustment » est calculé à l'aide de la formule de tarification des options du modèle de Black & Scholes.

11. Classification de toutes les transactions qui n'ont pas de « tranmode » et de « trancode » dans la classe « Equity ».
12. Répartition des transactions par classe, les transactions qui ont un « tranno » valant 6 sont regroupées dans la classe « InterestRate », sauf si leur type de contrat est :
 - a. "SWHEATOIL", alors elles appartiennent à la classe « Commodity ».
 - b. "SWAPDE", "SWDEBBD" ou "SWAPDC", alors elles appartiennent à la classe « ForeignExchange ».
13. Recalcul du notionnel pour les swaps de taux d'intérêts, le notionnel est alors calculé en se basant sur la patte fixe. Pour les transactions « SWINVM » le notionnel est calculé à l'aide du « solde_moyen » déterminé précédemment.
14. Répartition des transactions de la classe « InterestRate » en trois « time buckets » selon leurs maturités : inférieure à 1 an, entre 1 et 5 ans et supérieure à 5 ans.
15. Classification des transactions dont le « tranno » est égale à 5 dans la classe « ForeignExchange ».
16. Regroupement des transactions par « hedging set » en sommant les valeurs de notionnels à l'intérieur des « hedging set ». Les « hedging set » sont formés de l'ensemble des transactions qui ont les mêmes :
 - a. Contrepartiste.
 - b. Classe.
 - c. Paire de devise.
 - d. Type de contrat.
 - e. Time bucket (si applicable).
17. Calcul du « AddOn » pour chacune des classes de transaction selon la formule adaptée à cette classe.
18. Calcul du « AddOn_aggregate » pour chaque contrepartiste, en sommant la valeur des « AddOn » de ce contrepartiste.
19. Calcul de la valeur marchande totale des transactions nette des transactions pour chaque contrepartiste.
20. Calcul de la valeur totale de collatéral déposé en garantie pour chaque contrepartiste.
21. Calcul du « Multiplier », de la « Potential Future Exposure (PFE) » et du « Replacement Cost (RC) » pour chaque contrepartiste.

22. Calcul de l'«Exposure at default (EAD) » pour chaque contrepartiste.

