

## Introduction

Cet ouvrage revient sur six années de recherches menées en commun au sein de l'Unité d'économie appliquée de l'ENSTA ParisTech. Il introduit de nouveaux outils pour l'analyse des structures d'échanges économiques.

Le premier thème abordé est celui de la mondialisation des échanges de biens industriels. En 2010 nous publions dans la revue *European Journal of Economic and Social Systems* un article qui introduisait une méthode originale pour repérer historiquement ce phénomène à partir de données du commerce international sur la période 1980-2004 (Lebert et El Younsi, 2010). Ces mêmes outils étaient également utilisés pour quantifier l'ampleur du phénomène et pour identifier les pays qui y contribuaient en fonction des biens industriels qui voyaient, dans le temps, leurs structures d'échanges se transformer. Dans cette méthode, les échanges de biens sont représentés sous la forme de graphes dans lesquels les nœuds/pôles correspondent aux pays et les liens entre ces nœuds aux flux (physiques ou financiers) qui lient ces pays entre eux. Ces flux peuvent être décomposés selon les biens qui sont échangés. L'information sur le sens des flux (qui exporte, qui importe) et sur leur intensité (quels montants) est intégrée au graphe. Au final, la structure du commerce international ressemble, à une date donnée, au graphe de la figure 1.

Le graphe est construit de telle manière à positionner en son cœur les économies les plus « centrales » de la structure. Le terme de *centralité* renvoie ici à une mesure de l'importance relative d'un nœud, importance comprise comme une somme d'*influences* que celui-ci exerce sur la structure globale : capacité de transmission à ses partenaires de perturbations/chocs économiques le touchant, ou encore capacité de contrôle des flux transitant dans la structure.



qu'ils développent pour des produits moins intenses en nouvelles technologies. Ces outils sont pour l'essentiel issus de la théorie de la dominance économique (TDE).

La TDE (Lantner, 1974) s'applique à l'origine aux flux d'échanges interindustriels tels qu'ils sont reportés dans le cadre de la Comptabilité nationale. Les indicateurs de centralité des pôles dans les structures d'échanges que Lantner présente, multiplicateurs d'activités et élasticités de production, font écho à ceux traditionnellement manipulés dans le cadre de l'analyse *input-output* (qui étudie les interdépendances entre les branches productives d'une économie). L'originalité de l'outil que l'auteur développe dans ce cadre, la « théorie des graphes d'influence », est d'articuler la théorie mathématique des graphes d'un côté et les éléments fondamentaux de l'analyse *input-output* de l'autre. En effet, « l'analyse des effets de dominance dans une structure d'échanges était jusqu'à présent contrainte à un morcellement préjudiciable », entre calcul matriciel permettant d'appréhender les influences globales mais pas le mécanisme de cheminement des perturbations, et l'approche qualitative à partir de graphes non pondérés négligeant « les inégales intensités des liaisons ». L'objet de la théorie des graphes d'influence est ainsi de « jeter un pont » entre ces deux approches « en dévoilant les modalités de la dépendance et de l'interdépendance générales, liées au processus de diffusion quantitative de l'influence » des pôles dans une structure des échanges donnée (Lantner, 1974, p. 74-75).

Cet objectif va conduire l'auteur à proposer des interprétations topologiques tout à fait nouvelles des structures d'échanges interindustriels. Roland Lantner a montré que la décomposition structurale est une manière intuitive de calculer le déterminant des matrices représentatives des structures d'échanges orientées et pondérées, déterminant qui sera par la suite conçu comme un indicateur de la diffusion arborescente de l'influence à travers cette structure. Ceci amène Lantner à formuler notamment les trois théorèmes suivants, que nous présentons ici de manière non formelle<sup>1</sup> avant d'en proposer une interprétation synthétique.

**THÉORÈME DES BOUCLES ET DES CIRCUITS.** Lantner (1974) montre que la valeur du déterminant associé à une structure d'échanges est fonction de la valeur des « graphes partiels hamiltoniens » (GPH) du graphe représentatif de cette structure. Un graphe partiel hamiltonien est un graphe partiel (c'est-à-dire graphe initial amputé d'arcs reliant les pôles entre eux) dont les pôles ont des « degrés » (nombre de connexions) entrants et sortants strictement égaux à 1. La valeur d'un GPH est au signe près le produit des coefficients d'intensité qui le composent (voir chapitre 3).

1. Pour une présentation formelle, voir Lantner et Lebert (2013).

**THÉORÈME DE L'AMORTISSEMENT DU AUX CIRCULARITES PARTIELLES.** La valeur du déterminant est une fonction croissante de la diffusion globale de l'influence au sein d'une structure d'échanges. L'effet de bouclage engendré par un circuit non hamiltonien (une « circularité partielle ») perturbe la diffusion de l'influence et réduit cette valeur. La valeur du déterminant est donc une fonction décroissante des circularités partielles.

**THÉORÈME DE LA PARTITION.** Ce théorème définit les relations entre différentes sous-structures (« parties ») d'une structure donnée (Lantner, 2000). Le déterminant de la structure d'échanges est inférieur ou égal au produit des déterminants des parties. La différence mesure « l'interdépendance » entre les parties. L'idée générale consiste à savoir quelle est dans la structure la part de la diffusion globale de l'influence (synthétisée par le déterminant) qui est à mettre au bénéfice de la diffusion entre les parties (qui est, selon notre propre vocabulaire, « externe » aux parties) et celle qui est « internalisée » dans les parties. Il s'agit *in fine* d'essayer d'identifier s'il existe dans la structure un noyau de diffusion pour repérer le cas échéant une hiérarchie entre les parties. Dans un cas extrême où chaque pôle constitue une partie, la différence entre le produit des déterminants de ces parties (le produit des termes diagonaux de la structure d'échanges) et le déterminant de la structure mesure l'« interdépendance générale » de la structure. Dans l'autre cas extrême où l'ensemble des pôles est inclus dans une unique partie, la différence (nulle, par construction) indique que l'ensemble des relations d'interdépendance au sein de la structure est internalisé par la partie.

Ce qu'il faut selon nous retenir de ces théorèmes, auxquels nous ferons de temps en temps appel dans le cœur du développement, en les réexpliquant et en les illustrant, est la chose suivante : le déterminant de la matrice représentative du graphe des relations permet d'isoler ce qui ressort de l'influence/dépendance, c'est-à-dire des relations asymétriques/arborescentes entre les pôles, de ce qui ressort de l'interdépendance, c'est-à-dire des relations symétriques/circulaires entre ces mêmes pôles. Les relations d'échanges se répartissent entre ces deux phénomènes structuraux : elles révèlent plus ou moins de dépendance, ou plus ou moins d'interdépendance. Toute chose égale par ailleurs, l'interdépendance augmente lorsque la valeur du déterminant diminue. C'est autour de ce résultat général que la boîte à outils de la TDE va se constituer.

Comme le rappelle Freeman (2004), les outils de la théorie mathématique des graphes sont au cœur même du développement des techniques sociométriques (de l'analyse des réseaux sociaux) depuis la fin des années 1940, plus précisément depuis les intuitions pionnières de Bavelas (1948), Luce et Perry (1949), Smith (1950) et Leavitt (1951), jusqu'aux travaux plus formels de Frank Harary et de ses collègues de

l'université du Michigan (Harary et Norman, 1953, Harary, Norman et Cartwright, 1965). Il revient, selon Freeman, à ce qu'il appelle « l'école de la Sorbonne », avec Claude Flament (1963) et Claude Berge (1958) principalement, de fixer « une première synthèse générale montrant explicitement qu'un vaste champ de problèmes sociaux pouvait être compris comme cas particuliers d'un modèle structural général » (Freeman, 2004, p. 114). Les analyses topologiques de Claude Ponsard (1968, 1972) et de Lantner (1972a, 1972b, 1974), dans le prolongement des réflexions de François Perroux sur les phénomènes de pouvoir en économie (1973-1994 pour une synthèse), constituent la manifestation la plus concrète de la percée de cette tradition de recherche dans le champ de l'économie politique.

Les passerelles entre les traditions de recherche de l'analyse *input-output* et de l'analyse des réseaux sociaux (ARS) existent depuis longtemps. Les mesures structurales pionnières d'influence globale de Katz (1953) et de Hubbell (1965) (en termes de « statut »), de Bonacich (1972) et de Coleman (1973) (en termes de « pouvoir »), et de Burt (1982) (en termes de « prestige ») sont ainsi, au moins en partie, issues de l'importation en ARS de concepts et de techniques de calcul matriciel couramment utilisés en analyse *input-output*. Plus récemment, Salancik (1986), Bonacich (1987), Friedkin (1991) et Bonacich et Lloyd (2001) proposent des cadres généraux d'usages de ces outils en ARS. Dans son étude sur le « pouvoir informationnel en organisation », Gallo entreprend le cheminement inverse : partant des techniques matricielles de l'analyse *input-output*, il introduit des mesures qualitatives de centralité dans la tradition de Freeman (1979), Tichy et Fombrun (1979) et Brass et Burkhardt (1992) afin de « réconcilier les dimensions micro et macro du comportement organisationnel dans lesquelles s'inscrivent les phénomènes de pouvoir » (Gallo, 2006, p. 152), démarche qu'il prolonge en mobilisant les mesures quantitatives de centralité de Salancik (1986) et de la théorie de la dominance économique.

Selon Salancik (1986), l'avantage de la méthode matricielle de l'analyse *input-output* dans la mesure de la centralité/influence d'un pôle dans une structure d'échanges est qu'elle vérifie les trois hypothèses suivantes :

- un pôle est central en termes de contribution aux ressources de cette structure dans la mesure où les autres pôles utilisent les ressources de celui-ci pour fournir leurs propres ressources en retour ;
- un pôle est central dans la structure dans la mesure où il contribue aux ressources d'autres pôles centraux de cette même structure (importance relative des parties dépendantes).

Ces deux premières hypothèses ignorent la possibilité qu'un pôle puisse être important en dehors du service fourni aux autres, ce qui amène la troisième hypothèse :

– un pôle peut être central indépendamment de ses contributions à la structure, lorsqu'il possède une « valeur intrinsèque » élevée par rapport aux autres parties.

La méthode que Salancik développe est empiriquement appliquée au classement de revues académiques dans le champ des sciences de l'organisation à partir de flux de citations croisées. L'une des caractéristiques essentielles de la méthode de *ranking* proposée par cet auteur est de parvenir formellement à distinguer la problématique de l'influence des revues dans un champ disciplinaire de celle de leur qualité (valeur intrinsèque), à partir d'un détournement subtil des outils de l'analyse *input-output*. La valeur intrinsèque d'un pôle est en effet un artefact nécessaire à la méthode de Salancik pour sommer les influences bilatérales afin de déterminer les influences globales des revues ; autrement dit, la valeur intrinsèque d'un pôle vient pondérer les influences émises par ce pôle vers l'ensemble des autres pôles de la structure.

En définitive, « un modèle *input-output* représente les transactions comme un graphe orienté [et pondéré] de relations, dans lequel les *outputs* d'un membre du réseau sont les *inputs* d'un ou plusieurs autres » (Salancik, 1986, p. 198), trame graphique à partir de laquelle la théorie de la dominance économique se constitue et développe ses propres outils.

Cependant, ces transferts de connaissances ne sont pas la panacée en analyse des réseaux sociaux. Borgatti (2005), dans un salutaire exercice de construction typologique croisant nature des flux d'échanges et mesures de centralité des pôles dans une structure relationnelle, limite fortement le champ possible d'application de tels outils. Plus précisément, leurs usages devraient se limiter selon lui aux objets dont les trafics sont susceptibles de toucher simultanément l'ensemble des voisins des pôles émetteurs (puis les voisins de ces voisins, etc.), trafics se produisant sans autre restriction que la largeur des canaux liants les pôles entre eux. Comme le montre Borgatti (2005), les trajectoires sociales ou économiques de très nombreux objets ne peuvent être représentées par un tel processus d'exploration du graphe des relations. Autrement dit, ces outils ne devraient être appliqués qu'aux flux d'objets qui peuvent être représentés par des systèmes linéaires ou linéarisables, précaution qui dans la pratique n'est pas toujours prise selon cet auteur.

Lantner (1974) consacre ainsi la deuxième partie de son ouvrage à valider le lien entre son objet d'étude (les échanges interindustriels) et sa méthode d'exploration

structurale (la théorie des graphes d'influence). Ses travaux sur la « dominance informationnelle » (Lantner, 1996) et ceux qu'elle a inspirés (Thépaut, 2002 et Gallo, 2006) procèdent de même, ainsi que Lequeux (2002) qui étudie des relations capitalistiques entre entreprises. Dans cet ouvrage, nous appliquons certains principes de la théorie des graphes d'influence notamment à l'étude des échanges internationaux de biens industriels (première partie ; voir *infra*). L'idée est que, dans la mesure où les pays sont interconnectés par des liens commerciaux, un choc subi par un pays peut se transmettre et être amplifié en raison de la configuration des interconnexions dans la structure des échanges. A la suite de Kali et Reyes (2005), prenons un exemple avec trois pays, A, B et C. Supposons d'abord que A entretient des liens commerciaux avec B et C, ces derniers n'échangeant pas entre eux. Supposons encore que les liens commerciaux traduisent des relations de crédit provenant d'un commerce d'intrants. En d'autres termes, supposons que les entreprises en A demandent des biens intermédiaires en provenance des entreprises en B et C, et qu'elles ont payé pour cela une fraction seulement du prix à titre d'acompte. Il se pourrait aussi que, dans le même temps, des entreprises en A fournissent des *inputs* à des entreprises en B et C dans des conditions de paiement similaires ; ce type de relations de crédit commercial est courant dans les échanges internationaux de marchandises. Dans cette situation donc, si un choc exogène touche le pays A, les entreprises en A peuvent être forcées au défaut de paiement envers leurs fournisseurs en B et C ; ces effets de transmission du choc initial sur B et C peuvent faire *boomerang* sur A, en proportion des commandes que lui adressent ces pays. Supposons maintenant que B et C sont également partenaires commerciaux : le choc touchant A sera transmis à C (et B) de manière directe, et indirectement en fonction de ses répercussions sur B (et C). Ces « effets de second ordre », pour reprendre la terminologie de ces auteurs, affecteront A à son tour, selon une logique de cascades d'interdépendances qui viendront amplifier l'intensité et la durée du choc initial en A.

La littérature académique actuelle est marquée par un usage intense des méthodologies structurales pour l'étude des flux commerciaux internationaux. De ce point de vue, les travaux menés au sein du LEM (*Laboratory of Economics and Management*) de l'Ecole Sant'Anna d'études avancées de Pise (Italie) sous la direction de Giorgio Fagiolo nous semblent particulièrement intéressants. Par leur travail particulièrement créatif sur les indicateurs structuraux qu'ils mobilisent, tout d'abord, comme nous le détaillerons dans l'ouvrage. Par le fait, ensuite, qu'ils développent une lecture économique des résultats auxquels ils parviennent. Ce deuxième point peut paraître surprenant. En fait, ce ne sont pas les économistes qui mobilisent en priorité ces outils pour étudier la structure et la dynamique du commerce international sur longue période ; ce sont essentiellement des physiciens et des sociologues qui le font.

Une autre exception notable, cependant : les travaux du Center for International Development de l'université de Harvard, sous la direction de Ricardo Hausmann. Son équipe a publié récemment un livre de synthèse, *The Atlas of Economic Complexity*, dans lequel sont positionnées les économies mondiales au sein de l'espace international des produits qui est construit en utilisant des techniques d'analyse de graphes (Hausmann *et al.*, 2013). L'essentiel de la littérature académique contemporaine non économique se sert des données de flux commerciaux pour étalonner les nouveaux outils de l'ARS. Outre leur facilité d'accès, ces données ont en effet la particularité de présenter un niveau de complexité relativement important : comme nous l'avons vu, ce sont des données orientées (A exporte vers B), pondérées (pour tel montant) et qui se prêtent aux analyses de la multiplicité des échanges (A exporte vers B des biens agricoles, minéraux, industriels de diverses natures, etc.).

C'est dans la revue académique *Social Forces* que l'on trouve, selon nous, la discussion aux enjeux économiques les plus importants sur l'évolution de la structure du commerce international de marchandises sur longue période. L'analyse topologique, dans les articles que nous allons citer, mobilise des outils très simples. Elle permet cependant d'aborder des questions de fond. Pour Kim et Shin (2002), l'évolution majeure ayant marqué le commerce mondial depuis le milieu des années 1960 est la densification des liaisons intrarégionales allant de pair avec celle des liaisons interrégionales (la « mondialisation des échanges »). La densité de la structure du commerce mondial est appréhendée par des indicateurs de « degré » des pôles, c'est-à-dire par le nombre de liaisons (entrantes et sortantes) repéré dans la matrice adjacente associée au graphe des relations commerciales (voir *infra*). Pour ces auteurs, cette densification irait à l'encontre des prédictions de la théorie de la dépendance selon laquelle la période contemporaine serait caractérisée par un approfondissement des inégalités structurales engendré par les transformations de la division internationale du travail. Mahutga (2006) reconsidère l'étude de Kim et Shin. Pour celui-ci, les résultats de ces deux auteurs ne seraient pas suffisamment probants pour remettre en cause la thèse de la structuration historiquement marquée entre centre et périphérie, et sa propre investigation empirique, menée avec des outils prenant en compte la « force » (c'est-à-dire l'intensité) des liens commerciaux entre pays (voir *infra*), montre que seule une faible part des pays périphériques dans les années 1960 ont pu aujourd'hui intégrer le centre, alors que la situation des autres pays périphériques n'a pas fondamentalement évolué. Bien entendu, les auteurs de ces articles présentent des outils topologiques plus raffinés pour étayer leurs points de vue ; il n'en reste pas moins que les plus simples des indicateurs de l'analyse des réseaux sociaux sont, dans ce cas, particulièrement utiles pour révéler certains enjeux clés de la dynamique de la division internationale du travail au cours des cinquante dernières années.



Nous pourrions dire que Fagiolo et ses collègues du LEM partent de ces outils simples, prospectent d'autres catégories analytiques de l'ARS et, dès qu'ils perçoivent un manque dans les outils, proposent des solutions pratiques de mesure. Au-delà de la « connexité » des pôles (indicateurs de degré et de force), les principales catégories mobilisées par ces auteurs sont celles de « densité », de « centralité », de *clustering* et d'« assortiment » (voir *infra*). Ils envisagent le réseau des échanges internationaux de marchandises selon de multiples modalités : orienté et non orienté, pondéré et non pondéré, monocouche et multicouche. Ces points de vue très différents sur la manière d'appréhender cette structure ne découlent pas d'une volonté d'exhaustivité méthodologique. Ils permettent aussi de choisir des configurations structurales gérables d'un point de vue computationnel. Par exemple, et comme nous aurons nous-mêmes à le constater par la suite, la forte symétrie des liens bilatéraux (si A exporte des biens vers B, il y a de fortes chances que B en exporte vers A) amène quelquefois ces auteurs à privilégier une analyse non orientée du réseau (Fagiolo, 2006). Leur mesure de centralité des pays, centralité dite d'intermédiarité, nécessite cet effort de simplification pour être opérationnelle à grande échelle et de manière répétée (Kang *et al.*, 2011). Et lorsqu'il s'agit de mesurer la centralité des pays dans un cadre orienté, ils font le choix d'un indicateur beaucoup plus économe en ressources informatiques. Le premier chapitre synthétise les différentes mesures structurales utilisées par Fagiolo et ses collègues et les applique à la base de données TradeProd des flux du commerce bilatéral en biens industriels (CEPII) sur la période 1980-2004. C'est à partir de ce panorama et des tendances historiques ainsi révélés que nous pourrions étalonner l'apport des outils issus de la théorie de la dominance économique.

Le deuxième chapitre de l'ouvrage présente ainsi des premiers résultats de la théorie de la dominance économique. Nous l'appliquons à l'étude de la transition que certains pays d'Europe centrale et orientale (PECO) ont connue entre le système d'économie planifiée et l'intégration à l'Union européenne à la fin du XX<sup>e</sup> siècle et au tout début du XXI<sup>e</sup>. Ce chapitre adopte une lecture traditionnelle de la TDE : ce sont les circularités qui sont mises en avant, et non les arborescences. Dans Lebert et El Younsi (2010), c'est par le poids croissant dans le temps des interdépendances entre les pays dans le commerce international que nous repérons empiriquement le phénomène de la mondialisation des échanges de la fin du XX<sup>e</sup> siècle. Lorsque le point de vue de la circularité est choisi, celui des arborescences se conçoit par soustraction, s'appréhende comme un résidu. À vrai dire, le déterminant comme « indicateur de la diffusion arborescente de l'influence à travers la structure » n'a jamais été concrètement abordé comme tel. C'est le théorème de l'amortissement dû aux circularités partielles qui est toujours appelé.

Dans le troisième chapitre, nous donnons la primauté aux arbres. La raison qui explique le choix préférentiel pour les circuits sur les arbres dans la TDE résulte de la

complication associée au choix alternatif. Tout graphe est une agrégation d'arbres. Lorsque la structure comprend de nombreux pôles et arcs, le nombre d'arbres associés à celle-ci est ingérable. Sur un graphe de seulement trois pôles, où chacun des pôles est émetteur et récepteur de flux à destination/en provenance des deux autres, on en dénombre déjà seize. Dans ce troisième chapitre, nous montrons qu'il existe des arbres qui contribuent plus que d'autres à la valeur du déterminant, et qu'il est possible de les identifier simplement même si la structure globale des relations est étendue et dense. Il est important d'identifier ces arbres particuliers pour repérer les principaux liens de dépendance entre les pays dans le commerce international, et voir comment ces dépendances évoluent dans le temps. Nous verrons dans ce chapitre que les grands déséquilibres commerciaux internationaux jouent un rôle majeur pour expliquer les structures de dépendance et leurs évolutions historiques.

Le quatrième chapitre introduit une autre nouveauté méthodologique, dans l'étude des circularités cette fois : la mesure de la centralité d'un pôle par la structure de son « réseau égocentré ». Le réseau égocentré d'un pôle est celui qu'entretiennent ses contacts directs. Le pays A est en relation commerciale avec les pays B et C. L'importance relative de A dépend de la manière dont sont connectés entre eux B et C. Si D, E, etc. ne sont pas connectés à A, la manière dont ils se connectent à B et C n'intervient pas dans la *scoring* de A. Cette manière de présenter la centralité a pour intérêt – dans le cadre de l'analyse du commerce mondial – de produire des indicateurs d'insertion et d'intégration des pays à ce commerce, et de voir dans le temps comment ces indicateurs évoluent. Notamment, cette analyse est importante pour repérer les transitions que certains pays ont connues entre la périphérie et le centre durant la phase de mondialisation. Dans ce cadre, les concepts d'insertion et d'intégration se distinguent selon la manière dont A se connecte à ses partenaires. L'intégration est ainsi un concept plus strict que l'insertion. En effet, il implique que A soit connecté en entrée (importations) et en sortie (exportations) à B et C. L'insertion veut simplement qu'il soit connecté, quelle que soit la nature de cette connexion. Cette distinction est importante en économie internationale parce qu'on caractérise très souvent le « centre » par l'intégration, et la périphérie intermédiaire par l'insertion. C'est donc par la combinaison de ces deux façons d'aborder l'égocentricité que l'on parvient à positionner un pays dans un schéma centre/périphérie.

L'ouvrage s'intéresse également à la structure et à la dynamique des spécialisations technologiques des régions et des nations en utilisant des données de brevets. Les deux chapitres suivants sont consacrés aux problématiques, aux outils et aux applications de la théorie de la dominance économique à ce nouveau champ d'études.

Représenter le processus de création de connaissances par les liens temporels et cumulatifs qui unissent les technologies entre elles amène à identifier celles qui sont

centrales dans cette dynamique : une technologie peut être centrale si elle est employée comme *input* pour produire de nombreuses innovations (intensité). Elle peut également l'être si elle sert d'*input* dans des processus d'innovation centrés sur de nombreuses technologies différentes (ubiquité). Elle peut encore l'être si, en son absence, d'autres technologies combinées ne peuvent produire d'innovation (intermédiarité). La TDE offre les outils qui appréhendent ces différentes dimensions de l'importance relative des technologies dans les processus d'innovation.

Traditionnellement, les données de brevets servent à produire deux représentations auxquelles l'économiste fait appel pour traiter de questions spécifiques :

- des matrices « technologies x technologies » à partir de données de citations (matrices de flux technologiques) desquelles peuvent être identifiées des « technologies de production d'innovations technologiques » et où les technologies peuvent être qualifiées en fonction du spectre et de l'intensité des innovations qu'elles contribuent à produire. En dynamique, ces matrices servent à identifier les sources du progrès technique et de la croissance de la productivité (Scherer, 2002) ;

- des matrices « territoires x territoires », toujours à partir de données de citations (matrices de flux interterritoriaux), desquelles sont déduites des relations entre inventivité et distance géographique. Le résultat essentiel qui ressort de nombreuses études empiriques sur le sujet est que la connaissance technologique est géographiquement localisée pour une large part, les inventeurs ayant tendance à citer des inventions produites à proximité (Jaffe *et al.*, 1993, Hall *et al.*, 2001, Maurseth et Verspagen, 1998).

L'un des apports de l'ouvrage consistera à combiner ces deux approches (économie de l'innovation, géographie de l'innovation) à partir de la construction de « paysages » unifiés. Que veut-on dire par là ? Remarquons d'abord que ces deux approches sont en fait des manières duales d'identifier les sources (technologiques et territoriales) du progrès technique. En effet, on peut combiner ces deux approches directement à partir des données de citations. Les brevets fournissent trois informations essentielles pour cela :

- les classes ou domaines technologiques auxquels ils appartiennent ;
- les brevets et la littérature antérieurs qui ont permis de les produire (c'est-à-dire les données de citations *stricto sensu*) ;
- les données sur les inventeurs, notamment leur localisation géographique.

La matrice « technologies x technologies » représente alors une agrégation de flux de même nature par territoire d'invention. La matrice « territoires x territoires » représente pour sa part une agrégation de flux de même nature pour chacune des

technologies produites. On peut donc représenter les matrices agrégées, comme la littérature citée plus haut l'envisage traditionnellement, mais également les enchaînements de couches constitutives de ces matrices, de telle sorte que la matrice « technologies x technologies » devient un cube « technologies x technologies x territoires », et la matrice « territoires x territoires » devient un cube « territoires x territoires x technologies ». C'est dans le cinquième chapitre que la dimension duale des approches en termes d'économie de l'innovation (matrices de flux technologiques) et de géographie de l'innovation (matrices de flux interterritoriaux) est explicitée et envisagée en dynamique autour de la question de la résilience cognitive des territoires.

Illustrons brièvement l'intérêt de combiner les deux cubes, ou paysages technologiques. Dans la matrice des flux territoriaux agrégée, les flux de citations qui relient un territoire à lui-même sont très nombreux. Pour produire leurs inventions présentes, les inventeurs font très souvent appel à des inventions passées produites sur le même territoire. C'est, comme nous l'avons noté précédemment, le résultat essentiel des études en géographie de l'innovation. Cependant, cette approche ne nous dit *a priori* rien sur les flux technologiques qui sont privilégiés par ces citations locales. Est-ce vrai pour toutes les technologies ou seulement certaines ? Et si oui, lesquelles ? L'information portée par la couche du territoire dans le cube « technologies x technologies x territoires » va être ici utilisée pour apporter des réponses à ces questions, et en traiter d'autres qui sont fondamentales en économie spatiale, notamment celle-ci : jusqu'à quel point le territoire est-il autonome dans son activité inventive (disposent-ils des ressources locales nécessaires à cette activité ?), ou au contraire dépendant d'autres territoires ?

Le chapitre 5 aborde méthodes, traitements et résultats à partir d'une base de données de citations de brevets sur le marché américain des technologies (USPTO) mise à disposition par le National Bureau of Economic Research (Hall *et al.*, 2001), et nous traitons de la période 1975-1999. Ces données ont la particularité d'associer à chaque brevet une et une seule classe technologique (la principale) et un et un seul territoire d'invention (envisagé au niveau des États américains et des pays en dehors des États-Unis sinon). Le sixième chapitre systématise l'analyse et l'actualise (période 2010-2012) pour des inventions potentiellement multitechnologies et multiterritoires en intégrant en plus dans les paysages technologiques la dimension « entreprises ». C'est le marché technologique européen qui est ici étudié (OEB), et les entreprises sont parmi les 2 000 groupes les plus importants en 2013 en termes de dépenses en recherche et développement (RD). Les 2 000 groupes contribuent à cette date pour environ 80 % des dépenses privées de RD dans le monde (EC JRC-IRI, 2014). En prenant en compte la dimension « entreprises », nous produisons de nouveaux paysages technologiques : « technologies x technologies x entreprises » et « territoires

x territoires x entreprises ». Nous présenterons une première série de résultats empiriques liés à l'exploration de ces nouveaux paysages.

Résumons en quelques phrases le contenu et la valeur ajoutée de chaque chapitre :

– le premier chapitre présente un panorama de la structure et de l'évolution sur 25 ans (1980-2004, données du CEPII, base TradeProd) du commerce international de biens industriels en utilisant les outils de l'analyse des réseaux sociaux recensés par Giorgio Fagiolo et ses collègues du LEM. Ce panorama historique permet de produire une première analyse empirique sur la mondialisation des échanges de la fin du XX<sup>e</sup> siècle ;

– le deuxième chapitre introduit deux indicateurs clés de la TDE appliquée au commerce international : la centralité d'intermédiation des pays (mesurant la capacité de ces pays à contrôler des flux dans la structure des échanges) et la contribution des produits à cette centralité (révélant les avantages compétitifs de ces pays). Nous pourrons alors visualiser les transformations productives qu'ont connues certains PECO dans la transition entre leur sortie du système d'économie planifiée et leur intégration une douzaine d'années plus tard à l'Union européenne ;

– le troisième chapitre utilise les mêmes données et applique des outils de la théorie de la dominance économique afin d'engendrer des analyses dynamiques des phénomènes de dominance commerciale. L'originalité réside dans le choix d'une lecture des relations économiques internationales en termes d'arborescences plutôt qu'en termes de circularités ;

– le quatrième chapitre traite des questions de l'insertion et de l'intégration des économies en développement et en transition dans le commerce mondial durant la mondialisation des échanges à partir d'analyses de réseaux égocentrés. Empiriquement, le cas des économies africaines sera présenté. Les mêmes données du CEPII seront utilisées pour cela. Ce chapitre s'inspire de Lebert, D., El Younsi, H. (2015), « Théorie de la dominance économique : indicateurs structurels sur les relations interafricaines », *Economie appliquée*, vol. 68 (3), p. 167-186 ;

– le cinquième chapitre propose des mesures originales de la résilience cognitive des territoires. Les dimensions statiques et dynamiques de la résilience seront explicitées et illustrées empiriquement sur le marché américain des technologies durant le dernier quart du XX<sup>e</sup> siècle (base de citations de brevets maintenue par le NBER). Ce chapitre reprend des éléments de Lebert (2016), « Théorie de la dominance économique et flux intra et inter-territoriaux de connaissances technologiques », *Innovations*, n° 50, p. 43-63 ;

– le sixième chapitre généralise l'approche du chapitre précédent, et introduit la dimension « entreprise » dans l'analyse. La construction des paysages technologiques,

les différentes manières de les calibrer pour naviguer en leur sein et pour passer de l'un à l'autre sont présentées. De nombreuses illustrations seront produites à partir des bases de données REGPAT (OCDE, dimension « territoires »), EC-JRC/OECD COR & DIP© v.0. 2015 (Commission européenne et OCDE, dimension « entreprises ») et PATSTAT (Office européen des brevets, dimension « technologies »).