

**Mémoire de stage
(Stage long avril-septembre 2006)**

**UNE NOUVELLE MÉTHODOLOGIE POUR
L'ANALYSE DES RÉSEAUX D'ÉCHANGES
COMMERCIAUX**

Par Jean-Noël SENNE

**Sous la direction de Philippe Bocquier, CERA/AFRISTAT
(Bamako, Mali)**

SOMMAIRE

1	<u>INTRODUCTION</u>	3
TT2	<u>ORGANISME D'ACCUEIL ET CADRE DE TRAVAIL : AFRISTAT ET LE CENTRE D'ETUDES ET DE RECHERCHES APPLIQUÉES (CERA)</u>	4
2.1	PRÉSENTATION D'AFRISTAT	4
2.1.1	POURQUOI AFRISTAT ?	4
2.1.2	QUE FAIT AFRISTAT ?	5
2.1.3	QUI DIRIGE AFRISTAT ?	5
2.1.4	COMMENT TRAVAILLE AFRISTAT ?	5
2.1.5	QUI FINANCE AFRISTAT ?	6
2.2	PRÉSENTATION DU CERA	6
3	<u>PROJET ET OBJET D'ÉTUDE : L'ANALYSE DES INÉGALITÉS D'ÉCHANGES ENTRE PAYS DU MONDE</u>	7
3.1	CADRE DE L'ÉTUDE	7
3.2	REVUE DE LITTÉRATURE ET TRAVAUX DE RÉFÉRENCE	8
3.2.1	LES THÉORIES DU « SYSTÈME MONDE »	8
3.2.2	LES TECHNIQUES DE BLOCKMODELING COMME OUTIL D'ANALYSE DES RÉSEAUX	8
4	<u>DESCRIPTION DE L'ÉTUDE : UNE NOUVELLE MÉTHODOLOGIE POUR L'ANALYSE DES RÉSEAUX D'ÉCHANGES</u>	10
4.1	POURQUOI UNE NOUVELLE MÉTHODOLOGIE ?	10
4.1.1	LES LIMITES DES TECHNIQUES DE BLOCKMODELING	10
4.1.2	INTÉRÊT ET OBJECTIF D'UNE NOUVELLE MÉTHODOLOGIE	11
4.2	PRÉSENTATION DE LA MÉTHODOLOGIE	11
4.2.1	DONNÉES DE BASES	12
4.2.2	CALCUL DES INDICES D'INTENSITÉ RELATIVE DES ÉCHANGES	13
4.2.3	REPRÉSENTATIONS GRAPHIQUES ET ANALYSE DU RÉSEAU	15
5	<u>CONCLUSION : LIMITES ET PROLONGEMENTS</u>	21
	<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	23

1 Introduction

Le stage que j'ai effectué à AFRISTAT, du 3 avril au 15 septembre 2006, s'est déroulé au sein du Centre d'Etudes et de Recherches Appliquées (CERA) dont les activités ont débuté en 2005 et dont la mission est de contribuer à la production et à l'analyse des données, afin de participer à la définition et au suivi et évaluation des politiques de développement. Le thème de recherche qui m'a été proposé a été l'analyse des inégalités d'échanges entre pays du monde. Ce vaste thème de recherche, récemment initié au sein du CERA, est devenu prépondérant pour comprendre les enjeux d'une économie globalisée et aboutir à une analyse pluridimensionnelle et systémique des inégalités de développement et de la pauvreté. Il a été l'objet d'une réflexion approfondie, en collaboration et sous la direction de Philippe Bocquier, chercheur démographe (IRD-DIAL, Paris) et coordinateur du centre de recherche appliquée.

Le travail réalisé a essentiellement été méthodologique. Concrètement, il s'est déroulé en plusieurs étapes. Il a d'abord consisté en la réalisation d'une revue de la littérature sur le thème de la modélisation des données socio-économiques sur le long terme. Sur cette base, nous avons choisi de concentrer notre attention sur plusieurs études de référence visant à identifier l'impact de la position d'un pays dans un réseau d'échanges global sur des variables économiques ou sociales nationales. Ceci nous a alors permis d'initier une réflexion sur les modèles classificatoires pour l'analyse des systèmes de dépendances et de hiérarchies basés sur les échanges, préalable indispensable à la constitution de modèles d'impact prenant en considération les influences systémiques. Devant l'insatisfaction et les limites présentées par les méthodes existantes pour notre thématique de recherche, nous avons été amenés à réfléchir à l'élaboration d'une méthodologie alternative pour l'analyse des réseaux d'échanges, et plus particulièrement des réseaux d'échanges commerciaux. Ce travail, au cœur du stage, a abouti à la rédaction d'un document de travail en anglais et à la création d'un programme informatique – sous stata – permettant d'implémenter la méthodologie. Il a été présenté lors des 7^{ème} journées scientifiques du réseau Analyse Economique et Développement de l'AUF, à Paris le 7 et 8 septembre 2006.

L'objectif principal de ce rapport n'est pas seulement d'exposer la méthodologie élaborée mais plutôt de présenter le cadre de travail et la démarche de recherche suivie durant le stage et qui a permis d'aboutir au résultat final. Pour plus de précisions quant aux éléments techniques et aux détails de la méthodologie elle-même, on pourra se référer au document de travail fourni en annexe. Lorsque ce sera nécessaire, les références seront alors mentionnées dans le corps du rapport.

La première partie de ce rapport sera consacrée à la présentation de l'organisme d'accueil, à savoir AFRISTAT et le CERA (2). Nous exposerons ensuite le projet et l'objet de l'étude, en les resituant dans notre problématique de recherche initiale et en insistant sur les travaux théoriques et méthodologiques sur lesquels s'est fondée notre réflexion (3). Nous présenterons ensuite la méthodologie élaborée, en nous efforçant de l'illustrer par un exemple purement didactique, à savoir les échanges commerciaux au sein de l'UEMOA (4). Nous concluons finalement sur les limites et les éventuels prolongements futurs de nos travaux (5).

2 Organisme d'accueil et cadre de travail : AFRISTAT et le Centre d'Etudes et de Recherches Appliquées (CERA)

2.1 Présentation d'AFRISTAT

L'Observatoire Economique et Statistique d'Afrique Subsaharienne, dénommé AFRISTAT, est une organisation internationale créée par un traité signé le 21 septembre 1993 à Abidjan par les 14 pays africains membres de la Zone Franc suivants : Bénin, Burkina Faso, Cameroun, Centrafrique, Comores, Congo, Côte d'Ivoire, Gabon, Guinée Equatoriale, Mali, Niger, Sénégal, Tchad et Togo. En avril 1998, la Guinée-Bissau et la Mauritanie ont rejoint AFRISTAT, tandis que la Guinée et le Cap Vert sont devenus Etats membres respectivement en septembre 2000 et septembre 2002. Ceci porte à 18 le nombre d'Etats membres. Au terme de l'article 5 du traité, tout Etat d'Afrique Subsaharienne ou de l'Océan indien peut être admis à AFRISTAT. AFRISTAT a son siège à Bamako au Mali et a démarré ses activités le 2 janvier 1996.

2.1.1 Pourquoi AFRISTAT ?

Chaque Etat, chaque gouvernement, chaque décideur a besoin d'informations lui permettant de piloter au mieux, et à moindre coût, sa gestion et son développement économique et social. Il doit pour ce faire s'appuyer sur un système d'information complet et crédible, lui permettant tout à la fois d'éclairer l'événement et de conduire la décision. A son niveau le plus simple, il s'agit d'une plate-forme minimum d'information statistique mais l'objectif final est la mise en place d'un système d'information économique et sociale complet. Pour répondre, même de façon succincte, à ce besoin d'information, un minimum de moyens humains et matériels est nécessaire dont ne disposent pas toujours les pays en voie de développement.

La création d'AFRISTAT est la résultante d'un double constat, d'un nouveau contexte politique et économique et d'une volonté affirmée d'intégration régionale.

En effet, l'examen critique de l'exercice de la fonction statistique dans les pays d'Afrique subsaharienne montre d'une part, l'absence d'un véritable décollage des Instituts nationaux de statistique (INS) alors même que de nombreux statisticiens ont été formés dans des écoles de haut niveau et que des outils originaux ont été étudiés et testés et d'autre part, une inadaptation croissante des politiques classiques de coopération statistique. En outre, la petite taille de certains pays de cette région ne leur permet pas de mettre en place, avant de très nombreuses années et avec leurs seules ressources nationales, des appareils statistiques complets et opérationnels.

Par ailleurs, le début de la décennie 1990 a vu la naissance d'un processus de démocratisation qui, à terme, devrait faire prendre conscience de la nécessité pour tous les acteurs de la vie économique et sociale de disposer d'une information statistique fiable et crédible. Dans le même temps, la crise économique et financière génère, par le biais des programmes d'ajustement structurel appuyés par la Banque Mondiale et le Fonds Monétaire International, une nouvelle demande de données statistiques à laquelle les INS ont du mal à répondre.

Enfin le nouveau contexte politique et économique marqué notamment par la globalisation de l'économie a mis en lumière la nécessité d'une intégration économique plus poussée des pays concernés.

Devant les difficultés des INS pour répondre à ces besoins d'information, les Ministres de l'économie et des finances des pays de la zone Franc ont décidé la mise en place d'AFRISTAT, répondant ainsi aux recommandations pour le développement de la Statistique en Afrique.

2.1.2 Que fait AFRISTAT ?

AFRISTAT a pour mission de contribuer au développement des statistiques économiques, sociales et de l'environnement dans les Etats membres et de renforcer leurs compétences dans ces domaines. L'organisation a également pour rôle de conseiller les Instituts nationaux de statistique des Etats membres et de soutenir leur action. Il dispose de pouvoirs réglementaires dans le domaine de l'harmonisation des concepts, des normes et des méthodes statistiques. Enfin, AFRISTAT s'inscrit ainsi dans la préoccupation africaine d'intégration économique régionale, qui suppose l'homogénéité et la comparabilité des informations statistiques.

Cette action se traduit par des appuis ponctuels que l'Observatoire apporte aux pays membres et même à d'autres pays africains. Ces appuis couvrent divers domaines : organisation et gestion des systèmes statistiques, comptabilité nationale et macroéconomie, prix et enquêtes sur les dépenses des ménages, suivi du secteur informel, statistiques agricoles, traitement des données, diffusion des données statistiques, etc. Il organise aussi des ateliers régionaux ou sous-régionaux traitant des thèmes d'intérêt commun. AFRISTAT intervient également dans les domaines de la collecte, du traitement, de l'analyse et de la diffusion de l'information socio-économique.

2.1.3 Qui dirige AFRISTAT ?

L'autorité suprême d'AFRISTAT est le Conseil des Ministres. La direction et la gestion de l'Observatoire sont assurées par un Directeur Général, assisté d'un Directeur Général Adjoint. Il est placé sous l'autorité du Comité de direction composé par :

- Les Directeurs des Instituts nationaux de statistique
- Les Directeurs des études des Banques centrales des pays membres
- Les représentants des unions économiques et monétaires auxquelles appartiennent les pays membres.

Le Comité de direction est assisté par un Conseil Scientifique où siègent en particulier des représentants des utilisateurs, des organisations internationales et des universités.

2.1.4 Comment travaille AFRISTAT ?

Une équipe de 16 experts anime les activités d'AFRISTAT : un Directeur Général, un Directeur Général Adjoint, trois comptables nationaux, un macroéconomiste, un statisticien d'enquêtes, cinq spécialistes chargés du suivi et de l'analyse de la pauvreté, un statisticien agricole, deux statisticiens informaticiens et un statisticien du secteur productif. Cette équipe est appuyée par neuf personnes recrutées localement et peut faire appel, en tant que de besoin, à d'autres compétences extérieures.

La Direction Générale d'AFRISTAT fait aussi appel aux consultants tant internationaux que nationaux en fonction des sujets traités.

L'initiative des activités revient à la Direction Générale qui soumet son projet au Conseil scientifique, organe consultatif du Comité de direction. Le Conseil Scientifique émet des avis et recommandations et charge la Direction Générale de les transmettre au Comité de

direction. Ce dernier, après de nouvelles directives éventuelles données à la Direction Générale, décide et informe le Conseil des Ministres ou formule des recommandations pour le dit conseil qui décide en dernier ressort. Le Conseil des Ministres, le Comité de direction et le Conseil scientifique peuvent aussi initier des affaires dont l'exécution est confiée à la Direction Générale.

2.1.5 Qui finance AFRISTAT ?

Un Fonds a été mis en place ayant pour objectif de contribuer aux ressources d'AFRISTAT par l'utilisation des produits financiers dégagés par le placement judicieux de son capital. La gestion du Fonds est assurée par l'Agence française de développement (AFD). Le capital initial s'élève à 3,35 milliards de FCFA. Il est constitué des souscriptions des Etats membres fondateurs pour 1,85 milliards de FCFA et de la France à hauteur de 1,50 milliards de FCFA. Ce capital est ouvert aux souscripteurs qui désirent apporter leur concours au développement des activités d'AFRISTAT et aux nouveaux Etats africains qui adhèrent à cette institution ; dans ce dernier cas, la contribution par Etat s'élève à l'équivalent de 1 321 450 francs français.

Le capital total garantit pendant une première phase de 8 ans le financement régulier des dépenses courantes (salaires du personnel, missions d'appui des experts dans les Etats membres, réunions des groupes d'experts, réunions statutaires, etc.). La phase d'installation d'AFRISTAT d'une durée deux ans a été financée par la France. L'Union européenne finance depuis 1997 un programme d'appui. Enfin le financement de projets de développement spécifiques (enquêtes harmonisées, test de méthodes nouvelles) peut faire l'objet de requêtes ad hoc soumises aux bailleurs de fonds.

2.2 Présentation du CERA

Le CERA d'AFRISTAT, dont la création a été décidée en octobre 2004 par le comité de direction, a démarré ses activités en septembre 2005. Sa mission est de contribuer à la production et à l'analyse des données afin de contribuer à la définition et au suivi et évaluation des politiques de développement.

Le centre est le fruit d'un partenariat entre AFRISTAT et l'Institut de Recherche et de Développement (IRD) de Paris. La convention qui lie les deux organismes concrétise un partenariat de plusieurs années avec DIAL, unité de recherche de l'IRD, notamment dans le cadre du programme PARSTAT. Le CERA permettra à AFRISTAT de se définir progressivement comme un pôle de recherche-développement, d'outils et méthodes de collecte, traitement et analyse, adaptés à l'environnement socio-économique.

Le CERA travaille dans 4 directions principales :

- L'investissement méthodologique dans le domaine statistique pour valoriser les travaux d'enquêtes des états ayant bénéficié de l'appui d'AFRISTAT, et pérenniser les dispositifs nationaux
- L'analyse et la recherche appliquée centrée sur les enquêtes auprès des ménages avec des élargissements dans le domaine de la prévision
- La formation et le renforcement des capacités des experts d'AFRISTAT, des cadres des Instituts Nationaux de la Statistiques (INS) et des enseignants des écoles de statistiques
- L'échange et la valorisation (publications, communications, accueil de chercheurs...) dans un but d'insertion dans la communauté scientifique (économique et statistique) internationale.

Le stage s'est déroulé au sein du CERA, sous la direction de Philippe Bocquier et avec l'appui de Siriki Coulibaly, les deux coordinateurs du centre de recherche. J'ai également été en contact, pour un appui ponctuel, avec différents experts d'AFRISTAT, dont notamment Biaka Tendang auprès de qui j'ai obtenu les données relatives aux échanges commerciaux entre pays de l'UEMOA (cf. partie 4).

3 Projet et objet d'étude : l'analyse des inégalités d'échanges entre pays du monde

Nous allons ici resituer le stage dans le contexte qui a permis sa réalisation et présenter les travaux préliminaires qui ont abouti à la définition précise de notre objet d'étude, à savoir **l'élaboration d'une méthodologie pour l'analyse des réseaux d'échanges.**

3.1 Cadre de l'étude

Un nouveau thème de recherche a été initié au sein du CERA : **l'analyse des inégalités d'échanges entre les pays du monde.** Avec l'émergence d'une économie globalisée et le développement d'échanges complexes entre les pays, ce thème est devenu prépondérant dans l'analyse des inégalités mondiales et de la pauvreté. L'objectif de ce travail est de mieux situer chacun des pays d'Afrique, et notamment des pays membres d'AFRISTAT, par rapport aux autres pays du monde, du point de vue de ses échanges de biens et de personnes. Ces analyses ont pour but d'aboutir sur des essais de projections démographiques et économiques, avec pour objectif final de lier les séries démographiques et socio-économiques, et complètent l'élaboration de méthodologies d'évaluation ex ante (projections par micro simulation), avec pour application l'analyse de la pauvreté.

Ces problématiques de recherche ont été élaborées en collaboration avec P. Bocquier dont les travaux récents (Bocquier & Traoré, 2000 ; Tremblay, 2001 ; Bocquier 2003 ; Bocquier, 2005) ont porté sur l'analyse des migrations internationales – l'objectif étant de mesurer l'importance relative des diasporas scientifiques originaires des pays en voie de développement, en les resituant dans le contexte général des migrations internationales de main d'œuvre – et sur les méthodes de projections de populations urbaines. Ces travaux l'ont amené à initier une réflexion sur la mesure des flux d'échanges et sur les liens possibles entre l'insertion dans un réseau d'échanges global et l'évolution sur le long terme d'indicateurs économiques ou démographiques.

Concrètement, l'investigation de ce vaste thème de recherche comporte plusieurs phases qui ont pu être définies comme suit:

- (1) Recherches bibliographiques sur le thème de la modélisation des données socio-économiques sur le long terme
- (2) Identification des modèles classificatoires pour l'analyse des systèmes de dépendances et de hiérarchies basés sur les échanges
- (3) Identification des bases de données mondiales disponibles (échanges commerciaux, migrations internationales, investissements, communications, éducation...) et d'indicateurs pertinents, pour une analyse des inégalités sur la base des échanges mondiaux
- (4) Identification des modèles économétriques autorégressifs pour l'ajustement des séries temporelles et les projections

Le contenu du stage a essentiellement porté sur les trois premières phases. La dernière phase n'a pu être qu'abordée, faute de temps, et pourra faire l'objet de recherches futures.

3.2 Revue de littérature et travaux de référence

La première étape de notre étude a consisté à réaliser une revue bibliographique visant à identifier les travaux de référence en termes de théories des réseaux et d'analyse des systèmes de dépendances basés sur les échanges.

3.2.1 Les théories du « Système Monde »

De nombreux chercheurs se sont penchés sur une analyse de la structure de l'économie mondiale en termes de réseaux. Ces travaux ont été initiés par I. Wallerstein dont l'objectif était d'apporter une théorie alternative du développement par une approche de la position des pays dans un système d'échanges global (Wallerstein, 1974). Sa théorie du « Système Monde » (*World-System Theory*) s'inscrit dans une perspective macroéconomique qui envisage l'économie capitaliste mondiale comme une « système d'échanges économique et social total ». Il définit ainsi le « Système Monde » comme « une économie mondiale intégrée par des marchés sur lesquels chaque pays lutte pour la domination » et comme « un système social avec des frontières, différents membres, des règles et une structure cohérente qui se maintient par la confrontation d'intérêts divergents et de laquelle chacun essaie de tirer avantage. » Cette approche a été largement utilisée pour parler des dynamiques de développement et tenter de comprendre les relations entre pays développés et en développement.

La conception du système global sous-jacente aux théories du « Système Monde » est celle d'un réseau inter sociétal au sein duquel les interactions entre membres sont essentielles à la persistance de la structure interne de chaque unité. Ainsi, les variations « nationales » doivent être envisagées dans leur contexte, comme le produit d'interactions complexes entre des économies locales, intégrées dans un système plus large. En d'autres termes, les théoriciens du «Système Monde» soutiennent que la position d'un pays dans le réseau mondial affecte les dynamiques internes et les structures économiques et sociales de ce pays. Alors que les études et typologies fondées sur des indicateurs uniques – comme le PIB ou l'IDH par exemple – ne parviennent pas à appréhender de manière exhaustive la structure des échanges internationaux à travers lesquels les inégalités se révèlent, les études basées sur une analyse des réseaux d'échanges prennent en considération les influences systémiques pour mieux comprendre les variations transnationales.

Bien que ces théories n'aient encore trouvé qu'une application limitée dans le domaine économique, sociale ou politique, plusieurs études récentes (Dyches & Rushing, 1996; Shandra & alii, 2004; Moore et alii, 2006) se sont attachés à analyser l'impact de la position d'un pays dans un réseau d'échanges mondial – et notamment de son statut de dépendance – sur plusieurs variables d'intérêt nationales comme le taux de mortalité infantile, l'espérance de vie ou le niveau d'éducation. Tous ces travaux suivent une démarche similaire dans l'analyse, à savoir une analyse préalable de la structure du réseau d'échanges qui conduit à la détermination de positions, et une étude (économétrique) de l'effet de ces positions sur les variables considérées. Ainsi, l'analyse des réseaux reste une étape préliminaire fondamentale pour déterminer le rôle de chaque acteur dans un système d'échanges global.

3.2.2 Les techniques de blockmodeling comme outil d'analyse des réseaux

En termes d'analyse des réseaux d'échanges, plusieurs études (Snyder & Kick, 1979; Nemeth & Smith, 1985; Smith & White, 1992) servent de référence, notamment dans les différents papiers précités. Leur point de convergence est qu'elles utilisent toutes les

techniques dites de « blockmodeling » pour identifier les rôles des pays dans le système mondial, sur la base des échanges commerciaux. Une importante littérature existe concernant ces techniques. Nous allons en présenter ici les principes généraux (Wasserman & Faust, 1992) en s'appuyant sur l'exemple du commerce international (Moore & alii, 2006).

La procédure de blockmodeling comporte deux étapes :

- (1) la partition des acteurs du réseau en différents groupes définissant des positions
- (2) Pour chaque paire de positions, la détermination de l'existence ou de l'absence de liens entre ses positions, afin de déterminer la structure du réseau

Ainsi, les techniques de blockmodeling permettent de « modéliser » le réseau et d'en dégager les caractéristiques principales, en décrivant des relations entre positions plutôt que des relations bilatérales entre acteurs isolés. Concrètement, si le réseau est composé de n acteurs, alors que les données originales sont issues d'une matrice carrée de dimension n (dans laquelle chacune des cellules est associée à une relation bilatérale), la procédure de blockmodeling permet d'aboutir à une représentation des relations dans une matrice réduite de dimension p , p représentant le nombre de positions distinctes définies après la partition. Chaque cellule de la matrice décrivant les relations entre chaque position est appelée « bloc ».

La première étape du processus de blockmodeling est donc la partition des acteurs en groupes distincts. Le point de départ est une matrice carrée de dimension n recensant les données « brutes » sur les échanges (par convention, i représente les lignes et j les colonnes). Dans le cas du commerce international par exemple, il s'agit d'une matrice d'échanges E , avec en colonne les pays d'origine et en ligne les pays de destination, où E_{ij} correspond au flux commercial entre les deux partenaires. Cette matrice est tout d'abord transposée en une matrice dichotomique X , où $X_{ij} = 1$ si un échange a lieu entre le pays i et le pays j , et $X_{ij} = 0$ sinon. Un seuil permet usuellement de définir si l'échange entre les pays peut être considéré comme significatif.

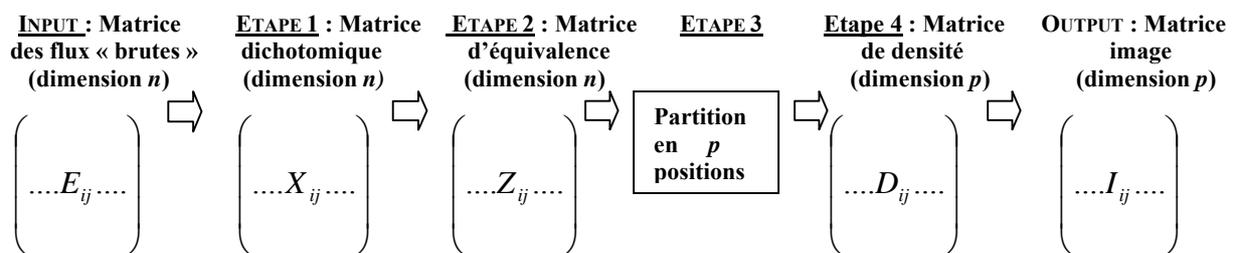
Ensuite, une mesure d'équivalence doit être définie pour identifier les similarités entre les différents acteurs du réseau. Trois critères d'équivalence sont fréquemment adoptés : équivalence structurelle, équivalence automorphique ou équivalence régulière. Pour plus de précisions, on pourra se référer au document de travail en annexe. Des mesures d'équivalence fondées sur chaque relation bilatérale sont ainsi dérivées de la matrice X afin de construire une matrice d'équivalence Z dans laquelle chaque cellule Z_{ij} représente le degré d'équivalence entre l'acteur i et j .

Il peut être difficile d'analyser directement les valeurs de la matrice Z et de détecter la structure du réseau, particulièrement si sa dimension est importante. Deux procédures statistiques sont alors communément utilisées pour partitionner les acteurs en groupes d'équivalence sur la base de la matrice Z : les procédures de classification hiérarchiques (*Hierarchical Clustering procedures*) et l'algorithme CONCOR (Borgatti & Everett, 2002). Pour plus de précisions sur ces techniques, on pourra se référer à l'article en annexe.

Une fois la partition obtenue, l'étape suivante est l'analyse de la structure des relations au sein du réseau. Les schémas de relations entre les positions définies peuvent être examinés par le biais de deux matrices : une matrice de densité par blocs (*block density matrix*) et une matrice image (*image matrix*), de dimension le nombre de positions choisies. Les cellules D_{ij} de la matrice de densité par bloc représentent la proportion de liens existants dans l'ensemble des liens possibles entre les acteurs des positions i et j – la densité est donc comprise entre 0 et 1. La matrice image, dichotomique, est une simplification de la matrice d'intensité. A chaque cellule est attribuée la valeur 0 ou 1 en fonction de la valeur du coefficient d'intensité : si la densité excède un seuil prédéfini – généralement, la densité moyenne de la matrice – la valeur 1 est attribuée (« bloc 1 »), dans le cas contraire la valeur 0 est attribuée (« bloc 0 »). Ainsi, la matrice image peut être comparée à des modèles types de matrices images décrivant des

structures de réseaux connues. En ce qui concerne le commerce international par exemple, la structure la plus couramment identifiée est la structure de type centre/périphérie caractérisée par trois positions principales – le centre, la semi-périphérie et la périphérie – les zones centrales maintenant une forte densité d'échanges internes et externes (blocs 1), tandis que les zones périphériques maintiennent une faible densité interne (blocs 0) est une forte densité externe (blocs 1).

La procédure de blockmodeling peut donc être résumée par le schéma suivant (pour un réseau à n acteurs):



Le constat qui peut être fait est que les techniques de blockmodeling se sont imposées comme un outil majeur d'analyse des réseaux d'échanges, et plus particulièrement des réseaux d'échanges commerciaux. Toutefois, ces méthodes ne nous sont pas apparues satisfaisantes pour notre objet d'étude. Notre travail a donc consisté à en identifier les limites dans le but d'élaborer une méthodologie alternative d'analyse des réseaux, prenant en considération non plus seulement l'existence d'échanges mais également leur intensité et leur dissymétrie.

4 Description de l'étude : une nouvelle méthodologie pour l'analyse des réseaux d'échanges

Cette partie sera consacrée à la présentation des travaux réalisés durant le stage. Nous insisterons premièrement sur les limites des techniques précédemment décrites et l'intérêt d'une méthodologie alternative. Nous présenterons ensuite cette méthodologie, afin de conclure sur les premiers résultats obtenus, les résultats attendus et les pistes de recherches futures.

4.1 Pourquoi une nouvelle méthodologie ?

4.1.1 Les limites des techniques de blockmodeling

Les premières limites de ces techniques résident dans le fait que la matrice dichotomique X , dont les cellules prennent la valeur 0 ou 1, ne reflète pas la totalité de l'information contenue dans la matrice d'origine, à savoir la matrice E des flux d'échanges en valeur. En effet, la matrice X ne prend en compte que la présence/absence d'un échange, négligeant ainsi l'information concernant son intensité. En conséquence, aucune distinction ne peut-être faite entre deux flux d'échanges d'importance différente. Par exemple, dans le cas du commerce international, les relations commerciales entre la France et l'Allemagne, de même que les relations commerciales entre la France et le Mali, seront codées 1 simplement parce que des flux d'échanges sont présents et excèdent un certain seuil (arbitraire). Il est toutefois indéniable que ces flux ne sont équivalents ni en volume, ni en proportion des économies nationales.

En outre, lorsque les groupes d'équivalence sont définis sur la base de la matrice X , les acteurs d'un même bloc sont considérés comme totalement équivalents et les relations que

chaque membre du bloc entretient avec ses partenaires sont supposées identiques. Dans le cas d'une structure centre/périphérie, tous les pays du centre sont supposés entretenir le même type de relations commerciales avec l'ensemble des pays de la périphérie. Néanmoins, en raison de leur passé colonial ou de leurs situations géopolitiques, il est par exemple évident que les flux d'échanges entre la France et le Royaume-Uni d'une part, et le Mali et le Kenya d'autre part, ne peuvent être considérés comme équivalents, bien que ces pays soient respectivement assignés au centre et à la périphérie. Ainsi, l'utilisation successive de matrices dichotomiques pour recoder les échanges dans une procédure d'analyse qui reste relativement complexe, réduit considérablement les informations originales contenues dans les données de base.

Enfin, en conséquence de cela, il reste impossible d'esquisser une analyse temporelle de l'évolution de la structure du réseau et de la position des acteurs en son sein. Un flux d'échange qui s'est intensifié ou affaibli au cours du temps restera codé avec la valeur 1. Ainsi, une altération globale des liens commerciaux entre un pays et ses partenaires laissera la position de ce pays dans le réseau inchangée, aussi longtemps que le lien restera significatif. Les techniques de blockmodeling sont donc inadaptées pour l'analyse en série temporelle de l'évolution des systèmes de dépendances.

4.1.2 Intérêt et objectif d'une nouvelle méthodologie

Les limites des techniques de blockmodeling laissent supposer que ces méthodes sont inadaptées et pourraient conduire à une mauvaise estimation de la position des pays dans le réseau, du fait de la seule prise en considération de la présence/absence d'un échange. L'objectif premier de l'élaboration d'une nouvelle méthodologie est donc la construction d'une procédure qui conserve l'information relative à l'intensité des échanges. Pour cela, elle sera essentiellement fondée sur des concepts de mesure de la mobilité spatiale, à savoir les *indices d'intensité relatives des échanges* (D.Courgeau, 1988), principalement utilisés dans l'analyse des migrations internationales (Bocquier & Traoré, 2000 ; Tremblay, 2001 ; Bocquier 2003 ; Bocquier, 2005) mais qui peuvent être aisément transposés à d'autres types d'échanges.

Le deuxième objectif est d'élaborer une méthodologie simplifiée et plus « lisible », incluant notamment des représentations graphiques, qui prend en données d'entrée le même type de bases de données utilisées dans les techniques de blockmodeling, à savoir des matrices d'échanges par pays d'origine et par pays de destination. Ainsi, une comparaison sera rendue possible entre les deux procédures.

Enfin, le dernier objectif est de construire une méthodologie qui permet une analyse détaillée de la structure du réseau et de l'évolution de la position des pays sur une base temporelle. Dans cette perspective, l'utilisation de l'information relative à l'intensité des échanges reste essentielle.

4.2 Présentation de la méthodologie

Les principales étapes de la méthodologie seront ici décrites, avec pour référence l'exemple du commerce international sur la base duquel elle a été élaborée. Plus précisément, et bien que ces données soient soumises à caution, nous illustrerons, dans un but didactique, chaque étape avec l'exemple des données du commerce entre pays de l'Union Economique et Monétaire Ouest Africaine (UEMOA), à savoir Bénin, Burkina, Côte d'Ivoire, Guinée-Bissau, Mali, Niger, Sénégal et Togo. Pour plus de précisions, on pourra se référer à l'article en annexe.

4.2.1 Données de bases

De même que dans les techniques de blockmodeling, le point de départ de l'analyse est une **matrice carrée d'échanges E** – notons i les lignes et j les colonnes – de dimension le nombre de pays inclus dans le réseau étudié et où E_{ij} représente la valeur du flux d'échange entre le pays i (origine) et le pays j (destination). Dans le cas du commerce entre pays de l'UEMOA, cette matrice est de dimension 8 (Tableau 1). En ligne figurent les pays importateurs, en colonne les pays exportateurs et les cellules représentent les flux commerciaux entre partenaires (importations ou exportations selon le sens de lecture). Par exemple, entre 1996 et 2002, le Mali a importé en moyenne pour 712 millions de FCFA de biens en provenance du Burkina.

Tableau 1. Matrice des échanges commerciaux intra UEMOA en millions de FCFA (moyenne 1996-2002)

ORIGINE/DESTINATION	Bénin	Burkina	Côte d'Ivoire	Guinée-Bissau	Mali	Niger	Sénégal	Togo
Bénin	-	550	360	9	2201	4055	376	5480
Burkina	35	-	134	0	712	2564	23	646
Côte d'Ivoire	22971	64311	-	575	96756	26783	27836	15800
Guinée-Bissau	14	3	451	-	1	0	4	0
Mali	20	849	1689	2	-	527	82	114
Niger	20	289	64	0	201	-	4	62
Sénégal	9487	3804	12800	610	26106	813	-	2759
Togo	9979	8019	836	12	9543	4344	508	-

Sur la base de cette matrice, deux taux prenant en compte la valeur des échanges peuvent être calculés :

- **Un taux d'entrée (inflow rate)**

Il correspond, pour un pays i , à la part du flux d'échange du pays j vers le pays i (E_{ji})

dans le potentiel d'échange du pays i , noté P_i : $I_{ij} = \frac{E_{ji}}{P_i}$

Le taux d'entrée total est notée : $I_i = \frac{\sum_j E_{ji}}{P_i}$

Dans le cas du commerce, ce taux correspond simplement au taux d'importation, et P_i représente le PIB. Une matrice des taux d'importation par pays peut donc être construite (Tableau2).

Tableau 2. Matrice des taux d'importation (%) par pays de l'UEMOA (moyenne 1996-2002)

ORIGINE/DESTINATION	Bénin	Burkina	Côte d'Ivoire	Guinée-Bissau	Mali	Niger	Sénégal	Togo
Bénin	-	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0	0,6
Burkina	0,0	-	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1
Côte d'Ivoire	1,5	3,8	-	0,4	5,4	2,3	0,9	1,8
Guinée-Bissau	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,0	0,0	0,0
Mali	0,0	0,1	0,0	0,0	-	0,0	0,0	0,0
Niger	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,0
Sénégal	0,6	0,2	0,2	0,4	1,5	0,1	-	0,3
Togo	0,7	0,5	0,0	0,0	0,5	0,4	0,0	-

- **Un taux de sortie** (outflow rate)

Il correspond, pour un pays i , à la part du flux d'échange du pays i vers le pays j (E_{ij})

dans le potentiel d'échange du pays i : $O_{ij} = \frac{E_{ij}}{P_i}$

Le taux de sortie total est noté : $O_i = \frac{\sum_j E_{ij}}{P_i}$

Dans le cas du commerce, ce taux correspond au taux d'exportation. Une matrice des taux d'exportation peut être construite (Tableau 3).

Tableau 3. Matrice des taux d'exportation (%) par pays de l'UEMOA

ORIGINE/DESTINATION	Bénin	Burkina	Côte d'Ivoire	Guinée-Bissau	Mali	Niger	Sénégal	Togo
Bénin	-	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0	0,4
Burkina	0,0	-	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
Côte d'Ivoire	0,3	0,9	-	0,0	1,4	0,4	0,4	0,2
Guinée-Bissau	0,0	0,0	0,3	-	0,0	0,0	0,0	0,0
Mali	0,0	0,0	0,1	0,0	-	0,0	0,0	0,0
Niger	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,0
Sénégal	0,3	0,1	0,4	0,0	0,9	0,0	-	0,1
Togo	1,1	0,9	0,1	0,0	1,1	0,5	0,1	-

Ces deux matrices prennent en considération la valeur et l'intensité des échanges au sein du réseau et permettent d'avoir une première idée de sa structure. Par exemple, on peut identifier que des pays comme le Mali, le Burkina ou le Niger sont de gros importateurs dans la zone UEMOA, alors que la Côte d'Ivoire ou le Sénégal sont principalement des pays exportateurs. Toutefois, ces taux ne sont pas réellement satisfaisants pour la comparaison des flux d'échanges origine/destination, dans la mesure où ils ne tiennent compte que des potentiels d'échanges respectivement dans le pays de destination et dans le pays d'origine. Ils ne reflètent donc pas toute l'importance de ces flux au regard des potentiels d'échanges des deux pays partenaires. Or, une variation de ces potentiels dans l'un et/ou l'autre des deux pays peut avoir un impact significatif sur la valeur de l'échange.

4.2.2 Calcul des Indices d'Intensité Relative des échanges

Pour remédier au problème évoqué ci-dessus, Courgeau (1988) propose le calcul d'Indices d'Intensité Relative des échanges (IIR) qui prennent en compte les potentiels d'échanges dans les pays d'origine et de destination – à savoir les deux PIB dans le cas du commerce international. Ainsi, la matrice carrée E des flux d'échanges peut être transposée en une **matrice carrée d'intensité R** , où R_{ij} représente l'IIR de l'échange entre le pays i et le pays j . Cet indice se calcule en deux étapes :

(1) Calcul de l'Indice d'Intensité Brut m_{ij}

Il correspond au ratio entre le flux d'échange du pays i vers le pays j et le produit des potentiels d'échanges dans les pays i et j .

$$m_{ij} = \frac{E_{ij}}{P_i * P_j}$$

En démographie, ce ratio est appelé indice d'intensité migratoire et peut être interprété comme la probabilité qu'un individu issu de la population P_i soit identique à un individu tiré dans la population P_j , à une date donnée, soit un migrant de i vers j . Il élimine donc bien l'effet des populations de départ et d'arrivée.

(2) *Calcul de l'Indice d'Intensité Relative R_{ij}*

Il correspond au ratio entre l'Indice d'Intensité Brut et l'indice d'intensité moyen pour tous les pays inclus dans le réseau. Cet indice moyen est lui-même défini comme le ratio entre la somme des flux d'échanges et la somme des produits des potentiels d'échanges dans les pays d'origine et de destination.

$$R_{ij} = \frac{m_{ij}}{\bar{m}_{ij}} \quad \text{avec} \quad \bar{m}_{ij} = \frac{\sum_i \sum_{j \neq i} E_{ij}}{\sum_i \sum_{j \neq i} P_i * P_j}$$

L'exemple des migrations, d'où ce concept est issu, est utile pour comprendre la signification de cet indice. La valeur centrale de cet indice est 1 et correspond à la probabilité moyenne de trouver un individu dans un pays différent de son pays d'origine. Si tous les indices étaient égaux à 1, cela voudrait dire que les migrants se distribuent de manière égale entre les pays, proportionnellement aux populations dans les pays d'origine et de destination. Ainsi, les différences par rapport à 1 dénotent l'attraction ou la répulsion d'un pays par rapport aux autres et est comparable à un odd ratio. Par exemple, si l'indice vaut 5 – donc est supérieur à 1 – cela signifie que les migrants du pays i ont cinq fois plus de chances de se trouver dans le pays j par rapport à la moyenne des migrants. A l'inverse, si l'indice vaut 0,2 – donc est inférieur à 1 – cela signifie que les migrants du pays i ont cinq fois moins de chances de se trouver dans le pays j . En termes d'échanges commerciaux, cela signifie que la probabilité d'acheter un bien importé du pays i dans le pays j est respectivement cinq fois plus ou cinq fois moins importante que la probabilité d'acheter un bien importé d'un autre pays. Ainsi, la probabilité d'acheter au Mali un bien importé de Côte d'Ivoire est cinq fois plus importante que la probabilité d'acheter un bien importé d'un autre pays de l'UEMOA.

Tableau 4. Matrice des IIR d'échanges entre pays de l'UEMOA (1996-2002)

ORIGINE/DESTINATION	Bénin	Burkina	Côte d'Ivoire	Guinée-Bissau	Mali	Niger	Sénégal	Togo
Bénin	-	0,1	0,0	0,0	0,5	1,4	0,1	2,6
Burkina	0,0	-	0,0	0,0	0,2	0,8	0,0	0,3
Côte d'Ivoire	1,4	3,4	-	0,4	4,9	2,0	0,9	1,6
Guinée-Bissau	0,0	0,0	0,3	-	0,0	0,0	0,0	0,0
Mali	0,0	0,2	0,1	0,0	-	0,2	0,0	0,0
Niger	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	-	0,0	0,0
Sénégal	1,4	0,5	0,4	0,9	3,2	0,1	-	0,7
Togo	4,7	3,4	0,1	0,1	3,8	2,6	0,1	-

La matrice d'intensité R contient donc deux informations essentielles : d'une part, elle décrit les flux d'échanges – attraction ou répulsion – d'autre part, elle donne une mesure de leur importance relative au regard des potentiels d'échanges dans les deux pays partenaires. Ainsi, elle permet une analyse non biaisée des échanges et de leur intensité. La matrice R et les IIR vont donc servir de base dans l'analyse de la structure du réseau. Contrairement aux techniques de blockmodeling qui utilisent des matrices dichotomiques, notre méthodologie est fondée sur des matrices recensant non seulement l'absence/présence d'un échange, mais également leur intensité.

4.2.3 Représentations graphiques et analyse du réseau

Il est difficile d'analyser une matrice, particulièrement si sa dimension est importante et même si les indices peuvent être interprétés directement. Il peut donc être intéressant d'en obtenir une représentation graphique simple qui donne une image synthétique du réseau.

Comme nous l'avons vu précédemment, deux indications émergent de la matrice R : l'orientation des flux et leur intensité. Si l'on considère deux pays i et j , leur lien commercial est caractérisé par deux IIR, qui décrivent respectivement la relation de i à j et de j à i . En réalité, analysés conjointement, ces deux indices contiennent quatre informations : la symétrie des relations de i à j et de j à i - définie par la différence des indices par rapport à 1 - et l'intensité des relations de i à j et de j à i - mesurée par la valeur des indices. Ces informations peuvent être synthétisées pour obtenir deux indicateurs basés sur les IIR et « résumant » la relation - un *indicateur de dissymétrie* et un *indicateur d'intensité moyenne*. Ils sont calculés de la manière suivante :

- *Indicateur de dissymétrie (S)*

Il se définit comme la différence des logarithmes des IIR.

$$S_{ij} = \log(R_{ij}) - \log(R_{ji})$$

Cet indicateur est centré sur 0. S'il est égal à 0, cela signifie que $R_{ij} - R_{ji} = 0$, donc que les des IIR sont égaux : le pays i est aussi attractif pour le pays j que le pays j ne l'est pour le pays i . Si S est positif, cela signifie que $R_{ij} > R_{ji}$: le pays j est plus attractif pour le pays i que le pays i ne l'est pour le pays j . La relation est dissymétrique en faveur du pays j . Si S est négatif, la relation est alors dissymétrique en faveur du pays i . Ainsi, cet indicateur apporte une information sur le « sens » et l'importance de la dissymétrie. Notons que si les IIR valent 0 - i.e. les échanges sont inexistantes - la logarithme ne peut être calculé. Ceci est souvent dû à un manque de données sur des échanges qui restent peu importants. En conséquence, le logarithme des IIR sera fixé dans ce cas à la valeur minimale observée. Cet indicateur est donc équivalent à un solde, mais sur un indice qui contrôle l'origine et la destination, ou plus précisément la capacité d'émission et d'absorption.

Une matrice des dissymétries S (antisymétrique) peut alors être construite (Tableau 5).

Tableau 5. Matrice des dissymétries d'échanges entre pays de l'UEMOA (1996-2002)

ORIGINE/DESTINATION	Bénin	Burkina	Côte d'Ivoire	Guinée-Bissau	Mali	Niger	Sénégal	Togo
Bénin	-	2,76	-4,15	-0,46	4,72	5,30	-3,23	-0,60
Burkina	-2,76	-	-6,18	-2,27	-0,18	2,18	-5,09	-2,52
Côte d'Ivoire	4,15	6,18	-	0,24	4,05	6,04	0,78	2,94
Guinée-Bissau	0,46	2,27	-0,24	-	-1,20	1,04	-4,97	-4,60
Mali	-4,72	0,18	-4,05	1,20	-	0,96	-5,76	-4,43
Niger	-5,30	-2,18	-6,04	-1,04	-0,96	-	-5,21	-4,25
Sénégal	3,23	5,09	-0,78	4,97	5,76	5,21	-	1,69
Togo	0,60	2,52	-2,94	4,60	4,43	4,25	-1,69	-

- *Indicateur d'intensité moyenne (V)*

Il se définit comme le logarithme de la moyenne arithmétique des IIR.

$$V_{ij} = \log\left(\frac{R_{ij} + R_{ji}}{2}\right)$$

L'indicateur initial (sans le logarithme) est compris entre 0 et $+\infty$. Il reste centré sur 1. Plus il est élevé, plus les échanges entre les pays i et j sont importants. A l'inverse, s'il est

proche de 0, ceci signifie que les échanges sont quasi inexistant. Toutefois, pour simplifier son interprétation, il peut être intéressant de le normaliser pour qu'il soit centré sur 0 et compris entre $-\infty$ et $+\infty$. La fonction logarithme lui est donc appliquée : l'indicateur en logarithme sera égal à 0 si l'indicateur initial est proche de la valeur centrale 1, négatif s'il est inférieur à 1 – i.e. les échanges sont faibles – et positif s'il est supérieur à 1 – i.e. les échanges sont importants. Si l'indicateur initial est égal à 0, le logarithme sera une nouvelle fois fixé à la valeur minimale observée.

Une matrice des intensités moyennes V (symétrique) peut donc être construite (Tableau 6).

Tableau 6. Matrice des intensités moyennes d'échanges entre pays de l'UEMOA (1996-2002)

ORIGINE/DESTINATION	Bénin	Burkina	Côte d'Ivoire	Guinée-Bissau	Mali	Niger	Sénégal	Togo
Bénin	-	-2,62	-0,37	-3,42	-1,34	-0,33	-0,35	1,29
Burkina	-2,62	-	0,55	-5,31	-1,79	-0,78	-1,39	0,61
Côte d'Ivoire	-0,37	0,55	-	-1,13	0,91	0,02	-0,47	-0,18
Guinée-Bissau	-3,42	-5,31	-1,13	-	-5,76	-7,09	-0,76	-3,52
Mali	-1,34	-1,79	0,91	-5,76	-	-2,20	0,47	0,66
Niger	-0,33	-0,78	0,02	-7,09	-2,20	-	-2,59	0,28
Sénégal	-0,35	-1,39	-0,47	-0,76	0,47	-2,59	-	-0,92
Togo	1,29	0,61	-0,18	-3,52	0,66	0,28	-0,92	-

Les matrices S et V contiennent donc l'information complète sur la nature et l'intensité de chaque relation bilatérale et vont servir de base aux représentations graphiques de la structure du réseau. En effet, une fois ces matrices calculées, deux coordonnées peuvent être attribuées à chaque relation : une coordonnée de dissymétrie et une coordonnée d'intensité. Ces relations peuvent alors être représentées dans un espace à deux dimensions avec en abscisses l'indicateur d'intensité et en ordonnée l'indicateur de dissymétrie. Nous avons ici pris comme exemple les relations du Mali avec ses partenaires de l'UEMOA (Figure1).

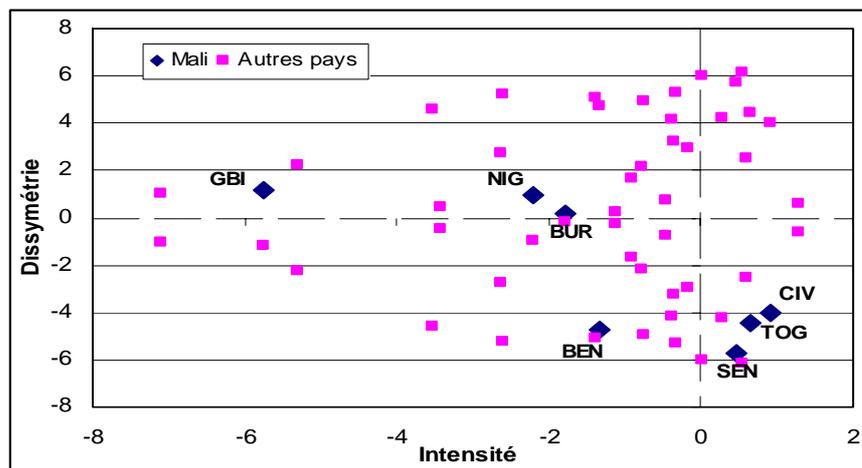


Figure 1. Représentation des relations bilatérales entre pays de l'UEMOA, Mali (1996-2002)

Toutefois, ce graphique apparaît complexe et difficilement interprétable. Pour synthétiser l'information et déterminer des groupes de pays, afin de leur assigner un rôle dans le réseau, il est possible de calculer la coordonnée médiane et l'écart interquartile pour chaque indicateur et chaque pays sur la base de l'ensemble de ses relations bilatérales. Les pays maintenant peuvent alors être représentés sur le même graphique à deux dimensions, dit *graphique dissymétrie-intensité*. Nous avons conservé l'exemple du Mali (Figure 2). Le carré

noir représente la coordonnée médiane du Mali, la ligne verticale l'écart interquartile sur l'indicateur de dissymétrie et la ligne horizontale l'écart interquartile sur l'indicateur d'intensité. En pratique, la dissymétrie médiane pour un pays i est la médiane des S_{ij} , où i désigne le pays considéré et j ses partenaires. Ainsi, la ligne horizontale « 0 » définit si un pays est plutôt « origine » ou « destination ». Par exemple, dans le cas du commerce international, un pays situé au dessus de cette ligne (dissymétrie médiane positive) joue un rôle d'origine. En d'autres termes, il exporte plus qu'il n'importe. A l'inverse, un pays situé en dessous de cette ligne (dissymétrie médiane négative) joue un rôle de destination. L'intensité médiane pour un pays i est, de même, la médiane des V_{ij} . La ligne verticale définit ici l'importance d'un pays dans le réseau d'échanges. Dans le cas du commerce international, un positionnement à droite de cette ligne (intensité médiane positive) signifie que les échanges entre le pays considéré et la plupart de ses partenaires sont relativement importants (plus précisément supérieurs à la moyenne dans la zone). Un positionnement à gauche de cette ligne (intensité médiane négative) indique que les échanges impliquant le pays considéré sont de faibles importances. Enfin, les deux segments représentant les écarts interquartiles apportent une information sur la dispersion des relations sur le graphique.

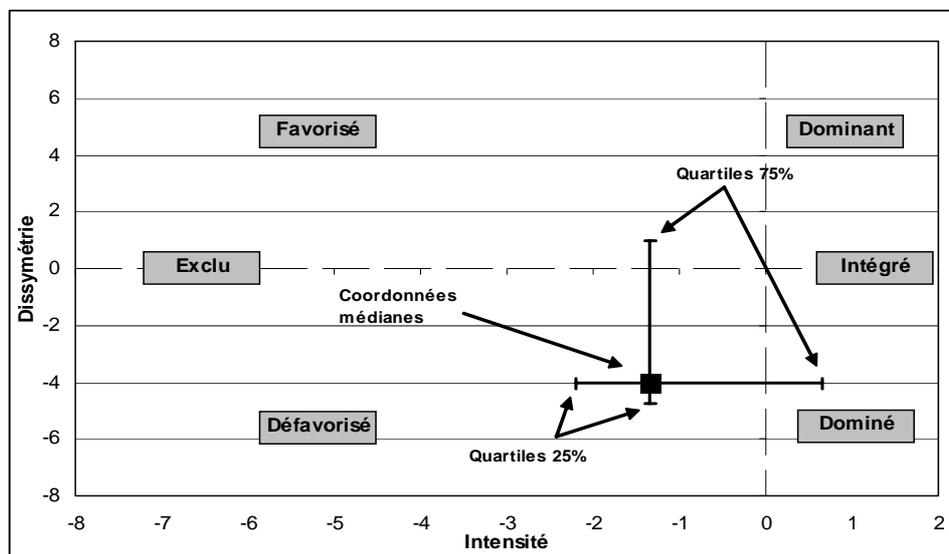


Figure 2. Schéma d'un graphique dissymétrie-intensité à une date t
Exemple du Mali (1996-2002)

Le point central de ce graphique est le point d'intersection entre les lignes de dissymétrie et d'intensité « 0 ». Il représente le point « moyen ». Les pays se positionnent autour de ce point moyen. Plusieurs « positions types » peuvent être définies :

- Une position de « **dominant** » (nord-est) : elle se caractérise par une dissymétrie et une intensité médianes positives. Elle correspond à des pays exportateurs (origine) dont les échanges avec ses partenaires sont intenses.
- Une position de « **favorisé** » (nord-ouest) : dissymétrie médiane positive et intensité négative. Elle correspond à des pays exportant plus qu'ils n'importent (origine) mais dont les échanges sont peu intenses.
- Une position de « **défavorisé** » (sud-ouest) : dissymétrie et intensité médianes négatives. Elle correspond à des pays en relation de dépendances vis-à-vis de leurs partenaires (destination) mais dont les échanges sont peu importants.

- Une position de « **dominé** » (sud-est) : dissymétrie médiane négative et intensité positive. Elle correspond à des pays en relation de dépendance vis-à-vis de leurs partenaires (destination) mais dont les échanges sont relativement intenses.
- Une position « **d'intégré** » (est) : dissymétrie médiane nulle et intensité positive. Elle correspond à des pays dont les échanges sont équilibrés et intenses.
- Une position « **d'exclu** » (ouest) : dissymétrie nulle et intensité négative. Elle correspond à des pays dont les échanges sont quasiment inexistantes.

L'analyse « visuelle » de la position relative des pays sur le graphique permet alors de déterminer des groupes de pays et de définir la structure du réseau. Si l'on se réfère à une structure de type centre/périphérie pour le commerce international, on peut suspecter que les pays du centre se positionneront sur la zone nord-est du graphe, avec une faible variance pour les deux indicateurs. Ils sont en effet de gros exportateurs et entretiennent des relations similaires avec la plupart de leurs partenaires (forte intensité et forte dissymétrie positive). En revanche, les pays de la périphérie occuperont une position sud-est, sud-ouest : ils sont généralement des pays de destination (en relation de dépendance vis-à-vis de leurs partenaires). La variance sur l'indicateur d'intensité sera importante dans la mesure où leurs relations sont denses avec le centre, plus équilibrées avec la semi-périphérie et quasiment inexistantes au sein de la périphérie. Les pays de la semi-périphérie tiendront eux une position nord-ouest, relativement proche du centre, dans la mesure où ils servent de lien entre le centre et la périphérie. Dans le cas de l'UEMOA par exemple, Le Sénégal, la Côte d'Ivoire et le Togo occupent une position de centre, tandis que le Niger, le Mali et le Burkina restent en relation de dépendance vis à vis de leurs partenaires, à la périphérie. Le Bénin garde une position centrale, proche de la semi-périphérie. La Guinée-Bissau apparaît comme exclue du réseau d'échanges (Figure 3). Pour plus de précisions, on pourra se référer à l'article en annexe.

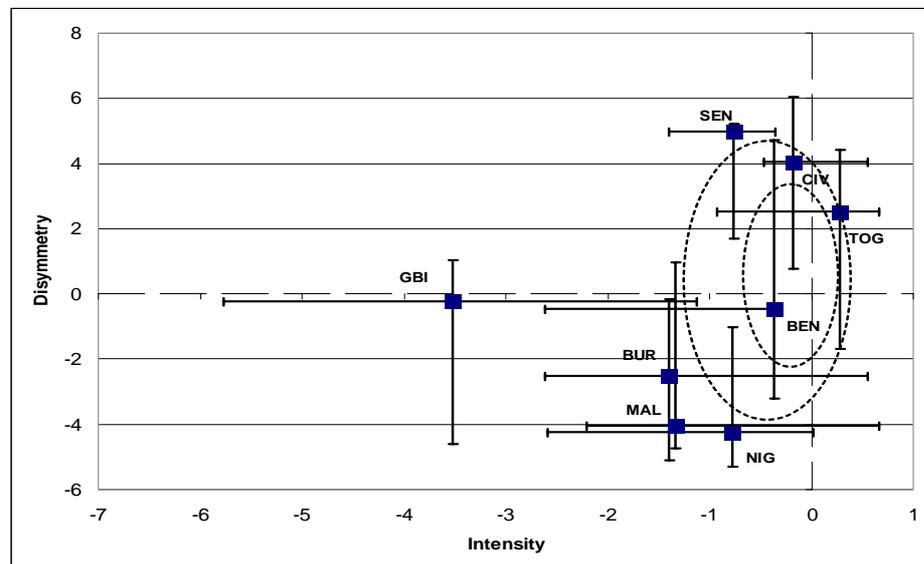


Figure 3. Graphique dissymétrie-intensité, pays de l'UEMOA (1996-2002)

L'analyse visuelle de la structure du réseau et la détermination graphique des groupes de pays peuvent être confirmées et affinées à l'aide de méthodes statistiques d'analyse des données, telles que les procédures de classification hiérarchique par exemple (déjà utilisées dans les techniques de blockmodeling). Ces procédures peuvent être appliquées aux données d'entrée du graphique dissymétrie-intensité avec les pays en observations et la dissymétrie médiane, l'intensité médiane et les quartiles correspondant en variables de discrimination. La

partition obtenue peut alors être comparée aux groupes « visuels » définis. Dans le cas de l’UEMOA, si une partition en quatre classes est choisie comme le laisse supposer l’observation du graphique, la classification hiérarchique permet de retrouver les groupes définis par les positions relatives des pays (Figure 4).

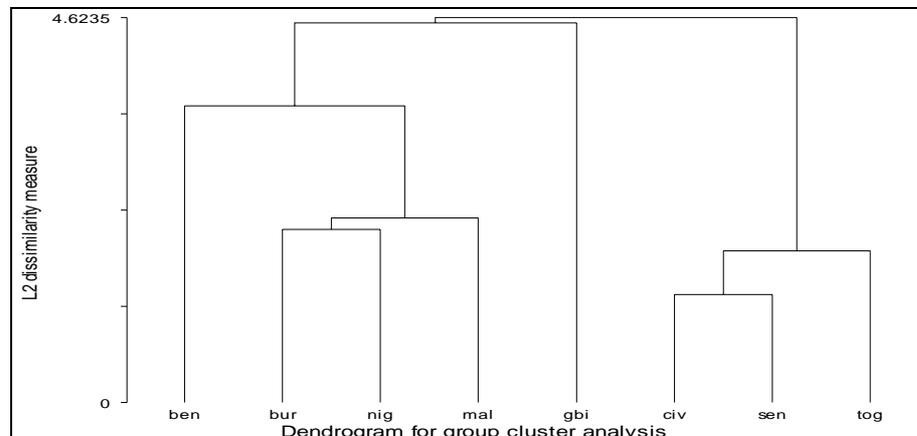
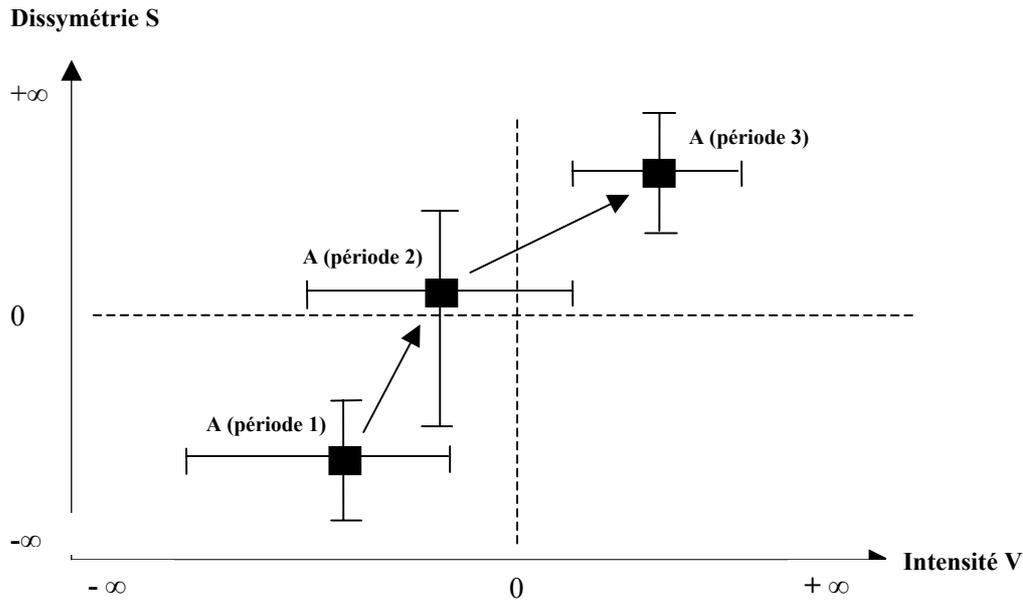


Figure 4. Dendrogramme issu de la classification hiérarchique, pays de l’UEMOA (1996-2002)

Nous avons donc défini plusieurs indicateurs et une procédure précise pour l’analyse des réseaux d’échanges, sur la base de concepts démographiques utilisés pour mesurer la mobilité spatiale et analyser les migrations. La première application de cette procédure, que nous venons de présenter, est l’*approche transversale* du réseau, à savoir la partition des acteurs et l’analyse de la structure du réseau à une date donnée. Fondée sur l’analyse des échanges commerciaux, cette méthode pourrait aisément être transposée à d’autres types d’échanges (investissements, communications, aide publique...) impliquant deux pays inclus dans un réseau. Plusieurs analyses successives peuvent ainsi être réalisées en appliquant la procédures à différents types d’échanges, afin d’obtenir plusieurs graphiques dissymétrie-intensité à une date donnée. Ces représentations pourraient alors être superposées et comparées, afin d’analyser la position d’un pays dans un réseau global d’échanges – par exemple en examinant les coordonnées moyennes d’un pays sur l’ensemble des graphiques. Néanmoins, cela suppose que l’analyste ait à sa disposition plusieurs matrices d’échanges origine/destination, recensant différents types d’échanges à la même date.

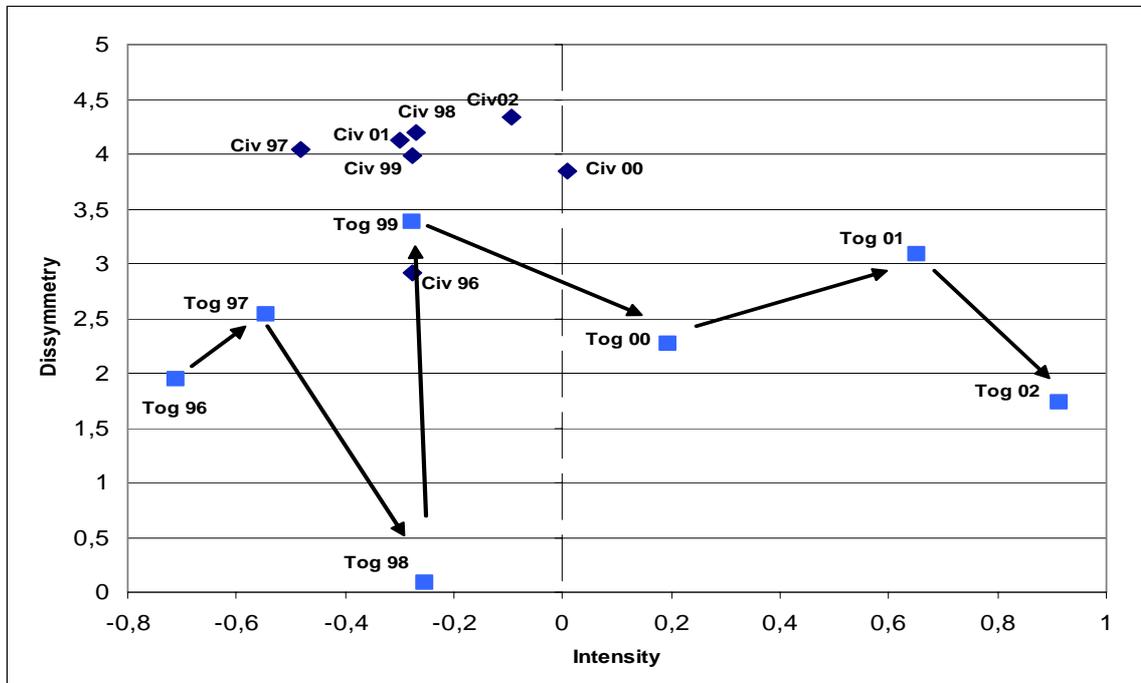
L’autre importante application de cette méthodologie réside dans l’*approche en série temporelle* des réseaux. En effet, la procédure définie permet de se focaliser sur un type spécifique d’échanges et d’analyser l’évolution de la structure du réseau dans le temps. La représentation graphique est particulièrement adaptée à ce type d’analyse. Cela consiste à représenter sur un même graphe plusieurs matrices d’échanges à différentes dates (Figure 5). Ainsi, l’évolution de la position des pays dans le réseau peut être observée et on peut déterminer si la structure du réseau s’est modifiée au cours du temps. Sur le graphe ci-dessous par exemple, le pays A est passé d’une position sud-ouest en période 1, à une position centrale en période 2 pour finalement occuper une position nord-est en période 3, avec une variance décroissante sur les deux indicateurs, ce qui dénote une évolution dans la structure du réseau : le pays initialement à la périphérie est progressivement venu occuper une position de centre. Si un pays reste positionné dans une même zone, le graphique permet également de déterminer si ce rôle s’est affaibli ou renforcé.

Figure 5. Schéma d'un graphique dissymétrie-intensité en série temporelle

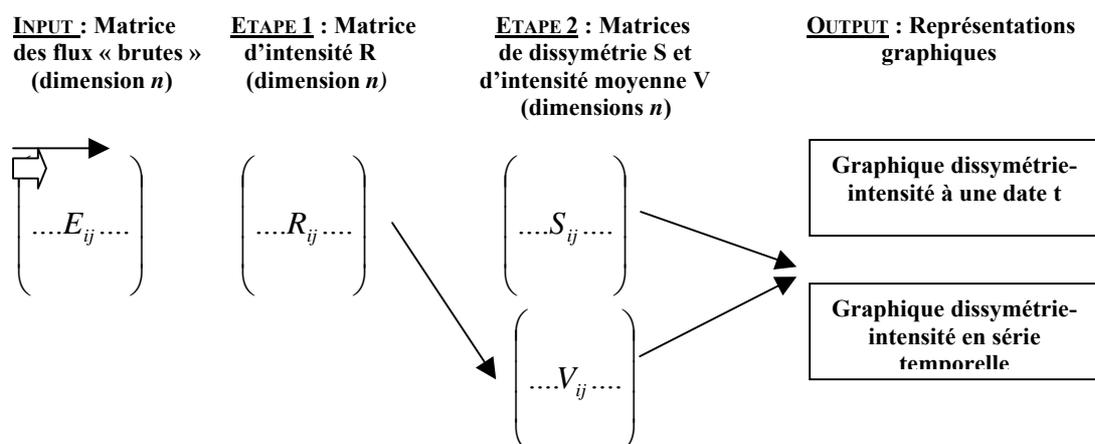


Il est très probable que pour certains types d'échanges comme le commerce, des séries temporelles soient disponibles, rendant possible ce type d'analyse. Dans le cas de l'UEMOA, nous avons par exemple représenté l'évolution des positions relatives de la Côte d'Ivoire et du Togo dans le réseau d'échanges au sein de la zone (Figure 6).

Figure 6. Evolution des positions de la Côte d'Ivoire et du Togo sur le graphique dissymétrie-intensité (1996-2002)



La procédure peut donc être résumée par le schéma suivant (pour un réseau à n acteurs):



Cet exemple montre que des représentations graphiques simples, extraites d'une matrice d'intensité qui peut se révéler complexe, permettent de réaliser conjointement une partition des acteurs en groupes d'équivalence et une analyse détaillée des réseaux d'échanges et des systèmes de dépendances entre pays. Ainsi, sur la base de matrices d'échanges, de même que dans les techniques de blockmodeling, nous avons défini une méthode originale d'analyse des réseaux qui prend non seulement en compte l'existence des échanges mais également leur intensité et leur dissymétrie, et permet une analyse temporelle des évolutions de structures.

5 Conclusion : limites et prolongements

Le travail présenté a permis plusieurs avancées méthodologiques qui tentent de palier les limites des techniques existantes de blockmodeling et qui nous ont semblé intéressantes pour la problématique de l'analyse des réseaux d'échanges. Tout d'abord, cette nouvelle méthodologie cherche à simplifier la procédure de traitement des données par la création d'indicateurs et de représentations graphiques simples, directement interprétables et donnant une vision synthétique de la structure du réseau. En outre, elle s'efforce de prendre en compte l'ensemble de l'information disponible contenue dans les données de base, à savoir les matrices des flux d'échanges origine/destination. Ainsi, elle repose sur la prise en compte de l'intensité des échanges et non plus seulement de leur absence/présence. En conséquence, elle permet une analyse quantitative plus fine de la position des acteurs dans le réseau considéré. Enfin, un apport central de cette méthodologie, conséquence directe de la prise en considération de l'intensité des échanges, est la possibilité ouverte d'une analyse en série temporelle de l'évolution des réseaux.

Malheureusement, ces recherches sont restées essentiellement méthodologiques. Elles nécessitent une validation empirique qui n'a pu être réalisée en raison du manque de disponibilité des données au format requis (matrices d'échanges origine/destination). Il aurait en effet été intéressant d'appliquer cette méthodologie aux données du commerce international – issues de la base COMTRADE des Nations Unies – en vue d'une comparaison avec les techniques de blockmodeling qui les ont largement utilisées. Un important travail de collecte et de mise en forme des données reste indispensable.

En outre, ce travail n'en est encore qu'aux premiers stades de la recherche et nécessite plusieurs améliorations en vue de valider la méthodologie présentée. Si les représentations

graphiques donnent une image simple et synthétique des données, elles restent à affiner pour en améliorer la lisibilité – a fortiori si le nombre d'acteurs inclus dans le réseau est important. De plus, elles ne permettent qu'une analyse visuelle et empirique de la structure du réseau. Il pourra être intéressant de se pencher plus précisément sur les procédures statistiques de classification existantes, en vue d'obtenir une partition plus robuste des acteurs permettant de corroborer l'interprétation graphique – ce que nous avons tenté de faire en appliquant des méthodes de classification hiérarchique aux données d'entrée des graphiques. Enfin, l'analyse en série temporelle n'a été ici qu'abordée et nécessite des approfondissements méthodologiques pour aboutir à une analyse plus détaillée de l'évolution des positions au sein du réseau.

Toutefois, ces travaux laissent ouverts plusieurs pistes de recherche et prolongements. Dans une perspective analytique, cette méthodologie, si elle a été élaborée en référence à l'analyse des réseaux d'échanges commerciaux, peut être généralisée et appliquée à divers types d'échanges (investissements, migrations, communications...etc.). En outre, l'objectif final des techniques de blockmodeling était d'étudier l'impact de la position des pays dans le réseau sur des variables d'intérêt, économiques ou sociales (taux de mortalité, espérance de vie par exemple). On peut envisager l'élaboration de modèles d'impact prenant en variables explicatives les indicateurs proposés (ou du moins des indicateurs dérivés de ces derniers). Dans une perspective méthodologique, l'aspect temporel évoqué peut également permettre de travailler à la réalisation de projections des séries temporelles d'indices d'intensité relative, avec pour objectif la prévision des flux d'échanges sur la base de modèles autorégressifs.

Bibliographie

- Bocquier, P., Traoré, S. (2000), « Urbanisation et dynamique migratoire en Afrique de l'Ouest - La croissance urbaine en panne ». Paris: *L'Harmattan*, 148p.
- Bocquier, P. (2003), « L'importance relative de la fuite des cerveaux : la place de l'Afrique subsaharienne dans le monde », in *Diasporas scientifiques - Scientific Diasporas*, éd. par R. Barré, V. Hernandez, J.-B.Meyer, D. Vinck. Paris: IRD Editions, pp. 160-177.
- Borgatti, S.P. & Everett, M.G. (1992). Notion of position in social network analysis. *Sociological methodology*, vol. 42, 1-35
- Borgatti, S.P. & Everett, M.G.(1999). Models of core/ periphery structures, *Social Networks*,21, 375-395
- Chase-Dunn and Hall, T (1993). Comparing world-system: concepts and working hypotheses. *Social Forces*, 71(4), 851-886.
- Courgeau, D. (1988) Méthodes de mesure de la mobilité spatiale. *Editions de l'Institut National des Etudes Démographiques*
- Dyches, H. & Rushing, B. (1996). International stratification and the health of women: an empirical comparison of alternative models of world-system position. *Social Science and Medicine*, 43(7), 1063-1072
- Moore, S., Teixeira, A.C & Shiell, A (2006). The health of nations in a global context: trade, global stratification, and infant mortality rates, *Social Science and Medicine*, 63(1), 165-78
- Nemeth, R. & Smith, D. (1985). International trade and world-system structure: a multiple network analysis, *Review*, 8, 517-560
- Shandra, J.M., Nobels, J., London, B. & Williamson, J.B (2004). Dependency, democracy, and infant mortality: cross-national analysis of less developed countries. *Social Science and Medicine* 59, 321-333
- Smith, D. & Nemeth, R (1988). An empirical analysis of commodity exchange in the international economy: 1965-1980. *International Studies Quarterly*, 32(2), 227-240
- Smith, D. & White, D.R. (1992). Structure and dynamics of the global economy: Network analysis of international trade 1955-1970. *Social Forces*, 70(4), 857-983
- Snyder, D & Kick, E.L. (1979). Structural position in the world system and economic growth, 1975-1970: a multiple-network analysis of transnational interactions, *American Journal of Sociology*, 84(5), 1096-1126
- Tremblay, K., (2001). « Student mobility between and towards OECD countries: a comparative analysis », in SOPEMI: *Trends in international migration. Annual report*, Paris (OCDE/OECD), p. 93-117.
- Wallerstein, I. (1974). The modern world-system I, *New York: Academic press, Inc.*
- Wasserman, S. & Faust, K. (1992). Blockmodels: Interpretation and evaluation. *Social Networks*, 14, 5-61
- White, H.C. , Boorman, S.A. & Breiger, R.L. (1976). Social structure from multiple networks. I. Blockmodels of roles and positions. *American Journal of Sociology*, 81 : 730-779