

**Les échanges commerciaux euro-méditerranéens :
essai d'analyse structurale .**

Bernard Fustier

Professeur à l'Université de Corse,
CEMAFI (Université de Nice)

Résumé :

Considérant un ensemble de dix pays de l'espace euro-méditerranéen (auquel on ajoute les Etats-Unis et le « reste du monde »), on se propose de mesurer puis de représenter les affinités commerciales entre ces pays. La mesure des affinités est fondée sur une approche résiduelle, c'est-à-dire sur l'adoption d'une norme qui permet d'évaluer des échanges commerciaux sans affinités. Après avoir détecté les échanges situés au-dessus de la norme, les affinités sont représentées par un graphe. La théorie des graphes permet une analyse assez fine de la structure des échanges dans l'espace considéré.

Abstract :

Considering a set of ten countries belonging to the euro-mediterranean space (with USA and the « rest of the world »), we propose to measure, then to give a representation of commercial affinities between these countries. Affinities measures are grounded on a residual approach i.e on the definition of a norm giving exchanges flows values without affinities. After detecting exchanges flows values greater than the normal values, affinities are represented by a graph. Graphs theory allows a passably fine analysis of the exchanges structure in the considered space

Mots-clés : **commerce international, intégration, modèle de gravité, entropie, graphe, centralité.**

Keywords: **international trade, integration, gravity model, entropy, graph, centrality.**

Introduction.

Le système des échanges relatif à un ensemble de n zones est décrit par un tableau carré dont le terme général F_{ij} représente la valeur des exportations de la zone i vers la zone j :

	1	j	n			
1	F_{ij}			X_i		
:					:	
i				
:					:	
n						
	M_j			W		

Tableau 1: système des échanges.

Les zones peuvent être des pays ou/et des regroupements de pays. Il s'ensuit que F_{ii} représente la valeur du commerce intra-zone si la zone i est un bloc de pays et $F_{ii} = 0$ si la zone i est une zone mono-pays. Dans la colonne de marge, X_i désigne les exportations totales de la zone i et, dans la ligne de marge, M_j représente les importations totales de la zone j . Observons que $\sum_i X_i = \sum_j M_j = W$ où W est la valeur du commerce mondial : si l'espace des échanges ne recouvre pas la totalité de l'espace mondial, il conviendra d'identifier la $n^{\text{ème}}$ zone au « reste du monde » pour que la valeur totale des échanges coïncide avec celle du commerce mondial.

La mise en réseau des éléments du système pourrait s'effectuer en reliant les zones par des arcs orientés dans le sens des flux (à condition que ceux-ci soient non nuls). Une telle représentation se révélerait peu lisible et présenterait un intérêt très limité dans la mesure où elle ne donnerait aucune information sur les affinités qui pourraient éventuellement exister entre les partenaires commerciaux. Ce que l'on souhaite mettre en évidence dans ce papier, ce sont précisément les relations commerciales qui reposent sur de telles affinités et qui définissent la structure des échanges. Matérialisée par un graphe, cette structure sera nécessairement moins complexe que la représentation du réseau des échanges (l'arc orienté de i vers j sera représenté uniquement si le flux F_{ij} révèle une affinité entre les deux zones). La structure des échanges est donc une mise en réseau particulière des éléments du système, elle décrit la répartition géographique des échanges impliquant des affinités entre les partenaires commerciaux.

Les affinités commerciales entre pays sont influencées par de nombreux facteurs. La proximité géographique joue un rôle important en raison, tout d'abord, de son impact sur le coût des marchandises transportées et, en second lieu, parce qu'elle se trouve en étroite liaison avec d'autres formes de proximité (culturelle, institutionnelle...) qui favorisent la confiance réciproque entre partenaires. Une telle confiance n'exclut pas que, pour des motifs économiques différents, des pays voisins puissent entretenir des relations commerciales différentes avec des pays plus éloignés. Par exemple, la France préfère importer des bananes de son département d'outre-mer, la Martinique, et manifester « une répulsion » pour les bananes produites dans les petites républiques d'Amérique centrale (les « bananes dollars ») en imposant des quotas pour ces dernières. Inversement la préférence commerciale de l'Allemagne pour les « bananes dollars » se justifie par le coût relativement bas de ces dernières (environ 40% moins chères que les

bananes martiniquaises). Mais il arrive parfois que les motifs économiques cachent des motivations plus profondes : en 1993 l'Allemagne s'opposa très vivement à la Commission Européenne qui proposait d'étendre les quotas sur les « bananes dollars » à l'ensemble de la Communauté. Pourquoi une telle opposition qui risquait de déboucher sur une scission européenne ? Krugman et Obstfeld [1995, p.285] nous rappellent que la banane était considérée comme un bien de luxe par les allemands de l'Est et que la soudaine disponibilité de bananes (« dollars ») bon marché après la chute du mur de Berlin en fit un symbole de liberté ! On pourrait encore citer des exemples où les affinités commerciales sont commandées par des facteurs purement politiques ou par les intérêts d'un groupe particulier.

Fondée sur une gamme aussi étendue et diversifiée de facteurs, la notion d'affinité commerciale ne peut pas faire l'objet d'une définition très précise. La mesure des affinités nécessite une approche résiduelle qui fera l'objet de la première partie. On commence par construire une norme, c'est-à-dire un procédé qui permet de reconstituer le système des échanges sans qu'intervienne aucune affinité entre les zones émettrices et réceptrices des flux. Il suffit ensuite de revenir aux flux réels et de les comparer aux flux «normaux » pour détecter d'éventuelles affinités. Le choix de la norme de référence est donc important puisqu'elle détermine en fait la structure des échanges.

Habituellement, la structure des échanges est décrite par un tableau chiffré dont la synthèse n'est pas toujours évidente à réaliser. Une représentation graphique serait préférable : l'objectif de la deuxième est de matérialiser la structure des échanges par un graphe dont les arcs symbolisent les affinités entre les zones émettrices et réceptrices des flux. Au-delà de la structure particulière qu'il représente, un graphe est également une structure générale que l'on peut étudier mathématiquement ; on utilisera donc quelques résultats de la théorie des graphes pour étudier la structure des échanges.

Cet essai d'analyse structurale sera appliqué à un système d'échanges composé de dix pays de l'espace euro-méditerranéen (Allemagne, Algérie, Espagne, France, Grèce, Italie, Maroc, Portugal, Tunisie et Turquie). Les échanges avec les Etats-Unis et le reste du monde sont pris en compte dans le système.

1. Mesure des affinités.

Dans l'optique d'une mesure résiduelle des affinités, il faudra fixer une norme, c'est-à-dire considérer un modèle de référence à l'intérieur

duquel les échanges ne font pas intervenir d'affinités entre les pays ; les différences constatées après coup seront, par hypothèse, imputables aux facteurs susceptibles d'expliquer les affinités dans le système réel des échanges. En notant F_{ij}^* le flux normal de i vers j , et F_{ij} le flux réel, un coefficient d'affinité est défini par le rapport :

$$a_{ij} = F_{ij} / F_{ij}^* \quad (1)$$

Si la valeur du rapport est supérieure à l'unité, alors les exportations de i vers j révèlent une affinité entre les deux pays.

Il semble naturel d'associer un système sans affinités à un système (plus ou moins) désordonné, la recherche de l'entropie maximale du système des échanges constitue par conséquent une piste assez générale qui conduit ici à trois modèles de référence: le modèle de « raison insuffisante », le modèle d'indépendance et le modèle de gravité.

1.1. Dérivation des flux normaux : maximisation de l'entropie du système des échanges.

Dans un système théorique dont les éléments n'entretiennent pas d'affinités, il convient de déterminer la distribution des F_{ij}^* (flux normaux) qui maximise l'entropie du système sous certaines contraintes. La fonction à maximiser s'écrivant $-\sum_i \sum_j F_{ij}^* \ln F_{ij}^*$ [Wilson 1970], le nombre et la nature des contraintes dépendent des informations dont on peut disposer a priori sur le système réel des échanges.

1.1.1. Le modèle de « raison insuffisante ».

En l'absence totale d'information, le programme de maximisation s'écrit simplement :

$$\begin{array}{ll} \max & - \sum_i \sum_j F_{ij}^* \ln F_{ij}^* \\ \text{sc} & \sum_i \sum_j F_{ij}^* = W \end{array} \quad (2)$$

et a pour solution [Vermot-Desroches 1986]:

$$F_{ij}^* = W/n^2 \quad (3)$$

Dans un tableau carré de dimension n , tous les flux possèdent la même valeur. Quelle que soit la zone considérée, il s'ensuit que ses exportations et importations totales sont égales à W/n .

En d'autres termes, lorsqu'on ignore tout du fonctionnement des échanges, il faut s'en remettre au principe de « raison insuffisante » de Laplace et considérer que le commerce mondial est uniformément distribué à l'intérieur du système. La distribution uniforme des F_{ij}^* correspond au plus grand degré de désordre qu'un système peut atteindre.

1.1.2. Le modèle d'indépendance.

En utilisant l'information sur les exportations et les importations totales, le degré de désordre du système peut être réduit en imposant aux totaux en lignes et en colonnes d'être égaux non pas à W/n , mais aux valeurs observées X_i et M_j . Le programme devient :

$$\begin{aligned} \max & - \sum_i \sum_j F_{ij}^* \ln F_{ij}^* \\ \text{sc} & \sum_j F_{ij}^* = X_i \\ & (4) \\ & \sum_i F_{ij}^* = M_j \end{aligned} \quad (5)$$

et admet pour solution [Willekens 1980] :

$$F_{ij}^* = X_i M_j / W \quad (6)$$

Cette relation est utilisée en statistique probabiliste pour ventiler une valeur globale W dans les cases d'un tableau sous l'hypothèse d'indépendance des lignes et des colonnes. On notera également que l'analyse factorielle des correspondances dont l'objet est de mettre en évidence les affinités entre les éléments de deux (ou plusieurs) ensembles, utilise la relation (6) comme norme de référence [BENZECRI J.P. et F. 1984]. Dans un système sans affinités décrit par le modèle d'indépendance, on voit que le degré de désordre n'est pas total : les flux possèdent une intensité en rapport avec le poids des partenaires dans le commerce mondial.

1.1.3. Le modèle de gravité.

Observant les échanges entre 52 blocs de pays sur la période 1967-1994, Freudenberg, Gaulier et- nal-kesenci l [1998] notent que la distance géographique est un facteur déterminant de l'orientation géographique des échanges. Vérifié par d'autres études à plus petite échelle, ce résultat n'est pas surprenant, il confirme l'idée qu'il est plus facile d'établir des relations avec des partenaires proches plutôt que lointains. Il n'est donc pas déraisonnable de penser que les affinités de « proximité » font partie du jeu naturel des échanges entre les différents partenaires et qu'il apparaît souhaitable de les « neutraliser » en intégrant la distance géographique à la définition de la norme.

En introduisant, dans le programme précédent, une troisième contrainte sur le coût induit par la distance, c'est-à-dire :

$$a \sum_i \sum_j d_{ij} F_{ij}^* = C \quad (7)$$

où a désigne le coût unitaire de transport, d_{ij} la distance entre i et j , et C le coût de transport lié à l'ensemble des échanges, on aboutit au modèle de gravité dérivé par Wilson [1970] :

$$F_{ij}^* = A_i B_j X_i M_j \exp(-\lambda d_{ij}) \quad (8)$$

Les variables $A_i = [\sum_j B_j M_j \exp(-\lambda d_{ij})]^{-1}$ et $B_j = [\sum_i A_i X_i \exp(-\lambda d_{ij})]^{-1}$ sont des « facteurs équilibrants » qui permettent aux flux normaux de satisfaire aux contraintes (4) et (5).

1.2. Choix d'une norme en vue des applications.

1.2.1. Le compromis offert par le modèle d'indépendance.

Le modèle de « raison insuffisante » qui décrit un système le plus désordonné possible est peu réaliste : il propose une norme beaucoup trop simple, car on peut difficilement admettre que les échanges « normaux » se fassent indépendamment du poids des partenaires dans le commerce mondial. A l'opposé, le modèle de gravité qui, des trois modèles, est associé au plus faible niveau d'entropie, conduit à une norme intéressante, mais beaucoup trop difficile à appliquer, d'une part, parce qu'il est difficile, sinon impossible, d'obtenir toutes les informations sur les coûts de transport et, d'autre part, parce que la formulation complexe des facteurs équilibrants exige des méthodes d'estimation itératives assez lourdes (Nijkamp et Paelinck [1973], Bouchard et Pyers [1964]) qui ne sont pas disponibles dans les logiciels d'économétrie classiques.

Le modèle d'indépendance apparaît comme un bon compromis; ni trop simple, ni trop compliqué, il décrit d'une manière assez réaliste un système sans affinités (les flux normaux sont proportionnels aux poids des pays). Deutsch et Savage [1960] à qui l'on doit le coefficient d'affinité utilisé aujourd'hui dans tous les travaux [voir (9a), (9b) et (9c)] adoptent directement le modèle d'indépendance pour calculer les flux normaux : X_i/W étant la probabilité pour qu'un flux trouve son origine en i et M_j/W la probabilité pour qu'un flux aboutisse en j , il s'ensuit que la probabilité pour qu'un flux soit orienté de i vers j est égale à $X_i M_j / W^2$ (ce qui suppose l'indépendance de l'origine et de la destination); en multipliant par W , on obtient l'intensité du flux donnée par (6). En reportant (6) dans (1), le coefficient d'affinité s'écrit :

$$a_{ij} = W F_{ij} / X_i M_j \quad (9a)$$

Dans la littérature, ce rapport est appelé « coefficient d'intensité relative ». Lorsque les flux observés sont réduits en pourcentages, en

lignes ou en colonnes, on rencontre encore deux autres formulations (Lafay et Herzog [1989]) :

$$a_{ij} = x_{ij} / m_j \quad (9b)$$

avec $x_{ij} = F_{ij} / X_i$ (poids de j dans les exportations de i), $m_j = M_j / W$ (poids du pays importateur j dans le commerce mondial)

$$a_{ij} = m_{ij} / x_i \quad (9c)$$

avec $m_{ij} = F_{ij} / M_j$ (poids de i dans les importations de j), $x_i = X_i / W$ (poids du pays exportateur i dans le commerce mondial).

Le flux orienté de i vers j révèle une affinité entre les deux zones si le poids de j dans les exportations de i est supérieur au poids du pays importateur j dans le commerce mondial ou, d'une manière équivalente, si le poids de i dans les importations de j excède le poids du pays exportateur i dans le commerce mondial. A partir du modèle d'indépendance, on dispose en fait de trois moyens équivalents pour mesurer les affinités.

Remarquons que le coefficient d'intensité relative sous la forme (9b) est formellement analogue au « quotient de localisation » défini par Florence [1953] pour décrire la structure spatiale d'un ensemble d'activités. Les données se réfèrent ici à un système croisant deux ensembles distincts (des régions i et des activités j), le terme général représente une valeur de localisation (comme l'emploi de l'activité j dans la région i). Il n'y a pas lieu de s'intéresser, comme c'est le cas dans un système d'échanges, à la diagonale principale ; une affinité entre i et j signifie simplement que l'emploi de j dans la région i est relativement plus important qu'au niveau national. En d'autres termes, le modèle d'indépendance s'applique sans restriction à un système spatial d'activités; cela explique sans doute les nombreuses applications du coefficient de localisation en économie régionale (Lajugie, Delfaud et Lacour [1979]).

1.2.2. Le problème de la diagonale principale.

Dans un système d'échanges, les zones émettrices et réceptrices des flux appartiennent au même ensemble d'où la nécessaire prise en compte de la diagonale principale ; sa configuration dépend de la nature des entités spatiales appartenant à cet ensemble. Il existe en fait trois cas de figure possibles : 1) on considère uniquement des zones mono-pays : la diagonale principale est vide, 2) on considère uniquement des blocs de pays : les flux de la diagonale principale rendent compte du commerce intra-bloc, 3) on considère à la fois des blocs de pays et des zones mono-pays : les flux de la diagonale principale sont positifs ou nuls.

Le modèle d'indépendance (comme les deux autres modèles d'ailleurs) répartit la valeur du commerce mondial dans toutes les cases du tableau, y compris sur la diagonale principale. Les zones mono-pays sont affectées de flux normaux F_{ii}^* non nuls ; le respect des contraintes (4) et (5) conduit à sous-estimer les autres flux F_{ij}^* ($i \neq j$), il s'ensuit que les intensités relatives sont sur-estimées. C'est évidemment dans le cas 1) que le biais est le plus important. Le champ d'application du modèle d'indépendance se réduit au cas 2), mais cela ne signifie pas que l'application proprement dite conduise nécessairement à des résultats pertinents.

La construction des blocs est souvent basée sur la proximité géographique, cette source d'affinités est parfois accentuée par la création d'une union économique régionale : on peut donc s'attendre à ce que les intensités relatives intra-blocs soient supérieures à l'unité. Or si les blocs sont assez bien équilibrés, par exemple si les importations totales de chaque bloc sont à peu près équivalentes, la moyenne des intensités relatives d'un bloc i par rapport à ses partenaires importateurs j (y compris pour $j = i$) est proche de l'unité (annexe 1), donc si l'intensité relative intra-bloc de i est nettement supérieure à 1, les intensités relatives associées à ses partenaires j seront généralement inférieures à 1. En d'autres termes, les affinités intra-blocs risquent d'occulter les affinités inter-blocs.

Pour éviter ce type de problème, on procède généralement à la « neutralisation » de la diagonale principale (Deutsch et Savage [1960] , Goodman [1963], Freudenberg et alii [1998]) ; il s'agit de remplacer les flux intra-blocs observés par des flux fictifs qui auront des valeurs identiques aux flux normaux et qui, par conséquent, seront tous associés à des intensités relatives égales à l'unité. La méthode itérative utilisée pour calculer les flux fictifs de la diagonale principale a le mérite d'homogénéiser la nature du commerce intra-zone, mais elle possède l'inconvénient de modifier les marges du tableau des flux observés et donc la valeur du commerce mondial.

Même dans le cas de blocs de pays, le modèle d'indépendance est difficile à appliquer. On peut d'ailleurs s'interroger sur l'opportunité d'une analyse centrée sur des blocs de pays définis a priori, car elle passe sous silence les affinités qui peuvent exister entre certains pays appartenant à des blocs différents. De telles affinités constituent une source d'information importante que l'on peut obtenir seulement dans un système d'échanges composé exclusivement de zones mono-pays.

1.2.3. Quelle norme pour les zones mono-pays ?

Aucune des trois normes dérivées des programmes de maximisation de l'entropie ne peut s'appliquer ici en raison de l'absence de flux diagonaux. Il convient de s'orienter vers la définition d'une norme plus empirique à condition qu'elle conserve comme variables déterminantes les exportations et les importations totales des pays i et j , ainsi que la distance qui sépare ces pays.

A cet effet on considère le modèle à élasticités constantes:

$$F_{ij} = k X_i^\alpha M_j^\beta d_{ij}^\gamma e_{ij}, \text{ avec } i \neq j \quad (10)$$

Où F_{ij} désigne les flux observés et e_{ij} l'erreur aléatoire qui incorpore, par hypothèse, toutes les affinités (ou les répulsions) entre les pays i et j . En appliquant les MCO sur le modèle linéarisé et en faisant l'hypothèse que l'estimation de l'élasticité de la distance est du signe attendu (c'est-à-dire négatif), l'estimation de (10) est l'expression d'un modèle de gravité:

$$F_{ij}^* = k^* X_i^{\alpha*} M_j^{\beta*} d_{ij}^{-\gamma*} \quad (11)$$

En notant e_{ij}^* les résidus entre les pays i et j , on a $\ln e_{ij}^* = \ln F_{ij} - \ln F_{ij}^* = \ln (F_{ij} / F_{ij}^*)$ d'où :

$$e_{ij}^* = F_{ij} / F_{ij}^* \quad (12)$$

Cette relation est analogue à (1), les résidus s'interprètent comme des coefficients d'affinités : le flux orienté de i vers j traduit une affinité entre les deux pays si $e_{ij}^* > 1$. L'estimation de (10) fournit une norme gravitaire nettement plus simple à utiliser que celle dérivée du concept d'entropie (outre les distributions marginales du système des échanges, il suffit de disposer des distances entre les pays).

1.3. Application de la norme gravitaire classique.

Les premières tentatives d'analyse gravitaire remontent aux travaux de démographes et d'économistes de la seconde moitié du XIX^e Siècle (voir Carrothers [1956]), ces auteurs défendaient l'idée d'une stricte analogie entre les systèmes physiques et les systèmes sociaux, les lois qui régissent les premiers étant directement transposables aux seconds. Dans les années 50, on assiste au développement des modèles d'interactions spatiales ; le modèle de gravité, malgré son caractère physicaliste encore marqué, est certainement celui qui, au sein de cette classe, peut faire état des résultats les plus concrets (Isard [1969], Fustier [1988]). L'intérêt suscité par le modèle de gravité dans le domaine des échanges internationaux est beaucoup plus tardif, il apparaît au début des années 60 avec les travaux de Tinbergen [1962] et, notamment, de Linnemann

[1966] qui intègre au modèle de gravité de nombreuses variables susceptibles de refléter la capacité productive des différents partenaires commerciaux (comme le PIB) et également leurs affinités (comme les accords commerciaux introduits en variables muettes) ; les résultats économétriques ont permis d'obtenir des prédictions intéressantes (à tel point qu'il est devenu courant d'attribuer à Linnemann la paternité du modèle de gravité !).

Dans le cas présent, le modèle de gravité est utilisé d'une manière différente. L'objectif ne consiste pas à expliquer des flux réels en choisissant les « bonnes » variables, il s'agit seulement de définir une norme en utilisant le minimum d'information sur le système des échanges (exportations totales, importations totales et distances entre les pays). La version classique du modèle de gravité définie par (11) sera choisie comme norme référence pour mesurer les affinités dans le système des échanges composé de 10 pays de l'espace euro-méditerranéen : Allemagne, Algérie, Espagne, France, Grèce, Italie, Maroc, Portugal, Tunisie et Turquie. Les échanges avec les Etats-Unis et le reste du monde sont pris en compte dans le système.

Les flux d'échanges entre ces 12 zones mono-pays se réfèrent à l'année 1997 et ont été rassemblés à partir de la base de données CHELEM élaborée par le CEPII (et disponible sur CD-Room). Le reste du monde occupe évidemment une place prépondérante dans le système des échanges, sa prise en compte dans l'analyse de régression aurait pour effet d'écraser le nuage des observations relatif aux échanges entre les 11 autres pays et de sous-estimer les affinités entre ces derniers.

L'exclusion du reste du monde de la procédure de régression consiste à ignorer les observations qui s'y rapportent pour ne s'intéresser qu'aux relations entre les 11 pays restants, mais les échanges avec le reste du monde restent comptabilisés dans la colonne et la ligne de marge du tableau des échanges (dans le modèle (10) les variables X_i et M_j se réfèrent toujours aux exportations et aux importations mondiales des pays i et j).

Au modèle (10) correspond le modèle de régression

$$\ln F_{ij} = \ln k + \alpha \ln X_i + \beta \ln M_j + \gamma \ln d_{ij} + \ln e_{ij}$$

dont l'ajustement par la méthode des MCO conduit aux résultats suivants :

	estimation s	erreur – types	niveau signification
ln k	-10.19	4.12	95%
α	1.07	0.04	99%
β	1.02	0.05	99%
Γ	- 0.88	0.09	99%

n = 110 Fc= 312.43 R² = 0.899

norme gravitaire : $F_{ij}^* = 3.75 \times 10^{-5} X_i^{1.07} M_j^{1.02} d_{ij}^{-0.88}$

Les résidus e_{ij}^* calculés autour de la norme gravitaire, mesurent les affinités entre les pays i et j lorsqu'ils sont supérieurs à l'unité. On obtient les résultats suivants (seuls les résidus supérieurs à 1.5 sont retenus):

i \ j	ALM	ALG	ESP	USA	FRA	GRE	ITA	MAR	POR	TUN	TUR
ALM				1.52							1.32
ALG				2.81			3.36				
ESP					2.31				2.33		
USA	1.53										
FRA		2.33	1.51					2.80		2.19	
GRE	1.74										2.11
ITA					1.47						
MAR					4.15						
POR	2.23		1.51								
TUN		1.71			2.67		1.52	2.36			
TUR	2.24	7.26		1.81							

ALM : Allemagne, ALG : Algérie, ESP : Espagne, USA : Etats-Unis, FRA : France, GRE : Grèce,

ITA : Italie, MAR : Maroc, POR : Portugal, TUN : Tunisie, TUR : Turquie.

Tableau 2: mesure des affinités selon la norme gravitaire classique .

2. Représentation des affinités.

Les affinités entre les différentes zones sont représentées par un graphe dont la configuration particulière dépend du coefficient adopté pour les détecter. La notion de graphe est abordée ici en tant que procédé de représentation graphique des affinités, la démarche est générale et s'applique à tout coefficient d'affinité a_{ij} répondant à la définition (1).

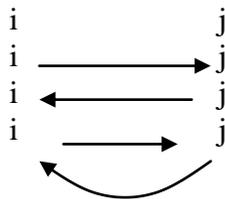
2.1. Graphe des affinités (structure des échanges).

2.1.1. Définition.

Un flux orienté de i vers j peut être représenté par un arc (i,j) où i est le sommet initial et j le sommet terminal de l'arc. Dans le cas présent, seuls les flux qui indiquent des affinités entre les zones exportatrices et importatrices seront représentés. En désignant par X l'ensemble des sommets du graphe et par U l'ensemble de ses arcs, le graphe des affinités (qui représente la structure des échanges) est formellement défini par le couple $G = (X, U)$ tel que :

Etant donnés deux pays quelconques i et j , à partir des flux commerciaux observés dans les deux sens, on a l'une des quatre configurations suivantes :

$$a_{ij} \begin{cases} > 1 \Rightarrow (i,j) \in U, \text{ soit graphiquement } i \longrightarrow j \\ \leq 1 \Rightarrow (i,j) \notin U, \text{ l'absence d'arc se traduit par } : i \quad .j \end{cases}$$



Le premier cas de figure montre que les deux pays n'entretiennent pas d'affinités dans les échanges bilatéraux. Dans le second et le troisième cas, des affinités commerciales existent entre ces pays, mais elles ne sont révélées que dans un sens : le graphe ne possède pas la propriété de symétrie. Le dernier cas illustre des affinités réciproques (ce qui ne remet pas en cause l'absence de symétrie dans le graphe). Dans la plupart des cas, le graphe est antiréflexif (il ne possède pas de boucle) ; c'est évident pour des zones mono-pays, dans le cas de blocs les flux diagonaux sont généralement neutralisés de telle manière que les a_{ii} sont tous égaux à l'unité. Un graphe orienté sans boucle est un digraphe.

2.1.2. Application.

En utilisant le coefficient d'affinité défini par les résidus calculés autour de la norme gravitaire (tableau 1), on obtient le graphe suivant :

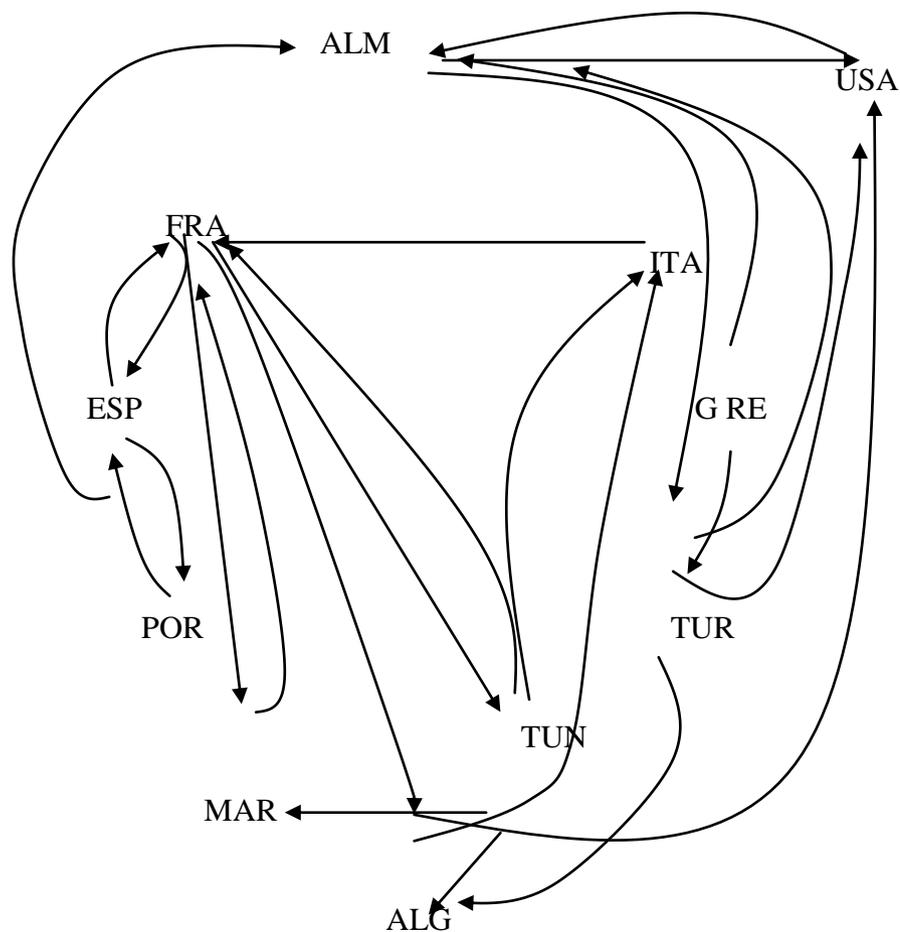


Figure 1 : graphe des affinités (structure des échanges).

Contrairement à ce qu'indique le graphe, dans les études utilisant le coefficient d'intensité relative (voir Freudenberg et all. [1998]), on ne constate pas d'affinités entre l'Allemagne et les USA. Le poids des USA dans les exportations de l'Allemagne n'est pas négligeable (plus de 6%), mais il est très nettement inférieur à la moyenne des exportations vers les USA (21%), d'après le modèle d'indépendance, le flux orienté de l'Allemagne vers les USA est considéré comme « normal » et ne révèle aucune affinité entre les deux pays (de même que le flux orienté dans l'autre sens).

Avec la norme gravitaire, il faut tenir compte de la distance. Plus la distance est élevée, plus la norme est ramenée vers le bas. C'est ce qui se passe dans le cas de ces deux pays géographiquement éloignés : malgré leurs poids importants dans le commerce mondial (annexes 2 et 3), les flux d'échanges réels sont considérés comme étant au-dessus de la norme, d'où les affinités réciproques constatées sur le graphe. Inversement, le flux d'exportation de l'Italie vers l'Allemagne (qui arrive en tête dans les exportations italiennes, hors reste du monde) ne permet pas de déceler une affinité entre les deux pays compte tenu de leur proximité géographique. Cependant, des pays voisins peuvent entretenir des affinités, il suffit que les échanges réels soient suffisamment conséquents ; c'est le cas du Portugal et de l'Espagne d'une part, de l'Espagne et de la France d'autre part. Cet exemple montre que la relation d'affinité n'est pas transitive.

2.2. Construction de blocs intégrés.

La notion de bloc intégré est assez intuitive, elle renvoie à un groupe de pays dans lequel on constate une forte densité de liaisons dans le graphe. La construction des blocs intégrés nécessite par conséquent une étude systématique des liaisons entre les sommets du (di)graphe. Cette étude est fondée sur le concept mathématique de connexité. Il existe plusieurs formes de connexité dans un graphe (Flament [1965]), nous retiendrons la connexité forte qui nous semble constituer une traduction mathématique correcte de la notion d'intégration par les affinités commerciales.

Dans le graphe des affinités $G = (X, U)$, la relation **F** est une relation de connexité forte entre les sommets i et j de X s'il existe au moins un chemin allant de i à j et un chemin au moins allant de j à i ou, encore, si l'on a $i = j$. Si l'on regroupe dans une même classe, les sommets de X pour lesquels la relation **F** est vraie, on vérifie alors que cette relation est réflexive, symétrique et transitive : la relation de forte connexité est également une relation d'équivalence qui permet de ranger les sommets du graphe dans des classes de forte connexité qui sont nécessairement disjointes et dont la réunion est égale à X . Les sous-graphes de G engendrés par ces classes d'équivalence sont les composantes fortement connexes du graphe G (Xuong [1992]).

La notion de forte connexité possède ici une interprétation intéressante. Le fait qu'un pays soit situé sur un circuit d'une composante fortement connexe engendrée par une classe C , signifie que ce pays exporte vers au moins un autre pays de C et importe, également, d'un autre pays de C au moins. En d'autres termes, ce pays entretient une affinité réciproque avec la classe à laquelle il appartient. Il en va ainsi pour tous les pays regroupés à l'intérieur de cette classe de forte connexité. Ce concept mathématique peut donc être utilisé sans trop de problèmes pour définir le concept économique de bloc intégré.

Sur la figure 1, on voit par exemple qu'il existe un chemin de la France vers le Portugal et inversement, donc $FRA \mathbf{F}_{POR}$ ou $(POR \mathbf{F}_{FRA})$ est vraie. Mais $GRE \mathbf{F}_{ALM}$ est fautive, car il n'existe pas de chemin allant de l'Allemagne vers la Grèce. Notons que la Grèce occupe une position particulière dans le graphe: à partir de GRE on peut atteindre directement d'autres sommets, ALM et TUR, mais il n'existe aucun autre sommet à partir duquel on peut atteindre GRE : on dit que ce sommet est une source. Par l'intermédiaire des sommets ALM et TUR, on constate qu'il est possible d'atteindre, par des chemins plus ou moins longs, tous les autres pays à partir de GRE, mais il n'existe aucun autre pays à partir duquel on peut y accéder. Il s'ensuit que, quel que soit le sommet i de X , on a toujours $i \mathbf{F}_{GRE}$ (ou $GRE \mathbf{F}_i$) fautive. La Grèce forme une classe de forte connexité réduite à ce seul sommet. Dans le reste du graphe, on vérifie qu'à partir d'un pays i quelconque de $X - \{GRE\}$ on peut accéder à tous les autres pays et, inversement, de tous les autres pays de $X - \{GRE\}$ on peut se rendre en i . On aboutit finalement à deux classes de forte connexité seulement : la Grèce et la classe composée des pays restants. La composante fortement connexe correspondant à cette dernière classe ressemble donc beaucoup au graphe de départ :

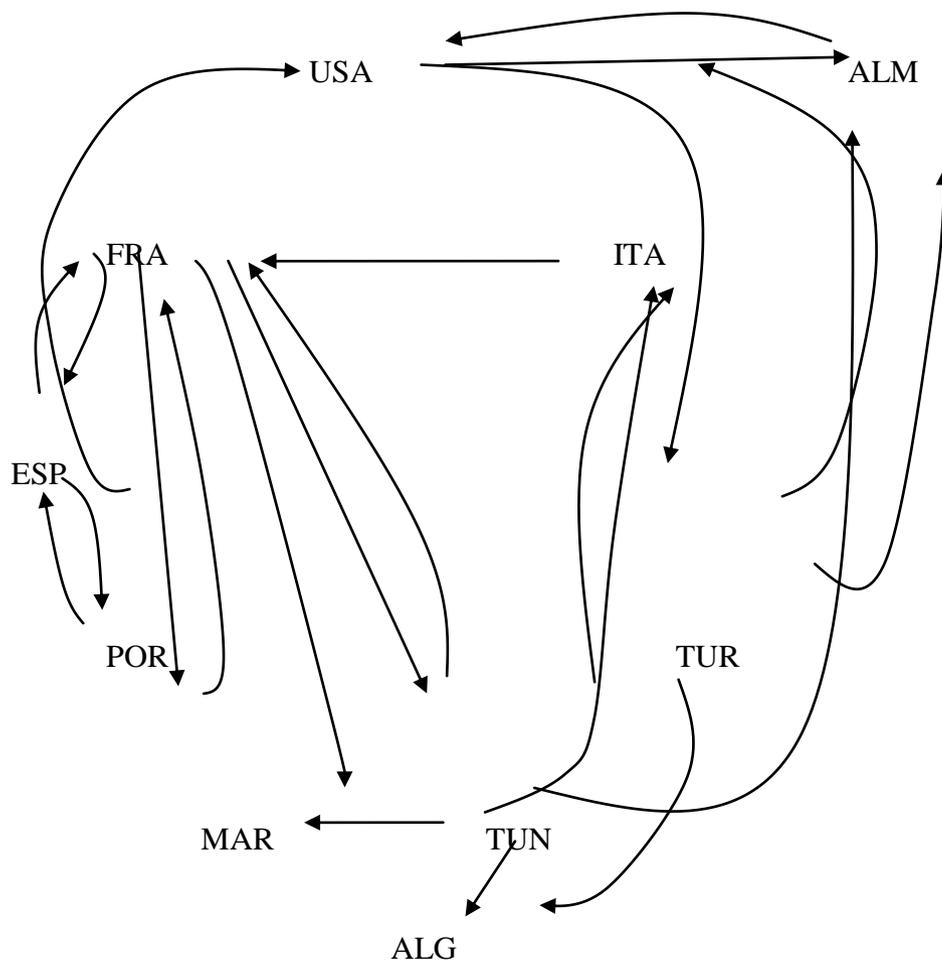


Figure 2 : composante fortement connexe correspondant à X-{GRE}.

Ce résultat particulier montre une forte intégration des pays dans le système des échanges considéré, la Grèce occupant une position particulière du fait que les exportations des autres pays vers ce dernier ne révèlent pas d'affinités.

Cependant, l'intégration ne concerne pas tous les pays au même degré. Dans la figure 2, certains pays sont caractérisés par des affinités réciproques (comme l'Espagne et le Portugal ou, encore, comme la France et le Maroc), tandis que d'autres pays n'entretiennent aucune affinité (Portugal et Maroc, Maroc et Algérie par exemple). Il convient

donc d'approfondir l'étude de la composante fortement connexe en s'intéressant aux pays qui occupent une position privilégiée dans le graphe, il s'agit des sommets qui peuvent entrer en relation avec les autres sommets sans jamais avoir à utiliser beaucoup de retransmissions, c'est-à-dire par des chemins relativement courts. De tels sommets sont les centres du graphe.

2.3. Centralité dans un graphe.

L'analyse de la centralité est fondée sur un examen détaillé des cheminements dans un graphe. Elle a été conçue pour l'étude des réseaux sociaux et des réseaux de communication (Harary and alii [1965]). Dans les années 70, on trouve des applications intéressantes dans le domaine des migrations interrégionales (Rouget [1971]) et dans celui des échanges interindustriels (Huriot [1974]).

On tentera d'adapter cette analyse au cas des affinités commerciales: partant de la matrice des écarts entre les sommets d'un graphe, on propose un indice de centralité qui caractérise la position de chaque sommet dans la structure où il est défini. L'indice est appliqué à la composante fortement connexe de la figure 2. Pour simplifier la terminologie, ce sous-graphe (de la structure des échanges) est appelé graphe et noté $G' = (X', U')$ où X' est l'ensemble des pays du graphe initial à l'exclusion de la Grèce, et U' l'ensemble des arcs du graphe initial à l'exclusion des arcs (GRE, ALM) et (GRE, TUR).

2.3.1. Matrice des écarts.

L'écart, noté e_{ij} , entre les sommets i et j d'un graphe est la longueur du plus court chemin allant de i à j . Les conventions suivantes complètent la définition:

- 1) si $i = j$, alors $e_{ij} = 0$
- 2) s'il n'existe aucun chemin de i vers j , alors $e_{ij} = \infty$

Si le graphe possède n sommets, la matrice des écarts est la matrice carrée d'ordre n ayant pour terme général e_{ij} . Pour le graphe G' de la figure 2, on obtient :

i \ j	ALM	ALG	ESP	USA	FRA	ITA	MAR	POR	TUN	TUR	e_i^+
ALM	0	2	5	1	4	3	5	6	5	1	32
ALG	2	0	3	1	2	1	3	4	3	3	22
ESP	2	2	0	3	1	3	2	1	2	3	19
USA	1	3	6	0	5	4	6	7	6	2	40
FRA	3	1	1	2	0	2	1	2	1	4	17
ITA	4	2	2	3	1	0	2	3	2	5	24
MAR	4	2	2	3	1	3	0	3	2	5	25
POR	1	3	1	2	2	4	3	0	3	2	21
TUN	3	1	2	2	1	1	1	3	0	4	18
TUR	1	1	4	1	3	2	4	5	4	0	25
e_j^-	21	17	26	18	20	23	27	34	28	29	

Tableau 3: matrice des écarts du graphe G'.

Dans la colonne de marge, la somme $e_i^+ = \sum_j e_{ij}$ est une mesure de l'accessibilité externe du sommet i (accessibilité des n - 1 autres sommets à partir de i). Symétriquement, dans la ligne de marge, la somme $e_j^+ = \sum_i e_{ij}$ est une mesure de l'accessibilité interne du sommet j (accessibilité de j à partir des n - 1 autres sommets). Le graphe G' étant fortement connexe, tous les écarts sont des nombres finis. Il s'ensuit que les accessibilités sont également des valeurs finies.

2.3.1. Indice de centralité dans un graphe fortement connexe.

Dans un graphe fortement connexe tel que celui de la figure 3, il est clair que le sommet a occupe une position privilégiée : il entretient des affinités réciproques avec tous les autres sommets et toutes les relations entre ces derniers passent par lui. Le sommet a est un sommet incontournable que nous appelons centre absolu.

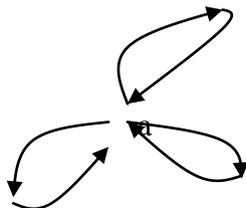


Figure 3 : exemple de centre absolu (a) .

Par référence au centre absolu, on peut proposer l'indice de centralité suivant :

$$c_i = (n - 1)/2 [(e_i^+)^{-1} + (e_i^-)^{-1}] \quad (13)$$

Il atteint la valeur 1 (valeur maximum) pour le centre absolu d'un graphe fortement connexe. En effet, pour un graphe similaire à celui de la figure 3 et en généralisant à n sommets, on vérifie facilement que $e_a^+ = e_a^- = n-1$, d'où $c_a = 1$.

Le sommet i^o d'un graphe tel que $c_{i^o} = \max (c_i)_{i = 1 \dots n}$ est le centre relatif du graphe si $c_{i^o} < 1$. Il peut exister plusieurs centres relatifs dans le graphe.

La hiérarchie de centralité obtenue dans le graphe G' est la suivante :

pays	centralité	pays	centralité
FRA	0.49	USA	0.36
ALG	0.47	ALM	0.35
ESP	0.41	MAR	0.35
TUN	0.41	POR	0.35
ITA	0.38	TUR	0.34

Tableau 4: hiérarchie de centralité dans le graphe G' .

La hiérarchie est assez resserrée et confirme la forte densité des affinités commerciales constatée dans l'espace euro-méditerranéen. La France arrive en tête du classement, mais son indice représente seulement la moitié de la centralité absolue.

Centre relatif de l'espace euro-méditerranéen, la France exerce néanmoins une influence non négligeable dans la structure des échanges en tant que pôle intégrateur. La théorie des graphes permet de vérifier ce résultat a posteriori en excluant la France de la structure des échanges.

Il suffit pour cela de considérer le sous-graphe de G' obtenu par suppression du sommet FRA et de ses arcs incidents (figure 4), puis d'étudier les composantes fortement connexes du nouveau graphe (figure 5).

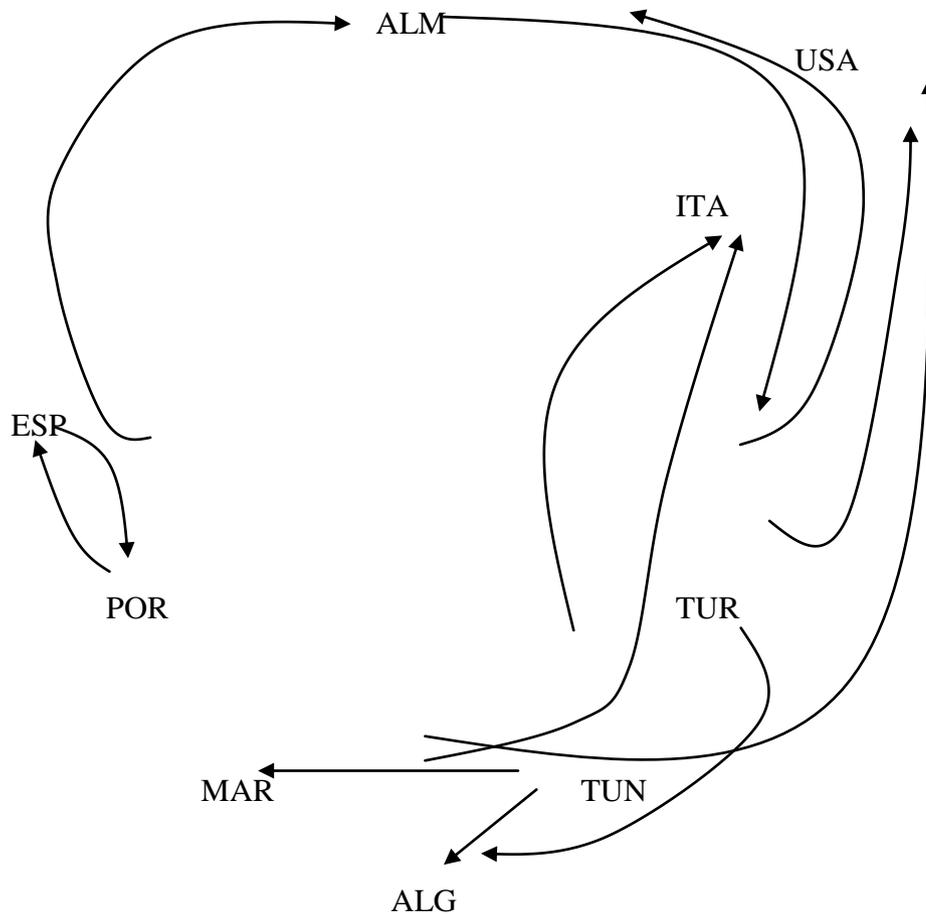


Figure 4 : sous graphe de G' obtenu par suppression du sommet FRA (et des arcs incidents).

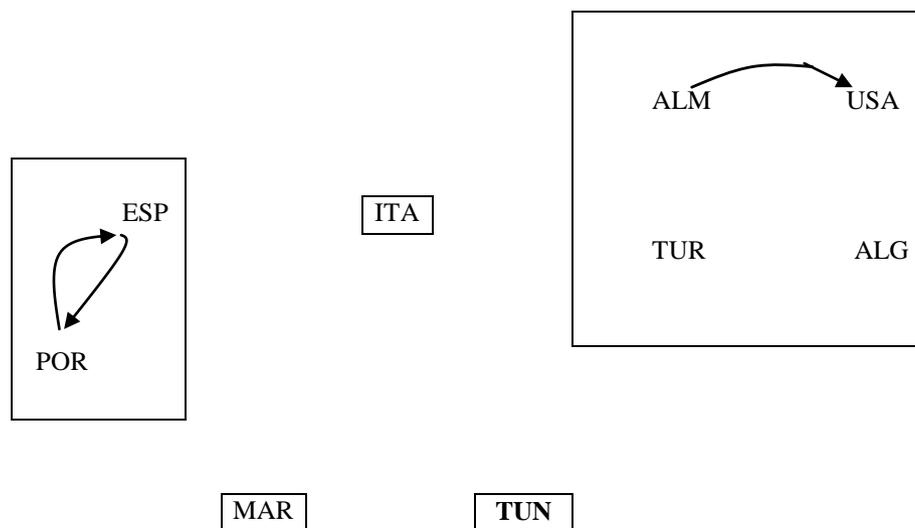


Figure 5 : composantes fortement connexes du sous-graphe de G' .

La non-prise en compte de la France dans la structure des échanges conduit à une forte désintégration de l'espace euro-méditerranéen qui se traduit par l'augmentation du nombre de composantes fortement connexes (encadrées sur la figure 5).

Les Etats-Unis qui n'ont pas une vocation euro-méditerranéenne particulière (91% des exportations de ce pays sont orientées vers le reste du monde) « détournent » l'Allemagne, la Turquie et l'Algérie de l'espace euro-méditerranéen pour former un bloc à part.

Les affinités réciproques entre l'Espagne et le Portugal permettent de réunir ces deux pays dans le même bloc. Pour les autres pays (Maroc, Tunisie, Italie) on ne peut pas évoquer le terme de bloc intégré, puisque chaque pays n'est intégré qu'avec lui-même.

Rappelons que le Maroc, l'Algérie et la Tunisie sont les trois pays principaux de l'Union du Maghreb Arabe constituée au début de l'année 89. En 1997, on constate qu'ils appartiennent à des blocs différents, ce qui autorise un certain doute sur la réalité du « marché maghrébin » en tant que résultat du traité de Marrakech (voir Berthomieu [1998]).

Conclusion.

Cet essai d'analyse structurale de la répartition géographique des échanges à l'intérieur de l'espace euro-méditerranéen est purement statique. Il serait évidemment intéressant de comparer les résultats obtenus sur plusieurs années en regardant notamment comment évolue le nombre et la composition des blocs d'intégration sur l'ensemble de la période.

Annexes :

Annexe 1. Intensité relative moyenne d'un bloc dans le cas où les importations totales de chaque bloc sont égales :

L'intensité relative moyenne du bloc i avec les n autres blocs j (y compris le bloc i) est définie par $a_i = W/n \sum_j F_{ij} / X_i M_j$. Par hypothèse $M_j = M$ pour $j = 1 \dots n$, il s'ensuit que $W = nM$. Dans ces conditions, on obtient : $a_i = W/ nM \sum_j F_{ij} / X_i = \sum_j x_{ij} = 1$.

Annexe 2. Structures des exportations, poids des pays importateurs dans le commerce mondial.

$i \setminus j$	ALM	ALG	ESP	USA	FRA	GRE	ITA	MAR	POR	TUN	TUR	RDM
ALM	0,000	0,001	0,027	0,061	0,071	0,005	0,056	0,001	0,008	0,001	0,011	0,757
ALG	0,029	0,000	0,046	0,103	0,084	0,000	0,115	0,004	0,003	0,004	0,030	0,582
ESP	0,085	0,004	0,000	0,029	0,122	0,006	0,061	0,005	0,051	0,002	0,007	0,628
USA	0,036	0,001	0,008	0,000	0,025	0,001	0,012	0,001	0,001	0,000	0,005	0,911
FRA	0,100	0,006	0,055	0,046	0,000	0,006	0,068	0,006	0,009	0,005	0,007	0,691
GRE	0,113	0,002	0,025	0,032	0,032	0,000	0,006	0,001	0,003	0,003	0,033	0,751
ITA	0,101	0,002	0,036	0,057	0,083	0,013	0,000	0,002	0,008	0,004	0,014	0,680
MAR	0,042	0,004	0,051	0,024	0,199	0,003	0,034	0,000	0,005	0,005	0,004	0,628
POR	0,126	0,001	0,093	0,031	0,085	0,002	0,026	0,002	0,000	0,001	0,003	0,632
TUN	0,093	0,006	0,023	0,006	0,148	0,003	0,119	0,004	0,003	0,000	0,006	0,588
TUR	0,143	0,008	0,011	0,055	0,032	0,007	0,037	0,001	0,003	0,003	0,000	0,699
RDM	0,210	0,004	0,061	0,426	0,137	0,013	0,101	0,005	0,017	0,004	0,023	0,000
m_j	0,124	0,003	0,042	0,212	0,090	0,009	0,066	0,003	0,013	0,003	0,015	0,421

ALM : Allemagne, ALG : Algérie, ESP : Espagne, USA :Etats-Unis, FRA : France, GRE : Grèce, ITA : Italie, MAR : Maroc, POR : Portugal, TUN : Tunisie, TUR : Turquie, RDM : Reste du monde.

Pour chaque pays exportateur i , on calcule le poids de chaque pays j dans les exportations totales de i soit : $x_{ij} = F_{ij} / X_i$, avec F_{ij} = valeur des exportations de i vers j et X_i = valeur des exportations totales de i . La structure des exportations du pays i est définie par la suite des x_{ij} pour $j = 1 \dots n$. Le poids du pays importateur j dans le commerce mondial est défini par $m_j = M_j / W$ où M_j désigne les importations totales de j et W la valeur du commerce mondial. La suite des m_j pour $j = 1 \dots n$ représente la structure moyenne des exportations du système.

Annexe 3. Structures des importations, poids des pays exportateurs dans le commerce mondial.

i \ j	ALM	ALG	ESP	USA	FRA	GRE	ITA	MAR	POR	TUN	TUR	RDM	x_i
ALM	0,000	0,027	0,099	0,044	0,121	0,093	0,130	0,042	0,094	0,077	0,114	0,275	0,153
ALG	0,001	0,000	0,006	0,003	0,005	0,000	0,010	0,008	0,001	0,007	0,011	0,008	0,006
ESP	0,026	0,054	0,000	0,005	0,051	0,025	0,035	0,057	0,153	0,023	0,018	0,056	0,037
USA	0,046	0,053	0,031	0,000	0,043	0,023	0,028	0,030	0,008	0,019	0,051	0,343	0,159
FRA	0,075	0,174	0,121	0,020	0,000	0,062	0,096	0,167	0,068	0,152	0,045	0,152	0,092
GRE	0,003	0,002	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,003	0,007	0,006	0,003
ITA	0,065	0,054	0,068	0,021	0,073	0,118	0,000	0,039	0,054	0,117	0,070	0,128	0,079
MA	0,001	0,003	0,003	0,000	0,006	0,001	0,001	0,000	0,001	0,005	0,001	0,004	0,003
R													
POR	0,008	0,002	0,018	0,001	0,008	0,002	0,003	0,006	0,000	0,002	0,001	0,012	0,008
TUN	0,002	0,005	0,001	0,000	0,004	0,001	0,004	0,003	0,001	0,000	0,001	0,003	0,002
TUR	0,010	0,024	0,002	0,002	0,003	0,007	0,005	0,004	0,002	0,009	0,000	0,014	0,008
RD	0,764	0,603	0,648	0,903	0,685	0,668	0,688	0,644	0,619	0,586	0,682	0,000	0,449
M													

Pour chaque pays importateur j , on calcule le poids de chaque pays i dans les importations totales de j soit : $m_{ij} = F_{ij} / M_j$, avec F_{ij} = valeur des exportations de i vers j et M_j = valeur des importations totales de j . La structure des importations du pays j est définie par la suite des m_{ij} pour $i = 1 \dots n$. Le poids du pays exportateur i dans le commerce mondial est défini par $x_i = X_i / W$ où X_i désigne les exportations totales de i et W la valeur du commerce mondial. La suite des x_i pour $i = 1 \dots n$ représente la structure moyenne des importations du système.

Références :

- BENZECRI J.P. et F. [1984], *Pratique de l'analyse des données, analyse des correspondances, exposé élémentaire*, 2^e édition, Dunod, Paris.
- BERTHOMIEU C. [1998], « La prospérité du Maghreb passe-t-elle par l'intégration économique régionale? ». *2èmes Rencontres Euro - Méditerranéennes*, CEMAFI - RIME, Université de Nice.
- BOUCHARD R.J., PYERS C.E. [1964], « Use of Gravity Models for Describing Urban Travel », *Highway Research Record*, vol.88, p. 1-43.
- CARROTHERS G.A.P. [1956], « An Historical Review of Gravity and Potential Concepts of Human Interaction », *Journal of the American Institute of Planners*, Vol. 22, p. 94-102.
- DEUTSCH K.W. , SAVAGE I.R. [1960] , « A Statistical Model of the Across Analysis of Transaction Flows », *Econometrica*, Vol. 28, n°3, p.23-38.
- FLAMENT C. [1965], *Théorie des graphes et structures sociales*, Gauthier-Villars, Paris.
- FLORENCE P.S. [1953], *The Logic of British and American Industry*, Routledge and Kegan, London.

- FREUDENBERG M., GAULIER G.,-NAL-KESENCI D. [1998], « La régionalisation du commerce international : une évaluation par les intensités relatives bilatérales », *CEPII, Document de travail n° 98-05*
- FUSTIER B. [1988], « Les interactions spatiales » in *Analyse économique spatiale*, Claude Ponsard éditeur, PUF, Paris, p. 193-230.
- GOODMAN L. A. [1963], « Statistical Methods for the Preliminary Analysis of Transaction Flows », *Econometrica*, Vol.31, n°1-2, p.34-51.
- HARARY F., NORMAN R.Z., CARTWRIGHT D. [1965], *Structural Models*, John Wiley and Sons, New-York.
- HURIOT J.M. [1974], *Dépendance et hiérarchie dans une structure interindustrielle*, Sirey, Collection de l'Institut de Mathématiques Economiques n°8, Dijon.
- ISARD W. [1969], *General Theory, Social, Political, Economic and Regional*, The MIT Press, Cambridge.
- KRUGMAN P.R., OBSTFELD M. [1995], *Economie internationale*, De Bœck Université, Bruxelles.
- LAFAY G., HERZOG C. [1989], *Commerce international : la fin des avantages acquis*, Economica, Paris.
- LAJUGIE J., DELFAUD P., LACOUR C. [1979], *Espace régional et aménagement du territoire*, Dalloz, Paris.
- LINNEMANN H. [1966], *An Econometric Study of International Trade Flows*, North Holland, Amsterdam.
- NIJKAMP P., PAELINCK J.H.P. [1973], « A Dual Interpretation and Generalization of Entropy Maximizing Models in Regional Science », *Paper European Meeting Regional Science Association*, n°7, Vienna.
- ROUGET B. [1971], *Modèles de gravitation et théorie des graphes*, Sirey, Collection de l'Institut de Mathématiques Economiques n°2, Dijon.
- TINBERGEN J. [1962], « An Analysis of World Trade Flows », *The World Economy, The Twentieth Century Fund*, p.262-293.
- VERMOT-DESROCHES B. [1986], *Interdépendances spatiales et Théorie moderne de l'information*, Collection de l'Institut de Mathématiques Economiques, n°30, Dijon.
- WILLEKENS F. [1980], « Entropy, Multiproportional Adjustment and Analysis of Contingency Tables », *Sistemi Urbani*, n°2/3, p.171-201.
- WILSON A.G. [1970], *Entropy in Urban and Regional Modelling*, Pion, London.
- XUONG N.H. [1992], *Mathématiques discrètes et informatique*, Masson, Paris.