

# Réseau financier – structure et résilience<sup>1</sup>

---

Jean-Cyprien Héam<sup>2</sup>

## Résumé :

Depuis la dernière crise financière, les interconnexions entre institutions financières sont devenues un sujet d'attention particulière des régulateurs. Ainsi, « l'interconnectivité » d'une institution financière (*interconnectedness* en anglais), proxy du risque de contagion, est devenue un critère officiel d'identification des institutions financières systémiques. Cependant, il n'existe de consensus ni sur les mesures de l'interconnectivité ni sur les liens entre ces mesures et le risque de contagion. A l'aide de quelques articles empiriques et théoriques, nous comparons plusieurs techniques de mesures d'interconnectivité et leurs liens avec les évaluations de la résilience du système financier.

*Les opinions exprimées dans ce document sont celles de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement celles des institutions auxquelles il appartient.*

---

<sup>1</sup> Ce document synthétise en partie plusieurs travaux de recherche auxquels l'auteur a participé : Gouriéroux *et al.* (2012), Alves *et al.* (2013), Fourel *et al.* (2013), Gouriéroux *et al.* (2013), Hauton et Héam (2014).

<sup>2</sup> Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution (ACPR) et CREST. jean.cyprien.heam@ensae.fr

## 1. Introduction

Avec les faillites de AIG, Lehman Brothers ou Bear Stearns, la dernière crise financière a souligné l'importance des interconnexions entre institutions financières. C'est par les interconnexions que le risque de contagion peut se réaliser. L'« interconnectivité » (*interconnectedness* en anglais) est devenue un axe de supervision à part entière. Le Financial Stability Board (FSB) fait de l'interconnectivité l'un des trois critères d'identification des institutions systémiques avec la taille et la substituabilité [FSB, (2009)]. Cette identification est associée à des contraintes réglementaires fortes : les banques identifiées comme systémique par cette méthodologie sont soumises à de plus fortes exigences en capitaux propres. Sous cette nouvelle thématique, deux grandes approches coexistent sans nécessairement s'opposer.

Une première approche étudie les liens entre institutions pour en dégager la structure sous-jacente. Cette démarche attachée à la topologie du réseau, c'est-à-dire à la forme des interconnexions, fournit des indicateurs d'interconnectivité. Ces indicateurs sont autant de mesures pouvant alimenter les méthodologies d'identification des institutions systémiques. Ces transferts technologiques d'analyse de réseau (depuis la théorie des graphes, la sociologie quantitative ou la théorie des jeux par exemple) sont intéressants mais doivent être effectués avec soin pour intégrer les spécificités du secteur financier.

Il est également possible de modéliser directement le risque de contagion entre institutions financières. Les méthodes combinent des intuitions économiques sur le comportement des institutions financières et une analyse de la cohérence des bilans des institutions. Cette approche, fournit des mesures agrégées de l'importance de la contagion qu'il faut alors décliner en des mesures individuelles d'interconnectivité.

Ainsi, différentes lignes de pensée proposent divers outils techniques qui fournissent autant de mesures d'interconnectivité d'une institution financière. Nous en présentons ici quelques-unes en nous attachant à indiquer au mieux quel est l'objet précis de la mesure. En effet, l'interconnectivité est parfois considérée comme un concept multidimensionnel qui ne peut être quantifié que par plusieurs mesures. Au-delà de la facette de l'interconnectivité qui est quantifiée, nous analysons son lien avec le risque de contagion, c'est-à-dire la question entre la structure et la résilience du réseau financier.

Le reste de cet article est organisé ainsi. La section 2 présente les bases de données exploitées ainsi que quelques statistiques descriptives. Dans la section 3, les principales méthodes de l'approche topologique sont discutées. La section 4 traite de la modélisation du risque de contagion. La section 5 conclut.

## 2. Bases de données

Les institutions financières (banques et assurances) sont soumises à une régulation spécifique qui comprend une remise régulière d'informations détaillées aux autorités de supervision. Si ces données réglementaires constituent une source d'information privilégiée, il faut garder à l'esprit qu'elles sont effectuées avec un objectif de contrôle, et non d'étude. Il existe donc une variabilité entre institutions –les exigences pour une banque ne sont pas celles pour une assurance, ou les normes comptables ne sont pas les mêmes selon la taille des institutions– et dans le temps –les régulations financières successives impliquent de nouveaux formulaires. La combinaison des remises de divers établissements permet d'élargir le champ d'analyse mais s'effectue au prix d'une analyse sur le plus petit

dénominateur commun. Par exemple, la réglementation bancaire s'exerce sur un périmètre de consolidation prudentiel (activités bancaires et de services financiers à l'exclusion des activités d'assurances) alors que la réglementation des assurances se développe sur base sociale. Analyser conjointement des banques et des assurances ne peut donc se faire qu'à un niveau consolidé. Un groupe bancaire est donc défini par son périmètre prudentiel tandis qu'un groupe d'assurance comprend l'ensemble de ses filiales. Notons que pour les conglomérats financiers, groupes ayant à la fois une activité bancaire et une activité d'assurance, il est possible de distinguer un sous-groupe de type banque et un sous-groupe de type assurance<sup>3</sup>.

### **2.1. Remise Grands Risques pour les banques**

La législation européenne impose aux établissements de crédit de remettre, sur base consolidée prudentielle, la liste des expositions à des unités économiques supérieures à 300MEuros ou 10% de leurs fonds propres tous les trimestres. Une unité économique regroupe l'ensemble des contreparties qui sont légalement ou économiquement liées. La dimension légale est entendue au sens de participations significatives en capital. Les filiales d'un même groupe forment une seule même exposition. Deux groupes partageant une filiale commune peuvent aussi être considérés comme une seule exposition si cette filiale est importante. Deux entités sont considérées comme économiquement liées lorsque les difficultés de paiement d'une entité mènent à des difficultés de paiement pour l'autre. Par exemple, le fournisseur exclusif d'un groupe industriel est considéré comme faisant partie de la même unité que le groupe industriel. L'exposition est ventilée en distinguant les instruments (prêts, actions, titres de dette, dérivés, engagements au hors-bilan...).

Les Grands Risques ont pour objectif la surveillance et la limitation du risque de concentration. Il s'agit d'éviter de trop fortes expositions envers des groupes industriels ou des souverains. Cependant, cette remise contient aussi les expositions sur des entités financières. En identifiant les banques et les assurances dans les contreparties, il est possible de déterminer les actifs intra-système financier de tous les groupes bancaires considérés. La définition de la remise correspond à l'exposition de l'activité bancaire (au sens large) sur l'ensemble des activités de la contrepartie.

### **2.2. Remise TCEP pour les assureurs**

La réglementation française prévoit une remise annuelle appelée « TCEP ». Cette remise fournit le détail, « ligne-à-ligne », de l'actif de toutes sociétés d'assurances sur base sociale. Un travail de consolidation au niveau des déclarants comme des contreparties nous permet de disposer de séries d'expositions comparables aux remises Grands Risques des banques. L'agrégation s'effectue aussi au niveau des instruments : tous les titres de dette sont agrégés en une seule ligne. Les expositions au hors-bilan ne sont pas disponibles dans la remise TCEP.

### **2.3. Statistiques descriptives du secteur financier français**

À titre illustratif, décrivons le résultat de la combinaison de ces données sur le périmètre français. Dans Hauton et Héam (2014), le système étudié est le secteur financier français composé de six conglomérats financiers, quatre banques pures et onze assureurs purs au 31/12/2011<sup>4</sup>. Ce périmètre couvre environ 85% des actifs du secteur bancaire et assurantiel français. En termes de capitaux propres, les conglomérats représentent environ 50% du système considéré tandis que les banques

---

<sup>3</sup> Notons que les expositions intra-groupes sont vraisemblablement de nature différente des expositions extra-groupes. L'analyse des expositions intra-groupes fait appel à d'autres outils d'analyse que ceux pour les expositions extra-groupes.

<sup>4</sup> Voir l'article cité pour plus de détails le périmètre et le traitement des données.

pures et les assureurs purs représentent environ 25%. Le total des expositions (au bilan) est de 227 milliards d'euros. Plus de 90% des expositions se font sous la forme d'instrument de dette (prêts, obligations...). Par souci de simplicité, les statistiques descriptives portent sur l'exposition totale sans distinguer les instruments financiers. La Table 1 présente la moyenne et l'écart type de la distribution des expositions en distinguant la nature des contreparties. Premièrement, les moyennes sont plus basses que les écarts-types. Les expositions présentent un profil asymétrique : de nombreuses expositions faibles côtoient quelques grandes expositions. Deuxièmement, les volumes se concentrent principalement sur les expositions impliquant au moins un conglomérat. Troisièmement, seuls les conglomérats s'exposent sur les assureurs purs. L'ensemble des expositions est représenté en Figure 1.

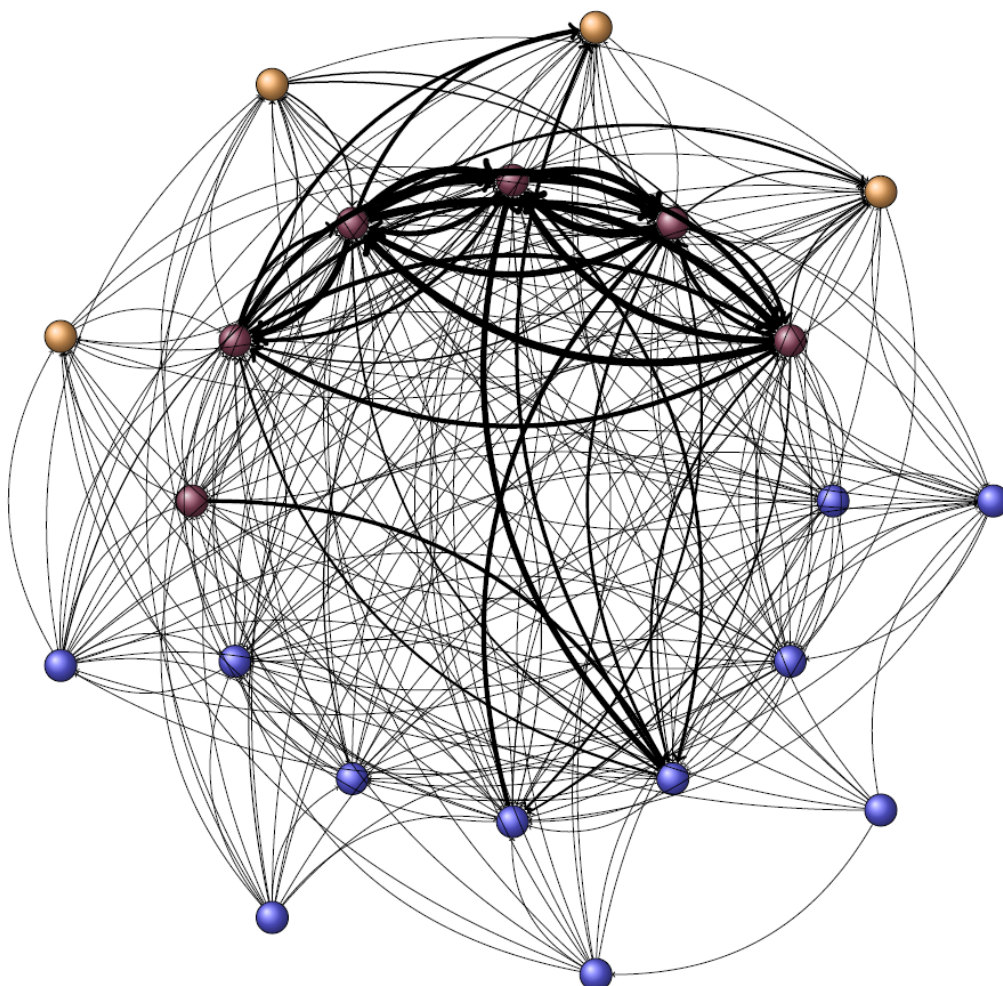
**Table 1 : Statistiques descriptives des expositions extra-groupes (tout instrument)**

Expositions en GEuros Moyenne (écart-type)		sur			
		Toute institution	Conglomérat	Banque pure	Assureur pur
de	Toute institution	0.5 (1.2)	1.3 (2.0)	0.4 (0.8)	0.1 (0.4)
	Conglomérat	1.2 (2.0)	3.0 (2.8)	0.9 (1.0)	0.3 (0.7)
	Banque pure	0.1 (0.4)	0.4 (0.6)	0.1 (0.2)	0.0 (0.0)
	Assureur pur	0.3 (0.6)	0.7 (1.0)	0.3 (0.6)	0.0 (0.1)

*Exemple : Les expositions d'un conglomérat sur une banque pure ont une moyenne de 0.9GEuros et un écart-type de 1.0Geuros.*

*Source : Hauton et Héam (2014).*

**Figure 1 : Réseau des expositions extra-groupes (tout instrument)**



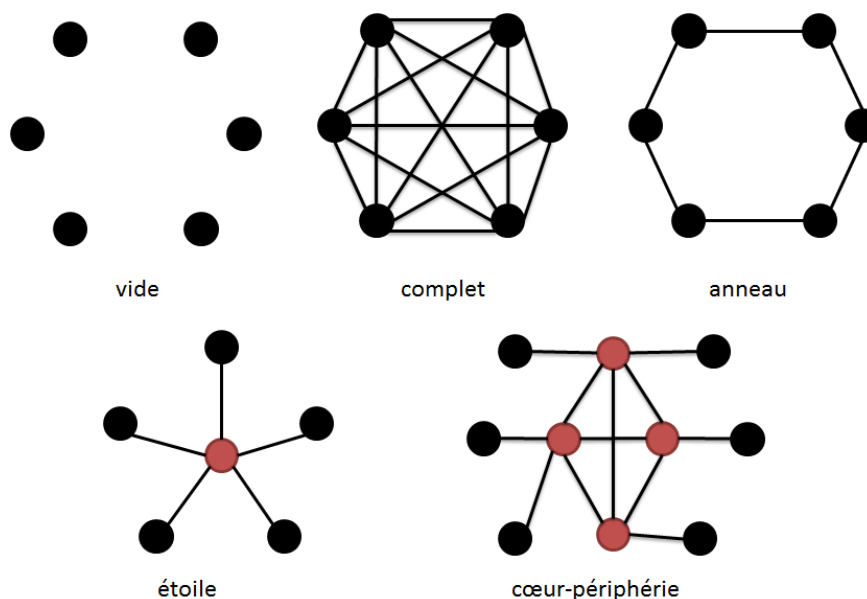
*Légende : les disques rouges (respectivement, jaunes, bleus) représentent les conglomérats (les banques pures, les assureurs purs). Les flèches représentent les expositions. La largeur d'une flèche est proportionnelle à*

*l'exposition. Une flèche part du prêteur et pointe sur l'emprunteur avec une courbure sur la gauche.*  
 Source : Hauton et Héam (2014).

### 3. Structure des interconnexions

Les techniques d'analyses en réseau du secteur financier se développent depuis une quinzaine d'année. Cependant, d'autres disciplines –théorie des jeux, sociologie, informatique...– utilisent cette approche depuis bien plus longtemps. Il existe donc tout un ensemble d'outils et de raisonnements pour analyser des interconnexions. Des transferts de technologie sont ainsi envisageables. Il est à noter que la majeure partie de ces outils n'utilisent pas des matrices d'expositions où sont renseignés les montants des expositions bilatérales mais des matrices dite d'adjacence. Une matrice d'adjacence de taille  $n$  représente la forme du réseau formé par  $n$  institutions : la cellule  $(i, j)$  vaut 1 lorsque l'institution  $i$  est interconnectée à l'institution  $j$  et 0 sinon<sup>5</sup>. Premièrement, un ensemble de métriques a été développé pour résumer cette matrice d'adjacence. Ces indicateurs topologiques sont comme des statistiques descriptives spécifiques à ce type de données. Ensuite, la théorie des jeux a montré des relations entre la forme de gains à s'interconnecter et la structure du réseau à l'équilibre (voir Figure 2). En comparant le réseau observé à une structure théorique particulière, il est donc possible de donner un rôle particulier à chaque acteur du secteur. Après avoir présenté quelques indicateurs topologiques, nous présentons la démarche d'identification d'une structure cœur-périphérie.

Figure 2 : Exemples de structures stylisées



#### 3.1. Quelques indicateurs topologiques

Au niveau global, le rapport entre le nombre de liens observés et le nombre maximale de liens est appelée *densité*. Une densité nulle indique un réseau vide tandis qu'une densité de 1 indique un réseau complet. Au niveau d'un nœud, le degré de clustering représente la proportion des voisins de ce nœud qui sont interconnectés entre eux. Un nœud avec un degré de clustering nul n'a aucun de ses voisins reliés entre eux. Par exemple, tous les nœuds du réseau en anneau (voir Figure 2) ont un

<sup>5</sup> Autrement dit, les interconnexions ne sont pas pondérées. Lorsque des liens symétriques sont considérés (par exemple « être de la famille de ») alors la matrice d'adjacence est elle aussi symétrique.

clustreing nul. Un degré de clustering de 1 indique au contraire une très forte interconnexion autour du nœud considéré. Par exemple, tous les nœuds du réseau complet ont un degré de clustering de un.

Outre ces indicateurs descriptifs, on peut chercher à identifier les nœuds « centraux ». Il n'existe pas de définition à la fois descriptive (non-mathématique) et précise de la centralité. Il s'agit d'une intuition que certains nœuds sont centraux car ils participent à des nombreuses connections. Bonacich (1972) propose élégamment que la centralité d'un nœud soit proportionnelle à la somme des centralités de ses nœuds avoisinants. En notant  $c$  le vecteur des centralités,  $\alpha$  le coefficient de proportionnalité et  $A$  la matrice d'adjacence,  $c$  est solution de l'équation :

$$c = \alpha Ac.$$

Le vecteur  $c$  apparait comme un vecteur propre de  $A$  associé à la valeur propre  $\alpha^{-1}$ . Bonacich (1972) propose de choisir la plus grande valeur propre de  $A$  pour  $\alpha^{-1}$  et de choisir  $c$  unitaire avec des coordonnées toutes positives<sup>6</sup>.

Ces mesures ont fait leurs preuves dans leurs champs respectifs (analyse des réseaux d'amitiés, des relations de voisinage...). Néanmoins les appliquer à des réseaux financiers pose plusieurs difficultés. Premièrement, elles reposent pour la plupart sur des matrices d'adjacence où l'information est binaire. L'information sur la taille des liens est perdue dans le processus. De plus, les interprétations de ces grandeurs sont souvent menées en supposant une forme d'indépendance entre les liens. Cette hypothèse apparait comme beaucoup plus forte en finance que dans d'autres domaines d'application. Par exemple, ajouter un nouvel ami sur un réseau social en ligne est quasiment sans coût alors qu'octroyer un nouveau prêt à une contrepartie revient à ne pas l'octroyer à une autre.

### 3.2. Structure Cœur-Périphérie

Galeotti *et al.* (2006) et Galeotti et Goyal (2010) analysent le problème suivant. L'ensemble des joueurs bénéficient de leurs propres efforts et des efforts des partenaires auxquels ils sont connectés. Cependant, se connecter présente un coût. Les joueurs arbitrent donc entre s'interconnecter pour profiter de l'effort d'autrui et réaliser son propre salut. Les auteurs montrent qu'à l'équilibre il y a deux groupes de joueurs. Le premier groupe forme le cœur, c'est-à-dire un sous-réseau complet. Le second groupe forme la périphérie : ces joueurs ne sont connectés qu'à des membres du cœur. L'interprétation en termes d'interconnectivité est immédiate : les joueurs du cœur sont centraux assurant la répartition des efforts tandis que les joueurs de la périphérie sont peu intégrés. Notons que l'interconnectivité est ici binaire : soit cœur soit périphérie.

Ce type de structure a reçu bon écho dans les analyses empiriques des réseaux bancaires. La première démarche formelle d'identification a été fournie par Craig et von Peter (2010). Identifier cette structure à partir d'une matrice d'exposition revient à fournir la meilleure partition de l'ensemble des institutions entre cœur et périphérie. Les auteurs commencent par transformer la matrice d'exposition en matrice d'adjacence en considérant qu'il existe un lien s'il existe une exposition. Ensuite, pour une partition donnée, ils mesurent la distance entre la matrice d'adjacence observée et la matrice d'adjacence théorique par la proportion d'écarts entre ces deux matrices. Ils proposent de sélectionner la partition cœur-périphérie qui minimise cette distance. Cette structure s'ajuste particulièrement bien aux données allemandes.

---

<sup>6</sup> Pour des extensions de ces différentes notions, se référer à Kolaczyk (2009).



Sur les données françaises, cette structure apparaît uniquement lorsque l'on considère les expositions en volume. Lorsque l'on tient compte de la taille des institutions, la qualité de l'ajustement se dégrade sensiblement [voir Hauton et Héam (2014)]. La prise en compte de la taille s'effectue en deux étapes. La première étape est de normaliser les expositions par les capitaux propres des institutions. La seconde étape est d'effectuer la sélection non seulement sur la partition cœur-périphérie mais aussi sur un seuil qui détermine le niveau minimal pour qu'une exposition (normalisée ou non) soit considérée comme effective dans la matrice d'adjacence observée. Autrement dit, cette méthodologie capte à la fois des effets d'interconnexions et des effets de taille.

### **3.3. Comparaison d'institutions au sein d'un réseau**

Une stratégie peut être de ne pas chercher à donner un score absolu d'interconnectivité à chaque institution mais de les comparer. Hauton et Héam (2014) proposent d'analyser deux facettes de l'interconnectivité : l'intégration au réseau et la substituabilité dans le réseau. Deux institutions sont dites proches en termes d'intégration au réseau si elles présentent le même profil d'expositions. Deux institutions sont dites proches en termes de substituabilité dans le réseau si elles ont des expositions similaires envers les mêmes contreparties. Deux institutions substituables sont nécessairement proches en termes d'intégration. Ces deux concepts sont rendus opérationnels en utilisant des tests statistiques de comparaison de distributions empiriques. La statistique de test peut être interprétée comme une distance entre institutions selon le critère examiné (intégration ou substituabilité). On dispose donc d'une lecture quantitative mais relative. Une lecture plus qualitative fondée sur un seuil d'acceptation des tests statistiques est aussi possible. Parallèlement, cette procédure peut être appliquée sur la matrice d'exposition en volume ou en normalisant par la taille des institutions.

Ces méthodes fournissent des résultats contrastés lorsqu'elles sont appliquées au secteur financier français. Les statistiques de test sont utilisées sous forme de matrice de distance pour mener une analyse hiérarchique descendante afin d'identifier des groupes homogènes d'institutions. En termes d'intégration sans prise en compte de la taille des établissements, les conglomerats apparaissent comme un groupe homogène alors qu'il est impossible de distinguer les banques pures des assureurs pures. Cependant, lorsque l'analyse porte sur les expositions normalisées, ces deux groupes ne se retrouvent pas. Prendre en compte la taille des établissements permet d'examiner les risques sous-jacents aux interconnexions et non les volumes. Ce résultat suggère donc que la structure du réseau en termes de volume est différente la structure du réseau en termes de risque.

## **4. Tests de résilience du réseau**

L'intérêt porté à la notion d'interconnectivité par les autorités de régulation provient du souhait de surveiller le risque de contagion. Depuis une quinzaine d'année, la littérature académique et institutionnelle a développé des modèles de contagion. Ces modèles analysent la propagation d'un choc à travers un réseau d'institutions financières interconnectées. Les autorités de supervisions intègrent ces modèles de contagion au sein d'un processus de contrôle de plus grande envergure appelés test de résilience (stress-test exercise en anglais). Nous présentons d'abord les enjeux de ces exercices. Ensuite, nous présentons les principaux éléments de modélisation de la contagion. Enfin, nous montrons comment déduire de cet exercice des indicateurs d'interconnectivité.

#### 4.1. Exercice de test de résilience

Les exercices de test de résilience visent à étudier le comportement du secteur bancaire en cas de scénarios macroéconomiques déterminés. Les scénarios macroéconomiques, qui sont établis par les autorités de supervision, doivent être sévères tout en restant réalistes. Un scénario est décrit qualitativement puis quantitativement par les trajectoires sur quelques années des principaux indicateurs macroéconomiques (PIB, taux de chômage, inflation...) et financiers (taux d'intérêt, taux de change, cours boursiers...). Sur la base de ces scénarios, les établissements supervisés fournissent une évaluation de leurs situations (approche *bottom-up*). La pertinence de ces résultats est vérifiée par comparaison entre institutions (approche *cross-market comparison*) ainsi que par comparaison aux résultats de modèles agrégés développés par le superviseur (approche *top-down*).

Les exercices de test de résilience en réseau (*network stress-test*) sont des blocs satellites au sein des exercices « top-down ». Ils complètent les résultats en évaluant le risque de contagion. Ils sont composés de deux éléments distincts. Le premier élément est la description du choc ou des chocs venant affecter le système. Idéalement, ces chocs sont formalisés en suivant les scénarios utilisés dans le bloc principal de l'exercice. Cependant, la contagion est un phénomène qui se déroule à rythme bien plus rapide que la description des trajectoires macro-économiques sur plusieurs années utilisées dans le bloc central de l'exercice. Par conséquent, les chocs considérés sont souvent incrémentaux par rapport à une situation financière donnée. Il peut par exemple s'agir de la situation en fin de trajectoire du scénario de stress-test. Ainsi, il est usuel de considérer l'effet du défaut d'une institution financière sans chercher à expliciter la source de ce défaut initial. C'est donc une approche conditionnelle qui est adoptée : « sachant qu'il y a une institution en défaut, quel est le risque de contagion ? » Le second élément est le modèle de contagion qui propage le(s) choc(s) défini(s) précédemment. L'évaluation du risque de contagion dépend donc à la fois de la richesse du modèle de contagion utilisé et de la nature des chocs analysés.

#### 4.2. Modéliser la contagion en solvabilité

Le premier risque de contagion est le risque que les pertes d'une institution se transforment en pertes pour une autre institution à cause de leurs interconnexions. Si une banque A a prêté 1000€ à une banque B et que la banque B fait défaut, alors la banque A essuie des pertes qui mettent en danger sa propre capacité à honorer ses engagements. Pour modéliser ce risque de contagion de solvabilité, nous suivons le modèle développé dans Gouriéroux *et al.* (2012) [pour une extension voir Gouriéroux *et al.* (2013)]. Considérons un ensemble de  $n$  banques interconnectés par des prêts<sup>7</sup> et par des actions croisées. Pour une banque  $i$ , nous identifions au passif sa dette considérée comme homogène  $L_i$  et ses capitaux propres  $Y_i$ . Un prêt interbancaire est un droit sur une fraction de l'ensemble de la dette de la contrepartie. De même, une participation est un droit sur une fraction des capitaux propres de la contrepartie. Ainsi, le prêt interbancaire que la banque  $i$  a octroyé à la banque  $j$  est noté  $\gamma_{i,j}L_j$  et la participation de la banque  $i$  dans la banque  $j$  est notée  $\pi_{i,j}Y_j$ . Le coefficient  $\gamma_{i,j}$  est donc la part de la dette émise par la banque  $j$  détenue par la banque  $i$  ; le coefficient  $\pi_{i,j}$  est la part des capitaux propres émis par la banque  $j$  détenue par la banque  $i$ . Enfin, l'ensemble des actifs externe au système financier (titres souverains, prêts immobiliers, crédits industriels...) est noté  $Ax_i$ . Le bilan de la banque  $i$  est fourni en table 2.

---

<sup>7</sup> Plus généralement, ce modèle traite toute détention d'instruments de dettes (obligations, titres subordonnés...) et toute détention d'instruments de capitaux propres (participations, action, capital-investment...).



Table 2 : Bilan de la banque  $i$ 

	Actif	Passif	
Participations croisées	$\begin{cases} \pi_{i,1}Y_1 \\ \vdots \\ \pi_{i,n}Y_n \end{cases}$	$Y_i$	Capitaux propres
Prêts interbancaires	$\begin{cases} \gamma_{i,1}L_1 \\ \vdots \\ \gamma_{i,n}L_n \end{cases}$	$L_i$	Dette
Actifs exogène	$Ax_i$		

Le modèle de Merton précise que la valeur de la dette d'une entreprise est le minimum entre sa valeur nominale (ou contractuelle) et la valeur des actifs, et que la valeur des capitaux propres est le maximum entre zéro et la valeur des actifs nette de la dette contractuelle. En notant  $L_i^*$  la valeur nominale de la dette de la banque  $i$ , alors le modèle de Merton fournit :

$$\begin{cases} Y_i = \max \left( 0 ; \sum_{j=1}^n \gamma_{i,j}L_j + \sum_{j=1}^n \pi_{i,j}Y_j + Ax_i - L_i^* \right), \\ L_i = \min \left( L_i^* ; \sum_{j=1}^n \gamma_{i,j}L_j + \sum_{j=1}^n \pi_{i,j}Y_j + Ax_i \right). \end{cases}$$

Les valeurs des capitaux propres et des dettes forment donc un système linéaire par morceaux de  $2n$  équations. Sous certaines conditions techniques, Gouriéroux et al. (2012) montrent qu'il existe une unique solution à ce système. Dans la littérature, cet équilibre est appelé vecteur des paiements d'équilibre, *clearing vector payment*, [voir Eisenberg et Noe, (2001)].

Une analogie possible pour interpréter ce système d'équation est de considérer que chaque banque produit de la dette et des capitaux propres. Les inputs sont les actifs exogènes et la production des autres institutions. Les équations précédentes peuvent alors être vues comme des fonctions production. Les matrices  $\Pi$  et  $\Gamma$ , regroupant les coefficients  $\pi_{i,j}$  et  $\gamma_{i,j}$  respectivement, apparaissent alors comme décrivant la combinaison des différents inputs dans les fonctions de production. L'équilibre est alors la production clôturant l'ensemble des  $2n$  marchés.

Opérationnellement, les données collectées permettent de déterminer les matrices  $\Pi$  et  $\Gamma$  ainsi que les dettes nominales (vecteur  $L^*$ ). Les chocs de l'exercice de test de résilience correspondent alors à des valeurs d'actif exogènes (vecteur  $Ax$ ). La comparaison des valeurs d'équilibres (vecteurs  $Y$  et  $L$ ) et des valeurs initiales permet d'évaluer l'impact du choc (distribution des pertes, nombre d'institution en défaut...).

Le modèle présenté ici se concentre sur le risque de solvabilité. Deux autres canaux de contagion régulièrement modélisés sont la contagion par les prix et par le financement. Ces modèles reposent sur des heuristiques pour reproduire le comportement des banques. Pour modéliser la contagion par les prix, Cifuentes *et al.* (2005) supposent que les banques ont un objectif de levier (rapport entre le total actif et les capitaux propres). Le choc sur les actifs exogène entraîne une déviation du levier par rapport à son objectif. Pour rétablir son levier, la banque vend ses actifs. Cette vente génère une baisse du prix des actifs, engendrant une perte pour toutes les institutions. Ce mécanisme se

superpose au mécanisme de contagion en solvabilité. Pour modéliser la contagion par le financement, Fourel *et al.* (2013) supposent aussi que lorsque le levier d'une banque se décale, cette banque coupe ses prêts interbancaires de court-terme. Cette opération génère un besoin de trésorerie pour les contreparties qui peut mener à un défaut de paiement.

### 4.3. Importance systémique et fragilité systémique

Les exercices de test de résilience n'ont pas pour objectif de fournir des mesures d'interconnectivité (mais d'évaluer la solidité du secteur financier à un choc). Cependant, il est possible d'utiliser la méthodologie générale pour construire des mesures d'interconnectivité. Ainsi, Alves *et al.* (2013) développent deux mesures –l'importance systémique et la fragilité systémique– qui sont deux faces du risque de contagion. L'importance systémique d'une institution est le risque de contagion générée par cette institution tandis que sa fragilité systémique correspond au risque de contagion auquel l'institution s'expose. Les auteurs proposent de considérer autant de scénario qu'il y a d'institutions dans le système considéré. Chaque scénario est défini principalement par le défaut initial d'une institution. Pour chaque institution, son importance systémique est mesurée par le nombre de contreparties qui, suite à son défaut, subissent une perte supérieure à 10% de leurs capitaux propres. Symétriquement, la fragilité systémique d'une institution est le nombre d'institutions dont le défaut génère des pertes supérieures à 10% de ses capitaux propres.

Au niveau européen, Alves *et al.* (2013) identifient neuf banques systématiquement importantes (17% de la population), sept banques systématiquement fragiles (13%), six banques à la fois systématiquement importantes et fragiles (11%) et trente-et-une banques qui ne sont systématiquement ni fragiles ni importantes (59%). Les auteurs montrent que les institutions systématiquement importantes ont tendance à être plus grande et affichent de meilleur rating que les banques systématiquement fragiles.

### 4.4. Comparaison des méthodes

Il est naturel de chercher à relier la structure du réseau et sa résilience. La question n'est pas tant de savoir si la résilience d'un réseau dépend vraisemblablement de sa structure mais de savoir si l'évaluation que l'on fait de sa structure suffit à prévoir sa résilience. Les exercices de résilience sont coûteux en temps et en ressources humaines pour les établissements et les superviseurs. Les autres approches ne mobilisent des moyens nettement inférieurs. Nous avons vu que plusieurs techniques donnaient des résultats différents lorsque l'on contrôlait par la taille des établissements. Autrement dit, il existe une description de la structure du volume des expositions qui est différente de celle de la structure des risques associés aux expositions.

Dans Hauton et Héam (2014), les auteurs proposent de comparer les groupes d'institutions obtenus selon différentes méthodes pour examiner les recouvrements. Ils examinent la capacité des groupes obtenus par analyse descendante hiérarchique pour l'intégration et la substituabilité et des partitions cœur-périphérie à prédire l'importance et la fragilité systémique des institutions. Leurs résultats statistiques sont contrastés. Si plusieurs techniques permettent de prévoir les institutions importantes ou fragiles, aucune n'est capable d'identifier les institutions qui ne sont ni importantes ni fragiles.

## 5. Perspectives

Naguère, la supervision financière était uniquement micro-prudentielle : contrôler individuellement chaque institution était supposé suffisant pour assurer la solidité du secteur tout entier. Avec la dernière crise financière, la nécessité d'une supervision macro-prudentielle est devenue évidente.

Analyser la structure du secteur financier dans son ensemble et évaluer sa résilience est une composante fondamentale de cette nouvelle supervision.

Les quelques articles revus ici soulignent différents techniques et enjeux. Soulignons en deux. Une première question est de déterminer l'angle pertinent d'analyse des données. Par exemple, la prise en compte de la taille des institutions peut modifier significativement les résultats de certaines techniques. Deuxièmement, un enjeu opérationnel est de résumer l'information sur la structure et la résilience en un ensemble de scores pour chaque institution, avec un souci de parcimonie et de robustesse.

Il est fondamental de noter que tous ces approches nécessitent des données d'expositions entre institutions financières. La difficulté de constituer de telles données repose sur la capacité d'identifier les contreparties. Le projet Legal Entity Identifier (LEI), qui vise entre autres à attribuer un identifiant unique à toute entité, est une avancée considérable.

## Bibliographie

- Alves, I, Ferrari, S., Franchini, P., Heam, J.C., Jurca, P., Langfield, S., Liedorp, F., Sanchez, A., Tavoraro, S. et Vuillemeys, G., 2013. *The Structure and Resilience of the European Interbank Market*, European Systemic Risk Board (ESRB) Occasional Paper, 3.
- Bonacich, P., 1987. «Power and centrality: A family of measures», *American Journal of Sociology*, 1170-1182.
- Cifuentes, R., Ferrucci, G., et Shin, H. S., 2005. «Liquidity risk and contagion», *Journal of the European Economic Association*, 3, 556–566.
- Craig, B., et von Peter, G., 2010. *Interbank Tiering and Money Center Banks*, Bank of International Settlements (BIS) Working Paper, 322.
- Eisenberg, L., et Noe, T. H., 2001. «Systemic risk in financial systems», *Management Science*, 47(2), 236-249.
- Financial Stability Board, 2009. "Guidance to Assess the Systemic Importance of Financial Institutions, Markets and Instruments: Initial Considerations". Octobre 2009.
- Fourel, V., Héam, J.C., Salakhova, D., et S., Tavoraro, 2013. *Domino Effects when Banks Hoard Liquidity: the French Network*, Document de Travail de la Banque de France, 432.
- Galeotti, A., et Goyal, S., 2010. «The Law of the Few», *American Economic Review*, 100, 1468-92.
- Gouriéroux, C., Héam, J.C., et Monfort, A., 2012. « Bilateral Exposures and Systemic Solvency Risk, Gouriéroux », J.-C. Héam, Monfort, *Canadian Journal of Economics*, 45, 4, 1273-1309.
- Gouriéroux, C., Héam, J.C., et Monfort, A., 2013. «Liquidation Equilibrium with Seniority and Hidden CDO», *Journal of Banking and Finance*, 45, 4, 1273-1309.
- Hauton, G., et Héam, J.C., 2014. *How to measure interconnectedness between banks, insurers and conglomerates?*, mimeo de l'ACPR.
- Kolaczyk, E., 2009: *Statistical Analysis of Network Data, Methods and Models*, Springer.