

Structure et résilience des réseaux financiers

Jean-Cyprien Héam

ACPR et CREST

Association de Comptabilité Nationale, Novembre 2014.

Les opinions exprimées ici sont celles de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement celles de l'Autorité de Contrôle Prudenciel et de Résolution (ACPR).

contact: jean-cyprien[dot]heam[at]acpr[dot]banque-france[dot]fr ou
jean[dot]cyprien[dot]heam[at]ensae[dot]fr

Outline

- 1 Contexte
- 2 Réseau financier français
- 3 Structure des interconnexions
- 4 Tests de résilience en réseau
- 5 Perspectives

La présentation et le document correspondant synthétisent plusieurs travaux de recherche axés sur les interconnexions entre institutions financières :

- 1 Gouriéroux *et al.* (2012), "Bilateral Exposures and Systemic Solvency Risk", *Canadian Journal of Economics*, 45, 4, 1273-1309.
- 2 Alves *et al.* (2013), *The Structure and Resilience of the European Interbank Market*, European Systemic Risk Board (ESRB) Occasional Paper, 3.
- 3 Fourel *et al.* (2013), *Domino Effects when Banks Hoard Liquidity : the French Network*, Document de Travail de la Banque de France, 432.
- 4 Gouriéroux *et al.* (2013), "Liquidation Equilibrium with Seniority and Hidden CDO", *Journal of Banking & Finance*, 45, 4, 1273-1309.
- 5 Hauton et Héam (2014), How to measure interconnectedness between banks, insurers and conglomerates ?, *Débats Economiques et Financiers de l'ACPR* (prochainement).

Contexte

En 2009, le Comité pour la Stabilité Financière a proposé une démarche générale pour identifier les institutions financières systémiques. Les trois critères utilisés sont :

- la taille,
- la substituabilité et
- l'interconnectivité¹.

L'interconnectivité d'une institution financières est définie comme "les liens avec les autres composants du système".

Cette démarche appelle deux questions :

- Structure : comment définir la structure d'un système financier ? comment déduire de l'analyse de la structure une mesure au niveau individuel ?
- Résilience : quel lien existe-il entre structure et résilience ? la mesure de la structure est-elle assez précise pour mesurer la résistance ?

1. Anglicisme pour "interconnectedness".

Contexte

L'objectif n'est pas de trouver une bonne mesure d'interconnectivité dans l'absolu mais une (ou plusieurs) mesure qui fasse écho à la résilience.

La résilience d'un système est a minima sa capacité à absorber des chocs exogènes. Dans un sens plus large, la résilience est la capacité à continuer de jouer efficacement son rôle en cas situation dégradée.

La dimension "interconnexion" renvoie à un aspect de la résilience : le risque de contagion. L'effet d'un choc exogène se décompose en un effet direct (indépendant de la structure du système) et un effet endogène dépendant de la structure du système.

Intuitivement, le risque de contagion dépend de la taille des expositions, de la forme du réseau et des chocs possibles.

Pour une autorité de supervision, une "bonne" mesure d'interconnectivité doit résumer toutes ces informations.

Contexte

D'une part, de plus en plus de mesures d'interconnectivité ou de techniques apparentées sont proposées par la recherche académique et institutionnelle : mesures de centralité, structure coeur-périphérie...

D'autre part, la modélisation explicite de la contagion entre institutions financières se développe depuis une dizaine d'années sur le plan théorique et empirique.

Malgré les nombreux résultats de ces travaux, il n'y a aucun consensus sur le (ou les) mesure(s) à choisir ni sur le lien avec le risque de contagion.

L'objectif de cette présentation est de donner un aperçu de la situation actuelle.

Littérature complémentaire

- Analyse empirique des réseaux bancaires : Furfine (2003) pour l'EUA, Wells (2002) pour le RU, Upper and Worms (2004) pour l'Allemagne, Van Lelyveld and Liedorp (2006) pour les Pays-Bas...
- Analyse du risque de contagion dans le secteur des assurances : Frey *et al.* (2013) pour la France, Cummins and Weiss (2014) pour les EUA...
- Structure du réseau : Mistrulli (2011), Craig and von Peter (2014), Anand *et al.* (2014)...
- Analyse sur données de marché : Billio *et al.* (2014)...
- Analyse économique : Allen et Galle (2000), Acemoglu *et al.* (2013), Elliot *et al.* (2014)...

- 1 Contexte
- 2 Réseau financier français
- 3 Structure des interconnexions
- 4 Tests de résilience en réseau
- 5 Perspectives

Outline

- 1 Contexte
- 2 Réseau financier français**
- 3 Structure des interconnexions
- 4 Tests de résilience en réseau
- 5 Perspectives

Périmètre

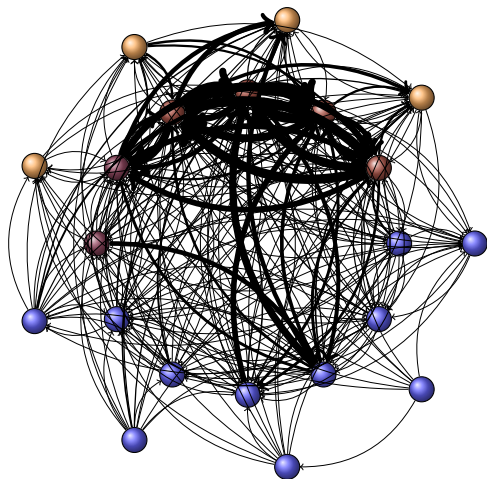
Le périmètre retenu [cf Hauton & Héam, (2014)] est constitué est de :

- 6 conglomérats financiers : BNP, Crédit Agricole, Société Générale, BPCE, Crédit Mutuel et La Banque Postale,
- 4 banques pures : HSBC, Crédit Logement, CRH, Oseo,
- 11 assureurs pures : Axa, Allianz, CNP, Generali, Covea, Maif, Macif, Scor,
- au 31/12/2011,
- sur base consolidée.

Pour ces institutions, on dispose des expositions bilancielle (prêts, détention de dette, participation croisée...) entre les 21 institutions.

On note $E_{i,j}$ l'exposition de l'institution i sur l'institution j . E est appelée matrice d'exposition.

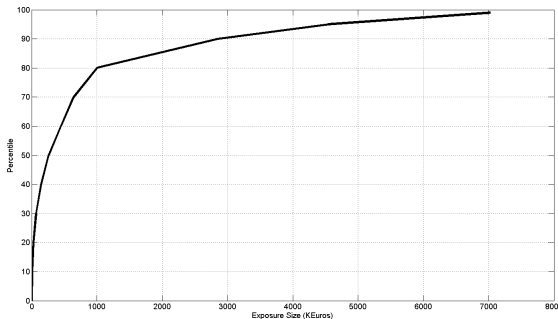
Le périmètre retenu couvre environ 85% du total actif du secteur financier français.



Légende : la couleur des nœuds indique le statut juridique (rouge pour les conglomérats, bleu pour les assureurs et jaune pour les banques). la largeur des liens est proportionnelle à la taille de l'exposition.

Distribution des expositions

- Les expositions déclarent un total de 227 GEuros dont 90% sont constitués d'instruments de dette.
- 62% des expositions potentielles sont strictement positive. 38% des expositions sont nulles. [en Allemagne, près de 90% des expositions sont nulles]
- La majeure partie des expositions sont faibles même si l'on observe quelques grandes expositions.



Où sont les expositions ?

		<i>sur :</i>		
Expositions		Conglomerats	Banques	Assureurs
<i>de :</i>	Conglomerats	97%	92%	51%
	Banques	70%	33%	7%
	Assureurs	91%	80%	52%

Table : Densité locale (proportion d'expositions non-nulles) selon le statut juridique

		<i>sur :</i>		
Expositions		Conglomerats	Banques	Assureurs
<i>de :</i>	Conglomerats	47.7%	9.8%	8.2%
	Banques	4.7%	0.4%	0.1%
	Assureurs	20.8%	6.0%	2.3%

Table : Répartition du total des expositions (en montant) selon le statut juridique

Le réseau français se caractérise en 4 points :

- Les expositions sont généralement modestes : 38% des expositions sont nulles et le reste est principalement composé de petites expositions.
- Les conglomérats apparaissent comme les acteurs les plus importants tant en terme de liens qu'en terme de volumes.
- Les assureurs sont des financeurs nets.
- Les instruments de dette sont ultra-majoritaires.

Risque de crédit et risque de financement

Une même exposition génère deux risques. Pour le prêteur, il y a un risque de crédit. Pour l'emprunteur, il y a un risque de financement.

Analyser les expositions en volumes peut donner une image déformée des risques associés aux interconnexions.

Nous complétons la matrice d'exposition (E) par deux autres matrices en prenant en compte la taille des institutions (K) :

- CR est la matrice de risque de crédit :

$$CR_{i,j} = \frac{E_{i,j}}{K_i}$$

- FR est la matrice de risque de financement :

$$FR_{i,j} = \frac{E_{j,i}}{K_i}$$

$CR_{i,j}$ (respectivement $FR_{i,j}$) est le risque de crédit (de financement) pris par l'institution i et généré par l'institution j .

Distribution des risques

Normaliser les expositions par la taille ne modifie pas la forme générale de la distribution des expositions. Les expositions représentent le plus souvent quelques pourcents des capitaux propres des institutions.

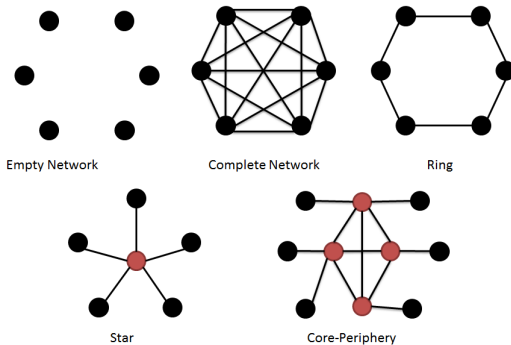
	Risque de crédit	Risque de financement
1 ^{er} quartile	0.19%	0.22%
Médiane	1.34%	0.80%
4 ^{me} quartile	7.50%	2.46%

Table : Statistiques descriptives du risque de crédit et du risque de financement

Outline

- 1 Contexte
- 2 Réseau financier français
- 3 Structure des interconnexions**
- 4 Tests de résilience en réseau
- 5 Perspectives

Les économistes en théorie des jeux ont défini plusieurs structures-types traduisant des équilibres entre les interactions des acteurs :



L'objectif des méthodes d'identification de structure de réseau est de trouver la structure type la plus proche des données pour en déduire le rôle des différents acteurs.

En supervision bancaire, la structure cœur-périérie est usuellement testée.

Identification de la structure CP

Nous reprenons la méthode proposée par Craig and von Peter (2014).

Les structures-types sont décrites à l'aide d'une matrice d'adjacence, c'est-à-dire une matrice d'exposition composée de 0 et de 1.

La première étape est de transformer la matrice d'exposition observée (E) en une matrice d'adjacence. Pour un seuil θ , on définit $A(\theta)$ par

$$A_{i,j}(\theta) = \begin{cases} 1, & \text{si } E_{i,j} > \theta, \\ 0, & \text{sinon.} \end{cases}$$

La matrice d'adjacence $A(\theta)$ est "filtrée".

Identification de la structure CP

La deuxième étape est de déterminer la composition du cœur (et de la périphérie).

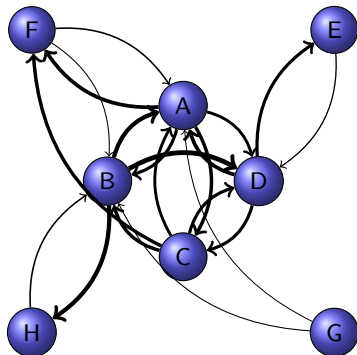
Pour une partition c de l'ensemble des institutions, on réorganise la matrice d'adjacence pour que les institutions du cœur soient les premiers indices. On note cette matrice d'adjacence : $A(\theta; c)$.

Ensuite, on calcule une distance matricielle entre $A(\theta; c)$ et la matrice d'adjacence correspondante à une parfaite structure cœur-périphérie $A^{th}(c)$.

La détermination du cœur et de la périphérie s'effectue en minimisant la distance sur c (meilleure partition) et θ (meilleur filtrage).

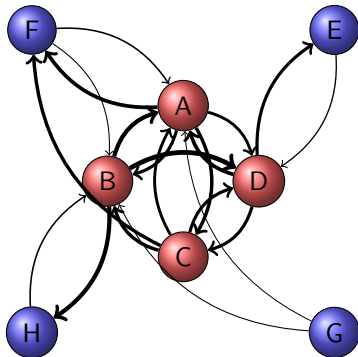
Exemple

Considérons un réseau de $n = 8$ institutions :



Exemple

Considérons un réseau de $n = 8$ institutions :



Testons la partition cœur-périphérie suivante : $c = \{A, B, C, D\}$ (en rouge).
Admettons que le seuil θ soit inférieur à toutes les expositions.

Exemple

La matrice d'adjacence observée est :

$$\underbrace{\left(\begin{array}{cccc|cccc} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{array} \right)}_{A(\theta; c)}$$

La matrice théorique est :

$$\underbrace{\left(\begin{array}{cccc|cccc} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)}_{A^{th}(c)}$$



La distance entre $A(\theta; c)$ et $A^{th}(c)$ est la proportion d'écarts entre les deux matrices :

$$d(\theta, c) = \frac{\sum_{i,j} |A_{i,j}(\theta; c) - A_{i,j}^{th}(c)|}{\sum_{i,j} A_{i,j}(\theta; c)}$$

Exemple

La matrice d'adjacence observée est :

$$\underbrace{\left(\begin{array}{cccc|cccc}
 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0
 \end{array} \right)}_{A(\theta;c)}$$

\Leftrightarrow ?

La matrice théorique est :

$$\underbrace{\left(\begin{array}{cccc|cccc}
 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{array} \right)}_{A^{th}(c)}$$

La distance entre $A(\theta; c)$ et $A^{th}(c)$ est la proportion d'écart entre les deux matrices :

$$d(\theta, c) = \frac{4}{21} \approx 19\%.$$

Résultats

	Volume	Risque de crédit	Risque de financement
CG	✓	✓	✓
CG	✓	✓	
CG	✓	✓	✓
CG	✓	✓	
CG	✓	✓	
CG			
PB		✓	
PB			
PB		✓	
PB		✓	
PI		✓	
PI			
PI		✓	
PI			
PI			
PI			
PI			
PI			
PI			
PI			
Distance (%)	5.0	15.7	71.4
#Cœur	5	10	2

Bilan

La structure cœur-périphérie, usuellement appliquée au réseau bancaire en volume, est pertinente lorsque le réseau comprend des assureurs.

Cependant, lorsque l'on contrôle la taille, cette structure type n'est plus pertinente. Pour le risque de crédit, le cœur est trop grand. Pour le risque de financement, l'ajustement est très mauvais.

L'identification d'une structure cœur-périphérie semble sensible à des effets de taille.

Outline

- 1 Contexte
- 2 Réseau financier français
- 3 Structure des interconnexions
- 4 Tests de résilience en réseau**
- 5 Perspectives

Méthodologie générale des tests de résilience en réseau

Un test de résilience (*stress-test exercise*) vise étudier le comportement du secteur financier en cas de scénarios macroéconomiques déterminés.

Un test de résilience en réseau (*network stress-test*) se concentre sur la prise en compte du risque de contagion (*spill-over, second round effects*). Il se compose de deux blocs :

- un *choc exogène* instantané qui affecte les institutions du système considéré,
- un *mécanisme de contagion* qui propage le choc exogène à travers le système financier.

Les résultats d'un test de résilience en réseau doivent être lus avec ces deux éléments en arrière plan.

Modélisation de la contagion en solvabilité

Considérons un système formé de n banques interconnectées via des participations croisées et des prêts. Le bilan de la banque i s'écrit :

	Actif	Passif	
participations interbancaires croisées	$\leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \pi_{i,1} Y_1 \\ \vdots \\ \pi_{i,n} Y_n \end{array} \right.$	L_i	\leftrightarrow dette
prêts interbancaires	$\leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \gamma_{i,1} L_1 \\ \vdots \\ \gamma_{i,n} L_n \end{array} \right.$	Y_i	\leftrightarrow capitaux propres
actifs externe	$\leftrightarrow A X_i$		

L_i est la valeur de la dette de la banque i , Y_i la valeur de ses capitaux et $A X_i$ la valeur de ses actifs externes (i.e. hors du système considéré).

$\pi_{i,j}$ (resp. $\gamma_{i,j}$) est la proportion de capitaux (dette) émis par l'institution j détenue par l'institution i .

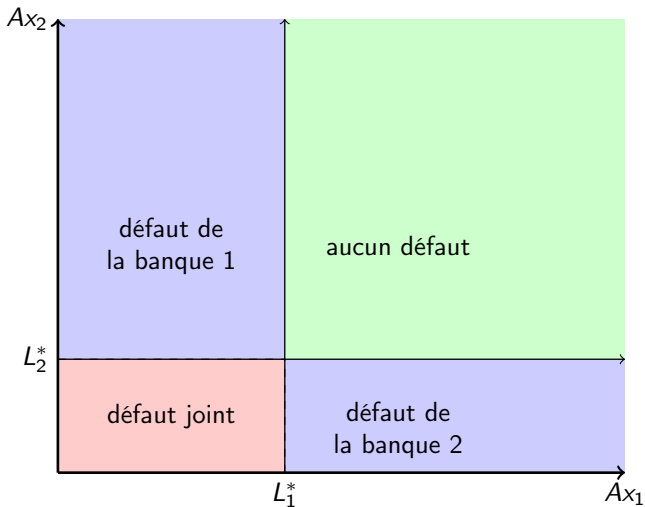
Équilibre de liquidation

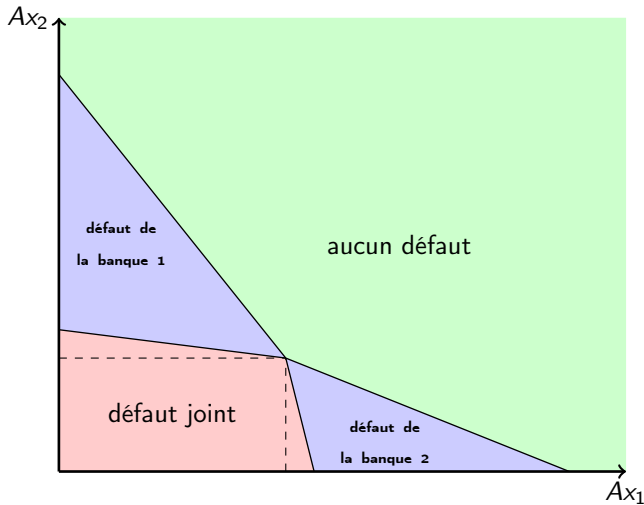
Le modèle de Merton (1974) écrit pour chaque banque fournit le système à $2n$ -équations suivant (avec L_i^* la valeur nominale de la dette) :

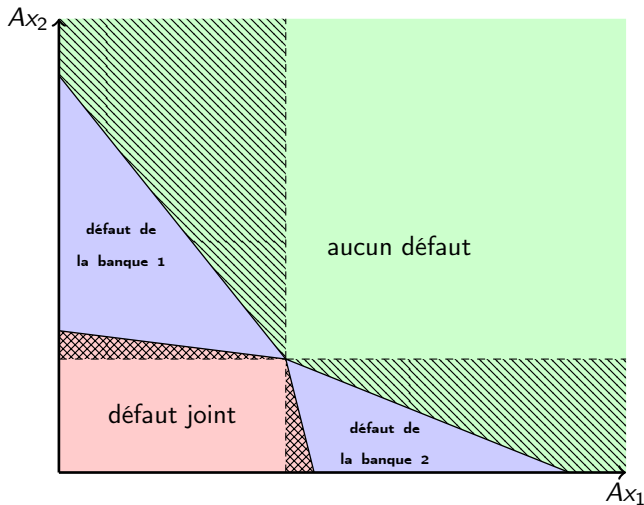
$$\begin{cases} Y_i = \max \left[\sum_{j=1}^n (\pi_{i,j} Y_j) + \sum_{j=1}^n (\gamma_{i,j} L_j) + Ax_i - L_i^* , 0 \right] , \\ L_i = \min \left[\sum_{j=1}^n (\pi_{i,j} Y_j) + \sum_{j=1}^n (\gamma_{i,j} L_j) + Ax_i , L_i^* \right] , \quad i = 1, \dots, n. \end{cases}$$

Ce système définit un équilibre de liquidation.

Sous certaines conditions techniques, ce système admet une unique solution.

Régimes sans interconnexions pour $n = 2$ 

Régimes avec interconnexions pour $n = 2$ 

Régimes avec/sans interconnexions pour $n = 2$ 

Équilibre de liquidation – une analogie ?

Considérons n branches. La branche i produit des biens prioritaires L_i et des biens additionnels Y_i , délimités par un seuil de priorité L_i^* . La fonction de production, linéaire par morceaux, dépend d'importations (Ax_i) et de consommations intermédiaires.

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

L'équilibre de liquidation correspond à un équilibre sur l'ensemble des branches production.

L'emploi final est la part du passif détenu par l'extérieur du système :

$$\sum_j \left[\left(1 - \sum_i \pi_{i,j} \right) Y_j \right] \quad \text{et} \quad \sum_j \left[\left(1 - \sum_i \gamma_{i,j} \right) L_j \right] .$$

Importance systémique et fragilité systémique

Les tests de résilience en réseau peuvent être utilisés comme outils pour définir des mesures d'interconnectivité intrinsèquement liées au risque de contagion. A partir des données, les paramètres Π , Γ , L^* sont calibrés ainsi que la valeur des actifs externes (Ax) avant choc.

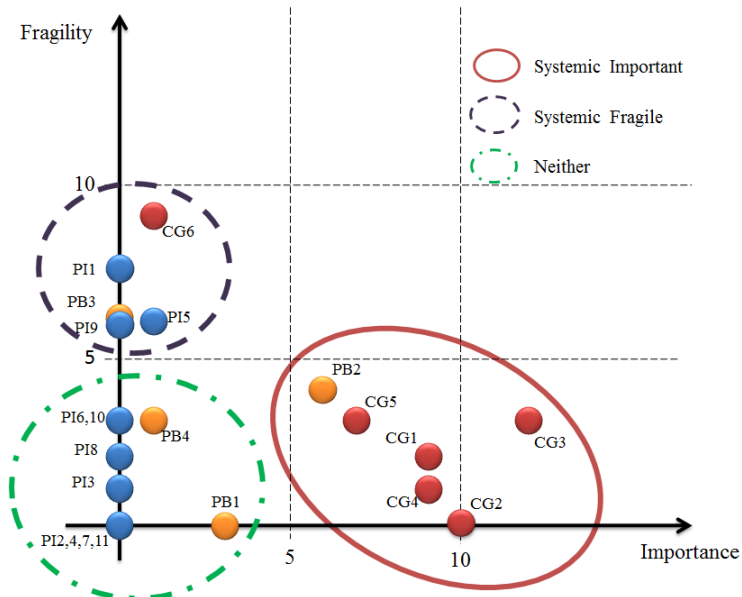
Considérons 21 scénarios. Dans le $i^{\text{ème}}$ scénario, supposons que l'institution i est en défaut en imposant $Ax_i = 0$ et en conservant les Ax_j ($j \neq i$) à leur valeur initiale.

A partir des résultats de ces 21 scénarios, on mesure deux dimensions de l'interconnectivité :

- L'*importance systémique* est l'impact du défaut d'une institution donnée sur le reste du réseau. Ce score est le nombre d'institution subissant des pertes dépassant $10\% ^2$ de leurs capitaux propres initiaux.
- La *fragilité systémique* est l'exposition d'une institution aux défauts des autres institutions. Ce score est le nombre d'institutions dont le défaut engendre des pertes supérieurs à 10% des capitaux propres initiaux.

2. Le seuil de 10% est arbitraire.

Importance systémique et fragilité systémique



Outline

- 1 Contexte
- 2 Réseau financier français
- 3 Structure des interconnexions
- 4 Tests de résilience en réseau
- 5 Perspectives

Bilan

L'enjeu est de proposer des outils permettant de répondre aux attentes politiques des régulateurs :

- Assurer la stabilité financière nécessite des outils d'évaluation du risque de contagion (monitoring).
- La régulation peut intervenir sur la structure (par exemple, en imposant une limite sur les expositions) mais l'objectif final est la résilience. Il faut donc comprendre comment structure et résilience interagissent.

Pour la dimension interconnexion, trois résultats généraux émergent :

- Les interconnexions entre institutions ne sont *a priori* ni négatives ni positives.
- Une mesure d'interconnectivité est individuelle mais dépend du système considéré.
- Il est difficile en pratique de distinguer complètement taille et interconnectivité.

Perspectives

Malgré le nombre de travaux, il existe beaucoup de défis, plus ou moins connexes, à relever :

- données : intégration du projet LEI, techniques d'imputations d'exposition bilatérale, combinaison de source de données (projet Data Gaps)...
- identification de structure : quels réseaux types ? quelle procédure de sélection ? quelle efficacité informatique ? approche topologique/théorie des jeux...
- modélisation de la contagion : quels canaux modéliser ? quels comportements intégrer ?
- critère : minimiser la probabilité de défaut ? maximiser le volume de crédit ?

Merci de votre attention.

Perspectives

Malgré le nombre de travaux, il existe beaucoup de défis, plus ou moins connexes, à relever :

- données : intégration du projet LEI, techniques d'imputations d'exposition bilatérale, combinaison de source de données (projet Data Gaps)...
- identification de structure : quels réseaux types ? quelle procédure de sélection ? quelle efficacité informatique ? approche topologique/théorie des jeux...
- modélisation de la contagion : quels canaux modéliser ? quels comportements intégrer ?
- critère : minimiser la probabilité de défaut ? maximiser le volume de crédit ?

Merci de votre attention.