

# Les échanges industriels entre les pays du bassin méditerranéen

## application d'un nouvel algorithme de *clustering* sur données de flux

<b>Didier Lebert</b>	*,**	didier.lebert@u-psud.fr
<b>Hafida El Younsi</b>	*	elyounsihafida@yahoo.fr
<b>Jérôme Gallo</b>	***	Jerome.Gallo@escdijon.eu
<b>Fabrice Lequeux</b>	**	fabrice.lebert@u-psud.fr
<b>Eric Zyla</b>	*	edecopo@univ-paris1.fr

\* CES – Matisse, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 106-112, boulevard de l'Hôpital, F-75013 Paris

\*\* ADIS, Faculté Jean-Monnet, Université Paris-Sud 11, 54, boulevard Desgranges, F-92331 Sceaux cedex

\*\*\* Groupe ESC Dijon Bourgogne, 29, rue Sambin - BP 50608, F-21006 Dijon

Colloque International

## Ouverture et émergence en Méditerranée

Rabat

17-18 octobre 2008



### Introduction

L'identification de clusters d'échanges internationaux constitue un enjeu crucial pour représenter et interpréter la dynamique de la division internationale du travail et pour fonder des politiques économiques nationales et transnationales promouvant l'innovation et le développement.

Nous présentons, dans cet article, un nouvel algorithme permettant d'identifier ces clusters à partir de flux d'échange orientés et pondérés. Cet algorithme est basé sur la théorie des graphes d'influence (TGI), dont l'un des résultats essentiels est que la valeur du déterminant d'une structure d'échange (représentée par des matrices de Leontief ou de Ghosh) est fonction de la diffusion des chocs extérieurs à travers cette structure. Toute topologie d'échange admet des bornes à la valeur de ce déterminant, et l'intervalle entre ces bornes permet de caractériser la structure d'échange selon son degré d'autarcie, de dépendance, d'interdépendance et d'hétéro-activité. Nous sommes donc ici partisans d'une démarche structurale plutôt que statistique pour identifier les clusters.

Comme dans l'usage des techniques input-output, des orientations « chocs offre » et « chocs de demande » peuvent être retenues. Dans chacun de ces cas, les matrices de Leontief et de Ghosh possèdent des caractéristiques topologiques identiques, en termes absolus (multiplicateurs) ou relatifs (élasticités) en fonction de l'orientation choisie.

L'algorithme est appliqué à l'étude des flux commerciaux intra-branche entre 17 pays du bassin méditerranéen sur 28 branches industrielles pour les années 1995-2004 (voir annexe), à partir des données de la base du CEPII « Commerce et Production » (CP). Le niveau d'agrégation des données ne permet pas de trancher dans les débats actuels concernant la nature des échanges intra-branche entre pays aux niveaux de développement hétérogènes (voir pour une synthèse Balboni, 2006). De même, il n'est pas question dans cet article d'expliquer l'appartenance d'un pays, pour une branche donnée, à tel ou tel cluster, ni d'étudier la dynamique d'appartenance sur les 10 ans de données en exploitant des techniques économétriques. L'objectif est simplement de dresser une cartographie méditerranéenne de ces échanges intra-branche, en montrant le caractère peu contre intuitif de la plupart des résultats obtenus et en insistant sur quelques caractéristiques saillantes ; quitte à affiner plus tard cette étude à partir de données moins agrégées et en usant de l'économétrie adéquate.

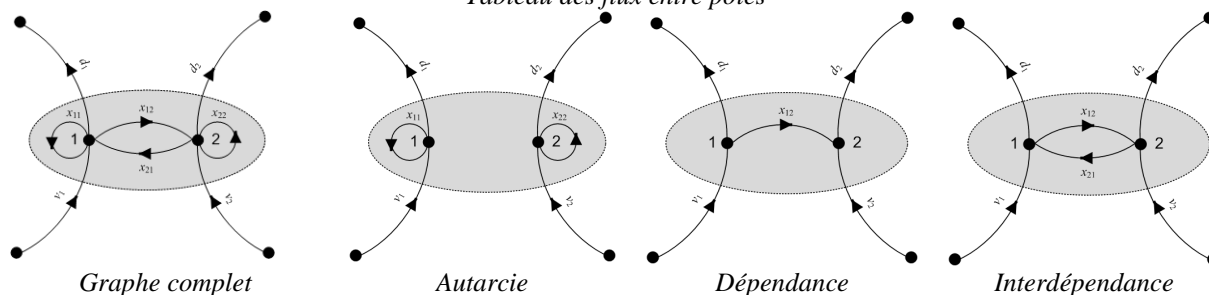
### Brève introduction à la théorie des graphes d'influence

A partir des outils mathématiques de la théorie des graphes, la TGI (cf. notamment Lantner, 1974) se donne pour objectifs de quantifier l'influence des pôles dans une structure d'échange en fonction de la répercussion des chocs exogènes localisés qu'elle subit, et de hiérarchiser ces pôles en fonction de cette quantification ; en d'autres termes, elle propose des mesures originales de centralité, mesures qui ont pour principale caractéristique de prendre en compte l'ensemble des cheminements, directs et indirects, et l'ensemble des pondérations qui lient entre eux les pôles de la structure.

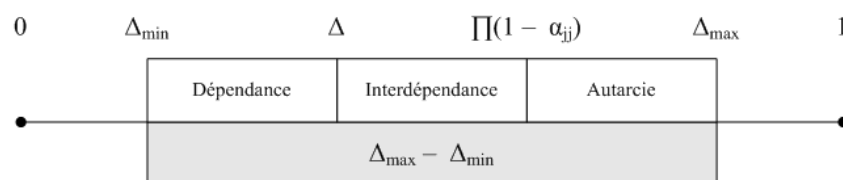
Elle met également en évidence une décomposition structurale globale des effets imbriqués d'influence des pôles. Trois composantes essentielles entrent dans cette décomposition. Les schémas suivants, partant d'une matrice de flux simplifiée, permettent d'illustrer ces différentes composantes.

	1	2	D	X
1	x11	x12	d1	X1
2	x21	x22	d2	X2
V	v1	v2		
X	X1	X2		

Tableau des flux entre pôles



L'un des résultats essentiels de la TGI est que cette décomposition structurale est lisible via l'étude de la valeur du déterminant de la structure d'échange (Leontief ou Ghosh). Elle montre que la valeur de ce déterminant est bornée inférieurement et supérieurement ; les intervalles entre ces bornes et la valeur du déterminant définissent les indicateurs structuraux (topologiques) illustrés dans le schéma précédent ; ces indicateurs sont significatifs quelles que soient la taille, la densité et la connexité de la structure étudiée. La valeur de ces différents intervalles est normalisée selon la procédure reproduite dans le schéma suivant (cas « offre dominante » au niveau de la notation).



La TGI montre enfin que les analyses « offre dominante » et « demande dominante » que l'analyse input-output distingue fortement procèdent en fait d'une étude de la centralité des pôles en termes absolus (multiplicateurs) ou en termes relatifs (élasticités) d'une même réalité topologique.

### Algorithme

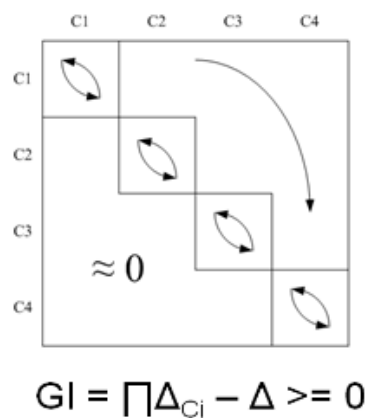
A la façon de Girvan et Newman (2001) et Leicht et Newman (2007), nous élaborons l'algorithme autour de la notion d'« intermédiarité des arcs », notion que nous étendons. Ces auteurs développent cette notion dans le cadre de graphes de relations orientées (Leicht et Newman) ou non orientées (Girvan et Newman) mais non pondérées. Ils définissent l'intermédiarité d'un arc comme « the number of shortest paths between pairs of vertices than run along it » (Girvan et Newman, 2001, p. 3). Nous étendons cette définition au cas des structures orientées et pondérées de la manière suivante : l'intermédiarité d'un arc correspond selon nous à l'ensemble « l'interdépendance relative » (aux relations de dépendance) qui transite par cet arc, en prenant en compte la somme des effets directs et indirects de la transmission de l'influence.

Les démarches de clustering sont similaires entre ces auteurs et nous : il s'agit d'éliminer itérativement des arcs composant le graphe initial à partir des mesures de leur intermédiarité. Cependant, nous procédons de manière inverse à ces auteurs en matière de sélection et de suppression itérative des arcs dans la structure ; plus précisément, à chaque itération, Newman et ses collègues suppriment l'arc à l'intermédiarité la plus forte. En ce qui nous concerne, nous supprimons à chaque itération l'arc à l'intermédiarité la plus faible. Cette notion d'intermédiarité des arcs est essentiellement appelée, notamment en physique statistique et en ingénierie, lorsqu'il s'agit d'étudier la robustesse d'une structure d'échange à l'attaque ciblée (suppression) de liaisons entre pôles. Ce que nous faisons alors consiste à identifier, à chaque itération, les arcs les moins susceptibles de perturber la circulation des chocs extérieurs (offre ou demande) dans la structure d'échange.

A chaque itération nous obtenons un graphe partiel amputé de l'arc qui supprime *relativement* (aux relations de dépendance) le moins d'interdépendance dans la structure. Sont mis en mémoire les différents indicateurs structuraux (autarcie, dépendance, etc.) et les ordres d'élasticité et de multiplication pour chaque graphe partiel sélectionné. A partir de ces indicateurs, les classes sont définies en reconstruisant étape par étape le graphe d'origine et en

déterminant le taux d'« interdépendance générale » expliqué (internalisé) par les groupements successifs.

La notion d'interdépendance générale est appelée pour mesurer la qualité de la partition obtenue. Elle est définie dans le schéma ci-dessous comme la soustraction entre le produit des déterminants des clusters identifiés et le déterminant global de la structure. L'objectif de l'algorithme est de concentrer (internaliser) les relations d'interdépendance à l'intérieur des clusters. Cette interdépendance générale est nécessairement nulle lorsque la structure ne comprend qu'un seul grand cluster (internalisation complète); et lorsque chaque pôle correspond à un cluster, la valeur de l'interdépendance générale est égale à la valeur de l'interdépendance structurale (i.e. l'interdépendance est localisée dans les relations entre les clusters, et non pas à l'intérieur de ceux-ci). Cette mesure sert en définitive à définir un « point de coupe » : il s'agit d'identifier la partition permettant d'expliquer / internaliser « suffisamment » l'interdépendance générale de la structure (voir illustrations).



La question est donc de savoir comment procéder aux regroupements de manière à concentrer l'interdépendance au sein des clusters et la dépendance entre les clusters. On se heurte ici à un problème complexe, de nature combinatoire ; l'algorithme, dont le pseudo-code est reproduit ci-dessous, est conçu pour simplifier le problème.

Pour une orientation déterminée (offre, demande) :

Pour tout arc m



Pour tout arc n



Suppression de l'arc n

Indicateurs structuraux

Suppression de l'arc qui maximise i / t

Outputs :

Indicateur structuraux des arcs sélectionnés

Ordres de multiplication et d'élasticité

Clustering :

Pour chaque itération candidate

Attribution d'un numéro de classe

Mesure de l'interdépendance générale

Elaboration d'un dendrogramme

En reprenant la typologie de Borgatti et Everett (2006) des mesures structurales de la centralité, les algorithmes d'analyse des flux d'échange utilisant un processus de sélection basé sur la mesure de l'intermédiarité (des arcs ou des pôles) permettent de mettre en évidence la « cohésion » qui existe entre les différents agents de la structure.

### **Illustration 1 : Flux d'échange d'emails**

Nous détaillons l'usage de l'algorithme pour qualifier le « pouvoir intra-organisationnel » à travers une structure d'échange de courriers électroniques (emails) dans une organisation intensive en information. Les données brutes utilisées ici proviennent d'une institution française d'enseignement supérieur en management, à l'automne 2005 (Gallo, 2006). Cette illustration présente plusieurs avantages :

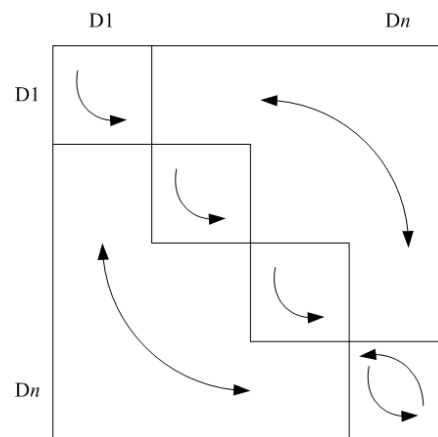
- Elle est tout d'abord cohérente avec une définition économique de l'information adaptée de Marschak (1960), à savoir « l'ensemble des messages associés à un canal ».
- Elle permet ensuite de quantifier le pouvoir intra-organisationnel à partir uniquement des flux, sans présager du contenu des messages.

L'étude de la technologie email et des flux d'information qu'elle engendre dans la structure organisationnelle semble particulièrement pertinente pour repérer la diversité des relations envisageables entre « autorité », à savoir la capacité d'un agent à prendre des décisions qui orientent les actions des autres, et « discrétion », à savoir la capacité d'un agent à contrôler l'usage des ressources mises à sa disposition et sur lesquelles il ne possède aucun droit de propriété. Ces flux permettent ainsi à de nombreux auteurs de repérer la topologie et la dynamique de « communautés de pratiques » au sein des organisations (Tyler et al., 2003), c'est-à-dire de relations intenses entre des individus qui poursuivent des objectifs similaires et qui possèdent une compréhension partagée de leur activité productive ; ils permettent, plus largement, de repérer la topologie et la dynamique de réseaux de collaboration et d'échange de connaissances (Wellman, 2001). Autrement dit, ces flux constituent un moyen privilégié pour identifier les construits de coopération et de dominance qui modèlent et traversent les structures sociales. Garton et Wellman (1995), à travers une large revue de littérature sur l'impact des courriels dans les organisations, synthétisent ainsi les particularités de cette technologie de communication : les dynamiques sociales et cognitives qu'elle impulse résume la nature aussi bien de l'activité productive, des perceptions des utilisateurs quant aux capacités de la technologie à répondre à leurs besoins, des relations interpersonnelles et les structures organisationnelles (formelles et informelles) de pouvoir.

Ces études, qui mobilisent des mesures traditionnelles de centralité utilisées en sociologie des réseaux (pour une synthèse, voir Borgatti et Everett, 2006), aboutissent à des résultats qui reflètent la diversité des articulations entre autorité et discrétion : alors que Sproull et Kiesler (1986) constatent que la technologie email contribue à réduire les distances entre les membres de l'organisation en court-circuitant les relations d'autorité formelles et en constituant des coteries transversales, Tyler et al. (2003) trouvent que la structure d'échange de courriels dans l'organisation qu'ils étudient calque en grande partie la structure formelle, et les réseaux transversaux qu'ils identifient se superposent pour la plupart à des projets impulsés par la direction.

L'étude de Gallo (2006), de ce point de vue, identifie, via les flux de mails, les structures de dépendance / interdépendance au sein et entre les départements de recherche de l'école de management. Utilisant la théorie des graphes d'influence, il met en évidence le fait que les relations d'autorité restent prégnantes au sein des départements, à l'exception d'un seul (le

département « H »), et que les relations de discrétion sont fécondes entre les départements.



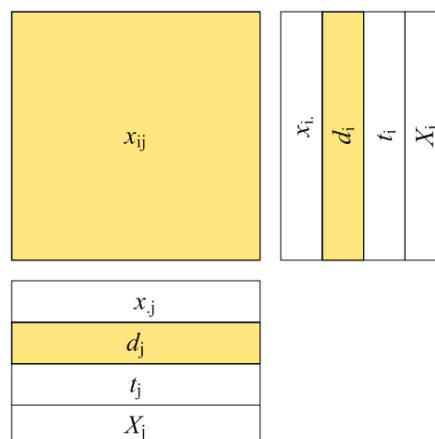
Nous utilisons la même base de données d'échange d'emails que Gallo. Au lieu de définir a priori la frontière des interactions (les départements), nous étudions les flux au sein de la structure globale des enseignants-chercheurs de l'école.

La structure des données brutes est reproduite dans le graphique suivant. Les parties grisées du graphique correspondent aux données disponibles, à savoir :

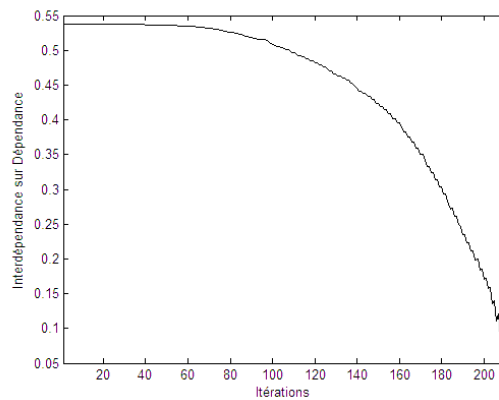
- L'intensité des échanges d'emails individuels ( $x_{ij}$  : quantité d'emails envoyés par l'individu  $i$  à l'individu  $j$ ).
- Les quantités globales d'emails reçus et envoyés par les individus, en provenance ou à destination de la structure et à l'extérieur de celle-ci ( $d_j$  pour les messages reçus,  $d_i$  pour les messages envoyés).

Les autres composantes sont construites par l'algorithme dans une phase d'initialisation :

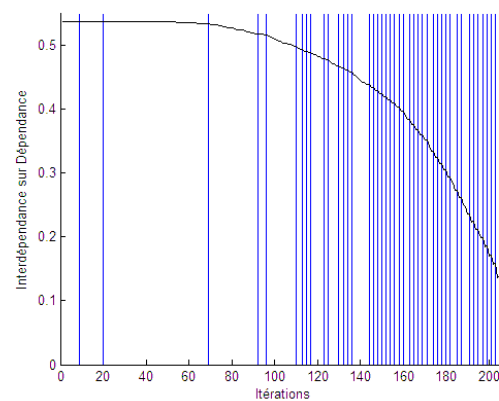
- Les  $x_{i.}$  et les  $x_{.j}$  correspondent respectivement à la somme des emails reçus et envoyés aux membres de la structure (sommés en ligne et en colonne des  $x_{ij}$ ).
- Les  $t_i$  et  $t_j$  prennent en compte deux éléments : d'une part, ils recensent l'ensemble des ressources propres des membres que ceux-ci importent ou exportent de la structure ; d'autre part, ils intègrent les « transferts » (sens similaire à un tableau d'échange interindustriel en Comptabilité Nationale), et ainsi permettent d'obtenir l'égalité des marges  $X_i$  et  $X_j$ , marges à partir desquelles sont définis l'équivalent des coefficients techniques ( $x_{ij} / X_j$ ) et des coefficients de débouchés ( $x_{ij} / X_i$ ).



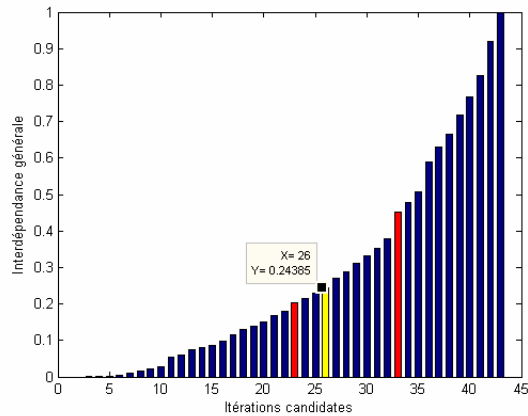
L'application de l'algorithme conduit, à chaque itération, à supprimer l'arc qui permet de maximiser le ratio interdépendance sur dépendance. La trajectoire de ce ratio sur les graphes partiels résultants de ces suppressions est reproduite dans le graphique suivant.



Cette trajectoire révèle un ensemble de maximums locaux qui traduisent le fait que la suppression d'un arc « casse » des relations d'interdépendance relative au sein du graphe partiel. Ces maximums locaux et les itérations correspondantes sont identifiés dans le graphique suivant.



A cette étape, l'ensemble des indicateurs structuraux et des ordres de multiplication et d'élasticité sont déterminés pour chaque graphe partiel. L'objectif est alors de reconstruire la structure complète du graphe en procédant à rebours aux regroupements mis en évidence par la procédure. Ces regroupements s'effectuent à chaque maximum local (« itérations candidates ») ; ils permettent d'expliquer une part croissante de l'interdépendance générale de la structure. Cet indicateur d'interdépendance est normalisé, de telle sorte que sa valeur soit comprise entre 0 et 1.



Se pose alors la question du choix du point de coupe, c'est-à-dire du choix de groupement tel qu'une part significative de l'interdépendance générale soit « internalisée » par celui-ci. Nous retenons un point de coupe tel qu'au moins 75% de l'interdépendance soit expliquée par le groupement (ici, à l'itération candidate 26, où un peu plus de 24% de l'interdépendance générale réside dans des groupements d'ordre supérieur).

Le tableau suivant regroupe l'ensemble des données nécessaires à la construction du dendrogramme représentant les « distances » entre chaque membre de la structure. La première ligne indique le numéro de l'itération candidate, la deuxième l'indicateur d'interdépendance générale normalisé, les autres les différents membres et leur appartenance à un cluster particulier par regroupements successifs (lecture du tableau de droite à gauche).

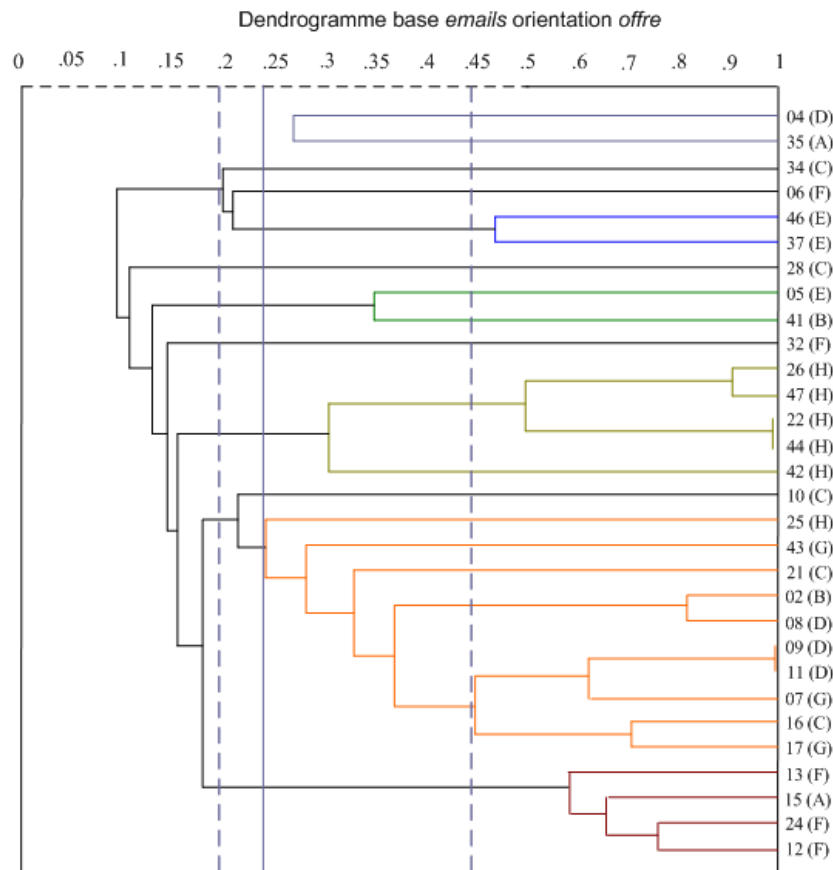
	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
1	191	193	195	197	199	201	203	205	207	
2	0.50788	0.58973	0.63035	0.6661	0.71712	0.76688	0.82734	0.91816	1	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0
10	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
11	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
14	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0
15	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0
18	4	4	4	4	4	4	4	0	0	0
19	4	4	4	4	4	4	4	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	5	5	5	5	5	4	3	2	2	2
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	5	6	6	6	6	5	4	3	0	0

Ce tableau indique, par exemple, qu'à l'itération candidate 199 environ 28% de l'interdépendance générale de la structure est expliquée par le regroupement d'une minorité de pôles au sein de 6 clusters « multi-membres », les autres membres constituant des clusters par eux-mêmes.

Un moyen pratique pour représenter ces groupements, pour un nombre moyen de pôles, consiste à passer par un dendrogramme, où la « distance » entre pôles est traduite par la part de l'interdépendance générale expliquée par leur regroupement (axe des abscisses). Le schéma suivant correspond au dendrogramme de la structure de l'école de management (numéro de l'individu et département de recherche d'appartenance entre parenthèses). Les



grands segments verticaux représentent différents points de coupe, celui en trait plein étant celui retenu (plus de 75% de l'interdépendance générale expliquée). Les différentes couleurs liant les membres de l'organisation entre eux correspondent chacun aux clusters composés de plus d'une personne à ce point de coupe. Par exemple, les individus 4 et 35, appartenant respectivement aux départements D et A, apparaissent être en interaction relativement étroite entre eux via l'échange d'emails.



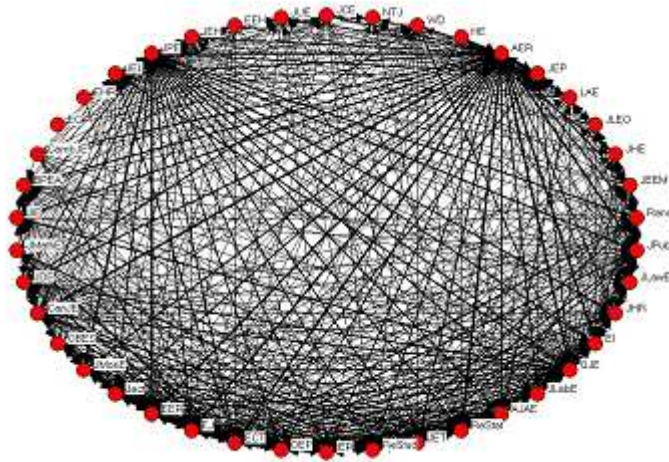
L'usage de la technique de clustering permet d'explicitier l'un des résultats saillant de Gallo (2006), en l'occurrence la forte interdépendance présente au sein du département H. Tous les autres groupements intègrent des individus de départements différents, ce qui explique, là aussi en prolongement des résultats de Gallo, la forte interdépendance de la structure d'échange au niveau global ; en définitive, la technique permet d'identifier précisément les coteries à l'œuvre et leur cohésion relative au-delà des frontières formelles des départements de recherche.

### **Illustration 2 : Citations croisées entre revues d'économie**

Copic et al. (2007), insatisfaits par les nombreux outils issus d'une longue tradition sociologique de mesure structurale de la centralité et de l'intermédiarité des pôles et des arcs au sein de structures d'échange, proposent une nouvelle gamme de procédures de clustering prenant en compte l'orientation et la pondération des arcs, procédures construites en utilisant des méthodes statistiques (estimation du maximum de vraisemblance). Pour le dire avec leurs mots, « as one might expect with such a variety of techniques, different methods can end up producing very different partitions from the same network data. This obviously means that the methods are identifying different things. Without some systematic study of them, it can be

difficult if not impossible to know which method to use for any given problem, or even to know exactly what the resulting community structure means. Although the algorithms are formal, clever, and at times complex, identifying community structures is still more of an art than a science » (p. 3).

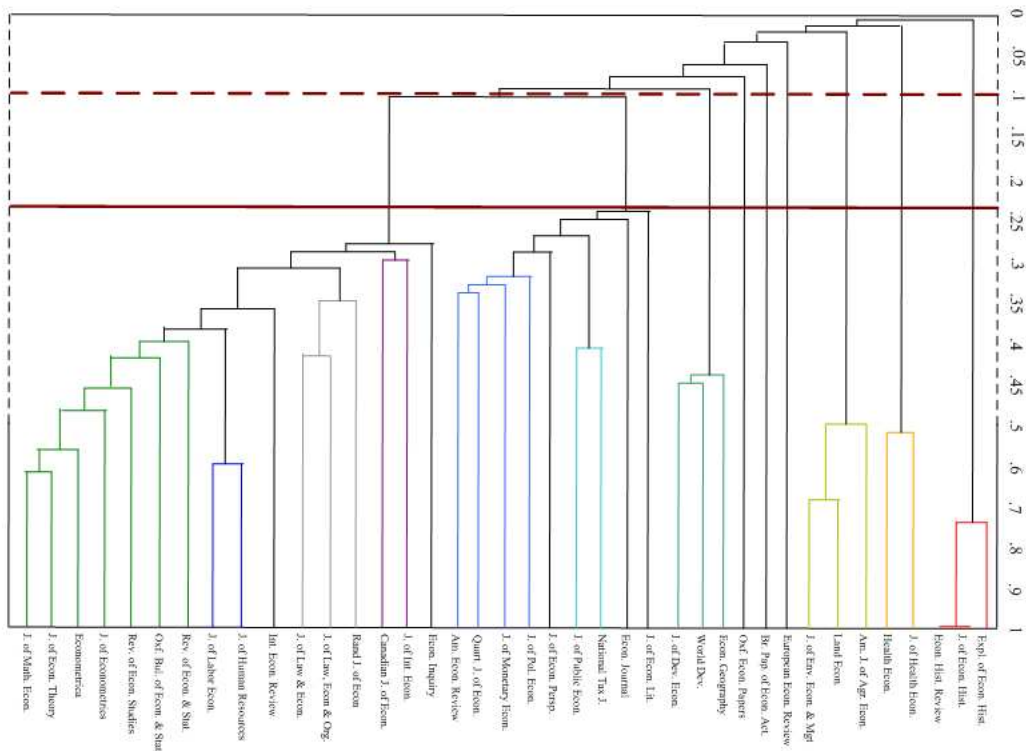
Les techniques mises au point par ces auteurs sont testées sur la base de co-citations de revues d'économie utilisée par Pieters et Baumgartner (2002). Dans le graphique suivant, une représentation du réseau de citations entre cet ensemble de revues. L'épaisseur des arcs traduit l'intensité des citations croisées entre revues.



L'usage de la technique statistique de clustering par Copic et al. (2007) se heurte au problème de la complexité combinatoire de l'exercice de groupement. Par le biais d'une technique simplifiée, les auteurs aboutissent à la partition reproduite dans le tableau suivant. Où l'on repère sans difficulté les caractéristiques clés de chaque cluster. Le premier concentre les revues généralistes nord-américaines, le second des revues d'économie quantitative, le troisième des revues d'économie du droit, le quatrième d'histoire économique, le cinquième des revues généralistes britanniques, etc. Cependant, un nombre relativement important de revues, étant donnée la taille de l'échantillon, ne sont pas classées, ou plus précisément constituent une classe à elles-seules.

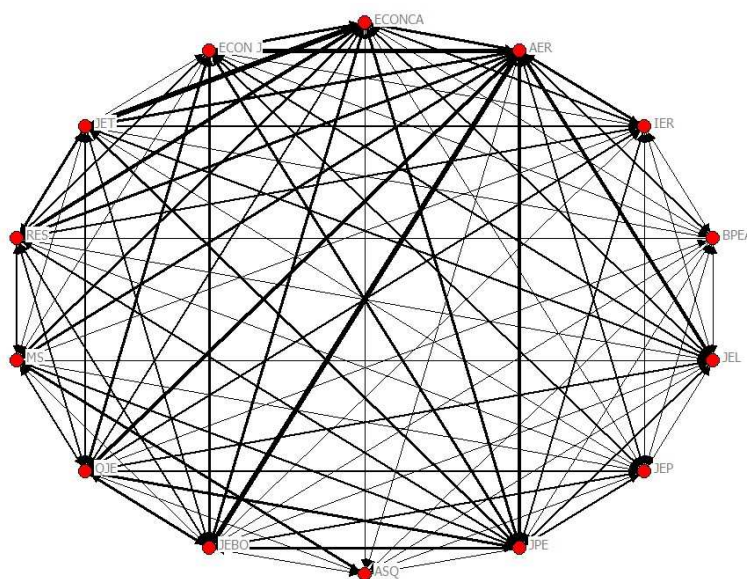
L'utilisation de l'algorithme basé sur les indicateurs structuraux de la théorie des graphes d'influence permet de définir de manière aisée le point de coupe (l'explication de la baisse de l'interdépendance générale entre les itérations candidates 10 et 9 repose sur le groupement entre deux gros clusters déjà constitués, comme le dendrogramme de la page suivante le met bien en évidence). Là encore, plus de 75% de l'interdépendance générale est expliquée à l'itération candidate 10.

American Economic Review (AER)
Brookings Papers of Economic Activity (BPEA)
Canadian Journal of Economics (CJE)
European Economic Review (EER)
Journal of Economic Literature (JEL)
Journal of Economic Perspectives (JEP)
Journal of Monetary Economics (JME)
Journal of Political Economy (JPE)
Quarterly Journal of Economics (QJE)
Econometrica (E)
International Economic Review (IER)
Journal of Econometrics (JE)
Journal of Economic Theory (JET)
Journal of Mathematical Economics (JME)
Rand (Bell) Journal of Economics (RJE)
Review of Economic Studies (RES)
Economic Inquiry (EI)
Journal of Law and Economics (JLE2)
Journal of Law, Economics and Organization (JLEO)
Economic History Review (EHR)
Exploration of Economic History (EEH)
Journal of Economic History (JEH)
Cambridge Journal of Economics (CJE)
Economic Journal (EJ)
Oxford Economic Papers (OEP)
Journal of Human Resources (JHR)
Journal of Labor Economics (JLE)
Journal of Environmental Economics and Management (JEEM)
Land Economics (LAE)
World Development (WD)
Review of Economics and Statistics (RES2)
Oxford Bulletin of Economics and Statistics (OBES)
National Tax Journal (NTJ)
Journal of Urban Economics (JUE)
Journal of Public Economics (JPE2)
Journal of International Economics (JIE)
Journal of Health Economics (JHE)
Journal of Development Economics (JDE)
Journal of Comparative Economics (JCE)
Health Economics (HE)
Economic Geography (EG)
American Journal of Agricultural Economics (AJAE)

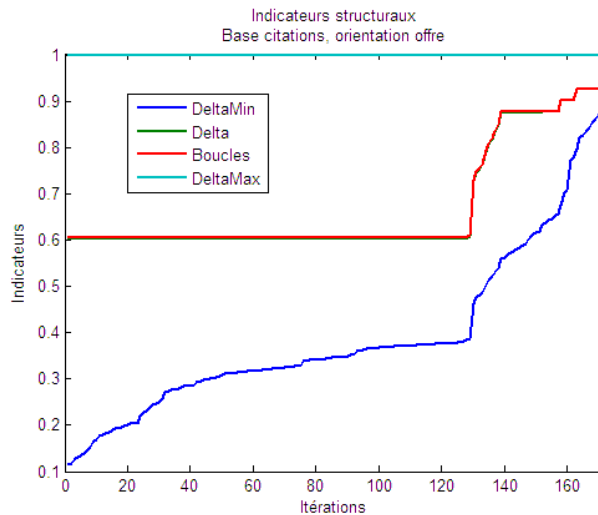


Le dendrogramme indique, en couleur, les différents sous-champs disciplinaires des clusters et sous-clusters identifiés. Où l'on retrouve l'histoire économique, qui apparaît être le sous-champ le plus cohésif, l'économie du développement, les revues généralistes, l'économie du travail, l'économie quantitative. Mais les résultats semblent plus fins que ceux obtenus par Copic et al. (2007). En effet, de nouveaux sous-champs apparaissent (économie de la santé, économie publique), d'autres s'étoffent (économie du développement, économie quantitative). La césure entre revues généralistes nord-américaines et britanniques s'estompe. De manière générale, le nombre de revues isolées (constituant un cluster à elles-seules) diminue de manière importante, et les nouvelles catégories ne semblent pas contre intuitives.

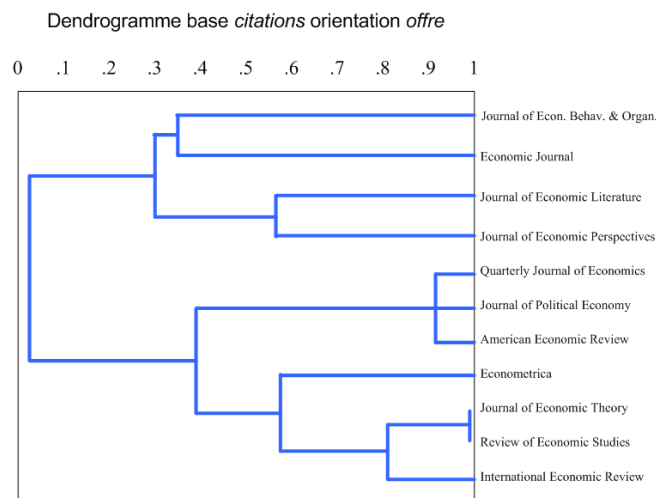
Nous avons appliqué l'algorithme sur une base restreinte de revues d'économie et de gestion (5 et 4 « étoiles », rubrique « Revues généralistes », dans le classement en usage en 2005 de la section 37 du CNRS [« Economie et gestion »] en France). Cette application permet de mettre en lumière certaines caractéristiques et limites de l'usage de l'algorithme. Les données sont issues de la base *Journal Citation Reports – ISI Web of Knowledge* pour l'année 2004 ; 14 revues sont prises en compte (i.e. l'ensemble des revues 5 et 4 étoiles généralistes), dont deux grandes revues de gestion : *Administrative Science Quarterly* et *Management Science*. Le graphique suivant indique le sens des relations et l'épaisseur des liens indique leur intensité.



Le graphique suivant indique l'évolution de la valeur des indicateurs structuraux (autarcie, dépendance, interdépendance, hétéro-activité) au cours du processus de sélection. Comme on le remarque aisément, la hausse quasi-continue du ratio interdépendance sur dépendance au cours du processus de sélection n'est liée qu'à la suppression progressive des relations de dépendance (voir, dans la section sur la TGI, la manière dont cet indicateur est calculé), alors qu'en valeur absolue l'interdépendance reste extrêmement faible (les courbes « Delta » et « Boucles » sont presque confondues).



Le dendrogramme correspondant n'est néanmoins pas contre intuitif. Cependant, les deux revues de gestion n'y apparaissent pas, ainsi que les *Brookings Papers on Economic Activity* (BPEA). Cela signifie que leur regroupement s'effectue « sur la gauche » du dendrogramme, en n'expliquant qu'une part très marginale de l'interdépendance générale. Loin d'être selon nous un handicap de la méthode, ce résultat indique, à partir d'une structure définie de manière arbitraire, les frontières pertinentes de la structure à étudier.



### Application : Les échanges intra-branche dans l'espace économique méditerranéen

L'algorithme a été appliqué sur les données de la base CP pour les années 1995 à 2004, pour 17 pays et 28 branches industrielles. Deux spécifications ont été retenues : la première considère l'espace économique européen comme un espace fermé au reste des échanges internationaux ; la deuxième intègre les échanges intra-méditerranéens dans l'ensemble des échanges internationaux de ces pays. Ces deux spécifications se traduisent par une différence dans la valeur des marges des tableaux d'échange, donc dans la valeur des pondérations des arcs dans les graphes. La spécification « ouverte » relativise le poids d'un pays dans ses échanges intra-méditerranéens par l'importance de ses échanges hors méditerranée.

Nous obtenons ainsi 560 tableaux de résultats (28 branches x 10 années x 2 spécifications). Chacun de ces tableaux nous permet d'identifier des clusters spécifiques et des hiérarchies

entre pays reposant sur la mesure d'une « intermédiation des pôles ». Cette intermédiation est calculée en rapportant le déterminant général de structure d'échange au déterminant du sous-graphe ne comportant pas le pôle à évaluer (i.e. en supprimant l'ensemble des arcs entrant ou sortant de ce pôle). Le déterminant de ce sous-graphe correspond simplement au cofacteur d'indice du pays évalué.

Les tableaux suivants synthétisent quelques résultats saillants de l'étude (clusters et hiérarchie d'intermédiation). Pour davantage de résultats, il est possible de s'adresser au premier auteur (données et traitements sous *Matlab*). Nous nous intéressons tout d'abord à la situation de l'industrie agro-alimentaire, industrie qui synthétise bon nombre de caractéristiques relationnelles des autres industries.

Hiérarchie (intermédiation) des pôles (ISIC 311, « Industries agro-alimentaires »)

0,7438 'FRA'	0,8177 'FRA'	0,9706 'FRA'	0,97926 'FRA'
0,69005 'ITA'	0,74257 'ITA'	0,96486 'ITA'	0,97323 'ESP'
0,63115 'ESP'	0,71228 'ESP'	0,96134 'ESP'	0,96961 'ITA'
0,54099 'SVN'	0,49356 'GRC'	0,95863 'SVN'	0,94806 'HRV'
0,54032 'HRV'	0,48932 'HRV'	0,95854 'HRV'	0,94792 'SVN'
0,51545 'GRC'	0,48777 'SVN'	0,94756 'GRC'	0,94695 'GRC'
0,47393 'TUR'	0,48043 'TUR'	0,9464 'TUN'	0,9455 'MAR'
0,46675 'MAR'	0,46925 'MAR'	0,94445 'MAR'	0,94517 'TUN'
0,46532 'TUN'	0,46797 'SYR'	0,9442 'TUR'	0,94476 'TUR'
0,46272 'ISR'	0,46609 'TUN'	0,94353 'LBY'	0,94457 'SYR'
0,45776 'EGY'	0,46536 'ISR'	0,94303 'SYR'	0,94448 'CYP'
0,45729 'SYR'	0,46492 'EGY'	0,94286 'ISR'	0,94428 'LBN'
0,45501 'LBY'	0,46332 'LBN'	0,94277 'CYP'	0,94382 'EGY'
0,45495 'CYP'	0,46256 'CYP'	0,94274 'EGY'	0,94354 'ISR'
0,45309 'DZA'	0,45774 'DZA'	0,94271 'DZA'	0,94331 'LBY'
0,45269 'LBN'	0,45661 'LBY'	0,94259 'LBN'	0,9433 'DZA'
0,45206 'MLT'	0,4561 'MLT'	0,94254 'MLT'	0,94317 'MLT'
<i>1995, sp. « fermée »</i>	<i>2004, sp. « fermée »</i>	<i>1995, sp. « ouverte »</i>	<i>2004, sp. « ouverte »</i>

Le temps et l'ouverture remettent en définitive, pour cette industrie, relativement peu en cause les hiérarchies d'intermédiation des pôles. Une claire césure nord-sud apparaît au sein de cette hiérarchie (relativement « forte » intermédiation des pays de l'Union Européenne et des Balkans).

en millions de \$ courants

	1995	%	1996	%	1997	%	1998	%	2000	%	2001	%	2002	%	2003	%	2004	%
<b>ISIC 311</b>	14244,95	8,32%	15041,40	8,32%	14050,43	7,88%	13841,29	7,19%	12290,03	6,23%	12773,80	6,57%	14094,33	6,75%	17540,22	6,83%	20132,79	6,66%
<b>ISIC 313</b>	1183,19	0,69%	1078,12	0,60%	1004,08	0,56%	1139,45	0,59%	1030,99	0,52%	1065,93	0,55%	1317,97	0,63%	1590,49	0,62%	1828,74	0,61%
<b>ISIC 314</b>	159,11	0,09%	229,97	0,13%	280,82	0,16%	296,38	0,15%	387,30	0,20%	276,04	0,14%	238,41	0,11%	263,64	0,10%	357,78	0,12%
<b>ISIC 321</b>	9542,38	5,58%	9660,84	5,34%	9953,68	5,59%	11133,18	5,79%	10412,06	5,28%	10915,11	5,61%	11525,07	5,52%	13382,40	5,21%	14823,98	4,91%
<b>ISIC 322</b>	6415,38	3,75%	6865,22	3,80%	6649,57	3,73%	7431,57	3,86%	6627,84	3,36%	7037,25	3,62%	7940,66	3,81%	9526,42	3,71%	10825,76	3,58%
<b>ISIC 323</b>	1696,07	0,99%	1882,60	1,04%	1837,86	1,03%	1742,11	0,91%	1817,93	0,92%	2032,93	1,05%	2072,62	0,99%	2282,60	0,89%	2529,12	0,84%
<b>ISIC 324</b>	2367,94	1,38%	2468,79	1,37%	2455,93	1,38%	2474,52	1,29%	2311,24	1,17%	2354,82	1,21%	2642,61	1,27%	3146,75	1,22%	3349,70	1,11%
<b>ISIC 331</b>	1126,07	0,66%	1153,58	0,64%	1113,91	0,63%	1203,55	0,63%	1171,62	0,59%	1185,32	0,61%	1300,01	0,62%	1518,26	0,59%	1726,38	0,57%
<b>ISIC 332</b>	225,37	0,13%	233,51	0,13%	222,02	0,12%	246,38	0,13%	288,73	0,15%	279,91	0,14%	280,95	0,13%	334,39	0,13%	371,78	0,12%
<b>ISIC 341</b>	4375,42	2,56%	3952,01	2,19%	3903,71	2,19%	4133,99	2,15%	4591,19	2,33%	4441,10	2,28%	4733,86	2,27%	5724,91	2,23%	6441,30	2,13%
<b>ISIC 342</b>	1186,85	0,69%	1263,19	0,70%	1137,22	0,64%	1214,86	0,63%	1194,52	0,61%	1185,66	0,61%	1339,24	0,64%	1624,29	0,63%	1881,53	0,62%
<b>ISIC 351</b>	12583,62	7,35%	12412,59	6,86%	12340,74	6,93%	12233,59	6,36%	12449,89	6,31%	11689,12	6,01%	12445,01	5,96%	15283,75	5,95%	18071,97	5,98%
<b>ISIC 352</b>	8478,96	4,95%	8957,84	4,95%	9448,60	5,30%	10304,75	5,36%	10315,09	5,23%	10994,62	5,65%	12573,25	6,02%	16015,51	6,23%	19188,88	6,35%
<b>ISIC 353</b>	5399,32	3,15%	6296,33	3,48%	6388,78	3,59%	4979,89	2,59%	10511,56	5,33%	9918,15	5,10%	8963,93	4,30%	11911,81	4,64%	13845,57	4,58%
<b>ISIC 354</b>	76,07	0,04%	89,18	0,05%	86,99	0,05%	70,04	0,04%	85,25	0,04%	79,47	0,04%	69,33	0,03%	95,00	0,04%	169,61	0,06%
<b>ISIC 355</b>	2629,51	1,54%	2786,87	1,54%	2714,39	1,52%	3046,74	1,58%	2551,60	1,29%	2507,39	1,29%	2672,04	1,28%	3239,64	1,26%	3848,56	1,27%
<b>ISIC 356</b>	3771,12	2,20%	3966,67	2,19%	3908,32	2,19%	4295,92	2,23%	4416,84	2,24%	4453,43	2,29%	5011,59	2,40%	6121,09	2,38%	7262,55	2,40%
<b>ISIC 361</b>	431,91	0,25%	454,17	0,25%	420,33	0,24%	440,85	0,23%	409,96	0,21%	410,56	0,21%	441,36	0,21%	503,18	0,20%	583,01	0,19%
<b>ISIC 362</b>	1831,82	1,07%	1884,09	1,04%	1842,80	1,03%	1939,66	1,01%	1749,18	0,89%	1813,70	0,93%	1967,26	0,94%	2238,18	0,87%	2602,69	0,86%
<b>ISIC 369</b>	2796,92	1,63%	2940,60	1,63%	2761,21	1,55%	2740,58	1,42%	2682,76	1,36%	2756,04	1,42%	3027,36	1,45%	3690,99	1,44%	4296,94	1,42%
<b>ISIC 371</b>	6911,10	4,04%	7080,68	3,92%	6809,89	3,82%	6996,08	3,64%	6763,77	3,43%	6839,53	3,52%	7425,21	3,56%	9982,10	3,89%	14131,69	4,68%
<b>ISIC 372</b>	4071,26	2,38%	3952,94	2,19%	4142,79	2,32%	4061,70	2,11%	4288,43	2,18%	4125,91	2,12%	4252,92	2,04%	4879,52	1,90%	6216,88	2,06%
<b>ISIC 381</b>	7955,01	4,65%	8620,06	4,77%	8225,36	4,62%	9034,06	4,70%	8858,46	4,49%	8829,45	4,54%	9729,73	4,66%	12006,28	4,67%	14642,23	4,85%
<b>ISIC 382</b>	19219,74	11,23%	21850,59	12,08%	20988,75	11,78%	22853,13	11,88%	21158,97	10,73%	20826,06	10,71%	21910,52	10,50%	26172,10	10,19%	30889,89	10,22%
<b>ISIC 383</b>	15532,55	9,08%	15861,96	8,77%	15861,16	8,90%	18881,14	9,81%	18861,04	9,57%	18086,54	9,30%	18784,14	9,00%	22230,51	8,65%	26762,83	8,86%
<b>ISIC 384</b>	31650,32	18,49%	33961,86	18,78%	33964,04	19,06%	39831,17	20,70%	44166,71	22,40%	41594,00	21,39%	45521,40	21,81%	57697,52	22,46%	65891,02	21,81%
<b>ISIC 385</b>	3026,36	1,77%	3401,47	1,88%	3333,27	1,87%	3341,75	1,74%	3354,49	1,70%	3568,98	1,84%	3892,84	1,87%	4641,99	1,81%	5592,22	1,85%
<b>ISIC 390</b>	2266,07	1,32%	2489,29	1,38%	2350,72	1,32%	2490,93	1,29%	2409,37	1,22%	2423,81	1,25%	2511,48	1,20%	3243,47	1,26%	3837,61	1,27%
<b>Total</b>	<b>171154,40</b>		<b>180836,40</b>		<b>178197,36</b>		<b>192399,25</b>		<b>197156,82</b>		<b>194464,61</b>		<b>208685,11</b>		<b>256887,01</b>		<b>302103,00</b>	

**Montant des échanges intra-méditerranéens (données CEPII)**

En milliers de \$ courants

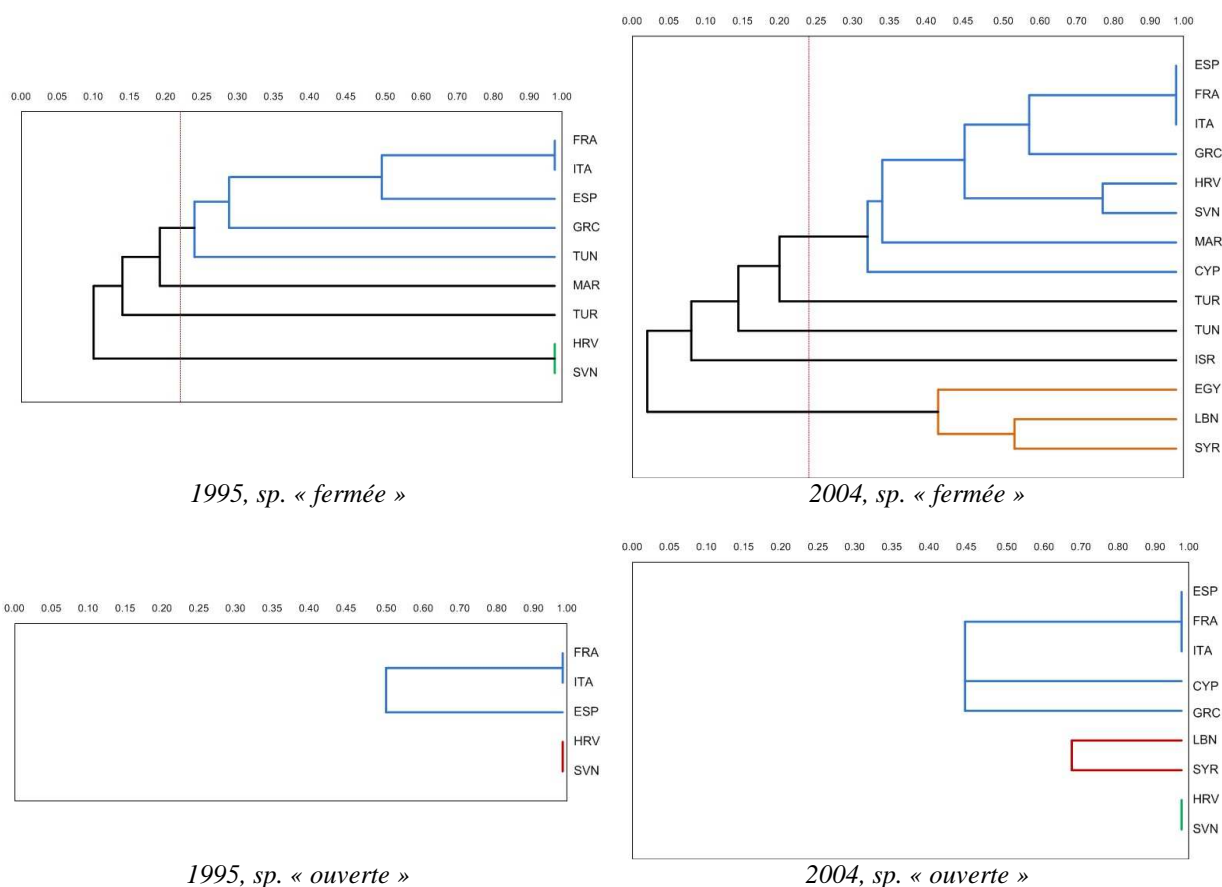
	1995		1996		1997		1998		1999	
	EXP	IMP	EXP	IMP	EXP	IMP	EXP	IMP	EXP	IMP
<b>CYP</b>	1297891,76	4365316,35	1617456,81	4517604,53	1302293,2	4365334,32	1252212,88	5476908,95	1255569,31	4507713,7
<b>DZA</b>	4062102,69	9505946,97	5044401,8	8058181,63	5165017,37	7625366,25	3472924,96	8779785,12	4445414,83	8360452,96
<b>EGY</b>	3372304,77	13481583,6	3209090,16	14722195,2	3628861,63	16744071,3	3395261,78	17952458,5	3348475,57	17585839,3
<b>ESP</b>	81120961,8	97020658,7	89584680,8	105036804	92141624,1	106760574	98902544,1	120218781	100824925	131144418
<b>FRA</b>	253386699	247117518	260531266	246448380	262452273	237223845	275307199	258260921	275496938	260024180
<b>GRC</b>	9190697,19	23443419,3	9567142,48	25066424	8921006,79	24571173	8970766,91	27820991,3	9094906,34	28933188,1
<b>HRV</b>	4530692,05	6291178,84	4589717,78	6729920,62	4291040,51	7879035,65	4806888,93	7557157,85	4498724,48	6747988,13
<b>ISR</b>	17798664	21734847,3	18733215,4	23437949,1	20420396,5	22433748,7	21756563,8	22317958,2	23620542,2	24391639,5
<b>ITA</b>	213875152	171393107	231845534	175935362	222158680	176629831	227961997	186844547	220052776	190517311
<b>LNB</b>	415653,082	4811474,16	522285,758	5075709,66	827657,371	7103421,91	786244,67	6664337,5	865863,578	5863791,33
<b>LBY</b>	1667392,64	3847165,2	1803231,26	4479312,61	1946944,2	4424567,59	1458301,13	3991392,71	1623307,19	3451073,04
<b>MAR</b>	5879189,08	7345934,22	5920217,58	7091229,17	5983931,69	6963340,06	6489994,51	8947815,17	6710523,29	9052217,29
<b>MLT</b>	2299201,45	3483490,25	2151703,39	3194805,07	1842559,13	3056556,56	2040589,78	3716252,39	2146303,08	3906619,19
<b>SVN</b>	8559038,5	8827249,42	8666876,1	9032211,01	8633655,72	8967648,22	9451675,55	9763832,97	8920838,04	9743375,24
<b>SYR</b>	543781,186	3512268,27	443243,769	3830914,11	665229,073	3344919,04	677458,953	3758050,97	730770,619	3405171,34
<b>TUN</b>	5214178,23	7014912,55	5342537,45	7176756,54	5506112,54	7481928,28	6020314,41	8170851,52	6098831,07	8143068,78
<b>TUR</b>	20104697,8	29999748,6	20789974,2	35819751,2	23284425,9	41074374,8	24426229,9	39852548,2	25189494,2	34729574,8

**Valeur du commerce international de l'ensemble des pays méditerranéens (données CEPII)**

	2000		2001		2002		2003		2004	
	EXP	IMP	EXP	IMP	EXP	IMP	EXP	IMP	EXP	IMP
<b>CYP</b>	1168658,77	4680325,51	1177261,15	5000705,93	1193363,64	5647914,88	1275232,7	6041458,74	1819083,2	7830209,63
<b>DZA</b>	8144340,47	8426629,48	6977929,42	9567164,02	5707566,57	11648153,1	6616847,67	13268118,9	7091491,32	17840000,7
<b>EGY</b>	4241802,95	17025695,7	4486047,93	15551904,1	5339424,07	14077939,7	6727399,65	14892000,9	8920076,89	18863463,1
<b>ESP</b>	102688168	130882379	102672254	133132179	111258020	142794659	137170042	183485835	162430264	221165385
<b>FRA</b>	270744961	267792562	274616784	260673271	287368023	270573314	335741929	320562300	385332415	381052419
<b>GRC</b>	9351774,99	26923787,2	9292164,9	25258040,1	10047298,2	28361502,6	12071218,8	39145453,7	13903802,7	47038028
<b>HRV</b>	4564011,2	6653224,09	4741528,42	7771498,16	4897423,47	9293145,35	5661303,37	12676763,3	7924558,48	14645532
<b>ISR</b>	29053610,7	27220212,1	27536434,8	25823579,7	27725761,4	24518260,1	28986918,1	26325557,4	33633280,8	31136517,2
<b>ITA</b>	221088244	198111866	225108249	196473186	235117034	207665579	274981265	246553060	325398351	292268259
<b>LNB</b>	956064,49	5957241,24	1047120,19	6896326,26	1235069,9	6020086,31	1786801,68	7477308,52	2105082,45	8777117,44
<b>LBY</b>	2315994,06	3161835,85	2009490,87	3630558,35	1867619,51	4608643,19	2221804,73	5206922,81	2653879	6545877,08
<b>MAR</b>	6905121,5	9119390,39	6996023,1	8647887,5	7627706,43	9869730,84	8767324,29	12718671,9	10256794,8	15040540,4
<b>MLT</b>	2677926,62	4603081,47	2611991,34	4161662,22	3146820,41	4150287,22	3519234,77	4701916,25	4187936,48	5624531,33
<b>SVN</b>	9142272,52	9882431,93	9657209,31	9783461,64	10825831,2	10653804,1	13310815,7	13152667,4	15676007,3	16331028,6
<b>SYR</b>	1055050,34	3268668,8	1379684,8	5311628,04	1576010,33	5463286,98	1820961,21	6319067,97	2266950,75	8267843,18
<b>TUN</b>	5925642,61	8260200,62	6611538,37	8830320,91	7043134,5	8790088,77	8236307,64	9932696,82	9554119,55	11940505,5
<b>TUR</b>	26045427,3	45229179,3	29604953,9	33798496,7	34776044,5	42323513,3	46380228,4	57006550,8	61707103,1	82844975,8



## Dendrogrammes (ISIC 311, « Industries agro-alimentaires », orientation « demande »)



Les dendrogrammes, quant à eux, apparaissent plus riches en enseignements. D'une part, sur toute la période une forte cohésion se maintient dans les échanges de l'industrie agro-alimentaire entre les deux pays des Balkans de la base CP (Croatie, Slovénie). Il est à noter que cette caractéristique vaut pour la plupart des branches industrielles (cf. infra), que ce soit en spécification « ouverte » ou « fermée ». Elle se subordonne cependant au cours de la période récente, dans une spécification « fermée » de l'analyse, à celle qui existe entre les principaux pays de l'Union Européenne de la base (France, Italie, Espagne), et ce bloc étendu a tendance à accentuer sa cohésion au détriment relatif de la Tunisie, du Maroc et de la Turquie. Il est à noter que se dégage un autre bloc fortement cohésif, regroupant le Liban, la Syrie et l'Égypte, bloc qui se maintient dans une spécification « ouverte » de l'espace économique méditerranéen (cette configuration se retrouve par exemple pour l'ISIC 332 [voir annexe pour les intitulés] et 341). Enfin, dans la configuration fermée, nous pouvons constater l'intégration poussée d'un bien plus grand nombre d'économies, seules l'Algérie, la Libye et Malte apparaissant comme périphériques dans cette branche industrielle.

Il est possible de procéder de la même manière pour les 27 autres branches et pour les années intermédiaires. Pour éviter une énumération fastidieuse, nous dégagons certains traits saillants de la base CP (en spécification « fermée ») sous forme de « faits stylisés » :

- Forte cohésion et stabilité des relations intra-branche des principaux pays méditerranéens de l'Union Européenne (France, Italie, Espagne) ;
- Cohésion qui reste forte mais qui tend à se subordonner au principaux pays de l'UE pour

- les pays des Balkans (Croatie, Slovénie), pour un grand nombre d'activités industrielles.
- Diversité des cohésions formant blocs impliquant Chypre, Grèce et Turquie (forte cohésion Chypre / Turquie dans la période récente pour l'ISIC 313, Chypre, Turquie, Grèce et Liban pour l'ISIC 314 en début de période d'étude et 342 dans la période récente, Chypre / Grèce pour l'ISIC 324, 356, 361, 362, 382, 385 et 390, Grèce / Turquie pour l'ISIC 331, etc.), voire Grèce / Syrie pour l'ISIC 353 et Liban / Chypre pour l'ISIC 369.
  - Parmi les pays du Maghreb, la relativement forte proximité subordonnée de la Tunisie et du Maroc, de manière quasi-systématique, avec le bloc des principaux pays de l'Union Européenne (ISIC 314, 321, 322, 323, 332, etc.).
  - Une proximité accentuée depuis la fin des années 1990 entre le Liban et la Syrie, et occasionnellement l'Egypte (on l'a vu pour l'ISIC 311, 332 et 341 pour ce qui concerne les cohésions incluant l'Egypte mais également, par exemple, pour les ISIC 352, 356, 361 et 369).

## Conclusion

La construction de l'algorithme de clustering sur données de flux présenté dans cet article repose sur l'un des enseignements essentiels de la TGI : dans toute structure d'échange, l'orientation des relations et leurs pondérations comptent. Par construction, les indicateurs structuraux qui modèlent la dynamique de sélection des arcs prennent en compte les influences directes et indirectes des pôles entre eux (i.e. intermédiées ou non par d'autres pôles, à travers l'ensemble des chemins les reliant). Cette dynamique de sélection repose sur le concept d'intermédiarité des arcs, notion à laquelle nous donnons un sens particulier : initialement construite pour repérer les arcs porteurs d'un maximum de chemins courts (géodésiques) reliant l'ensemble des pôles entre eux, nous l'étendons de telle manière à ce qu'elle prennent en compte, de façon relative aux relations de dépendance, l'ensemble de l'interdépendance supportée par les arcs.

Cet article a tenté de présenter de manière didactique une nouvelle gamme d'algorithmes permettant de repérer la cohésion entre agents dans une structure d'échange. Cette méthode structurale a selon nous plusieurs mérites :

- Elle enrichit les utilisations traditionnelles de la théorie des graphes d'influence portant sur des sous-structures définies *a priori*.
- Elle aboutit à des résultats non contrintuitifs et précis sur des bases *benchmark*.
- Elle permet, à partir de structures étendues, de délimiter les frontières pertinentes des sous-structures lorsque la base initiale se révèle être relativement disjointe.

Appliqué à l'étude du commerce intra-branche entre 17 pays du pourtour méditerranéen sur les années 1995-2004 et 28 branches industrielles, il permet de dégager un certain nombre de faits stylisés qu'il serait intéressant d'analyser à un niveau plus désagrégé et d'introduire dans une démarche d'analyse économétrique de la dynamique du commerce intra-branche entre pays de développements hétérogènes.

## Bibliographie

- BALBONI A. (2006), Cross-country technological differences as a determinant of vertical intraindustry trade: a theoretical model, *Économie Internationale* 106: 25-56.
- BORGATTI S.P., EVERETT M.G. (2006), A graph-theoretic framework for classifying centrality measures. *Social Networks* 28(4): 466-484.
- COPIC J., JACKSON M.O., KIRMAN A. (2007), Identifying community structures from network data via maximum likelihood methods, Department of Economics, Stanford University.
- GALLO J. (2006), *Information et pouvoir dans les organisations : un essai de quantification par la théorie des graphes d'influence*, Thèse de doctorat, Université Paris 1.
- GARTON L., WELLMAN B. (1995), Social impacts of electronic mails in organizations: a review of the research literature, in BURLESON B.R. (ed.), *Communication yearbook* #18, Sage.
- GIRVAN M., NEWMAN M.E.J. (2001), Community structure in social and biological networks, arXiv:cond-mat/0112110v1.
- LANTNER R. (1974), *Théorie de la dépendance économique*, Dunod, Paris.
- LEICHT E.A., NEWMAN M.E.J. (2007), Community structure in directed networks, arXiv:0709.4500v1 [physics.data-an].
- MARSCHAK J. (1960), Remarks on the economics of information, in Contributions to scientific research in management, UCLA, *Cowles Foundation Papers* #146.
- PIETERS F.G.M., BAUMGARTNER H. (2002), Who talks to whom? Intra- and interdisciplinary communication of economics journals, *Journal of Economic Literature*, 40(2):483-509.
- SPROULL L., KIESLER S. (1986), Reducing social context cues: electronic mails in organizational communications, *Management Science*, 32, pp. 1492-1512.
- TYLER J., WILKINSON D., HUBERMAN B.A. (2003), Email as spectroscopy: automated discovery of community structure within organizations, *HP Research Papers*.
- WELLMAN B. (2001), Computer networks as social networks, *Science*, 293, pp. 2031-2034.

## Annexe

	<b>Pays</b>	<b>Codes ISIC (3 chiffres)</b>
'CYP'	Chypre	311 Alimentation
'DZA'	Algérie	313 Boissons
'EGY'	Egypte	314 Tabac
'ESP'	Espagne	321 Textiles
'FRA'	France	322 Habillement
'GRC'	Grèce	323 Cuir
'HRV'	Croatie	324 Chaussures
'ISR'	Israël	331 Bois
'ITA'	Italie	332 Meubles
'LBN'	Liban	341 Papier
'LBY'	Libye	342 Imprimerie
'MAR'	Maroc	351 Chimie
'MLT'	Malte	352 Aut. Chimie
'SVN'	Slovénie	353 Pétrole
'SYR'	Syrie	354 Dérivés Pétrole
'TUN'	Tunisie	355 Caoutchouc
'TUR'	Turquie	356 Plastique
		361 Grès/Porcelaines
		362 Verre
		369 Aut. Non métalliques
		371 Fer/Acier
		372 Métaux non ferreux
		381 Pr. Métalliques
		382 Machines
		383 Machines électriques
		384 Transport
		385 Précision
		390 Aut. Manuf