HEC MONTRÉAL

ANALYSE DE SENSIBILITÉ DU MODÈLE DE PROBABILITÉ DE DÉFAUT DU PORTEFEUILLE *INSTITUTIONS FINANCIÈRES* D'UNE BANQUE CANADIENNE D'IMPORTANCE SYSTÉMIQUE

Directeur de projet :

Georges Dionne

Sciences de la gestion

(Finance)

Projet supervisé en organisation présenté en vue de l'obtention du grade de

Maîtrise ès sciences de la gestion (M. Sc.) - Finance

Par

Guillaume Lefebvre Sigouin - 11208794

14 décembre 2017

Liste des abréviations

AMF	Autorité des Marchés Financiers
BD	Base de données
BSIF	Bureau du Surintendant des Institutions Financières
DPQRC	Direction Principale Quantification des Risques de Crédit
DMGIR	Direction Modélisation en Gestion Intégrée des Risques
É/F	État Financier
EFIS	Établissement(s) Financier(s) d'Importance Systémique
IF	Institutions Financières
ISP	Index de Stabilité de la Population
LCR	*Liquidity Coverage Ratio*
NI	Notation(s) Interne(s)
PCD	Perte Conditionnelle au Défaut
PD	Probabilité de Défaut
PIEAFP	Programme Interne d'Évaluation de l'Adéquation des Fonds Propres
RAROC	*Risk-Adjusted Return On Capital*
RCEE	Risque de Contrepartie Et d'Émetteurs
RF	*RiskFrontier*
SAS EG	*Statistical Analysis System Enterprise Guide*
VIF	*Variance Inflation Factor*
VP	Vice-Présidence
VPEE	Vice-Présidence Études Économiques

1. Sommaire

Suite à la crise financière, la réponse du Comité de Bâle aux pays du G20 fut d'élaborer un programme de réformes du système bancaire mondial, afin d'en améliorer la capacité « à absorber les chocs consécutifs à des tensions financières ou économiques […] et à réduire le risque de propagation à l'économie réelle » [1]. Une de ces réformes est de déclarer certaines institutions financières, banques et compagnies d'assurance comme des Établissements Bancaires d'Importance Systémique (EBIS), ou encore des Établissements Financiers d'Importance Systémique (EFIS)[2]. Puisque ce dernier acronyme se veut plus inclusif dans sa définition, nous garderons celui-ci pour décrire toutes les institutions financières d'importance systémique. En outre, ces établissements financiers peuvent être qualifiés d'importance systémique intérieure (EFIS-i), ou encore d'importance systémique mondiale (EFIS-m) en fonction de leur importance systémique avec le système bancaire domestique et mondial.

Ainsi, les six plus grandes banques canadiennes et le plus grand groupe financier coopératif canadien sont tous considérés comme des EFIS-i depuis le 26 mars 2013[3] et le 19 juin 2013[4], respectivement. Par ailleurs, la Banque Royale du Canada a reçu la mention d'EFIS-m récemment, soit le 21 novembre 2017. Ceci signifie que par leur grande taille, leur interdépendance, leur substituabilité et leur complexité à travers le système bancaire canadien, la faillite d'une d'entre-elles peut avoir des conséquences désastreuses sur les autres, et, par conséquent, sur l'économie canadienne et les contribuables canadiens. De ce fait, celles-ci doivent être encadrées par

---

[1] Banque des règlements internationaux, Octobre 2010. Réponse du Comité de Bâle à la Crise financière: Rapport au G20, octobre 2010. https://www.bis.org/publ/bcbs179_fr.pdf.
[2] Banque du Canada, Revue du système financier, Décembre 2013. De l'importance systémique des institutions financières. http://www.banqueducanada.ca/wp-content/uploads/2013/12/rsf-decembre13-chouinard.pdf.
[3] Du Bureau du Surintendant des Institutions Financières Canada (BSIF), Printemps 2013. Le Pilier. http://www.osfi-bsif.gc.ca/Fra/Docs/op_2013_sp.pdf.
[4] Autorité des Marchés Financiers, Juin 2013. L'Autorité identifie le Mouvement Desjardins comme étant une institution financière d'importance systémique pour le Québec. https://lautorite.qc.ca/grand-public/salle-de-presse/actualite/fiche-dactualite/lautorite-identifie-le-mouvement-desjardins-comme-etant-une-institution-financiere-dimportance-sys/./

des autorités gouvernementales compétentes en matière de gestion des risques et répondre à leurs exigences, entre autres par rapport à l'adéquation des fonds propres.

Compte tenu de ce qui précède et dans l'optique d'obtention et de conservation de l'agrément de Bâle pour une approche fondée sur les Notations Internes (NI), les institutions financières canadiennes doivent se conformer aux exigences des lignes directrices sur la gestion intégrée des risques et des normes relatives au capital réglementaire requis. Ces lignes directrices sont données par des organismes gouvernementaux de surveillance bancaire : le Bureau du Surintendant des Institutions Financières (BSIF)[5] pour les banques canadiennes et l'Autorité des Marchés Financiers (AMF)[6] dans le cas du plus grand groupe financier coopératif canadien.

Les institutions financières doivent, entre autres, développer des méthodes de notation et de modélisation du risque de crédit à l'interne, pour différencier la qualité du crédit de leurs contreparties et pour quantifier le risque de crédit par la probabilité des défauts et des pertes reliées à ceux-ci, et ce, tout en correspondant aux attentes des lignes directrices des organismes de surveillance.

Le choix de la méthodologie de modélisation est fait à l'interne, mais les modèles NI doivent ultimement être approuvés par l'organisme réglementaire (BSIF ou AMF) afin d'être utilisés dans le calcul des normes minimales de fonds propres. Ces modèles doivent notamment être suffisamment précis dans l'estimation des paramètres de risque entrant dans le calcul du capital réglementaire.

Le cadre de ce projet est de faire une analyse de sensibilité sur un des modèles NI, soit un modèle de probabilité de défaut sur le portefeuille

---

[5] Bureau du Surintendant des Institutions Financières Canada, Décembre 2016. Risque de crédit - Approche fondée sur les NI. http://www.osfi-bsif.gc.ca/Fra/Docs/CAR17_chpt6.pdf.
[6] Autorité des Marchés Financiers, Juillet 2016. Balises d'autorisation pour l'utilisation de l'approche fondée sur les Notations Internes.
https://lautorite.qc.ca/fileadmin/lautorite/professionnels/coop/balises_risque_credit.pdf.

« institutions financières » d'une grande banque canadienne, afin de répondre aux exigences de simulations de crise, pour évaluer l'adéquation des fonds propres :

> « Les tests de sensibilité de Pilier I font référence aux simulations de crise réalisées sur les paramètres de risque. Leur objectif est de s'assurer que le modèle est adéquat dans toutes les situations possibles, y compris en cas de crise. En effet, il peut arriver que les variables du modèle se comportent différemment dans des situations de crise, ce qui pourrait avoir une incidence importante sur l'exigence minimale de fonds propres[7]. »

L'objectif de cette analyse de sensibilité est donc d'observer le comportement du modèle en situation de crise et ainsi valider la pertinence de son utilisation en ce qui concerne l'approche NI de la banque.

[7] Direction Principale, Quantification des Risques de Crédit, Simulations de crise du Pilier I : tests de sensibilité des modèles v1.2, mars 2016, 42 pages.

Table des matières

Liste des abréviations 1
1. Sommaire 2
Table des matières 5
Liste des tableaux 8
Liste des graphiques 11
Liste des schémas 13
Liste des équations 14
2. Introduction 15

2.1 Mise en contexte 15

3. Présentation du modèle 20

3.1 Modèle PD IF 20

3.2 Définition du défaut 25

4. Méthodologie de la sélection des variables à stresser 26

4.1 Classification des intrants du modèle 26

4.2 Analyse, élimination et liste finale des intrants à stresser 28

5. Approches de modélisation 30

5.1 Description et traitement des données d'analyses 30

5.1.1 Données internes du portefeuille IF 30

5.1.2 Données externes des intrants quantitatifs 30

5.1.3 Variation temporelle des intrants du modèle 33

5.1.4 Données sur les variables macroéconomiques 37

5.2 Modélisation statistique des intrants 38

5.2.1 Modèle de régression linéaire 38

5.2.1.1 Modèle de la régression et principales hypothèses 38

5.2.2 Détails sur la BD de développement pour la modélisation des intrants 39

5.2.3 Sélection des variables macroéconomiques 41

5.2.3.1 Présélection des variables macroéconomiques 41

5.2.3.2 Traitement des valeurs manquantes pour les scénarios de crise 41

5.2.3.3 Traitement des valeurs aberrantes 43

5.2.3.4 Sélection des variables explicatives pour la modélisation des intrants 44

5.2.3.5 Traitement des variables non cohérentes avec la modélisation d'un intrant spécifique 45

5.2.4 Modélisation des intrants bruts initiale 47

5.2.4.1 Transformation des intrants bruts à l'aide de la loi Beta 48

5.2.5 Sommaire des ajustements des modèles finaux 52

5.2.6 Modèles sélectionnés pour les banques du G10 54

5.2.7 Modèles sélectionnés pour les banques hors du G10 60

5.2.8 Sommaire des variables explicatives pour les intrants des banques du G10 66

5.2.9 Sommaire des variables explicatives pour les intrants des banques hors du G10 67

5.2.10 Comparaison entre les variables explicatives pour les modèles des banques du G10 et hors du G10 68

5.3 Écarts relatifs entre les scores moyens estimés avec l'échantillon de développement et les scores moyens observés dans l'échantillon de validation.....69

5.3.1 Écarts relatifs des scores pour les banques du G10 70

5.3.2 Écarts relatifs des scores pour les banques hors du G10 71

5.4 Écarts relatifs entre les cotes moyennes estimées avec l'échantillon de développement et les cotes moyennes réelles observées dans l'échantillon de validation 72

5.5 Matrices de transition pour les cotes réelles observées vs les cotes estimées pour l'échantillon de validation 78

6. Scénarios de crise 81
7. Simulations et analyses des résultats 85

7.1 Analyse de la sensibilité des intrants aux différents scénarios de crise 85

7.2 Prévisions des intrants selon les scénarios de *Stress Testing*, incluant les données historiques des intrants transformés 86

7.3 Matrices des prévisions des transitions des cotes de risque 101

7.4 Mesure statistique de la sensibilité du modèle.....107

8. Conclusion 110
Références 114
Annexes 117

Liste des tableaux

Tableau 1: Intrants du module quantitatif du modèle 21
Tableau 2: Intrants du module qualitatif du modèle 22
Tableau 3: Classification des intrants du module quantitatif 26
Tableau 4: Classification des intrants du module qualitatif 27
Tableau 5: Liste finale des intrants à stresser 29
Tableau 6: Statistiques descriptives des intrants quantitatifs bruts 32
Tableau 7: Statistiques descriptives des intrants quantitatifs transformés 32
Tableau 8: Échantillonnage des données pour l'analyse 40
Tableau 9: Valeurs de USGDP_YoY et C_USGDP_YoY pour le scénario de crise S1 42
Tableau 10: Sommaire des modèles bruts initiaux 47
Tableau 11: Nomenclature des intrants transformés 49
Tableau 12: Description des étapes pour la transformation Beta des intrants bruts 50
Tableau 13: Statistiques des régressions des intrants bruts sur les intrants proxy-normaux 51
Tableau 14: Sommaire des ajustements des modèles 53
Tableau 15: Modèle sélectionné pour l'intrant Capitaux propres tangibles / Actifs pondérés par le risque (TCE_RWA), pour les banques du G10 54
Tableau 16: Modèle sélectionné pour l'intrant Croissance sur 3 ans du revenu net d'intérêt (IQ_NII_3YR_GRTH), pour les banques du G10 55
Tableau 17: Modèle sélectionné pour l'intrant ln(Actif total) (LOG_ACTIF), pour les banques du G10 56
Tableau 18: Modèle sélectionné pour l'intrant Intérêts sur les prêts consentis / Prêts bruts (INT_INC_LNS_GRS_LNS), pour les banques du G10 57
Tableau 19: Modèle sélectionné pour l'intrant Rendement sur les actifs (IQ_RETURN_ASSETS), pour les banques du G10 58
Tableau 20: Modèle sélectionné pour l'intrant Provisions pour pertes sur prêts / Prêts douteux (IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS), pour les banques du G10 59
Tableau 21: Modèle sélectionné pour l'intrant Capitaux propres tangibles / Actifs pondérés par le risque (TCE_RWA), pour les banques hors du G10 60

Tableau 22: Modèle sélectionné pour l'intrant Croissance sur 3 ans du revenu net d'intérêt (IQ_NII_3YR_GRTH), pour les banques hors du G10 61
Tableau 23: Modèle sélectionné pour l'intrant ln(Actif total) (LOG_ACTIF), pour les banques hors du G10 62
Tableau 24: Modèle sélectionné pour l'intrant Intérêts sur les prêts consentis / Prêts bruts (INT_INC_LNS_GRS_LNS), pour les banques hors du G10 63
Tableau 25: Modèle sélectionné pour l'intrant Rendement sur les actifs (IQ_RETURN_ASSETS), pour les banques hors du G10 64
Tableau 26: Modèle sélectionné pour l'intrant Provisions pour pertes sur prêts / Prêts douteux (IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS), pour les banques hors du G10 65
Tableau 27: Variables explicatives pour les modèles des banques du G10 .. 66
Tableau 28: Variables explicatives pour les modèles des banques hors du G10 67
Tableau 29: Écarts relatifs entre les scores moyens estimés et les scores moyens réels observés pour les intrants des banques du G10 dans l'échantillon testing 70
Tableau 30: Écarts relatifs entre les scores estimés et les scores observés pour les intrants des banques hors du G10 dans l'échantillon de validation 71
Tableau 31: Échelle de risque interne selon la PD ajustée 72
Tableau 32: Écarts relatifs entre PD ajustées moyennes estimées et PD ajustées moyennes réelles observées (+ cotes internes) 74
Tableau 33: Différence entre l'estimation de ln(PD) avec les modèles des intrants et la ln(PD) observée selon les intrants observés 77
Tableau 34: Matrice de transition cote réelle vs estimée pour les banques du G10 78
Tableau 35: Matrice de transition cote réelle vs estimée pour les banques hors du G10 79
Tableau 36: Sommaire de l'impact des scénarios de crise sur les variables macroéconomiques 82
Tableau 37: Matrice de transitions S0/S1 : population totale 103
Tableau 38: Matrice de transition S0/S2 : population totale 103
Tableau 39: Matrice de transition S0/S1 : portefeuille IF pays du G10 104
Tableau 40: Matrice de transition S0/S2 : portefeuille IF pays du G10 104
Tableau 41: Matrice de transition S0/S1 : portefeuille IF pays hors du G10 105
Tableau 42: Matrice de transition S0/S2 : portefeuille IF pays hors du G10 105
Tableau 43: Interprétation des statistiques ISP 108

Tableau 44: PD médiane estimée en temps de crise 113
Tableau 45: Valeurs utilisées pour la transformation des intrants bruts en scores 120
Tableau 46: Écarts relatifs entre les valeurs estimées et les valeurs observées pour les intrants des banques du G10 dans l'échantillon de validation 134
Tableau 47: Écarts relatifs entre les valeurs estimées et les valeurs observées pour les intrants des banques hors du G10 dans l'échantillon de validation 135

Liste des graphiques

Figure 1: Distributions des intrants qualitatifs corrélés au contexte macroéconomique 29
Figure 2: Évolution temporelle pour le ratio Capitaux propres tangibles / Actifs pondérés par le risque (TCE_RWA) 33
Figure 3: Évolution temporelle pour la Croissance sur 3 ans du revenu net d'intérêt (IQ_NII_3YR_GRTH) 34
Figure 4: Évolution temporelle pour le ln(Actif total) (LOG_ACTIF) 34
Figure 5: Évolution temporelle du ratio Intérêts sur les prêts consentis / Prêts bruts (INT_INC_LNS_GRS_LNS) 35
Figure 6: Évolution temporelle du Rendement sur les actifs (IQ_RETURN_ASSETS) 35
Figure 7: Évolution temporelle du ratio Provisions pour pertes sur prêts / Prêts douteux (IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS) 36
Figure 8: Exemple de la transformation 01_Beta pour l'intrant TCE_RWA_01 51
Figure 9: Distributions empiriques des cotes internes observées et estimées 75
Figure 10: Prévisions moyennes du score de l'intrant Capitaux propres tangibles / Actifs pondérés par le risque (T_TCE_RWA) pour les différents scénarios des banques du G10 87
Figure 11: Prévisions moyennes du score de l'intrant Croissance sur 3 ans du revenu net d'intérêt (T_IQ_NII_3YR_GRTH) pour les différents scénarios des banques du G10 89
Figure 12: Prévisions moyennes du score de l'intrant ln(Actif total) (T_LOG_ACTIF) pour les différents scénarios des banques du G10 91
Figure 13: Prévisions moyennes du score de l'intrant Intérêts sur les prêts consentis / Prêts bruts (T_INT_INC_LNS_GRS_LNS) pour les différents scénarios des banques du G10 93
Figure 14: Prévisions moyennes du score de l'intrant Rendement sur les actifs (T_IQ_RETURN_ASSETS) pour les différents scénarios des banques du G10 95
Figure 15: Prévisions moyennes du score de l'intrant Provisions pour pertes sur prêts / Prêts douteux (T_IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS) pour les différents scénarios des banques du G10 97
Figure 16: Prévisions moyennes des probabilités de défaut pour tous les scénarios des banques du G10 99

Figure 17: Prévisions moyennes du score de l'intrant Capitaux propres tangibles / Actifs pondérés par le risque (T_TCE_RWA) pour les différents scénarios des banques hors du G10 136
Figure 18: Prévisions moyennes du score de l'intrant Croissance sur 3 ans du revenu net d'intérêt (T_IQ_NII_3YR_GRTH) pour les différents scénarios des banques hors du G10 137
Figure 19: Prévisions moyennes du score de l'intrant ln(Actif total) (T_LOG_ACTIF) pour les différents scénarios des banques hors du G10 138
Figure 20: Prévisions moyennes du score de l'intrant Intérêts sur les prêts consentis / Prêts bruts (T_INT_INC_LNS_GRS_LNS) pour les différents scénarios des banques hors du G10 139
Figure 21: Prévisions moyennes du score de l'intrant Rendement sur les actifs (T_IQ_RETURN_ASSETS) pour les différents scénarios des banques hors du G10 140
Figure 22: Prévisions moyennes du score de l'intrant Provisions pour pertes sur prêts / Prêts douteux (T_IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS) pour les différents scénarios des banques du G10 141
Figure 23: Prévisions des probabilités de défaut moyennes pour tous les scénarios des banques hors du G10 142

Liste des schémas

Schéma 1: Synthèse de la méthodologie du développement de l'analyse de sensibilité du modèle PD IF 19
Schéma 2: Méthodologie détaillée du développement de l'analyse de sensibilité du modèle PD IF : Mise en forme des données, Échantillonage et Modélisation 147
Schéma 3: Méthodologie détaillée du développement de l'analyse de sensibilité du modèle PD IF : *Stress Testing* 148

Liste des équations

Équation 1: Ajustement pour la probabilité de support 24
Équation 2: Exemple d'une régression linéaire multiple 38
Équation 3: Problématique des valeurs indéterminées 42
Équation 4: Indice de la Stabilité de la Population 107
Équation 5: Fonction de répartition de la loi logistique 118
Équation 6: Transformation de l'intrant brut en score 119
Équation 7: Transformation de l'intrant brut en score, lorsque celui-ci a une relation positive avec le risque de défaut 119
Équation 8: Transformation de l'intrant brut en score, lorsque celui-ci a une relation négative avec le risque de défaut 119
Équation 9: Standardisation d'un intrant brut sur l'intervalle [0,1] 128
Équation 10: Calcul de la moyenne et de la variance échantillonnale 128
Équation 11: Estimation des paramètres de la loi Beta 129
Équation 12: Fonction de densité de la loi Beta 129
Équation 13: Fonction de répartition de la loi Beta 129
Équation 14: Fonction de répartition de la loi Normale centrée réduite 130

2. Introduction

2.1 Mise en contexte

Le modèle, qui fait l'objet de cette analyse de sensibilité, estime la probabilité de défaut des expositions du portefeuille bancaire de la banque canadienne étudiée. Selon les exigences réglementaires relatives à l'approche fondée sur les notations internes, toutes les expositions du portefeuille bancaire comprises dans la sous-catégorie d'actifs Banques doivent être traitées.

Le modèle estime donc la probabilité de défaut des institutions financières (PD IF), qui sont les contreparties des expositions du portefeuille interne. Le portefeuille inclut[8] :

- Le regroupement des emprunteurs des financements de la *banque canadienne* de classe d'actifs Banques et sous-classe d'actifs Banques. Les emprunteurs qui composent ce portefeuille sont des « *Credit Union* » canadiennes;
- Le regroupement des contreparties/émetteurs des valeurs mobilières, produits dérivés et prêts de titres de classe d'actif Banques et sous-classe d'actifs banques qui composent le portefeuille du risque de contrepartie et d'émetteur (RCEE). Les contreparties/émetteurs qui composent ce portefeuille sont des banques situées à travers le monde et des filiales/courtiers attachés à ces banques.

L'objectif de cette analyse de sensibilité est d'observer le comportement du modèle PD IF en situation de crise et ainsi vérifier sa pertinence. Un modèle robuste doit pouvoir s'adapter en temps de crise et estimer de façon adéquate les probabilités de défaut des contreparties de façon réaliste. C'est-à-dire que le modèle doit représenter l'augmentation globale du risque de crédit à

[8] Direction Principale, Quantification des Risques de Crédit, Document Méthodologique – Probabilité de défaut – IF – v.1.15, 147 pages.

travers la croissance de la probabilité de défaut sur le portefeuille durant une crise de crédit.

L'importance de la sensibilité du modèle au contexte macroéconomique vient du fait que le modèle PD IF est notamment utilisé dans les calculs de capital économique et de capital réglementaire via le modèle *RiskFrontier* (RF) pour le risque de crédit et le calcul du *Risk-Adjusted Return On Capital* qui sert au *pricing* des instruments en fonction de leur rendement ajusté en fonction du risque.

Le programme interne d'évaluation de l'adéquation des fonds propres (PIEAFP) est une saine pratique de gestion reconnue dans l'industrie et permet à la banque canadienne de s'assurer du niveau approprié de ses fonds propres disponibles par rapport à son capital réglementaire minimal (pilier I) et à son évaluation interne du capital requis (pilier II)[9].

Puisque les calculs de capital économique et réglementaire entrent dans le PIEAFP, il est primordial que les modèles sous-jacents à ces calculs reflètent convenablement les fluctuations macroéconomiques en tout temps.

Ce rapport a pour but de se conformer aux exigences reliées aux tests de Pilier I, soient les paragraphes 434 à 437 : « Simulations de crise pour évaluer l'adéquation des fonds propres ». Dans le document présent, les tests de sensibilité de Pilier I utilisent les simulations de crise réalisées sur les paramètres de risque et leurs incidences sur les intrants du modèle PD IF.

La méthodologie utilisée pour cette analyse de sensibilité s'inspire des simulations de crise du Pilier I de l'institution étudiée[10]. Le document débute avec un schéma de la méthodologie du développement de l'analyse, puis avec une présentation sommaire du modèle PD IF et de ses différents modules et

[9] Vice Présidence Risques de marché et Quantification des risques, Programme interne d'évaluation de l'adéquation des fonds propres, 2016, 56 pages.

[10] Direction Principale, Quantification des Risques de Crédit, Simulations de crise du Pilier I : tests de sensibilité des modèles v1.2, mars 2016, 42 pages.

ajustements. Nous explicitons ensuite la construction et la manipulation des bases de données de développement, ainsi que la sélection des intrants du modèle qui seront stressés. Par la suite, les intrants sélectionnés sont modélisés à l'aide de variables macroéconomiques historiques. Les modèles ainsi développés sont appliqués aux scénarios de crise fournis par la Vice-Présidence Études Économiques (VPEE). Les scénarios de crise utilisés sont :

1- Scénario de base (S0)
2- Scénario de taux d'intérêt négatifs en réponse à la faiblesse de la croissance et de l'inflation (S1)
3- Scénario de faible potentiel de croissance au Québec et détérioration des finances publiques (S2)

Enfin, après plusieurs manipulations et calculs, une PD ajustée stressée est obtenue pour chaque scénario de crise, pour chaque banque et comparée à sa PD ajustée pour le scénario de base (S0). À partir de ces données, une analyse de la transition des cotes de risque de crédit interne est faite. C'est notamment à partir des fluctuations dans les cotes de risque que l'on peut observer la sensibilité du modèle PD IF.

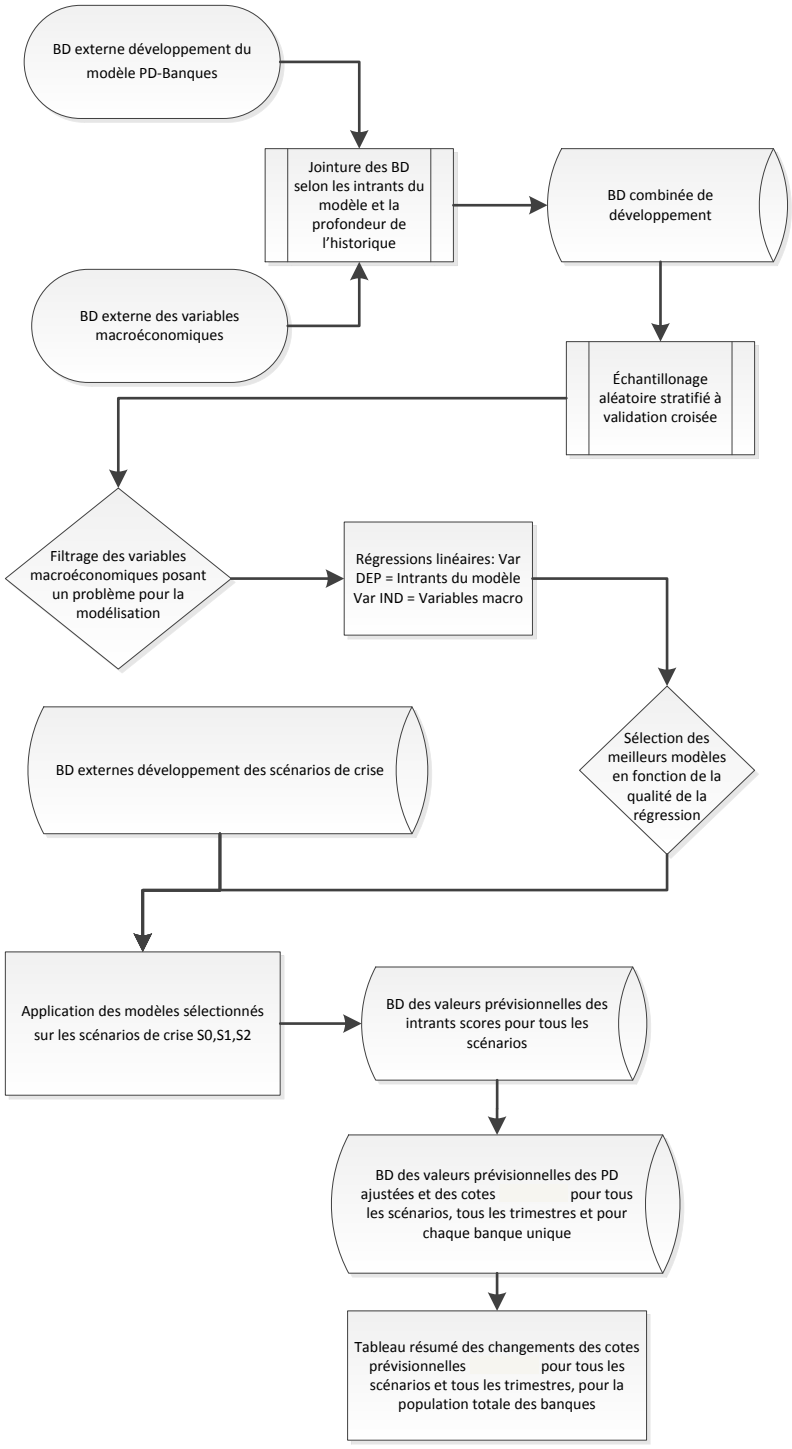
En anticipant de quelles façons le modèle peut se comporter en situation de crise, nous obtenons de l'information sur les limites potentielles du modèle, ce qui nous permet de proposer des recommandations pour améliorer celui-ci.

Avant même de commencer l'analyse de sensibilité, nous faisons l'hypothèse que le modèle PD IF créé par la Direction Principale Quantification des Risques de Crédit (DPQRC) est représentatif de la réalité et performe de façon adéquate. En effet, ce modèle a déjà été approuvé par plusieurs équipes de validation à l'interne et à l'externe.

Le but de cette analyse de sensibilité n'est donc pas de tester la performance du modèle, mais traite plutôt la question de la pertinence de celui-ci en temps de crise. Cette analyse est donc nécessaire dans la conclusion des travaux de modélisation de la PD du portefeuille IF.

Le schéma qui suit est une représentation visuelle de la méthodologie du développement de l'analyse. D'autres schémas avec des étapes beaucoup plus détaillées sont également présentés à l'annexe M.

Schéma 1: Synthèse de la méthodologie du développement de l'analyse de sensibilité du modèle PD IF



3. Présentation du modèle

3.1 Modèle PD IF

L'institution financière canadienne étudiée a pour objectif d'obtenir en 2020 l'agrément Bâle entreprise et, par conséquent, doit se conformer aux exigences réglementaires relatives à l'approche fondée sur les notations internes pour toutes les expositions du portefeuille bancaire comprises dans la sous-catégorie d'actifs Banques.

Dans le cadre de ces exigences réglementaires, le modèle de probabilité de défaut (PD) sur le portefeuille IF a été développé en 2015-2016. Celui-ci traite principalement des *Credit Union* de la banque canadienne et de certaines expositions du risque de contrepartie et d'émetteurs (RCEE). Le modèle remplace la grille développée en 2011, qui est essentiellement une carte de pointage fondée sur le jugement d'expert et orientée en fonction des facteurs d'analyse de Moody's. Bien qu'utile, cette grille n'était que temporaire et ne répondait plus aux exigences réglementaires au niveau de la construction d'un modèle PD.

Le modèle PD IF[11] est composé de quatre modules distincts :

- Un module quantitatif reposant principalement sur des scores attribués à des ratios financiers et autres caractéristiques provenant des états financiers annuels des banques du portefeuille;

- Un module qualitatif basé sur un questionnaire réalisé selon les meilleures pratiques de l'industrie et les experts à l'interne;

[11] Direction Principale, Quantification des Risques de Crédit, Document Méthodologique – Probabilité de défaut – IF – v.1.15, 147 pages.

- Une notion de support pour ajuster la PD finale. L'hypothèse étant que les filiales des banques peuvent bénéficier d'un support de la banque mère pour éviter un défaut;

- Un ajustement de la cote finale basé sur l'atteinte ou non du seuil réglementaire associé au ratio de liquidité LCR (*Liquidity Coverage Ratio*).

Les différents modules n'affectent pas le modèle de façon équipondérée. Plus particulièrement, une emphase est mise sur l'approche statistique du module quantitatif qui repose sur les variables macroéconomiques. La pondération du modèle final est de 80% pour le module quantitatif (Tableau 1) et 20% pour le module qualitatif (Tableau 2).

Tableau 1: Intrants du module quantitatif du modèle

Nom de l'intrant brut	Description	Pointage	Coefficient
N/A	Constante	-	-3,60792
T_TCE_RWA	Capitaux propres tangibles / Actifs pondérés par le risque	[0,10]	-0,02204
T_IQ_NII_3YR_GRTH	Croissance sur 3 ans du revenu net d'intérêt	[0,10]	-0,01822
T_LOG_ACTIF	Ln(Actif total)	[0,10]	-0,19451
T_INT_INC_LNS_GRS_LNS	Intérêts sur les prêts consentis / Prêts bruts	[0,10]	-0,10632
T_IQ_RETURN_ASSETS	Rendement sur les actifs	[0,10]	-0,02274
G10	Variable indicatrice du G10	0 / 1	-0,24038
T_IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS	Provisions pour pertes sur prêts / Prêts douteux	[0,10]	-0,04939

Tableau 2: Intrants du module qualitatif du modèle

Numéro	Nom	SCORE1 (1)	SCORE2 (0,75)	SCORE3 (0,5)	SCORE4 (0,25)	SCORE5 (0)	Pondération
Constante	**-**	-	-	-	-	-	-6,77381
Q1	**Part de marché**	La part de marché appartient aux percentiles]80, 100]% de son marché primaire, banque dominante (c.-à-d. avec « Pricing-Power »)	La part de marché appartient aux percentiles]60, 80]% de son marché primaire, banque importante (c.-à-d. sans « Pricing-Power »	La part de marché appartient aux percentiles]40, 60]% de son marché primaire	La part de marché appartient aux percentiles]20, 40]% de son marché primaire	La part de marché appartient aux percentiles [0, 20]% de son marché primaire	1
Q2	**Diversification géographique**	Opérations significatives dans au moins un marché national et au moins deux marchés régionaux. Le revenu annuel de chacun des marchés identifiés est ≤ 50 % du revenu annuel total. Les marchés identifiés sont faiblement corrélés et présentent des économies fortement diversifiées.	Opérations significatives dans au moins un marché national ou au moins deux marchés régionaux. Plus de 25 % du revenu annuel total provient de l'extérieur du marché d'affaires primaire. Les marchés identifiés sont faiblement corrélés et présentent des économies fortement diversifiées.	Opérations significatives dans au moins un marché national ou au moins deux marchés régionaux. Plus de 25 % du revenu annuel total provient de l'extérieur du marché d'affaires primaire. Les marchés identifiés sont faiblement corrélés et présentent des économies moyennement diversifiées.	Opérations significatives dans un marché régional. Le marché identifié présente une économie fortement ou moyennement diversifiée.	Opérations significatives dans un marché régional. Le marché identifié présente une économie faiblement diversifiée.	1
Q3	**Stabilité des profits**	Plus de 80 % du profit total provient des lignes d'affaires à faible volatilité	]60, 80] %	]60, 80] %	]20, 40] %	≤20 %	1
Q5	**Structure organisationnelle et de détentions**	NEUTRE				Structure de détention complexe OU plus de 50 % de l'organisation détenue par {individu légal (incluant gouvernement), famille}	1

Q8	**Contrôle et gouvernance**	NEUTRE			Présence d'au moins un état financier « QUALIFIED » lors des 5 dernières années OU présence de fraude par un cadre supérieur OU anomalies volontaires dans les bénéfices déclarés	Problèmes majeurs de gouvernance ou de contrôle recensés lors des 5 dernières années	1
Q9	**Comparabilité des états financiers**	EF consolidé préparé sous {IFRS, US GAAP, ou équivalent} ET firme mondialement reconnue à titre d'auditeur indépendant	EF consolidé préparé sous {IFRS, US GAAP, ou équivalent} ET firme nationalement reconnue à titre d'auditeur indépendant	EF non consolidé préparé sous {IFRS, US GAAP, ou équivalent} ET firme mondialement ou nationalement reconnue à titre d'auditeur indépendant	EF préparé sous LOCAL GAAP ET firme auditrice indépendante	L'auditeur de l'EF n'est pas une firme indépendante	1
Q10	**Fréquence et rapidité de divulgation des états financiers**	Fréquence trimestrielle de divulgation des EF ET délai de divulgation ≤ 10 semaines	Fréquence semestrielle de divulgation des EF ET délai de divulgation ≤ 10 semaines ET fréquence trimestrielle de divulgation d'un « Trading Update »	Fréquence semestrielle de divulgation des EF ET délai de divulgation ≤ 14 semaines ET fréquence trimestrielle de divulgation d'un « Trading Update »			1
Q11	**Qualité de l'information financière aux états financiers**	Excellente	Très bonne	Satisfaisante	Modeste	Faible	1
Q13	**Risque de Crédit - Concentration aux industries**	L'exposition totale $ de l'industrie TOP 1 est : ≤ 50 % du Capital Tier1 $	L'exposition totale $ de l'industrie TOP 1 est :]50, 200] % du Capital Tier1 $	L'exposition totale $ de l'industrie TOP 1 est :]200, 350] % du Capital Tier1 $	L'exposition totale $ de l'industrie TOP 1 est :]350, 500] % du Capital Tier1 $	L'exposition totale $ de l'industrie TOP 1 est : > 500% du Capital Tier1 $	1
Q14	**Appétit au risque de marché**	Perte annuelle des portefeuilles de négociation et bancaire relative au risque de marché ≤ 10 % du Capital Tier1	Perte annuelle des portefeuilles de négociation et bancaire relative au risque de marché]10, 20] % du Capital Tier1	Perte annuelle des portefeuilles de négociation et bancaire relative au risque de marché]20, 35] % du Capital Tier1	Perte annuelle des portefeuilles de négociation et bancaire relative au risque de marché]35, 50] % du Capital Tier1	Perte annuelle des portefeuilles de négociation et bancaire relative au risque de marché > 50 % du Capital Tier1	1

La PD prédite correspond à l'exponentielle de l'extrant du modèle logit PD IF. Comme mentionné plus haut, un ajustement est effectué sur la PD prédite pour la banque filiale. La notion de support par la banque mère ajuste la PD prédite de la façon suivante :

Équation 1: Ajustement pour la probabilité de support

$$\boldsymbol{PD_{ajustée} = \min(PD_{prédite}\,; (1 - P_{support}) * PD_{prédite} + P_{support} * PD_{mère})}$$

où $\boldsymbol{P_{support} = \frac{AT_{filiale}}{AT_{mère}}}$

La $PD_{mère}$ est la PD qui correspond à la cote S&P de la banque mère (voir annexe A). La $PD_{prédite}$ de l'équation correspond à la probabilité de défaut prédite par le modèle pour la banque filiale. La $P_{support}$ est calculée en faisant le ratio de l'actif total de la banque filiale sur l'actif total de la banque mère. Par construction, la $PD_{ajustée}$ pour une banque mère est équivalente à sa $PD_{prédite}$ puisqu'il n'y a aucun ajustement fait. En plus, nous ne faisons aucun ajustement lorsque la $PD_{mère}$ est non disponible.

La PD prédite ajustée est enfin utilisée pour faire l'adéquation avec la cote S&P. Puis, l'échelle de correspondance des cotes de risque est utilisée pour obtenir la note interne de l'échelle interne correspondante à la note externe reproduite.

Le dernier ajustement est basé sur le *Liquidity Coverage Ratio* (LCR), qui correspond à la suffisance des actifs liquides de grande qualité de la banque pour faire face à ses besoins de liquidité dans les 30 prochains jours. L'ajustement décote d'un cran (un demi-point) sur l'échelle interne une firme dont le LCR est inférieur à 100%. Toutefois, ce seuil est une exigence récente de Bâle III et les banques ne doivent divulguer cette information que depuis janvier 2015. Par le fait même, les banques dont l'information n'est pas disponible n'ont pas été pénalisées. Nous ne tiendrons donc pas compte de cet ajustement dans notre analyse de sensibilité.

3.2 Définition du défaut

La définition du défaut pour le portefeuille IF au sein de la banque canadienne étudiée est la même que celle utilisée pour le suivi du risque et pour le calcul du capital réglementaire. Un évènement de défaut est enregistré lorsqu'au moins un de ces évènements a lieu[12] :

- Le retard d'un débiteur sur un crédit important dépasse 90 jours. Les montants découverts sont considérés comme des créances échues dès que le débiteur dépasse une limite autorisée.

- La banque estime improbable qu'un débiteur lui rembourse la totalité de sa dette sans avoir besoin de prendre des mesures appropriées, comme la réalisation d'une sûreté ou d'une garantie existante.

[12] Direction Principale, Quantification des Risques de Crédit, Document Méthodologique – Probabilité de défaut – IF – v.1.15, 147 pages.

4. Méthodologie de la sélection des variables à stresser

L'approche de sélection des variables à stresser sert à regrouper de façon intuitive les variables susceptibles d'être influencées par des changements macroéconomiques et qui doivent être stressées (groupe A) pour l'analyse de sensibilité et celles qui ne le sont pas du tout, ou encore de manière non significative (groupe B). Une explication de cette classification est faite pour tenter d'expliquer la relation entre le contexte macroéconomique et les intrants du modèle.

4.1 Classification des intrants du modèle

La première étape consiste à classifier les intrants dans deux groupes selon leur relation probable avec les fluctuations des variables macroéconomiques. Les intrants du groupe A sont considérés susceptibles d'être influencés et seront stressés, alors que les intrants du groupe B ne le sont pas.

Tableau 3: Classification des intrants du module quantitatif

Nom de l'intrant brut	Description	Type	Explication de la classification	Groupe
TCE_RWA	Capitaux propres tangibles / Actifs pondérés par le risque	Capital	Ce ratio est une mesure conservatrice de la valeur de la firme sur les actifs pondérés par leur degré de risque. Puisque la valeur de la firme et le degré de risque sont fortement corrélés avec contexte macroéconomique, nous pouvons anticiper une relation entre ce ratio et les variables macroéconomiques.	A
IQ_NII_3YR_GRTH	Croissance sur 3 ans du revenu net d'intérêt	Croissance	Ce ratio est une mesure de croissance du revenu net des charges d'intérêt sur 3 ans. Puisque les revenus des banques sont fortement corrélés avec l'activité macroéconomique, nous anticipons un lien entre ce ratio et les variables macroéconomiques.	A
LOG_ACTIF	Ln(Actif total)	Taille	Ce ratio est très couramment utilisé dans la littérature financière pour estimer la taille d'une firme. On peut anticiper une variation de la valeur totale des actifs lors d'une crise économique.	A

INT_INC_LNS_GRS_LNS	Intérêts sur les prêts consentis / Prêts bruts	Intérêt	Ce ratio est une mesure des revenus d'intérêts sur les prêts bruts d'une banque. Puisque l'intrant est fortement corrélé avec les taux d'intérêt, nous pouvons anticiper un lien entre ce ratio et les variables macroéconomiques.	A
IQ_RETURN_ASSETS	Rendement sur les actifs	Profitabilité	Ce ratio est une mesure de l'efficience avec laquelle la banque utilise ses actifs pour générer des rendements. Puisque les revenus et la profitabilité des banques sont corrélés avec le contexte macroéconomique, nous nous attendons à une forte relation entre l'intrant et les variables macroéconomiques.	A
G10	Variable indicatrice du G10	Géographie	Variable indicatrice de type géographie qui prend la valeur de 1 si la banque est située dans un pays du G10 et la valeur de 0 sinon. La variable est constante pour chaque banque et n'est aucunement affectée par les fluctuations macroéconomiques. Toutefois, nous l'utilisons afin de séparer notre population en deux groupes de banques avec des caractéristiques plus homogènes.	B
IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS	Provisions pour pertes sur prêts / Prêts douteux	Portefeuille	Ce ratio est une mesure de la suffisance des provisions pour pertes sur prêts en cas de pertes sur les prêts douteux. Nous anticipons une forte relation entre cet intrant et le cycle macroéconomique.	A

À l'exception de la variable indicatrice géographique G10, nous anticipons que tous les intrants quantitatifs seront impactés de façon significative par un changement du contexte macroéconomique. Par conséquent, ils seront tous stressés.

Tableau 4: Classification des intrants du module qualitatif

Nom de l'intrant brut	Type	Explication de la classification	Groupe
Part de marché (Q1)	Valeur de la banque	Les parts de marché ne devraient pas fluctuer significativement avec le contexte macroéconomique.	B
Diversification géographique (Q2)	Valeur de la banque	La diversification géographique ne devrait pas changer significativement en temps de crise.	B
Stabilité des profits (Q3)	Valeur de la banque	La stabilité des profits peut fluctuer avec le contexte macroéconomique.	A
Structure organisationnelle et de détentions (Q5)	Environnement opérationnel	La structure organisationnelle n'est pas liée au contexte macroéconomique.	B
Contrôle et gouvernance (Q8)	Positionnement vis-à-vis du risque	La gouvernance ne devrait pas changer avec le contexte macroéconomique.	B
Comparabilité des états financiers (Q9)	Positionnement vis-à-vis du risque	La comparabilité des états financiers ne devrait pas changer en temps de crise.	B

Fréquence et rapidité de divulgation des états financiers (Q10)	Positionnement vis-à-vis du risque	La fréquence et la rapidité de divulgation des É/F pourraient changer avec le contexte macroéconomique.	A
Qualité de l'information financière aux états financiers (Q11)	Positionnement vis-à-vis du risque	La qualité de l'information financière n'est pas en fonction du contexte macroéconomique.	B
Risque de crédit – Concentration aux industries (Q13)	Positionnement vis-à-vis du risque	Le risque de crédit fluctue en temps de crise.	A
Appétit au risque de marché (Q14)	Positionnement vis-à-vis du risque	L'appétit au risque de marché peut changer selon le contexte macroéconomique.	A

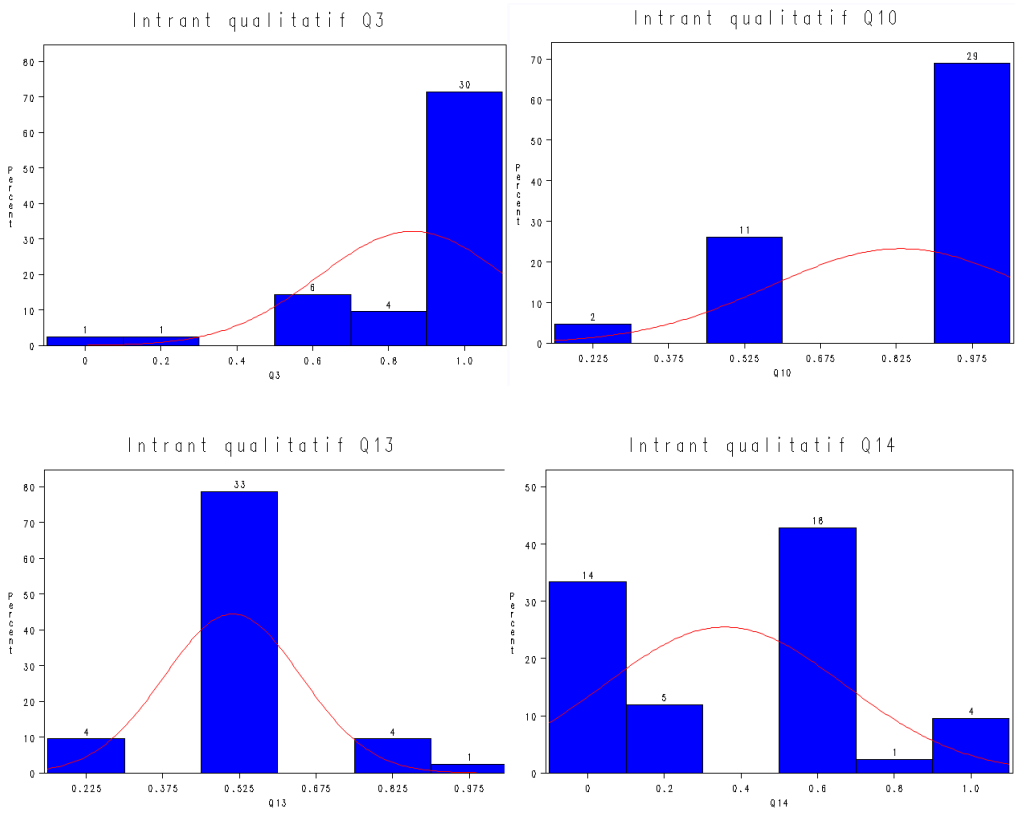
Pour ce qui est des intrants qualitatifs, seule la stabilité des profits; la fréquence et la rapidité de divulgation des états financiers; le risque de crédit et l'appétit au risque de marché semblent pouvoir changer significativement avec les fluctuations macroéconomiques. Toutefois, nous verrons dans la section suivante qu'il n'est pas possible de stresser ces variables avec les données disponibles.

4.2 Analyse, élimination et liste finale des intrants à stresser

La classification faite à l'étape précédente nous a permis d'identifier un total de 10 intrants potentiels à stresser pour l'analyse de sensibilité, soit 6 intrants quantitatifs et 4 intrants qualitatifs.

Toutefois, comme le présentent les histogrammes ci-dessous, les modalités des questions qui n'apparaissent pas dans les distributions des intrants qualitatifs seront, par construction, impossibles à prédire avec un modèle économétrique.

Figure 1: Distributions des intrants qualitatifs corrélés au contexte macroéconomique



Les distributions des autres intrants qualitatifs se trouvent à l'annexe E. Puisque nous manquons d'information dans notre BD de développement, nous avons décidé de ne pas stresser les variables du module qualitatif dans notre analyse de sensibilité. Le tableau qui suit résume la liste finale des intrants qui seront modélisés et stressés.

Tableau 5: Liste finale des intrants à stresser

Intrants quantitatifs	Intrants qualitatifs
(1) TCE_RWA	N/A
(2) IQ_NII_3YR_GRTH	
(3) LOG_ACTIF	
(4) INT_INC_LNS_GRS_LNS	
(5) IQ_RETURN_ASSETS	
(6) IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS	

5. Approches de modélisation

Cette section présente la méthodologie du traitement des intrants et des variables macroéconomiques inhérentes à la modélisation statistique des intrants et de la sélection des modèles finaux des intrants du modèle PD IF.

5.1 Description et traitement des données d'analyses

5.1.1 Données internes du portefeuille IF

Il n'existe pas de base de données interne spécifique des défauts sur le portefeuille IF, puisqu'aucun défaut n'a jamais été enregistré par la banque sur ce portefeuille de nature *low default*. De plus, il n'y avait qu'un total de 81 contreparties pour le portefeuille IF interne et 4 ans d'historique lors de la création du modèle PD IF en 2015. Pour l'année 2014, les contreparties du portefeuille interne sont majoritairement canadiennes et 66 des 67 contreparties ont un pays de provenance qui appartient au G10.

5.1.2 Données externes des intrants quantitatifs

Puisque les données internes du portefeuille IF de la banque étaient insuffisantes pour une modélisation robuste, des données externes ont été achetées à Capital IQ lors de la création du modèle PD IF en 2015, puis une BD de développement a finalement été assemblée à partir de ces données.

La BD que nous utilisons dans notre analyse, lors de la modélisation des intrants quantitatifs est donc la même qui a été achetée et assemblée lors du développement du modèle PD IF[13] en 2015.

---

[13] Direction Principale, Quantification des Risques de Crédit, Document Méthodologique – Probabilité de défaut – IF – v.1.15, 147 pages.

La BD des données externes de Capital IQ, contient 2590 observations, dont 537 contreparties uniques, avec une profondeur historique de 11 ans, soit pour les années fiscales se terminant entre 2003 et 2013. Les détails du développement de cette BD sont contenus dans le document du développement du modèle. Pour avoir une idée du comportement des distributions, nous calculons les statistiques de base des intrants bruts et scores du modèle PD IF. Les détails de la transformation des intrants bruts en scores sont affichés à l'annexe B.

Notons que les valeurs minimum et 5^{e} centile sont équivalentes tout comme les valeurs maximum et 95^{e} centile pour tous les intrants de la population totale. Ceci est la conséquence d'une technique de traitement des valeurs extrêmes d'une distribution communément appelée winsorisation, où une limite est établie sur les quantiles. Dans le cas présent, toutes les valeurs extrêmes ont été bornées au 5^{e} et au 95^{e} centile, pour éviter leur surreprésentation dans les estimations des distributions. C'est-à-dire que toutes les valeurs extrêmes sont remplacées par la valeur de la borne inférieure ou supérieure, selon le cas.

Pour une représentation graphique, les distributions des intrants bruts sont situées à l'annexe C. Les tableaux qui suivent affichent les statistiques descriptives de base pour 3 groupes, soit : les banques du G10, hors du G10 et la population totale.

Tableau 6: Statistiques descriptives des intrants quantitatifs bruts

		MIN	P5	Q1	MEDIAN	Q3	P95	MAX	MEAN	STD	N
TOTAL	TCE_RWA	0,056	0,056	0,079	0,107	0,145	0,249	0,249	0,119	0,052	2590
	IQ_NII_3YR_GRTH	-11,505	-11,505	0,009	7,520	15,540	40,036	40,036	9,189	12,974	2324
	LOG_ACTIF	8,329	8,329	10,056	11,036	12,475	14,272	14,272	11,225	1,653	2590
	INT_INC_LNS_GRS_LNS	0,020	0,020	0,045	0,063	0,087	0,173	0,173	0,072	0,038	2420
	IQ_RETURN_ASSETS	-0,579	-0,579	0,308	0,738	1,317	2,731	2,731	0,860	0,815	2556
	IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS	30,828	30,828	56,342	83,286	132,353	351,787	351,787	111,872	83,929	2338
G10=1	TCE_RWA	0,056	0,056	0,072	0,095	0,123	0,196	0,249	0,104	0,043	1204
	IQ_NII_3YR_GRTH	-11,505	-11,505	-2,005	3,337	10,488	27,097	40,036	5,038	10,638	1066
	LOG_ACTIF	8,329	9,400	10,845	12,085	13,391	14,272	14,272	12,029	1,555	1204
	INT_INC_LNS_GRS_LNS	0,020	0,020	0,038	0,051	0,064	0,111	0,173	0,055	0,030	1086
	IQ_RETURN_ASSETS	-0,579	-0,579	0,186	0,450	0,855	1,518	2,731	0,526	0,591	1195
	IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS	30,828	30,886	52,144	74,037	126,103	351,787	351,787	109,288	88,356	1028
G10=0	TCE_RWA	0,056	0,063	0,089	0,121	0,164	0,249	0,249	0,132	0,055	1386
	IQ_NII_3YR_GRTH	-11,505	-11,448	3,822	11,131	20,194	40,036	40,036	12,707	13,718	1258
	LOG_ACTIF	8,329	8,329	9,547	10,551	11,337	13,118	14,272	10,527	1,400	1386
	INT_INC_LNS_GRS_LNS	0,020	0,037	0,059	0,076	0,104	0,173	0,173	0,086	0,039	1334
	IQ_RETURN_ASSETS	-0,579	-0,349	0,527	1,073	1,736	2,731	2,731	1,153	0,871	1361
	IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS	30,828	30,828	59,594	89,497	135,131	326,144	351,787	113,901	80,260	1310

Tableau 7: Statistiques descriptives des intrants quantitatifs transformés

		MIN	P5	Q1	MEDIAN	Q3	P95	MAX	MEAN	STD	N
TOTAL	T_TCE_RWA	1,235	1,235	2,470	4,694	7,745	9,933	9,933	5,138	2,890	2590
	T_IQ_NII_3YR_GRTH	0,631	0,726	2,768	5,000	7,184	9,851	9,891	5,076	2,748	2590
	T_LOG_ACTIF	0,639	0,639	2,607	4,723	7,787	9,510	9,510	5,053	2,860	2590
	T_INT_INC_LNS_GRS_LNS	0,031	0,038	2,631	5,000	7,256	9,180	9,200	4,868	2,819	2590
	T_IQ_RETURN_ASSETS	0,487	0,488	2,653	4,858	7,609	9,862	9,862	5,087	2,877	2590
	T_IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS	1,336	1,363	2,750	5,000	7,562	9,997	9,998	5,206	2,827	2590
G10=1	T_TCE_RWA	1,235	1,235	2,026	3,636	6,138	9,562	9,933	4,277	2,621	1204
	T_IQ_NII_3YR_GRTH	0,631	0,703	2,201	4,090	5,486	9,154	9,891	4,203	2,432	1204
	T_LOG_ACTIF	0,639	1,589	4,275	7,083	8,937	9,510	9,510	6,426	2,659	1204
	T_INT_INC_LNS_GRS_LNS	0,031	0,972	5,000	6,555	7,988	9,200	9,200	6,190	2,362	1204
	T_IQ_RETURN_ASSETS	0,487	0,487	2,148	3,290	5,386	8,314	9,862	3,880	2,329	1204
	T_IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS	1,336	1,360	2,525	4,832	6,699	9,998	9,998	4,951	2,803	1204
G10=0	T_TCE_RWA	1,235	1,541	3,199	5,916	8,739	9,933	9,933	5,887	2,905	1386
	T_IQ_NII_3YR_GRTH	0,631	0,746	4,013	5,760	8,217	9,891	9,891	5,834	2,783	1386
	T_LOG_ACTIF	0,639	0,639	1,785	3,607	5,439	8,664	9,510	3,861	2,468	1386
	T_INT_INC_LNS_GRS_LNS	0,031	0,031	1,177	3,753	5,753	8,211	9,200	3,719	2,679	1386
	T_IQ_RETURN_ASSETS	0,487	0,783	3,714	6,495	8,853	9,862	9,862	6,134	2,898	1386
	T_IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS	1,336	1,376	2,967	5,000	7,925	9,993	9,998	5,428	2,830	1386

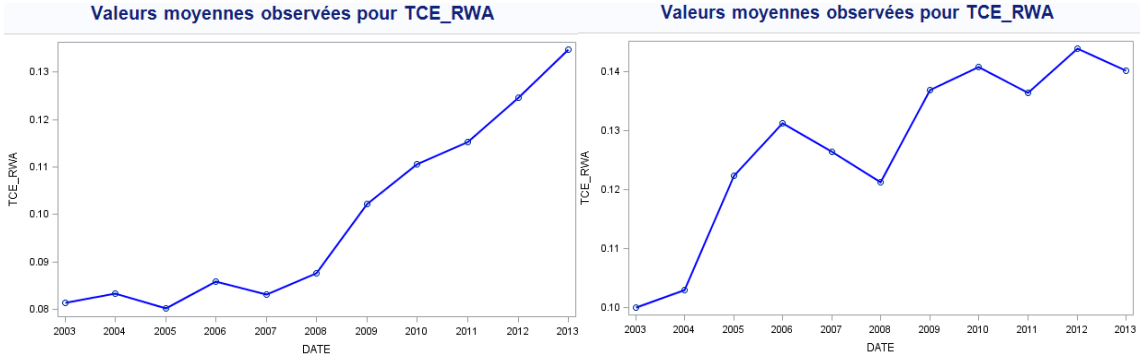
5.1.3 Variation temporelle des intrants du modèle

Une approche visuelle est également utilisée pour comprendre l'évolution temporelle des intrants du modèle PD IF de 2003 à 2013. Puisque notre profondeur historique inclut la crise financière de 2007-2008, nous pouvons ainsi constater la corrélation entre les intrants et les fluctuations du contexte macroéconomique en temps de crise.

Les graphiques qui suivent montrent l'évolution temporelle des valeurs moyennes observées, par année, pour chaque intrant brut du modèle PD IF. Les figures correspondantes aux banques du G10 sont présentées à gauche, alors que celles correspondantes aux banques hors du G10 sont présentées à droite. Les figures des évolutions temporelles des valeurs transformées (scores entre 0 et 10) moyennes observées, par année, pour chaque intrant, sont également présentées à l'annexe D.

Figure 2: **Évolution temporelle pour le ratio Capitaux propres tangibles / Actifs pondérés par le risque (TCE_RWA)**

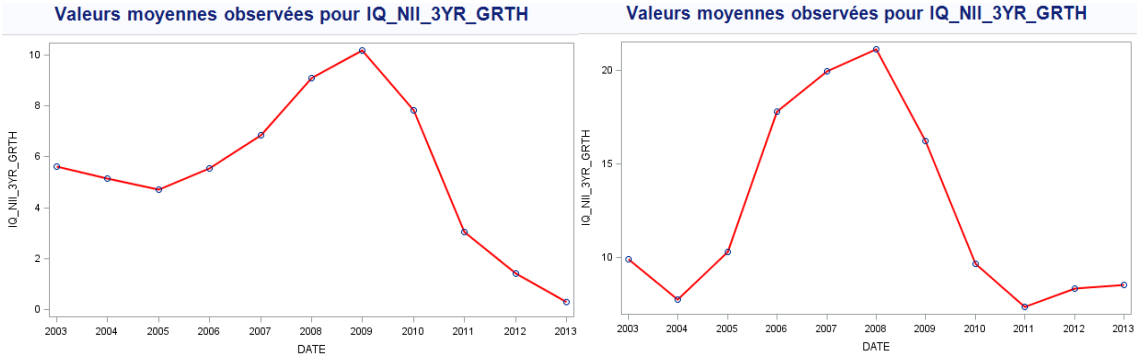
G10=1 G10=0



Ce ratio est une mesure conservatrice de la valeur de la firme, sur les actifs pondérés par leur degré de risque. Le ratio moyen a tendance à croître dans le temps et puis encore davantage après la crise financière. Puisque les banques ont dû augmenter leur capital réglementaire et modérer leurs actifs risqués, le ratio a augmenté fortement.

Figure 3: **Évolution temporelle pour la Croissance sur 3 ans du revenu net d'intérêt (IQ_NII_3YR_GRTH)**

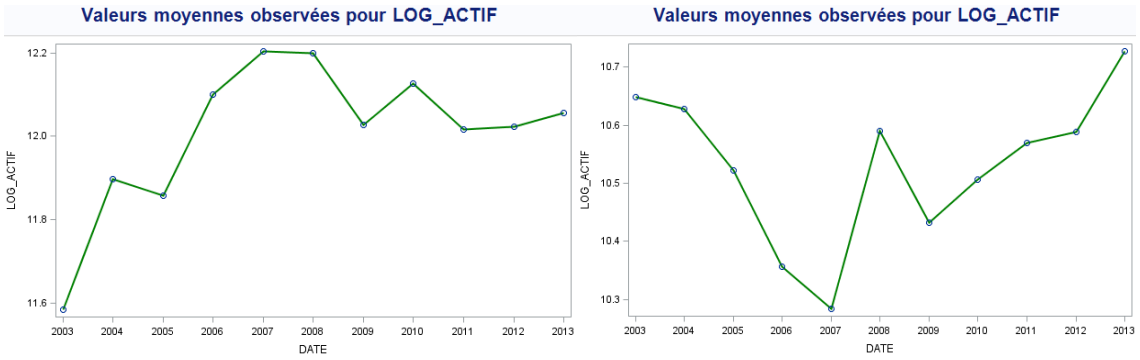
G10=1 G10=0



Ce taux représente la croissance sur 3 ans du revenu net d'intérêt d'une banque et est fortement corrélé avec les taux d'intérêt. Le taux moyen atteint son sommet en 2008-2009 pour l'ensemble des banques. Après la crise et la diminution considérable des taux afin de stimuler l'économie, celui-ci décroît rapidement pour atteindre sa valeur minimum durant cette période.

Figure 4: **Évolution temporelle pour le ln(Actif total) (LOG_ACTIF)**

G10=1 G10=0

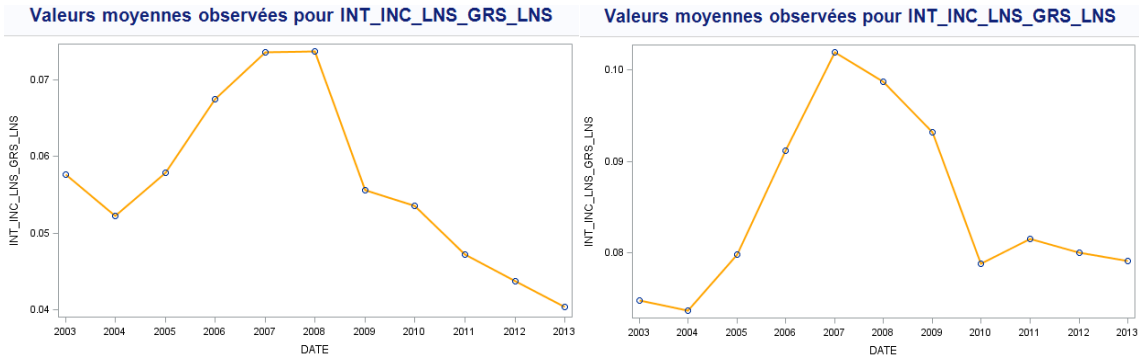


La variable représente le logarithme népérien des actifs totaux d'une firme. Généralement, on devrait s'attendre à ce que la valeur totale des actifs augmente dans le temps, ait une faible variance (puisque la variable est un logarithme) et réagisse au contexte macroéconomique et c'est ce qui se

produit pour les banques du G10. D'autre part, pour les banques hors du G10, les actifs totaux moyens diminuent de 2003 à 2007, augmentent puis diminuent drastiquement en 2008 et 2009, puis enregistrent une croissance durant les années qui suivent.

Figure 5: Évolution temporelle du ratio Intérêts sur les prêts consentis / Prêts bruts (INT_INC_LNS_GRS_LNS)

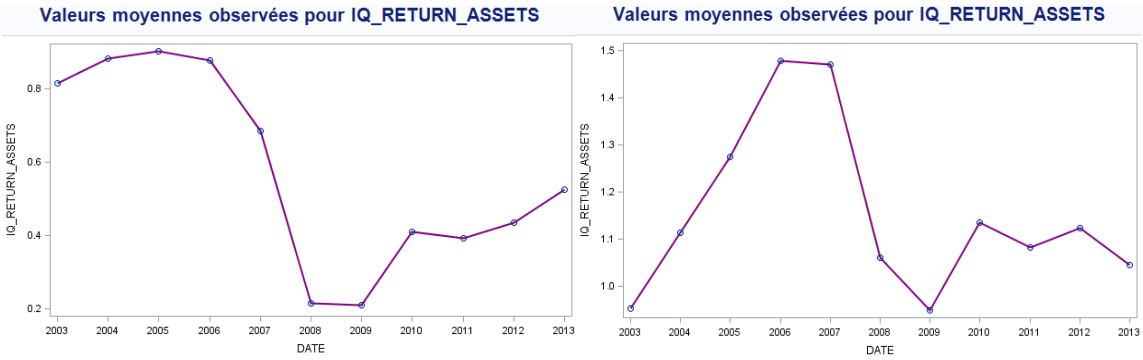
G10=1 G10=0



Le ratio représente les intérêts sur les prêts accordés divisés par les prêts bruts. Cette variable évolue dans le sens contraire des autres du modèle PD IF, soit dans le même sens que le risque de défaut. Le ratio moyen atteint son sommet juste avant que la crise financière n'éclate. Le ratio chute drastiquement après celle-ci pour l'ensemble des banques tout comme les taux d'intérêt.

Figure 6: Évolution temporelle du Rendement sur les actifs (IQ_RETURN_ASSETS)

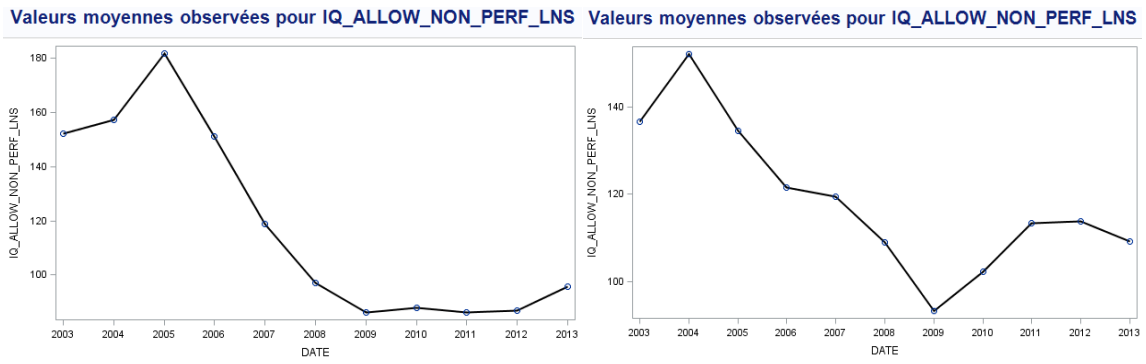
G10=1 G10=0



Le ratio correspond au rendement sur les actifs totaux. Mentionnons que les rendements des banques ont tendance à varier davantage que la valeur totale de leurs actifs. Le ratio moyen atteint son minimum pour toutes les banques au cœur de la crise, où les rendements sont les plus faibles. La grande chute du ratio moyen signifie que les rendements ont diminué encore plus que les actifs durant la crise. Le ratio moyen tend à croître pour les années qui suivent, signe que les banques recommencent à enregistrer de meilleurs rendements avec la reprise de l'économie.

Figure 7: **Évolution temporelle du ratio Provisions pour pertes sur prêts / Prêts douteux (IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS)**

G10=1 G10=0



Le ratio représente les provisions pour les pertes sur prêts accordés, divisé par les prêts douteux (les prêts en défaut ou proches du défaut). Le ratio moyen décroît de plus en plus dès 2005 (2004 pour les banques hors du G10) et atteint son minimum vers la fin de la crise financière (2009) pour l'ensemble des banques, où les prêts en défaut de paiement sont les plus élevés. Suivant la crise, celui-ci se rétablit rapidement pour les banques hors du G10, mais la reprise est plus lente au niveau des banques du G10.

5.1.4 Données sur les variables macroéconomiques

La BD utilisée pour les données historiques sur les variables macroéconomiques a été construite par la VPEE. Ce sont les experts de cette même VP qui ont effectué les simulations de crise sur les variables macroéconomiques. Ces mêmes scénarios sont aussi utilisés par la Direction Modélisation en Gestion Intégrée des Risques (DMGIR) dans le cadre des tests de pilier II.

Les données observées des variables macroéconomiques sont contenues dans la BD « TABLE_SERIES_FINALE_V1 », qui contient un total de 326 variables (variables de base et leurs dérivées), avec une profondeur historique de 17 ans, soit du premier trimestre de 1990 au premier trimestre de 2016. Il s'agit en fait de la même BD qui est utilisée pour toutes les analyses de tests de sensibilité des modèles de la DPQRC.

Les détails du développement de cette BD sont contenus dans le document du développement de la BD macroéconomique[14]. En résumé, les variables utilisées sont les variables macroéconomiques de base suivantes :

- Taux de chômage
- Taux d'intérêt
- Prix du pétrole
- Produit intérieur brut
- Indice de prix à la consommation
- Taux d'inflation
- Courbe de swap
- Prix du marché immobilier
- Taux d'escompte

[14] Direction Principale, Quantification des Risques de Crédit, Simulations de crise du Pilier I – Création de la BD macroéconomique de développement, septembre 2016, 18 pages.

Les variables de base ont différentes dérivées (désaisonnalisées, retardées, etc.) qui sont également disponibles pour la modélisation. Les données sont disponibles géographiquement pour le Québec, l'Ontario, le Canada excluant le Québec et l'Ontario, le Canada, les États-Unis et à l'international.

Finalement, une jointure de cette BD selon la date des É/F des intrants du modèle est faite pour compléter la BD de développement pour la modélisation des intrants. Les détails de cette jointure sont présentés dans la section 4.2.2.

5.2 Modélisation statistique des intrants

Parmi les différentes méthodes de modélisation statistique, la régression linéaire multiple est sélectionnée pour sa popularité, sa simplicité de modélisation et sa facilité d'interprétation.

5.2.1 Modèle de régression linéaire

5.2.1.1 Modèle de la régression et principales hypothèses

Les régressions linéaires par la méthode des moindres carrés ordinaires sont très populaires et utiles pour estimer la relation entre les variables explicatives et la variable dépendante d'un modèle.

Équation 2: Exemple d'une régression linéaire multiple

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^{p} \beta_j X_{ij} + \varepsilon_i$$

où $i = \{1, 2, \dots, k\}$ correspond à la $i^{ème}$ observation,
$j = \{1, 2, \dots, n\}$ correspond à la $j^{ème}$ variable explicative,
et $\varepsilon_i | x_i \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$ correspond au terme d'erreur de la régression.

Les principales hypothèses de la régression linéaire sont la linéarité de l'espérance conditionnelle (la variable estimée est une combinaison des paramètres de la régression), l'exogénéité des variables explicatives (non corrélées au terme d'erreur), la distribution normale des termes d'erreur avec

une moyenne nulle, la constance de la variance du terme d'erreur (homoscédasticité), les termes d'erreur sont indépendants et identiquement distribués et la non-colinéarité des variables explicatives du modèle (les variables ne peuvent pas être une combinaison linéaire des autres).

Une fois les intrants du modèle PD IF modélisés par des régressions linéaires, les coefficients estimés nous informeront directement sur une estimation de la sensibilité de chaque intrant d'une banque moyenne par rapport aux fluctuations des variables macroéconomiques.

5.2.2 Détails sur la BD de développement pour la modélisation des intrants

Avant de passer à la modélisation des intrants, nous devons régler certains détails importants dans notre BD de développement quant aux données problématiques :

- Chacune des banques dans notre BD, pour une même année, a des valeurs différentes pour les intrants du modèle, alors que nos variables explicatives macroéconomiques sont les mêmes pour un trimestre. Par conséquent, nous tenterons d'expliquer les variations pour une banque moyenne selon les fluctuations macroéconomiques.

- Les ratios financiers sont observés annuellement lors de la divulgation des états financiers, alors que nous avons des observations trimestrielles pour nos variables macroéconomiques. Il y a donc quatre valeurs distinctes de chaque variable macroéconomique pour expliquer une seule valeur du ratio financier dans l'année.

Nous avons donc décidé de joindre la BD des ratios et la BD des variables macroéconomiques en faisant l'adéquation entre les observations des intrants selon la date de l'année fiscale et les variables macroéconomiques du dernier trimestre (Q4) de l'année correspondante. Le dernier trimestre est sélectionné, puisque la majorité des années fiscales des banques se terminent durant celui-ci (notamment le 31 octobre).

Puisque les valeurs estimées des modèles seront, par construction, les mêmes pour toutes les banques à l'intérieur d'une même année, nous utiliserons les valeurs observées moyennes par année pour tester le pouvoir prédictif de nos modèles. Nous faisons l'hypothèse que les banques soumises aux mêmes variables macroéconomiques auront des ratios financiers semblables liés au risque systémique et que par conséquent, la variance de la PD du modèle sera expliquée par le risque idiosyncratique lié aux intrants propres à chaque banque.

Au total, 4 groupes de la BD combinée (jointure des intrants et des variables macroéconomiques) ont été produits pour la modélisation des intrants. La BD a tout d'abord été séparée en deux, soit en une partie pour les banques situées dans un pays du G10 (G10=1) et l'autre pour les banques situées dans un pays hors du G10 (G10=0). Rappelons que la variable indicatrice géographique G10 est celle qui a le plus de poids dans le modèle PD IF. En séparant la BD en fonction de ce critère, on s'assure d'inclure la variable dans notre analyse malgré le fait qu'elle ne puisse être stressée.

Un échantillonnage aléatoire à validation croisée, stratifié par année, a ensuite été effectué sur chacun des groupes pour obtenir quatre autres échantillons, soit un de développement et un de validation pour chacun. L'échantillon de développement correspond à environ 80% de la population, alors que celui de validation correspond au 20% restant. Toutes les BD sont enregistrées dans la librairie permanente « USERLIB ».

Tableau 8: Échantillonnage des données pour l'analyse

Groupe	Nom de la BD	Profondeur historique	Proportion	Nombre d'observations		
BD de développement G10=1	USERLIB.TRAINING_1	2003 - 2013	80%	965	1204 (USERLIB.COMBINEDVARS_1)	2590 (USERLIB.COMBINEDVARS)
BD de validation G10=1	USERLIB.TESTING_1		20%	239		
BD de développement G10=0	USERLIB.TRAINING_0		80%	1109	1386 (USERLIB.COMBINEDVARS_0)	
BD de validation G10=0	USERLIB.TESTING_0		20%	277		

5.2.3 Sélection des variables macroéconomiques

5.2.3.1 Présélection des variables macroéconomiques

Dû au très grand nombre de variables macroéconomiques potentielles disponible pour la modélisation (329 variables), nous avons cherché à diminuer le plus possible le nombre de variables potentielles, en enlevant les variables incohérentes, problématiques, qui souffrent de colinéarité entre elles ou qui ont des valeurs manquantes.

En premier lieu, une analyse bivariée de corrélation est effectuée pour éliminer les colinéarités entre les variables macroéconomiques. Lorsque la valeur absolue du coefficient de corrélation de Spearman est supérieure ou égale à 85% à un seuil significatif de 5% entre deux variables, la règle de priorisation suivante est appliquée pour retenir une des deux variables fortement corrélées :

- Origine :

  1. Québec
  2. Canada
  3. USA
  4. Internationale

- Croissance :

  1. Variable annualisée
  2. Taux de croissance d'une variable

Cette première étape nous a permis de réduire considérablement notre liste de variables macroéconomiques, qui passe de 329 à 193 variables potentielles.

5.2.3.2 Traitement des valeurs manquantes pour les scénarios de crise

Nous avons également décidé d'éliminer les variables macroéconomiques qui ont des valeurs manquantes dans les simulations des scénarios de crise. Le but est d'éviter un biais lors de l'estimation de nos intrants pour les scénarios

de crise, lorsque nous appliquerons les modèles de nos intrants sur des variables ayant des valeurs manquantes. Notamment, une variable qui mesure le taux de croissance d'une autre peut se retrouver avec une valeur indéterminée si la variable qu'elle mesure passe d'une valeur de 0 à une valeur différente. Le tableau suivant montre un exemple de cette problématique :

Tableau 9: Valeurs de USGDP_YoY et C_USGDP_YoY pour le scénario de crise S1

TRIM	USGDP_YoY	C_USGDP_YoY
Q4-2013	3,821902439	
Q1-2014	-0,925615282	-1,242187051
Q2-2014	4,568482377	-5,935616843
Q3-2014	4,275290191	-0,064177152
Q4-2014	2,072067124	-0,515338835
Q1-2015	0,642974988	-0,689693939
Q2-2015	3,684565565	4,730495948
Q3-2015	2,709878932	-0,264532308
Q4-2015	3,041596182	0,122410358
Q1-2016	-1	-1,328774742
Q2-2016	-1	0
Q3-2016	0	-1
Q4-2016	0,7	
Q1-2017	1,5	1,142857143
Q2-2017	0,9	-0,4
Q3-2017	1,1	0,222222222
Q4-2017	1	-0,090909091
Q1-2018	0,8	-0,2
Q2-2018	1,2	0,5
Q3-2018	1	-0,166666667
Q4-2018	1,5	0,5
Q1-2019	1,9	0,266666667
Q2-2019	2	0,052631579
Q3-2019	1,5	-0,25
Q4-2019	2	0,333333333

Équation 3: Problématique des valeurs indéterminées

$$C_USGDP_YoY_t = \frac{USGDP_YoY_t - USGDP_YoY_{t-1}}{USGDP_YoY_{t-1}}$$

Si $USGDP_YoY_{t-1} = 0$, alors $C_USGDP_YoY_t$ est une valeur indéterminée.

Puisque la valeur de « USGDP_YoY » passe de 0 à 0,7 pour les trimestres Q3-2016 à Q4-2016, nous nous retrouvons avec une valeur indéterminée pour le trimestre Q4-2016 pour la variable « C_USGDP_YoY » qui mesure la croissance de la variable « USGDP_YoY ».

Néanmoins, une exception est faite pour les 5 premiers trimestres (Q4-2013 à Q4-2014) des variables simulées, car certaines d'entre elles ont également des valeurs de retard (jusqu'à 4 trimestres) et/ou une variable qui mesure son taux de croissance (le premier trimestre n'aura pas de taux de croissance par construction) que nous voulons conserver.

Un total 27 variables (incluant les valeurs de retard) ont ainsi été éliminées, réduisant notre liste de variables potentielles de 193 à 166. Aucune variable macroéconomique de base n'est éliminée de cette manière.

5.2.3.3 Traitement des valeurs aberrantes

Ensuite, certaines variables macroéconomiques ont été retirées du développement puisqu'elles enregistrent des valeurs aberrantes pour certains trimestres ou des écarts entre les valeurs des scénarios incohérents sur toute la période, ce qui a pour effet de biaiser la modélisation. Les variables macroéconomiques retirées de la modélisation, incluant toutes leurs valeurs de retard (lorsqu'il y a lieu), sont explicitées dans le tableau suivant:

Nom des variables macroéconomiques	Description
C_CNCPI_LEVEL	Composante tendance de l'indice des prix à la consommation au Canada
C_QCCPI_V41691903	Croissance de l'indice des prix à la consommation au Québec
C_QCCPI_V41691903_SEASON	Composante saison de la croissance de l'indice des prix à la consommation au Québec
C_ONCPI_SEASON	Composante saison de la croissance de l'indice des prix à la consommation en Ontario
C_CNCPI_SEASON	Composante saison de la croissance de l'indice des prix à la consommation au Canada
CNCPI_EXQCON_SEASON	Composante saison de l'indice des prix à la consommation au Canada, en excluant les provinces du Québec et de l'Ontario
TTOCOMP_SPTSX_CYCLE	Portion cyclique de l'indice S&P/TSX
C_USCONPRCF_SEASON	Composante saison de la croissance de l'indice des prix à la consommation aux États-Unis
SPCOMP_SP500_SEASON	Composante saison de l'indice S&P 500
C_QCCPI_V41691903	Croissance de l'indice des prix à la consommation au Québec
C_QCCPI_V41691903_SEASON	Composante saison de la croissance de l'indice des prix à la consommation au Québec

Les graphiques représentant les données simulées des scénarios de crise des variables macroéconomiques problématiques sont présentés à l'annexe H. Ce dernier traitement a éliminé 17 autres variables (incluant les valeurs de retard), diminuant le nombre de variables potentielles après les étapes de présélection à un total de 149.

5.2.3.4 Sélection des variables explicatives pour la modélisation des intrants

Vu la grande quantité de variables macroéconomiques disponibles, nous avons utilisé l'algorithme *stepwise* pour nous aider dans la sélection des variables explicatives des modèles. Les critères de sélection entrant dans l'algorithme de sélection sont: une p-valeur de 25% à l'entrée et une p-valeur de 10% à la sortie. Cette section traite de la méthodologie de la sélection des variables par cette procédure.

La sélection *stepwise* est une modification de la sélection *forward* pour la sélection des variables explicatives par un algorithme du fait qu'une variable peut être ajoutée, mais aussi enlevée à chaque étape du procédé de sélection.

Lors de la première étape, la procédure calcule une statistique F pour chaque modèle possible à une variable explicative (sans compter l'ordonnée à l'origine), avec chacune des variables indépendantes possibles. La statistique reflète la contribution de chaque nouvelle variable si elle était incluse dans le modèle. Les p-valeurs des statistiques F sont alors comparées au critère de sélection à l'entrée des variables (nous avons choisi 25% pour l'analyse).

Si tous les variables ont une p-valeur au-dessus du seuil d'entrée, l'algorithme ne choisit aucune variable pour entrer dans le modèle. Si une seule variable a une p-valeur en-dessous du seuil d'entrée, celle-ci est alors sélectionnée pour entrer dans le modèle. Toutefois, si plus d'une variable a une p-valeur en-dessous du seuil d'entrée, c'est alors la variable du modèle ayant la statistique F la plus élevée qui est sélectionnée pour entrer dans le modèle.

Lors des étapes suivantes, l'algorithme calcule une statistique F pour chaque variable indépendante possible restante. Ceci reflète la contribution de chaque nouvelle variable si elle était incluse dans le modèle, en tenant compte des variables déjà sélectionnées dans celui-ci. Les p-valeurs de toutes les statistiques F sont alors comparées au critère de sélection à l'entrée des variables (nous avons choisi 25% pour l'analyse).

Si une seule variable a une p-valeur en-dessous du seuil d'entrée, la variable correspondante est alors sélectionnée pour entrer dans le modèle. Toutefois, si plusieurs variables ont une p-valeur en-dessous du seuil d'entrée, c'est alors la variable ayant la statistique F la plus élevée qui est sélectionnée pour entrer dans le modèle.

De plus, à chaque étape, donc une fois qu'une nouvelle variable est ajoutée au modèle, les statistiques F des variables du nouveau modèle sont comparées au critère de sélection à la sortie des variables (nous avons choisi 10% pour l'analyse). Si une variable a une p-valeur au-dessus de ce seuil de significativité, elle est alors retirée du modèle.

Finalement, une variable qui vient d'être retirée ne peut être sélectionnée une deuxième fois, car cette condition met fin à l'algorithme *stepwise*. Lorsque toutes les variables restantes potentielles ont une p-valeur au-dessus du seuil d'entrée, la procédure ne choisit aucune nouvelle variable pour entrer dans le modèle et celui-ci devient le modèle final sélectionné.

5.2.3.5 Traitement des variables non cohérentes avec la modélisation d'un intrant spécifique

L'utilisation de l'algorithme nous aide à sélectionner des variables explicatives significatives au seuil de 10% dans nos modèles pour chaque intrant. De plus, même si nous avons éliminé les variables macroéconomiques trop fortement corrélées entre elles au préalable, nous revérifions que les

variables aient des statistiques VIF ≤ 7 pour éviter la multicolinéarité entre les variables explicatives.

Malgré l'utilité de l'algorithme *stepwise*, celui-ci ne donne pas toujours des résultats interprétables d'un point de vue économique. Par exemple, l'algorithme peut résulter en un modèle avec trop peu de variables explicatives, avec des variables ayant des statistiques VIF trop élevées (> 7) ou encore avec des variables ayant un coefficient avec un signe contraire au sens économique attendu. Nous avons donc fait des ajustements pour la plupart des modèles. Dans certains cas, les critères de p-valeurs à l'entrée et à la sortie sont assouplis ou une variable explicative problématique est retirée de l'algorithme pour le modèle de l'intrant correspondant avant de rouler de nouveau la procédure de sélection *stepwise*.

Comme mentionné plus tôt, les régressions linéaires sont effectuées sur les intrants bruts et sur les intrants transformés. Toutefois, seul un modèle est conservé pour chaque intrant, généralement celui ayant le $R^2 ajusté$ le plus élevé. La statistique de la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) est également calculée. Il est à noter que la plupart des modèles perdent en performance ($R^2 ajusté$ plus faible) et en précision (RMSE plus élevé) suite aux ajustements manuels, par contre ces derniers assurent la cohérence économique des modèles.

De plus, certaines variables macroéconomiques ont une faible variance historique (2003 à 2013), mais une très forte variance pour leurs valeurs simulées de scénarios de crise. Ceci est problématique lorsqu'elles sont sélectionnées dans le modèle par l'algorithme *stepwise* avec un coefficient beta très élevé, puisque les valeurs estimées sont alors extrêmes ou aberrantes. Une winsorisation de la variable problématique aurait potentiellement pu être faite pour ses valeurs simulées dans les scénarios de crise. Toutefois, dans le cadre de notre analyse, la winsorisation n'a jamais suffi à régler cette problématique.

Une attention particulière doit être accordée aux valeurs moyennes estimées des intrants dans les scénarios de crise avec chaque modèle. Elles doivent se situer dans une fourchette acceptable en fonction de la distribution de leurs données historiques. Puisque les données historiques de chaque intrant

incluent entre autres la crise financière de 2007-2008, nous faisons l'hypothèse que la distribution historique de ce dernier est assez représentative de ses états probabilistes dans un futur scénario de crise.

Dans tous les cas, les valeurs prévisionnelles extrêmes (plus faible que le minimum ou plus élevée que le maximum historique) sont bornées sur l'intervalle [0,10] lors de la transformation en scores et par conséquent auront des valeurs entre 0 (au minimum) et 10 (au maximum).

5.2.4 Modélisation des intrants bruts initiale

Tableau 10: Sommaire des modèles bruts initiaux

		Modèle initial pour intrant brut	
	Intrant modélisé	**# var ind**	**R carré ajusté**
G10=1	**TCE_RWA**	3	0,1929
	IQ_NII_3YR_GRTH	4	0,0951
	LOG_ACTIF	2	0,0053
	INT_INC_LNS_GRS_LNS	4	0,1266
	IQ_RETURN_ASSETS	4	0,1559
	IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS	4	0,1302
G10=0	**TCE_RWA**	3	0,0395
	IQ_NII_3YR_GRTH	5	0,1295
	LOG_ACTIF	2	0,0056
	INT_INC_LNS_GRS_LNS	4	0,0480
	IQ_RETURN_ASSETS	3	0,0357
	IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS	3	0,0278

Les résultats du tableau précédent montrent bien qu'à priori, les régressions linéaires estimées ont des coefficients de détermination ajustés (R^2 *ajustés*) très faibles. Avant de faire des ajustements aux différents modèles, nous

avons tenté d'améliorer la qualité des régressions initiales en appliquant une méthode de la transformation Beta aux variables dépendantes non normales.

Les différents tests statistiques effectués à l'aide des options de SAS montrent qu'aucun intrant brut ne présente une distribution normale (annexe C), puisque dans tous les cas, l'hypothèse nulle de normalité est rejetée pour un seuil significatif de 1% ou moins. Rappelons que la normalité de la variable dépendante n'est pas une condition nécessaire pour obtenir des estimateurs sans biais et efficients pour la régression linéaire.

Toutefois, les coefficients de détermination obtenus sont très faibles et nous pouvons potentiellement améliorer les relations linéaires (R^2 *ajustés* plus élevés) entre les intrants et leurs variables explicatives en effectuant certaines transformations sur les intrants bruts. En fait, nous allons effectuer deux transformations, 0/1 et Beta, pour transformer les six intrants quantitatifs en intrants proxi-Beta et les rendre normaux, pour tenter d'améliorer la qualité de leur régression. La méthodologie de la transformation Beta est discutée dans la section suivante.

5.2.4.1 Transformation des intrants bruts à l'aide de la loi Beta

Le but de ces transformations est d'améliorer la prédiction et l'efficience de nos modèles. La technique que nous utilisons vient du « *LossCalc™ Tool* »[15] de Moody's où les distributions des PCD sont transformées pour être normalisées, ce qui donne un plus grand coefficient de détermination (R^2) et de plus faibles résidus.

La distribution Beta est définie par deux paramètres, soit le centre (α) et la forme (β), peut être asymétrique et son intervalle se trouve entre 0 et 1. Sa

[15] Moody's Investors Service, LossCalc™ : Moody's model for Predicting Loss Given Default (LGD), Février 2002, 36 pages.

grande flexibilité lui permet de décrire plusieurs types de distributions, dont celles ayant de fortes densités de probabilité proche de 0 ou de 1, ce qui peut être utile pour estimer des valeurs de ratios.

Par sa grande souplesse, nous pouvons faire l'hypothèse que les distributions des intrants bruts, qui sont pour la majorité des ratios, suivent une loi Beta et approximer les distributions empiriques de nos intrants à celle-ci en estimant ses paramètres. Nous devons toutefois préalablement standardiser les distributions empiriques des intrants sur le même intervalle que la distribution Beta, soit [0,1]. Une fois les paramètres de la loi Beta estimés, nous pouvons la transformer en distribution normale centrée réduite. Pour éviter la confusion, l'intrant standardisé est renommé avec le suffixe « _01 », alors que l'intrant complètement transformé et normalisé à l'aide de la loi Beta et la loi Normale obtient le suffixe « _01_Beta ».

Tableau 11: Nomenclature des intrants transformés

Intrant brut	Intrant standardisé sur l'intervalle [0,1]	Intrant après transformation Beta et Normale inverse
TCE_RWA	TCE_RWA_01	TCE_RWA_01_Beta
IQ_NII_3YR_GRTH	IQ_NII_3YR_GRTH_01	IQ_NII_3YR_GRTH_01_Beta
LOG_ACTIF	LOG_ACTIF_01	LOG_ACTIF_01_Beta
INT_INC_LNS_GRS_LNS	INT_INC_LNS_GRS_LNS_01	INT_INC_LNS_GRS_LNS_01_Beta
IQ_RETURN_ASSETS	IQ_RETURN_ASSETS_01	IQ_RETURN_ASSETS_01_Beta
IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS	IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS_01	IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS_01_Beta

Nous avons appliqué cette technique de transformation de la loi Beta à tous les intrants du modèle PD IF. Les nouveaux intrants transformés peuvent ensuite servir de modèles alternatifs de régressions linéaires multiples en tant que variables dépendantes transformées.

Une fois que la régression alternative d'un intrant transformé est appliquée, il ne suffit que de faire les inverses des transformations antérieures pour obtenir la valeur estimée de l'intrant avant transformations (intrant original). Le tableau suivant décrit les étapes de la méthode utilisée. Voir l'annexe F pour davantage d'explications sur les détails des étapes de la transformation.

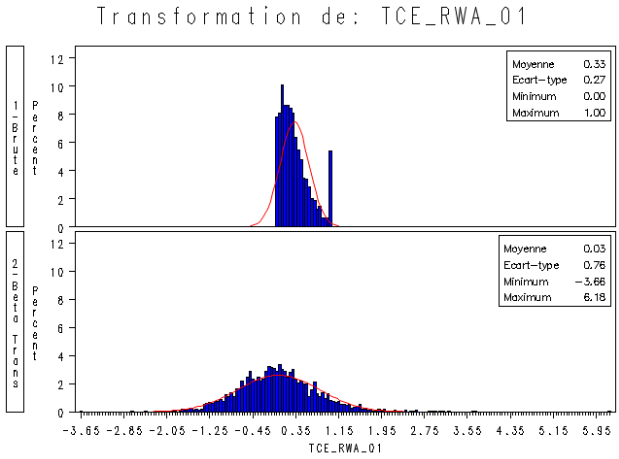
Tableau 12: Description des étapes pour la transformation Beta des intrants bruts

Étape	Description
1.	Sélection des intrants bruts à transformer
2.	Standardisation de l'intrant sur l'échelle [0,1]
3.	Calcul de la moyenne et de la variance échantillonnale de l'intrant_01
4.	Estimation des paramètres α et β de la loi Beta à l'aide de la moyenne et de la variance échantillonnale
5.	Transformation de l'intrant avec la fonction cumulative Beta selon les paramètres α et β estimés
6.	Transformation inverse avec la fonction cumulative de la loi normale centrée réduite, on obtient l'intrant_01_Beta
7.	Régression de l'intrant_01_Beta sur les variables explicatives
8.	Transformations inverses pour obtenir l'intrant original

Les
intrants transformés sont ainsi approximés par la loi normale, ce qui peut améliorer la qualité de leur régression. Les histogrammes des distributions des intrants transformés sont donnés en annexe G. Deux modèles de régression linéaire multiple seront donc estimés pour chaque intrant, un où la variable dépendante est l'intrant brut et l'autre où la variable dépendante est l'intrant transformé. Les méthodes d'estimations, la validation des hypothèses des modèles et tous les calculs sont traités avec SAS EG 5.1. La

figure qui suit est un exemple de la transformation de l'intrant standardisé (_01) sur l'espace [0,1] à l'intrant transformé et normalisé (intrant_01_Beta).

Figure 8: Exemple de la transformation 01_Beta pour l'intrant TCE_RWA_01



Toutefois, avant d'utiliser ces transformations, nous régressons les intrants bruts sur les intrants transformés, pour savoir s'ils sont de bonnes approximations de ceux-ci. Les modèles qui suivent résument les régressions linéaires des intrants bruts sur les intrants 01_Beta, dit proxy-normaux :

Tableau 13: Statistiques des régressions des intrants bruts sur les intrants proxy-normaux

Var dépendante	Var indépendante	DDL	Coefficients estimés	Erreur type	Valeur du test t	P-valeur	VIF	R carré ajusté
TCE_RWA	Intercept	1	0,11377	0,00021847	520,73	<0,0001	0	0,9375
	TCE_RWA_01_Beta	1	0,05370	0,00028728	186,92	<0,0001	1	
Var dépendante	**Var indépendante**	**DDL**	**Coefficients estimés**	**Erreur type**	**Valeur du test t**	**P-valeur**	**VIF**	**R carré ajusté**
IQ_NII_3YR_GRTH	Intercept	1	8,45922	0,04165	203,10	<0,0001	0	0,9669
	IQ_NII_3YR_GRTH_01_Beta	1	13,30512	0,05385	247,09	<0,0001	1	
Var dépendante	**Var indépendante**	**DDL**	**Coefficients estimés**	**Erreur type**	**Valeur du test t**	**P-valeur**	**VIF**	**R carré ajusté**
LOG_ACTIF	Intercept	1	11,18409	0,00730	1531,53	<0,0001	0	0,9395

	LOG_ACTIF_01_Beta	1	1,59532	0,00838	190,30	<0,0001	1	
Var dépendante	**Var indépendante**	**DDL**	**Coefficients estimés**	**Erreur type**	**Valeur du test t**	**P-valeur**	**VIF**	**R carré ajusté**
INT_INC_LNS_GRS_LNS	Intercept	1	0,06823	0,00015391	443,29	<0,0001	0	0,9440
	INT_INC_LNS_GRS_LNS_01_Beta	1	0,03910	0,00020405	191,61	<0,0001	1	
Var dépendante	**Var indépendante**	**DDL**	**Coefficients estimés**	**Erreur type**	**Valeur du test t**	**P-valeur**	**VIF**	**R carré ajusté**
IQ_RETURN_ASSETS	Intercept	1	0,82384	0,00294	280,21	<0,0001	0	0,9535
	IQ_RETURN_ASSETS_01_Beta	1	0,81619	0,00376	217,24	<0,0001	1	
Var dépendante	**Var indépendante**	**DDL**	**Coefficients estimés**	**Erreur type**	**Valeur du test t**	**P-valeur**	**VIF**	**R carré ajusté**
IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS	Intercept	1	93,09880	0,39176	237,64	<0,0001	0	0,9247
	IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS_01_Beta	1	95,28708	0,59288	160,72	<0,0001	1	

Nous observons que les variables des modèles sont toutes très significatives (p-valeur de moins de 0,01%) et que les R^2 *ajustés* sont très élevés pour l'ensemble des transformations (92% et plus). Nous supposons donc que ces transformations sont valides et pourront conséquemment être utilisées comme variables dépendantes pour les régressions alternatives des intrants proxy-normaux sur les variables macroéconomiques.

5.2.5 Sommaire des ajustements des modèles finaux

Seuls les modèles finaux des intrants sur les variables macroéconomiques sont présentés dans les deux sections suivantes. Les histogrammes des résidus généralement en forme de cloche, ainsi que les *Q plot* quasi linéaires pour l'ensemble des modèles semblent suggérer que les termes d'erreur sont relativement normalement distribués dans tous les cas, ce qui respecte notre hypothèse de modélisation pour la régression linéaire.

De plus les coefficients de détermination ajustés (R^2 *ajusté*) sont généralement faibles, voire très faibles, tel qu'attendu. À cet effet, rappelons que l'objet de l'analyse de sensibilité n'est pas de créer des modèles performants pour les intrants du modèle PD IF, mais bien de mesurer la sensibilité potentielle de celui-ci aux simulations des scénarios de crise.

Dans tous les cas, puisque les variables macroéconomiques estiment les intrants d'une banque moyenne pour chaque année, les modèles manqueront

de précision pour ce qui est de l'estimation des ratios de chacune des banques de façon individuelle.

Tous les détails de la modélisation et les ajustements des modèles se retrouvent dans le code de production SAS. Le tableau suivant présente le sommaire des ajustements et des modèles finaux sélectionnés, alors que la section suivante présente les détails de ceux-ci.

		Modèle initial pour intrant brut		Modèle initial pour intrant 01_Beta		Modèle final sélectionné				
	Intrant modélisé	# var ind	R carré ajusté	# var ind	R carré ajusté	Sélection	Ajustement(s)	# var ind	R carré ajusté	RMSE
G10=1	TCE_RWA	3	0,1929	4	0,2377	01_Beta	A	6	**0,2368**	**0,6023**
	IQ_NII_3YR_GRTH	4	0,0951	3	0,0982	01_Beta	A	4	**0,0972**	**0,6327**
	LOG_ACTIF	2	0,0053	2	0,0068	Brut	A & C	3	**0,0061**	**1,5593**
	INT_INC_LNS_GRS_LNS	4	0,1266	4	0,0870	Brut	A & B	4	**0,1249**	**0,0275**
	IQ_RETURN_ASSETS	4	0,1559	3	0,1230	Brut	Aucun	4	**0,1559**	**0,5320**
	IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS	4	0,1302	3	0,0562	Brut	A	3	**0,1286**	**85.0130**
G10=0	TCE_RWA	3	0,0395	4	0,0595	01_Beta	A	5	**0,0602**	**0,7384**
	IQ_NII_3YR_GRTH	5	0,1295	4	0,0960	Brut	A	5	**0,1279**	**12,8783**
	LOG_ACTIF	2	0,0056	0	0,0000	Brut	A	2	**0,0050**	**1,3946**
	INT_INC_LNS_GRS_LNS	4	0,0480	4	0,0628	01_Beta	A	3	**0,0622**	**0,7121**
	IQ_RETURN_ASSETS	3	0,0357	2	0,0119	Brut	A	3	**0,0353**	**0,8565**
	IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS	3	0,0278	2	0,0224	Brut	A & B	2	**0,0233**	**77,7736**

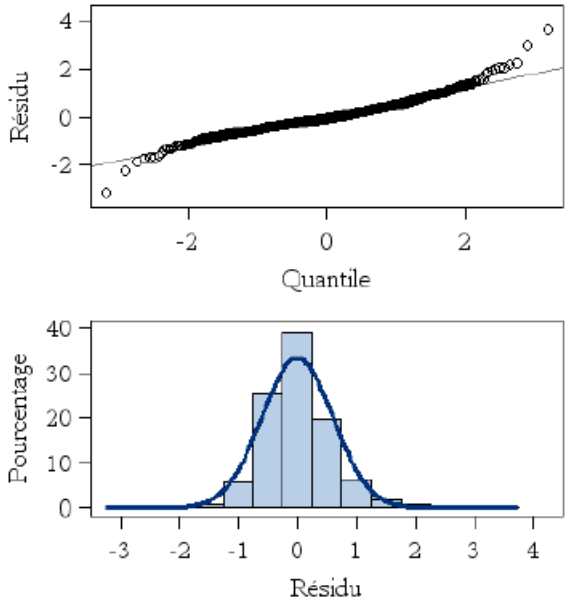
Tableau 14: Sommaire des ajustements des modèles

	Ajustement(s) effectué(s)
A	Retrait de variables non cohérentes
B	Retrait de variable(s) souffrant de multicolinéarité
C	Critère(s) p-valeur(s) entrée et/ou sortie assoupli(s)

5.2.6 Modèles sélectionnés pour les banques du G10

Tableau 15: Modèle sélectionné pour l'intrant Capitaux propres tangibles / Actifs pondérés par le risque (TCE_RWA), pour les banques du G10

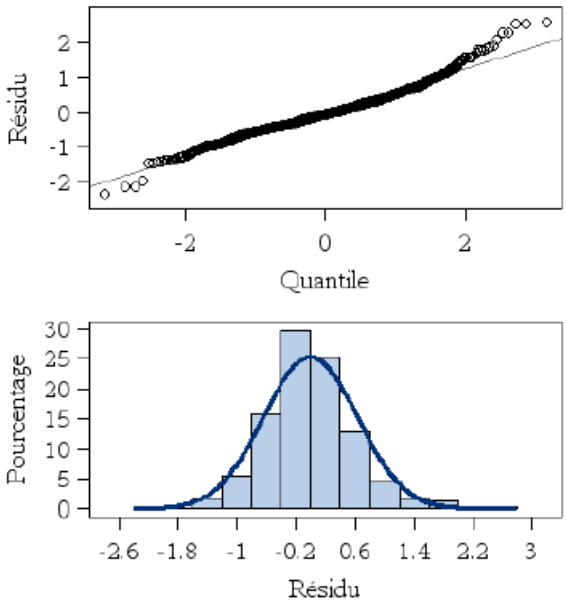
Var dépendante	Var indépendante	DDL	Coefficients estimés	Erreur type	Valeur du test t	P-valeur	VIF	R carré ajusté
TCE_RWA_01_Beta	Intercept	1	-0,09372	0,03117	-3,01	0,0027	0	0,2368
	C_TTOCOMP_SPTSX	1	-1,10314	0,60467	-1,82	0,0684	5,53868	
	C_C29010Y_CNBCH10_L3	1	0,50936	0,28959	1,76	0,0790	4,43165	
	C_CNGDP_YoY_LAG3	1	0,06573	0,00946	6,95	<0,0001	1,46871	
	C_USEURWD_LAG4	1	-7,38917	0,70278	-10,51	<0,0001	1,85386	
	C_USUN_YoY_LAG1	1	-5,38628	0,98432	-5,47	<0,0001	3,67817	
	C_SPCOMP_SP500_CYC1	1	-0,00635	0,00113	-5,63	<0,0001	1,48815	



Mentionnons que quelques variables explicatives ont été exclues après plusieurs estimations du modèle de régression linéaire de « TCE_RWA_01_Beta » de manière à obtenir le modèle final avec des variables explicatives cohérentes. Les variables éliminées sont présentées et documentées à l'intérieur du programme SAS.

Tableau 16: Modèle sélectionné pour l'intrant Croissance sur 3 ans du revenu net d'intérêt (IQ_NII_3YR_GRTH), pour les banques du G10

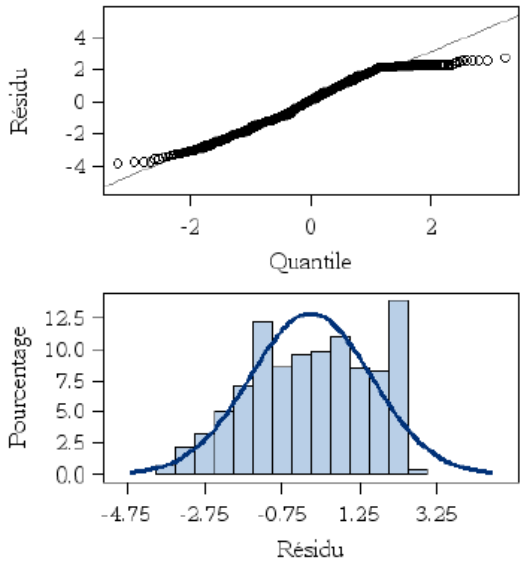
Var dépendante	Var indépendante	DDL	Coefficients estimés	Erreur type	Valeur du test t	P-valeur	VIF	R carré ajusté
IQ_NII_3YR_GRTH_01_Beta	Intercept	1	-0,42770	0,03958	-10,80	<0,0001	0	0,0972
	C_CNCPI_EXQCON_L1	1	47,43912	7,25226	6,54	<0,0001	1,03432	
	C_CNUS_V37426_LAG2	1	-2,50155	0,77337	-3,23	0,0013	1,22280	
	C_CQASCMCUNI_GOVE_L2	1	1,10487	0,44114	2,50	0,0125	1,06252	
	USGDP_YoY_LAG3	1	-0,02955	0,00843	-3,51	0,0005	1,20367	



Mentionnons que quelques variables explicatives ont été exclues après plusieurs estimations du modèle de régression linéaire de « IQ_NII_3YR_GRTH_01_Beta » de manière à obtenir le modèle final avec des variables explicatives cohérentes. Les variables éliminées sont présentées et documentées à l'intérieur du programme SAS.

Tableau 17: Modèle sélectionné pour l'intrant ln(Actif total) (LOG_ACTIF), pour les banques du G10

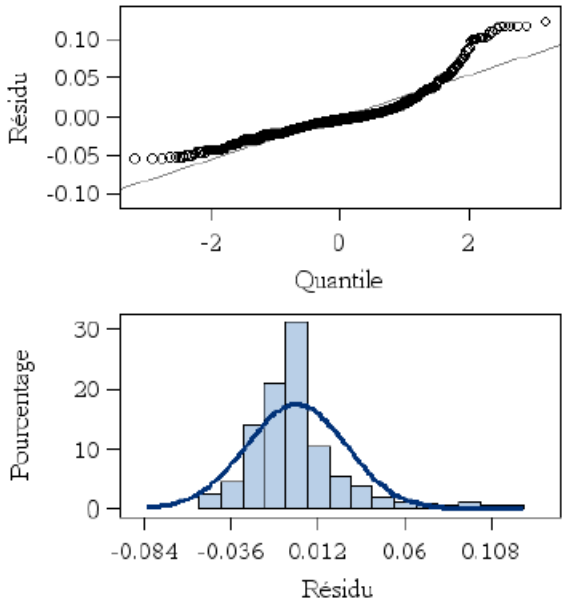
Var dépendante	Var indépendante	DDL	Coefficients estimés	Erreur type	Valeur du test t	P-valeur	VIF	R carré ajusté
LOG_ACTIF	Intercept	1	11,80099	0,20292	58,16	<0,0001	0	0,0061
	CR_TOTAL	1	0,05109	0,03216	1,59	0,1124	1,28637	
	C_QC_C29010Y_Ind_L3	1	-2,44616	1,36727	-1,79	0,0739	1,26640	
	C_USEURWD_LAG4	1	-4,61726	1,60696	-2,87	0,0042	1,57038	



Mentionnons que quelques variables explicatives ont été exclues après plusieurs estimations du modèle de régression linéaire de « LOG_ACTIF » de manière à obtenir le modèle final avec des variables explicatives cohérentes. Le modèle brut a été privilégié malgré le R^2 ajusté légèrement plus élevé du modèle 01_Beta initial (0.0068 vs 0.0053), puisque ce dernier ne répondait pas à nos critères de sélection. En fait, une fois la première variable incohérente retirée de l'algorithme, une seule variable explicative était sélectionnée pour le modèle 01_Beta. Nous avons donc choisi de poursuivre avec le modèle brut. Les variables éliminées de ce dernier sont présentées et documentées à l'intérieur du programme SAS. Notons que le critère de p-valeur à la sortie pour l'algorithme « *stepwise* » est assoupli pour ce modèle et permet de conserver la variable explicative « Crédit total au Canada (CR_TOTAL) ».

Tableau 18: Modèle sélectionné pour l'intrant Intérêts sur les prêts consentis / Prêts bruts (INT_INC_LNS_GRS_LNS), pour les banques du G10

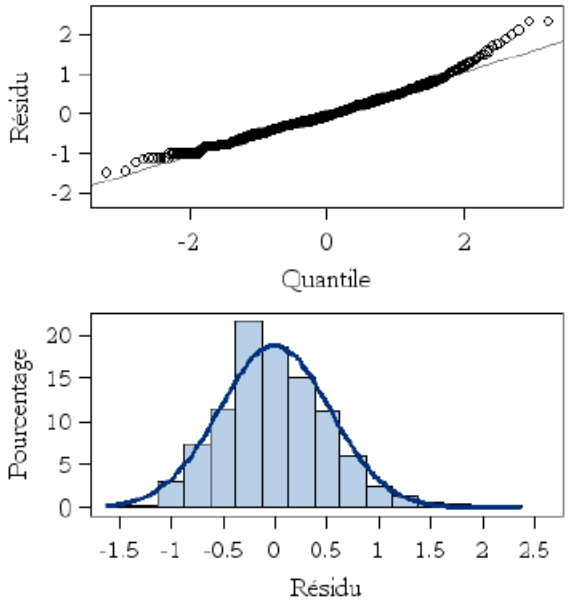
Var dépendante	Var indépendante	DDL	Coefficients estimés	Erreur type	Valeur du test t	P-valeur	VIF	R carré ajusté
INT_INC_LNS_GRS_LNS	Intercept	1	0,05394	0,00101	53,33	<0,0001	0	0,1249
	C_CNCPI_EXQCON	1	1,58702	0,38617	4,11	<0,0001	5,14738	
	C_C29010Y_CNBCH10	1	0,07622	0,00960	7,94	<0,0001	4,28822	
	C_CNGDP_YoY_LAG2	1	-0,00091001	0,00029972	-3,04	0,0025	1,26497	
	C_ONUN_YoY_LAG1	1	0,20531	0,03342	6,14	<0,0001	1,43549	



Mentionnons que quelques variables explicatives ont été exclues après plusieurs estimations du modèle de régression linéaire de « INT_INC_LNS_GRS_LNS » de manière à obtenir le modèle final avec des statistiques VIF acceptables (≤ 7) et des variables explicatives cohérentes. Rappelons que c'est également le seul intrant ayant un signe opposé aux autres dans le modèle, c'est-à-dire que la PD d'une banque augmente lorsque le ratio augmente. Les variables éliminées sont présentées et documentées à l'intérieur du programme SAS.

Tableau 19: Modèle sélectionné pour l'intrant Rendement sur les actifs (IQ_RETURN_ASSETS), pour les banques du G10

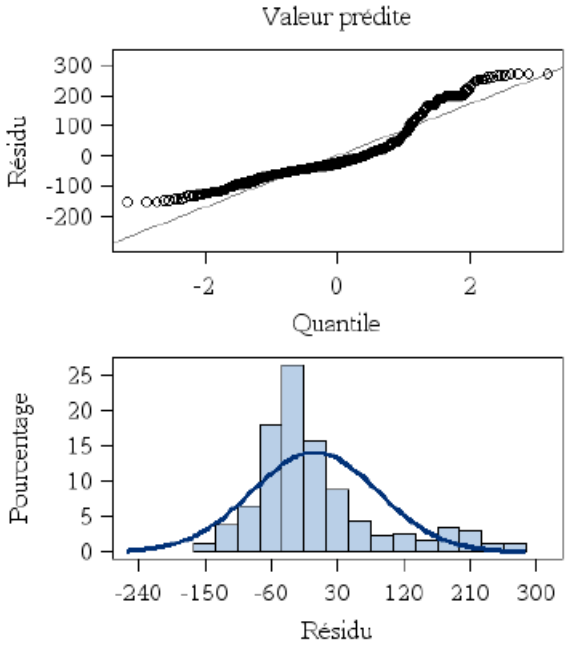
Var dépendante	Var indépendante	DDL	Coefficients estimés	Erreur type	Valeur du test t	P-valeur	VIF	R carré ajusté
IQ_RETURN_ASSETS	Intercept	1	0,65967	0,05932	11,12	<0,0001	0	0,1559
	SpreadDEX	1	-0,29329	0,02994	-9,80	<0,0001	1,21525	
	C_PIBKXQ_YoY_LAG1	1	-0,02544	0,01481	-1,72	0,0863	1,45998	
	C_USEURWD_LAG4	1	1,30031	0,48346	2,69	0,0073	1,21058	
	USCONPRCF_YoY_LAG2	1	0,08770	0,01406	6,24	<0,0001	1,45751	



C'est le seul modèle initial qui est conservé tel quel sans aucune modification. Les variables explicatives sont cohérentes et les statistiques VIF sont acceptables (≤ 7).

Tableau 20: Modèle sélectionné pour l'intrant Provisions pour pertes sur prêts / Prêts douteux (IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS), pour les banques du G10

Var dépendante	Var indépendante	DDL	Coefficients estimés	Erreur type	Valeur du test t	P-valeur	VIF	R carré ajusté
IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS	Intercept	1	72,40585	5,99282	12,08	<0,0001	0	0,1286
	CR_TO_CONS	1	5,51143	0,74120	7,44	<0,0001	1,02774	
	C_SAVINGS_OTHE_LAG1	1	44,47435	10,75086	4,14	<0,0001	1,04965	
	USGDP_YoY_LAG3	1	7,18464	1,00924	7,12	<0,0001	1,02201	

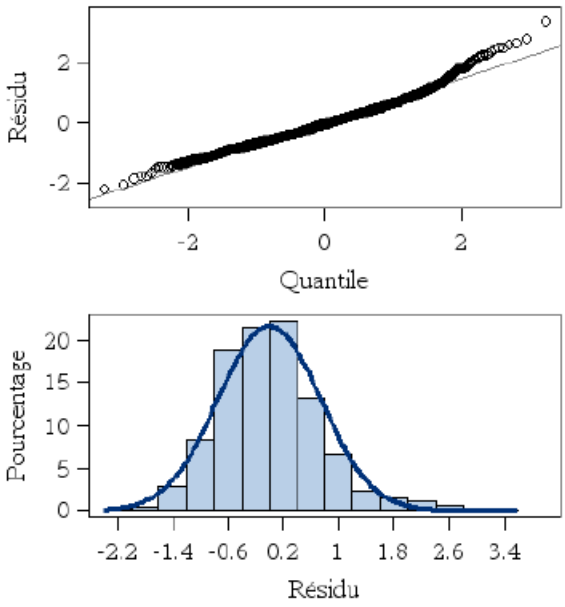


Mentionnons qu'une variable explicative a été exclue après la première estimation du modèle de régression linéaire de « IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS » de manière à obtenir le modèle final avec des variables explicatives cohérentes. La variable éliminée est mentionnée et documentée à l'intérieur du programme SAS.

5.2.7 Modèles sélectionnés pour les banques hors du G10

Tableau 21: Modèle sélectionné pour l'intrant Capitaux propres tangibles / Actifs pondérés par le risque (TCE_RWA), pour les banques hors du G10

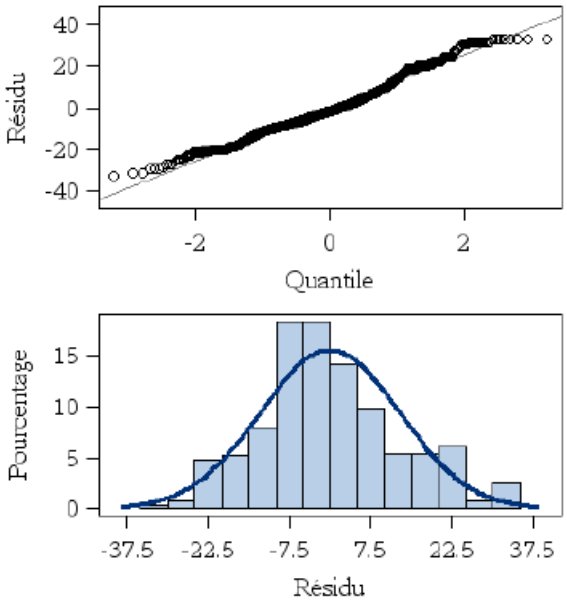
Var dépendante	Var indépendante	DDL	Coefficients estimés	Erreur type	Valeur du test t	P-valeur	VIF	R carré ajusté
TCE_RWA_01_Beta	Intercept	1	0,04192	0,11019	0,38	0,7037	0	0,0602
	CR_TOTAL	1	0,03774	0,01853	2,04	0,0419	2,12581	
	PIBKXQ_YoY_LAG4	1	-0,05488	0,01960	-2,80	0,0052	2,36415	
	C_CNGDP_YoY_LAG3	1	0,04352	0,01058	4,11	<0,0001	1,33648	
	C_USEURWD_LAG2	1	-3,00320	0,68675	-4,37	<0,0001	2,01691	
	C_USEURWD_LAG4	1	-5,86976	0,89310	-6,57	<0,0001	2,03294	



Mentionnons que quelques variables explicatives ont été exclues après plusieurs estimations successives du modèle de régression linéaire de « TCE_RWA_01_Beta » de manière à obtenir le modèle final avec des variables explicatives cohérentes. Les variables éliminées sont présentées et documentées à l'intérieur du programme SAS.

Tableau 22: Modèle sélectionné pour l'intrant Croissance sur 3 ans du revenu net d'intérêt (IQ_NII_3YR_GRTH), pour les banques hors du G10

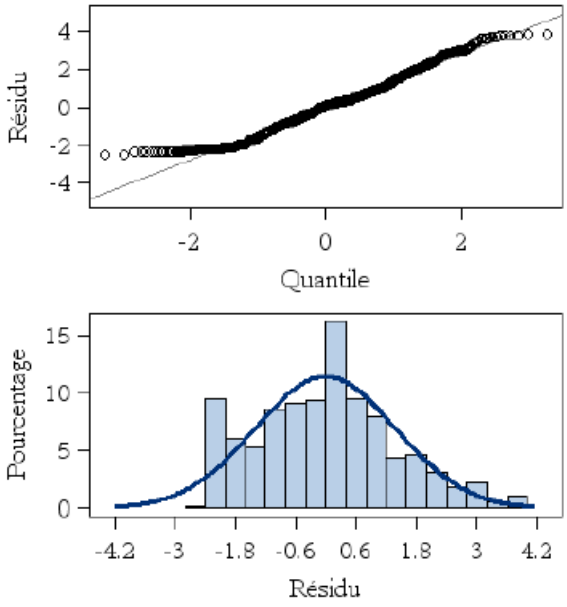
Var dépendante	Var indépendante	DDL	Coefficients estimés	Erreur type	Valeur du test t	P-valeur	VIF	R carré ajusté
IQ_NII_3YR_GRTH	Intercept	1	6,72750	1,05077	6,40	<0,0001	0	0,1279
	C_C29010Y_CNBCH10	1	14,79327	2,24599	6,59	<0,0001	1,33802	
	C_QC_C29010Y_Ind_L2	1	19,09728	4,45975	4,28	<0,0001	1,16021	
	CR_TO_CONS_LAG4	1	0,50436	0,13788	3,66	0,0003	1,49716	
	C_CNUS_V37426_LAG2	1	-56,71545	14,49663	-3,91	<0,0001	1,19216	
	C_USEURWD_LAG4	1	-27,13070	12,87034	-2,11	0,0353	1,31498	



Mentionnons que quelques variables explicatives ont été exclues après plusieurs estimations successives du modèle de régression linéaire de « IQ_NII_3YR_GRTH » de manière à obtenir le modèle final avec des variables explicatives cohérentes. Les variables éliminées sont présentées et documentées à l'intérieur du programme SAS.

Tableau 23: Modèle sélectionné pour l'intrant ln(Actif total) (LOG_ACTIF), pour les banques hors du G10

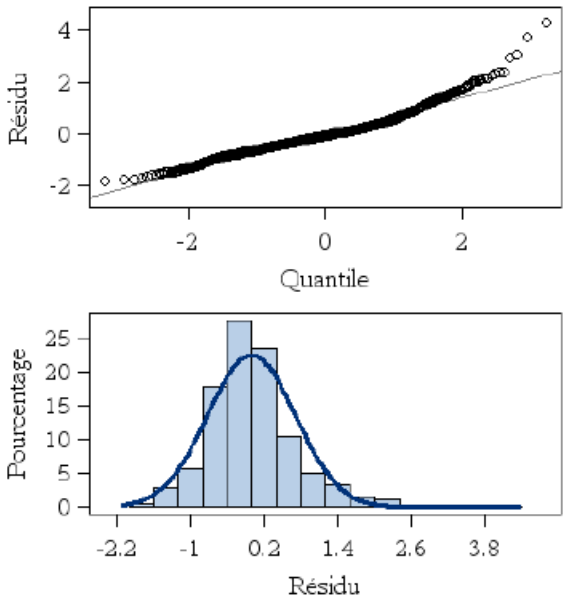
Var dépendante	Var indépendante	DDL	Coefficients estimés	Erreur type	Valeur du test t	P-valeur	VIF	R carré ajusté
LOG_ACTIF	Intercept	1	10,49170	0,07316	143,41	<0,0001	0	0,0050
	PIBKXQ_YoY_LAG1	1	0,05160	0,03013	1,71	0,0871	1,05395	
	C_CNUS_V37426_LAG2	1	2,38455	1,39677	1,71	0,0881	1,05395	



Mentionnons que quelques variables explicatives ont été exclues après plusieurs estimations successives du modèle de régression linéaire de « LOG_ACTIF » de manière à obtenir le modèle final avec des variables explicatives cohérentes. Les variables éliminées sont présentées et documentées à l'intérieur du programme SAS.

Tableau 24: Modèle sélectionné pour l'intrant Intérêts sur les prêts consentis / Prêts bruts (INT_INC_LNS_GRS_LNS), pour les banques hors du G10

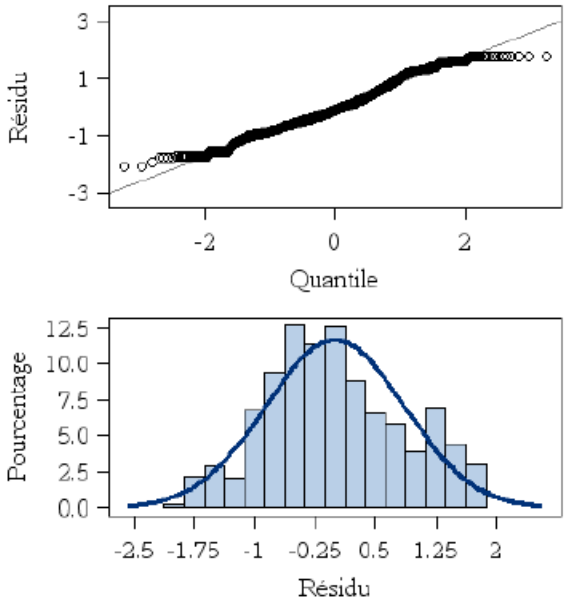
Var dépendante	Var indépendante	DDL	Coefficients estimés	Erreur type	Valeur du test t	P-valeur	VIF	R carré ajusté
INT_INC_LNS_GRS_LNS_01_Beta	Intercept	1	0,37550	0,03654	10,28	<0,0001	0	0,0622
	PIBKXQ_YoY_LAG1	1	-0,05686	0,01636	-3,48	0,0005	1,05426	
	C_ONCPI_LAG1	1	-18,41542	4,37485	-4,21	<0,0001	1,17985	
	C_USUN_YoY_LAG1	1	4,33912	0,55785	7,78	<0,0001	1,21410	



Mentionnons que quelques variables explicatives ont été exclues après plusieurs estimations successives du modèle de régression linéaire de « INT_INC_LNS_GRS_LNS_01_Beta » de manière à obtenir le modèle final avec des variables explicatives cohérentes. Les variables éliminées sont présentées et documentées à l'intérieur du programme SAS.

Tableau 25: Modèle sélectionné pour l'intrant Rendement sur les actifs (IQ_RETURN_ASSETS), pour les banques hors du G10

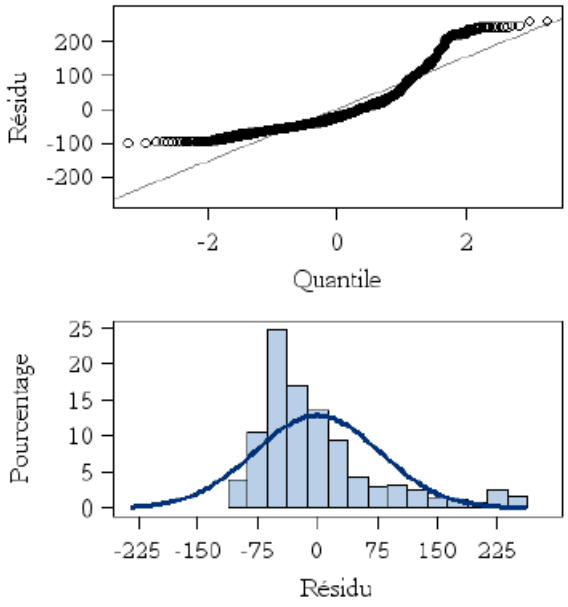
Var dépendante	Var indépendante	DDL	Coefficients estimés	Erreur type	Valeur du test t	P-valeur	VIF	R carré ajusté
IQ_RETURN_ASSETS	Intercept	1	0,50900	0,10792	4,72	<0,0001	0	0,0353
	CR_TOTAL	1	0,09971	0,01687	5,91	<0,0001	1,42350	
	C_ONUN_YoY	1	-2,26471	0,56346	-4,02	<0,0001	1,07163	
	C_USEURWD_LAG4	1	-1,64893	0,81839	-2,01	0,0442	1,34275	



Mentionnons qu'une variable explicative a été exclue après une première estimation du modèle de régression linéaire de « IQ_RETURN_ASSETS» de manière à obtenir le modèle final avec des variables explicatives cohérentes. La variable éliminée est mentionnée et documentée à l'intérieur du programme SAS.

Tableau 26: Modèle sélectionné pour l'intrant Provisions pour pertes sur prêts / Prêts douteux (IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS), pour les banques hors du G10

Var dépendante	Var indépendante	DDL	Coefficients estimés	Erreur type	Valeur du test t	P-valeur	VIF	R carré ajusté
IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS	Intercept	1	151,42761	9,52390	15,90	<,0001	0	0,0233
	CNGDP_YoY_LAG3	1	-3,25853	1,24991	-2,61	0,0093	3,91927	
	SpreadDEX_LAG3	1	-26,22956	5,81786	-4,51	<0,0001	3,91927	



Mentionnons qu'une variable explicative a été exclue après une première estimation du modèle de régression linéaire de « IQ_RETURN_ASSETS» de manière à obtenir le modèle final avec des statistiques VIF acceptables (≤ 7) et variables explicatives cohérentes. La variable éliminée est mentionnée et documentée à l'intérieur du programme SAS.

5.2.8 Sommaire des variables explicatives pour les intrants des banques du G10

Tableau 27: Variables explicatives pour les modèles des banques du G10

Variables	TCE_RWA_01_Beta	IQ_NII_3YR_GRTH_01_Beta	LOG_ACTIF	INT_INC_LNS_GRS_LNS	IQ_RETURN_ASSETS	IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS
Intercept	-0,09372	-0,42770	11,8009	0,05394	0,65967	72,40585
C_TTOCOMP_SPTSX	-1,10314					
C_C290110Y_CNBCH10_L3	0,50936					
C_CNGDP_YoY_LAG3	0,06573					
C_USEURWD_LAG4	-7,38917		-4,61726		1,30031	
C_USUN_YoY_LAG1	-5,38628					
C_SPCOMP_SP500_CYC1	-0,00635					
C_CNCPI_EXQCON_L1		47,43912				
C_CNUS_V37426_LAG2		-2,50155				
C_CQASCMCUNI_GOVE_L2		1,10487				
USGDP_YoY_LAG3		-0,02955				
CR_TOTAL			0,05109			
C_QC_C29010Y_Ind_L3			-2,44616			
C_CNCPI_EXQCON				1,58702		
C_C29010Y_CNBCH10				0,07622		
C_CNGDP_YoY_LAG2				-0,00091		
C_ONUN_YoY_LAG1				0,20531		
SpreadDEX					-0,29329	
C_PIBKXQ_YoY_LAG1					-0,02544	
USCONPRCF_YoY_LAG2					0,08770	
CR_TO_CONS						5,51143
C_SAVINGS_OTHE_LAG1						44,47435
USGDP_YoY_LAG3						7,18464

Les modèles finaux sélectionnés pour les intrants contiennent entre 3 et 6 variables explicatives. Les intrants sont expliqués par des variables macroéconomiques généralement différentes. Une seule variable, « Croissance du taux de change USD/EUR avec un retard de 4 trimestres (C_USEURWD_LAG4) », revient dans 3 modèles pour les banques du G10.

5.2.9 Sommaire des variables explicatives pour les intrants des banques hors du G10

Tableau 28: Variables explicatives pour les modèles des banques hors du G10

Variables	TCE_RWA_01_Beta	IQ_NII_3YR_GRTH	LOG_ACTIF	INT_INC_LNS_GRS_LNS_01_Beta	IQ_RETURN_ASSETS	IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS
Intercept	0,04192	6,72750	10,49170	0,37550	0,50900	151,42761
CR_TOTAL	0,03774				0,09971	
PIBKXQ_YoY_LAG4	-0,05488					
C_CNGDP_YoY_LAG3	0,04352					-3,25853
C_USEURWD_LAG2	-3,00320					
C_USEURWD_LAG4	-5,86976	-27,13070			-1,64893	
C_C29010Y_CNBCH10		14,79327				
C_QC_C29010Y_Ind_L2		19,09728				
CR_TO_CONS_LAG4		0,50436				
C_CNUS_V37426_LAG2		-56,71545	2,38455			
PIBKXQ_YoY_LAG1			0,05160	-0,05686		
C_ONCPI_LAG1				-18,41542		
C_USUN_YoY_LAG1				4,33912		
C_ONUN_YoY					-2,26471	
SpreadDEX_LAG3						-26,22956

Les modèles finaux sélectionnés pour les banques hors du G10 contiennent entre 2 et 6 variables explicatives. Plus de variables macroéconomiques reviennent dans les différents modèles des banques hors du G10, comparativement aux modèles des banques du G10. Au total, 5 variables sur 14 sont communes à plus d'un modèle, soit :

- Crédit total au Canada (CR_TOTAL)
- Croissance annualisée du taux trimestriel du PIB réel au Canada avec un retard de 3 trimestres (C_CNGDP_YoY_LAG3)

- Croissance du taux de change USD/EUR avec un retard de 4 trimestres (C_USEURWD_LAG4)

- Croissance du taux de change CAD/USD avec un retard de 2 trimestres (C_CNUS_V37426_LAG2)

- Taux trimestriel annualisé du PIB réel au Québec avec un retard de 1 trimestre (PIBKXQ_YoY_LAG1)

5.2.10 Comparaison entre les variables explicatives pour les modèles des banques du G10 et hors du G10

Enfin, les modèles pour les intrants des banques du G10 et les modèles pour les intrants hors du G10 partagent un total de 6 variables macroéconomiques. Même si 6 variables sont communes aux deux tables, seules 3 d'entres-elles reviennent pour les mêmes intrants, soit :

- Croissance annualisée du taux trimestriel du PIB réel au Canada avec un retard de 3 trimestres (C_CNGDP_YoY_LAG3) pour l'intrant TCE_RWA pour les banques du G10 et hors du G10.

- Croissance du taux de change CAD/USD avec un retard de 2 trimestres (C_CNUS_V37426_LAG2) pour l'intrant IQ_NII_3YR_GRTH pour les banques du G10 et hors du G10.

- Croissance du taux de change USD/EUR avec un retard de 4 trimestres (C_USEURWD_LAG4) pour les intrants TCE_RWA et IQ_RETURN_ASSETS pour les banques du G10 et hors du G10.

Bref, un total de 29 variables macroéconomiques différentes estimeront les modèles pour l'ensemble des banques. Nous observons que les régressions pour les intrants des banques du G10 sont plutôt différentes des régressions pour les intrants des banques hors du G10, ce qui signifie que les banques du G10 et hors du G10 ont des caractéristiques différentes, notamment par leur taille (LOG_ACTIF) et ne seront pas nécessairement sensibles de la même

façon aux fluctuations macroéconomiques en temps de crise. En fait, comme présenté aux tableaux 6 et 7, les moyennes des ratios bruts et transformés des deux groupes sont significativement différentes et les ratios ne pourront donc pas être correctement estimés par les mêmes modèles macroéconomiques.

L'annexe L contient la description complète des variables macroéconomiques retenues qui sont affichées dans les tableaux précédents. Le fichier excel qui explicite la nomenclature des variables macroéconomiques utilisées se trouve dans les références[16].

5.3 Écarts relatifs entre les scores moyens estimés avec l'échantillon de développement et les scores moyens observés dans l'échantillon de validation

Nous devons mesurer la performance des modèles sélectionnés, afin de s'assurer de leur pertinence pour l'analyse de sensibilité. Les scores moyens estimés pour les banques sont les mêmes, par construction, à l'intérieur de chaque année, puisque les variables macroéconomiques sont observées une seule fois par année dans nos modèles. Les scores moyens réels observés correspondent aux moyennes des scores pour chaque année, de 2003 à 2013. Ainsi, les tableaux suivants comparent les écarts relatifs entre les scores moyens estimés par les modèles (pour une banque moyenne estimée) et les scores moyens réels observés sur l'échantillon de validation (la moyenne des banques observées), par intrant et par année, pour les échantillons de validation pour les banques du G10 et hors du G10. Les tableaux des écarts relatifs entre les intrants originaux moyens estimés par les modèles et les intrants originaux moyens réels observés sont affichés à l'annexe I. Mentionnons toutefois que l'échantillon de validation ne contient qu'un faible nombre d'observations pour fins de comparaison.

[16] Vice Présidence des Études Économiques, Dictionnaire variables macro.xls, 2015

5.3.1 Écarts relatifs des scores pour les banques du G10

Tableau 29: Écarts relatifs entre les scores moyens estimés et les scores moyens réels observés pour les intrants des banques du G10 dans l'échantillon testing

	N	T_TCE_RWA	T_IQ_NII_3YR_GRTH	T_LOG_ACTIF	T_INT_INC_LNS_GRS_LNS	T_IQ_RETURN_ASSETS	T_IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS
TOTAL	239	-9,74%	-6,00%	9,35%	0,26%	-6,68%	31,55%
2003	15	-29,92%	-35,37%	13,86%	-4,89%	28,50%	98,52%
2004	13	-26,65%	-44,87%	2,42%	13,05%	-17,07%	68,83%
2005	14	-23,65%	-20,28%	-8,46%	-19,88%	2,58%	42,11%
2006	19	-30,93%	-4,97%	13,16%	-29,00%	-1,25%	37,37%
2007	18	-30,21%	19,84%	15,98%	24,92%	-12,49%	64,46%
2008	21	-24,22%	35,68%	2,12%	-1,32%	-7,25%	35,15%
2009	24	3,21%	-9,25%	2,72%	-3,00%	-26,74%	-10,45%
2010	24	12,24%	2,63%	19,34%	-6,49%	-11,22%	-4,79%
2011	30	-13,37%	11,38%	12,30%	7,96%	-6,24%	15,50%
2012	31	0,38%	-31,10%	15,95%	11,13%	-15,61%	21,86%
2013	30	-3,54%	12,53%	7,63%	4,00%	-1,00%	31,50%

Les variables du modèle PD IF ne sont pas toutes précisément modélisées par les variables macroéconomiques pour les banques du G10. Notamment, les scores moyens estimés des variables : Capitaux propres tangibles / Actifs pondérés par le risque (TCE_RWA), Croissance sur 3 ans du revenu net d'intérêt (IQ_NII_3YR_GRTH) et Provisions pour pertes sur prêts / Prêts douteux (IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS) ont souvent un écart moyen d'au moins 20% par rapport aux scores moyens réels observés. Toutefois, ces variables ont une pondération plus faible (faibles coefficients de beta) dans le calcul de la PD du modèle PD IF.

Parallèlement, les scores moyens estimés des variables ln(Actif total) (LOG_ACTIF), Intérêts sur les prêts consentis / Prêts bruts (INT_INC_LNS_GRS_LNS) et Rendement sur les actifs (IQ_RETURN_ASSETS) sont beaucoup plus près des scores moyens réels observés. D'ailleurs, les variables ln(Actif total) (LOG_ACTIF) et Intérêts sur les prêts consentis / Prêts bruts (INT_INC_LNS_GRS_LNS) sont les 2

variables les plus importantes au niveau de la pondération dans le calcul de la PD du modèle, après la variable indicatrice géographique du G10.

5.3.2 Écarts relatifs des scores pour les banques hors du G10

Tableau 30: Écarts relatifs entre les scores estimés et les scores observés pour les intrants des banques hors du G10 dans l'échantillon de validation

	N	T_TCE_RWA	T_IQ_NII_3YR_GRTH	T_LOG_ACTIF	T_INT_INC_LNS_GRS_LNS	T_IQ_RETURN_ASSETS	T_IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS
TOTAL	277	1,33%	8,15%	-3,90%	-7,61%	5,77%	19,65%
2003	10	6,55%	-1,01%	-9,02%	-3,05%	6,46%	3,88%
2004	11	-25,13%	37,75%	7,85%	12,03%	12,48%	24,29%
2005	15	-18,58%	4,66%	13,97%	21,77%	14,31%	66,85%
2006	26	-15,90%	16,78%	2,07%	-23,89%	1,33%	39,37%
2007	26	17,65%	16,01%	-13,37%	-30,78%	9,90%	33,52%
2008	27	-11,31%	8,09%	20,73%	-7,62%	-15,02%	31,92%
2009	30	2,88%	13,12%	4,50%	-25,77%	8,46%	-4,49%
2010	31	19,43%	-6,82%	-14,87%	0,70%	35,61%	24,85%
2011	33	1,68%	32,21%	-14,75%	-1,65%	10,39%	7,70%
2012	34	7,61%	-12,45%	-5,82%	-18,37%	-3,03%	12,77%
2013	34	3,37%	2,71%	-8,51%	2,66%	-0,65%	7,07%

Les scores moyens estimés des intrants du modèle PD IF pour les banques hors du G10 sont généralement assez proches des scores moyens réels observés, si l'on compare avec le tableau précédent, ce qui laisse croire qu'ils sont adéquatement modélisés par les variables macroéconomiques. Toutefois, comme pour les banques du G10, le modèle pour la variable Provisions pour pertes sur prêts / Prêts douteux (IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS) a peu de pouvoir prédictif.

5.4 Écarts relatifs entre les cotes moyennes estimées avec l'échantillon de développement et les cotes moyennes réelles observées dans l'échantillon de validation

Les scores des intrants que nous avons modélisés nous permettent de calculer l'extrant du modèle PD IF, soit la ln(PD). L'exponentielle de celle-ci peut ensuite être ajustée en fonction de la probabilité de support de la banque mère, pour obtenir la PD ajustée. Finalement, la cote de risque peut être estimée selon une échelle développée à l'interne dans le cadre du modèle PD Grandes Entreprises[17].

Tableau 31: Échelle de risque interne selon la PD ajustée

Cote de risque interne	Borne PD ajustée inférieure	Borne PD ajustée supérieure
1	0	0,000346[
2	[0,000346	0,000663[
2,5	[0,000663	0,001483[
3	[0,001483	0,002236[
3,5	[0,002236	0,003000[
4	[0,003000	0,004409[
4,5	[0,004409	0,006856[
5	[0,006856	0,010760[
5,5	[0,010760	0,016315[
6	[0,016315	0,024508[
6,5	[0,024508	0,036771[
7	[0,036771	0,055180[
7,5	[0,055180	0,090373[
8	[0,090373	0,171852[
9	[0,171852	…

[17] Direction Principale, Quantification des Risques de Crédit, Document Méthodologique – Probabilité de défaut – Grandes entreprises – v.1.7, 230 pages.

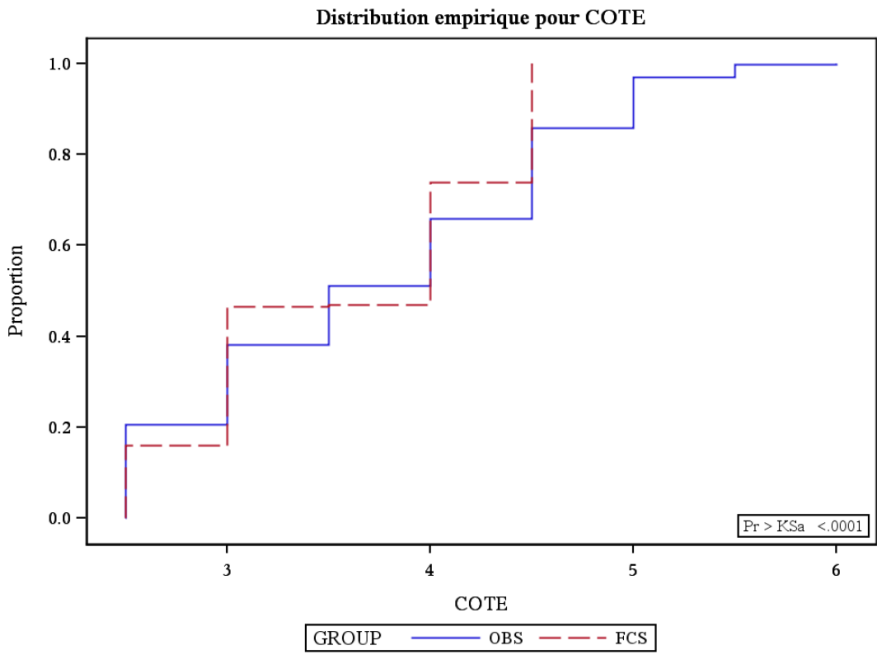
Le tableau de la page suivante nous montre que même les écarts plus importants de certains intrants estimés plus tôt n'ont que très peu d'incidence sur la cote moyenne estimée, soit le critère qui nous importe le plus. Les modèles sélectionnés donnent en moyenne, une cote estimée légèrement plus faible (-3,4% sur l'ensemble des banques de l'échantillon de validation) que la cote réelle observée.

Tableau 32: Écarts relatifs entre PD ajustées moyennes estimées et PD ajustées moyennes réelles observées (+ cotes internes)

		N	Moyenne de la PD ajustée estimée	Moyenne de la PD ajustée observée	Différence relative	Moyenne de la Cote interne estimée	Moyenne de la Cote interne observée	Différence relative
TOTAL	**TOTAL**	516	0,003144	0,003886	-19,1%	3,58	**3,71**	**-3,4%**
	2003	25	0,002683	0,003269	-17,9%	3,38	3,64	-7,1%
	2004	24	0,002226	0,003075	-27,6%	3,19	3,48	-8,4%
	2005	29	0,002759	0,003736	-26,2%	3,48	3,62	-3,8%
	2006	45	0,003433	0,004126	-16,8%	3,84	3,77	2,1%
	2007	44	0,003821	0,004715	-19,0%	3,88	4,01	-3,4%
	2008	48	0,003583	0,004736	-24,4%	3,84	4,03	-4,7%
	2009	54	0,003681	0,003905	-5,7%	3,81	3,77	1,2%
	2010	55	0,003096	0,004097	-24,4%	3,51	3,73	-5,9%
	2011	63	0,003062	0,003746	-18,3%	3,74	3,61	3,5%
	2012	65	0,002952	0,003567	-17,3%	3,28	3,59	-8,6%
	2013	64	0,002712	0,003389	-20,0%	3,30	3,52	-6,2%
G10=1	**TOTAL**	239	0,001606	0,002213	-27,4%	2,83	3,13	-9,7%
	2003	15	0,001733	0,002690	-35,6%	2,97	3,37	-11,9%
	2004	13	0,001333	0,001942	-31,4%	2,50	2,96	-15,6%
	2005	14	0,001630	0,001602	1,7%	2,93	2,75	6,5%
	2006	19	0,001662	0,002076	-19,9%	2,97	3,03	-1,7%
	2007	18	0,001646	0,002895	-43,1%	3,00	3,47	-13,6%
	2008	21	0,001981	0,002604	-23,9%	3,00	3,38	-11,3%
	2009	24	0,001789	0,002010	-11,0%	2,98	3,02	-1,4%
	2010	24	0,001632	0,002358	-30,8%	2,96	3,21	-7,8%
	2011	30	0,001587	0,002227	-28,7%	2,98	3,12	-4,3%
	2012	31	0,001426	0,002150	-33,7%	2,50	3,11	-19,7%
	2013	30	0,001370	0,001880	-27,1%	2,50	3,02	-17,1%
G10=0	**TOTAL**	277	0,004521	0,005330	-15,2%	4,23	4,21	0,7%
	2003	10	0,004108	0,004137	-0,7%	4,00	4,05	-1,2%
	2004	11	0,003282	0,004413	-25,6%	4,00	4,09	-2,2%
	2005	15	0,003812	0,005728	-33,4%	4,00	4,43	-9,8%
	2006	26	0,004728	0,005625	-15,9%	4,48	4,31	4,0%
	2007	26	0,005327	0,005975	-10,9%	4,48	4,38	2,2%
	2008	27	0,004829	0,006395	-24,5%	4,50	4,54	-0,8%
	2009	30	0,005195	0,005421	-4,2%	4,48	4,37	2,7%
	2010	31	0,004229	0,005443	-22,3%	3,94	4,13	-4,7%
	2011	33	0,004402	0,005126	-14,1%	4,42	4,06	9,0%
	2012	34	0,004343	0,004860	-10,6%	4,00	4,03	-0,7%
	2013	34	0,003897	0,004720	-17,5%	4,00	3,96	1,1%

Nous faisons ensuite un test non paramétrique de Kolmogorov-Smirnov pour comparer les distributions de nos deux échantillons de cotes, soient la distribution des cotes internes observées et la distribution des cotes internes estimées avec nos modèles d'intrants. L'hypothèse nulle du test est que les deux échantillons proviennent de la même distribution

Figure 9: Distributions empiriques des cotes internes observées et estimées



Test à deux échantillons de Kolmogorov-Smirnov (Asymptotique)			
KS	0.070736	D	0.141473
KSa	2.272391	Pr > KSa	<.0001

La statistique D du test Kolmogorov-Smirnov est supérieure à la valeur critique, et la p-valeur est inférieur au seuil critique de 1%, nous devons donc rejeter l'hypothèse nulle, c'est-à-dire que les deux échantillons ne proviennent pas de la même distribution.

La valeur maximum absolue de D provient du fait que nos cotes internes estimées ont un maximum de 4,5. Ceci s'explique par le fait que 14,15% de l'échantillon des cotes internes observées ont une cote supérieure à 4,5.

Toutefois, le but de cette analyse n'est pas de répliquer avec précision les cotes à l'aide de modèles des intrants dérivés de variables macroéconomiques, mais bien d'analyser la sensibilité du modèle en situation de crise. De plus, les cotes internes observées plus extrêmes ne peuvent pas être correctement estimées par nos modèles d'intrants, simplement parce que nous n'estimons que les PD d'une banque moyenne avec les variables macroéconomiques et que l'ajustement par la probabilité de support de la banque mère ne peut qu'ajuster une PD à la baisse et non à la hausse.

Considérant tout ceci, nous sommes satisfaits de l'estimation des cotes de risque internes. Nous désirons toutefois analyser davantage d'où provient cette légère sous-estimation du risque de crédit et cibler quels intrants estimés affectent le plus celui-ci à la baisse.

Comme présenté dans le tableau suivant, la tendance de sous-estimation du risque (entre les cotes estimées vs réelles) dans le calcul de la ln(PD) du modèle PD IF, vient principalement du score d'un intrant estimé avec un modèle de faible performance jumelé à une pondération élevée de celui-ci dans le modèle PD IF.

La sous-estimation du risque de crédit est dominée par les modèles des intrants LOG_ACTIF et IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS pour les banques du G10. Pour ce qui est des banques hors du G10, la cote estimée est en moyenne plus précise. Dans une moindre mesure, la sous-estimation du risque provient principalement du modèle de IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS, alors que les modèles de LOG_ACTIF et INT_INC_LNS_GRS_LNS surestiment le risque.

Tableau 33: Différence entre l'estimation de ln(PD) avec les modèles des intrants et la ln(PD) observée selon les intrants observés

		Coefficient du modèle PD IF	Moyenne globale du Score intrant observé	Portion du calcul de ln_PD_OBS	Moyenne globale du Score intrant estimé	Portion du calcul de ln_PD_FCST	Différence entre les scores	Différence entre les portions du calcul
		$\widehat{\beta}_i$	$\bar{X}_i$	$\widehat{\beta}_i * \bar{X}_i$	$\bar{\widehat{X}}_i$	$\widehat{\beta}_i * \widehat{X}_i$	$\bar{\widehat{X}}_i - \bar{X}_i$	$\widehat{\beta}_i (\bar{\widehat{X}}_i - \bar{X}_i)$
G10=1	Constante	1	-3,6079	-3,6079	-3,6079	-3,6079	-	-
	T_TCE_RWA	-0,0220	4,4425	-0,0979	4,0098	-0,0884	-0,4327	0,0095
	T_IQ_NII_3YR_GRTH	-0,0182	4,2088	-0,0767	3,9561	-0,0721	-0,2527	0,0046
	T_LOG_ACTIF	-0,1945	6,3792	-1,2408	6,9759	-1,3569	0,5966	-0,1160
	T_INT_INC_LNS_GRS_LNS	-0,1063	6,2340	-0,6628	6,2504	-0,6645	0,0165	-0,0018
	T_IQ_RETURN_ASSETS	-0,0227	3,9557	-0,0900	3,6916	-0,0839	-0,2641	0,0060
	G10	-0,2404	1	-0,2404	1	-0,2404	-	-
	T_IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS	-0,0494	4,8292	-0,2385	6,3529	-0,3138	1,5237	-0,0753
	ln_PD			-6,2550		-6,4279		-0,1729
G10=0	Constante	1	-3,6079	-3,6079	-3,6079	-3,6079	-	-
	T_TCE_RWA	-0,0220	5,8470	-0,1289	5,9248	-0,1306	0,0779	-0,0017
	T_IQ_NII_3YR_GRTH	-0,0182	5,9461	-0,1083	6,4307	-0,1172	0,4846	-0,0088
	T_LOG_ACTIF	-0,1945	3,7376	-0,7270	3,5918	-0,6986	-0,1458	0,0284
	T_INT_INC_LNS_GRS_LNS	-0,1063	3,7086	-0,3943	3,4263	-0,3643	-0,2823	0,0300
	T_IQ_RETURN_ASSETS	-0,0227	6,4275	-0,1462	6,7981	-0,1546	0,3706	-0,0084
	G10	-0,2404	0	-	0	-	-	-
	T_IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS	-0,0494	5,6330	-0,2782	6,7398	-0,3329	1,1069	-0,0547
	ln_PD			-5,3908		-5,4061		-0,0153

5.5 Matrices de transition pour les cotes réelles observées vs les cotes estimées pour l'échantillon de validation

Les tables qui suivent présentent les matrices de transition des cotes internes observées vs cotes internes estimées à partir des modèles sélectionnés des intrants.

Tableau 34: Matrice de transition cote réelle vs estimée pour les banques du G10

	Cote interne réelle pour G10=1						
Cote interne estimée	**2,5**	**3**	**3,5**	**4**	**4,5**	**5**	**Total**
2,5	42,7%	29,9%	44,1%	16,1%	25,0%		82
3	57,3%	70,1%	55,9%	83,9%	75,0%	100,0%	157
3,5							0
4							0
4,5							0
5							0
Total	89	67	34	31	16	2	239

ÉCARTS DE CRAN	NB	%	% cumulatif
0	85	35,6%	35,6%
1	90	37,7%	73,2%
2	41	17,2%	90,4%
3	17	7,1%	97,5%
4	6	2,5%	100,0%

Tableau 35: Matrice de transition cote réelle vs estimée pour les banques hors du G10

	Cote interne réelle pour G10=0								
Cote interne estimée	**2,5**	**3**	**3,5**	**4**	**4,5**	**5**	**5,5**	**6**	**Total**
2,5	5,9%								1
3									0
3,5	11,8%								2
4	58,8%	54,2%	60,6%	64,4%	47,1%	30,9%	53,3%	100,0%	139
4,5	23,5%	45,8%	39,4%	35,6%	52,9%	69,1%	46,7%		135
5									0
5,5									0
6									0
Total	17	24	33	45	87	55	15	1	277

ÉCARTS DE CRAN	NB	%	% cumulatif
0	76	27,4%	27,4%
1	115	41,5%	69,0%
2	52	18,8%	87,7%
3	29	10,5%	98,2%
4	5	1,8%	100,0%

Par construction, les modèles sélectionnés estiment les intrants d'une seule banque moyenne à chaque année en fonction des variables macroéconomiques du dernier trimestre. Il y a donc très peu de variabilité dans les estimations des cotes pour les banques uniques dans les matrices de transition. La seule variabilité entre les cotes estimées des banques pour une même année provient de l'ajustement de la PD avec la probabilité de support de la banque mère (l'ajustement de la PD à la baisse équivaut à une cote de risque plus faible).

Bref, pour les banques du G10 et hors du G10, les cotes estimées sont situées à 3 crans ou moins de la cote réelle pour 97,5% et 98,2% des observations de notre échantillon de validation. Ces résultats sont très acceptables en fonction des critères de l'industrie. À la lumière de nos résultats, nous considérons que les intrants du modèle PD IF sont adéquatement modélisés pour toutes les banques et pourront être stressés. Nous pouvons donc procéder à l'analyse de sensibilité du modèle sur les données simulées hors temps des scénarios de crise.

6. Scénarios de crise

Les scénarios de crise qui sont utilisés pour l'analyse de sensibilité, tout comme pour la BD des variables macroéconomiques, ont été fournis par la VPEE, responsable de l'ensemble des études économiques. Les scénarios utilisés sont les mêmes que pour la DMGIR pour les tests de pilier II. Les BD des scénarios simulés sont les suivantes :

1- TABLE_SERIES_FINALE_BASE_V1 - Scénario de base (S0)

2- TABLE_SERIES_FINALE_S1_V1 - Scénario de taux d'intérêt négatifs en réponse à la faiblesse de la croissance et de l'inflation (S1)

3- TABLE_SERIES_FINALE_S2_V1 - Scénario de faible potentiel de croissance au Québec et détérioration des finances publiques (S2)

Les détails du développement des BD des scénarios de crise intégrés sont contenus dans le document référence de la banque[18]. Chaque scénario simule l'ensemble des variables macroéconomiques pour 16 trimestres, soit de Q1-2016 à Q4-2019. Dans la section suivante, les modèles finaux des intrants sélectionnés à partir de la BD de développement sont appliqués aux BD des scénarios de crise pour obtenir des valeurs prévisionnelles pour les intrants du modèle PD IF ainsi que des PD et des cotes prévisionnelles. Le tableau suivant est une synthèse de certaines projections des scénarios de crise créés par les économistes à l'interne afin de mieux comprendre les impacts de ceux-ci.

[18] Vice Présidence des Études Économiques, Description des scénarios de crise intégrés à l'échelle de la banque, 2015, 5 pages.

Tableau 36: Sommaire de l'impact des scénarios de crise sur les variables macroéconomiques

	Q4-2015 prévisionnel	Scénarios	2016	2017	2018
Taux de chômage - Québec	7,60%	Base	7,2%	6,7%	6,4%
		S1	15,5%	16,4%	15,3%
		S2	9,8%	11,1%	11,0%
Prix moyen des maisons - Québec		Base	+1,1%	+2,2%	+1,9%
		S1	(-7,6)%	(-13,7)%	+1,4%
		S2	(-9,4)%	(-12,0)%	(-5,9)%
S&P - TSX		Base	+5,8%	+8,0%	+6,0%
		S1	(-19,8)%	+3,0%	+7,9%
		S2	+1,2%	+7,1%	+7,9%
Taux d'intérêt - Canada - 5 ans	0,60%	Base	1,1%	1,9%	2,1%
		S1	0,2%	-0,3%	-0,2%
		S2	0,7%	1,0%	1,3%

Le scénario S1 « sous-tend une croissance très faible pendant plusieurs années en raison de la persistance des chocs passés et des changements structurels qui réduisent le potentiel de croissance du PIB réel[19]. »

Dans celui-ci, la détérioration de l'activité économique commence dans les grandes économies mondiales, comme aux États-Unis, dans la zone euro, ainsi qu'au Japon et en Chine. Ceci entraîne une baisse du PIB réel de l'économie canadienne et québécoise. La forte dégradation de l'inflation mondiale devient négative durant plusieurs trimestres, ce qui force la Banque du Canada à diminuer son taux directeur et à opter pour des taux

[19] Vice Présidence des Études Économiques, Description des scénarios de crise intégrés à l'échelle de la banque, 2015, 5 pages.

d'intérêt négatifs pour 2017 et 2018, de -0,3% et -0,2%. Même si les taux sont très faibles, la demande de crédit est dans une trappe à liquidité et ne réagit plus au faible taux d'intérêt, ce qui a comme effet que le marché immobilier québécois perd 7,6% de sa valeur en 2016, puis atteint un creux en 2017 avec une diminution de 13,7%, pour finalement commencer à se rectifier en 2018 avec une légère augmentation de 1,4%. L'anémie de l'économie canadienne affecte le marché de l'emploi québécois de façon désastreuse, qui subit une énorme augmentation du taux de chômage dès 2016 qui va même atteindre jusqu'à 16,4% en 2017. Les marchés boursiers mondiaux sont tous affectés par cette inflation négative et l'indice boursier S&P TSX perd près de 20% de sa capitalisation en 2016, peine à se rétablir en 2017 avec une croissance de seulement 3%, puis commence à se rétablir avec un gain de 7,9% en 2018.

Le scénario S2 « se base sur des hypothèses pessimistes à l'égard du choc démographique et de l'effet qu'il aura sur la croissance potentielle du PIB réel québécois. La croissance économique se maintiendrait ainsi en dessous de 1% sur toute la période de prévisions[20]. »

Pour ce scénario, la crise touche particulièrement le Québec, c'est-à-dire que la détérioration de l'activité économique canadienne est essentiellement causée par les difficultés qui touchent la province qui entre en récession en 2016 et en 2017. Puisque la crise est majoritairement concentrée au Québec, les taux directeurs ne sont pas abaissés par la Banque du Canada, mais sont plutôt augmentés peu à peu entre 2016 à 2018 (de 10, 30 et 30 points de base, respectivement), car la croissance de l'économie canadienne durant cette période demeure aux alentours de 1,5%. La faible croissance du PIB réel québécois amène un ralentissement de l'emploi et une augmentation du taux de chômage aux alentours de 11% entre 2016 et 2018. Une faible demande pour le crédit touche le prix des maisons au Québec qui diminue fortement de 2016 à 2018 et atteint jusqu'à une diminution de 12% en 2017. Les effets sur la Bourse canadienne ne sont concentrés que sur certains secteurs, la

[20] Vice Présidence des Études Économiques, Description des scénarios de crise intégrés à l'échelle de la banque, 2015, 5 pages.

croissance de l'indice boursier S&P TSX ralenti en 2016 pour ne s'apprécier que de 1,2%, mais sa croissance usuelle se rétabli pour 2017 et 2018 (+7,1% et +7,9%). En revanche, les autres variables économiques en dehors du Canada ne sont pas touchées par la situation canadienne et se comportent comme dans le scénario de base.

En somme, on remarque que le scénario S1 de taux d'intérêt négatifs en réponse à la faiblesse de la croissance et de l'inflation est dans l'ensemble beaucoup plus punitif que le scénario S2 de faible potentiel de croissance au Québec et que le sommet de la crise, dans les deux scénarios, est atteint entre 2016 et 2017.

7. Simulations et analyses des résultats

7.1 Analyse de la sensibilité des intrants aux différents scénarios de crise

À partir des modèles trouvés pour les différents intrants du modèle PD IF, nous pouvons analyser la sensibilité des intrants aux différents scénarios de crise. En appliquant les coefficients des régressions linéaires des modèles sélectionnés des intrants sur les variables macroéconomiques correspondantes des scénarios de crise, nous pouvons estimer les valeurs prévisionnelles des intrants pour chaque scénario.

Le processus des prévisions des intrants doit toutefois tenir compte des transformations effectuées pour les modèles transformés (01_Beta) et faire les transformations inverses pour retrouver l'intrant original à partir des valeurs prévisionnelles. Ces transformations inverses sont faites pour les valeurs prévisionnelles des intrants suivants :

- Capitaux propres tangibles / Actifs pondérés par le risque (TCE_RWA_01_Beta) pour G10=1

- Capitaux propres tangibles / Actifs pondérés par le risque (TCE_RWA_01_Beta) pour G10=0

- Croissance sur 3 ans du revenu net d'intérêt (IQ_NII_3YR_GRTH_01_Beta) pour G10=1

- Intérêts sur les prêts consentis / Prêts bruts (INT_INC_LNS_GRS_LNS_01_Beta), pour G10=0

Une fois que les valeurs moyennes prévisionnelles sont sur leur échelle initiale, nous pouvons transformer celles-ci en scores moyens. Puis, nous appliquons les coefficients du modèle PD IF sur les scores moyens et nous calculons l'exponentielle du résultat pour obtenir la PD moyenne estimée.

Dans un premier temps, nous présentons les graphiques des scores moyens estimés des intrants, ainsi que la PD moyenne estimée pour chaque trimestre et chaque scénario.

7.2 Prévisions des intrants selon les scénarios de *Stress Testing*, incluant les données historiques des intrants transformés

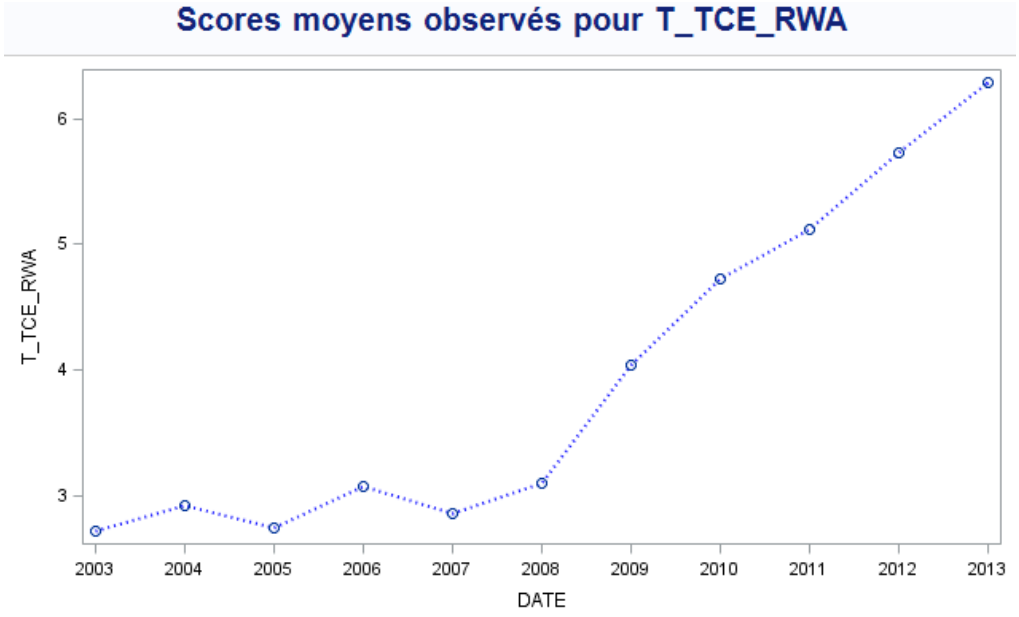
Généralement, les scores moyens des variables évoluent de façon attendue selon les scénarios de crise. En effet, les écarts entre les scénarios pour la période du *stress test* semblent correspondre à l'ampleur attendue des crises des différents scénarios. C'est-à-dire que, mis à part quelques valeurs extrêmes, nous nous attendons à ce que le scénario S1 (taux d'intérêt négatifs) affecte le score le plus à la baisse par rapport au scénario de base (S0), alors que le scénario S2 (faible potentiel de croissance au Québec) affecte également le score à la baisse, mais à un moindre degré.

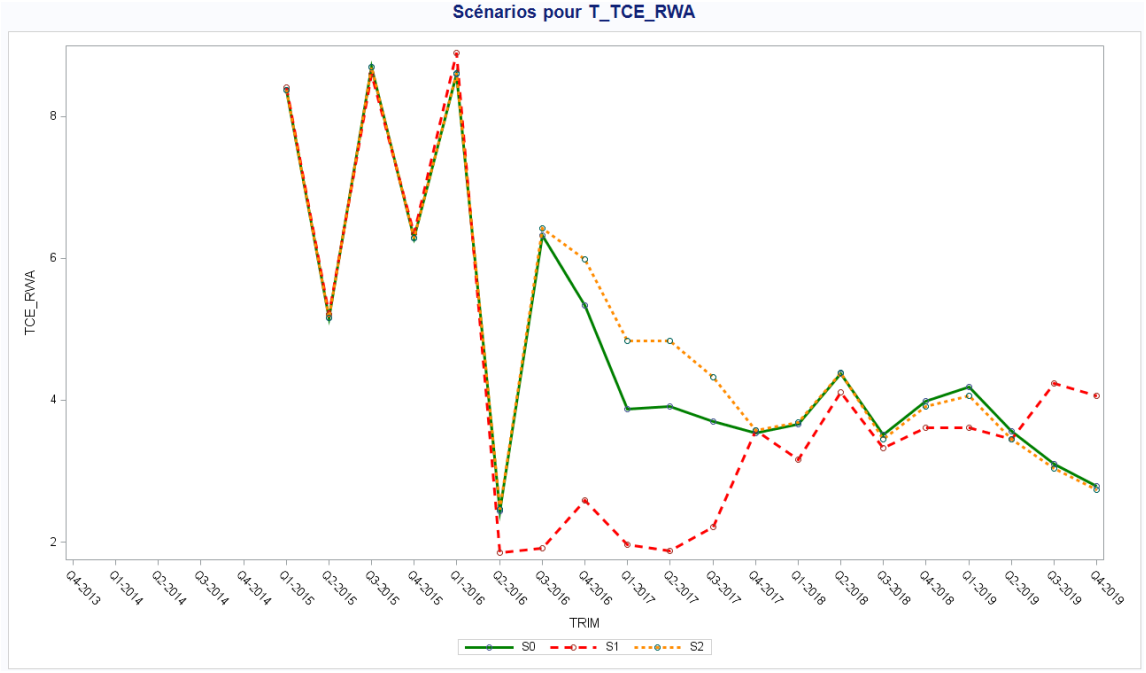
Les résultats qui suivent représentent les scores moyens des intrants pour les banques du G10. Notons que la modélisation pour les banques du G10 nous intéresse beaucoup plus, puisqu'en 2014, 66 sur 67 des contreparties du portefeuille interne IF de la banque ont un pays de provenance qui appartient au G10[21].

Autrement, les figures des prévisions moyennes des intrants scores pour les différents scénarios pour les banques hors du G10 sont disponibles à l'annexe J.

[21] Direction Principale, Quantification des Risques de Crédit, Document Méthodologique – Probabilité de défaut – IF – v.1.15, 147 pages.

Figure 10: Prévisions moyennes du score de l'intrant Capitaux propres tangibles / Actifs pondérés par le risque (T_TCE_RWA) pour les différents scénarios des banques du G10





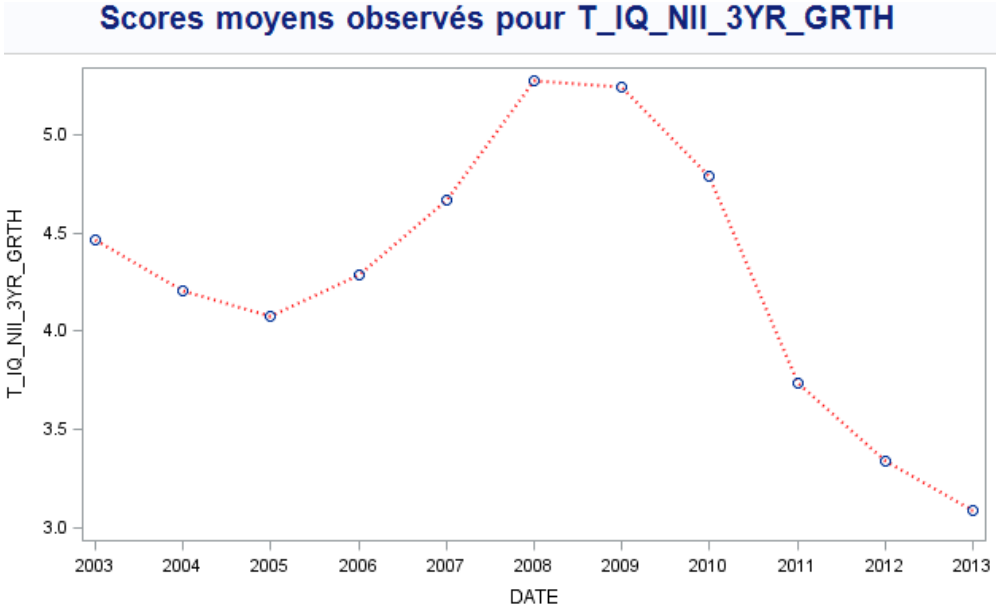
Le score du ratio Capitaux propres tangibles / Actifs pondérés par le risque (T_TCE_RWA) évolue généralement de façon attendue selon les scénarios de crise. C'est-à-dire que le score moyen est moins fort en période de crise (les actifs sont plus risqués et la valeur de la firme diminue) pour le scénario S1 en 2016 et 2017 et tend à se rétablir par la suite (les banques augmentent leur capital réglementaire et modèrent leurs actifs risqués).

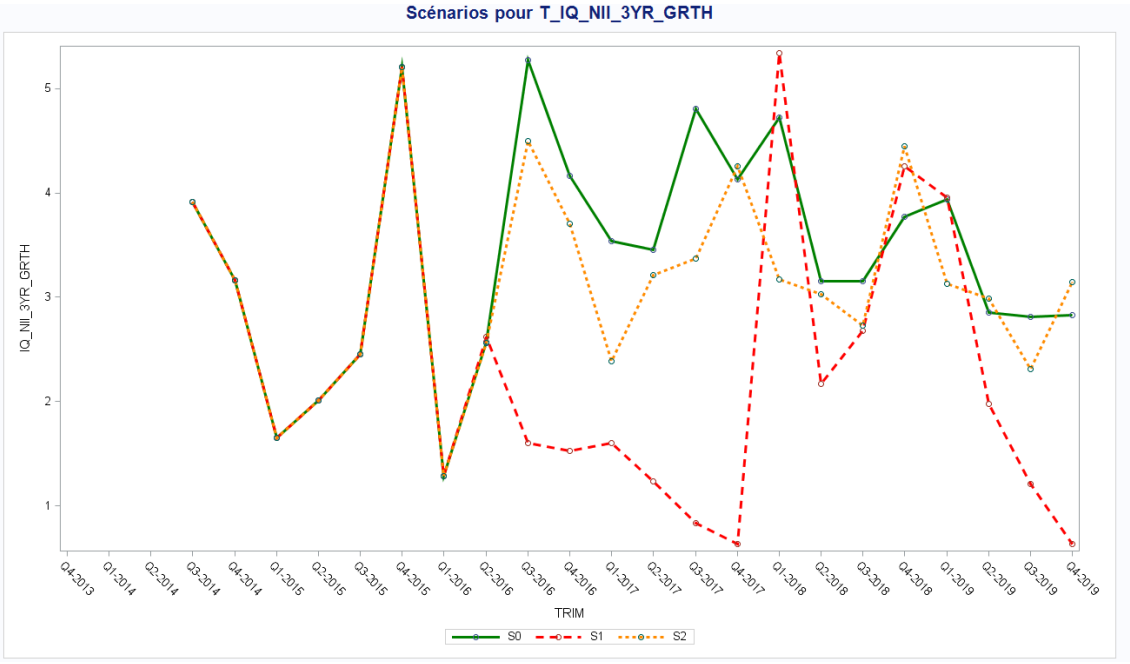
Le scénario S2 par contre enregistre des scores moyens supérieurs au scénario de base (S0) pour quelques trimestres entre Q3-2016 et Q4-2017. Toutefois, ces écarts sont très faibles et la variable a peu de poids dans le modèle PD IF. Suivant le dernier trimestre de 2017, tous les scénarios semblent converger de plus en plus sauf pour Q3 et Q4-2019.

Les variables macroéconomiques qui ont le plus de poids sur le score pour tous les scénarios sont : la croissance annualisée du taux de chômage aux US, avec un retard d'un trimestre (C_USUN_YoY_LAG1); et la croissance du taux de change USD/EUR, avec un retard de 4 trimestres (C_USEURWD_LAG4).

La baisse la plus marquée de l'intrant pour le scénario S1 est principalement dominée par une croissance des variables C_USUN_YoY_LAG1 et C_USEURWD_LAG4 pour la période de Q3-2016 à Q3-2017.

Figure 11: Prévisions moyennes du score de l'intrant Croissance sur 3 ans du revenu net d'intérêt (T_IQ_NII_3YR_GRTH) pour les différents scénarios des banques du G10





Les scores moyens de la variable IQ_NII_3YR_GRTH évoluent généralement de façon cohérente pour les scénarios de stress. C'est-à-dire qu'on s'attend à ce que la croissance sur 3 ans du revenu net d'intérêt soit beaucoup plus faible en situation de crise comme c'est le cas ici pour 2016 et 2017. Celui-ci se rétablit rapidement suivant celle-ci pour se rapprocher du scénario de base (S0) et replonge encore une fois pour le Q2-2019. Seules quelques valeurs sont extrêmes pour le scénario de taux d'intérêt négatifs (S1) en Q1-2018 et Q4-2018.

Les scores moyens pour le scénario de faible potentiel de croissance au Québec (S2) sont semblables à ceux du scénario de base (S0), quoique légèrement plus faible. La croissance sur 3 ans du revenu net d'intérêt est donc beaucoup moins affectée à la baisse par une faible croissance au Québec que par des taux d'intérêt négatifs.

Les variables macroéconomiques qui ont le plus de poids sur le score pour tous les scénarios sont : la croissance de la moyenne trimestrielle du rendement des obligations gouvernementales canadiennes, avec un retard de 2 trimestres (C_CQASCMCUNI_GOVE_L2); et la croissance de l'indice des prix à la consommation au Canada, excluant le Québec et l'Ontario, avec un retard d'un trimestre (C_CNCPI_EXQCON_L1).

Le sommet de la crise du scénario S1 est donc principalement affecté par une décroissance des variables C_CQASCMCUNI_GOVE_L2 et C_CNCPI_EXQCON_L1 pour cette période.

Figure 12: Prévisions moyennes du score de l'intrant ln(Actif total) (T_LOG_ACTIF) pour les différents scénarios des banques du G10

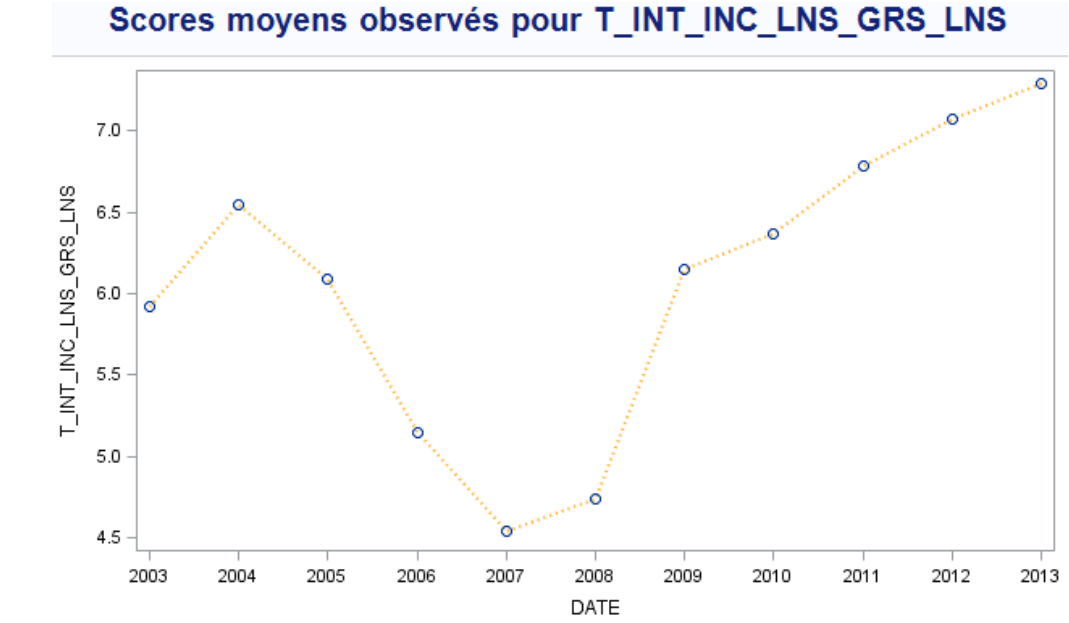
Les scores moyens de la variable LOG_ACTIF évoluent généralement de façon attendue pour tous les scénarios de crise. Dans la période de crise des scénarios S1 et S2, la valeur totale des actifs diminue puis se rétablit durant les années qui suivent. Le score moyen est toutefois légèrement plus faible pour le scénario S2 que pour le scénario S1, qui est censé être davantage punitif. Considérant que notre modèle a un $R^2 ajusté$ très faible (0,0061), nous trouvons les écarts acceptables.

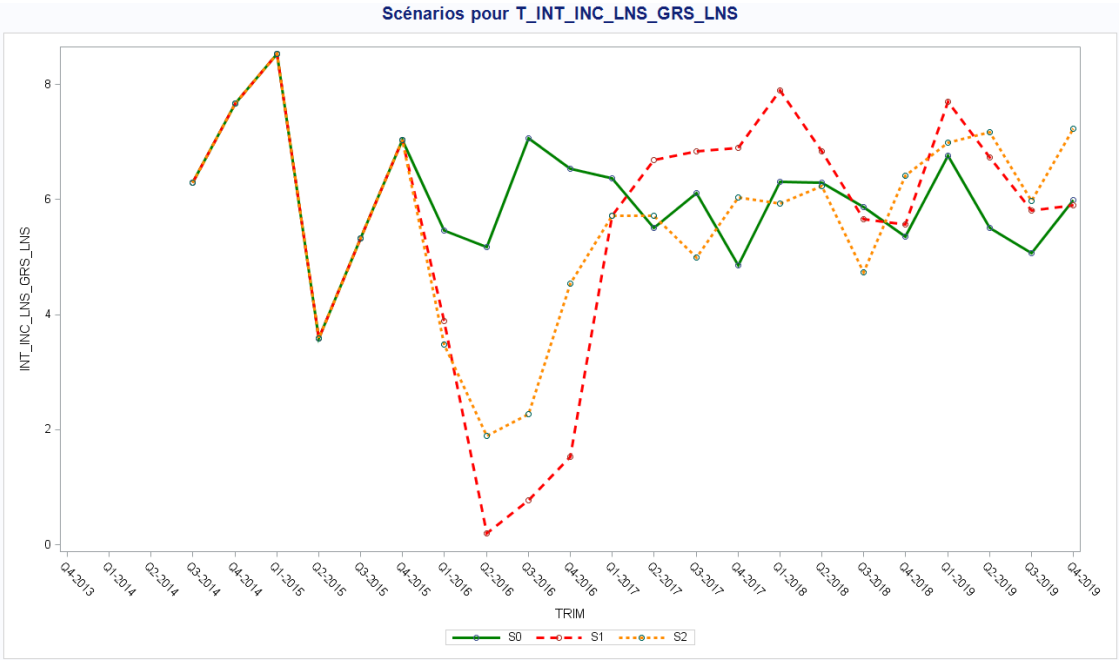
Les trois variables macroéconomiques du modèle ont un poids semblable sur le score pour l'ensemble des scénarios : le crédit total au Canada (CR_TOTAL); la croissance du taux 10 ans au Québec, avec un retard de 3 trimestres (C_QC_C29010Y_Ind_L3); et la croissance du taux de change USD/EUR, avec un retard de 4 trimestres (C_USEURWD_LAG4).

Le pic de la crise du scénario S1 est donc principalement affecté par une forte décroissance de la variable CR_TOTAL, d'une décroissance moins forte de C_QC_C29010Y_Ind_L3, ainsi qu'une forte croissance de C_USEURWD_LAG4 pour la période visée.

Pour les scores les plus faibles du scénario S2, on note des variations semblables, mais de moindres envergures pour les variables CR_TOTAL et C_USEUWD_LAG4. La forte croissance de C_QC_C29010Y_Ind_L3 pour stimuler la reprise de l'économie québécoise est la variable qui affecte le plus le score à la baisse pour Q3-2016 à Q3-2017.

Figure 13: Prévisions moyennes du score de l'intrant Intérêts sur les prêts consentis / Prêts bruts (T_INT_INC_LNS_GRS_LNS) pour les différents scénarios des banques du G10





Les scores moyens de la variable INT_INC_LNS_GRS_LNS évoluent généralement de façon cohérente selon les scénarios de crise. Pour les scénarios de taux d'intérêt négatifs (S1) et de faible potentiel de croissance au Québec (S2), le score moyen est beaucoup plus faible durant la période de crise par rapport au scénario de base (S0) et tend à se rétablir après celle-ci (et même le dépasser légèrement dans le cas du S1).

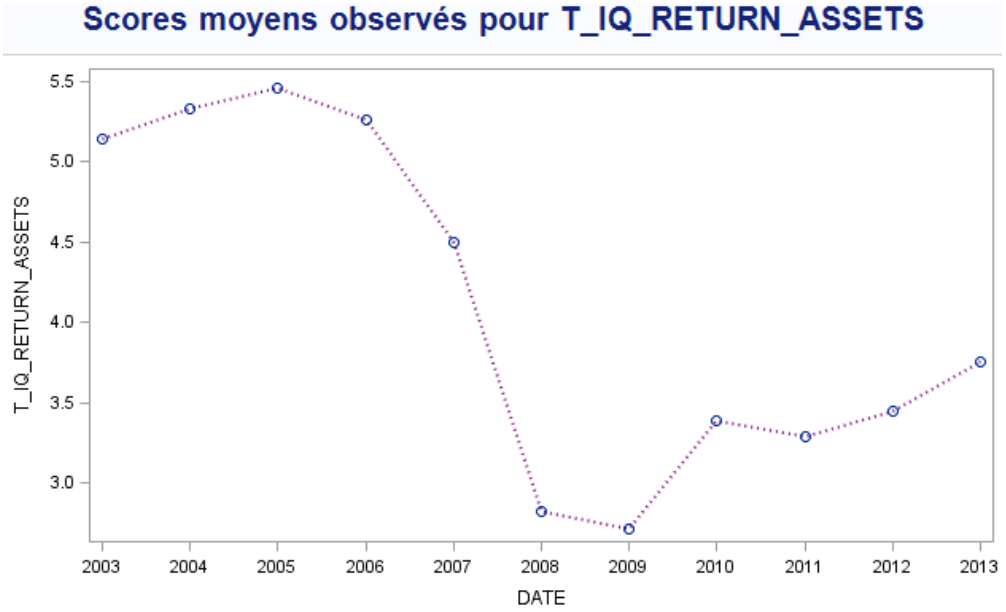
Les variables macroéconomiques qui ont le plus de poids sur le score sont : la croissance de l'indice des prix à la consommation au Canada, excluant le Québec et l'Ontario (C_CNCPI_EXQCON); la croissance dans l'écart des taux 10 ans entre le Québec et le Canada (C_C29010Y_CNBCH10); et la croissance du taux de chômage annualisé en Ontario (C_ONUN_YoY_LAG1).

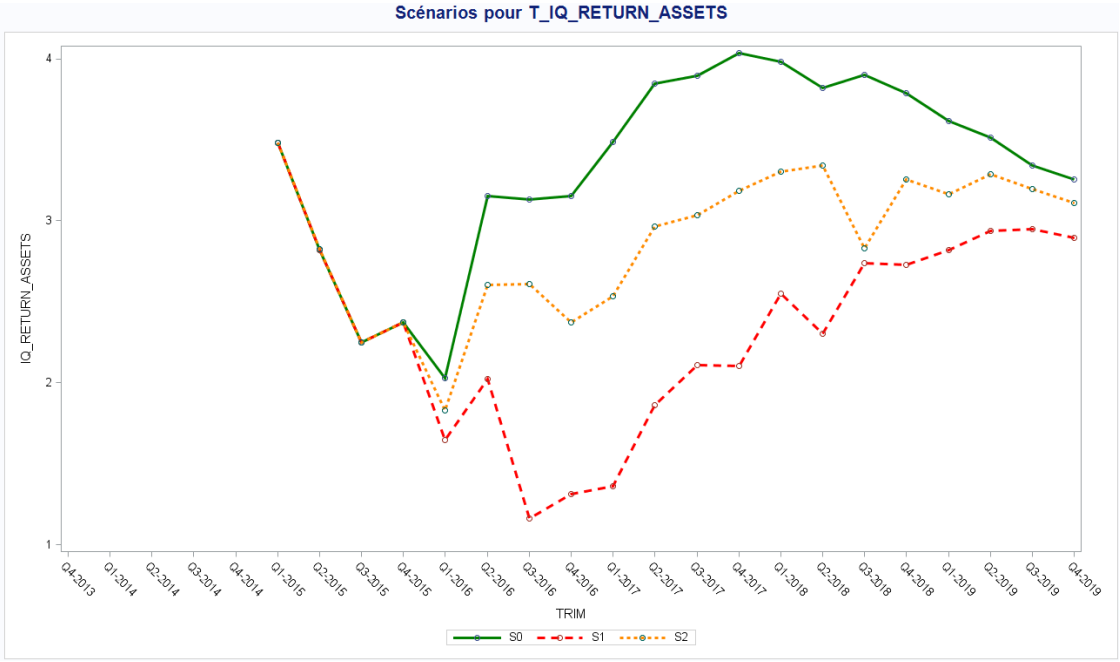
Dans l'ensemble, la croissance du taux trimestriel du PIB réel annualisé au Canada, avec un retard de 2 trimestres (C_CNGDP_YoY_LAG2) a beaucoup moins d'importance sur les variations du score pour tous les scénarios.

Le sommet de la crise du scénario S1 est donc principalement dominé par une décroissance de C_CNCPI_EXQCON, ainsi qu'une croissance de C_C29010Y_CNBCH10 et C_ONUN_YoY_LAG1 pour les trimestres Q1-2016 à Q4-2016.

Notons que l'intrant transformé a un signe opposé à l'intrant original pour faciliter l'interprétation de celui-ci dans le modèle PD IF et, que par conséquent, ces variations influencent donc l'intrant INT_INC_LNS_GRS_LNS à la hausse durant la période de crise.

Figure 14: Prévisions moyennes du score de l'intrant Rendement sur les actifs (T_IQ_RETURN_ASSETS) pour les différents scénarios des banques du G10





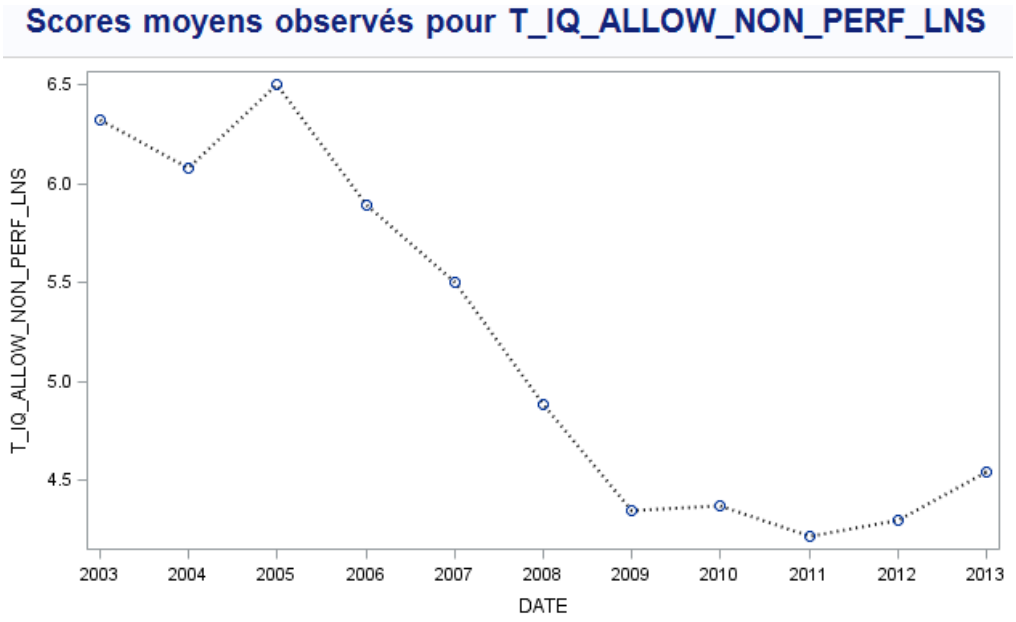
Les scores moyens de la variable IQ_RETURN_ASSETS évoluent généralement de façon attendue pour les scénarios de stress. Les écarts entre les trois scénarios sont relativement constants pour toute la période de *stress test*. C'est-à-dire que le score moyen pour le scénario S2 est plus faible que le scénario de base (S0) et que le scénario S1 est encore plus punitif que le scénario S2. Pour les scénarios de crise, le score moyen tend à se rétablir après la période de crise de 2016-2017 durant les années qui suivent pour converger vers les valeurs du scénario de base (S0).

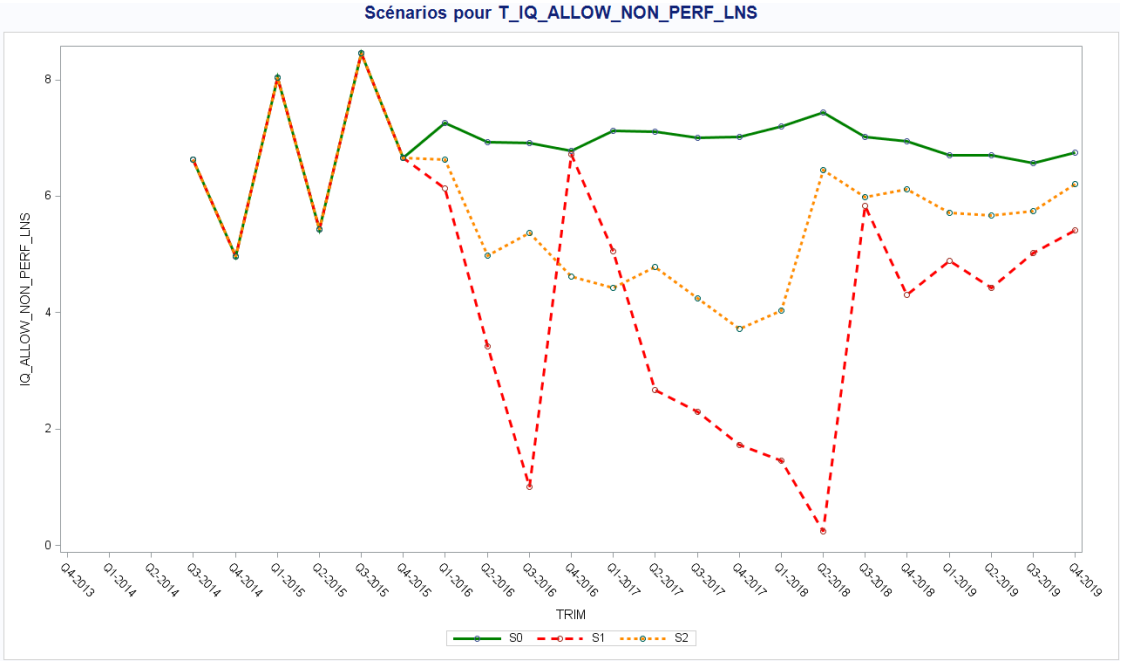
Les variations du score pour tous les scénarios de crise sont largement dominées par la moyenne trimestrielle de l'écart de rendement entre les obligations corporatives et fédérales au Canada (SpreadDEX) et, dans une moindre mesure, l'inflation de l'indice des prix à la consommation aux US, avec un retard de 2 trimestres (USCONPRCF_YoY_LAG2).

Les deux autres variables, la croissance du taux trimestriel du PIB réel annualisé au Québec, avec un retard d'un trimestre (C_PIBKXQ_YoY_LAG1) et la croissance du taux de change USD/EUR, avec un retard de 4 trimestres (C_USEURWD_LAG4) n'ont que très peu d'importance dans l'ampleur des variations du score pour l'ensemble des scénarios.

Ainsi, les écarts entre les scénarios S1 et de base sont largement expliqués par des valeurs plus élevées pour SpreadDEX et des valeurs plus faibles pour USCONPRCF_YoY_LAG2 pour le scénario de crise. Toutefois, seule la variable SpreadDEX semble avoir une grande importance pour expliquer les écarts entre les scores des scénarios S2 et de base.

Figure 15: **Prévisions moyennes du score de l'intrant Provisions pour pertes sur prêts / Prêts douteux (T_IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS) pour les différents scénarios des banques du G10**





Les scores moyens de la variable IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS évoluent généralement de façon cohérente pour les scénarios de stress. Mis à part des valeurs aberrantes au trimestre Q4-2016 et au trimestre Q1-2017 pour le scénario de taux d'intérêt négatifs (S1), les écarts entre les scénarios sont respectés pour toute la période. Encore une fois, le scénario S1 est plus punitif que le scénario de faible potentiel de croissance au Québec (S2), qui est lui-même plus punitif que le scénario de base (S0). Ceci fait du sens, puisque l'on s'attend à ce que les provisions pour les pertes soient moindres et que les prêts douteux soient plus importants pour les scénarios de crise. Le score moyen tend à croître quelques années après la crise pour les scénarios S1 et S2 pour converger vers les valeurs du scénario de base (S0) en 2019.

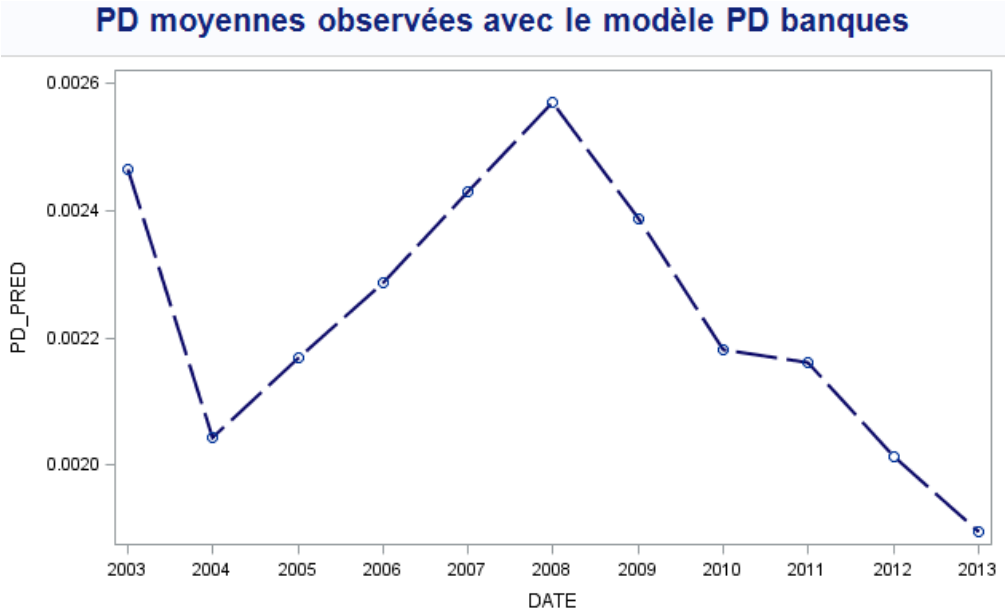
Les variables macroéconomiques qui ont le plus de poids sur le score sont CR_TO_CONS et USGDP_YoY_LAG3 dans tous les scénarios. C_SAVINGS_OTHE_LAG1 affecte la variable à la baisse dans le scénario 1.

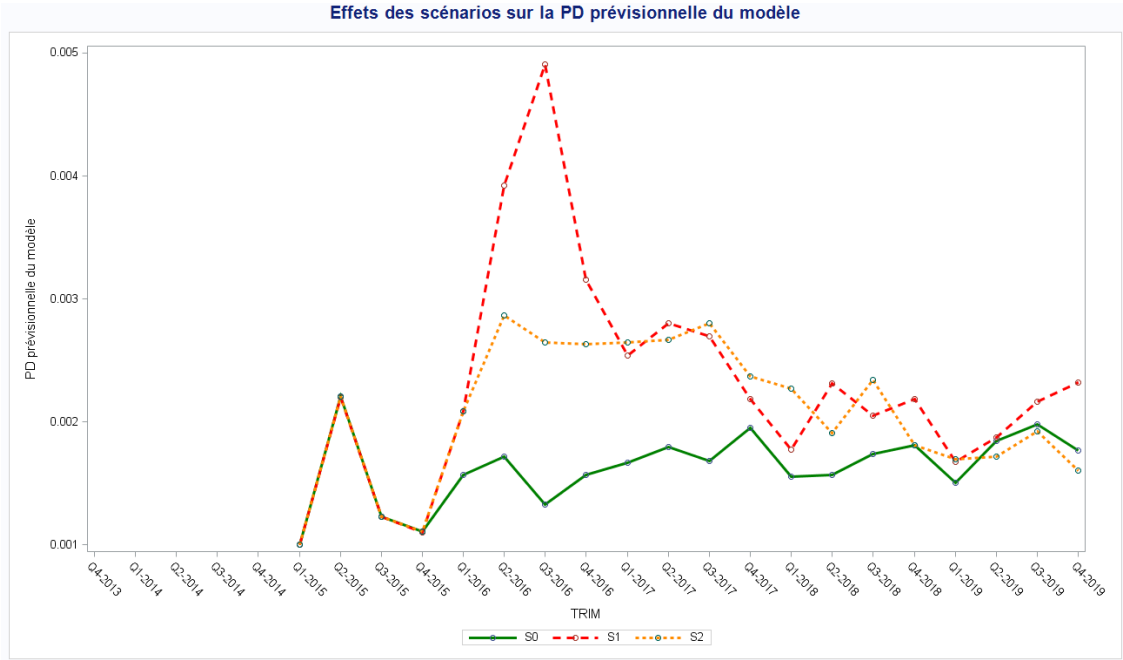
Toutes les variables macroéconomiques du modèle ont un poids semblable sur le score pour l'ensemble des scénarios : le crédit à la consommation aux particuliers au Canada (CR_TOTAL); le taux trimestriel du PIB réel annualisé aux US, avec un retard de 3 trimestres (USGDP_YoY_LAG3); et la croissance de l'épargne autre que personnelle au Canada, avec un retard d'un trimestre (C_SAVINGS_OTHE_LAG1).

Les scores plus faibles pour le scénario S1 par rapport au scénario de base (S0) sont dominés par une forte décroissance de CR_TO_CONS et une décroissance plus faible pour C_SAVINGS_OTHE_LAG1 et USGDP_YoY_LAG3.

Pour ce qui est du scénario S2, les scores plus faibles sont principalement expliqués par une décroissance pour CR_TO_CONS et C_SAVINGS_OTHE_LAG1, de moindres amplitudes que pour le scénario S1.

Figure 16: **Prévisions moyennes des probabilités de défaut pour tous les scénarios des banques du G10**





Une fois les coefficients du modèle PD IF appliqués aux scores moyens des intrants, nous obtenons les PD prévisionnelles moyennes pour chaque scénario. Les PD prévisionnelles évoluent selon nos anticipations par rapport à leur comportement en temps de crise, c'est-à-dire que nous nous attendons à ce que la probabilité de défaut augmente pour le scénario de faible potentiel de croissance au Québec (S2) par rapport au scénario de base (S0) et qu'elle soit à son maximum pour le pire scénario, soit les taux d'intérêt négatifs (S1).

Dans tous les cas, après le pic de la période de crise, les PD prévisionnelles des scénarios S1 et S2 convergent de plus en plus vers les PD prévisionnelles du scénario de base (S0). En fonction des informations fournies par les prévisions moyennes des modèles sélectionnés des intrants, nous faisons l'hypothèse que le modèle aura la sensibilité appropriée aux scénarios de crise testés. Rappelons-nous que les intrants qui ont le coefficient le plus élevé dans le modèle PD IF sont :

- Variable indicatrice du G10 (G10) avec un coefficient de -0,24038
- ln(Actif total) (T_LOG_ACTIF) avec un coefficient de -0,19451
- Intérêts sur les prêts consentis / Prêts bruts (T_INT_INC_LNS_GRS_LNS) avec un coefficient de -0,10632
- Provisions pour pertes sur prêts / Prêts douteux (T_IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS) avec un coefficient de -0,04939

Puisque nous ne stressons pas l'intrant G10 et que nous l'utilisons plutôt pour créer des groupes différents : banques du G10 et banques hors du G10, cette variable indicatrice n'a aucun effet sur les écarts entre les scores des intrants.

Donc, en tenant compte des variations des scores des intrants et de leur poids respectif, les plus grands écarts entre les scénarios S1 et S0 sont majoritairement dominés par INT_INC_LNS_GRS_LNS, LOG_ACTIF et IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS. Les mêmes variables sont majoritairement responsables des écarts entre les scénarios S2 et S0, mais à un degré moindre.

7.3 Matrices des prévisions des transitions des cotes de risque

Les matrices de transition des cotes de risque internes sont ensuite créées pour obtenir une vue d'ensemble de l'impact de chaque scénario de crise par rapport au scénario de base (S0) de façon plus granulaire.

Dans ce but, nous supposons que la dernière observation des intrants pour chaque banque correspond à son scénario de base (S0) et que ceux-ci resteront fixes pour tous les trimestres futurs. Par la suite, les écarts des valeurs moyennes estimées (intrants bruts) entre les scénarios S0/S1 et S0/S2 sont calculés pour chaque trimestre. En appliquant ces écarts au scénario de base (S0) de chaque banque pour chaque trimestre, on obtient les valeurs stressées pour les scénarios S1 et S2 pour chaque trimestre et pour chaque banque.

Nous transformons ensuite toutes les valeurs prévisionnelles en scores, puis nous calculons une PD prévisionnelle. Finalement, la PD prévisionnelle est ajustée en fonction de la probabilité de support de la banque mère et, avec celle-ci, la cote de risque interne peut être estimée.

Cette méthode nous permet donc de détailler notre analyse davantage, au niveau de chaque banque. Les matrices de cette section présentent le sommaire des transitions des cotes de risques des banques entre le scénario de base (S0) et les scénarios de crise, tous trimestres confondus.

Les colonnes correspondent aux cotes de risques observées pour le scénario de base (S0), c'est-à-dire les cotes de risques sur l'échelle interne qui correspondent à la dernière observation des intrants de chaque banque. Les lignes correspondent aux cotes de risques stressées pour un scénario de crise (S1 ou S2). Pour chaque cote de risque observée (colonne), les pourcentages correspondent aux transitions de la cote de risque observée vers les cotes de risque stressées.

Par exemple, pour la première matrice de transition « S0/S1 : population totale », 72.7% des banques qui avaient une cote de risque observée de 2.5 pour le scénario de base (S0), obtiennent la même cote de risque stressée pour

le scénario S1, alors que 20.53% sont décotées d'un cran et obtiennent la cote de risque stressée de 3.

Les pourcentages sur la diagonale correspondent aux banques qui conservent la même cote de risque dans le scénario de crise et les pourcentages sous la diagonale correspondent aux banques qui sont décotées dans le scénario de crise. Finalement, les pourcentages au-dessus de la diagonale correspondent aux banques qui sont surcotées dans le scénario de crise.

Nous obtenons un total de 13 425 observations pour notre population totale (537 contreparties uniques * 25 trimestres), soit 5800 observations pour les banques du G10 (232 contreparties uniques * 25 trimestres) et 7625 observations pour les banques hors du G10 (305 contreparties uniques * 25 trimestres).

Tableau 37: Matrice de transitions S0/S1 : population totale

S1 \ S0	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	Proportion cote S1 finale
2,5	72,7%	0,6%							14,5%
3	20,5%	62,9%	1,3%						14,9%
3,5	4,9%	23,1%	56,7%	0,8%					14,1%
4	1,8%	10,2%	31,6%	61,4%	1,1%				16,5%
4,5	0,2%	3,0%	8,4%	32,5%	67,0%	0,8%			16,9%
5		0,1%	2,0%	5,1%	29,6%	73,9%	1,1%		14,7%
5,5				0,3%	2,3%	25,0%	86,1%	2,0%	7,5%
6					0,1%	0,2%	12,8%	98,0%	1,0%
Proportion cote S0 initiale	19,7%	16,9%	16,0%	14,9%	15,1%	12,3%	4,7%	0,4%	100%

S0/S1 population totale		
Écarts de cran	**NB**	**%**
1	99	0,7%
0	**8968**	**66,8%**
-1	3491	26,0%
-2	695	5,2%
-3	166	1,2%
-4	6	0,0%

Tableau 38: Matrice de transition S0/S2 : population totale

S2 \ S0	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	Proportion cote S2 finale
2,5	79,1%	1,0%							15,8%
3	20,1%	68,4%	0,8%						15,7%
3,5	0,8%	27,5%	65,9%	0,5%					15,4%
4		3,2%	31,2%	75,7%	0,6%				16,9%
4,5			2,1%	23,7%	82,9%	0,2%			16,4%
5				0,3%	16,3%	88,0%			13,3%
5,5					0,2%	11,8%	94,4%		5,9%
6							5,6%	100,0%	0,6%
Proportion cote S0 initiale	19,7%	16,9%	16,0%	14,9%	15,1%	12,3%	4,7%	0,4%	100%

S0/S2 population totale		
Écarts de cran	**NB**	**%**
1	63	0,5%
0	**10351**	**77,1%**
-1	2864	21,3%
-2	147	1,1%

Tableau 39: Matrice de transition S0/S1 : portefeuille IF pays du G10

	S0						
S1	**2,5**	**3**	**3,5**	**4**	**4,5**	**5**	**Proportion cote S1 finale**
2,5	75,7%	0,7%					28,9%
3	17,7%	69,1%	1,0%				23,9%
3,5	4,3%	19,8%	56,7%	0,5%			17,8%
4	2,1%	5,8%	32,1%	64,2%	1,9%		15,1%
4,5	0,2%	4,4%	6,5%	28,5%	72,9%	12,0%	10,7%
5		0,1%	3,7%	5,9%	19,1%	76,0%	3,1%
5,5				0,9%	5,6%	12,0%	0,6%
6					0,5%		0,0%
Proportion cote S0 initiale	37,9%	24,6%	19,8%	9,9%	7,3%	0,4%	100%

S0/S1 G10=1		
Écarts de cran	**NB**	**%**
1	35	0,6%
0	**4000**	**69,0%**
-1	1289	22,2%
-2	311	5,4%
-3	159	2,7%
-4	6	0,1%

Tableau 40: Matrice de transition S0/S2 : portefeuille IF pays du G10

	S0						
S2	**2,5**	**3**	**3,5**	**4**	**4,5**	**5**	**Proportion cote S2 finale**
2,5	79,6%	1,5%					30,6%
3	19,5%	68,2%	1,4%				24,4%
3,5	1,0%	25,2%	57,7%	1,2%			18,1%
4		5,1%	37,0%	64,3%	2,6%		15,2%
4,5			3,9%	33,6%	73,4%	12,0%	9,5%
5				0,9%	23,1%	88,0%	2,2%
5,5					0,9%		0,1%
Proportion cote S0 initiale	37,9%	24,6%	19,8%	9,9%	7,3%	0,4%	100%

S0/S2 G10=1		
Écarts de cran	**NB**	**%**
1	59	1,0%
0	**4090**	**70,5%**
-1	1504	25,9%
-2	147	2,5%

Tableau 41: Matrice de transition S0/S1 : portefeuille IF pays hors du G10

	S0								
S1	**2,5**	**3**	**3,5**	**4**	**4,5**	**5**	**5,5**	**6**	**Proportion cote S1 finale**
2,5	58,0%	0,5%							3,5%
3	34,2%	52,5%	1,6%						8,1%
3,5	7,6%	28,7%	56,8%	0,8%					11,3%
4	0,2%	17,6%	31,0%	60,3%	0,9%				17,5%
4,5		0,7%	10,6%	34,1%	65,4%	0,6%			21,7%
5				4,8%	32,4%	73,9%	1,1%		23,5%
5,5					1,4%	25,2%	86,1%	2,0%	12,7%
6						0,2%	12,8%	98,0%	1,7%
Proportion cote S0 initiale	5,9%	11,1%	13,1%	18,7%	21,0%	21,3%	8,2%	0,7%	100%

S0/S1 G10=0		
Écarts de cran	**NB**	**%**
1	64	0,8%
0	**4968**	**65,2%**
-1	2202	28,9%
-2	384	5,0%
-3	7	0,1%

Tableau 42: Matrice de transition S0/S2 : portefeuille IF pays hors du G10

	S0								
S2	**2,5**	**3**	**3,5**	**4**	**4,5**	**5**	**5,5**	**6**	**Proportion cote S2 finale**
2,5	76,7%								4,5%
3	23,3%	68,6%	0,1%						9,0%
3,5		31,4%	75,4%	0,1%					13,4%
4			24,5%	80,2%	0,1%				18,2%
4,5				19,6%	85,4%				21,6%
5					14,6%	88,0%			21,8%
5,5						12,0%	94,4%		10,3%
6							5,6%	100,0%	1,1%
Proportion cote S0 initiale	5,9%	11,1%	13,1%	18,7%	21,0%	21,3%	8,2%	0,7%	100%

S0/S2 G10=0		
Écarts de cran	**NB**	**%**
1	4	0,1%
0	**6261**	**82,1%**
-1	1360	17,8%

Comme mentionné plus tôt dans l'analyse, les variations entre les cotes observées et stressées sont dominées par les variations des intrants INT_INC_LNS_GRS_LNS, LOG_ACTIF et IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS.

Notons que le modèle PD IF réagit de manière cohérente aux scénarios de crise, c'est-à-dire une certaine décote sur l'ensemble de la population, quoique plus forte pour le scénario S1 (32,5% de décote entre 1 et 4 crans) que le scénario S2 (22,4% de décote entre 1 et 2 crans). Par conséquent, 66,8% des observations conservent la même cote de risque pour le scénario S1 alors que 77,1% des cotes ne changent pas pour le scénario S2.

Très peu d'observations voient leur cote s'améliorer en scénario de crise, soit moins de 1% pour chaque matrice, ce qui est acceptable. On remarque également que les banques du G10 réagissent généralement plus fortement aux scénarios de crise que les banques hors du G10. Notamment, on enregistre 3 crans de décote pour 2,7% des observations pour le scénario S1 pour les banques du G10, alors que le celui-ci décote un maximum de 2 crans pour les banques hors du G10.

Nous nous attendons à ce que les banques du G10 soient davantage touchées par les scénarios de crise par rapport aux banques hors du G10 : leur interconnectivité au système bancaire mondial les rendant davantage sensibles aux fluctuations macroéconomiques.

7.4 Mesure statistique de la sensibilité du modèle

Nous décidons d'utiliser une statistique pour quantifier la significativité de la sensibilité de la distribution par cote de risque pour chaque paire de scénarios (S0/S1 et S0/S2).

L'indice de stabilité de la population (ISP) nous permet de quantifier la significativité de la sensibilité. C'est une métrique qui mesure le changement dynamique d'une population dans le temps. À cette fin, l'échantillon de développement (scénario de base) et l'échantillon de validation (scénario S1/S2) sont segmentés en catégories différentes, qui correspondent aux différentes cotes de risque. L'expression de l'ISP est disponible ci-dessous.

Équation 4: Indice de la Stabilité de la Population

$$\text{ISP} = \sum_{k=1}^{n} \left[\ln\left(\frac{\%Dk_{S0}}{\%Dk_{Si}}\right) * (\%Dk_{S0} - \%Dk_{Si}) \right]$$

où $\%Dk_{S0}$ correspond au pourcentage des banques ayant la cote de risque k pour le scénario de base (S0)

où $\%Dk_{Si}$ correspond au pourcentage des banques ayant la cote de risque k pour le scénario i (S1 ou S2)

Une statistique ISP élevée correspond à un plus grand changement dans la population. Généralement, une statistique supérieure à 0.25 indique une variation majeure dans la population, alors qu'une valeur inférieure à 0.10 indique une variation non significative. Finalement, une statistique entre 0.10 et 0.25 indique une variation mineure. Le tableau suivant nous donne l'interprétation de cette statistique ISP.

Tableau 43: Interprétation des statistiques ISP

Bornes Statistique ISP	Interprétation
[0 ; 0,100]	Variation non significative
]0,100 ; 0,250]	Variation mineure
≥ 0,250	Variation majeure

		Période	Statistique ISP	Interprétation
POPULATION TOTALE	S0/S1	2014 - 2019	0,0492	NON-SIGNIFICATIF
	S0/S2	2014 - 2019	0,0187	NON-SIGNIFICATIF
	S0/S1	2015	0,0010	NON-SIGNIFICATIF
	S0/S2	2015	0,0011	NON-SIGNIFICATIF
	S0/S1	2016	0,3992	TRÈS SIGNIFICATIF
	S0/S2	2016	0,1017	SIGNIFICATIF
	S0/S1	2017	0,1835	SIGNIFICATIF
	S0/S2	2017	0,0936	NON-SIGNIFICATIF

Tout d'abord, il n'y a aucune différence significative entre la distribution du scénario de base (S0) et les distributions des scénarios de crise si l'on considère l'ensemble de la période de *stress testing*.

Toutefois, en recalculant la statistique sur une période de crise plus précise (2016-2017), on remarque, sans surprise, qu'il y a des différences significatives entre les distributions du scénario de base (S0) et des scénarios de crise. Ceci est cohérent avec les résultats que nous avons obtenus précédemment, puisque la PD stressée moyenne pour les scénarios S1/S2 dans le sommet de la crise simulée est beaucoup plus élevée que pour le scénario de base (S0) et affecte les cotes de risque des banques à la baisse.

En fait, la différence entre la distribution du scénario de base (S0) et du scénario de crise S1 est très significative pour 2016 (0,3992) et significative pour 2017 (0,1835). Aussi, la différence entre la distribution du scénario de base (S0) et du scénario de crise S2 est significative pour 2016 (0,1017) et est tout juste sous le seuil de significativité accepté pour 2017 (0,0936).

Mentionnons que dans les cas où les statistiques ISP sont significatives, c'est-à-dire pour les années 2016 et 2017, la segmentation qui est la plus sensible aux scénarios de crise est la cote de risque 2,5. Également, le modèle est davantage sensible au scénario de taux d'intérêt négatifs en réponse à la faiblesse de la croissance et de l'inflation (S1), qui est le plus punitif des deux. De plus, les banques du G10 sont plus sensibles aux scénarios de crise que les banques hors du G10. En somme, le modèle n'est pas significativement affecté en temps normal, mais est significativement sensible en temps de crise, ce qui est cohérent du point de vue du risque de crédit.

8. Conclusion

Les différents modèles d'évaluation du risque de crédit sont importants puisqu'ils entrent en jeux dans plusieurs secteurs à travers l'institution financière. Plus précisément, le modèle PD IF est « utilisé comme un outil d'aide à la décision dans le processus d'octroi, dans le calcul du capital économique, dans le calcul des provisions et les exercices de simulation de crise, pour la reddition de comptes et pour la divulgation[22]. » De plus, la PD estimée en extrant du modèle permet de suivre l'évolution du risque de crédit du portefeuille IF interne et détermine le montant de capital réglementaire requis. Il est donc primordial d'utiliser des modèles qui sont, non seulement, suffisamment précis dans l'estimation des paramètres de risque, mais aussi pertinents en situation de crise.

Le but de cette analyse de sensibilité est d'observer le comportement d'un modèle en situation de crise et de valider sa cohérence. Le modèle PD IF estime la PD pour toutes les expositions du portefeuille bancaire comprises dans la sous-catégorie d'actifs Banques. Avant d'observer le comportement du modèle en situation de crise, il est nécessaire de stresser les intrants de celui-ci de manière à simuler un scénario où il y aurait effectivement une crise économique qui affecterait ceux-ci.

Afin de stresser les intrants, les intrants quantitatifs du modèle PD IF ont d'abord été modélisés avec des variables macroéconomiques. Une fois les modèles optimaux sélectionnés pour chacun, nous avons appliqué ceux-ci aux variables macroéconomiques simulées des scénarios de crise créés par les économistes de la VPEE. Par la suite, la sensibilité du modèle a été évaluée de 4 manières différentes.

Dans un premier lieu, nous avons calculé les scores moyens estimés des intrants stressés pour tous les scénarios : soit le scénario de base (S0), le

---

[22] Direction Principale, Quantification des Risques de Crédit, Document Méthodologique – Probabilité de défaut – IF – v.1.15, 147 pages.

scénario de taux d'intérêt négatifs (S1) et le scénario de faible potentiel de croissance au Québec (S2).

Ceci nous a permis de constater que le scénario S1 est généralement beaucoup plus punitif que le scénario S2 pour les scores de nos intrants stressés et que les scores les plus faibles pour les scénarios de crise sont généralement au pic des crises simulées, soit entre 2016 et 2017. Puis, durant les trimestres qui suivent, les scores estimés pour les différents scénarios ont tendance à converger de plus en plus. Nous avons pus également identifier les variables macroéconomiques qui dominent le plus les variations dans les scores estimés, pour chaque intrant.

Deuxièmement, nous avons utilisé les scores moyens estimés des intrants stressés pour calculer des PD stressées pour chacun des scénarios. Nous avons observé que celles-ci évoluaient généralement de façon attendue selon nos anticipations.

Ainsi, la PD stressée du scénario S1 est généralement la plus élevée et atteint son maximum au Q3-2016, au sommet de la crise, alors que la PD stressée du scénario S2, est généralement supérieure à la PD du scénario de base (S0), mais est moins élevée que celle du scénario S1. De plus, tout comme leurs intrants, les PD stressées convergent toutes de plus en plus vers les PD du scénario S0. De plus, nous observons que les plus grands écarts entre le scénario de base et les scénarios de crise sont principalement dominés par :

- Intérêts sur les prêts consentis / Prêts bruts (T_INT_INC_LNS_GRS_LNS)

- ln(Actif total) (T_LOG_ACTIF)

- Provisions pour pertes sur prêts / Prêts douteux (T_IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS)

Troisièmement, à partir de la dernière observation des intrants pour chaque banque et des écarts des intrants moyens stressés entre S0/S1 et S0/S2, nous avons calculé les intrants stressés pour les scénarios S1 et S2 pour chaque

trimestre et chaque banque. Après quelques étapes de calcul, nous avons estimé des cotes de risque internes pour chaque trimestre et chaque banque.

Par la suite, nous avons agrégé ces cotes dans des matrices de transition pour analyser les mouvements de celles-ci entre le scénario de base (S0) et les différents scénarios de crise (S1 et S2). Nous avons pu observer les migrations des cotes S0/S1 et S0/S2, ainsi que les écarts de cran pour les différents groupes : population totale, banques du G10 et banques hors du G10.

Nous observons que les banques du G10 sont généralement plus sensibles aux scénarios de crise que les banques hors du G10, et ce, particulièrement dans le cas du scénario des taux d'intérêt négatifs (S1). Le modèle PD IF réagit de manière cohérente selon nos anticipations en situation de crise, c'est-à-dire qu'il enregistre une certaine décote pour plusieurs banques sur l'ensemble de la population. En particulier, une décote entre 1 et 4 crans affecte 32,5% de la population totale des banques pour le scénario S1, alors qu'une décote entre 1 et 2 crans affecte 22,4% de cette même population pour le scénario S2.

Finalement, nous avons utilisé la statistique de l'ISP pour mesurer la significativité de la sensibilité de la distribution des cotes de risque pour chaque paire de scénarios (S0/S1 et S0/S2). Les résultats nous montrent que les distributions des cotes sont significativement sensibles en temps de crise, en 2016 et 2017, et davantage pour le scénario S1.

À la lumière de cette analyse, nous tirons la conclusion que le modèle PD IF est sensible aux scénarios de crise. Sur toute la période et la population totale des banques, on observe une décote d'au moins un cran sur 32,5% (dont 26,0% d'un seul cran) du portefeuille pour le scénario de taux d'intérêt négatifs et 22,4% (dont 21,3% d'un seul cran) pour le scénario de faible potentiel de croissance au Québec. La décote maximale atteint 4 crans, mais ne se produit que pour 6 des 13 425 observations (0,04%) dans le scénario S1, ce qui est non significatif. Également, nous constatons que le modèle est davantage sensible aux scénarios de crise pour les banques du G10, puisque celles-ci sont plus fortement corrélées aux variables macroéconomiques et interconnectées au système bancaire mondial.

Pour ce qui est du capital réglementaire et la provision collective propre à ce portefeuille en temps de crise (2016 et 2017), nous considérons que la PD utilisée dans le calcul devrait être augmentée d'environ 42% pour cette période, ce qui correspond à l'écart relatif entre la PD médiane pondérée réelle et la PD médiane pondérée estimée durant le sommet de la crise du scénario S1 en 2016 et 2017. Le tableau qui suit présente cet écart important qui se produit au sommet de la crise.

Tableau 44: PD médiane estimée en temps de crise

	Population entière des banques 2016-2017						
	PD attendue	Scénario 0		Scénario 1		Scénario 2	
		N	Pondération	N	Pondération	N	Pondération
2,5	0,11%	848	19,74%	341	7,94%	463	10,78%
3	0,20%	728	16,95%	495	11,52%	614	14,29%
3,5	0,25%	688	16,01%	502	11,69%	659	15,34%
4	0,36%	640	14,90%	772	17,97%	849	19,76%
4,5	0,54%	648	15,08%	826	19,23%	751	17,48%
5	0,87%	528	12,29%	802	18,67%	635	14,78%
5,5	1,33%	200	4,66%	475	11,06%	291	6,77%
6	2,00%	16	0,37%	83	1,93%	34	0,79%
Total		4296	100,00%	4296	100,00%	4296	100,00%

	S0	S1	Écart relatif
PD médiane pondérée	0,4070%	0,5776%	**41,91%**

	S0	S2	Écart relatif
PD médiane pondérée	0,4070%	0,4789%	**17,65%**

Références

Autorité des Marchés Financiers, Juillet 2016. Balises d'autorisation pour l'utilisation de l'approche fondée sur les Notations Internes. https://lautorite.qc.ca/fileadmin/lautorite/professionnels/coop/balises_risque_credit.pdf.

Autorité des Marchés Financiers, Juin 2013. L'Autorité identifie le Mouvement Desjardins comme étant une institution financière d'importance systémique pour le Québec. https://lautorite.qc.ca/grand-public/salle-de-presse/actualite/fiche-dactualite/lautorite-identifie-le-mouvement-desjardins-comme-etant-une-institution-financiere-dimportance-sys/.

Banque des règlements internationaux, Octobre 2010. Réponse du Comité de Bâle à la Crise financière: Rapport au G20, octobre 2010. https://www.bis.org/publ/bcbs179_fr.pdf.

Banque du Canada, Revue du système financier, Décembre 2013. De l'importance systémique des institutions financières. http://www.banqueducanada.ca/wp-content/uploads/2013/12/rsf-decembre13-chouinard.pdf.

Bureau du Surintendant des Institutions Financières Canada, Décembre 2016. Risque de crédit - Approche fondée sur les NI. http://www.osfi-bsif.gc.ca/Fra/Docs/CAR17_chpt6.pdf.

Direction Modélisation en Gestion Intégrée des Risques, Analyse de sensibilité du modèle Notation Comportementale Enterprise Ajusté v1.4, juillet 2017, 49 pages.

Direction Principale, Quantification des Risques de Crédit, Analyse de sensibilité - Modèle de Notation Interne PD-GE v1.02, septembre 2016, 83 pages.

Direction Principale, Quantification des Risques de Crédit, Analyse de sensibilité du modèle agricole v1.0, septembre 2016, 83 pages.

Direction Principale, Quantification des Risques de Crédit, Document Méthodologique – Probabilité de défaut – IF – v.1.15, 147 pages.

Direction Principale, Quantification des Risques de Crédit, Document Méthodologique – Probabilité de défaut – Grandes entreprises – v.1.7, 230 pages.

Direction Principale, Quantification des Risques de Crédit, Simulations de crise du Pilier I – Création de la BD macroéconomique de développement, septembre 2016, 18 pages.

Direction Principale, Quantification des Risques de Crédit, Simulations de crise du Pilier I : tests de sensibilité des modèles v1.2, mars 2016, 42 pages.

Direction Principale, Quantification des Risques de Crédit, Tests de sensibilité des modèles v0.1, mai 2016, 16 pages.

Direction Principale, Validation des modèles et stratégies, Validation conceptuelle sensibilité des modèles de cotation, juillet 2017, v1.0, 28 pages.

Direction Principale, Validation des modèles et stratégies, Validation conceptuelle sensibilité du modèle PD GE, janvier 2016, v0.2, 46 pages.

Du Bureau du Surintendant des Institutions Financières Canada (BSIF), Printemps 2013. Le Pilier. http://www.osfi-bsif.gc.ca/Fra/Docs/op_2013_sp.pdf.

Guide utilisateur SAS Enterprise guide – SAS_EG_Analyse_sensibilite_Banques.egp, 11 pages.

Moody's Investors Service, LossCalc™ : Moody's model for Predicting Loss Given Default (LGD), Février 2002, 36 pages.

SAS, « Lesson 13 Stress Testing.pdf », 18 pages.

Schémas, tableaux et figures du document.xls

Vice Présidence des Études Économiques, Description des scénarios de crise intégrés à l'échelle de la banque, 2015, 5 pages.

Vice Présidence des Études Économiques, Dictionnaire variables macro.xls, 2015

Vice Présidence Risques de marché et Quantification des risques, Programme interne d'évaluation de l'adéquation des fonds propres, 2016, 56 pages.

Annexes

A Probabilités de défaut des banques mères en fonction de leur cote de risque réelle[23]

Ces correspondances sont utilisées pour faire l'adéquation entre les PD des banques mères et leur cote S&P pour l'ajustement de la probabilité de support de la banque mère pour la banque filiale.

	Moody's	S&P	Alpha21	PD
Non-défaut	Aaa	AAA	1	0,001%
	Aa1	AA+	2	0,003%
	Aa2	AA	3	0,079%
	Aa3	AA-	4	0,099%
	A1	A+	5	0,124%
	A2	A	6	0,154%
	A3	A-	7	0,262%
	Baa1	BBB+	8	0,444%
	Baa2	BBB	9	0,754%
	Baa3	BBB-	10	0,784%
	Ba1	BB+	11	0,814%
	Ba2	BB	12	0,846%
	Ba3	BB-	13	1,256%
	B1	B+	14	1,864%
	B2	B	15	2,767%
	B3	B-	16	4,106%
	Caa1	CCC+	17	6,094%
	Caa2	CCC	18	9,044%
	Caa3	CCC-	19	13,421%
	Ca	CC	20	19,919%
Défaut	D	D	21	29,561%

[23] Direction Principale, Quantification des Risques de Crédit, Document Méthodologique – Probabilité de défaut – IF – v.1.15, p.73 tableau 23

B Transformation des intrants bruts en scores[24]

Pour le modèle PD IF, les intrants bruts quantitatifs estimés sont transformés en scores pour obtenir l'extrant du modèle. Chaque variable explicative se voit attribuer une valeur entre 0 et 10 qui tient compte de sa distribution. Le principe de la transformation en ratio score est d'estimer les paramètres d'une loi logistique sur la fonction de répartition empirique des intrants bruts.

Plusieurs avantages ressortent de l'utilisation de cette méthode. En premier lieu, les valeurs extrêmes et aberrantes ont moins de poids sur l'extrant du modèle. Aussi, puisque tous les intrants opèrent sur le même intervalle [0,10], l'importance de chaque intrant sur la PD devient beaucoup plus facile à interpréter. Enfin, puisque l'intrant brut « Intérêts sur les prêts consentis / Prêts bruts » (INT_INC_LNS_GRS_LNS) est le seul qui évolue de façon inverse par rapport au risque de défaut, la transformation permet d'inverser le sens de celui-ci de façon à ce que la compréhension de l'ensemble du modèle soit plus intuitive.

Équation 5: Fonction de répartition de la loi logistique

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{x-\mu}{s}}}$$

où $E[\bar{x}] = \mu$ et $E[s^2] = \sigma^2$

Nous recherchons les 2 estimateurs qui minimisent la distance entre la distribution empirique de l'intrant brut et la distribution de la loi logistique.

[24] Direction Principale, Quantification des Risques de Crédit, Document Méthodologique – Probabilité de défaut – IF – v.1.15, p.59-61

Équation 6: Transformation de l'intrant brut en score

$$F_n = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} 1\{x_i \leq t\} = \frac{1}{e^{slope(Midpoint-x)}}$$

Une fois les paramètres « *slope* » et « *midpoint* » trouvés pour chacun des intrants bruts, nous pouvons transformer ceux-ci en scores ayant une valeur entre 0 et 10. Nous devons toutefois tenir compte du sens de la relation avec le risque de défaut pour ajuster l'équation.

Équation 7: Transformation de l'intrant brut en score, lorsque celui-ci a une relation positive avec le risque de défaut

$$T_Intrant = 10 * \frac{1}{1 + e^{slope(Midpoint-Intrant)}}$$

Équation 8: Transformation de l'intrant brut en score, lorsque celui-ci a une relation négative avec le risque de défaut

$$T_Intrant = 10 * \frac{1}{1 + e^{(-1*slope(Midpoint-Intrant))}}$$

Le tableau qui suit présente les valeurs des paramètres qui ont été utilisés pour les transformations des intrants bruts en scores dans l'analyse de sensibilité. Les détails de ces paramètres sont contenus dans le document du développement du modèle[25].

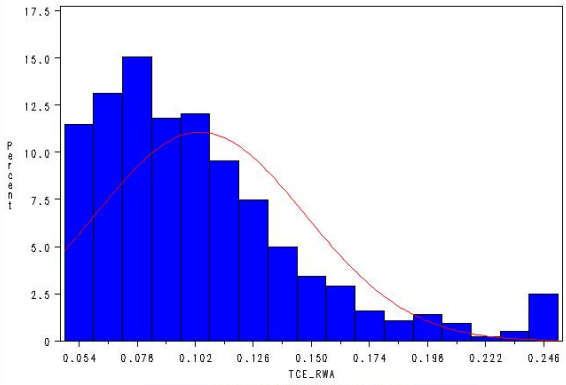
[25] Direction Principale, Quantification des Risques de Crédit, Document Méthodologique – Probabilité de défaut – IF – v.1.15, p.136-137 tableau 63

Tableau 45: Valeurs utilisées pour la transformation des intrants bruts en scores

Intrant brut	Sens de la relation avec le risque de défaut	Slope	Midpoint
TCE_RWA	+	35,94073	0,110341
IQ_NII_3YR_GRTH	+	0,139824	7,785859
LOG_ACTIF	+	0,951043	11,15227
INT_INC_LNS_GRS_LNS	-	53,71251	0,065149
IQ_RETURN_ASSETS	+	2,187654	0,778841
IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS	+	0,032289	88,7336

C Distribution des intrants quantitatifs bruts et tests de normalité

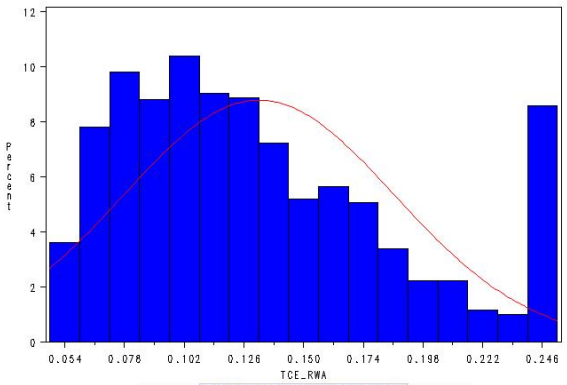
Distribution des intrants pour les banques G10=1



Parameters for Normal Distribution		
Paramètre	Symbole	Valeur estimée
Mean	Mu	0.104012
Std Dev	Sigma	0.04328

Goodness-of-Fit Tests for Normal Distribution				
Test	Statistique		p-Value	
Kolmogorov-Smirnov	D	0.1326792	Pr > D	<0.010
Cramer-von Mises	W-Sq	5.5121728	Pr > W-Sq	<0.005
Anderson-Darling	A-Sq	36.6972951	Pr > A-Sq	<0.005

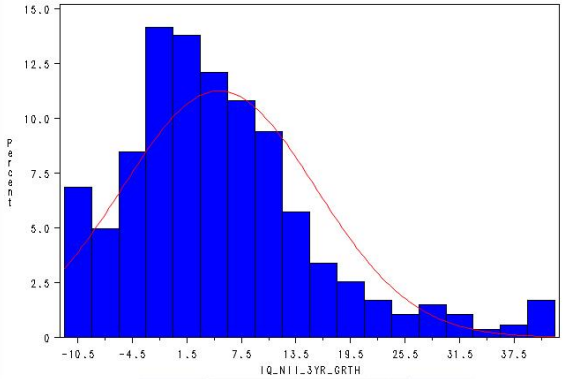
Distribution des intrants pour les banques G10=0



Parameters for Normal Distribution		
Paramètre	Symbole	Valeur estimée
Mean	Mu	0.132079
Std Dev	Sigma	0.054542

Goodness-of-Fit Tests for Normal Distribution				
Test	Statistique		p-Value	
Kolmogorov-Smirnov	D	0.0868483	Pr > D	<0.010
Cramer-von Mises	W-Sq	3.9777245	Pr > W-Sq	<0.005
Anderson-Darling	A-Sq	28.7199170	Pr > A-Sq	<0.005

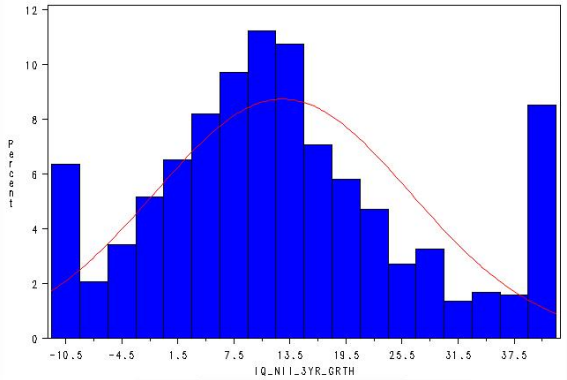
Distribution des intrants pour les banques G10=1



Parameters for Normal Distribution		
Paramètre	Symbole	Valeur estimée
Mean	Mu	5.037722
Std Dev	Sigma	10.63818

Goodness-of-Fit Tests for Normal Distribution				
Test	Statistique		p-Value	
Kolmogorov-Smirnov	D	0.0746252	Pr > D	<0.010
Cramer-von Mises	W-Sq	2.2076728	Pr > W-Sq	<0.005
Anderson-Darling	A-Sq	14.8129876	Pr > A-Sq	<0.005

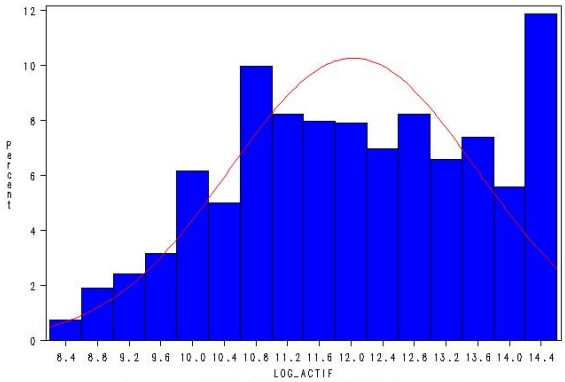
Distribution des intrants pour les banques G10=0



Parameters for Normal Distribution		
Paramètre	Symbole	Valeur estimée
Mean	Mu	12.70659
Std Dev	Sigma	13.71758

Goodness-of-Fit Tests for Normal Distribution				
Test	Statistique		p-Value	
Kolmogorov-Smirnov	D	0.0697620	Pr > D	<0.010
Cramer-von Mises	W-Sq	1.4884642	Pr > W-Sq	<0.005
Anderson-Darling	A-Sq	11.8340143	Pr > A-Sq	<0.005

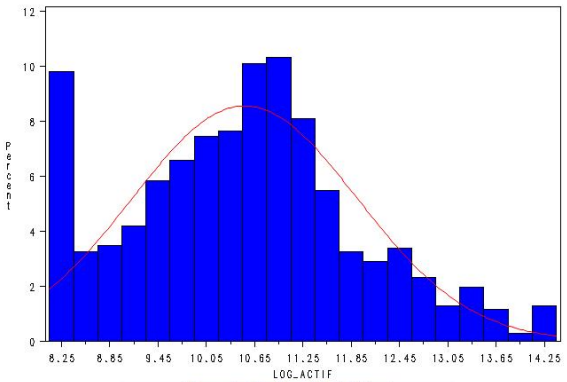
Distribution des intrants pour les banques G10=1



Parameters for Normal Distribution		
Paramètre	Symbole	Valeur estimée
Mean	Mu	12.02883
Std Dev	Sigma	1.555052

Goodness-of-Fit Tests for Normal Distribution				
Test	Statistique		p-Value	
Kolmogorov-Smirnov	D	0.0746174	Pr > D	<0.010
Cramer-von Mises	W-Sq	1.4490237	Pr > W-Sq	<0.005
Anderson-Darling	A-Sq	11.4235527	Pr > A-Sq	<0.005

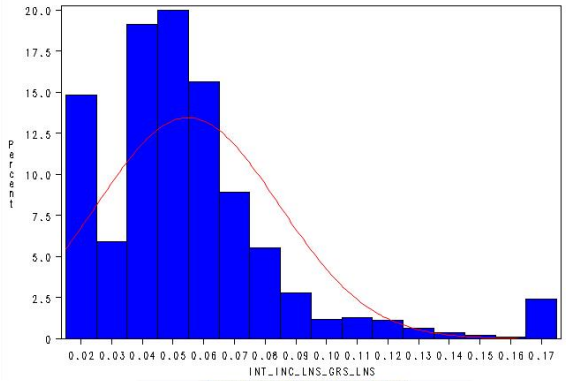
Distribution des intrants pour les banques G10=0



Parameters for Normal Distribution		
Paramètre	Symbole	Valeur estimée
Mean	Mu	10.52696
Std Dev	Sigma	1.399673

Goodness-of-Fit Tests for Normal Distribution				
Test	Statistique		p-Value	
Kolmogorov-Smirnov	D	0.05818801	Pr > D	<0.010
Cramer-von Mises	W-Sq	0.55358781	Pr > W-Sq	<0.005
Anderson-Darling	A-Sq	6.35492357	Pr > A-Sq	<0.005

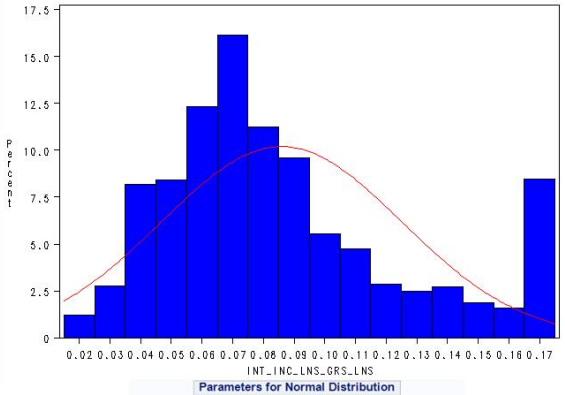
Distribution des intrants pour les banques G10=1



Parameters for Normal Distribution		
Paramètre	Symbole	Valeur estimée
Mean	Mu	0.05486
Std Dev	Sigma	0.029672

Goodness-of-Fit Tests for Normal Distribution				
Test	Statistique		p-Value	
Kolmogorov-Smirnov	D	0.1310541	Pr > D	<0.010
Cramer-von Mises	W-Sq	5.6450185	Pr > W-Sq	<0.005
Anderson-Darling	A-Sq	36.5951922	Pr > A-Sq	<0.005

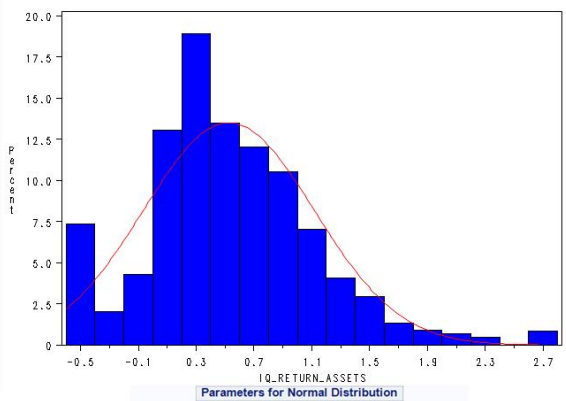
Distribution des intrants pour les banques G10=0



Parameters for Normal Distribution		
Paramètre	Symbole	Valeur estimée
Mean	Mu	0.085929
Std Dev	Sigma	0.039157

Goodness-of-Fit Tests for Normal Distribution				
Test	Statistique		p-Value	
Kolmogorov-Smirnov	D	0.1212023	Pr > D	<0.010
Cramer-von Mises	W-Sq	5.9813677	Pr > W-Sq	<0.005
Anderson-Darling	A-Sq	37.6641846	Pr > A-Sq	<0.005

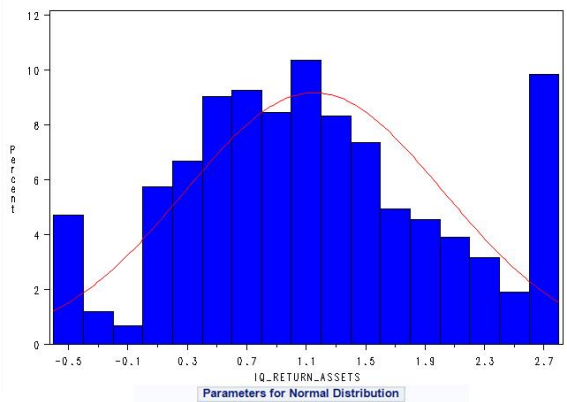
Distribution des intrants pour les banques G10=1



Parameters for Normal Distribution		
Paramètre	Symbole	Valeur estimée
Mean	Mu	0.525886
Std Dev	Sigma	0.590549

Goodness-of-Fit Tests for Normal Distribution				
Test	Statistique		p-Value	
Kolmogorov-Smirnov	D	0.05617083	Pr > D	<0.010
Cramer-von Mises	W-Sq	1.27114595	Pr > W-Sq	<0.005
Anderson-Darling	A-Sq	8.01001860	Pr > A-Sq	<0.005

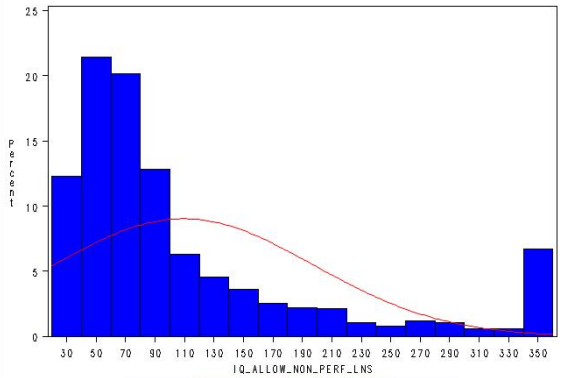
Distribution des intrants pour les banques G10=0



Parameters for Normal Distribution		
Paramètre	Symbole	Valeur estimée
Mean	Mu	1.153166
Std Dev	Sigma	0.870805

Goodness-of-Fit Tests for Normal Distribution				
Test	Statistique		p-Value	
Kolmogorov-Smirnov	D	0.05447211	Pr > D	<0.010
Cramer-von Mises	W-Sq	0.95834666	Pr > W-Sq	<0.005
Anderson-Darling	A-Sq	8.67261647	Pr > A-Sq	<0.005

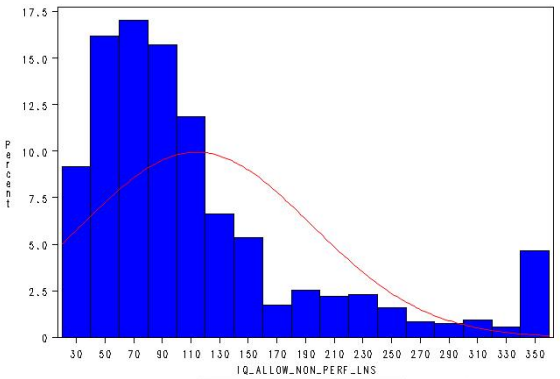
Distribution des intrants pour les banques G10=1



Parameters for Normal Distribution		
Paramètre	Symbole	Valeur estimée
Mean	Mu	109.2876
Std Dev	Sigma	88.35626

Goodness-of-Fit Tests for Normal Distribution				
Test	Statistique		p-Value	
Kolmogorov-Smirnov	D	0.2136874	Pr > D	<0.010
Cramer-von Mises	W-Sq	15.4936918	Pr > W-Sq	<0.005
Anderson-Darling	A-Sq	89.0133632	Pr > A-Sq	<0.005

Distribution des intrants pour les banques G10=0



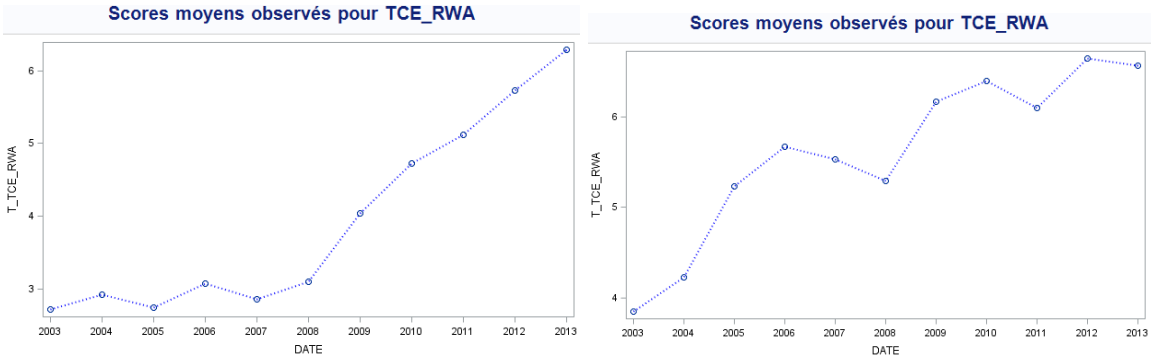
Parameters for Normal Distribution		
Paramètre	Symbole	Valeur estimée
Mean	Mu	113.9009
Std Dev	Sigma	80.26042

Goodness-of-Fit Tests for Normal Distribution				
Test	Statistique		p-Value	
Kolmogorov-Smirnov	D	0.1716956	Pr > D	<0.010
Cramer-von Mises	W-Sq	13.3888160	Pr > W-Sq	<0.005
Anderson-Darling	A-Sq	78.6124417	Pr > A-Sq	<0.005

D Variation temporelle des scores moyens des intrants du modèle

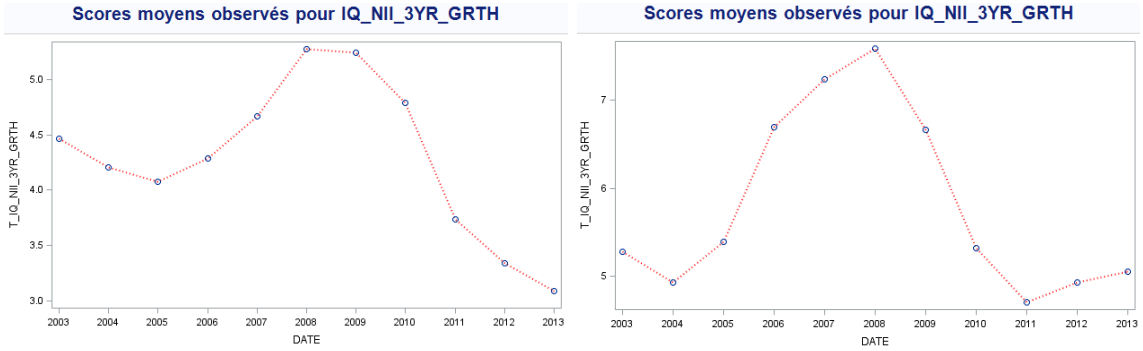
i) Évolution temporelle pour le ratio Capitaux propres tangibles / Actifs pondérés par le risque (TCE_RWA)

G10=1 G10=0



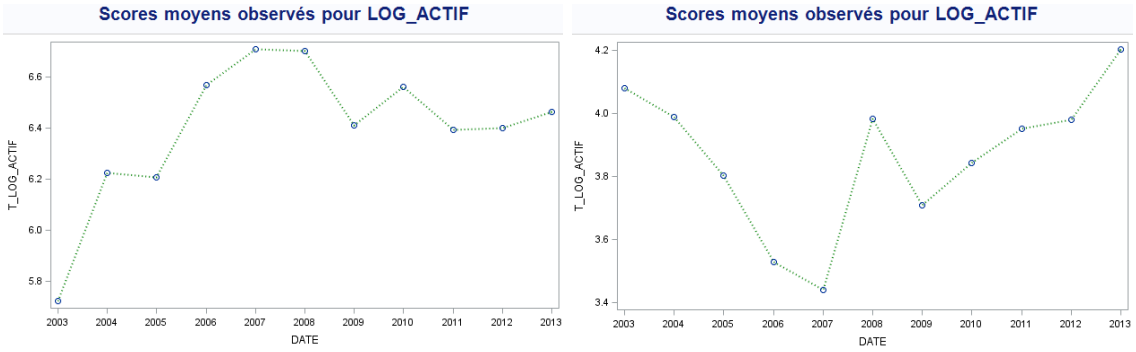
ii) Évolution temporelle pour la Croissance sur 3 ans du revenu net d'intérêt (IQ_NII_3YR_GRTH)

G10=1 G10=0



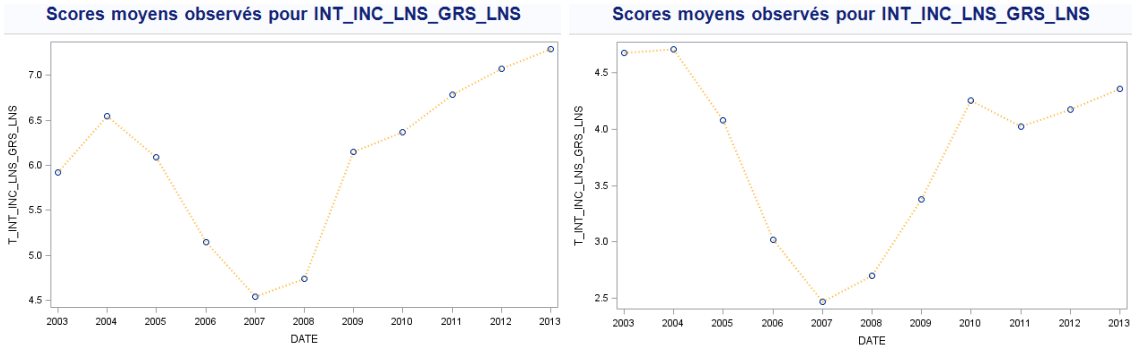
iii) Évolution temporelle pour le ln(Actif total) (LOG_ACTIF)

G10=1 G10=0



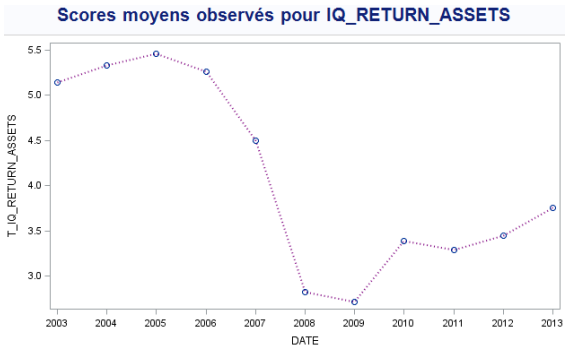
iv) Évolution temporelle du ratio Intérêts sur les prêts consentis / Prêts bruts (INT_INC_LNS_GRS_LNS)

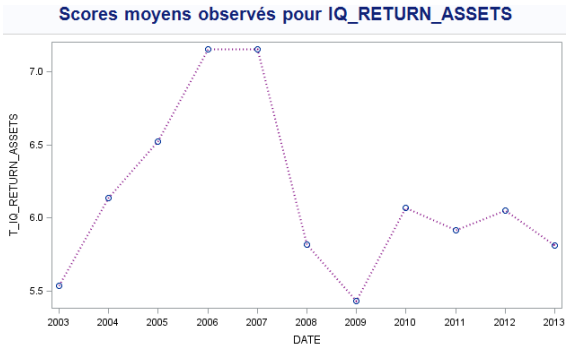
G10=1 G10=0



v) Évolution temporelle du Rendement sur les actifs (IQ_RETURN_ASSETS)

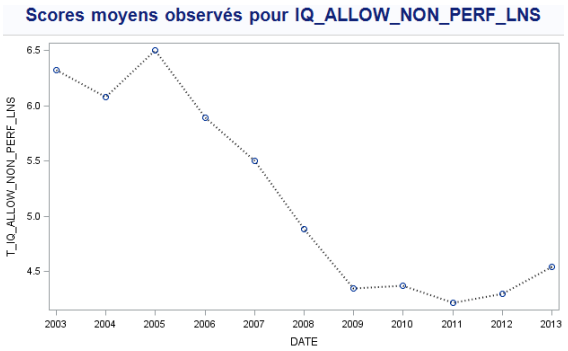
G10=1 G10=0

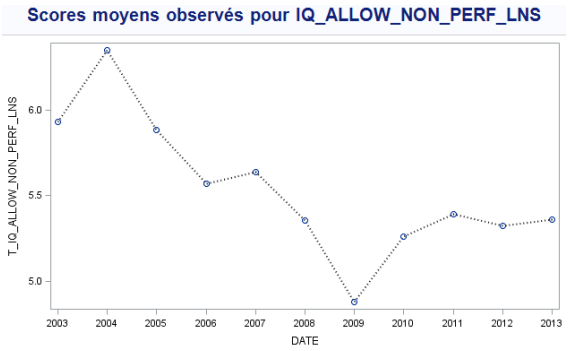




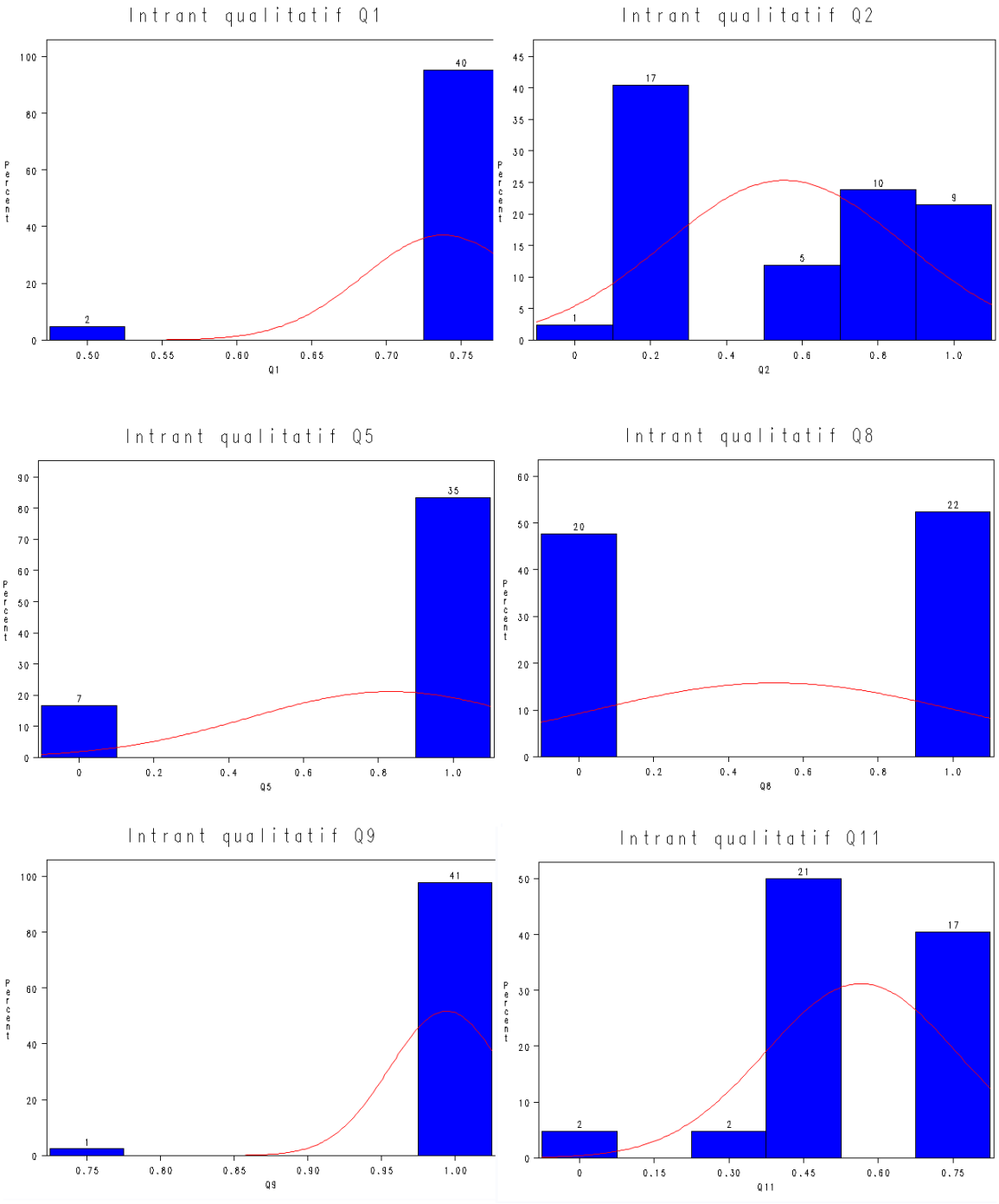
vi) <u>Évolution temporelle du ratio Provisions pour pertes sur prêts / Prêts douteux (IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS)</u>

G10=1 G10=0





E Distribution des intrants qualitatifs non corrélés au contexte macroéconomique



F Transformation des intrants bruts en intrants 01_Beta[26]

i) Sélection des intrants bruts à transformer

Tous les intrants bruts quantitatifs ont été sélectionnés pour les transformations, on tente d'améliorer la qualité des régressions linéaires.

ii) Standardisation de l'intrant sur l'échelle [0,1]

La standardisation se fait sur l'intervalle [0,1]. Par conséquent, la partie droite de l'équation est superflue et ne change pas le ratio de la partie gauche (max=1 & min=0). L'intrant brut se transforme ainsi en intrant_01.

Équation 9: Standardisation d'un intrant brut sur l'intervalle [0,1]

$$Intrant_{01} = \frac{Intrant_{brut} - \min(Intrant_{brut})}{\max(Intrant_{brut}) - \min(Intrant_{brut})}(max - \ min) + min$$

iii) Calcul de la moyenne et de la variance échantillonnale de l'intrant_01

Nous pouvons ensuite calculer la moyenne et la variance échantillonnale de la distribution empirique de l'intrant_01.

Équation 10: Calcul de la moyenne et de la variance échantillonnale

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$$

[26] Direction Principale, Quantification des Risques de Crédit, Analyse de sensibilité - Modèle de Notation Interne PD-GE v1.02, septembre 2016, p.71-72

$$s^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2$$

iv) Estimation des paramètres α et β de la loi Beta à l'aide de la moyenne et de la variance échantillonnale

L'estimation des paramètres de la loi Beta α et β se fait à l'aide des équations suivantes où nous utilisons la moyenne et la variance échantillonnale comme estimateurs de la véritable moyenne et variance :

Équation 11: Estimation des paramètres de la loi Beta

$$\alpha = [\mu^2 \frac{1-\mu}{\sigma^2}]$$

$$\beta = \alpha\left(\frac{1}{\mu} - 1\right)$$

où $E[\bar{x}] = \mu$ et $E[s^2] = \sigma^2$

v) Transformation de l'intrant avec la fonction cumulative Beta selon les paramètres α et β estimés

À partir des paramètres estimés, nous pouvons transformer notre intrant_01 sur la fonction de répartition Beta estimée qui se trouve sur le même intervalle [0,1].

Équation 12: Fonction de densité de la loi Beta

$$f(x;\alpha,\beta) = \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)+\Gamma(\beta)}\, x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}$$

où $\Gamma(z) = \int_0^\infty x^{z-1}e^{-x}dx$

Équation 13: Fonction de répartition de la loi Beta

$$F(x|a,b) = \frac{1}{B(a,b)} \int_0^x t^{a-1}(1-t)^{b-1} dt$$

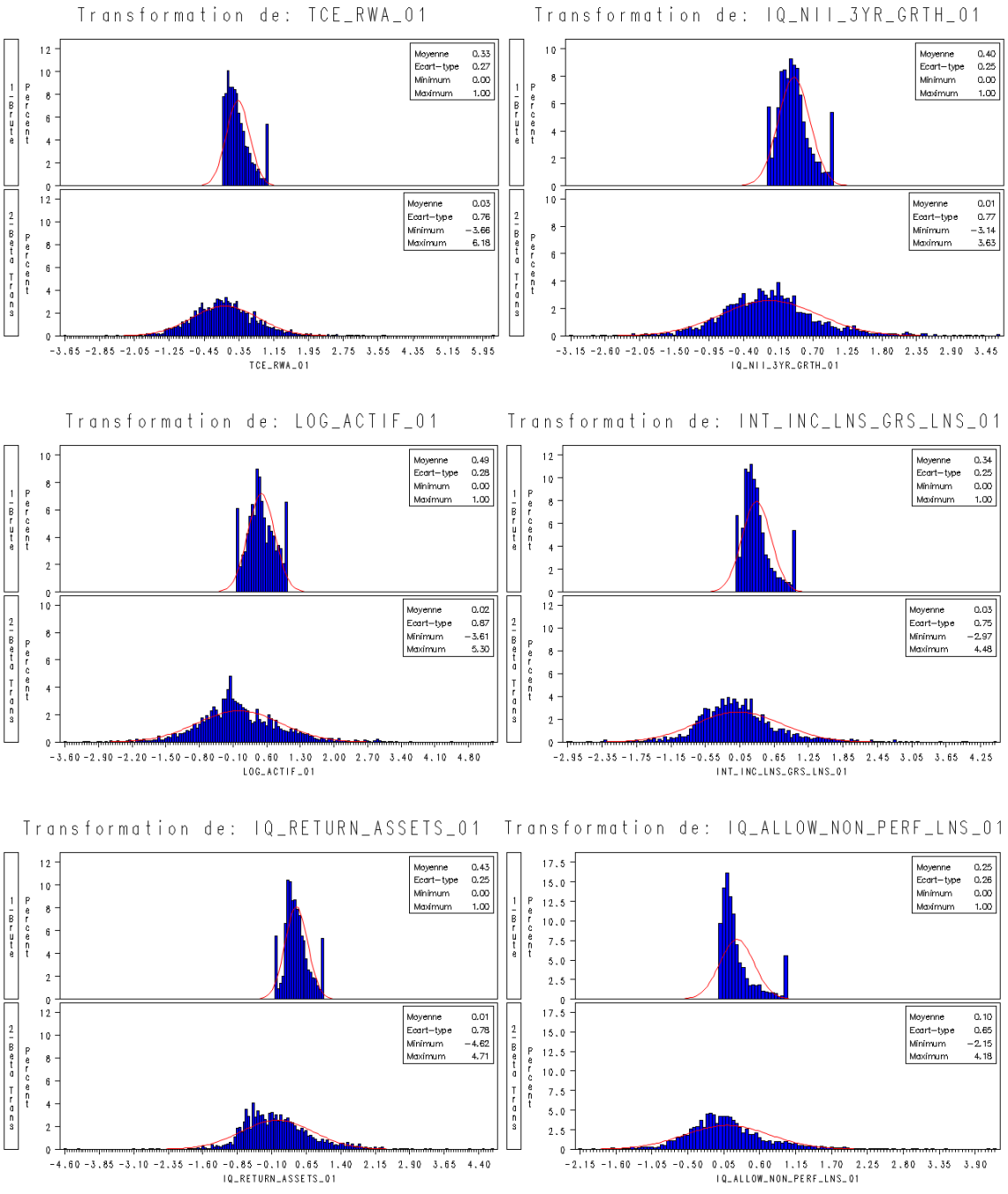
vi) Transformation inverse avec la fonction cumulative de la loi normale centrée réduite, on obtient l'intrant_01_Beta

Finalement, à l'aide de l'inverse de la fonction cumulative normale, nous pouvons calculer le nouvel intrant transformé intrant_01_Beta.

Équation 14: Fonction de répartition de la loi Normale centrée réduite

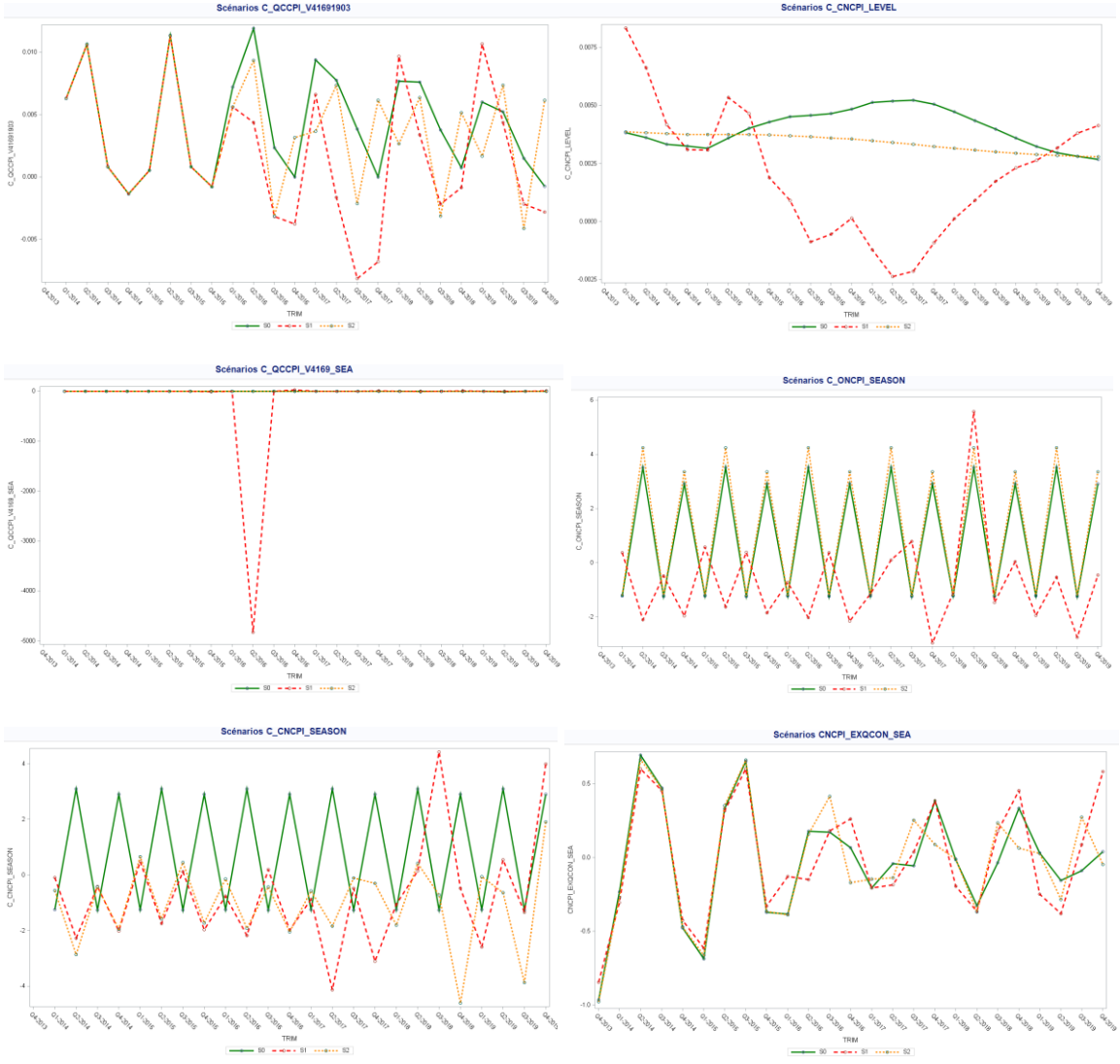
$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{1}{2}t^2}\, dt$$

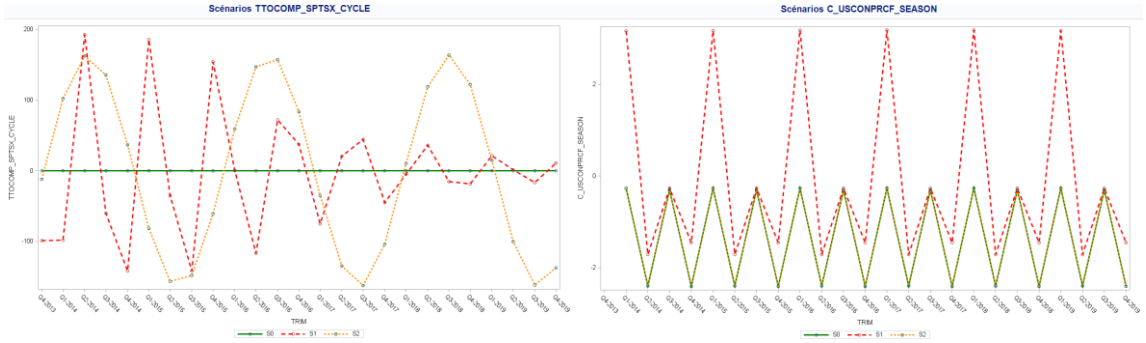
G Distribution des intrants quantitatifs transformés avec la loi Beta



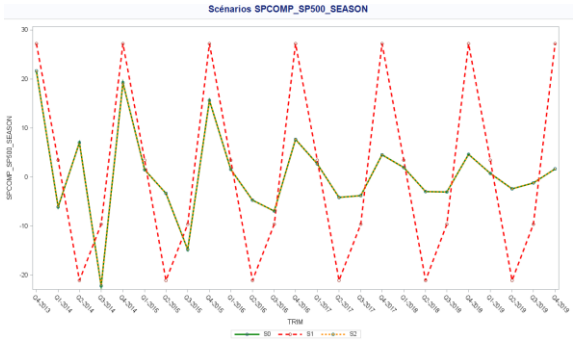
H Évolution temporelle des variables macroéconomiques simulées problématiques pour la modélisation

Les figures ci-dessous présentent les différents scénarios des variables macroéconomiques problématiques. La ligne verte connecte les valeurs du scénario de base (S0), la ligne jaune pointillée connecte les valeurs du scénario de faible potentiel de croissance au Québec (S2) et la ligne rouge pointillée connecte les valeurs du scénario de taux d'intérêt négatifs (S1).




Scénarios TTOCOMP_SPTSX_CYCLE
TTOCOMP_SPTSX_CYCLE
TRIM
S0
S1
S2

Scénarios C_USCONPRCF_SEASON
C_USCONPRCF_SEASON
TRIM
S0
S1
S2


Scénarios SPCOMP_SP500_SEASON
SPCOMP_SP500_SEASON
TRIM
S0
S1
S2

I Écarts relatifs entre les valeurs estimées par les modèles des intrants et les valeurs observées

Tableau 46: Écarts relatifs entre les valeurs estimées et les valeurs observées pour les intrants des banques du G10 dans l'échantillon de validation

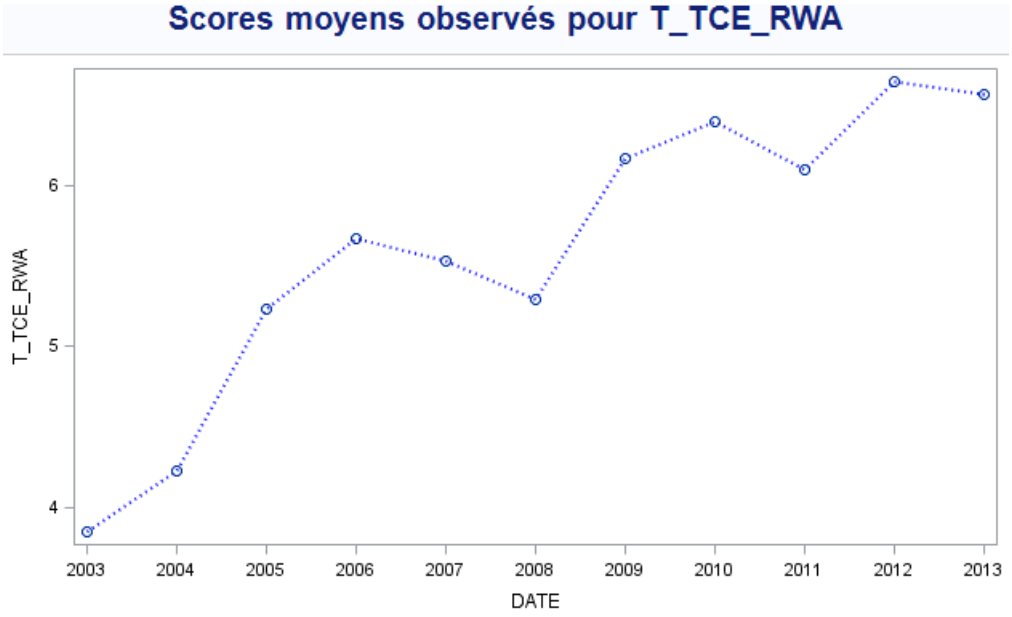
	TCE_RWA	IQ_NII_3YR_GRTH	LOG_ACTIF	ININC_LNS_GRS_LNS	IQ_RETURN_ASSETS	IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS
TOTAL	-7,40%	-7,71%	0,26%	1,44%	-5,99%	12,08%
2003	-12,39%	-66,34%	1,98%	12,55%	43,20%	90,60%
2004	-10,42%	-82,38%	-2,27%	-14,74%	-28,56%	36,18%
2005	-7,71%	-40,73%	-4,39%	35,25%	0,41%	16,91%
2006	-14,26%	-19,62%	1,70%	30,49%	-8,44%	-5,79%
2007	-12,83%	98,32%	2,06%	-28,57%	-21,17%	28,29%
2008	-8,96%	106,31%	-1,98%	-13,77%	168,05%	24,47%
2009	-2,14%	-26,79%	-1,43%	7,57%	-28,59%	-23,02%
2010	4,17%	26,20%	2,12%	15,01%	-13,57%	-10,26%
2011	-11,06%	-359,45%	0,94%	2,35%	1,08%	9,34%
2012	-3,94%	-94,68%	2,23%	-5,48%	-12,88%	13,95%
2013	-9,32%	-162,75%	-0,39%	4,91%	-2,66%	8,43%

Tableau 47: Écarts relatifs entre les valeurs estimées et les valeurs observées pour les intrants des banques hors du G10 dans l'échantillon de validation

	TCE_RWA	IQ_NII_3YR_GRTH	LOG_ACTIF	ININC_LNS_GRS_LNS	IQ_RETURN_ASSETS	IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS
TOTAL	-8,04%	-3,20%	0,71%	-9,05%	-7,27%	-7,04%
2003	5,70%	-19,41%	-0,49%	-7,97%	-5,51%	-38,95%
2004	-19,11%	781,05%	1,61%	-19,98%	6,74%	-15,48%
2005	-17,27%	-1,65%	3,23%	-14,78%	4,93%	30,72%
2006	-20,51%	-6,96%	1,98%	-2,53%	-19,37%	8,86%
2007	8,14%	6,25%	-0,90%	-0,77%	0,21%	2,04%
2008	-13,16%	-10,76%	5,06%	-16,76%	-27,12%	5,80%
2009	-11,88%	-5,21%	3,18%	-7,86%	-7,50%	-13,18%
2010	1,26%	-21,02%	-1,01%	-11,07%	31,01%	2,06%
2011	-8,10%	122,84%	-1,86%	-14,22%	-0,95%	-17,95%
2012	-5,82%	-28,50%	0,52%	-1,35%	-18,19%	-16,36%
2013	-6,93%	-3,31%	-1,16%	-9,21%	-12,20%	-12,70%

J Prévisions des scores moyens des intrants pour les banques hors du G10

Figure 17: Prévisions moyennes du score de l'intrant Capitaux propres tangibles / Actifs pondérés par le risque (T_TCE_RWA) pour les différents scénarios des banques hors du G10



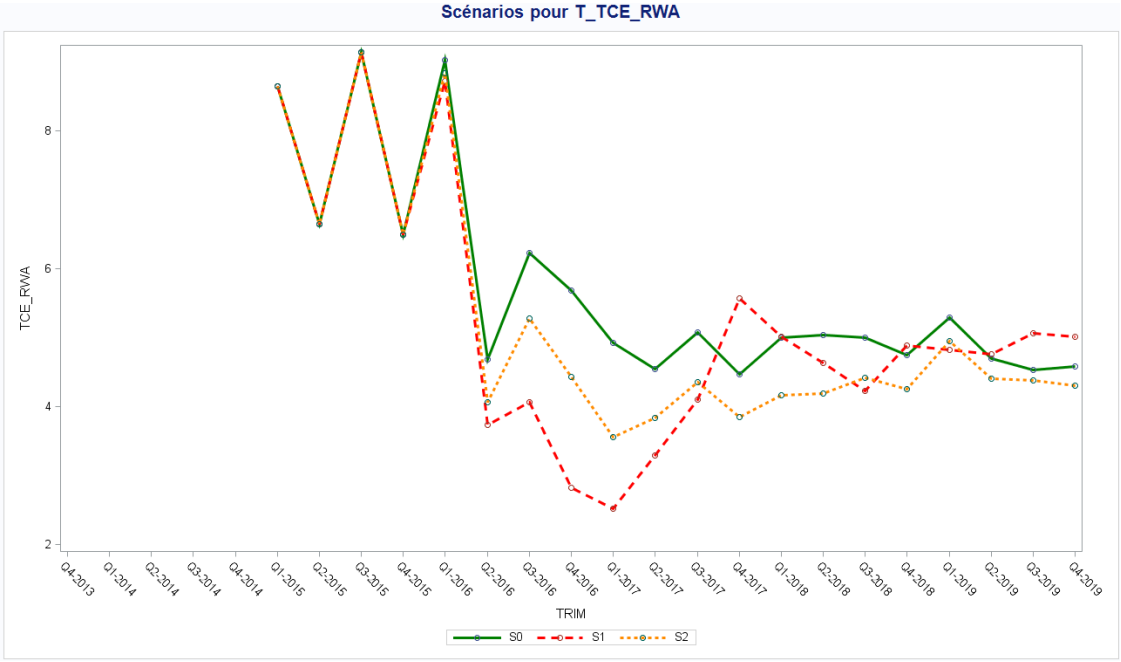
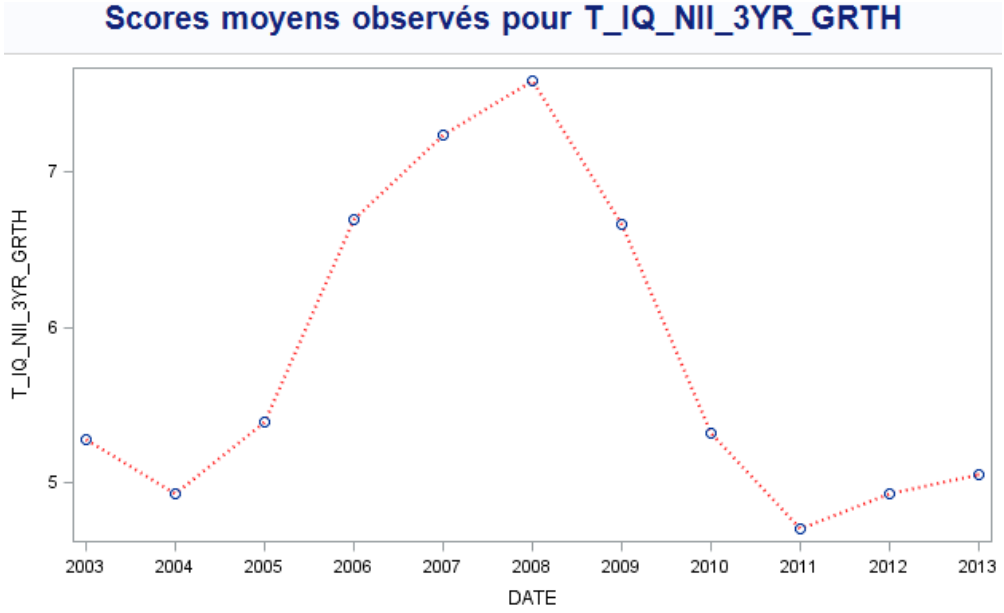


Figure 18: Prévisions moyennes du score de l'intrant Croissance sur 3 ans du revenu net d'intérêt (T_IQ_NII_3YR_GRTH) pour les différents scénarios des banques hors du G10



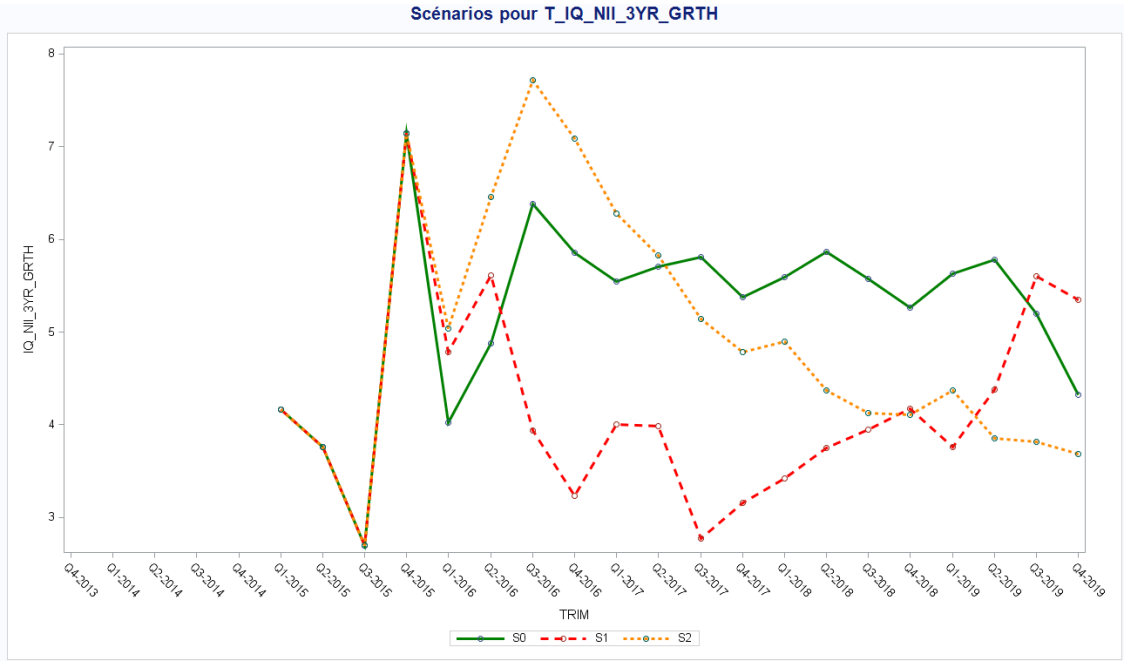
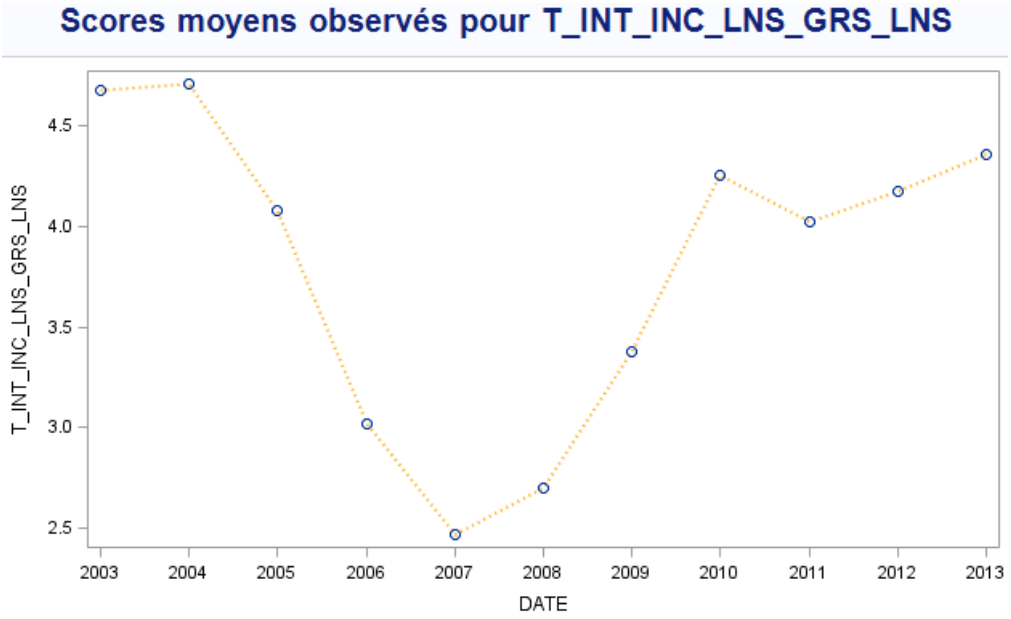


Figure 19: Prévisions moyennes du score de l'intrant ln(Actif total) (T_LOG_ACTIF) pour les différents scénarios des banques hors du G10

Figure 20: Prévisions moyennes du score de l'intrant Intérêts sur les prêts consentis / Prêts bruts (T_INT_INC_LNS_GRS_LNS) pour les différents scénarios des banques hors du G10



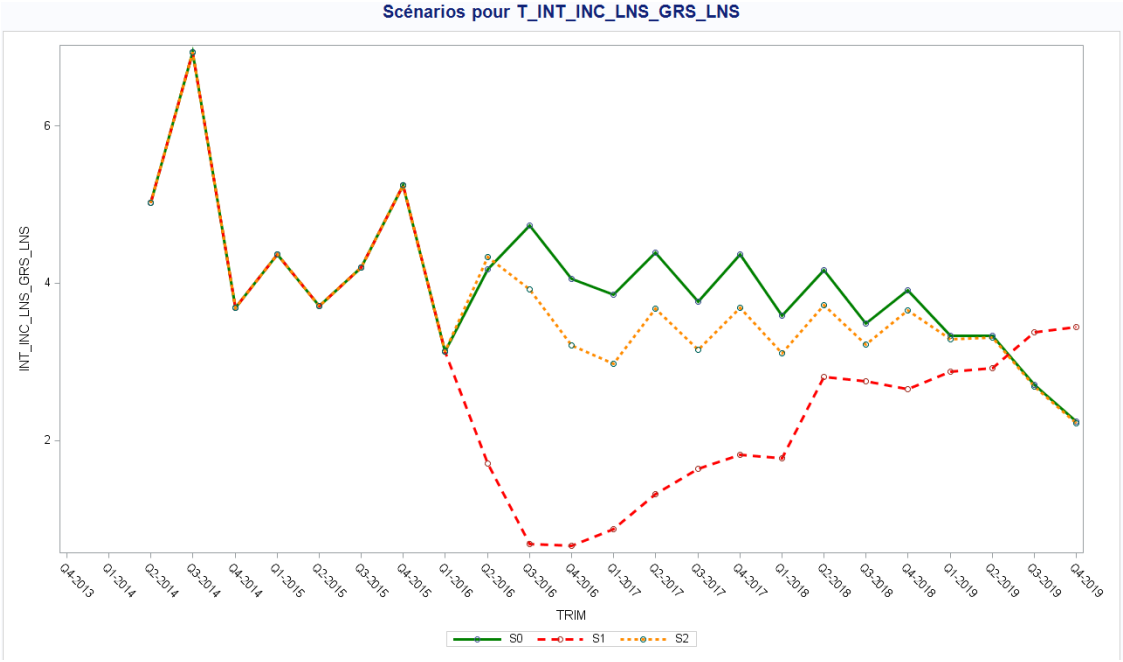


Figure 21: Prévisions moyennes du score de l'intrant Rendement sur les actifs (T_IQ_RETURN_ASSETS) pour les différents scénarios des banques hors du G10

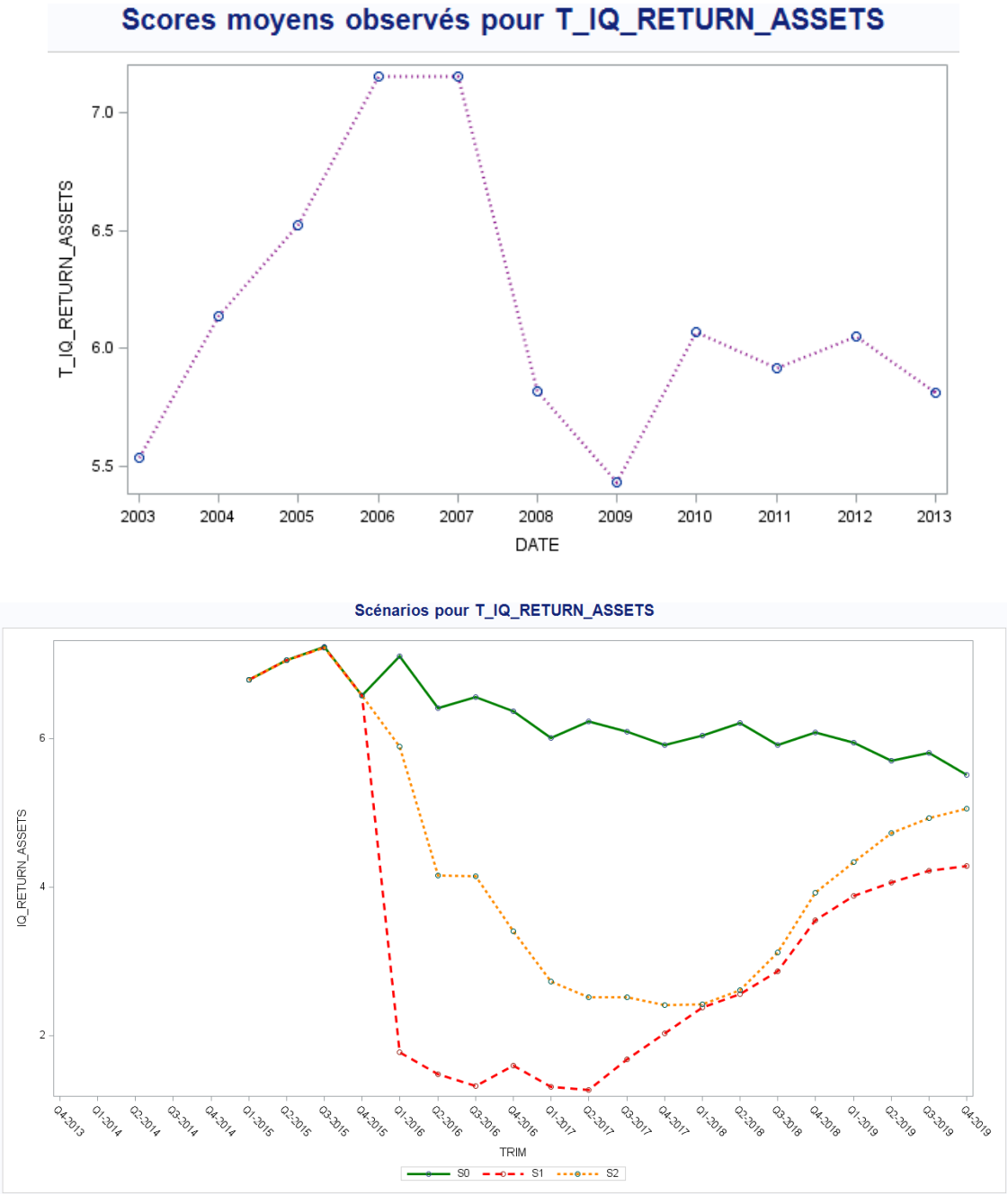
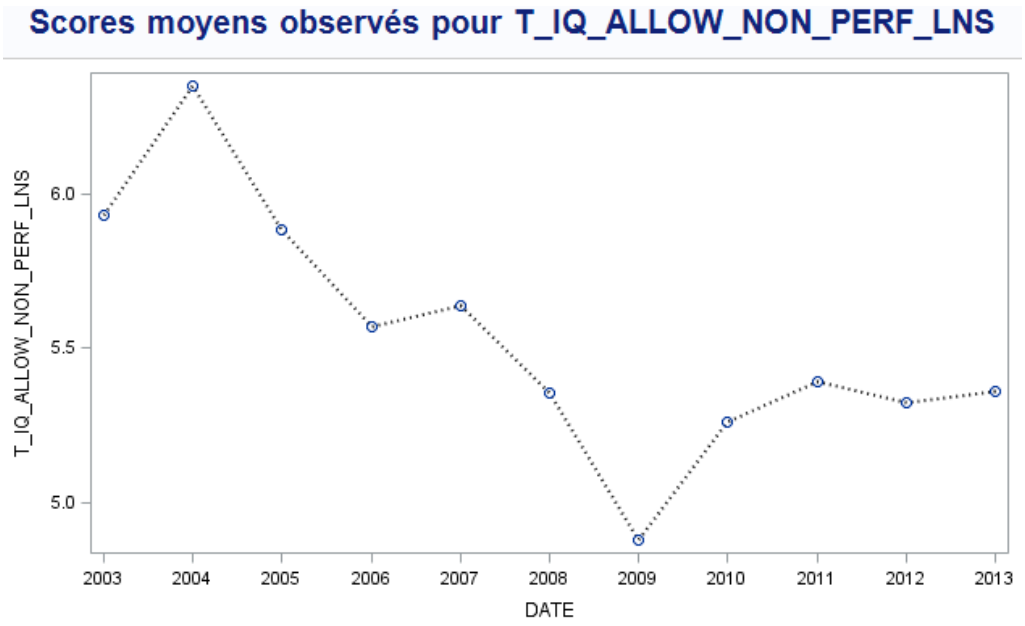


Figure 22: Prévisions moyennes du score de l'intrant Provisions pour pertes sur prêts / Prêts douteux (T_IQ_ALLOW_NON_PERF_LNS) pour les différents scénarios des banques du G10



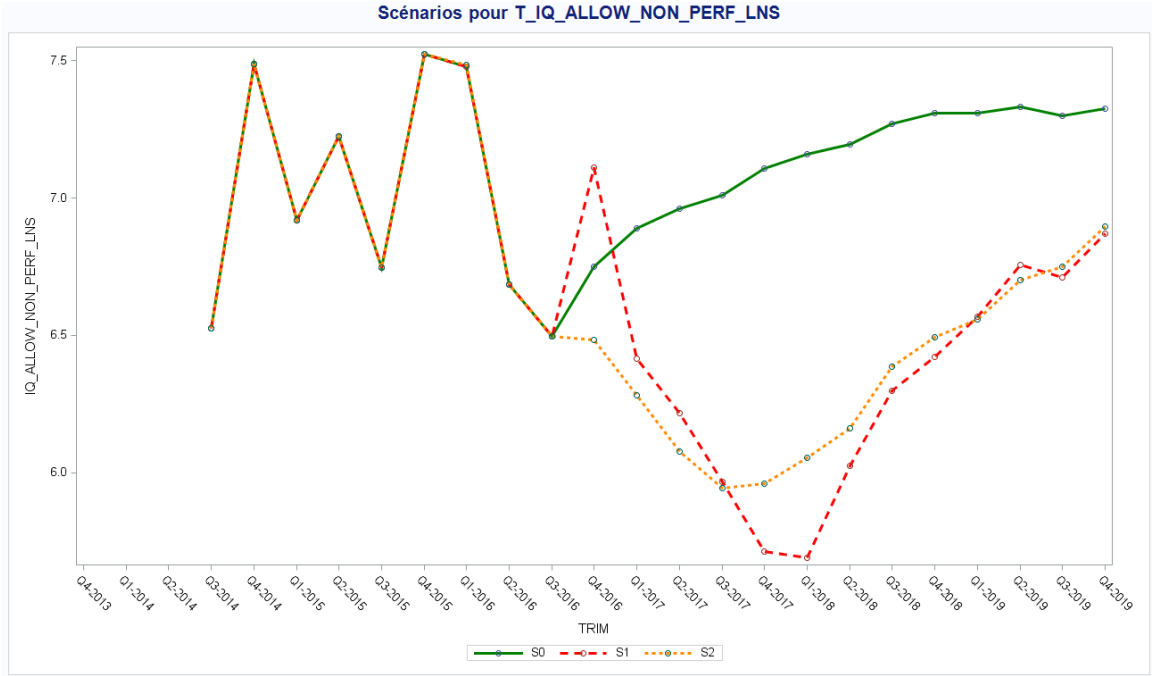
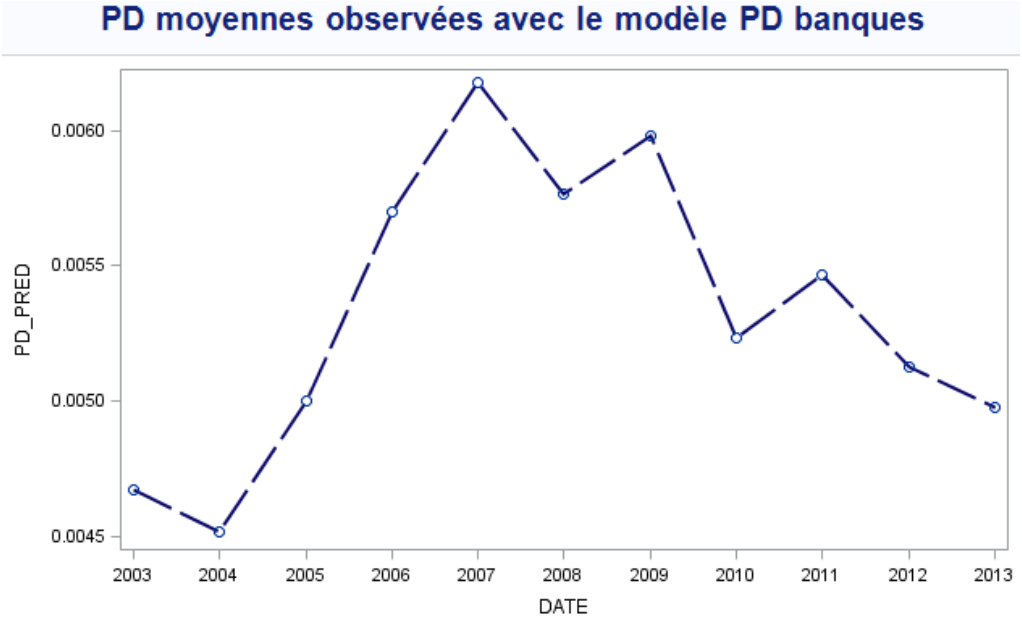
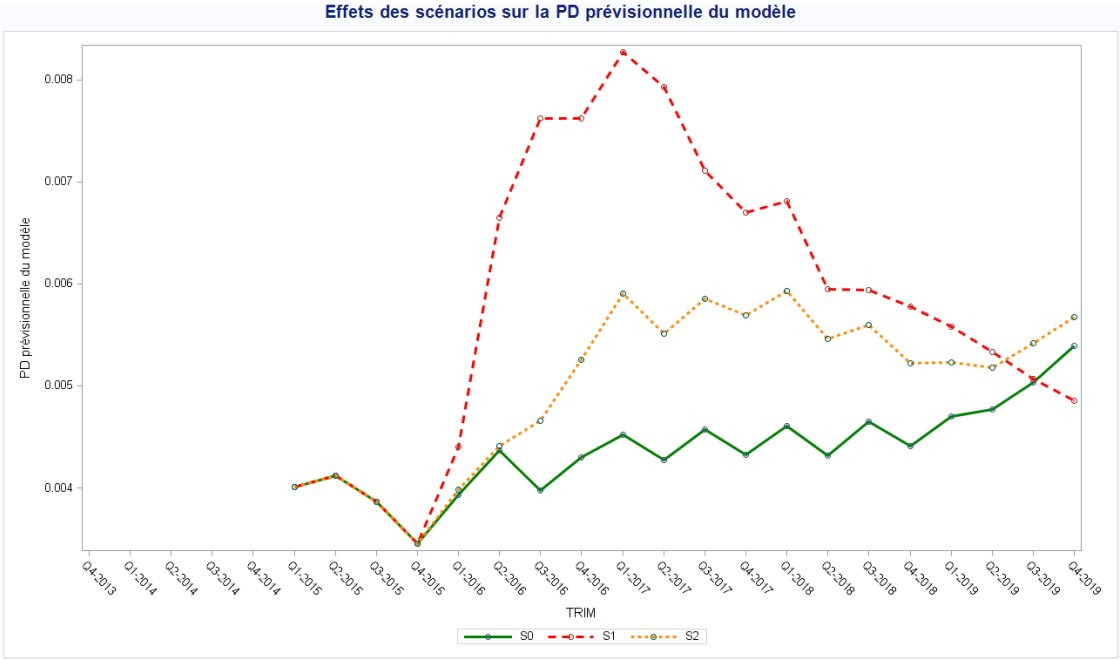


Figure 23: Prévisions des probabilités de défaut moyennes pour tous les scénarios des banques hors du G10





K Statistique ISP et résultats pour les deux groupes distincts[27]

		Période	Statistique ISP	Interprétation
G10=1	**S0/S1**	2014 - 2019	0.1136	SIGNIFICATIF
	S0/S2	2014 - 2019	0.0733	NON-SIGNIFICATIF
	S0/S1	2015	0.0042	NON-SIGNIFICATIF
	S0/S2	2015	0.0037	NON-SIGNIFICATIF
	S0/S1	2016	0.9989	TRÈS SIGNIFICATIF
	S0/S2	2016	0.4515	TRÈS SIGNIFICATIF
	S0/S1	2017	0.2102	SIGNIFICATIF
	S0/S2	2017	0.2419	SIGNIFICATIF
G10=0	**S0/S1**	2014 - 2019	0.0594	NON-SIGNIFICATIF
	S0/S2	2014 - 2019	0.0158	NON-SIGNIFICATIF
	S0/S1	2015	0.0005	NON-SIGNIFICATIF
	S0/S2	2015	0.0004	NON-SIGNIFICATIF
	S0/S1	2016	0.2618	TRÈS SIGNIFICATIF
	S0/S2	2016	0.0158	NON-SIGNIFICATIF
	S0/S1	2017	0.4085	TRÈS SIGNIFICATIF
	S0/S2	2017	0.1019	SIGNIFICATIF

[27] Direction Principale, Quantification des Risques de Crédit, Analyse de sensibilité - Modèle de Notation Interne PD-GE v1.02, septembre 2016, p.79-80

L Dictionnaire des abréviations des variables macroéconomiques[28]

Nom des variables macroéconomiques	Description
C_C29010Y_CNBCH10	Croissance; Écart taux d'intérêt 10 ans Québec moins Canada
C_C290110Y_CNBCH10_L3	Croissance; Écart taux d'intérêt 10 ans Québec moins Canada; Retard de 3 trimestres
C_CNCPI_EXQCON	Croissance; Canada; Indice des prix à la consommation excluant Québec et Ontario
C_CNCPI_EXQCON_L1	Croissance; Canada; Indice des prix à la consommation excluant Québec et Ontario; Retard de 1 trimestre
C_CNGDP_YoY_LAG2	Croissance; Canada; Taux trimestriel du PIB réel; Annualisé; Retard de 2 trimestres
C_CNGDP_YoY_LAG3	Croissance; Canada; Taux trimestriel du PIB réel; Annualisé; Retard de 3 trimestres
C_CNUS_V37426_LAG2	Croissance; Taux de change CAD/USD; Retard de 2 trimestres
C_CQASCMCUNI_GOVE_L2	Croissance; Rendement des obligations du gouvernement fédéral du Canada - Moyenne trimestrielle; Retard de 2 trimestres
C_ONCPI_LAG1	Croissance; Ontario; Indice des prix à la consommation; Retard de 1 trimestre
C_ONUN_YoY	Croissance; Ontario; Taux de chômage; Annualisé
C_ONUN_YoY_LAG1	Croissance; Ontario; Taux de chômage; Annualisé; Retard de 1 trimestre
C_PIBKXQ_YoY_LAG1	Croissance; Québec; Taux trimestriel du PIB réel; Annualisé; Retard de 1 trimestre
C_QC_C29010Y_Ind_L2	Croissance; Québec; Taux 10 ans; Retard de 2 trimestres
C_QC_C29010Y_Ind_L3	Croissance; Québec; Taux 10 ans; Retard de 3 trimestres

[28] Vice Présidence des Études Économiques, Dictionnaire variables macro.xls, 2015

C_SAVINGS_OTHE_LAG1	Croissance; Canada; Épargnes autres que personnelles; Retard de 1 trimestre
C_SPCOMP_SP500_CYC1	Croissance; US; Indice S&P500, dernier jour; Cycle, Retard de 1 trimestre
C_TTOCOMP_SPTSX	Croissance; Canada; Indice S&P/TSX, dernier jour
C_USEURWD_LAG2	Croissance; Taux de change USD/EUR; Retard de 2 trimestres
C_USEURWD_LAG4	Croissance; Taux de change USD/EUR; Retard de 4 trimestres
C_USUN_YoY_LAG1	Croissance; US; Taux de chômage; Annualisé; Retard de 1 trimestre
CR_TO_CONS	Canada; Crédit à la consommation aux particuliers
CR_TO_CONS_LAG4	Canada; Crédit à la consommation aux particuliers; Retard de 4 trimestres
CR_TOTAL	Canada; Crédit total
PIBKXQ_YoY_LAG1	Québec; Taux trimestriel du PIB réel; Annualisé; Retard de 1 trimestre
PIBKXQ_YoY_LAG4	Québec; Taux trimestriel du PIB réel; Annualisé; Retard de 4 trimestre
SpreadDEX	Canada; Écart de rendement entre les obligations corporatives et les obligations fédérales, en moyenne trimestrielle
SpreadDEX_LAG3	Canada; Écart de rendement entre les obligations corporatives et les obligations fédérales, en moyenne trimestrielle; Retard de 3 trimestres
USCONPRCF_YoY_LAG2	US; Inflation de l'indice des prix à la consommation; Annualisée; Retard de 2 trimestres
USGDP_YoY_LAG3	US; Taux trimestriel du PIB Réel; Annualisé; Retard de 3 trimestres

M Schémas détaillés de la méthodologie du développement

Schéma 2: Méthodologie détaillée du développement de l'analyse de sensibilité du modèle PD IF : Mise en forme des données, Échantillonage et Modélisation

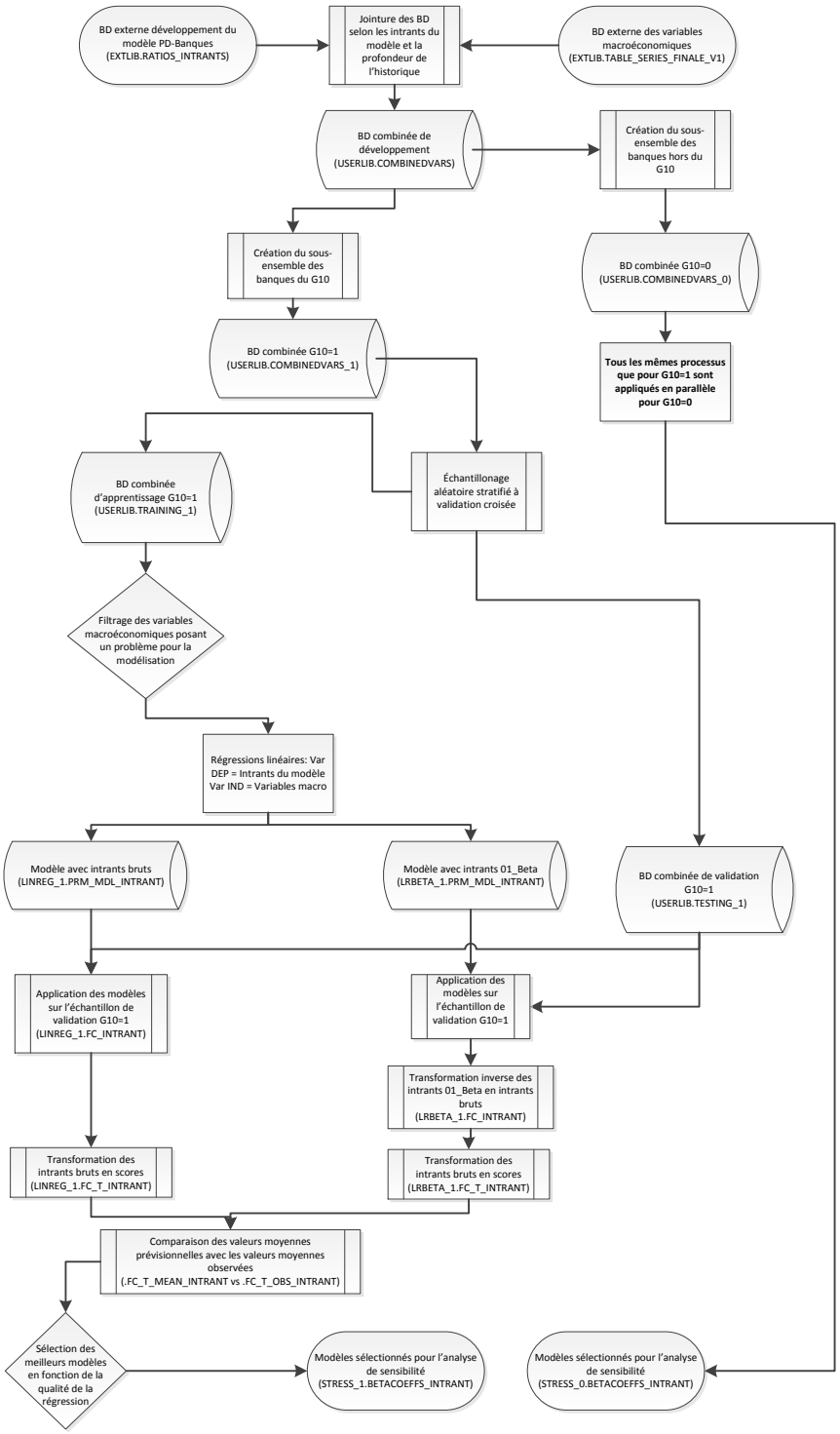
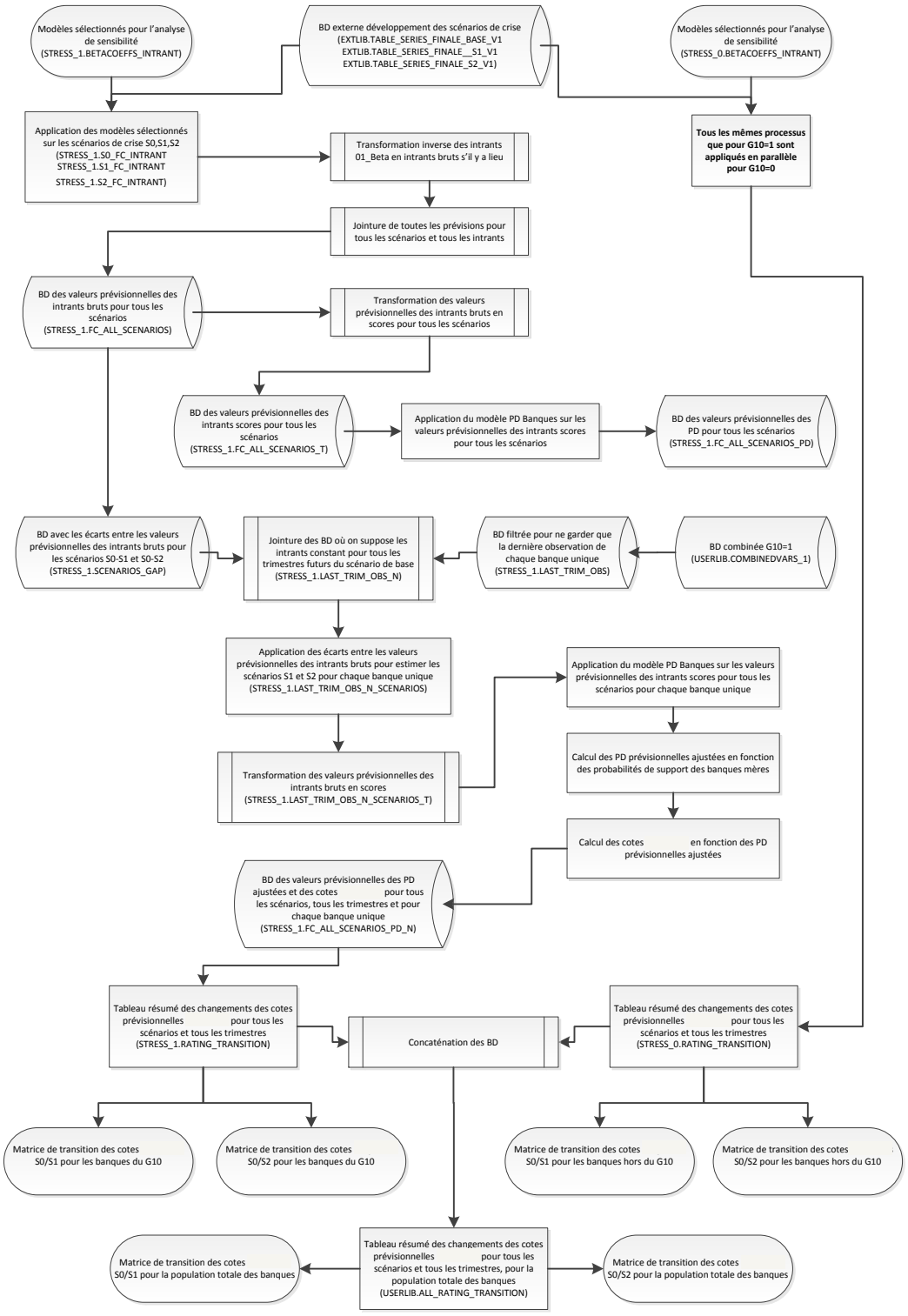



Schéma 3: Méthodologie détaillée du développement de l'analyse de sensibilité du modèle PD IF : *Stress Testing*