Processus de complexification des systèmes productifs : de nouvelles dynamiques et trajectoires de developpement pour les MENA

Myriam Ben Saad

▶ **To cite this version:**

Myriam Ben Saad. Processus de complexification des systèmes productifs : de nouvelles dynamiques et trajectoires de developpement pour les MENA. Economies et finances. Université de Toulon, 2017. Français. NNT : 2017TOUL2004 . tel-01889568v2

HAL Id: tel-01889568

https://theses.hal.science/tel-01889568v2

Submitted on 7 Oct 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ DE TOULON
UFR Sciences Économiques et de Gestion

LÉAD
Laboratoire d'Economie Appliquée au Développement

Thèse de doctorat présentée par

Myriam BEN SAÂD

Soutenue le 6 Octobre 2017

pour obtenir le grade de Docteur en Sciences Economiques

Spécialité : Économie internationale

PROCESSUS DE COMPLEXIFICATION DES SYSTÈMES PRODUCTIFS : DE NOUVELLES DYNAMIQUES ET TRAJECTOIRES DE DEVELOPPEMENT POUR LES MENA

THÉSE dirigée par :

M. PÉRIDY Nicolas	Professeur- Université de Toulon.

MEMBRES DU JURY :

M. HUGON Philippe	Professeur Émérite- Université Paris X, Rapporteur.
Mme RENARD Marie-Françoise	Professeur-Université de Clermont-Ferrand, Rapporteur.
M. MAROUANI Mohamed-Ali	Maître de Conférences-HDR, Université Paris I.
M. OULMANE Nassim	Docteur-Économiste, UNECA.
M. PÉRIDY Nicolas	Professeur, Université de Toulon, Directeur de Thèse.
Mme SCHAFFAR Alexandra	Professeur, Université de Toulon.

À ma très chère maman,

Remerciements

C’est par le travail que l’homme se transforme (Louis Aragon)

Rien de grand ne s'est accompli dans le monde sans passion. (Friedrich Hegel)

Il faut beaucoup de sang-froid pour soutenir une grande passion. (Édouard Herriot)

J’ai maintenant l’impression que cette thèse n’est qu’un projecteur, fait de plus de deux cent cinquante pages noircies afin de renvoyer le lecteur sur mes trois dernières années qui furent aussi bien passionnante que déprimante. Ce chapitre de ma vie, est la scène sur laquelle j’ai pu trouver ma voix et mettre un point final à mes études. Comme toute scène, elles sont avant tout une occasion exceptionnelle de dire merci et je remarque que j’ai bien des gens à remercier.

Mes remerciements s’adressent en premier lieu à mon directeur de thèse, Nicolas Péridy, une des personnes qui m’a le plus marqué durant ma formation universitaire et je ressens encore son influence à la fois comme enseignant et comme grand scientifique. Je tiens sincèrement à le remercier pour sa grande disponibilité tout au long de mes recherches, pour ses conseils judicieux, sa confiance, ses encouragements. Il m’a donnée envie d’étudier le commerce dans toutes ses formes jusqu’à en arriver à cette fameuse complexité économique. Merci de m’avoir laissé développer mes idées et mes intuitions depuis le début.

J’ai la chance d’être jugé par mon jury idéal, j’ai eu l’occasion de rencontrer la plupart des membres dans le passé et peux tous les assurer de mon admiration et de ma sympathie, il s’agit de *Philippe Hugon, Mohamed-Ali Marouani, Nassim Oulmane, Marie-Françoise Renard et enfin Alexandra Schaffar.*

Du Laboratoire d'Economie Appliquée au Développement (Léad), je crois pouvoir remercier tous les membres pour le riche environnement de travail qu'ils ont constitué durant ces trois dernières années. Je suis particulièrement reconnaissante à Maurice Catin et Christophe Van Huffel, pour les différents commentaires et remarques qu'ils ont pu apporter à mon travail et qui ont éclairé ma pensée. Yusuf Kocoglu, pour m'avoir fait aimr l'économétrie appliquée lors de mon Master Recherche. Alexandra Schaffar et Michel Dimou qui ont contribué à me faire entrer dans le monde de l'économétrie spatiale. Nicolas Huchet, Gabriel Figueirido et Christophe Van Huffel pour leur soutien inestimable dans les moments difficiles.

Parmi les doctorants, je n'en citerai que quelques-uns, faute de pouvoir les citer tous : je pense particulièrement à mes collègues de bureau, Abou, Adama, Albert, Amandine, Faiza, Fam, Giscard, Najla, Rania, Samuel, Brice et Sopheak pour leurs remarques constructives et leurs sympathies.

Un grand merci aux physiciens Claude-Alain Pillet et Rym Ben Saad pour les discussions fructueuses que nous avons eues sur la mécanique classique et quantique et pour leurs aide et précieuses remarques.

Un grand merci à Nawfel qui n'a jamais hésité à me venir en aide en de nombreuses occasions de ma vie de doctorante et pour toutes les heures consacrées à la relecture de cette thèse.

Je remercie Jean-Pierre Allegret pour m'avoir accueillie à l'Université de Paris Nanterre où j'ai pu avancer dans certains aspects de mes recherches.

Un grand merci aux membres du FEMISE, et en particulier à Constantin Tsakas, pour son soutien, ses précieuses remarques et sa grande sympathie.

J'en arrive à ceux qui ont été plus directement exposés à mon mauvais caractère. Je tiens à remercier du plus profond de mon cœur mes parents, mon frère, ma sœur et mes neveux : leur affection, leur amour et leurs encouragements, ont grandement contribué à l'aboutissement de cette thèse. Et particulièrement ma maman et ma sœur, ses deux belles étoiles qui veillent sur

moi et qui sont toujours présentes dans les étapes les plus importantes de ma vie. Aussi je remercie ma belle-famille et mes amis avec qui j'ai pu exprimer mes doutes et mes joies.

Enfin, je tiens à remercier la première victime de mon ingratitude quotidienne : il s'agit de mon mari, qui a su me transmettre l'énergie, la force, l'espoir et le courage qu'il faut pour terminer cette thèse, puisque l'occasion m'est ici fournie de peser mes mots je veux juste dire que je sais tous ce que leur dois et ajouter le plus sincère des mercis.

Résumé de thèse

La région MENA est aujourd'hui, au centre d'ambitieux enjeux économiques essentiellement en matière d'intégration régionale et de transformation structurelle. Toutefois, les Etats Arabes de cette région ont présenté des défaillances et une vulnérabilité importante dans le système économique et productif au lendemain des mouvements et des bouleversements politiques, économiques, sociales et populaires de très grande ampleur. Ces chocs apportent un lot de nouveaux défis à relever.

L'objectif principal de cette thèse est d'étudier les nouvelles dynamiques du processus de transformation structurelle afin de proposer de nouvelles trajectoires de développement pour ces pays. Dans cette optique, nous abordons les questions liées aux déterminants et aux effets spatiaux de ce processus, à la relation entre d'une part la complexité économique et la pollution de l'air, et d'autre part, la complexité économique et les inégalités de genre en éducation. Pour cela, nous considérons un panel dynamique de 133 pays qui couvre une période longue et récente (1984 à 2014). En utilisant des données récentes et en intégrant des paramètres jusque-là peu utilisés, nous mettons en évidence des caractéristiques particulières du processus de complexification des systèmes productifs. D'un point de vue général, les résultats révèlent que les performances en matière de complexification des systèmes productifs sont très hétérogènes au sein des pays MENA et que leurs déterminants dépendent des caractéristiques des économies. Les fortes disparités observées s'expliquent, au-delà de l'effet significatif du revenu par habitant, par une carence dans le système institutionnel, éducatif en particulier dans l'accès à l'innovation, mais aussi à l'abondance des ressources naturelles ou encore à l'attractivité des investissements directs étrangers. Au-delà des caractéristiques individuelles des économies, l'analyse spatiale montre que des facteurs géographiques tels que le taux d'urbanisation, les accords commerciaux, mais surtout la localisation spatiale jouent un rôle très important dans le processus de transformation structurelle.

Nous apportons également, grâce aux outils tirés de la mécanique classique, des réponses aux limites des modèles économiques traditionnels qui peinent à démontrer l'existence d'un processus d'accélération du développement économique.

Sommaire

Remerciements ***5***

Résumé de thèse ***9***

Introduction Générale ***15***

1. Contexte et enjeux économiques 16
2. Problématique 19
3. Structure des chapitres 22

Chapitre 1 : Littérature, mesure et analyse de la transformation structurelle ***29***

1. Introduction 30
2. Revue de la littérature 32
3. Evolution récente de la situation économique : Principaux faits stylisés 40
4. La transformation structurelle des MENA : Comparaison avec le reste du monde 48
5. Transformation structurelle et Opportunité de croissance 60
6. Conclusion 66

Chapitre 2 : Modélisation empirique des interactions spatiales dans le processus de la complexification des systèmes productifs ***76***

1. Introduction 77
2. Evaluation des déterminants de la complexité économique 79
3. Modélisation et stratégie empirique 86
4. Processus de convergence et analyse économétrique spatiale : 92
5. Conclusion et recommandations en termes de politiques économiques 99

Chapitre 3 : L'effet de la complexité économique sur la pollution de l'air ***119***

Une autre approche de la Courbe Environnementale de Kuznets ***119***

1. Introduction 120
2. La courbe environnementale de Kuznets : revue de la littérature 122
3. Modélisation et stratégie empirique 125
4. Résultats du modèle : l'effet selon une courbe en U de la complexité économique sur la pollution de l'air 131
5. Conclusion et implications des politiques économiques 141

Chapitre 4 : Complexité économique et Inégalité de Genre en Education 157

1. Introduction 158
2. Inégalités de Genre : Un nouvel éclairage 161
3. Revue de la littérature 169
4. Cadre théorique et modélisation empirique 175
5. Principaux résultats 177
6. Conclusion 183

Chapitre 5 : Application de la physique théorique dans la modélisation des phénomènes de transformation structurelle 195

1. Introduction 196
2. Analyse économique 199
3. Propriétés et fondements de la Théorie de Réponse Linéaire (TRL) 204
4. Application de la TRL dans le système économique 211
5. Modélisation et analyse de sensibilité 222
6. Conclusion 228

Conclusion Générale 237

1. Apports de la thèse 238
2. Principaux résultats 241
3. Recommandations en termes de politiques économiques 242
4. Limites et extensions de la thèse 248

Introduction Générale

Introduction Générale

1. Contexte et enjeux économiques

Ces dernières années, un nombre croissant d'ouvrages et de manifestations traite du processus de transformation structurelle comme un phénomène des chaînes de valeur mondiales (CVM). Ce processus de production global, qui part de l'acquisition des matières premières et arrive jusqu'à la production finie du produit, est de plus en plus « morcelé », de sorte que chaque activité qui lui ajoute de la valeur peut être réalisée là où l'on trouve les compétences et les matériaux nécessaires à un coût concurrentiel.

Plusieurs expériences réussies (Asie du Sud-Est), au cours de ces deux dernières décennies attestent des opportunités de croissance que les CVM peuvent offrir aux économies qui y participent. En effet, le revenu créé au sein des CVM a doublé en moyenne, mieux encore, en Chine, les revenus associés aux CVM ont quintuplé. Ce processus semble être un moteur pour le développement des pays et permettrait de maintenir une croissance plus robuste, plus durable et surtout plus inclusive.

S'il est vrai que le processus de transformation structurelle est entré depuis les deux dernières décennies dans une phase de progression, force est de constater que le processus n'en est qu'à ses débuts dans la plupart des pays en développement. C'est particulièrement le cas des pays MENA (Middle East and North Africa) où une telle évolution n'a pas pu encore s'enraciner véritablement. Il reste beaucoup de chemin à parcourir et les obstacles sont multiples.

La région MENA est aujourd'hui, au centre d'ambitieux enjeux économiques essentiellement en matière d'intégration régionale et de transformation structurelle. En dépit d'un bilan jugé mitigé sur le plan commercial, les prémices d'une convergence économique sont visibles dans certaines économies en raison d'un bon niveau de croissance au cours de la dernière décennie, et des montées en gamme considérables sur le plan commercial. Toutefois, les Etats Arabes de cette région ont présenté des défaillances et une vulnérabilité importante dans le système économique et productif au lendemain des mouvements et des bouleversements politiques, économiques, sociales et populaires de très grande ampleur. Dans certaines de ces économies, plusieurs dirigeants arabes ont quitté le pouvoir. Dans d'autres économies, la situation a évolué

de manière parfois tragique et violente (conflit, guerres civiles), en raison de d'un fort positionnement géostratégique de l'Europe et des Etats-Unis en Afrique du Nord et au Moyen-Orient.

Cet environnement n'est donc pas propice à une accélération du développement économique dans la zone MENA dont l'avenir et la visibilité restent à ce jour opaque. Ce constat a d'autant plus été renforcé face à l'échec des récents accords commerciaux et stratégies de développement adoptées jusque-là, comme par exemple l'accord de Barcelone, relayés par l'Union pour la Méditerranée qui avaient été signés pour construire un partenariat euro-méditerranéen sur les trois volets cités précédemment : la paix, la sécurité et le développement économique.

Dans ce contexte de prolifération des accords commerciaux régionaux (Euromed, Gafta, …), les politiques de développement de la plupart des pays méditerranéens se sont basées sur une stratégie favorisant le développement du secteur privé, en s'appuyant essentiellement sur les entreprises tournées vers l'exportation. Aujourd'hui, la clé de la compétitivité mondiale est d'accroître la production et l'exportation de biens à plus forte valeur ajoutée. Il est incontestable que cela ne peut être obtenu que lorsque l'on accorde plus d'importance à la recherche et au développement (R & D) sur le processus de production et d'exportation. Une telle approche cherche à favoriser une transformation structurelle. Ce processus de transformation structurelle a été l'une des notions les plus souvent abordées par les spécialistes du développement au cours de cette dernière décennie, et particulièrement depuis les travaux de McMillan et Rodrik (2011).

En effet, la transformation des structures productives est une condition préalable nécessaire au processus de développement économique. Mais concrètement que signifie-t-elle ? Et comment la mesure-t-on ? Dans ce travail nous la définissons comme une réallocation de l'activité économique des secteurs à faible productivité vers des secteurs à plus forte productivité. A cet égard, les économies en développement qui ont le mieux réussi à orchestrer des changements fondamentaux dans leur structure productive sont celles qui ont amélioré rapidement leur niveau de vie. Non seulement la transformation structurelle permet de stimuler la croissance économique, mais elle peut également contribuer à une croissance durable et plus inclusive.

De ce point de vue, cela renvoi à la place qu'occupe le système productif comme élément central dans les théories de développement et de commerce international. La complémentarité de ces deux champs théoriques a récemment été développée par la communauté des chercheurs. Parmi les différentes contributions portant sur la dynamique de la structure des exportations, les travaux d'Hausman, Hwang et Rodrik (2007) et Hidalgo et al (2009) sont parmi les plus populaires. Leur étude démontre qu'une économie qui est à même de transformer sa structure productive et son panier d'exportation en biens plus complexes est amenée à se développer plus rapidement et plus efficacement. Ainsi, les chercheurs ont naturellement été amenés à faire le lien entre la structure des exportations et la croissance économique et à développer de nouvelles mesures. Dans ce travail, nous faisons le choix de nous concentrer sur une seule et unique mesure qui se révèle être la plus pertinente pour expliquer le processus de transformation structurelle : **il s'agit de l'indice de complexité économique.**

La multidimensionnalité de cet indicateur qui repose uniquement sur des données commerciales, est définie dans ce travail comme l'ensemble des capacités productives dont dispose une économie révélée par ses échanges commerciaux. Cette approche initiée par l'étude d'Hausman et Klinger (2007), puis celle d'Hidalgo et al (2009), leur a permis de conceptualiser un modèle d'espace de produit où chaque arbre est occupé par des firmes, tels des primates dans une forêt. Lorsque les firmes sautent d'un arbre à l'autre, elles développent de nouvelles capacités à exporter des produits générateurs de croissance.

A cet effet, diverses pistes ont été balisées. De nombreux chercheurs ont remis le processus de transformation structurelle au premier plan de la compréhension du développement économique, en mettant en évidence les effets positifs de la structure des exportations sur la croissance économique à travers plusieurs indicateurs. Très peu d'études ont porté sur l'indicateur que nous avons utilisé tout au long de cette thèse à l'exception des travaux de Poncet pour le cas de la Chine, ou encore l'étude de Jouini et al (2016) pour le cas des pays d'Afrique du Nord. Les apports sur cette problématique ont porté dans la majorité des études essentiellement sur les rôles du capital humain et de la qualité des institutions.

Introduction Générale

Aujourd'hui, nous avons très peu d'éléments sur le modèle et le rythme du processus de complexification des systèmes productifs des pays en développements et en particulier de l'ensemble des pays MENA. L'objectif de cette thèse est de tenter de combler ce manque de connaissance en explorant de nouvelles pistes de recherche n'ayant jamais fait l'objet de publications dans ce domaine, notamment celles qui s'appuient sur l'analyse de grandes bases de données dans les pays MENA. Nous privilégions les approches issues du domaine de la physique théorique, à travers l'usage de la dimension spatiale, la notion de vitesse, de convergence et d'accélération. C'est un constat qui appelle de ce fait, à une réflexion au sujet des déterminants et des effets de ce processus sur les différentes thématiques liées au développement économique.

2. Problématique

Le choix du thème de «la complexité économique comme nouvelles trajectoires de développement » a été guidé par deux considérations majeures à savoir, la place encore marginale que les pays MENA occupent dans le commerce international, et les bons résultats que les pays développés sont parvenus à obtenir grâce aux échanges et aux importations des produits en provenance de ces derniers. Partant de cette relation potentiellement symbiotique entre le commerce et le développement économique, notre objectif est d'étudier les façons dont la complexification des systèmes productifs peut contribuer à accélérer le développement économique des pays de sorte à identifier les obstacles à surmonter.

Au cœur de cette problématique réside la capacité des pays MENA à se tailler une meilleure place dans le marché mondial et plus particulièrement un commerce plus complexe, afin d'en tirer un véritable bénéfice. Mais avec la crise économique de 2007 suivie de la révolution arabe de 2011, les dynamiques du commerce international ont connu une évolution instable.

Comment donc les pays MENA peuvent s'intégrer pleinement au sein des CVM et parvenir à s'élever dans l'échelle des avantages comparatifs ? En ont-ils la capacité ? Comment peuvent-ils orienter spontanément la majeure partie de leurs exportations vers des produits plus complexes ? Qui puis est, quels sont ces produits révélateurs de transformation structurelle et

porteuse de croissance durable ? Comment ces produits évoluent-ils dans l'espace de produit ? Ces interrogations ont fait l'objet d'une analyse approfondie nous permettons d'apporter des éléments de réponse dans le premier chapitre de ce travail.

Aujourd'hui, nous reconnaissons que la complexification des systèmes productifs peut être un moteur du développement économique dans les pays MENA. Toutefois ce processus est loin d'être automatique. Cette thèse insiste sur l'importance de se doter de politiques commerciales appropriées pour remédier aux défaillances du marché et surtout aux échecs institutionnels qui bloquent la compétitivité des exportations. Nous préconisons donc que les pays MENA s'engagent dans une stratégie volontariste de diversification des exportations en repensant leur politique commerciale pour en faire un levier de promotion du développement industriel et de transformation structurelle. Ces pays doivent orienter leurs politiques vers des objectifs de développement nationaux et régionaux.

L'industrie manufacturière est certes cruciale, mais les ressources naturelles resteront l'avantage comparatif des pays MENA et leur exploitation peut être un accélérateur pour la transformation structurelle et de développement économique. En effet, les pays MENA disposent de grandes réserves de ressources naturelles, essentiellement non renouvelables, parmi les plus importantes au monde. La région peut se targuer de posséder de vastes réserves de phosphates, d'importants gisements de plomb, zinc, cuivre, et abritent surtout d'immenses réserves de gaz et de pétrole. Ces ressources représentent une part significative des exportations dans le commerce international. Malgré une importante exploitation commerciale de ces ressources essentiellement avec les pays européens, les pays MENA demeurent l'une des régions géologiques les moins connues et visibles de la planète. S'il faut en croire les récentes découvertes de gaz et du pétrole l'abondance de ces ressources permettrait de financer l'agenda de transformation de la région MENA. Les ressources naturelles pourraient changer la donne, si elles étaient transformées. A cet effet, une de nos principales contributions est de montrer que les ressources naturelles perturbent positivement le processus d'accélération du développement économique.

Introduction Générale

Au-delà des résultats plutôt prometteurs des pays MENA en matière d'intégration, le processus de transformation structurelle et la croissance économique dans cette zone restent toujours inférieurs à celle en Asie. Une accélération de ce processus est donc cruciale pour soutenir le développement économique actuel. Elle peut être réalisée par la mise en place d'un éventail de politiques structurelles « intelligentes » - accroissement d'un commerce intra-régional, amélioration de la qualité des infrastructures, des institutions, de l'éducation, facilitation des échanges, réduction des coûts commerciaux et renforcement de la compétitivité de manière générale- visant à orienter plus rapidement les ressources économiques vers les secteurs les plus dynamiques.

Notre principale contribution de cette thèse est d'apporter une réponse aux limites des modèles économiques traditionnels qui peinent à démontrer l'existence de nouvelles trajectoires de développement en considérant la complexification des systèmes productifs comme un élément central et déterminant dans les différentes thématiques relatives au développement économique. A cet effet, les différentes problématiques étudiées au cours des cinq chapitres de cette thèse ont trait à :

- Evaluer des déterminants de la complexité économique et à l'estimation d'un processus de convergence dans la zone MENA-UE
- Evaluer l'existence d'une autocorrélation spatiale dans le processus de complexification des systèmes productifs, de sorte à observer si les pays affectés par la performance de leurs voisins et influencés par leur propre position géographique
- Estimer l'effet de la complexité économique sur l'environnement et plus particulièrement la pollution de l'air
- Estimer l'effet de la complexité économique sur les inégalités de genre en éducation
- Démontrer que la complexité économique est une source d'accélération du développement économique

3. Structure des chapitres

La plupart des études empiriques ont proposé une analyse du processus de transformation structurelle à l'échelle internationale sans pour autant distinguer les pays selon leur niveau de revenu et leur position géographique. Qui puis est, la zone MENA dans sa globalité n'a jamais été étudiée dans la littérature économique à l'exception de certains travaux (Ben Hammouda, et al, 2009). De même, l'effet de l'intégration régionale ou encore du printemps arabe n'a pas encore été prospectée dans ce processus.

En choisissant d'étendre les travaux à cette récente période, nous offrons une évaluation des plus complètes du processus de complexification des systèmes productifs à ce jour, en ciblant un panel dynamique de 133 pays couvrant une période de 1984 à 2014 (31 années), soit un échantillon de 4123 observations. Les données utilisées dans ce travail, au-delà de celles manquantes qui ont été comblées grâce à la méthode par extrapolation ou imputation, sont parmi les plus longues et les plus récentes disponibles. Ce vaste échantillon améliore significativement la représentativité des résultats, rendue possible grâce à une nouvelle base de données sur l'indice de complexité économique produite par *l'Observatoire de la complexité économique du MIT (2016)*. En outre, l'étude vise d'une part, trois catégories de pays référencés par la Banque Mondiale : il s'agit des pays à revenu élevé, intermédiaire et faible fournissant ainsi des informations plus détaillées et solides sur ce processus compte tenu la forte hétérogénéité qui caractérise ces régions. D'autre part, nous comparons ces catégories de pays à la région MENA. En effet, nous accordons dans cette thèse une attention très particulière aux 19 pays MENA : une région qui fait figure de pôle de dynamisme malgré une position géopolitique censée la rendre vulnérable. Il s'agit en outre de contribuer à l'enrichissement des études empiriques, très peu nombreuses, sur ces questions concernant la région MENA. Nous pensons que la dimension méditerranéenne est amenée à jouer un rôle central dans la croissance de l'économie des prochaines décennies notamment grâce à son double phénomène démographique à savoir une augmentation de la force de travail estimée à 2.3% (entre 2010 et 2020) et une accélération de l'urbanisation (McKinsey, 2012).

Cette spécificité nous fournit une lecture plus actuelle de l'évolution du processus de transformation structurelle tant au niveau régional qu'au niveau individuel en fonction de leur niveau de revenu.

Pour mener à bien notre projet de recherche, nous avons eu recours à une méthodologie dite « inductive » qui part d'observations et mène à une hypothèse ou un modèle semi-théorique. Nous partons d'une revue de la littérature théorique et empirique suivie d'une réflexion par une série de faits stylisés pour établir un ensemble de problématiques, vers une étude ciblée des thématiques majeures relatives aux OMD/ODD (questions de développement économique). Les modèles économétriques sont construits de sorte à intégrer tous les types de facteurs notoirement susceptibles d'influencer de manière significative la décision de complexifier une économie, de lutter contre la pollution et les inégalités de genre ou encore d'accélérer le développement économique d'un pays. Les tests ont été réalisés à partir des hypothèses qui sous-tendent les problématiques abordées dans chaque chapitre.

L'ensemble de nos résultats ont fait l'objet de nombreux tests de sensibilité compte tenu de l'hétérogénéité de notre échantillon, des variables explicatives introduites telles que des variables muettes (Gafta, OMC, Kyoto), ou des variables d'interactions (logICE*MENA). Tous nos modèles économétriques ont été ajustés et vérifiés par le test VIF (Variance Inflation Factor) et la matrice de corrélation afin d'éliminer tout biais lié à la multicolinéarité entre les variables explicatives. Nous adoptons dans chacun de nos modèles différentes techniques d'estimation pour prendre en compte les principaux biais de l'échantillon. Etant donné que certaines variables sont invariantes dans le temps ou presque, nous préférons dans certains modèles l'utilisation de l'estimateur à effets fixes à celui des effets aléatoires pour produire des paramètres efficaces et moins biaisées des variables invariantes. Le test de Breush et Pagan et le test de Wooldridge montrent une absence du problème d'hétéroscédastité et d'autocorrélation. Lors des estimations, nous prenons également en considération le problème de stationnarité des variables. Les résultats des tests de Levin, Lin et Chu (2002), de Breitung (2000), et enfin ceux de Harris-Tzavalis (1999) montrent que la majorité des variables sont stationnaires en niveau et quelques-unes en différence. Concernant le modèle spatial, l'utilisation des tests du Multiplicateur de

Lagrange et celui du ratio Likelihood indiquent clairement la présence d'une corrélation spatiale résultant à la fois des erreurs et des variables dépendantes.

Comme analyse de sensibilité, nous présentons essentiellement deux autres estimateurs pour corriger le problème d'endogénéité. La première est basée sur un estimateur à effets aléatoires avec des variables instrumentales, à savoir l'estimateur Hausman et Taylor (HT), décrites dans Egger (2004). La seconde est l'estimateur composante de l'erreur des moindres carrés à deux degrés variables instrumentales (EC2SLQ IV) (Baltagi, 2005). En effet, l'endogénéité est un problème crucial dans nos régressions. En plus de l'endogénéité, le biais dû aux variables omises est aussi abordé. Concernant les estimations en dynamique, la présence des variables explicatives retardées est considérée comme une source d'endogénéité – justifiée par la présence d'autocorrélation – rendant les estimateurs dans les modèles statiques inefficients. Ainsi, le recours à l'estimateur dynamique GMM en Système de Blundell et Bond (1998) avec une spécification de variance robuste pour l'autocorrélation est plus adapté pour traiter à la fois les différents biais cités précédemment mais aussi pour résoudre les problèmes de biais de causalité inverse et de simultanéité. Les tests et estimateurs utilisés pour chacun de nos quatre modèles mettent en évidence la robustesse des résultats. Nos résultats montrent que le processus de complexification des systèmes productifs est en marche, et joue un rôle crucial dans l'amélioration de la performance économique des pays.

L'architecture des chapitres suivants comprend quatre études empiriques dont une semi-théorique. Chacune de ces études est précédée d'un rappel des fondamentaux théoriques des modèles spécifiques à chaque chapitre. Dans le premier chapitre, nous passons en revue la littérature théorique et empirique en lien avec la structure des exportations remettant ainsi la transformation structurelle au premier plan de la compréhension du développement économique. Elle permet aussi de mieux cerner la problématique de la complexification des systèmes productifs dans le contexte d'une conjoncture économique relativement difficile. Cette situation fait suite à deux grands évènements à savoir, la crise financière de l'année 2008 et celle de la révolution arable de 2011. Les répercussions de ces crises ont lourdement impacté les puissances économiques et particulièrement l'ensemble des pays MENA. Par ailleurs cette

question de transformation structurelle a refait surface depuis les travaux d'Hausmann et Hidalgo (2007), McMillan et Rodrik (2011) et le cri d'alarme des institutions internationales.

Les faits stylisés permettent, dans la seconde section, de comprendre que certaines économies n'ont pas les capacités pour produire des biens à plus forte valeur ajoutée, alors que d'autres économies pas si éloignées géographiquement suivent une trajectoire ascendante leur permettant un meilleur développement. Partant de ce constat, il y aurait donc un lien positif entre la complexité économique et le développement dans la zone MENA.

Les possibilités de développement futur d'une économie ne se limitent donc pas à un accroissement de la quantité de biens produits puis exportés, ni à un degré de diversification plus important, mais plutôt à la composition de la production d'une économie. Ainsi, les économies qui se spécialisent dans les biens que les économies riches exportent, sont susceptibles de croître plus rapidement que les économies qui se spécialisent dans les autres marchandises.

Les économies et en particulier les pays MENA se développeront plus rapidement et préserveront leur croissance s'ils parviennent d'une part à renforcer leurs fondamentaux et d'autre part à contextualiser les changements structurels de leur économie. Toutefois, s'ils privilégient un facteur en négligeant un autre, la trajectoire de développement risque d'être sous-optimale. Par exemple, les économies qui investissent moins dans leurs fondamentaux en particulier dans l'amélioration de la gouvernance ou dans le climat des affaires auront une croissance nulle (Shimeles, 2014). De même, si l'attention se focalise sur les fondamentaux sans prendre en compte la dynamique de la transformation structurelle, la croissance sera épisodique et ne s'inscrira pas dans la durée. Une approche alternative à la question consiste à s'interroger sur les facteurs clés du processus de complexification des systèmes productifs.

Le second chapitre, nous amène donc à étudier d'une part, les principaux déterminants du niveau de complexité économique. En intégrant, la dimension géo-localisée des données, nous proposons de prendre en compte les effets d'autocorrélation spatiale dans l'étude. La méthodologie employée pour détecter les effets d'autocorrélation spatiale est celle initiée par

Debarsy et Ertur (2010). Elle nous permet de choisir la meilleure spécification du modèle parmi trois alternatives : le modèle autorégressif spatial (SAR), le modèle à autocorrélation spatiale des erreurs (SEM) et le modèle spatial général à effets fixes sur des données de panel (SARAR). Dans notre échantillon, la prise en compte des effets d'autocorrélation spatiale ne transforme pas fondamentalement les conclusions du modèle a-spatial, elle permet juste de l'affiner. De nos résultats, il ressort que les conditions macro-économiques, structurelles, institutionnelles et géographiques influencent de manière significative le niveau de complexité économique. Cette dernière serait affectée par la performance de ses voisins, puis influencée par sa propre position géographique. Il existe donc une autocorrélation spatiale dans le processus de complexification des systèmes productifs. Nous remarquons également des phénomènes de rupture et de dissimilarité au niveau régional.

De plus, la seconde question centrale de ce chapitre est de savoir si les pays MENA ont entamé un processus de convergence vers les pays de l'Union Européenne, en utilisant la méthode de β-convergence conditionnelle avec et sans effets spatiaux. Les résultats montrent que les pays MENA affichent les mêmes rythmes de changement que les pays de l'UE. Des effets régionaux de convergence ou de divergence peuvent apparaitre et doivent être considérés pour mener des politiques de développement régional adaptées. En l'occurrence, une convergence des taux de croissance du niveau de complexité économique apparait dans la région MENA-UE. La durée nécessaire pour que les pays MENA comblent la moitié de l'écart (des taux de croissance de la complexité économique) qui les sépare des pays de l'UE est estimé à moins d'un an.

A la suite de cette analyse, le troisième chapitre porte sur l'effet de la complexité économique sur la pollution de l'air. L'objectif de ce chapitre est de mettre en évidence, au-delà de l'effet du PIB par habitant, le rôle majeur de l'évolution des transformations structurelles sur le niveau de pollution de l'air (émissions de CO2/tête), en reprenant autrement le modèle de la courbe environnementale de Kuznets. L'influence des changements structurels sur la pollution est évaluée de manière originale par l'indice de complexité économique (ICE). La diminution relative de la pollution à partir d'un certain seuil, particulièrement perceptible dans les pays à revenu élevé, résulte davantage d'une profonde transformation structurelle que du niveau de développement. Ainsi, l'accroissement de la complexité économique permet plus rapidement

d'atteindre le seuil de retournement du niveau de pollution que l'accroissement du PIB/tête. Ce résultat laisse apparaître que pour réduire la pollution, le mode de croissance et les spécialisations productives sont plus importants que la croissance elle-même et le niveau de développement économique atteint.

Dans le quatrième chapitre, nous nous intéressons cette fois-ci à l'effet de la complexification des systèmes productifs sur les inégalités de genre en éducation. Ce travail vise à enrichir la littérature qui porte sur la relation entre l'inégalité de genre et le commerce. A partir du cadre théorique néo-classique, nous testons l'effet direct de la complexité économique sur l'inégalité de genre en éducation. Les résultats montrent qu'il n'y a pas de relation entre la complexité économique et l'inégalité entre les sexes dans le niveau primaire et secondaire. Mais l'effet est significatif dans le niveau tertiaire. Les gouvernements doivent prendre des mesures en vue de transformer leur structure productive afin de réduire l'inégalité de genre dans l'enseignement supérieur. Les dépenses publiques en éducation, la bonne gouvernance et l'ouverture financière par l'attractivité des IDE tendent à réduire les inégalités entre les sexes dans les deux niveaux d'enseignement. Ainsi, d'autres mesures telles que les politiques économiques conjoncturelles et structurelles doivent être utilisées par les gouvernements pour lutter contre ce phénomène.

A l'issue de ces quatre chapitres, nous proposons une approche novatrice dans le domaine de l'économie. Dans ce cinquième et dernier chapitre, nous appliquons la physique théorique hors de son champ traditionnel. Ainsi nous démontrons, à travers des outils tirés de la mécanique statistique classique à savoir l'équation de Langevin et celle de Fokker–Planck, qu'il peut exister un processus d'accélération dans un modèle économique. Pour cela, nous appliquons la Théorie de Réponse Linéaire (TRL), théorie qui semble rester inconnue dans la littérature économique, pour montrer que le système de particule est étroitement lié à un modèle économique. Les démonstrations mathématiques et les estimations économétriques mettent en évidence trois grands résultats. Premièrement, notre modèle est doté d'une force dominante (ICE), qui au-delà de son influence significative, augmente avec l'accélération du développement économique tout en restant positive. Deuxièmement, notre modèle est soumis à une force dissipative (corruption) évitant que le système ne converge ou qu'il n'explose vers l'infini. Cette dissipation joue un rôle fondamental dans ce processus d'accélération. Enfin, ce modèle est perturbé "positivement"

par un autre facteur (ressources naturelles) qui a un effet significatif dans ce processus d'accélération. Les MENA figurent parmi les pays qui ont entamé un processus d'accélération du développement économique plus important que les autres pays du monde. Ce résultat s'explique par la combinaison des performances en matière de complexification des structures productives, de lutte contre la corruption, et d'une meilleure exploitation des ressources naturelles.

Tout au long de cette thèse, nous entendons proposer une analyse approfondie de la dynamique du processus de complexification des systèmes productifs au cours des trois dernières décennies. Au-delà, d'une conjoncture économique difficile marquée essentiellement par de faibles perspectives de croissance liées à la fois à la crise économique de 2008 et au printemps arabe de 2011, des trajectoires nouvelles de développements existent pour limiter l'hécatombe, mais peinent à être proposées ou à être mises en œuvre.

Chapitre 1 : Littérature, mesure et analyse de la transformation structurelle

1. Introduction

La capacité des économies à améliorer leur structure productive et à se diversifier dans des biens plus complexes semble expliquer pourquoi certaines économies décolleraient et d'autres resteraient pauvres (Felipe et al, 2010; McMillan et Rodrik, 2011, Rodrik, 2013).

Une littérature empirique a réinstallé le changement structurel au premier plan de la compréhension de la croissance économique future (Hausmann et Hidalgo, 2009,2011). Le processus de transformation structurelle implique un changement dans le processus de production, à savoir transférer la production des produits simples en produits plus complexes (Lall, 2000; Hausmann et Klinger, 2006; Hausmann et al., 2007, Hidalgo et al 2009). Hidalgo et Hausmann (2009) proposent une mesure théorique de réseau basée uniquement sur des données commerciales, utilisant la « méthode des réflexions", qui combine le niveau de diversification des exportations et l'ubiquité moyen des produits qu'elle exporte. La justification de cette approche est que les économies qui exportent une large gamme de produits (à savoir les économies à forte diversification) sont susceptibles d'avoir plus de capacités. De même, les produits qui sont exportés par peu d'économies (à savoir les produits à faible ubiquité) semblent avoir beaucoup de difficultés à trouver des capacités. Leurs travaux démontrent ainsi que la mesure des capacités est hautement prédictive de la croissance économique future. Ainsi, les économies qui connaissent de faibles capacités auront des incitations plus faibles pour accumuler des capacités supplémentaires. Ce piège peut contribuer à expliquer l'écart important dans les niveaux de revenus entre les économies, puisqu'en effet les différences initiales dans les dotations de capacité seraient amplifiées au fil des années.

Le concept de complexité économique a pris, ces dernières années, une nouvelle dynamique dans les discussions sur les politiques de développement, ce qui en a fait un enjeu majeur aussi bien pour les politiques nationales que régionales. Cette notion clé devient alors imminente dans les économies en développement, et donne ainsi sens et rigueur aux principales finalités des accords régionaux dans le processus d'accroissement des flux commerciaux et de développement économique.

Une structure de production plus complexe requiert ainsi le développement de compétences adéquates et la capacité d'adaptation à l'évolution des besoins technologiques. Le rôle de la complexité de la production et ses conséquences sur les performances économiques n'est pas nouveau en soi. Certaines théories économiques telles que les modèles de croissance ont souvent avancé l'hypothèse que la variété d'intrants dans la production d'une économie générait à long terme une incidence sur sa productivité générale. Néanmoins, les théories traditionnelles du commerce international avec dotations factorielles[1] avaient déjà apporté des justifications sur l'analyse de la structure des biens produits. De même, que la nouvelle théorie de la croissance[2] ou encore les théories du changement structurel[3] qui ont été parmi les premiers à reconnaitre l'importance des capacités sous-jacentes comme condition nécessaire pour une croissance à long terme.

L'objectif de ce chapitre est de passer en revue les principaux fondements théoriques et travaux empiriques en lien avec la structure des exportations remettant ainsi le changement structurel au premier plan de la compréhension du développement économique (section 2). Nous présenterons l'évolution récente de la situation économique des pays MENA face aux perspectives mondiales pour mieux comprendre cette région dans leur transformation structurelle (section 3). Ainsi, nous introduirons et analyserons sur les trois dernières décennies, une mesure qui a su refléter les connaissances et les capacités productives d'une économie (section 4), jouant ainsi un rôle crucial dans les perspectives de développement futur des économies (Section 5). Juste avant, une brève conclusion (section 6).

[1] Théorie sur les avantages comparatifs (Ricardo), et la théorie HOS

[2] Grossman et Helpamn, (1991)

[3] Modèle de Lewis (1955), Kuznets (1971), modèle de Chenery (1979), Syrquin(1986)

2. Revue de la littérature

2.1. L'efficience des modèles fondamentaux prête à controverse

La théorie traditionnelle du commerce international avec dotations factorielles nous a longtemps laissé admettre que le modèle de spécialisation de base a eu très peu d'impacts voire aucun sur l'évolution future des économies en matière de développement, dans la mesure où il s'agirait tout *simplement d'un reflet des caractéristiques plus profondes de la région, comme ses dotations en facteurs et ses différentiels technologiques* (Hausmann et Bustos, 2012). En effet, le modèle de Ricardo développé en 1817, basé sur la théorie des avantages comparatifs reliant le commerce international à des différences de technologie de production entre les économies, nous indique que les pays ont intérêt à échanger dès lors qu'ils se spécialisent dans la production pour laquelle ils possèdent des avantages de coûts relatifs, tout en supposant que le travail est l'unique facteur de production et que ce facteur est mobile à l'intérieur du pays mais immobile internationalement. Par la suite, se développe le célèbre modèle HOS qui reposent quant à lui sur des différences de dotation dans les facteurs de production, où une économie doit se spécialiser dans les productions utilisant les facteurs tels que la terre, le travail et le capital, qu'elle possède en abondance par rapport à d'autres pays. Autrement dit, nous avons une spécialisation partielle de chaque économie sur le produit le plus intensif dans le facteur dont cette économie est relativement le mieux doté. En outre, il y a une égalisation des prix relatifs des biens entre les économies, et il en ressort également que la rémunération relative du facteur le plus rare dans chaque économie baisse tandis que celle du facteur le plus abondant accroît. Ainsi, les théories traditionnelles du commerce international se sont très peu préoccupées des questions relatives à la dynamique et/ou à l'évolution temporelle des spécialisations nationales. Il s'avère ainsi que l'appareil productif d'une économie importe alors très peu et ne crée pas de sources de dépendance en termes de trajectoire.

Toutefois, une récente tentative développée en premier lieu par Hausmann et Rodrik (2003)[4], nous fait ré-explorer le rôle et les principaux enjeux des modèles de spécialisation initiale. Ces auteurs démontrent que la structure de production d'une économie importe nécessairement dans la mesure où elle affecte le modèle de mise au point de nouveaux produits et toute chose égale par ailleurs, elle génère une dynamique en matière de productivité et de potentialité en terme de croissance de ces pays.

Dès lors, dans la théorie standard du commerce international, les transformations au niveau du panier des exportations d'une économie sont une conséquence passive de ses dotations en facteurs. Afin de se développer, les économies vont devoir accumuler un capital beaucoup plus humain et physique à travers le transfert de flux fondamentaux de ressources tels que le flux de main d'œuvre qualifié ou encore le flux de produit à plus forte productivité[5]. Ces transformations fondamentales seront exprimées dans des structures différentes des exportations, en sachant qu'il existe toujours un ensemble de produits à travers lequel une économie peut exprimer ses facteurs de production. Le changement structurel d'une économie serait donc une conséquence passive de l'amélioration de ses ressources financières, de son système éducatif ainsi que de sa productivité globale.

Cette idée rejoint les théories des changements structurels basés sur les prix et allocations des ressources. Par exemple, les travaux, de Lewis (1955), Hirschman (1958), Rostow (1959) ou encore Kaldor (1967), décrivent le développement économique comme un processus de transformation structurelle et des gains de productivité grâce au transfert des ressources et à l'acquisition de capacités plus productives. D'autre part, les théories du changement structurel (Chenery ,1975 et Syrquin 1986) nous ont enseigné que dans un contexte de déséquilibre, les transformations structurelles représentent une source potentielle de croissance économique si elles mènent à une exploitation plus complète et plus appropriée des ressources. Les gains

[4] Voi aussi Hausman, Hwang et Rodrik, (2007) ; Hidalgo et al, (2009)

[5] Concept développé par la théorie de développement (Lewis, 1955 ; Chenery ;1979, Syrquin, 1988)

potentiels qui peuvent en découler sont probablement plus importants pour les économies en développement que pour les économies développées, parce qu'en effet les premières vont refléter des symptômes de déséquilibre beaucoup plus prononcés ce qui va les conduire à avoir des rythmes de transformations structurelles beaucoup plus rapides. Dans ce processus graduel, la productivité augmente et, parallèlement, le centre de gravité passe des unités à productivité faible aux unités à productivité plus élevée (Syrquin, 1988).

Par la suite, d'importantes contributions comme celles de Lall (1992) ou encore Kremer (1993) ont soulignées le rôle important des capacités productives dans le contexte de l'innovation et du développement économique, en émettant comme observation que la complexité de production peut jouer un double rôle. Le premier est que la complexité économique peut améliorer l'accumulation du capital humain à travers une meilleure compétence et système d'apprentissage (Lucas, 1988, 1993). Le second est qu'il peut accroitre le risque d'échec de la production quand il augmente le nombre de tâches qui doivent être exécutées correctement (Kremer, 1993). Autrement dit, une technologie plus complexe peut comporter un risque plus élevé d'échec puisqu'elle peut réduire la probabilité que toutes les tâches requises soient effectuées efficacement. Le développement économique implique donc un processus dans lequel les pays cherchent constamment à mettre à niveau leur ensemble complexe de capacités afin d'être en mesure de se déplacer dans les secteurs de productivité plus élevés afin d'améliorer les performances économiques des pays.

2.2. Littérature empirique : les récentes tentatives

Dernièrement, plusieurs tentatives ont été réalisées afin de soutenir cette littérature théorique par des résultats empiriques. Un premier résultat empirique mené par Rodrik et al (2006) ; Hausmann et al. (2007) a été de démontrer que les économies qui se spécialisaient dans des produits hautement sophistiqués se développeraient plus rapidement que ceux qui n'étaient pas spécialiser dans une gamme de produits sophistiqués.

Cette hypothèse repose sur la construction de l'indice de sophistication des exportations (EXPY) qui se base sur le calcul du revenu moyen par habitant des pays qui exportent le même bien. Cet indice de sophistication, qui fait l'objet d'un consensus grandissant, se différencie des autres mesures traditionnelles de sophistication, qui cherchent entre autre à calculer l'intensité de sophistication technologique.

En effet, la mesure de sophistication EXPY, pour un pays c, est défini comme un indice qui utilise des flux des échanges internationaux et des niveaux du PIB/tête des pays exportateurs pour déduire le niveau de productivité moyen associé à la structure des exportations d'un pays. La construction de l'indice EXPY, repose sur le calcul du niveau de sophistication de chaque produit PRODY, qui peut également se calculer sur la base de l'indice de Balassa de l'avantage comparatif révélé (RCA) pondéré du PIB/tête de chaque pays qui exporte le même bien. Ainsi, la mesure sera représentée sous la forme suivante (1) :

$$PRODY_{i,t} = \sum_c \frac{(\text{xval}_{i,c,t}/X_c)}{\sum_c(\text{xval}_{i,c,t}/X_c)} Y_c = \sum_c \frac{RCA_{i,c,t}}{\sum_c RCA_{i,c,t}} Y_c \qquad (1)$$

Où, $xval_{i,c,t}$ représente la valeur des exportations du bien *i,* effectuées par le pays *c,* à l'année *t* ;X_c , est le total des exportations par pays *c*; Y_c , correspond au PIB/tête du pays *c.*

A partir de là, le PRODY sera utilisé comme une mesure pondérée pour évaluer la sophistication de la structure des exportations au niveau du pays c où la pondération correspond à la part du secteur *i* dans la valeur totale des exportations du pays *c*.

$$EXPY_{c,t} = \sum_i \frac{(\text{xval}_{i,c,t})}{(X_{c,t})} PRODY_{i,t} \qquad (2)$$

Ainsi, l'équation (2) indique une moyenne pondérée du PIB/tête de tous les pays qui exportent les mêmes produits que le pays c. Autrement dit, elle mesure le niveau de productivité associé au panier de produits exportés. Cet indicateur a donc permis de démontrer que les économies ayant un panier d'exportations plus sophistiquées auront une croissance plus rapide (Annexe 1).

Toutefois, cet indicateur a récemment fait l'objet de critiques en raison de l'utilisation d'information sur le revenu dans la construction de l'indice de sophistication. En effet, l'équation (1) montre que plus le poids du bien *i* dans les exportations des économies riches est élevé, et plus son *Prody* sera grand ; il sera par conséquent considéré comme sophistiqué. Ceci donne lieu à un problème de circularité de la mesure originelle d'Hausmann et al. (2007), dans lequel les économies riches vont exporter des biens spécifiques aux économies riches.

Dès lors, les travaux d'Hidalgo et Hausmann (2009) ont depuis tenté d'affiner et améliorer la mesure de sophistication afin de remédier à ce problème de tautologie ; ils ont su développer une mesure où ils n'utilisent que des informations combinant diversité et ubiquité des produits et non des informations sur leur volume, leur prix ou encore sur le niveau de revenu associé aux pays.

2.3. Complexité économique : une mesure multidimensionnelle

Hausmann et Hidalgo (2009, 2011) ont ainsi introduit l'idée que la productivité d'une économie résulterait de la diversité de ses capacités productives qui pourraient être considérées comme des intrants non marchands. En effet, d'après ces auteurs, les écarts en termes de richesse par habitant entre les économies pourraient s'expliquer par les différences au niveau de la complexité économique.

Quelques travaux empiriques ont confirmé ce résultat à travers l'association positive entre la complexité d'une économie et son taux de croissance dans les économies en développement. Nous faisons référence aux travaux de Felipe et al (2010,2012), Jankowska et al. (2012), Aditya et Acharyya (2012), Hausmann et Bustos (BAD, 2012), Jouini et al (2016), Ferrarini et al (2016) ou encore de l'étude de Daude et al (OCDE, 2013). Poncet et de Waldemar (2013) ont quant à eux étudié au niveau interrégional l'effet de la complexité économique sur la croissance de 221 villes chinoises (1997-2009). Leur résultat montre que plus une ville dispose d'une structure productive complexe et plus la croissance à venir du revenu par habitant sera élevée ; ce qui

porte à croire que la complexité économique d'un pays et de sa région joue un rôle décisif dans le développement futur d'une économie.

Hausmann et Hidalgo (2009) proposent donc un indicateur théorique de réseau basé sur le niveau de diversification des exportations et l'ubiquité moyenne des produits que le pays exporte. Ainsi, une plus grande diversification suppose plus de capacités pour produire une gamme plus large de biens. Un bien qui est moins omniprésent nécessite des capacités plus exclusives. La complexité reflète donc l'ensemble des capacités productives dont dispose une économie révélée par ses échanges commerciaux.

De manière plus analogique et ludique, cette mesure indirecte de ces capacités qui reposent sur la notion d'ubiquité et de diversité, peut être considérée comme un jeu de construction, où un bien équivaut à une pièce de Lego et une économie à une boîte de Lego. En effet, nous supposons que les économies produisent tous les biens pour lesquels ils ont toutes les capacités nécessaires, tout comme un enfant est en mesure de réaliser un modèle de construction si sa boite est composée de toutes les pièces de Lego nécessaires. En utilisant cette analogie (Hausmann et al, 2009), la question est de savoir si nous pouvons déduire la nature d'une boîte de Lego d'une économie en observant seulement les modèles de Lego que construit cette économie. Ainsi, les économies se différencient en fonction de la variété des pièces de Lego qu'elles possèdent, tout comme les produits se différencient en fonction de la variété des pièces de Lego utiles à leur production. La diversité d'une économie est calculée par le nombre de produits différents fabriqués par l'économie. L'ubiquité d'un bien est calculée par le nombre d'économie produisant un tel bien. En somme, les économies qui possèdent une plus grande variété de pièces de Lego seront en mesure d'offrir une plus grande variété de produits. Ces économies devraient par ailleurs être plus diversifiées. Toutefois, les constructions qui exigent plus de pièces de Lego ne seront produites que par les économies qui disposent de toutes les pièces nécessaires et le nombre de telles économies ne peut être que limité, ce qui rend ces biens moins omniprésents. Cependant, les économies ayant plus de capacités devraient être en mesure d'offrir des biens qui en requièrent plus, mais ces produits devraient être moins ubiquistes. Il s'ensuit que les économies possédant un ensemble plus varié de pièces de Lego devraient être ainsi plus diversifiées et en mesure de réaliser davantage de constructions que d'autres

économies, non pas parce qu'elles possèdent de nombreuses pièces mais parce que ces pièces sont très rares.

Cet indice qui varie entre -2 .8 et 2.8, a été formalisé à partir de la méthode des réflexions pour calculer simultanément et de manière itérative les mesures d'ubiquité et de diversité, de façon à introduire dans l'indicateur de la complexité des produits autant d'information que possible et ceux à partir de la structure du réseau des produits et des économies. Alors que l'ubiquité appréhende la complexité à travers le nombre d'économie qui exporte un produit, la diversité se focalise quant à elle sur le nombre de produits qu'une économie exporte.

Ces deux dimensions sont complémentaires et se formalisent comme suit:

$$UBIQUITE_i = K_{i,0} = \sum_c M_{ci} \qquad (1)$$

$$DIVERSITE_c = K_{c,0} = \sum_I M_{ci} \qquad (2)$$

Où, c désigne le pays, i représente le produit et M_{ci} est défini comme une matrice égale à 1 lorsque le pays c exporte un bien i avec un avantage comparatif révélé (RCA>1), ou égale à 0 autrement[6].

La complexité d'un bien i est de ce fait calculée après n itérations :

$$K_{i,n} = \frac{1}{K_{i,o}} \sum_c M_{ci} K_{c,n-1} \qquad (3)$$

Où $K_{c,n-1}$ représente la complexité économique pour un pays c :

$$K_{c,n-1} = \frac{1}{K_{c,o}} \sum_i M_{ci} K_{i,n-2} \qquad (4)$$

---

[6] La construction de cet indice repose ainsi sur la base de l'indice de Balassa de l'Avantage Comparatif Révélé calculé comme suit :

$$RCA_{ci} = \frac{(\text{xval}_{i,c} / X_c)}{\sum_c (\text{xval}_{i,c} / X_c)}$$

Afin de mieux comprendre la logique de ces itérations, le passage de Ki,0 (qui désigne l'ubiquité) à Ki,1 (qui évalue la complexité du bien *i),* montre qu'un produit complexe est non seulement caractérisé par un niveau d'ubiquité relativement faible (Ki,0) mais également par une complexité élevée de ses exportateurs.

Le processus de complexité du produit i (3) s'applique également à partir d'itérations supplémentaires, à savoir $K_{i,2}$ qui est la moyenne de $K_{c,1}$ pour les pays exportateurs du produit i. $K_{i,2}$ représente ainsi la moyenne de l'ubiquité des produits exportés avec RCA par les pays exportateurs du bien *i* avec RCA. Autrement dit, l'équation (5) mesure la diversité moyenne des économies qui exportent le produit *i* avec avantage comparatif révélé comme

$$K_{i,1} = \frac{1}{K_{i,o}} \sum_c M_{ci} K_{c,0} \qquad (5)$$

De même, la complexité d'une économie ne doit pas seulement être associée à la diversité, mais celle-ci doit aussi refléter le degré d'ubiquité des biens qu'il exporte :

$$K_{c,1} = \frac{1}{K_{c,o}} \sum_i M_{ci} K_{i,0} \qquad (6)$$

La même logique s'applique à des itérations de l'indicateur de complexité au niveau des économies. A savoir, Kc,2 affine la mesure de Kc,1 par l'ajout d'information sur la diversité moyenne des économies ayant des paniers d'exportation semblables à celui du pays *c*.

L'équation (3) est itérée jusqu'à ce qu'aucune information supplémentaire ne soit extraite de l'itération précédente, autrement dit les valeurs estimées en utilisant (3) dans les itérations *n+1*et *n* sont les mêmes.

Après une présentation de la littérature et une description détaillée de la mesure de complexité économique, la prochaine section portera sur l'évolution de la transformation structurelle en présentant les derniers chiffres relatifs à la situation économique mondiale.

3. Evolution récente de la situation économique : Principaux faits stylisés

3.1. Perspectives mondiales

La situation économique mondiale reste anémiée. En 2016, selon les prévisions de la Banque mondiale, le taux de croissance du Pib réel n'excèdera pas les 2,46% enregistrés en 2015. La plupart des économies sont en récession, plusieurs d'entre elles sont confrontées à des attentats terroristes, à la crise des réfugiés ou encore à des guerres civiles qui rendent les marchés de produits de base plus volatiles, particulièrement le marché pétrolier. A savoir, les exportateurs de pétrole, particulièrement ceux Moyen Orient, ont connu une nette diminution de leur croissance en raison du maintien des prix du pétrole à des niveaux bas, par exemple la croissance du Pib de l'Arabie Saoudite est passée de 3,5 % en 2015 à 1 % en 2016 (Banque mondiale, 2016).

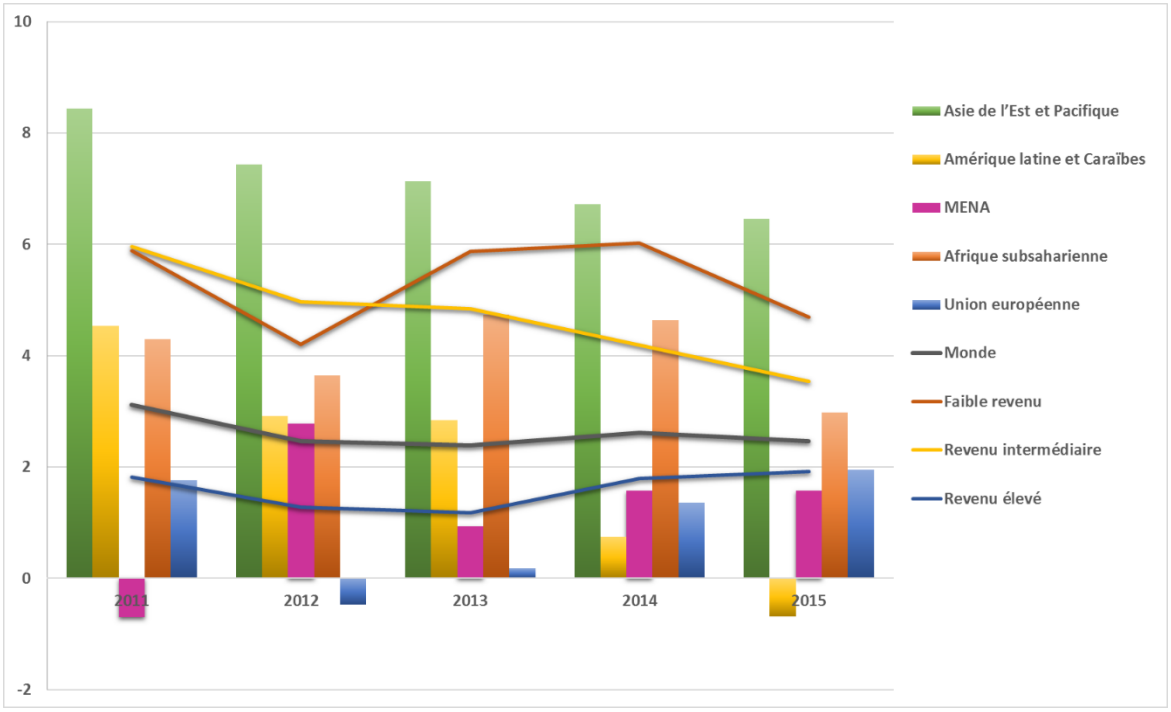
La croissance des pays MENA au lendemain du Printemps arabe a chuté puis est restée au point mort depuis 2014, avec un taux qui s'élève à seulement 1,7% en 2015 en raison des conflits qui secouent la région et le ralentissement de l'économie mondiale rendant peu probables les perspectives de reprise à court terme (Graphique 1).

La croissance réelle des pays développés reste en dessous de la moyenne observée entre 2000-2007 (3,5%), soit aux alentours de 1,9%. Ce résultat s'explique en partie par le ralentissement de la croissance en Grande-Bretagne, suite au mouvement Brexit [7]qui va peut-être ralentir la croissance de tous les pays de l'UE. La croissance réelle des pays d'Afrique Subsaharienne a légèrement baissé en 2012 puis en 2015 atteignant les 3%, ce qui n'est pas le cas de l'Amérique latine, qui elle a connu depuis 2011 une nette diminution passant de 4,5% en 2011 à -0,7%. Les

[7] A travers une contraction de l'investissement

marchés émergents (asiatiques) s'essoufflent également, après une décennie de croissance très rapide, leur croissance du Pib réel a aussi diminué passant de 8,7% en 2011 à 6,4 % en 2015.

Graphique 1: Croissance du Pib réel, en %, sur la période 2011-2015



Source : Banque mondiale, 2016.

Dans ce contexte de ralentissement de la croissance dans les pays émergents, le commerce international s'est contracté d'environ 4 % en 2015 par rapport à 2014 (Banque Mondiale, 2016). Ce recul, peut s'expliquer par une diminution de la demande de produits d'importation provenant des marchés émergents, particulièrement les marchés asiatiques et d'Europe centrale et de l'Est. De plus, la diminution du prix des matières premières et les troubles au Proche Orient, associés à la montée des taux d'intérêt américains, ont légèrement freiné les flux de capitaux vers les économies en développement.

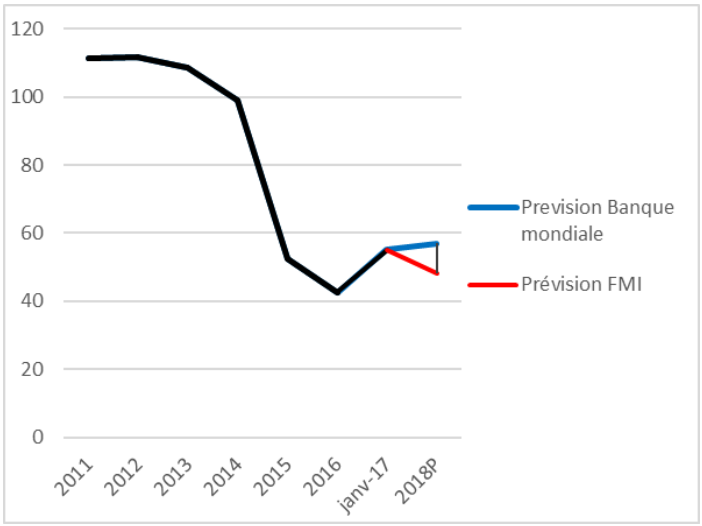
Par ailleurs, l'inflation mondiale reste relativement faible, ce qui traduit l'effet modérateur qu'exercent la baisse des prix de matières premières la croissance molle des salaires dans les

pays développés et la surcapacité en Chine (Banque Mondiale, 2016). Toutefois, l'inflation s'est nettement accrue dans plusieurs grands marchés émergents en 2016, en particulier en Amérique latine (le Brésil, la Colombie, le Chili), en Asie (l'Indonésie, la Malaisie), dans les MENA (la Turquie et l'Égypte), en Afrique du Sud et en Russie. Cette hausse s'explique principalement par les dépréciations sensibles des monnaies et, dans une moindre mesure, par des recettes fiscales, et les augmentations des prix administrés.

En somme, le ralentissement de l'économie mondiale rend peu probables les perspectives de reprise à court terme, en raison des risques géopolitiques qui peuvent freiner l'investissement et la croissance économique. De plus, la faible croissance au sein de l'UE, au lendemain du Brexit, ainsi que le maintien du prix du pétrole à des niveaux très bas pourraient assombrir les perspectives futures de développement des pays pétroliers.

D'après l'étude de Devarajan et Mottaghi (2016), l'économie devrait régler la situation de sur-approvisionnement et rétablir l'équilibre du marché en 2020 à des prix proches du coût marginal des producteurs américains d'huile de schiste. Les prix du pétrole ont légèrement augmenté et devraient s'établir aux alentours de 60 dollars le baril selon les prévisions de la Banque mondiale (graphique 2) du fait que les réserves mondiales demeureront largement supérieures aux moyennes historiques. Les pays de l'OPEP ont augmenté leur production de pétrole, particulièrement la Libye grâce à la levée des restrictions imposées sur ses ports lui permettant ainsi de débloquer plus de 300 000 barils de pétrole par jour. Quant aux deux premiers producteurs de pétrole brut au niveau mondial, à savoir l'Arabie Saoudite suivie de la Russie, ils ont produit à un niveau inégalé depuis juillet 2016, de l'ordre respectivement de 10700 et 10200 milliers de barils par mois (trading economics, 2017).

Graphique 2: Cotation du Brent, USD par baril, en moyenne annuelle, 2011-2014.



Source : Reuters / DGEC

Les économies dont les recettes d'exportation reposent principalement sur le pétrole sont confrontées à une grave et longue détérioration des termes de l'échange. Dans la plupart des économies, les prix pétroliers sont restés très inférieurs au niveau nécessaire pour équilibrer le budget, générant un déficit budgétaire et extérieur très important. En effet, les recettes pétrolières nettes des pays de l'OPEP ont atteint près de 400 milliards de dollars en 2015, soit plus de 45 % de moins qu'en 2014. (Banque Mondiale, 2016). La situation est plus difficile pour les pays producteurs de brut notamment l'Angola, le Gabon et le Nigéria, ces pays doivent faire face à une forte baisse de leurs recettes d'exportation qui s'ajoutent à la baisse des prix pétroliers. Le double effet, effondrement des cours du pétrole et baisse de la demande d'un gros importateur comme des Etats Unis, réduit leurs marges de manœuvre budgétaire. En Amérique latine, notamment le Venezuela et le Brésil, ont eux aussi été durement affectés par l'effondrement des prix des produits de base, qui les a plongés dans une récession sans précédent. Enfin, les exportateurs de pétrole des pays MENA ont connu le même problème. La Libye et l'Algérie sont très touchées par la diminution des prix pétroliers et des importations de pétrole des États-Unis, qui est leur principal partenaire commercial sur ce produit. Certains pays MENA puisent dans leurs réserves et se tournent vers les marchés des capitaux.

3.2. Focus sur la région MENA

Ces dernières années ont été des plus difficiles pour les pays MENA, vu la gravité des défis à relever par cette région en termes de développement économique, de création de valeur ajoutée et de stabilité gouvernementale. Ces pays ont fait preuve de résilience pendant la crise financière avant de subir la crise politique et le soulèvement révolutionnaire de Janvier 2011.

Sur le front économique, la croissance du Pib régionale est restée molle dans la majorité de ces pays depuis 2014, pour plusieurs raisons. Seuls l'Égypte, l'Iran et le Maroc ont connu une croissance économique plus solide en 2015, soutenue par la reprise des investissements publics. Même si ces trois pays sont confrontés à de nombreuses difficultés, le renforcement de la sécurité et la mise en œuvre des réformes, ont permis entre autre à l'Egypte d'avoir une croissance économique de plus de 4 % en 2015 et de 3,5% en 2016. De même pour le Maroc, son économie a jouit d'une croissance dynamique de l'ordre de 4,3% en 2015 et de 2,6% e 2016, en raison de sa stabilité macro-économique associée à une inflation faible, ainsi qu'aux conditions météorologiques[8]. Enfin, l'Iran a affiché en 2016une croissance de moins de 5% en raison de la levée des sanctions internationales associées à ses activités nucléaires. Ainsi, le recul des prix du pétrole va certainement affecter davantage les autres pays exportateurs de pétrole de la région MENA, par ailleurs l'effet positif de la hausse de sa production va compenser la chute des cours internationaux (Banque mondiale, 2016).

Les principaux pays pétroliers de la zone MENA[9] subissent encore les effets négatifs du bas niveau des prix du pétrole et de la forte dépense publique, leur croissance s'établissait aux alentours de 3% en 2015, avec une légère baisse en 2016.

[8] L'économie marocaine repose essentiellement sur l'agriculture, sa croissance dépend étroitement des conditions météorologiques.

[9] Algérie, Bahreïn, Iraq, Koweït, Libye, Oman, Qatar, Arabie Saoudite et Émirats Arabes Unis

Parmi les pays pétroliers, nous recensons quatre économies, à savoir l'Iraq, la Libye, la Syrie et le Yémen, qui ont profondément été affectées d'une part, par la chute des prix du pétrole et d'autre part, par des conflits violents voire des guerres civiles qui ont un coût humanitaire très lourd. Selon le rapport de la Banque mondiale (2016), ils estiment à 15 millions le nombre total de personnes déplacées d'Iraq, de Libye, de Syrie et du Yémen, vers les économies voisines comme le Liban et la Jordanie qui ont dû augmenter les dépenses publiques relatives à la santé, l'éducation et aux commerces locaux.

Parmi les pays importateurs de pétrole[10] , qui devraient en principe tirer profit de la chute des prix pétroliers, leur croissance ralentit également, pour s'établir en moyenne à 2,5 % (2016). Ce chiffre s'explique par les répercussions des conflits qui sévissent dans les économies voisines et aussi par l'impact des attentats terroristes sur le tourisme et la confiance des investisseurs.

D'ailleurs, les besoins en investissements des pays MENA sont relativement élevés et la pénurie de capitaux étrangers a aggravé une situation qui était déjà fragile. L'Égypte, la Jordanie et la Tunisie pourraient avoir besoin de plus de 50 milliards de dollars supplémentaires pour leurs investissements et pour développer leurs infrastructures afin de les mettre sur de bons rails ces prochaines années. L'Iran, après la levée des sanctions, a besoin de centaines de milliards de dollars pour moderniser ses champs pétroliers et rapporter sa production à son niveau initial d'avant les sanctions (Banque mondiale, 2016).

De plus, les déficits budgétaires sont en hausse dans l'ensemble des pays MENA essentiellement les économies en développement exportateurs de pétrole comme la Libye par exemple, qui a elle seule, présente un déficit budgétaire de près de 60% de son PIB et un déficit courant de près de 70 % de son PIB (Banque mondiale, 2016). Dans une moindre mesure, l'Arabie Saoudite, a affiché un déficit budgétaire d'1/5 du PIB en 2015 et d'une légère baisse en 2016 (12%). Même si certaines économies exportatrices de pétrole à savoir l'Arabie Saoudite, le Koweït et les EAU

[10] Egypte, Jordanie, Liban, Maroc, Tunisie, Turquie, Israël

ont commencé à revoir leurs dépenses de subventions, les déséquilibres macroéconomiques auront d'importantes répercussions sur l'année 2017 et l'année qui suit.

La croissance régionale devrait augmenter au cours des trois prochaines années (Banque mondiale, 2016), à mesure que les économies MENA intègrent la baisse des prix pétroliers comme une donnée permanente et qu'ils puissent lancer des réformes pour diversifier et complexifier leur économie et enfin s'affranchir de l'or noir. De plus, cette région, considérée comme l'une des plus corrompue au monde, bénéficierait d'un passage pacifique à la démocratie. Si la transition s'avère efficiente, la Banque mondiale estime que la croissance du Pib réel présenterait un taux à plus de 7,7% en 2020, contre 3, 3% en cas d'absence de passage à démocratie.

D'un point de vue plus structurel (ou sur le plan des OMD), les pays MENA ont réalisé cinq des huit Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD), mais avec des résultats très variés au sein de cette zone. Ces disparités sont visibles dans les indicateurs de développements et toutes choses égales par ailleurs dans les progrès de réalisation des OMD. En effet, les pays du Proche–Orient, particulièrement ceux exportateurs de pétrole, ont atteint la plupart des objectifs, contrairement aux autres pays de la région dont beaucoup se trouvent en situation de conflit ou de guerre. Des retards essentiellement liés à la sous-alimentation, à l'accès à l'école, à la parité hommes-femmes et à l'accès à l'eau potable, pourront être comblés ces prochaines années lors des ODD.

En effet, les 19 pays MENA ont fait de réels progrès (Graphique 3). Premièrement, la région a réussi à réduire la pauvreté à 2,4% de la population en 2010 contre 7% en 1990, souligne la Banque mondiale qui précise qu'il y avait 8,6 millions de personnes vivant avec moins de 1,25 dollar par jour dans la région MENA en 2010. Or, depuis la révolution arabe et les multiples guerres civiles qui ont ravagé la région, le chiffre a légèrement augmenté. Il est également souligné, que plus de 60% de la population des MENA vit actuellement dans des zones urbaines.

A cet effet, la Banque mondiale et le FMI estiment que les populations pauvres vivant dans des zones rurales ne pourraient pas tous se déplacer vers les zones urbaines, le défi serait de combler

les écarts ruraux-urbains. L'urbanisation contribuerait à réduire la pauvreté, mais si elle n'est pas maîtrisée, elle pourrait également conduire à une importante croissance des bidonvilles, des émissions pollution et enfin de la criminalité (Banque mondiale, 2015).

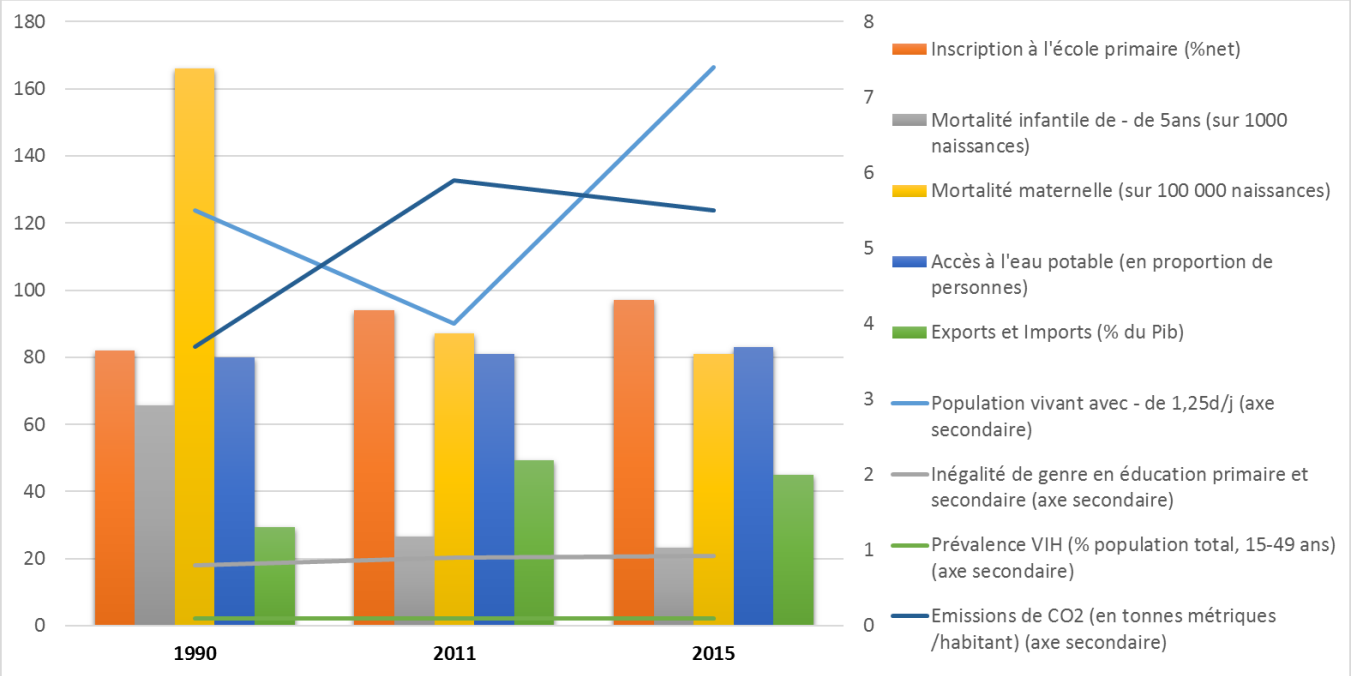
Dans ce contexte de croissance urbaine, il est essentiel que les pays MENA prévoient un aménagement du territoire qui se veut efficient à travers des infrastructures de qualité et un accès suffisant aux services de base. Ce programme de développement urbain nécessite la mise en place des financements pour également faire face à l'accueil de millions de personnes touchées par la guerre.

Deuxièmement, s'agissant des objectifs relatifs à l'éducation primaire pour tous, les pays MENA ont connu des améliorations des taux nets de scolarisation, du taux d'alphabétisation des jeunes de 15 à 24 ans et de la parité des sexes dans l'enseignement primaire. Cependant, la participation des femmes à la vie économique et politique reste très limitée dans cette zone. Troisièmement, les taux de mortalité infantile des moins de 5 ans ont diminué de moitié au cours de la période 1990-2010, mais seulement deux économies, à savoir l'Egypte et le Liban, ont présenté des progrès suffisants pour atteindre la cible de baisser la mortalité infantile. D'autres pays voisins ont quant à eux atteint les objectifs liés à l'accès général à l'eau potable ; il s'agit de l'Egypte, l'Iran, le Liban, et la Tunisie. De plus, la réduction du taux de mortalité maternelle présente d'amples variations dans les MENA, ce taux varie de moins de 10 décès pour 100 000 naissances vivantes dans certains pays du Golfe (Emirats arabes unis suivi du Koweït) à environ 200 décès pour 100 000 naissances vivantes au Yémen. Quatrièmement, les pays MENA, dans leur ensemble ne contribuent pas plus de 5 % aux émissions mondiales de CO2. Toutefois, l'effet des changements climatiques sur ces pays est un sujet de vives préoccupations pour les décisionnaires qui reconnaissent les impacts négatifs que ces changements pourraient opérés dans cette zone.

Certains aspects de ces indicateurs seront analysés et estimés par la suite dans la thèse. Malgré des résultats structurels prometteurs, l'environnement macro-économique est quant à lui plutôt décevant dans les pays MENA, et aussi à l'échelle mondiale, principalement dus à une montée de violence et guerres civiles et, récemment, à des déséquilibres non négligeables imputables à

la baisse des prix du pétrole. Dans la section suivante, nous tentons de mettre en lumière la transformation structurelle au premier plan de la compréhension du développement économique à travers une analyse profonde de la complexité économique.

Graphique 3 : Bilan des OMD dans les pays MENA.



Source : Banque Mondiale, UNSD, 2015

4. La transformation structurelle des MENA : Comparaison avec le reste du monde

4.1. Analyse de la complexité économique sur les 3 dernières décennies

Au cours de la dernière décennie, la complexité économique des pays est devenue un paramètre crucial à prendre en compte, puisqu'elle nous aide à évaluer la position d'une économie dans le classement mondial.

L'indice de complexité économique varie énormément d'une économie à une autre et est généralement plus élevé dans les économies développées. Par ailleurs, ces économies figurent

en tête de classement mondial en termes de recettes d'exportation et d'indice de développement humain. La performance du Proche-Orient en matière de recettes d'exportation (Arabie Saoudite, Emirats Arabes Unis et Turquie) et d'IDH (Israël) est meilleure que celle du Top 10. Les pays d'Afrique du Nord, semblent être très éloignés des performances du Top 10 et de leurs voisins méditerranéens. Enfin, certains pays MENA présentent des indices de complexité économique extrêmement bas (Iraq, Libye, Yémen, Syrie, et Algérie) impactant ainsi les performances en matière de développement humain. Le Yémen est l'exemple le plus marquant comme le détaille le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1: Le classement international selon la complexité économique (2014).

Rang de l'ICE	Valeur de l'ICE	Pays (Top 5 et les 19 pays MENA)	Rang selon les recettes d'exportation	Rang selon l'IDH
1	2,25	Japon	5	20
2	2,1	Suisse	18	3
3	2,05	Allemagne	4	6
4	1,89	Suède	29	14
5	1,8	Etats-Unis	3	8
100	-0,55	Algérie	58	83
26	1,02	Arabie Saoudite	**22**	39
44	0,52	Bahreïn	76	45
71	-0,13	Egypte	71	108
62	0,19	Emirats Arabes Unis	**16**	41
65	0,08	Iran	39	69
142	-1,84	Iraq	49	**121**
19	1,24	Israël	47	**18**
67	0,04	Jordanie	96	80
47	0,45	Koweït	46	48
59	0,25	Liban	125	67
126	-1,05	Libye	87	94
103	-0,57	Maroc	68	126
68	-0,05	Oman	55	52
60	0,24	Qatar	40	32
111	-0,8	Syrie	**139**	**134**
74	-0,18	Tunisie	75	96
51	0,51	Turquie	**29**	72
119	-1,02	Yémen	**146**	**160**

Source: Données à partir d'Atlas Economic complexity (2016), PNUD (2015), WDI (2016).

Le tableau 2, nous présente les cinq premiers produits classés selon leur complexité[11] ainsi que les cinq pays qui exportent le plus ces produits. Nous remarquons d'une part, que la majorité de ces produits est basée sur la recherche scientifique, et d'autre part, les économies ayant un indice de complexité élevé sont en tête de liste des grands pays exportateurs, à savoir, le Japon,

[11] Nous avons utilisé la Nomenclature SITC pour classer les produits.

l'Allemagne, les États-Unis et la Chine. Ces économies présentent une hégémonie sur le marché mondial concernant l'exportation des produits les plus complexes. Cela signifie qu'un produit qui se base sur la recherche scientifique présentera un niveau de complexité plus élevé et donc une plus forte valeur ajoutée. Tandis que les produits à faible indice de complexité, à savoir, les matières premières, auront une faible intensité de recherche scientifique et donc une plus faible valeur ajoutée. Ainsi, les pays investissent de plus en plus dans la R&D afin de rendre leur produit de plus en plus complexe et gagner par conséquent un niveau plus élevé de compétitivité.

Tableau 2: Le classement international des produits exportés selon leur complexité économique (2014).

Rang	ID	Nom du produit	Catégorie du produit	Valeur de l'indice de complexité du produit	Top 5 des pays selon le volume des exportations
1	6143	Blow Glass	Labour-intensive	2.35	JAP (%42), HKG (%33), USA (%14), CHN (4%), GER (2%).
2	8710	Optical instruments	Hard to imitate science-based	2.32	CHN (%35), KOR (%25), JAP (%8.2), HKG (4%), USA (3%)
3	7742	X-Ray Equipment	Hard to imitate science-based	2.12	GER (%24), USA (%18), NLD (9%), JAP (%7.8), FRA (7%)
4	5154	Organo-Sulphur Compounds	Hard to imitate science-based	2.11	CHN (%24), USA (%15), JAP (%12), GER (9.3%), FRA(6.6%)
5	8744	Analog Instrument for Physical Analysis	Hard to imitate science-based	2.06	USA (%22), GER (%20), JAP (%9.1), SGP (6.9%), UK (6.4%)

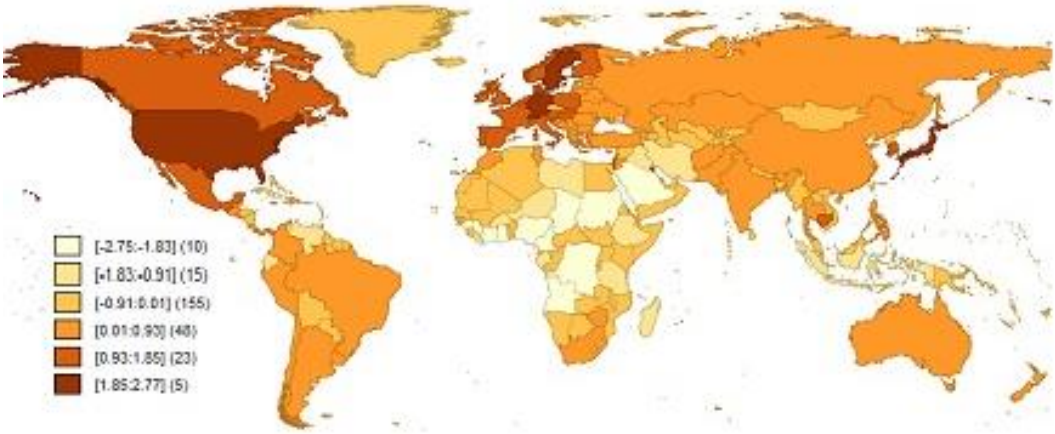
Source: Données à partir d'Atlas Economic complexity (MIT), 2016.

Les cartographies ci-dessous nous permettent d'analyser l'évolution de l'ICE à l'échelle internationale sur la situation de 1984 et celle de 2014.

Le premier constat est que l'Afrique Subsaharienne est le continent qui présente une structure productive très peu complexe avec de nombreuses disparités malgré une légère amélioration de son panier d'exportation depuis ces trois dernières décennies. L'exemple du Nigéria est le plus marquant. En effet cette économie est passée d'un niveau de complexité économique de -2,75 (1984) à -1,05 (2014). Cette tendance est bien différente du cas de l'Amérique latine et des pays industrialisés où leur niveau de complexité économique a très peu évolué tout au long de cette période. A l'exception des Etats-Unis qui ont connu une réelle diminution des niveaux de complexité économique de l'ordre de 1,80 (2014) contre 2,45 (1984). En revanche, certains pays d'Asie du Sud Est (exemple de la Chine) et les MENA sont les cas les plus remarquables d'une profonde transformation structurelle tout au long de la période étudiée. Leur niveau de complexité économique converge vers ceux des pays industrialisés Ceci s'explique par l'émergence de la nouvelle technologie, une diminution des exportations de produits d'habillement, et d'une diversification significative vers des produits plus complexes et porteurs de croissance.

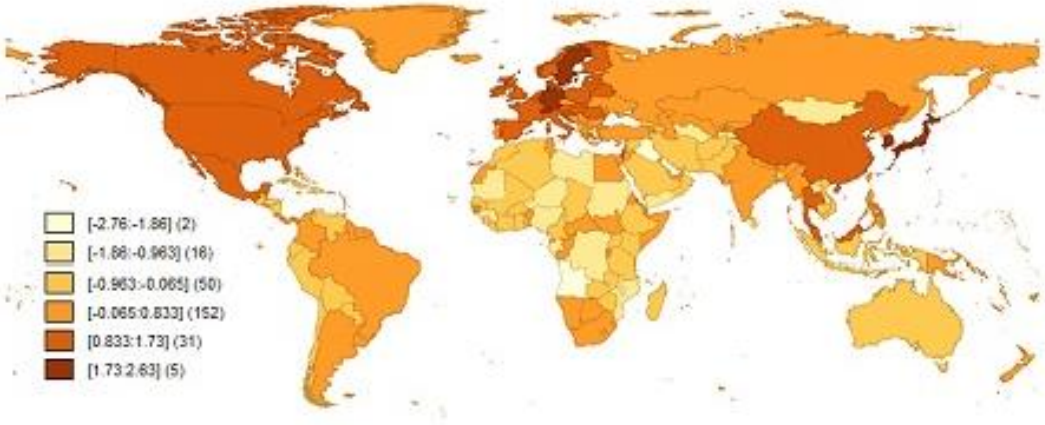
Représentation 1 : Cartographie du niveau ICE en 1984 et 2014.

1984



Source: Données à partir d'Atlas Economic complexity (MIT), 2016.

2014



Source: Données à partir d'Atlas Economic complexity (MIT), 2016.

Le cas de la région MENA est illustré dans le graphique 4 présentant la tendance de l'ICE des 19 pays sur la période 1984-2014. Les révolutions que les pays MENA ont connus depuis 2011 trouvent leur origine dans des déséquilibres économiques et sociaux latents depuis des années.

La crise économique et financière de 2007 et ressenti en 2008dans la région méditerranéenne est venue bousculer ces déséquilibres. Le canal commercial de ces pays et leur structure productive ont été lourdement impactés par le ralentissement économique de leurs voisins européens et asiatiques. Toutefois, nous remarquons que certains pays MENA, essentiellement ceux du Proche-Orient ont su faire face à ces déséquilibres en réussissant à complexifier leur structure productive.

Israël présente le niveau le plus élevé de l'ICE (1,24) et est resté à un niveau stable tout au long de la période. Le cas de l'Arabie Saoudite et de la plupart des pays du Moyen-Orient est remarquable, avec un niveau de complexité allant de -2,53 (1984) à 1,02 (2014), soit un indice similaire à celui de la Chine en 2012. D'autres économies poursuivent une tendance plutôt linéaire (Egypte, Liban, Jordanie, Maroc et Tunisie), où le panier des produits exportés pour la Tunisie est devenu plus sophistiqué que l'Egypte et creuse l'écart vis-à-vis du panier du Maroc. Pour d'autres pays les évolutions se font de manière plus progressive (Emirats Arabes Unis, Israël, Turquie).

Graphique 4 : Evolution du niveau ICE dans les 19 pays MENA, sur la période 1984-2014.

Source : Calcul des auteurs à partir de l'Atlas Economic Complexity (MIT), 2016.

4.2. Evaluation de la composition des exportations de l'Algérie, EAU, Tunisie et Turquie

Examinons maintenant de plus près les paniers des exportations et la transformation structurelle de 4 pays MENA représentatifs de l'ensemble des pays de la région : il s'agit de l'Algérie, les EAU, la Tunisie et la Turquie. Ce choix a été motivé par deux constats. En premier lieu, au sein de cette récente littérature empirique, les études détaillées sur la transformation structurelle

appliquée aux MENA et particulièrement sur ce panel de 4 pays restent très rares[12]. En second lieu, ces 4 pays présentent de nombreux atouts tels que leur richesse en capital naturel (pétrole, gaz, phosphate, ...), leur climat (favorable à des projets de grande envergure) ou leur localisation géographique (proximité avec l'Europe, les nombreux accords commerciaux). Toutefois, certains de ces pays n'ont pas réussi à exploiter de manière stratégique ces richesses.

Certains s'enferment dans une spécialisation peu porteuse de croissance (Algérie), d'autres tentent de diversifier leurs économies depuis des décennies (Tunisie) alors que certains ont réussi en quelques années à complexifier leurs économies (EAU). En revanche, très peu de pays ont connu une rapide et profonde transformation structurelle (Turquie). Pour cela, afin de mieux comprendre la dynamique de ces pays, nous avons procédé à la présentation de « diagrammes de répartition » des exportations en utilisant les données de Comtrade relatives aux niveaux de produits exportés selon la classification SITC Rév. 2. La représentation graphique 2 montre que certains pays semblent connaître une transformation structurelle plus ou moins importante alors que d'autres semblent rester en marge de ce processus de transformation depuis 1984.

L'Algérie[13], fait toujours partie des pays en marge de ce processus de transformation malgré qu'elle ait quadruplé le volume de ses exportations passant de 14,5 (1984) à 64 milliards de dollars (2014). Cette économie présente un statut d'exportateur essentiellement de produit pétrolier représentant plus de 80% de ses exportations totales en 2014 contre près de 96% en 1984. Une diversification au sein même de cette catégorie de produit est observable. Autrement dit, cette économie est passée d'une production/exportation de pétrole brut à une production/exportation de gaz de pétrole ainsi qu'à des huiles lubrifiantes de pétrole. Cette économie s'enferme dans une spécialisation peu porteuse qui fragilise les économies face à des chocs externes. Il lui est donc nécessaire d'orienter sa production vers des produits plus

[12] Ben Hammouda, Oulmane, Sadni-Jallab (2009), Péridy et Roux (2012), et Jouini, Oulmane et Peridy (2016) ont étudié uniquement les pays de l'Afrique du Nord.

[13] Les économies similaires à celles de l'Algérie : Iran, Irak, Libye.

complexes pour être capable de résister à un environnement incertain associé à des chocs externes.

Les Emirats Arabes Unis[14] (EAU) possèdent quant à eux le statut de producteur/exportateur de pétrole représentant plus de 97% des exportations totales en 1980 contre un 67% en 2014 et sont parmi les marchés les plus dynamiques en termes de commerce extérieur. Le commerce représente un peu moins de 170% du Pib des EAU en moyenne en 2012-2014 (Banque Mondiale, 2015). La balance commerciale des EAU est structurellement excédentaire avec un volume d'exportation multiplié par près de 10 depuis 1984, mais le surplus a eu tendance à se réduire en raison de la chute des prix pétroliers. Toutefois, le développement des exportations de produits non pétroliers et surtout de produits plus complexes représentant aujourd'hui plus d'1/3 du panier des exportations devrait assurer aux EAU le maintien de son excédent commercial et d'accroitre sa croissance.

La Tunisie[15], fait partie des économies diversifiées possédant un panier d'exportation plutôt orienté vers des produits peu complexes et réparti de façon égale entre elles. On observe depuis 1984, une augmentation du volume des exportations par 9 ce qui lui a permis de passer d'un statut d'exportateur du pétrole (46%), phosphate (20%) et d'huile d'olive (7%) en 1984, à celui d'exportateur en 2014 de produits électroniques (25%) de produits d'habillement (22%), pétroliers (16%), phosphate (8%). La Tunisie maintient son statut de producteur d'huile d'olive (3%).

La Turquie[16], fait partie des économies en pleine phase de croissance connaissant en plus d'un volume d'exportations multiplié par 50 depuis 1984 et une transformation structurelle plus

[14] Les économies similaires à celles des EAU : Bahreïn, Koweït, Oman, Qatar, Yémen, Arabie Saoudite.

[15] Les économies similaires à celles de la Tunisie : Egypte, Maroc, Syrie.

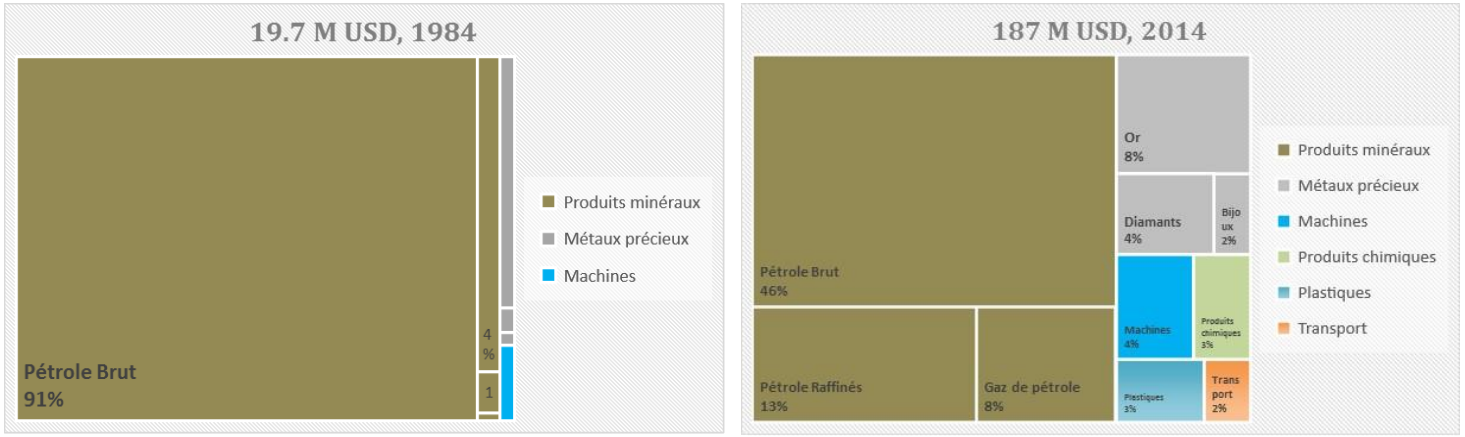
[16] Les économies similaires à celles de la Turquie : Israël, Jordanie, Liban.

rapide que les autres pays MENA (après Israël). En effet, cette économie, n'a pas suivi le même circuit de transformation structurelle. Cette économie a démarré (1984) par des exportations dominées par le coton et les noix représentant plus de la moitié des exportations totales pour devenir aujourd'hui un important exportateur de voitures (13%) et de ses équipements (16%), et aussi de textile (20%). Cette économie a su réorienter son panier d'exportation vers des produits plus complexes et porteur de croissance.

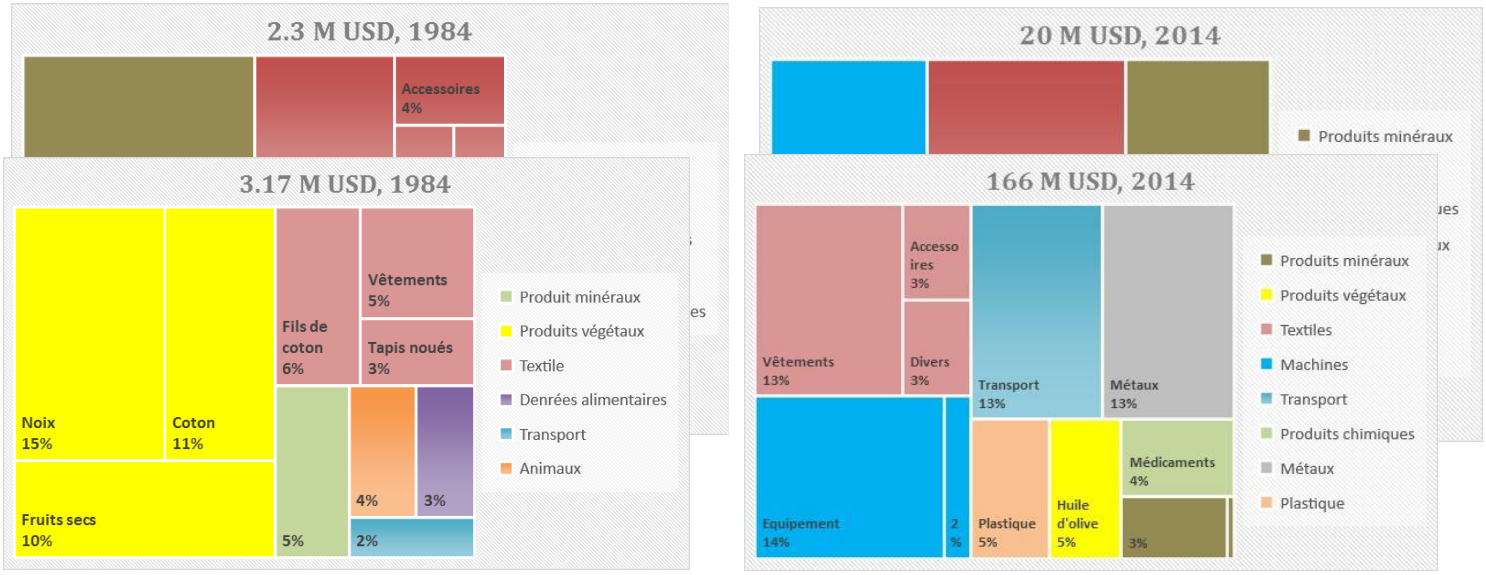
Représentation 2 : Composition des produits d'exportation des 4 pays MENA

1. **Algérie**

2. EAU



3. Tunisie



4. Turquie

Source : Calcul des auteurs à partir de Uncomtrade, 2015

5. Transformation structurelle et Opportunité de croissance

5.1. ICE et Pib par habitant, un bon prédicteur de croissance à long terme ?

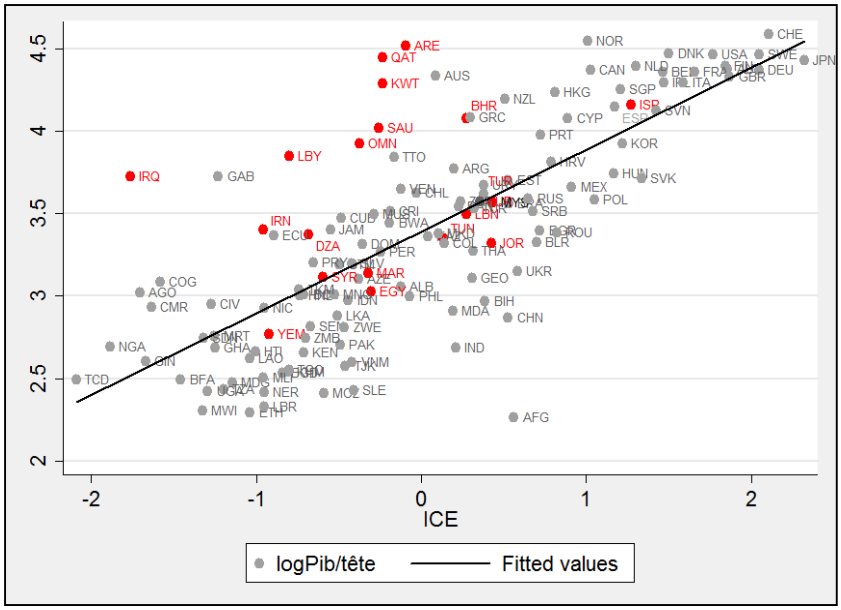
Le graphique 5 montre qu'il existe une relation positive entre la complexité économique (ICE) et le PIB par habitant. Cette relation est intéressante, dans la mesure où l'ICE utilise uniquement des informations sur la diversification et l'ubiquité des produits, et non sur leur volume. Contrairement à la mesure EXPY (Hausmann et al, 2007), l'ICE n'utilise aucune information sur les prix ou les niveaux de revenu liés aux produits.

L'ICE présente un classement clair de la dotation en capacités productives des 133 pays de notre échantillon dont les 19 pays MENA (en rouge). Sur ce fait, nous remarquons que l'économie la moins complexe est celle du Yémen, suivie de celles de l'Égypte, la Syrie et le Maroc. Israël est l'économie la plus complexe de la région et l'écart dans le niveau de complexité entre cette économie et ses voisins est très élevé. Cette illustration nous permet d'une part de penser que les économies situées en dessous de la ligne de tendance peuvent potentiellement se développer plus rapidement dans les années à venir, étant donné qu'ils ont un revenu inférieur à celui que devraient pouvoir supporter leurs capacités productives.

En revanche, les pays riches en ressources naturelles (Emirats Arabes Unis, Qatar, Koweit, ...) sont nettement au-dessus de la ligne de régression, ce qui signifie que la complexité de leur économie ne leur permet pas d'espérer une croissance rapide à l'avenir.

D'autre part, cette représentation indique que la distance entre le pays et la ligne de régression est un puissant indicateur prévisionnel de croissance future, ce qui porterait à croire que des pays comme le Yémen, la Syrie, l'Egypte, le Maroc, la Tunisie, le Liban, la Jordanie ou encore la Turquie peuvent potentiellement afficher des taux de croissance supérieurs à la moyenne au cours des années à venir, à mesure qu'ils se rapprocheront de la ligne de tendance.

Graphique 5 : Relation ICE et Pib/tête sur la période moyenne 1984-2014.



Source : Données à partir de la Banque Mondiale et Atlas Economic Complexity (MIT), 2016.

5.2. Les MENA au cœur de l'espace de produits : Analyse comparative

Au cours de ces dernières années, une nouvelle littérature empirique (Hausman et al, 2005, Hidalgo et al, 2007) a démontré qu'une économie devenait rarement riche en produisant et exportant une plus grande quantité du même produit. Aujourd'hui, il n'est plus question de s'interroger sur la quantité des exportations mais plutôt sur la qualité et les capacités de production. L'idée est qu'un pays doit être capable de produire des biens proches et novateurs de ce que le pays produit actuellement et ceux avec ses propres aptitudes, plutôt que des biens trop éloignés de leur panier d'exportation et peu porteurs de croissance.

Par exemple, les capacités requises pour produire des oranges sont très différentes de celles dont on a besoin pour la production du coton. Les technologies d'emballage, les formalités douanières, le savoir-faire des agronomes (capital humain) approprié à la production des oranges mais aussi un environnement climatique (sol et climat) propice à cette production ne seront pas similaires à celles qui sont nécessaires pour la production du coton.

Cette idée repose sur le concept de proximité développé par Hausman et Klinger (2006) qui formalise l'idée intuitive que la capacité d'une économie à produire un bien A dépend de sa capacité à produire d'autres biens connectés au produit A. Les auteurs prennent en compte les pays qui exportent un produit i dès lors qu'ils possèdent un avantage comparatif révélé (RCA) en elle. Cette mesure définie par Balassa, nous indique que lorsque le $RCA_{it} < 1$ alors ce pays n'est pas un exportateur efficace de ce produit, alors l'utilisation du RCA est la mesure centrale de l'étude de la proximité du bien i et j. Cette fonction est représentée comme suit :

$$\varphi_{ijt} = min\{P(RCA_{it}|RCA_{jt}), P(RCA_{jt}|RCA_{it})\}$$

Avec P(RCAi|RCAj) qui correspond à la probabilité conditionnelle d'exporter le bien i en fonction de l'exportation du bien j, à l'instant t.17Ainsi, la probabilité de développer un avantage comparatif pour un bien à l'avenir va dépendre essentiellement de la capacité productive potentielle d'une économie actuelle qui résulte essentiellement de la proximité des biens dans l'espace de produit, calculé à partir la valeur moyenne pondérée de tous les produits potentiellement créés comme poids et le PRODY comme mesure de la valeur.

Cette conception implique une redistribution des facteurs de production d'un produit actuellement fabriqué vers un nouveau. A cet effet, il est plus pertinent de transférer les facteurs de production entre des produits dont les arbres sont proches les uns des autres. Ce concept relie les produits aux niveaux de revenu de leurs exportateurs avec l'avantage additionnel de rattacher la possibilité d'exporter un produit voisin et plus sophistiqué avec la capacité du pays à l'exporter. Ce cadre détermine la proximité entre les produits non pas comme une caractéristique physique mais comme la possibilité pour un pays d'exporter un produit nouveau à partir de ce qu'il est déjà capable de produire. Autrement dit les auteurs mesurent la distance entre deux

[17] Les auteurs considèrent le minimum entre les deux probabilités conditionnelles afin de symétriser la matrice de proximité

produits sur la base de la probabilité que si un pays exporte un produit, et bien il pourra exporter l'autre[18].

Ainsi, si deux produits prétendent à des capacités similaires cela se traduirait par une probabilité plus élevée qu'une économie ait un avantage comparatif pour les deux produits. Ces outils nous permettent de visualiser la structure complète de l'économie à travers une représentation empirique sous la forme d'un modèle d'espace de produit. En effet, cet espace de produits nous aide à comprendre la dynamique des biens produits et exportés pour lesquels les régions du monde ont développé un véritable avantage comparatif sur les marchés internationaux. La représentation 3 nous permet de distinguer d'une part, le cœur de l'espace de produit composé de groupes d'arbres portant sur la machinerie, les métaux et la chimie (produits très complexes) qui sont la marque de fabrique des pays industrialisés. Et d'autre part, d'une périphérie caractérisée par de nombreux produits relevant des produits animaliers, des céréales, etc. (produits très peu complexes) occupée essentiellement par les pays en voie de développement.[19] En effet, chaque nœud représente un produit dont la taille est définie par sa part dans le commerce international, et l'opacité du nœud nous indique si ces pays produisent un bien avec un avantage comparatif. La structure hétérogène de l'espace de produits importe beaucoup dans le processus de transformation structurelle, puisque les régions situées dans les parties les plus denses auront de plus grandes possibilités de diversification tandis que les régions situées dans les zones les plus périphériques seront plus bloqués à un certain niveau de revenu.

[18]Ainsi, pour déterminer cette hypothèse, Hausman et Klinger (2006)[18] ont tout d'abord montré comment dans un espace le produit spécifique est incorporé dans la structure actuelle des exportations d'une économie. Ils prennent en compte la proximité du produit i dans le panier d'exportations du pays c à un instant t. La mesure de densité peut ainsi varier de 0 à 1, où la valeur la plus élevée représente les produits les plus proches. Le pays possède ainsi un avantage comparatif dans plusieurs produits voisins et serait ainsi susceptible d'exporter ce produit à l'avenir. Formellement, il est calculé comme suit : $density_{i,c,t} = \left[\frac{\sum_k \varphi_{i,k,t}\ x_{c,k,t}}{\sum_k \varphi_{i,k,t}}\right]$

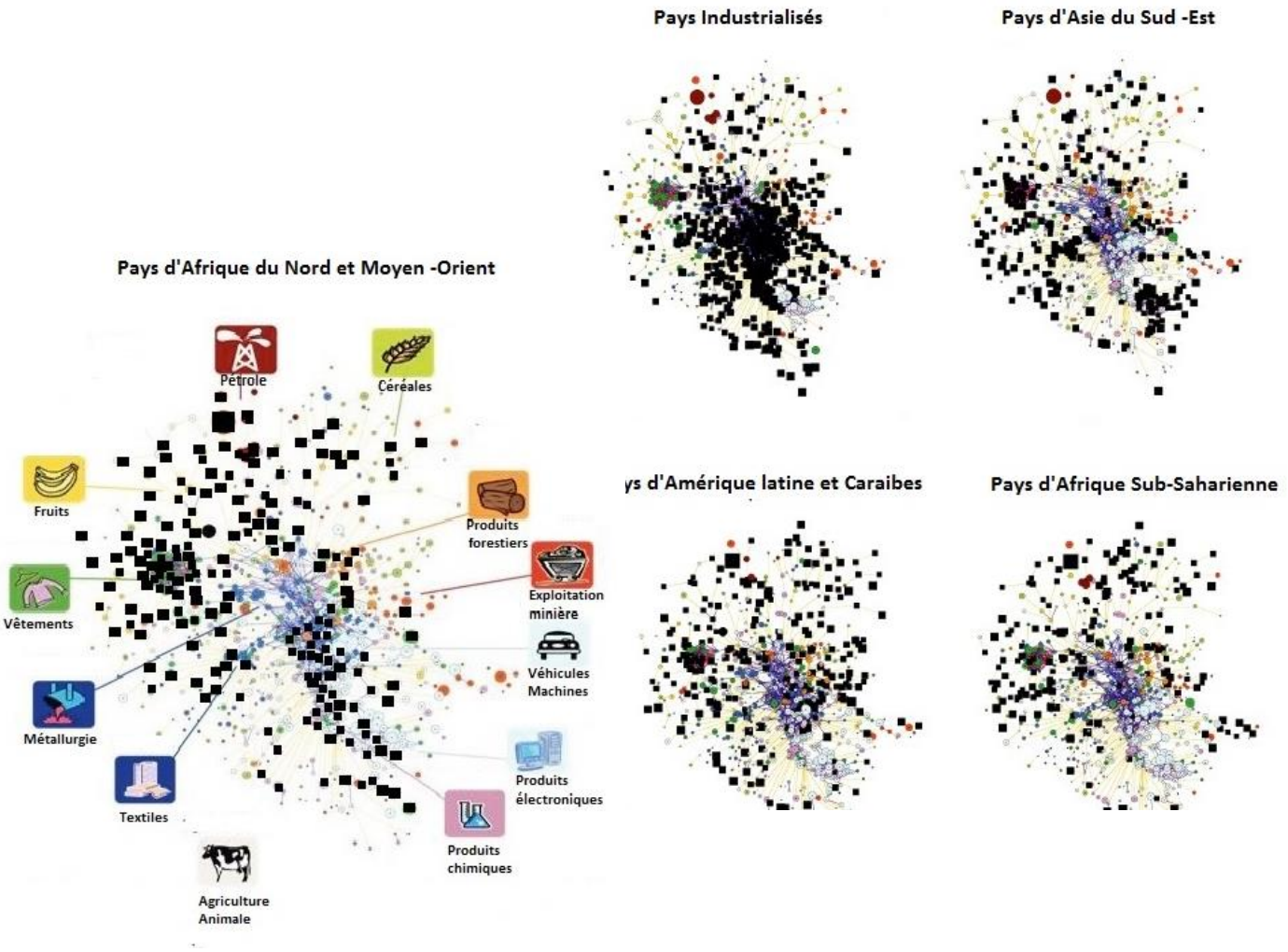
[19] Le passage d'un arbre à un autre est plus court au centre qu'en périphérie

La région MENA a été représentée dans l'espace de produit. Nous avons distinguons 4 catégories de pays[20]. La première catégorie considère les pays qui exportent de manière compétitive des produits uniquement sur le secteur hautement périphérique à savoir le pétrole[21]. Ces économies (Algérie, Lybie, Yémen) s'enferment dans une spécialisation et diversification au sein même de cette catégorie de produit, peu porteuse et peu complexe. La deuxième catégorie, présente les pays qui occupent une position intermédiaires (Egypte, Maroc, Tunisie, Jordanie, Syrie, …). Ces pays ont tendance à fabriquer et exporter des produits de manière compétitive sur des secteurs principalement périphériques comme le secteur du textile, céréalier et animal. Ces pays essaient tant bien que mal à diversifier la structure de ses paniers des exportations vers des produits à plus forte valeur ajoutée. La troisième catégorie de pays (Israël, Turquie suivie du Liban) occupe une position bien meilleure à celle des deux autres catégories, et même comparable à celle des pays industrialisés. En effet, ces pays présentent de nombreux nœuds dispersés dans tout l'espace avec néanmoins une très forte concentration, essentiellement dans le cœur de l'espace, notamment dans le secteur de l'électronique et de la machinerie. Et enfin, la quatrième catégorie, présente des pays (Emirats Arabes Unis, Qatar, …) ayant un statut d'exportateur essentiellement de produit pétrolier, mais qui ont récemment diversifié leur économie vers des produits beaucoup plus complexes.

[20] Compte tenu de l'hétérogénéité très marquante ce cette région.

[21] La présence de nœuds dans ces secteurs a bien baissé en raison de la diminution des préférences commerciales.

Représentation 3 : Cartographie de l'Espace de produit par groupe de pays.



Source : Illustration adaptée à partir d'Atlas Economic Complexity (MIT), 2016.

6. Conclusion

L'objectif de ce chapitre a été d'identifier les nouvelles dynamiques d'exportation, en présentant les principaux travaux théoriques et empiriques relatifs à la transformation structurelle ainsi que leurs principaux faits stylisés avec un focus sur les pays MENA. Le résultat de cette analyse nous laisse admettre que le fait de produire uniquement une grande quantité des biens et services ne rend pas l'économie plus compétitive, bien au contraire. Ce qui rend une économie plus compétitive, c'est sa capacité à investir dans la recherche et le développement (R&D) pour accroître sa complexité économique.

La complexité économique est donc devenue un paramètre déterminant que les pays doivent prendre en compte pour visualiser leur position dans le classement mondial. Une croissance plus rapide et inclusive nécessite alors une complexification des systèmes productifs actuellement en cours de production. Le faible niveau de complexité économique est l'une des principales causes pour laquelle la croissance économique est actuellement limitée. Ainsi, pour gérer les processus de développement de ces structures économiques dichotomiques, il faudrait associer des modèles de croissance néoclassiques à une approche du développement ciblée sur la transformation structurelle. A cet effet, les économies se développeront plus rapidement et préserveront leur croissance s'ils parviennent d'une part à renforcer leurs fondamentaux, d'autre part à contextualiser les changements structurels de leur économie. Toutefois, s'ils privilégient un facteur en négligeant un autre, la trajectoire de croissance risque d'être sous-optimale.

Selon la typologie de Rodrik (2013), dans les économies qui négligent et investissent moins dans leurs fondamentaux comme par exemple l'amélioration de la qualité des institutions, une meilleure gestion macroéconomique, une meilleure ouverture commerciale et financière , l'amélioration du climat de l'investissement et des affaires, etc., et qui n'encouragent pas la transformation structurelle (politique industrielle, subventions à des secteurs spécifiques, investissements dans l'infrastructure et la technologie, transformation des zones rurales, etc.), la croissance sera nulle (Shimeles, 2014). De même, si l'attention se focalise sur les fondamentaux sans prendre en compte la dynamique de la transformation structurelle, la croissance sera épisodique et ne s'inscrira pas dans la durée. Le processus de transformation

structurelle est donc important pour évaluer les progrès sur le développement économique mais pas seulement.

En effet, dans les prochains chapitres, nous aborderons l'effet de la complexité économique sur deux domaines différents : l'environnement climatique (chapitre 3) et les inégalités de genre (chapitre 4). Les résultats nous révèlent, qu'au-delà d'une influence significative de la complexité économique dans les deux thématiques, de nouvelles trajectoires de développements apparaissent. Mais avant d'arriver aux différentes trajectoires de développement, nous déterminerons dans le prochain chapitre les principaux facteurs explicatifs de la complexité économique en utilisant la dimension spatiale pour répondre à la question suivante : La complexité économique d'un pays est-elle affectée par la performance de ses voisins, puis influencée par sa propre position géographique ?

Références

Aditya, A., Acharyya A. 2012. Does what countries export matter?, *Journal of Economic Development,* 37(3): 47-74.

Amiti, M. , A. J. Venables . 2002. The Geography of Intra-industry Trade. In Lloyd, P. J. & Lee, H. (Eds), Frontiers of Research in Intra-Industry trade. Basingstoke: Palgrave MacMillan, 87-106.

Arnelyn A, Bacate M, Felipe J. Kumar U .2010. Product Complexity and Economic Development, Levy Economics Institute Working Paper, N° 616, August.

Bangoura L., Diaw D., Barkat K. 2013. Does North-South trade favors trainig effects : What to learn from trade sophistication links?. *Economics Bulletin,* volume 33, Issue 4.

Banque Mondiale. 2016. Inclusion économique et sociale pour la prévention de l'extrémisme violent. Bulletin d'information économique de la region MENA.

Ben Hammouda, Oulmane, N, Sadni Jallab,M, 2009. D'une diversification spontanée à une diversification organisée. Quelles politiques pour diversifier les économies d'Afrique du Nord ?," Revue économique, Presses de Sciences-Po, vol. 60(1), pages 133-155.

Caldeira, Veiga P,. 2010. Determinantes of export diversification and sophistication in sub-saharan Africa. University of Minho, mimeo.

CEA. 2015. L'industrialisation par le commerce : Rapport économique sur l'Afrique 2015

Chenery, H. B. 1960. Patterns of Industrial Growth. *The American Economic Review,* 50(4): 624-654.

Chenery, H. B., Syrquin, M. 1975. Patterns of Development 1950–1970", *Oxford University Press.*

Chenery, H.B., Taylor, L. 1968. Development Patterns: Among Countries and Over Time. *The Review of Economics and Statistics,* 50(4): 391-416.

Daude C, Nagengast , Perea J,. 2013. Productive Capabilities: An Empirical Investigation of their Determinants. Working Paper No. 321. Rapport OCDE DEV/DOC(2013).

Devarajan, S., Mottaghi, L. 2016. Whither Oil Prices? *MENA Quarterly Economic Brief*, Washington, DC: World Bank, July.

Felipe J., Kumar U., Abdon A., Bacate M. 2012. Product complexity and economic development. *Structural Change and Economic Dynamics*, Volume 23, Issue 1, March 2012, Pages 36-68.

Felipe, J., U. Kumar, and A. Abdon. 2010. How Rich Countries Became Rich and Why Poor Countries Remain Poor: It's the Economic Structure. Levy Economics Institute, WP nà.644? *Asian Development Bank.*

Ferrarini B, Scaramozzino P., 2016. Production complexity, adaptability and economic growth. *Structural change and economic dynamics* 37 (2016) 52-61.

Grossman, GM., Helpman, E. 1991a. Innovation and Growth in the Global Economy. *Cambridge MA: The MIT Press.*

Grossman, GM., Helpman, E. 1991b. Trade, Knowledge Spillovers, and Growth. *European Economic Review* 35(2- 3), 517-26.

Harding, T., B. S. Javorcik .2013. Investment promotion and fdi inflows: Quality matters. CESifo *Economic Studies* 59(2), 337–359.

Harding, T. , B. S. Javorcik 2012. Foreign direct investment and export upgrading. *The Review of Economics and Statistics* 94(4), 964–980.

Harding T. , Javorcik S. 2009. A Touch of Sophistication: FDI and Unit Values of Exports. CESifo Working Paper Series2865.

Hausmann, R., Bustos, S. 2012. Comparative study of export policies in Egypt, Morocco, Tunisia and South Korea. Chapter I, Structural transformation in Egypt, Morocco and Tunisia: A comparison with China. Mimeo, African Development Bank 33–83.

Hausmann, R, Hidalgo, C. 2010. Country Diversification, Product Ubiquity, and Economic Divergence, Working Paper Series rwp10-045, Harvard University.

Hausmann, R., Hwang J., Rodrik. 2007. What you export matters? Journal of Economic Growth, 12(1): 1-25.

Hausman R., Klinger B. 2007. The structure of the product space and the evolution of comparative advantage, Working Paper Series rwp06-041, Harvard University,

Helpman, E., Krugman P.R. 1985. Market Structure and Foreign Trade. MIT Press, Cambridge, MA.

Herrendorf B., Herrington C, Akos V. 2013. Sectoral Technology and Structural Transformation. Manuscript, Arizona State University.

Hidalgo, C.A. 2009. The Dynamics of Economic complexity and the Product Space over a 42 year period, Working Paper No. 189, Center for International Development at Harvard University.

Hidalgo, C., Hausman, R. 2009. The building blocks of economic complexity, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 106(26): 10570-10575.

Hidalgo, C. A., Klinger, B., Barabási, A. L., Hausmann, R. 2007. The Product Space Conditions the Development of Nations, Science, 317(5837), pp, 482-487.

Hirschman, A. 1958. The strategy of economic development, New Haven, CT: Yale University Press.

Iacovone L. , Javorcik,B. 2010. Multi-Product Exporters: Product Churning, Uncertainty and Export Discoveries. *Economic Journal*, Royal Economic Society, vol. 120(544), pages 481-499, 05.

Jankowska, A., Nagengast A., Perea J.R. 2012. The Product Space and the Middle-Income Trap: Comparing Asian and Latin American Experiences, OECD Development Centre Working Paper 311.

Jarreau, J. , S. Poncet. 2012. Export sophistication and economic growth : evidence from China. *Journal of Development Economics*, 97(2012): 281-292.

Kaldor, N. 1967. Strategic factors in economic development. New York State School of Industrial and Labor Relations, Cornell University, Ithaca, NY

Kremer, M. 1993. The O-ring theory of economic development. *Quarterly Journal of Economics,* 108, 551-575.

Krugman, Paul R., Anthony J. Venables. 1995. Globalization and the inequality of nations. Quarterly Journal of Economics, 110: 857-880.

Krugman, PJ., Venables. 1990. Integration and the competitiveness of peripheral industry. In C. Bliss and J. Braga de Macedo (eds.). Unity with Diversity in the European Community. Cambridge: Cambridge University Press.

Krugman P. 1981. Intraindustry Specialization and the Gains from Trade. *Journal of Political Economy*, vol. 89(5), p. 959-973.

Kuznets S. 1971. Economic Growth of Nations: Total Output and Production Structure. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Lall S, Weiss J., Zhang J. 2005. The Sophistication' of Exports: A New Measure of Product Characteristics. *Asian Development Bank* working paper No 123.

Lall, S. 1992. Technological capabilities and industrialization. World Development, 20, 165-188.

Lewis, A. 1955. The theory of economic growth. Irwin, Homewood, IL.

Lucas, R. E. Jr. 1988. On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics,* 22, 3-42.

Lucas, R. E. Jr. 1993. Making a miracle. *Econometrica*, 61(2), 251-272.

Mattoo A , Subramanian A. 2009. Criss-Crossing Globalization: Uphill Flows of Skill-Intensive Goods and Foreign Direct Investment. *The World Bank Development* Research Group, Trade and Integration Team, Policy Research Working Paper 5047.

McMillan, M. 2013. Structural Change in Africa: Harnessing Natural Resources for Inclusive Growth. *African Development Bank.*

McMillan M., Rodrik D. 2011. Globalization, Structural Change and Productivity Growth. NBER *Working Paper* No. 17143.

Melitz, M J. 2003. The Impact of Trade on Intra-Industry Reallocations and Aggregate Industry Productivity. *Econometrica* 71(6), 1695-1725.

Minondo A,. 2010. Exports' quality-adjusted productivity and economic growth. *Journal of International Trade and Economic Development*, vol. 19, issue 2, pages 257-287.

Minondo, A. 2008. Technology and sophistication: a Tale of Two Indexes. *Economics Letters,* 7, 3, 331-336.

Parteka A., Tamberi M.,. 2011. Determinants of export diversification: an empirical investigation. Quaderno di Ricerca (WorkingPaper),No. 327, Politecnica delle Marche, Dipartimento di Economia Universita.

Jouini, N., Oulmane N, Péridy N 2016. North African Countries production and export structure: Towards diversification and export sophistication strategy. *Canadian Journal of Development,* 37(2), pp.217-238

Poncet S,, Waldemar F. 2015. Product relatedness and firm exports in China. *World Bank Economic Review,* vol. 3(29), p.579-605, 2015.

Poncet S, Waldemar F. 2013. Complexité économique et croissance : une application au cas chinois. *Revue Economique,* vol. 64(3), p.495-503, 2013.
Poncet S, Waldemar F. 2013. Export upgrading and growth: the prerequisite of domestic embeddedness, *CEPII* , WP No2012-26.

Rodrik, D,. 2013. Unconditional Convergence in Manufacturing. *Quarterly Journal of Economics*, 128 (1).

Rodrik, D,. 2006. What's So Special about China's Exports? . *China and World Economy,* 14 (5), p. 1-19.

Rostow, W.W. 1959. The stages of economic growth. *Economic History Review*, 12(1), 1-16.

Schott P,. 2006. The relative sophistication of Chinese exports. NBER *working paper* 12173.

Shimeles, A. 2014. Growth and Poverty in Africa: Shifting Fortunes and New Perspectives. *African Development Bank.* Institute for the Study of Labor (IZA) No. 8751.

Syrquin, M. 1988. Structural Change and Economic Development: The Role of the Service Sector. *Journal of Development Economics*, 28(1): 151-154.

Syrquin, M. 1986. Economic Growth and Structural Change in Israel: An International Perspective.In Y. Ben-Porath, ed., The Israeli Economy: Maturing through Crises. Cambridge, Mass.: *Harvard University Press.*

Wang Z ., Wei SJ .2008. What accounts for the rising sophistication of China's exports?. NBER *working paper* 13771.

Weldemicael E. 2012. Technology, Trade costs and Export Sophistication. University of Melbourne.

Weldemicael E. 2010. Determinants of export sophistication. University of Melbourne.

Xu B. 2010. The sophistication of exports: Is China special?. *China Economic Review,* Volume 21, Issue 3, September 2010, Pages 482-493.

Xu B, Lu J,. 2009. Foreign direct investment, processing trade, and the sophistication of China's exports. *China Economic Review,* Volume 20, Issue 3, September 2009, Pages 425-439.

Xu B. 2007. Measuring China's export sophistication. China Europe international Business School.

Zahler A,. 2007. Decomposing world export growth and the relevance of new destinations. Harvard CID *Working Paper.*

Zhu, S., Fu, X. Drivers of Export Upgrading. World Development (2013) 51: 221-233.

Annexe 1. Travaux relatifs à l'indice de sophistication des exportations (EXPY)

Facteurs significatifs	Interprétations des résultats	Auteurs
Revenu/tête (+)	Un effet positif du revenu par habitant a été démontré à travers un modèle théorique (construit sur les avantages comparatifs) basé sur le processus « coût-découverte » qui corrobore leurs conclusions empiriques. Cette conclusion est que le transfert de ressources de faible productivité à des produits à plus forte productivité avec la présence d'une demande élastique de ces produits sur les marchés d'exportation va générer une croissance économique beaucoup plus élevée.	Lall et al (2005); Schott (2006), Hausman et al (2007) Minondo (2010); Xu (2010), Harding & Javorcik (2012), Péridy et al (2016), Herrendorf et al (2012)
IDE (+)	Élément nécessaire à l'amélioration de la qualité de la structure des exportations. La qualité des biens produits par les firmes à capitaux étrangers est plus élevée que celle précédemment exportée par les firmes nationales dans le pays d'accueil. Une augmentation de 1% des IDE génèrerait une hausse de 0,047% du niveau de sophistication des exportations. Sur un panel de villes chinoises, il en ressort des gains de croissance issus des produits sophistiqués. Il existe une relation positive entre la sophistication des exportations et la croissance économique Mais cette relation n'est pas inconditionnelle puisque lorsque la complexité des produits est dérivée par les IDE, l'impact sur la croissance économique n'est pas significatif, en raison des retombées insuffisantes au niveau national de l'utilisation d'une technologie importée. En revanche lorsqu'il y a une stimulation des capacités productives à travers une montée en gamme des produits, la croissance économique devient significative.	Iacovone et Javorcik , (2010) Weldemicael (2012) Xu et al (2007, 2009, 2010) ; Wang et Wei(2008) ; Harding et al, (2012), Zhu et Fu (2013) Jarreau et Poncet (2012, 2013)
Destination (+/-)	L'exportation de biens plus sophistiqués vers les pays riches entrainerait des gains de productivité plus importante et plus rapide que l'exportation de ces biens à destination des pays les moins avancés.	Zahler (2007) Mattoo et Subramania (2009)
IMPY (+)	Relation causale entre le niveau de sophistication des importations et celui des exportations	Bangoura et al (2013), Zhu et Fu (2013)

Taille du marché et de l'économie (+)	Les grandes économies ont la capacité de produire et de développer une plus large gamme de produits plus complexes, car il existe des économies d'échelles. Un effet positif du niveau de la sophistication des exportations de l'ordre de 0.2% sur une augmentation de 1% de la taille de l'économie.	Krugman, (1981); Helpman et Krugman, (1985) Parteka et Tamberi (2011)
Distance (-)	Une distance inférieure aux principaux marchés mondiaux détermine la facilité avec laquelle une économie peut augmenter sa variété de produits exportés vers les marchés mondiaux, et par conséquent supposer un accroissement des exportations sophistiquées. Une hausse de 1% de l'éloignement des marchés principaux est associée à une baisse qui varie de 0.2 à 0,3% du niveau de sophistication des exportations.	Krugman et Venables, (1990), 1995; Amiti et Venables, (2002) Pakerta et Tamberi (2011), Weldemicael (2012), Péridy et al (2016), Arnelyn et al (2010)
Terme d'échange (+)	Une hausse des termes d'échanges génèrerait une augmentation de la profitabilité des exportations, qui devrait ainsi permettre une hausse du niveau de sophistication des exportations.	Approche monopolistique Mélitz (2003)
Barrières tarifaires et non tarifaires (-)	Les mesures non tarifaires ne sont pas uniquement concentrées dans le secteur agricole ou celui de l'agro-alimentaire mais dans des secteurs sophistiqués tels que les produits chimiques ou encore le matériel électronique et informatique.	Péridy et al (2012)
Ouverture commerciale (+)	Une amélioration de 1% de l'ouverture commerciale génère une hausse de 0,4% du niveau de sophistication des exportations	Péridy et al (2016),
Qualité des institutions (+)	Cas de l'Afrique subsaharienne (ASS) : Une meilleure responsabilité du gouvernement, une meilleure stabilité politique ainsi qu'une diminution du niveau de contrôle de la corruption, contribuent à une amélioration du niveau de sophistication des exportations. De même pour le cas de l'OCDE	Caldeira et Veiga (2012) Weldemicael (2012), Zhu et Fu(2013),

Capital humain (+)	Le niveau de qualification de la main-d'œuvre et les efforts déployés en matière d'éducation sont supposés avoir un effet important sur la capacité de chaque économie à se diversifier et à exporter des produits à plus forte valeur ajoutée, comme le soulignent les modèles reposant sur le commerce intra branche vertical. Résultat : la qualité supérieure du capital humain ou encore le niveau élevé d'éducation faciliterait le niveau de sophistication des exportations et permettrait ainsi le renforcement du taux de nouvelles activités dans l'économie et ce uniquement grâce à l'innovation de produit. Cette communauté de chercheurs suggèrent qu'une amélioration des normes d'éducation ou encore qu'un accroissement des niveaux les plus bas en éducation permettrait d'avoir un effet plus important sur le niveau de sophistication des exportations dans les pays d'ASS.	Schott (2006), Caldeira et Veiga (2010), Parketa et Tamberi (2011) Weldemicael (2012) Péridy et al (2016), Zhu et Fu (2013), Hidalgo et al (2007)
Prêt IEB (+)	Une hausse de 1% des prêts accordés génère une augmentation de 0,02% du niveau de sophistication des exportations en Afrique du Nord.	Péridy et al (2016),
Infrastructure (+)	Une amélioration de la qualité de l'infrastructure entraine une hausse du niveau de sophistication des exportations dans la région Nord-Africaine. Cette région devrait donc orienter sa politique industrielle vers des secteurs plus novateurs en y adoptant une stratégie d'intégration régionale à travers une politique commerciale ciblée, propres à chaque produit exporté telles qu'une diminution des mesures tarifaires et non tarifaires par exemple, dans le but de dégager un fort potentiel de rentabilité.	Péridy et al (2016),

Chapitre 2 : Modélisation empirique des interactions spatiales dans le processus de la complexification des systèmes productifs

Chapitre 2 : Modélisation empirique des interactions spatiales dans le processus de la complexification des systèmes productifs

1. Introduction

Les nouvelles contributions à la littérature sur la croissance économique ont fait valoir que la structure productive d'un pays, telle que mesurée par le niveau de complexité économique, reste un facteur décisif pour les différences de développement inter-pays et sont considérées comme hautement prédictives de la croissance économique future. Mais leurs déterminants au niveau des pays et leurs interdépendances spatiales entre les pays sont restés inconnus.

L'objectif de ce chapitre est tout d'abord de comprendre le processus de formation des capacités productives au niveau des pays puis d'analyser l'existence d'une éventuelle interdépendance spatiale entre les pays. Par ailleurs, la seconde question centrale de ce chapitre est de considérer un processus de convergence des taux de croissance de la complexité économique dans la zone MENA-UE.

La convergence est devenue un objet central des politiques régionales. Le premier objectif des chercheurs a toujours été celui de promouvoir un rattrapage économique des régions en retard de développement comme le soulignait déjà la théorie de la croissance néo-classique (Solow, 1956). Aujourd'hui, la convergence est une condition sine qua non à la stabilité et la prospérité de l'intégration régionale et de sa cohésion. De nombreux travaux (Baumont et al 2003, Bourdin et al, 2013) traitent de la question de l'évaluation du processus de convergence dans de nombreux espaces et particulièrement des études appliquées à l'Union Européenne (UE). Pourtant, pour la majeure partie, la prise en compte de l'espace géographique dans l'explication du processus de convergence a rarement été prise en compte alors même que la littérature scientifique y fait référence. Les contributions empiriques les plus populaires ajoutant la dimension spatiale à la notion de β-convergence sont celles de Baumont et al. (2003), Dall'erba et Le Gallo (2006), ou encore Bourdin et al, (2011).

L'objectif de ce chapitre est dans un deuxième temps d'étudier les concepts et les outils permettant d'appréhender la convergence en considérant les effets de proximité régionale. Notre principale contribution a été d'appliquer le modèle de convergence dans la compréhension du processus de complexification des systèmes productifs.

Ainsi, ce chapitre propose d'étudier de manière générale les principaux déterminants du niveau de complexité économique en utilisant une approche nouvelle, celle de la dimension spatiale. Nous mettons en lumière les discontinuités spatiales de la complexité économique existant au sein de notre échantillon composé de 133 pays sur la période de 1984 à 2014, et ce, tant au niveau global qu'au niveau régionale (MENA-UE). Alors qu'à l'échelle internationale nous remarquons une nette discontinuité spatiale, des phénomènes de rupture et de dissimilarité existent aussi au niveau régional. Des effets régionaux de convergence ou de divergence peuvent apparaitre et doivent être considérer pour mener des politiques de développement régional.

Au vu des études existantes dans la littérature empirique sur cet échantillon de pays, notre démarche est singulière, en ce qu'elle utilise un nouveau cadre théorique dans la compréhension du processus de complexification des systèmes productifs ainsi qu'une analyse exploratoire de l'existence d'une dépendance spatiale dans ce processus. Ainsi, notre travail présente une réelle contribution tant sur le plan de la modélisation et de la procédure d'estimation que sur le choix des variables explicatives, considérées comme propices à l'accumulation de capacités, et ainsi faciliter la création et la croissance des industries plus complexes. La prise en compte d'un grand ensemble de variables explicatives potentielles liées aux conditions macro-économiques, structurelles, institutionnelles et géographiques, nécessite une procédure robuste d'estimation. La méthode des moments généralisés en système (GMM) est la méthode de choix dans le modèle a-spatial. Comme nous le verrons ci-dessous, l'estimateur GMM est bien adapté pour tenir compte de l'incertitude associée à la sélection du modèle, ainsi qu'à la présence de la variable explicative retardée qui est une source d'endogénéité dans cette estimation.

Concernant le modèle spatial, la méthodologie employée pour détecter les effets d'autocorrélation spatiale est celle initiée par Debarsy et Ertur (2010). Elle nous permet de choisir la meilleure spécification du modèle parmi trois alternatives : le modèle autorégressif spatial (SAR), le modèle à autocorrélation spatiale des erreurs (SEM) et le modèle spatial général à effets fixes sur des données de panel (SARAR). Dans notre échantillon, la prise en compte des effets d'autocorrélation spatiale ne transforme pas fondamentalement les conclusions du modèle a-spatial.

De nos résultats, nous montrons que le capital humain, la création technologique, la corruption, le revenu par habitant, l'urbanisation, la qualité des infrastructures, la vulnérabilité économique et structurelle, les bénéfices tirés des ressources naturelles, l'accord Gafta et l'effet du Printemps arabes présentent une association importante et robuste sur le niveau de complexité économique. D'autre part, nous constatons que la complexité économique d'un pays est en effet affectée par la performance de ses voisins, puis influencée par sa propre position géographique. Ce résultat suggère que les effets de contagion entre les pays sont importants dans le processus de transformation structurelle.

Par ailleurs, la seconde question a été de savoir si les pays MENA avaient entamé un processus de convergence vers les 25 pays membres de l'Union Européenne (UE) à partir de la méthode de β-convergence conditionnelle. De nos résultats, il en ressort une convergence des taux de croissance du niveau de complexité économique, autrement dit les pays MENA affichent les mêmes rythmes de changement que les pays de l'UE.

Ce chapitre s'organise comme suit : la section 2 mène une étude empirique sur les déterminants de la complexification des systèmes productifs. Cette étude sera comparée dans la section 3 à une analyse exploratoire sur données spatiales pour détecter la présence d'autocorrélation spatiale dans la répartition de l'indice de complexité économique au niveau national. Ces effets spatiaux sont ensuite intégrés dans la section 4 dans le modèle de β-convergence conditionnelle. Ces résultats nous ont permis d'émettre dans la section 5 des recommandations de politiques économiques avant une brève conclusion.

2. Evaluation des déterminants de la complexité économique

2.1. Spécification du modèle et choix des variables

Notre étude vise à faire la lumière sur les principaux déterminants de la complexité économique. Le modèle empirique que nous retenons se présente sous la forme suivante :

$$ln\,ICE_{it} = \alpha_0 + \beta ln\,ICE_{it-1} + \sum \gamma lnX_{it} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \qquad (1)$$

La variable expliquée ICE_{it} correspond à l'indice de complexité économique $ICE_{it.}$ d'un pays i à l'instant t. Le choix de cette variable a été validé par de récents travaux portant sur les perspectives de développements futures des économies et elle y paraît pouvoir être pertinente ici pour caractériser les structures productives d'une économie (Hidalgo et al., 2007 ; Hausmann et Al., 2009; Poncet et al., 2013, 2015).

Concernant les variables explicatives, le vecteur X_{it} inclut des variables macroéconomiques (Pib/tete, IVE), institutionnelles (Corrupt), structurelles (Innov, KH, IPL, RN) et démographique (Urban). Des variables dummies sont également introduites comme variable proxy de l'ouverture commerciale (Gafta) et de l'effet du Printemps Arabe (PA). μ_i sont les éventuels effets fixes, δ_t les effets temporels et ε_{it} l'erreur de spécification.

Nous considérons comme variable macroéconomique le $Pib/tete_{it}$ qui est habituellement retenu dans la plupart des travaux s'intéressant à la structure productive et à la croissance des économies. Cette variable traduit le développement économique. Une question peut cependant être posée sur la pertinence de cette variable. En effet, la matrice de corrélation (Annexe 3a) indique une corrélation sensible (R = 0,63) entre ICE et le PIB/tête en prenant en compte l'ensemble des 133 pays sur la période 1984-2014. Le graphique donné en Annexe 3a montre que si les deux variables ICE et PIB/tête présentent des valeurs moyennes croissantes en allant des pays à faible revenu vers les pays à revenu intermédiaire puis vers les pays à revenu élevé, une corrélation significative n'apparaît entre elles que dans le groupe des pays développés. Il y a peu de corrélation au sein du groupe de pays MENA (R = 0,21) et aucune dans le groupe des pays à revenu faible (R = 0,05). Cela justifie, malgré la corrélation apparemment importante, le choix de cette variable comme variable explicative du modèle.

La variable IVE_{it}, indice de vulnérabilité économique et structurelle, est défini comme étant le risque pour une économie d'être entravée par des chocs exogènes et imprévus qui peuvent être sous forme naturelle (par exemple les sécheresses) ou encore commerciale (par exemple, la baisse en termes de l'échange). Elle est le produit de trois éléments : l'ampleur des « chocs »,

l'exposition des économies à ces chocs et la faible capacité à y faire face.[22] Cette nouvelle variable a récemment fait l'objet d'un regain d'intérêt pour diverses raisons relatives à la façon dont elle affecte le développement des économies La vulnérabilité économique et structurelle réduirait la croissance économique (Guillaumont et al., 2005) et, à travers celle-ci, pourrait exercer des effets délétères sur les capacités productives des économies.

Par ailleurs, nous introduisons une variable institutionnelle telle que le niveau de corruption $\boldsymbol{Corrupt_{it}}$ (signe négatif attendu) dont le rôle a été montré dans la littérature économique en matière d'amélioration du développement économique. Concernant les variables structurelles, $\boldsymbol{Innov_{it}}$ et $\boldsymbol{KH_{it}}$ (signe positif attendu), celles-ci jouent un rôle crucial dans l'élaboration des dotations factorielles et dans le déplacement des avantages comparatifs latent vers une productivité et industries à forte intensité de qualification. En effet, le niveau d'éducation a une forte incidence sur la technologie (Keller, 1996). La formation du capital humain notamment avec l'accès à l'enseignement supérieur (ingénierie) est une stratégie efficace pour faciliter le changement structurel et la modernisation productive. (Lee, 1994).

L'indice de performance logistique $\boldsymbol{IPL_{it}}$ (signe négatif attendu) qui reflète les perceptions relatives à la logistique d'un pays basées sur l'efficacité des processus de dédouanement, la qualité des infrastructures commerciales et des infrastructures de transports connexes, la qualité des services d'infrastructure. Cet indice peut jouer un rôle central dans la connectivité de l'économie (Korinek et Sourdin, 2011) et peut exercer une réelle incidence sur les capacités productives à travers le transport et les coûts logistiques. L'étude récente de Korinek et Sourdin (2011) montrent que des améliorations dans les infrastructures de transport présentent des effets positivement significatifs sur le commerce essentiellement dans les pays à revenu intermédiaire

[22] La matrice de corrélation indique une corrélation assez importante (R = -0,6) entre ICE et le IVE en prenant en compte l'ensemble des 133 pays sur la période 1984-2014. Toutefois, il y a peu de corrélation au sein du groupe de pays MENA (R = - 0,18). Cela justifie, malgré la corrélation apparemment importante, le choix de cette variable comme variable explicative du modèle.

et élevé. Les services de logistique, y compris les douanes et procédures administratives, l'organisation et la gestion des opérations d'expédition internationaux, le suivi et le traçage, ont un rôle important dans la facilitation de la performance à l'exportation. Par exemple, une augmentation de 10% de la qualité logistique relative au commerce est associée à une hausse de 36% du commerce avec un effet plus important sur les exportations que les importations (Korinek et Sourdin, 2011).

D'autres variables structurelles de contrôles sont également prises en compte telles que le taux d'urbanisation $\boldsymbol{Urban_{it}}$ (signe positif attendu) ou encore la dépendance par rapport aux ressources naturelles $\boldsymbol{RN_{it}}$ pouvant influencer de manière significative la complexification des systèmes productifs. Outre ces éléments, des variables dummies peuvent être considérées pour capter l'effet de l'ouverture commerciale et du développement géostratégique : il s'agit respectivement de l'effet de l'accord commercial $\boldsymbol{Gafta_{it}}$, (1 pour les pays membres de ces accords et 0 sinon, signe positif attendu) et de l'impact du Printemps Arabes PA_{it} sur la complexité économique (1 pour les pays touchés par cette réforme à partir de 2011 et 0 sinon, signe positif attendu). Très peu d'études prennent en compte ces effets.

2.2. Faits stylisés : Autocorrélation spatiale ?

L'existence d'une autocorrélation spatiale dans le processus de transformation structurelle repose sur une analyse exploratoire des disparités des 133 pays du monde à travers la méthode de l'analyse des données spatiales (Exploratory Spatial Data Analysis). Cette technique permet de visualiser les distributions spatiales et d'identifier les localisations atypiques (Anselin, 1996; Le Gallo, 2002).

La modélisation des interactions spatiales nécessite de définir une matrice de poids spatiale tenant compte de la proximité des régions. Différents types de matrices de poids spatiale peuvent être considérés soit en fixant une distance seuil au-delà de laquelle toute interaction disparaît soit en fixant à priori pour un pays un nombre k de pays voisins (l'interaction avec les localisations plus éloignées étant supposée nulle). Concernant la matrice relative à la distance sphérique entre les centroïdes des régions, son calcul repose sur les coordonnées de chaque point ou localisation. Les différents points (centroïdes des pays) sont déterminés à partir de la latitude et longitude associées à chaque pays du monde. La forme générale de la matrice de poids spatiale standardisée est définie par :

$$w_{ij}^{(sd)} = {w_{ij}^{(k)}} \Big/ {\sum_j w_{ij}^{(k)}} \quad avec \quad \begin{cases} w_{ij}^{(k)} = 0 & si \quad i = j \\ w_{ij}^{(k)} = 0 & si \quad d_{ij} < d_j(k) \\ w_{ij}^{(k)} = 0 & si \quad d_{ij} > d_j(k) \end{cases} \qquad (a)$$

où w_{ij} est le degré d'interaction spatiale entre deux pays *i* et *j*, ${d_i}^{(k)}$ est la distance seuil définie pour chaque pays i. C'est la plus petite distance d'ordre *k* entre les pays i et j en sachant que le pays i possède exactement *k* pays voisins. Pour mesurer l'autocorrélation spatiale globale, l'indice de Moran est le plus communément utilisé. Il est défini par :

$$I_M = \frac{N}{K} \frac{\sum_i \sum_j w_{ij}[x_i - \bar{x}]\left[x_j - \bar{x}\right]}{\sum_i [x_i - \bar{x}]^2} \qquad (b)$$

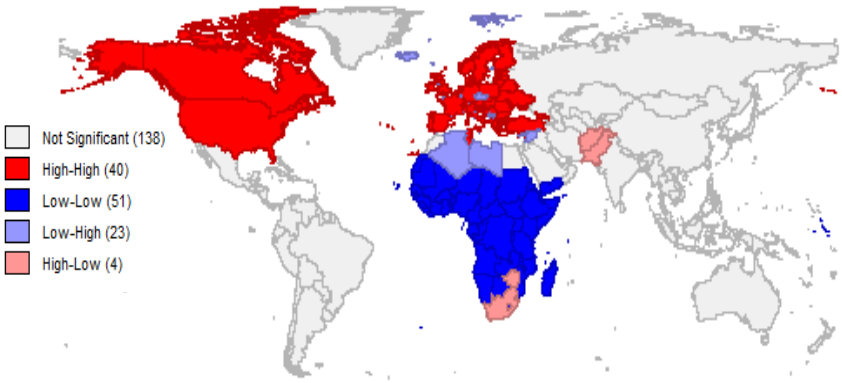
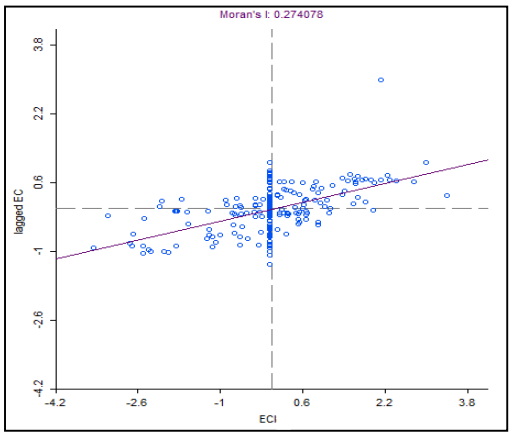
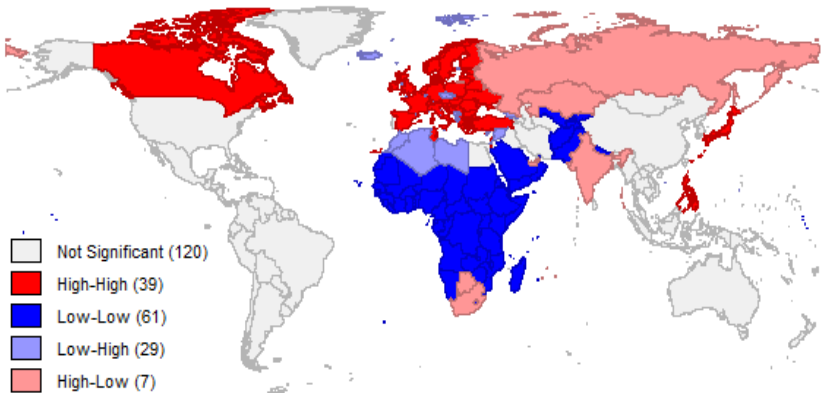
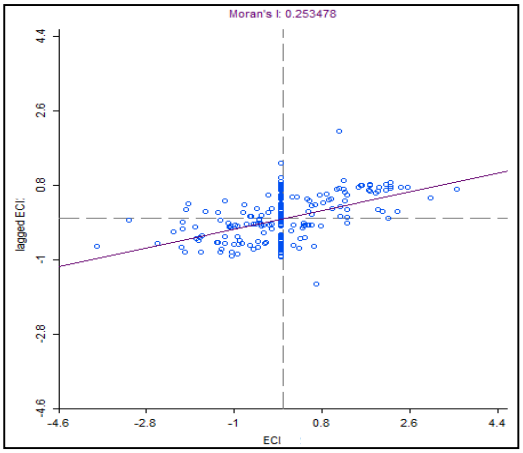
où $x_i$désigne la valeur du score et/ou des inégalités dans le pays i, $\bar{x}$ est la moyenne générale, *N* est le nombre de pays au sein de *l'espace de libre échange*, w_{ij} mesure l'intensité de

l'interaction spatiale qui existe entre les deux pays i et j, $k = \sum w_{ij}$ est la somme des coefficients d'interaction. Matriciellement, l'indice de Moran est défini par :

$$I_M = Y'W^{(sd)}Y/YY' \qquad (c)$$

Les tests de Moran (table-3) relatifs au niveau de complexité économique sont significatifs, indiquant que les pays sont spatialement corrélés. En d'autres termes, les régions à complexité économique élevées sont entourées par des régions également à complexité économique élevées. Les régions à faible niveau de complexité sont voisines de régions présentant aussi de faibles niveaux de complexité (Représentation 4).

Représentation 4: Indices de Moran d'autocorrélation spatiale locale

LISA 1984	Diagramme de Moran (matrice distance)
	
LISA 2014	Diagramme de Moran (matrice distance)
	

Source: Calcul de l'auteur sur la base des données de l'Atlas, 2016.

3. Modélisation et stratégie empirique

3.1. Spécification du modèle spatial

Le modèle estimé est le suivant :

$$\begin{cases} ICE = \alpha + X\beta_i + \varepsilon \\ \varepsilon = \lambda W_\varepsilon + \mu \end{cases} \qquad (2)$$

où X présente les variables explicatives du modèle (1) ; α et β_i sont des paramètres à estimer; W est la matrice de poids N * N qui tient compte de la localisation des pays; μ sont les résidus spatialement corrélés; ε sont des termes d'erreurs distribués de manière identique et indépendante et le paramètre scalaire λ représentant l'intensité de l'autocorrélation spatiale entre les résidus de la régression.

Les tests du Multiplicateur de Lagrange et celui du ratio Likelihood (table-3) indiquent clairement la présence d'une corrélation spatiale résultant à la fois des erreurs et des variables dépendantes. Nous retenons ainsi le modèle autorégressif (SAR) et le modèle d'erreur spatiale (SEM).

Le modèle SAR: $$ICE_{it} = \rho W_{ice_t} + X_{it}\beta + u_i + \varepsilon_{it} \quad (2')$$

Le modèle SEM: $$ICE_{it} = X_{it}\beta + u_i + v_{it} \quad (2'')$$

$$v_{it} = \lambda W_{vt} + \varepsilon_{it}$$

3.2. Procédure d'estimation du modèle 1 et 2

Notre base de données considère un panel de 133 pays dont 19 pays MENA (Annexe 1) qui couvre une période de 31 années (1984 à 2014). Les données utilisées pour les 133 pays sont issues des bases de la Banque mondiale (2016) exceptées les données ICE qui proviennent de l'Observatoire de la complexité économique du MIT (2016). (Annexe 2)

Notre modèle adopte différentes techniques d'estimation et tests pour prendre en compte les principaux biais de l'échantillon. Etant donné que certaines variables sont invariantes dans le temps ou presque (en particulier les variables dummies), nous préférons l'utilisation de l'estimateur à effets fixes à celui à effets aléatoires pour produire des paramètres efficaces et moins biaisées des variables invariantes.

Comme analyse de sensibilité, nous présentons deux autres estimateurs pour corriger le problème d'endogénéité. La première est basée sur l'estimateur composante de l'erreur des moindres carrés à deux degrés variables instrumentales (EC2SLQ IV) (Baltagi, 2005). La seconde sur la méthode des moments généralisés en système (GMMsys) compte tenu de la présence d'une variable retardée. En effet, l'endogénéité est un problème crucial dans ce type de régression. Par exemple, le pib/tête ou encore la vulnérabilité économique et structurelle peut expliquer la complexité économique, mais peut également être expliquée par celle-ci. La même remarque vaut aussi à la qualité des institutions ou encore à l'éducation qui devrait être stimulée par la complexification des systèmes productifs. Dans les estimations présentées ci-dessous, les variables endogènes comprennent les bénéfices tirés des ressources naturelles et les dépenses en éducation.

En plus de l'endogénéité, le biais dû aux variables omises doit aussi être abordée. A cet effet, l'introduction des variables spécifiques à chaque pays et de délais précis (μi et δt) permet d'inclure des variables inobservables ou omises (Egger et Pfaffermayr, 2003). Le test de Breush et Pagan et le test de Wooldride montrent une absence du problème d'hétéroscédastité et d'autocorrélation. Lors des estimations, nous avons également pris en considération le problème de stationnarité des variables. Ce qui rend plus robuste les résultats obtenus étant donné les biais d'estimations des paramètres liés à la non-prise en compte des propriétés de non-stationnarité des séries. Les résultats des tests de Levin, Lin et Chu (2002), de Breitung(2000), et enfin ceux de Harris-Tzavalis (1999) montrent que la majorité des variables sont stationnaires en niveau et quelques-unes en différence (Annexe 4).

Concernant le modèle spatial, la méthodologie employée pour détecter les effets d'autocorrélation spatiale est celle initiée par Debarsy et Ertur (2010). Elle nous permet de choisir la meilleure spécification du modèle parmi trois alternatives : le modèle autorégressif

spatial (SAR), le modèle à autocorrélation spatiale des erreurs (SEM) et le modèle spatial général à effets fixes sur des données de panel (SARAR). Dans notre échantillon, la prise en compte des effets d'autocorrélation spatiale ne transforme pas fondamentalement les conclusions du modèle a-spatial.

3.3. Principaux résultats : Analyse global, régional et par niveau de revenu

Les tests et estimateurs utilisés mettent en évidence la robustesse des résultats : le passage d'un estimateur à un autre n'a pas créé d'instabilité significative dans le signe et la valeur des coefficients estimés.

Les résultats de l'estimation sur les 133 pays du modèle 1 et 2 sont reportés dans le tableau 1. Des résultats détaillés selon le niveau de revenu en version statique sont listés en annexe 5. Les coefficients associés au revenu par tête, à la performance logistique et à l'urbanisation sont significativement positifs avec un effet moins important dans la région MENA quel que soit l'estimateur et modèle considéré. Ces résultats sont conformes aux attentes. Concernant la performance logistique, ce résultat peut s'expliquer par le médiocre positionnement des pays MENA en termes de performance portuaire. Des efforts sont cependant en cours, notamment au Maroc, qui améliore sensiblement sa performance depuis l'ouverture de Tanger-Méditerranée.

Les coefficients relatifs à la vulnérabilité économique, à la corruption, et aux bénéfices tirés des ressources naturelles sont significativement négatifs avec un effet plus prononcé dans la région MENA. L'impact négatif lié à la vulnérabilité économique et à la corruption (Marouani et al, 2013) confirme que les pays MENA doivent prendre des mesures appropriées pour améliorer la situation, d'autant plus que ces pays sont plus affectés que les autres par ces variables politico-économiques sur leur développement. L'impact négatif des ressources naturelles corrobore l'hypothèse du Dutch disease qui prédit un moindre développement des pays riches en ressources naturelles, en raison de l'absence de diversification de leur économie.

La variable relative à l'accord commercial GAFTA, n'a pas eu les effets escomptés dans la région MENA, le coefficient est significativement négatif à court terme et dans le modèle

spatial. Ce résultat peut s'expliquer par l'insuffisance de libéralisation effective des échanges dans la zone GAFTA et du niveau important et souvent en croissance des barrières non tarifaires. En revanche, la révolution arabe a eu un impact positif et significatif à 1% sur le niveau de complexité économique quel que soit l'estimateur et le modèle considéré. Ce dernier résultat est toutefois sujet à caution en raison de l'instabilité provoquée par les révolutions arabes.

Concernant les variables liées à la création technologique et le capital humain, les résultats montrent un effet significativement positif qui n'est ressenti qu'à long terme dans l'ensemble de l'échantillon et les pays à revenu élevé.

Tableau 1 : Resultats des estimations du modèle 1 et 2 sur la période 1984-2014 avec la matrice de poids spatial W. Frfr

	Modèle a-spatial							***Modèle spatial***	
lnICE	EC2SLQ IV		GMMsys					SEM	SAR
Matrice Distance W	(1) Total	(2) Mena	(2) Total	(3) High	(4) Middle	(5) Low	(6) Mena	(7) Total	(8) Total
Spatial Error (λ)								**-0.309*** **	
Spatial Lag (ρ)									**-0.196*** **
$lnICE_{t-1}$			**0.306*** **	**0.648*** **	**0.355*** **	**0.376*** **	**0.479*** **	**0.461*** **	**0.458 *** **
lnPib/tête	**0.0766*** **	0.00783	**0.0164** **	**0.0143** **	-0.00551	-0.0220	**0.0357***	**0.0131*** **	**0.0144*** **
lnIVE	**-0.0784*** **	-0.000145	**-0.0904*** **	**-0.02*** **	**-0.106*** **	0.0244	**-0.0436** **	**-0.053*** **	**-0.056*** **
lnCorrupt	**-0.0435*** **	**-0.110*** **	-0.0140	**-0.053*** **	**-0.029*** **	**-0.063*** **	**-0.131*** **	**-0.019*** **	**-0.021*** **
lnInnov	0.134	**1.409** **	**0.866*** **	**0.170*** **	0.839	-0.050	-0.631	-0.0170	-0.0106
lnKH	-0.00863	-0.192	**0.274*** **	**0.114*** **	0.0627	**0.386** **	0.0877	-0.0618	-0.0626
lnIPL	**0.608*** **	**0.564** **	-0.00242	0.0134	0.00219	-0.000605	-0.00714	-0.0010	-0.0008
lnRN	**-0.0311*** **	-0.0149	**-0.0218*** **	**-0.014*** **	**-0.041*** **	-0.00701	**-0.045*** **	**-0.0067** **	**-0.0071 ** **
lnUrban	**0.253*** **	-0.142	**0.107*** **	-0.00425	-0.0419	0.0676	**0.127** **	**0.1511*** **	**0.1479 *** **
Gafta	**-0.0493*** **	**-0.0426** **	**0.0163** **	**0.012*** **	-0.00632		-0.00606	**-0.0116** **	**-0.0121** **
PA	**0.0358*** **	**0.0368*** **	**0.0149*** **	0.00129	**0.022*** **	**0.0279*** **	0.00463	**0.0187*** **	**0.023*** **
Observations	4,123	589	3,990	1,290	2,070	630	570	3,990	3,990
Nb of id	133	19	133	43	69	21	19	133	133
R^2	0.52	0.42	0.42						
AR(2) p-value			0.5	0.4	0.4	0.3	0.28		
Sargan test (p-value)			0.17	0.3	0.28	0.24	0.12		
Moran's I (error) Test Value (Probability)								2.478 (0.0132)	
LR (Likelihood Ratio)Test Value (Probability)								9.16	5.70

								(0.002)	(0.016)
LM (*Lagrange Multiplier)Test* Value (Probability)								4.48 (0.034)	4.77 (0.028)

***p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

L'importance des schémas de dépendances spatiales détectées pour les caractéristiques des économies confirme le recours à l'estimation de l'effet de la dimension spatiale sur le processus de convergence de transformation structurelle.

4. Processus de convergence et analyse économétrique spatiale :

4.1. Focus sur le concept de β-convergence : *a.spatial vs spatial*

Ce modèle se réfère à un processus dans lequel les régions pauvres se caractérisent par une croissance plus rapide que celle des pays riches et donc les premiers rattrapent leurs retards sur les derniers. Le concept de β-convergence est directement lié à la théorie de la croissance néo-classique (Solow, 1956). Une hypothèse clé est que les facteurs de production, dont le capital en particulier, sont soumis à des rendements décroissants. Par conséquent, le processus de croissance devrait aboutir à long terme à un état stationnaire caractérisé par un taux de croissance qui dépend uniquement de taux de progrès technologique (exogène) et de taux de croissance de la population active. Le rendement décroissant implique également que le taux de croissance des économies pauvres devrait être plus élevé et leurs revenus et/ou leurs niveaux de PIB par tête devraient rattraper ceux des pays riches.

Quand tous les pays convergent à long terme vers le même état stationnaire, dans ce cas le β-convergence est dit absolue. Cependant, l'état d'équilibre peut dépendre certaines caractéristiques spécifiques à chaque économie dans laquelle la convergence à long terme aura toujours lieu mais pas nécessairement de même niveau. Ceci sera le cas lorsque le PIB par tête dépend des facteurs déterminants tels que les dotations et les institutions qui varient d'une économie à l'autre même à long terme. Dans ce cas le β-convergence est dit conditionnelle.

Depuis les travaux de Barro and Sala-i-Martin (1992) and Mankiw et al. (1992) une grande littérature s'est développée pour estimer et mesurer l'ampleur de β-convergence dans différents contextes. Le résultat le plus important, qui a été souligné par Sala-i-Martin (1992), est la

régularité de vitesse de convergence estimée avec laquelle les économies convergent vers leur état stationnaire (environ 2% par an). Ce résultat reposait sur l'équation suivante :

$$\Delta\, lnY_{it} = \alpha + \beta ln\, Y_{it-1} + \sum \gamma lnX_{it} + \varepsilon_{it} \qquad (3)$$

avec $\Delta\, lnY_{it}$ le taux de croissance du Pib/tête de la région i (i= 1, …, N) à l'instant t. X_{it}, vecteur de variables qui permet de maintenir constant l'état stationnaire de la région i. α et β sont des paramètres inconnus à estimer et ε_{it} le terme d'erreur. L'estimation de β permet d'une part de calculer la vitesse de convergence avec θ = -ln (1+ Tβ)/T, où T est la longueur de la période d'étude. Et d'autre part, la durée nécessaire pour que les pays comblent la moitié de l'écart qui les sépare de leur état stationnaire, appelée aussi demi vie avec τ = -ln(2)/ln(1+β).

On dit qu'il y a β-convergence lorsque le coefficient β est négatif et statistiquement significatif puisque dans ce cas le taux de croissance moyen du Pib/tête entre les dates 0 et T est négativement corrélé avec le niveau initial du Pib/tête.

Les contributions empiriques les plus récentes ont également ajouté la dimension spatiale à la notion de β-convergence (Baumont et al., 2003, Dall'erba et Le Gallo, 2006, Bourdin, 2013). L'omission de la dimension spatiale dans l'analyse du processus de β-convergence régionale (l'exemple des pays MENA) peut fournir des résultats biaisés. Premièrement, travailler avec des données régionales nécessite de prendre en considération la dépendance (l'autocorrélation) spatiale. La proximité entre les régions voisines ainsi que d'autres liens supposent vraisemblablement l'interdépendance entre les variables économiques régionales. Une telle hypothèse entraine une estimation non robuste de l'équation 1. Une solution à ce problème consiste à introduire des retards (lags) spatiaux (le taux de croissance dans une région dépend également du taux de croissance ou de niveau de revenu de la région voisine) ou de considérer des modèles à erreurs spatiales (ajouter un terme d'erreur qui prend en considération l'autocorrélation spatiale des variables incluses dans le modèle). Deuxièmement, les principes fondamentaux des économies régionales présentent la possibilité d'hétérogénéité spatiale. Cette

notion signifie que la relation économique représentée par l'équation (1) n'est pas stable dans l'espace ce qui implique que les valeurs des coefficients estimés varient dans l'espace (ce que l'on désigne par l'instabilité structurelle) et/ou la matrice de variances-covariances des termes d'erreurs varie spatialement. Cette hétérogénéité spatiale est liée à la notion de "clubs de convergence" où les PIB par tête des régions dont les caractéristiques structurelles sont identiques convergent vers le même état stationnaire sachant que les conditions initiales de ces régions sont suffisamment proches (Durlauf et Johnson, 1995).

4.2. Modélisation et stratégie empirique

Le modèle proposé ici reprend l'équation de convergence spécifiée précédemment (3) en y incluant les variables de contrôles déjà estimées dans l'équation (1) et (2) et en modifiant la variable expliquée Yit par ICEit. Ainsi, l'équation que nous retenons en prenant en compte la dimension spatiale se présente sous la forme suivante:

$$\Delta\, lnICE_{it} = \alpha + \beta ln\, ICE_{it-1} + \sum \delta lnX_{\ it} + \sum_{j=1}^{N} \rho W_{ij}(\Delta\, lnICE_{it}) + \ \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

Où $\Delta\, lnICE_{it}$, le taux de croissance du niveau de complexité économique du pays i à l'instant t. X, les variables de contrôles semblables à celles présentées précédemment dans l'équation (1) et (2). Wij, la matrice de poids Distance d'un pays i par rapport au pays j.

Dans une deuxième étape, nous appliquerons le modèle précédent aux pays MENA. En examinant le poids de la dépendance spatiale dans le processus de convergence des niveaux de complexité des pays MENA vers l'UE (25). Pour cela nous proposons l'estimation suivante :

$$\Delta\, lnICE_{MENAt} - \Delta\, lnICE_{UEt} = \alpha + \beta(ln\, ICE_{MENAt-1} - ln\, ICE_{UEt-1}) + \sum \delta lnX_{\ it} + \sum_{j=1}^{N} \rho W_{ij}(\Delta\, lnICE_{it}) + \ \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

La variable expliquée représente l'écart des taux de croissance des niveaux de complexité économique entre les pays MENA et l'UE. La variable d'intérêt est la différence des niveaux

ICE entre la région MENA et les pays de l'UE. Le signe du paramètre correspondant fournit une indication de l'existence d'une convergence bêta entre les pays de la région MENA et l'UE. Le vecteur X qui comprend des variables de contrôle est semblable à ceux présentés précédemment.

4.3. Résultats du modèle de convergence conditionnelle

Dans cette section, nous estimons le modèle par les méthodes d'estimation de l'économétrie spatiale (Anselin, 1988 ; Anselin et Florax, 1995 ; Cliff et Ord, 1981 ; Upton et Fingleton, 1985) pour détecter et traiter l'autocorrélation spatiale dans le modèle de β-convergence conditionnelle. Nous étudions le processus de convergence sur l'ICE des économies pour la période 1984-2014. La première étape consiste à réaliser différents tests pour confirmer la présence des effets spatiaux que nous avons décelés dans la section précédente. Ces tests[23] nous conduisent à estimer dans une seconde étape un modèle simple de convergence conditionnelle dans lequel nous avons privilégié le modèle SAR, SEM et SARAR (processus spatial Autorégressif d'ordre q)[24].

La procédure d'estimation est similaire à celle décrite dans la section 3.2 pour le modèle spatial. Les résultats du modèle 4 et 5 sont présentés dans le tableau 2 pour la période de 1984-2014. Une première caractéristique concerne l'estimation des paramètres correspondant au coefficient β. Il est significativement négatif quel que soit l'estimateur et le modèle de spécification. Ce qui corrobore l'hypothèse de convergence des taux de croissance de la complexité économique pour les 133 pays du monde. En d'autres termes, les résultats montrent que les pays MENA affichent les mêmes rythmes de changement que les pays de l'UE.

[23] Test de Moran, test de ratio Likelihood, test du Multiplicateur de Lagrange.

[24] Il s'agit d'un modèle de Durbin étendu avec des contraintes linaires supplémentaires.

Des effets régionaux de convergence apparaissent dans la région MENA-UE et doivent être considérés pour mener des politiques de développement régional adaptées. En effet, la durée nécessaire pour que les pays MENA comblent la moitié de l'écart, des taux de croissance de la complexité économique, qui les sépare des pays de l'UE est estimé à moins d'un an. La demi-vie varie entre 0,89 et 1,1 année (modèle 4 et 5). Ce résultat indique que le processus de convergence des taux de croissance de la complexité économique est effectivement très avancé dans cette zone, celle-ci s'explique en partie par la significativité des variables explicatives du modèle que nous interpréterons par la suite.

D'autre part, nous remarquons dans ces résultats que malgré qu'il y ait une autocorrélation spatiale résultant à la fois des erreurs et des variables dépendantes, signifiant que les pays qui ont un niveau de complexité élevé ou faible, ont une influence sur les pays voisins, les paramètres spatiaux négatifs et significatifs de λ (-0.309) et ρ (-0.318) présentés dans le modèle SAR et SEM montrent que la croissance du niveau de complexité économique dans une économie est préjudiciable à la croissance de la complexité économique dans les économies voisines car elle peut réduire leur potentiel de croissance. Autrement dit, si une économie augmente son niveau de complexité économique, son voisin verra son niveau augmenter aussi (autocorrélation spatiale positive), en revanche si le voisin a augmenté son niveau de complexité alors le pays de départ présentera des taux de croissance de la complexité économique plus faible.

Ce processus de convergence peut masquer des phénomènes de divergences en termes de niveau de complexité. Les autres résultats corroborent généralement ceux obtenus pour la section 3. En particulier, l'urbanisation et l'innovation ont un impact positif sur la convergence tandis que la corruption, le GAFTA, la vulnérabilité économique, la dépendance par rapport aux ressources naturelles ont un impact plutôt positif.

Au-delà des paramètres macroéconomiques, institutionnelles, socio-économiques et structurelles, les disparités régionales en méditerranée peuvent être expliquées par le fait d'héritages plus anciens de l'histoire coloniale auquelle est venu s'ajouter un nouveau

découpage des frontières imposées par les Français et les Anglais au lendemain de la première guerre mondiale. Toutes ces considérations permettent de montrer que ce phénomène dichotomique dans la zone MENA-UE est relativement complexe et participe en partie à l'explication de la divergence régionale du niveau de complexité économique des pays MENA.

En somme, la convergence régionale observée dans la région MENA-UE montre qu'un processus de rattrapage des taux de croissance de la complexité économique est en cours mais que ce dernier peut masquer des phénomènes de divergence. Nos résultats permettent ainsi de montrer la complexité des discontinuités spatiales à l'œuvre due aux temporalités et aux échelles multiples. Ces dichotomies mettent en avant le caractère spatialisé du développement régional. Par conséquent, la présence simultanée d'un processus de convergence et peut être de divergence régionale repose sur des considérations spatiales du développement à des échelles variées mais également à une histoire (colonisation) et à des bouleversements (Crise économique, Révolution arabe) à la fois courte et longue de l'économie qui lui est propre. L'hétérogénéité de l'espace géographique de la région MENA-UE représente un élément explicatif et constitutif des disparités régionales de développement dans le processus de transformation structurelle mis en évidence notamment par les accords bilatéraux et/ou multilatéraux ou encore la proximité géographique de pôles dynamiques. En d'autres termes, les économies les plus éloignées du « cœur européen par exemple » voient leur retard s'accentuer. Ainsi, le rattrapage économique risque donc d'être inégal en fonction des économies et voire problématique pour les régions les plus éloignées du pole dynamique, freinant l'accélération de leur compétitivité et de leur développement économique.

Tableau 2 : Résultat des estimations du modèle β- convergence sur la période 1984-2014 avec la matrice de poids spatial distance (W).

	Modèle 4			Modèle 5		
	$\Delta\, lnICE_{it}$			$\Delta\, lnICE_{MENAt} - \Delta\, lnICE_{UEt}$		
	(1) SEM	(2) SAR	(3) SARAR	(4) SEM	(5) SAR	(6) SARAR
Spatial Error (λ)	**-0.309*** **		**1.584*** **	0.0409		**0.891*** **
Spatial Lag (ρ)		**-0.318*** **	**-4.054*** **		0.0269	**-2.559*** **
$\beta \ln ICE_{t-1}$	**-0.539*** **	**-0.541*** **	**-0.467 *** **			
β lnICE $_{MENAt-1}$ - lnICE $_{UEt-1}$				**-0.532*** **	**-0.532*** **	**-0.5003*** **
lnPib/tête	**-0.013*** **	**-0.014*** **	**-0.016 *** **	0.0008	0.0008	-0.0004
lnIVE	**-0.053*** **	**-0.056 *** **	**-0.050 *** **	0.0034	0.0033	0.006028
lnCorrupt	**-0.019*** **	**-0.019*** **	-0.007	**-0.013*** **	**-0.013*** **	**-0.0304*** **
lnInnov	-0.017003	-0.000088	0.035	**0.137*** **	**0.137*** **	**0.110*** **
lnKH	-0.061839	-0.068266	**-0.090** **	**-0.092*** **	**-0.092*** **	**-0.083 *** **
lnIPL	-0.001098	-0.001166	-0.000904	0.002972	0.003057	-0.002238
lnRN	**-0.006** **	**-0.006** **	-0.005561	-0.002193	-0.002200	-0.002052
lnUrban	**0.151*** **	**0.147*** **	**0.116*** **	0.013560	0.013435	0.012891
Gafta	**-0.011** **	**-0.013 ** **	**-0.018*** **	-0.001226	-0.001227	-0.001283
PA	**0.018*** **	**0.023*** **	**0.076*** **	0.001763	0.001679	**0.0119***
Observations	4123	4123	4123	1364	1364	1364
Nb of ID	133	133	133	44	44	44
Vitesse de convergence (θ)						
Demi-Vie (τ)	**0.89**	**0.89**	**1.10**	0.91	0.91	**0.99**
LR Test Value (Probability)	14.95 (0.000)	10.99 (0.000)		43.08 (0.000)	0.158 (0.69)	42.97 (0.000)
LM Test Value (Probability)	25.89 (0.000)	12.39 (0.000)		0.11 (0.735)	0.16 (0.685)	0.022 (0.881)

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

5. Conclusion et recommandations en termes de politiques économiques

L'objectif de ce chapitre a été de souligner la nécessité de prendre en compte la dimension géographique dans l'explication du processus de complexification des systèmes productifs afin de repenser les théories sur la convergence et la mesure des disparités régionales en particulier dans la zone MENA-UE. Notre travail montre qu'il existe dans ce processus d'une part, une interdépendance spatiale entre les pays, en d'autres termes, la complexité économique d'un pays est en effet affectée par la performance de ses voisins puis influencée par sa propre position géographique. Ainsi, cette interdépendance spatiale est-elle liée à un cycle ou à un mécanisme de transition ?

Les disparités régionales dans les pays MENA peuvent être expliquées par le fait d'héritages plus anciens de l'histoire coloniale auxquelles est venu s'ajouter un nouveau découpage des frontières imposées par les Français et les Anglais au lendemain de la première guerre mondiale.

Toutes ces considérations permettent de montrer que ce phénomène dichotomique dans la zone euro-méditerranéenne est relativement complexe et participe en partie à l'explication de la divergence régionale du niveau de complexité économique des pays MENA.

Nos résultats permettent ainsi de montrer la complexité des discontinuités spatiales à l'œuvre due aux temporalités et aux échelles multiples. Ces dichotomies mettent en avant le caractère spatialisé du développement régional.

L'hétérogénéité de l'espace géographique de la région euro-méditerranéenne représente un élément explicatif et constitutif des disparités régionales de développement dans le processus de transformation structurelle mis en évidence notamment par les accords bilatéraux et/ou multilatéraux ou encore la proximité géographique de pôles dynamiques. En d'autres termes, les économies les plus éloignées du « cœur européen par exemple » voient leur retard s'accentuer.

L'importance des schémas de dépendances spatiales détectés pour les caractéristiques des économies peut supposer un recours à des canaux de transmission à savoir des coûts des facteurs de production inférieurs aux voisins pouvant être facilement importés (délocalisation des firmes) ou encore le poids de la R&D (dépôt de licence). Les accords commerciaux bilatéraux et/ou régionaux peuvent être un canal de transmission, de même que les barrières tarifaires et non tarifaires, les clusters.

D'autre part, il apparait des phénomènes régionaux de fort rattrapage des taux de croissance de la complexité économique. Toutefois, ce processus peut masquer des phénomènes régionaux de divergence qu'il faut mettre en relation avec les rôles joués par les politiques publiques nationales et/ou régionales, ainsi que les dynamiques économiques, structurelles et démographiques (Pib/tête, éducation, innovation, ressources naturelles, urbanisation, ...).

Ce chapitre nous a permis de rendre compte de l'hétérogénéité géographique (discontinuités spatiales) et temporelle (discontinuités historiques) du processus de convergence de la complexification des systèmes productifs des régions. Ces discontinuités spatiales peuvent soit amorcer une dynamique plus ou moins positive de convergence nationale et de coopération régionale, soit au contraire installer une dynamique continentale/régionale de concurrence territoriale et de prédation économique.

La multipolarisation de la convergence dans le processus de la complexification des systèmes productifs appelle à des réponses et recommandations politiques spécifiques à chaque pays. Ces dernières doivent tenir compte des principaux facteurs à l'origine de la convergence des pays MENA, parmi lesquels nous retrouvons les paramètres institutionnels, structurels, démographiques et socio-économiques. En effet, notre étude nous a permis d'apporter des éléments de réflexion sur la manière de repenser la future politique d'intégration régionale à l'intérieur de la zone MENA, suite aux récents mouvements et bouleversements qu'ont subi ces pays, afin de la rendre plus efficace. La prise en compte de la localisation géographique et de la structure du voisinage de chacun des pays pour concevoir une politique de cohésion est primordiale, comme le soulignaient déjà Ertur et Koch pour le cas de l'UE(2005).

Certains pays MENA en particulier les pays d'Afrique du Nord ont réussi à profiter de leur proximité avec l'UE, mais leurs performances ne leur ont pas permis d'avoir une situation de convergence régionale très rapide (exemple de l'Algérie). Alors que les pays du Proche Orient, qui eux sont plutôt situés à proximité des pays d'Asie ont montré des signes de convergence plus importants dans le processus de transformation structurelle.

En somme, l'ensemble de cette région mériterait une attention toute particulière pour promouvoir une politique régionale efficace. Cela nous amène à affirmer que la question de la réduction significative des disparités régionales ne peut se limiter qu'à de simples accords commerciaux favorisant une meilleure intégration avec l'Europe. Il y a aujourd'hui une nécessité de créer une réelle identité et une profonde intégration au sein même des MENA. L'attribution de Fonds structurels peut constituer une des solutions. Ces fonds structurels permettraient aux pays MENA d'être solidaires tout en restant compétitifs dans l'économie mondiale. Ils agiraient en profondeur sur les structures économiques et sociales, dans les États MENA présentant des difficultés économiques importantes, et réduiraient ainsi les inégalités de développement sur l'ensemble du territoire. L'enveloppe financière accordée à la politique de cohésion serait décomposée entre trois Fonds structurels semblables aux Fonds Structurels Européens, à savoir : un Fond de développement régional, un Fond social et un Fond de cohésion.

De plus, les résultats économétriques nous indiquent les effets favorables sur l'économie du processus de complexification des systèmes productifs. Si ce processus s'inscrit plutôt dans une tendance de long terme, plusieurs recommandations peuvent être formulées dès le court-moyen terme. Il s'agit entre autre de mettre rapidement en place des formations adaptées aux changements technologiques, de réformer l'enseignement supérieur et professionnel (développer les partenariats avec les universités européennes, asiatiques ou américaines ; utiliser le système des diplômes délocalisés professionnalisés), de développer des secteurs innovants (soutien à certaines start-up, aux IDE, développement de zones franches ou de zones d'entreprises technologiques) notamment par une politique d'incitation fiscale, d'améliorer la liberté économique notamment grâce à des lois de simplification administrative.

Il s'agit aussi de développer ou renforcer les partenariats commerciaux avec les pays partenaires avancés technologiquement afin de développer les effets de diffusion spatiale (UE, ALENA, etc…), y compris entre régions frontalières (effets de diffusion territoriale) ; renforcer le partenariat GAFTA afin de bénéficier d'économies d'échelle dans les secteurs technologiques.

- Améliorer la performance logistique avec des investissements appropriés mais surtout des réformes adéquates (facilitation commerciale dans les ports, réduction et simplification des procédures administratives, amélioration de l'efficacité des contrôles douanier, automatisation des procédures, lutte efficace contre la corruption, etc.…).

- Améliorer la gouvernance afin notamment de lutter efficacement contre la corruption et favoriser la transparence.

- Améliorer la gestion des ressources naturelles (gaz, pétrole, etc..) en utilisant les bénéfices des ressources naturelles pour diversifier l'économie et la sophistiquer, et en développant des zones industrielles basées sur l'avantage comparatif dans les ressources naturelles.

Ces recommandations peuvent être initiées et mises en œuvre rapidement par les Etats qui doivent envoyer un signal fort à destination des acteurs économiques afin d'accélérer ce processus de complexification des économies méditerranéennes, dans le but de favoriser le développement économique. Après avoir exposé un cadre d'analyse sur les facteurs qui déterminent de manière significative le processus de complexification des systèmes productifs. Nous étudierons dans les deux prochains chapitres les effets de la complexité économique sur la pollution de l'air (Chapitre 3) puis sur les inégalités de genre en éducation (Chapitre 4) pour évaluer de nouvelles trajectoires de développements.

Références

Aditya, A., Acharyya A. 2012. Does what countries export matter?, Journal of Economic Development, 37(3): 47-74.

Anselin, L., Bera, A.K., Florax, R., Yoon, M.J., 1996. Simple diagnostic tests for spatial dependence. *Regional Science and Urban Economics*, 26, pp. 77-104.

Anselin, L., Florax, R., 1995. Small sample properties of tests for spatial dependence in regression models, in Anselin L., Florax R. (Eds.). *New Directions in Spatial Econometrics*. Berlin, Springer.

Anselin, L. 1988a. Spatial Econometrics: Methods and Models. Kluwer Academic, Dordrecht.

Anselin, L. 1988b. A test for spatial autocorrelation in seemingly unrelated regressions. *Economics Letters* 28, 335–41.

Anselin, L. 1988c. Lagrange multiplier test diagnostics for spatial dependence and spatial heterogeneity. *Geographical Analysis* 20, 1–17.

Balassa, B. , Noland, M. 1989. Revealed Comparative Advantage in Japan and the United States. J*ournal of International Economic Integration*, 4(2), 8-22.

Balassa, B. 1965. Trade Liberalization and Revealed Comparative Advantage. *The Manchester School of Economic and Social Studies, 3(2),*

99-123.

Baltagi, B. H. 2005. *Econometric Analysis of Panel Data (third ed.)* John Wiley & Sons.

Baltagi, B. H., Seuck Heun S., Won K, . 2003. Testing Panel Data Regression Models with Spatial Error Correlation. *Journal of Econometrics*, 117, 123-150.

Barro, R., Sala-i-Martin, X. 1992. Convergence. *Journal of Political Economy,* 100, 223-251.

Baumont, B., Ertur, C. , Le Gallo, J. 2003. Spatial Convergence Clubs and the European Regional Growth Process, 1980-1995, in Fingleton, B. (ed.) *European Regional Growth*, Berlin et al., Springer, 131-158.

Bourdin S. 2013. Une Mesure Spatiale Locale De La Sigma-Convergence Pour Evaluer Les Disparites Regionales Dans L'Union Europeenne. *Region et Developpement*, vol. 37, pages 179-196.

Bourdin S., Langlois P., Elissalde B., Goyat D. 2011. Une approche prospective de la configuration des disparités économiques régionales au sein de l'union européenne par la modélisation et la simulation. *European Journal of Geography*, document 564.

Chenery, H. B., Syrquin, M. 1975. Patterns of Development 1950–1970", Oxford University Press.

Cliff, A., J.K. Ord. 1981. Spatial Processes: Models and Applications. London: Pion.

Dall'erba, S., Le Gallo, J. 2006. Evaluating the Temporal and the Spatial Heterogeneity for the European Convergence Process, 1980-1999. *Journal of Regional Science*, 46, 269-288.

Daude C, Nagengast , Perea J,. 2013. Productive Capabilities: An Empirical Investigation of their Determinants. *Working Paper No. 321*. Rapport OCDE DEV/DOC(2013).

Debarsy, N. , Ertur, C. 2010. Testing for spatial autocorrelation in a fixed effects panel data model. *Regional Science and Urban Economics*, Elsevier, vol. 40(6), pages 453-470.

Durlauf, S. N., Johnson, P. 1995. Multiple Regimes and Cross- Country Growth Behaviour. *Journal of Applied Econometrics*, vol. 10(4), 365-84.

Egger P, Pfaffermayr, M. 2003. The proper panel econometric specification of the gravity equation: A three-way model with bilateral interaction effects. Empirical Economics, Springer, vol. 28(3), pages 571-580, July.

Ertur C., Koch, W. 2005. Une Analyse Exploratoire Des Disparités Régionales Dans L'Europe Élargie. *Region et Developpement*, LEAD, vol. 21, pages 65-92.

Felipe J., Kumar U., Abdon A., Bacate M. 2012. Product complexity and economic development. Structural Change and Economic Dynamics, Volume 23, Issue 1, March 2012, Pages 36-68.

Felipe, J., Kumar U., Abdon A. 2010. How Rich Countries Became Rich and Why Poor Countries Remain Poor? It's the Economic Structure. Levy Economics Institute, WP n°.644.*Asian Development Bank.*

Guillaumont P. 2006. La vulnérabilité économique, défi persistant à la croissance africaine. CERDI, *Etudes et Documents*, E 2006.41.

Jankowska, A., Nagengast A., Perea J.R. 2012. The Product Space and the Middle-Income Trap: Comparing Asian and Latin American Experiences, OECD Development Centre Working Paper 311.

Hausmann, R., Bustos, S. 2012. Comparative study of export policies in Egypt, Morocco, Tunisia and South Korea. Chapter I, Structural transformation in Egypt, Morocco and Tunisia: A comparison with China. Mimeo, African Development Bank 33–83.

Hausmann, R, Hidalgo, C. 2010. Country Diversification, Product Ubiquity, and Economic Divergence, Working Paper Series rwp10-045, Harvard University.

Hausmann, R., Hwang J., Rodrik. 2007. What you export matters? Journal of Economic Growth, 12(1): 1-25.

Hausman R., Klinger B. 2007. The structure of the product space and the evolution of comparative advantage, Working Paper Series rwp06-041, Harvard University,

Hidalgo, C.A. 2009. The Dynamics of Economic complexity and the Product Space over a 42 year period, Working Paper No. 189, Center for International Development at Harvard University.

Hidalgo, C. A., Klinger, B., Barabási, A. L., Hausmann, R. 2007. The Product Space Conditions the Development of Nations, Science, 317(5837), pp, 482-487.

Hirschman A.O.1958. The Strategy of Economic Development, Yale University Press.

Jouini, N., N. Oulmane, N.Péridy 2016. North African Countries production and export structure: Towards diversification and export sophistication strategy. *Canadian Journal of Development,* 37(2), pp.217-238.

Kaldor, N. 1967. Strategic Factors in Economic Development (New York: Ithaca, New York State School of Industrial and labour Relations, Cornell University).

Kao, S; Bera A. 2016. Spatial Regression: The Curious Case of Negative Spatial Dependence. Working Paper, 2016.

Keller W. 1997. Are international R&D spillovers trade-related ? Analyzing spillovers among randomly matched trade partners. NBER 6065.

Keller W. 1996. Absorptive capacity: on the creation and acquisition of technology in development. Journal of Development Economics, 49 : 199-227.

Kremer, M. 1993. The O-ring theory of economic development. Quarterly Journal of Economics, 108, 551-575.

Korinek J., Sourdin, P. 2011. To What Extent Are High-Quality Logistics Services Trade Facilitating?. OECD Trade Policy Papers 108.

Lall, S. 1992. Technological capabilities and industrialization. World Development, 20, 165-188.

Le Gallo J,. 2002. Économétrie spatiale : l'autocorrélation spatiale dans les modèles de régression linéaire. *Économie et Prévision*, Programme National Persée, vol. 155(4), pages 139-157.

LeSage, J.P., Pace, R.K.. 2009. Introduction to Spatial Econometrics, Boca Raton, Taylor & Francis.

Lewis, A. 1955. The theory of economic growth. Irwin, Homewood, IL.

Liesner, H.H. 1958. The European common market and British industry. Economic Journal 68: 302–16.

Lucas, R. E. Jr. 1988. On the mechanics of economic development. Journal of Monetary Economics, 22, 3-42.

Lucas, R. E. Jr. 1993. Making a miracle. Econometrica, 61(2), 251-272.

Mankiw, G, D. Romer, D. Weil. 1992. A Contribution to the Empirics of Economic Growth. The Quarterly Journal of Economics, 1992, 107, 407-437

Marouani, M, Mouelhi R,. 2013. Contribution of Structural Change to Productivity Growth: Evidence from Tunisia. *ERF Working Paper,* n°785.

McMillan M., Rodrik D. 2011. Globalization, Structural Change and Productivity Growth.

NBER Working Paper No. 17143.

Neven D. and Gouyette, C. (1995), "Regional Convergence in the European Union", *Journal of Common Market Studies*, 33, 47-65.

Poncet S,, Waldemar F. 2015. Product relatedness and firm exports in China. World Bank Economic Review, vol. 3(29), p.579-605, 2015.

Poncet S, DE Waldemar, M. 2013. Export Upgrading and Growth: The Prerequisite of Domestic Embeddeness. *World Development* Vol. 51, pp.104-118, 2013.

Rodrik, D,. 2006. What's So Special about China's Exports? . China and World Economy, 14 (5), p. 1-19.

Rostow, W.W. 1959. The stages of economic growth. Economic History Review, 12(1), 1-16.

Sala-i-Martin, X. (1996), "Regional cohesion: Evidence and Theories of Regional Growth and Convergence", *European Economic Review*, 40, 1325-1352.

Solow, R. 1956. A Contribution to the Theory of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 70, 1, 65-94.

Syrquin, M. 1988. Structural Change and Economic Development: The Role of the Service Sector. Journal of Development Economics, 28(1): 151-154.

Syrquin, M. 1986. Economic Growth and Structural Change in Israel: An International Perspective.In Y. Ben-Porath, ed., The Israeli Economy: Maturing through Crises. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Upton, G.J., B. Fingleton. 1985. Spatial Data Analysis by Example. Volume 1: Point

Pattern and Quantitative Data. New York: Wiley.

Annexe 1. Liste des pays

Pays à revenu élevé	Australia, Austria, Bahrain, Belgium, Canada, Chile, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Equatorial Guinea , Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hong Kong SAR, China, Iceland, Ireland, Israel, Italy, Japan, Korea, Rep., Kuwait, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, New Caledonia, New Zealand, Norway, Oman, Poland, Portugal, Qatar, Russian Federation, Saudi Arabia, Singapore, Slovak Republic, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, United Arab Emirates, United Kingdom, United States, Uruguay.
Pays à revenu intermédiaire	Albania, Algeria, Angola, Argentina, Armenia, Bolivia, Botswana, Brazil, Bulgaria, Cameroon, China, Colombia, Congo, Rep., Costa Rica, Cote d'Ivoire, Cuba, Djibouti, Dominican Republic, Ecuador, Egypt, Arab Rep., Gabon, Ghana, Guatemala, Guyana, Honduras, Hungary, India, Indonesia, Iran, Islamic Rep., Iraq, Jamaica, Jordan, Lao PDR, Lebanon, Libya, Macedonia, FYR, Malaysia, Mauritania, Mauritius, Mexico, Morocco, Nigeria, Philippines, Romania, Senegal, Serbia, South Africa, Sudan, Swaziland, Syrian Arab Republic, Thailand, Tunisia, Turkey, Ukraine, Venezuela, RB, Vietnam, Yemen.
Pays à revenu faible	Afghanistan, Benin, Burkina Faso, Burundi, Cambodia, Central African Republic, Chad, Congo, Dem. Rep., Ethiopia, Gambia, The, Guinea, Haiti, Kenya, Korea, Dem. Rep., Liberia, Madagascar, Malawi, Mali, Mozambique, Nepal, Niger, Rwanda, Sierra Leone, Somalia, Tanzania, Togo, Uganda, Zimbabwe.
Pays Mena	Algeria, Bahrain, Egypt, Iran, Iraq, Israel, Jordan, Kuwait, Lebanon, Libya, Morrocco, Oman, Qatar, Saudi Arabic, Syria, Tunisia, Turkey, United Arab Emirates, Yemen**.**
Pays de l'UE	Austria , Belgium, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland , France, Germany, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta , Netherlands, Poland, Portugal, Slovak Republic, Slovenia , Spain , Sweden, United Kingdom.

Annexe 2. Indicateurs et Sources

Indicateurs	Description	Source
ICE	Indice de complexité économique (Hidalgo et al, 2007)	Observatoire de la complexité économique du MIT (2016)
Pib/tête	Pib par habitant en dollars courants	WDI (2015)
Innov	Indice de création technologique composé de: (i) nombre de brevets subventionnés pour 1 million de personnes; (ii) Nombre de publications dans un journal scientifique pour un million de personnes i	World Intellectual Property Organization, (WDI, 2016)
KH	Indice de capital humain composé de : (i) Taux d'alphabétisation total des adultes (% des personnes au-dessus de 15 ans), (ii) Inscriptions en éducation tertiaire pour 100,000 habitants, (iii) Moyennes d'années des adultes scolarisés	WDI, UNESCO, UNDP (2016)
Corrupt	Degré de corruption dans le système politique	PRS-ICRG (2014)
IVE	Indice de vulnérabilité économique et structurelle (Guillaumont et al, 2007)	Ferdi (2015)
RN	Bénéfices tirés des ressources naturelles en % du PIB	WDI (2015)
IPL	Indice basé sur l'efficacité des processus de dédouanement, la qualité des infrastructures commerciales et des infrastructures de transports connexes, la qualité des services d'infrastructure. (1=faible et 5=élevée).	WDI (2015)
Urban	Population urbaine en % de la population totale	WDI (2015)

Annexe 3. Statistiques descriptives

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
ICE	4123	-.0051537	1.016123	-2.78258	2.71882
Pib/tête	4123	8577.695	13455.7	64.8102	99635.9
IVE	4123	20.70195	18.84509	0	68.7564
Corrupt	4061	-3.331618	4.728947	-16.2542	2.42965
Innov	4123	.0613307	.1305796	0	.9175428
KH	4123	.5058429	.3654872	0	.9689745
IPL	4123	2.68352	.8886603	1	6.29
RN	4123	10.62046	14.33095	4.10e-06	98.0991
Urban	4123	56.15055	22.75307	8.534	100
Gafta	4123	.0390492	.1937356	0	1
PA	4123	.1290323	.3352763	0	1

Annexe 4. Matrice de corrélation et test de *Variance Inflation Factor*

Annexe 4a. Matrice de corrélation entre les variables du modèle

	lnICE	lnPib/tête	lnIVE	lnCorrupt	lnInnov	lnKH	lnIPL	lnRN	lnUrban	GAFTA	PA
lnICE	1.0000										
lnPib/tête	0.6399	1.0000									
lnIVE	-0.6091	-0.5118	1.0000								
lnCorrupt	0.1179	0.3149	-0.1066	1.0000							
lnInnov	0.5404	0.6471	-0.4925	0.2128	1.0000						
lnKH	0.5630	0.5303	-0.5763	0.1398	0.4266	1.0000					
lnIPL	0.5339	0.5809	-0.3911	0.2003	0.5401	0.4371	1.0000				
lnRN	-0.5454	-0.2817	0.3722	-0.0461	-0.3739	-0.2644	-0.3568	1.0000			
lnUrban	0.5359	0.7503	-0.4001	0.1955	0.4076	0.5368	0.4484	-0.2017	1.0000		
Gafta	-0.0753	0.1355	0.0830	0.1240	-0.0757	0.0434	0.0139	0.2053	0.1278	1.0000	
PA	0.0403	0.1922	-0.0106	0.2503	0.0520	0.0264	0.0449	0.0517	0.0697	0.1614	1.0000

Annexe 4b. Test VIF

Variable	VIF	1/VIF
lnPib/tête	4.06	0.246351
lnUrban	2.58	0.387610
lnInnov	2.11	0.472833
lnKH	1.86	0.538499
lnIVE	1.82	0.548605
lnIPL	1.73	0.579184
lnRN	1.32	0.757305
lnCorrupt	1.17	0.853642
Gafta	1.15	0.870851
PA	1.13	0.883182
Mean VIF	**1.89**	

Annexe 5. Test de stationnarité des variables

Ho: Panels contain unit roots

Ha: Panels are stationary

	Lin Levine et Chu				Ordre d'intégration
	En niveau		En différence 1ere		
	LLCcal	p-value	Statistic	p-value	
LnICE	-5.07	0.0000	-	-	I(0)***
LnIPL	-19.24	0.0000	-	-	I(0)***
LnKH	-1.2516	0.0100	-	-	I(0)**
LnCorrup	15.65	1.0000	-25.60	0.0000	I(1)***
LnIVE	3.34	0.9996	-4.45	0.0000	I(1)***
LnInnov	-1.8183	0.0300	-	-	I(0)**
LnPib/tete	-4.24	0.0000	-	-	I(1)***
LnRN	-10.74	0.0000	-	-	I(0)***
LnUrban	-14.81	0.0000	-	-	I(0)***
GAFTA	30.04	1.0000	36.96	0.0000	
PA	20.1681	1.0000	-27.8117	0.0000	I(1)***

	Breitung				Ordre d'integration
	En niveau		En différence 1ere		
	Lambda Statistic	p-value	Lambda Statistic	p-value	
LnICE	-3.8104	0.0001	-	-	I(0)***
LnIPL	-25.8935	0.0000	-	-	I(0)***
LnKH	13.1673	1.0000	-22.741	0.0000	I(1)***
LnCorrup	21.3429	1.0000	14.2670	0.0000	I(1)***
LnIVE	5.5876	0.0000	-	-	I(0)***
LnInnov	4.1774	1.0000	-22.131	0.0000	I(1)***
LnPib/tete	16.2791	1.0000	-27.1894	0.0000	I(1)***
LnRN	-6.3267	0.0000	-	-	I(0)***
LnUrban	35.6331	1.0000	4.5690	0.0000	I(1)***
GAFTA	-0.2240	0.4114	-	-	
PA	0.000	0.500	-43.15	0.0000	I(1)***

	Harris-Tzavalis				Ordre d'intégration
	En niveau		En différence 1ere		
	Rho Statistic	p-value	Rho Statistic	p-value	
LnICE	0.53	0.0000	-	-	I(0)***
LnIPL	0.49	0.0000	-	-	I(0)***
LnKH	0.8663	0.0000	-	-	I(0)***
LnCorrup	0.87	0.0000	-	-	I(0)***
LnIVE	0.96	1.0000	0.1030	0.0000	I(1)***
LnInnov	0.949	1.0000	-0.2512	0.0000	I(1)***
LnPib/tete	0.98	1.0000	0.1744	0.0000	I(1)***
LnRN	0.58	0.0000	-	-	I(0)***
LnUrban	0.9706	1.0000	0.8648	0.0000	I(1)***
GAFTA	0.9510	1.0000	-0.0848	0.0000	I(1)***
PA	0.963	1.0000	-0.0357	0.0000	I(1)***

I(0) : série stationnaire en niveau ou intégrée d'ordre 0

I(1) : série stationnaire en différence première ou au niveau du trend ou encore intégré d'ordre

Annexe 6. Résultats des estimations du modèle 1

Annexe 6a. Résultats du modèle 1 dans les 133 pays, sur la période de 1984-2014

	(1)	(2)	(3)
lnICE	MCO	HT	IV
$lnICE_{t-1}$			
lnPib/tête	**0.0262*** **	**0.0330*** **	**0.0766*** **
	(0.00551)	(0.00573)	(0.0107)
lnIVE	**-0.0980*** **	**-0.111*** **	**-0.0784*** **
	(0.00937)	(0.0214)	(0.00891)
lnCorrupt	**-0.0434*** **	**-0.0310*** **	**-0.0435*** **
	(0.00749)	(0.00814)	(0.00876)
lnInnov	**0.152** **	0.0808	0.134
	(0.0733)	(0.0797)	(0.0841)
lnKH	0.00837	**-0.112***	-0.00863
	(0.0489)	(0.0619)	(0.0518)
lnIPL	0.0142	0.000119	**0.608*** **
	(0.0142)	(0.0144)	(0.0895)
lnRN	**-0.0221*** **	**-0.0133*** **	**-0.0311*** **
	(0.00424)	(0.00438)	(0.00498)
lnUrban	**0.277*** **	**0.262*** **	**0.253*** **
	(0.0229)	(0.0280)	(0.0246)
Gafta	**-0.0321*** **	**-0.0302*** **	**-0.0493*** **
	(0.00588)	(0.00590)	(0.00751)
PA	**0.0236*** **	**0.0262*** **	**0.0358*** **
	(0.00326)	(0.00331)	(0.00442)
Constant	0.206***	0.273***	0.172***
	(0.0375)	(0.0508)	(0.0386)
Observations	4,123	4,123	4,123
R-squared		0.061	
Number of country	133	133	133

Annexe 6b. Résultats du modèle 1 dans les pays à revenu élevé, 1984-2014.

HIGH	(1)	(2)	(3)
lnICE	MCO	HT	IV
lnPib/tête	**0.0126****	**0.0109***	**0.0661*****
	(0.00626)	(0.00623)	(0.0251)
lnIVE	**-0.0661*****	**-0.0865*****	**-0.0505*****
	(0.00921)	(0.0330)	(0.0174)
lnCorrupt	**-0.0659*****	**-0.0544*****	0.00393
	(0.00908)	(0.00948)	(0.0236)
lnInnov	**0.120****	0.0654	0.0176
	(0.0466)	(0.0527)	(0.0690)
lnKH	-0.0710	-0.0319	-0.0879
	(0.0439)	(0.0491)	(0.0643)
lnIPL	0.00309	-0.0229	**0.667*****
	(0.0195)	(0.0193)	(0.206)
lnRN	**-0.0143*****	**-0.00869****	**-0.0117****
	(0.00340)	(0.00341)	(0.00469)
lnUrban	-0.0158	**-0.147****	**-0.228*****
	(0.0344)	(0.0655)	(0.0809)
Gafta	0.00368	0.00377	-0.00962
	(0.00507)	(0.00517)	(0.00800)
PA	**0.00690****	**0.00854*****	**0.0300*****
	(0.00291)	(0.00286)	(0.00789)
Constant	0.682***	0.931***	0.974***
	(0.0636)	(0.126)	(0.130)
Observations	1,333	1,333	1,333
R-squared		0.062	
Number of country	43	43	43

Annexe 6c. Résultats du modèle 1 dans les pays à revenu intermédiaire, 1984-2014.

MIDDLE	(1)	(2)	(5)
lnICE	MCO	HT	IV
lnPib/tête	**0.0498*** **	**0.0553*** **	**0.110*** **
	(0.00767)	(0.00776)	(0.0138)
lnIVE	**-0.101*** **	**-0.272*** **	**-0.0803*** **
	(0.0116)	(0.0284)	(0.0118)
lnCorrupt	**-0.0369*** **	**-0.0342*** **	**-0.0528*** **
	(0.0108)	(0.0112)	(0.0137)
lnInnov	**2.057*** **	**2.489*** **	**1.545** **
	(0.584)	(0.619)	(0.718)
lnKH	-0.0167	**-0.299*** **	-0.0696
	(0.0653)	(0.0922)	(0.0748)
lnIPL	**0.0366***	0.0110	**0.712*** **
	(0.0190)	(0.0192)	(0.109)
lnRN	**-0.0469*** **	**-0.0307*** **	**-0.0583*** **
	(0.00638)	(0.00675)	(0.00780)
lnUrban	**0.311*** **	**0.302*** **	**0.406*** **
	(0.0350)	(0.0410)	(0.0446)
Gafta	**-0.0505*** **	**-0.0495*** **	**-0.0709*** **
	(0.00781)	(0.00774)	(0.0104)
PA	**0.0372*** **	**0.0348*** **	**0.0425*** **
	(0.00492)	(0.00486)	(0.00631)
Constant	0.201***	0.446***	0.0122
	(0.0546)	(0.0749)	(0.0687)
Observations	2,139	2,139	2,139
R-squared		0.135	
Number of country	69	69	69

Annexe 6d. Résultats du modèle 1 dans les pays MENA, 1984-2014.

MENA lnICE	(1) MCO	(2) HT	(5) IV
lnPib/tête	**0.0307****	0.0229	0.00783
	(0.0144)	(0.0150)	(0.0205)
lnIVE	-0.000174	-0.0348	-0.000145
	(0.0195)	(0.0504)	(0.0354)
lnCorrupt	**-0.135*****	**-0.0939*****	**-0.110*****
	(0.0194)	(0.0204)	(0.0263)
lnInnov	**1.208*****	**2.550*****	**1.409****
	(0.398)	(0.711)	(0.678)
lnKH	0.0520	**-0.177***	-0.192
	(0.0942)	(0.103)	(0.138)
lnIPL	-0.0326	**-0.0758****	**0.564****
	(0.0296)	(0.0295)	(0.223)
lnRN	**-0.0679*****	**-0.0451*****	-0.0149
	(0.0139)	(0.0168)	(0.0252)
lnUrban	-0.0726	**-0.320*****	-0.142
	(0.0832)	(0.107)	(0.125)
Gafta	-0.00143	0.00314	-0.0426**
	(0.00776)	(0.00796)	(0.0187)
PA	0.0132	**0.0171****	**0.0368*****
	(0.00833)	(0.00825)	(0.0135)
Constant	0.664***	1.146***	0.609***
	(0.126)	(0.188)	(0.214)
Observations	589	589	589
R-squared		0.177	
Number of country	19	19	19

Annexe 7. Résultats du modèle de convergence a-spatial MENA-UE, 1984-2014

Modèle de convergence $\Delta\, lnICE_{MENAt} - \Delta\, lnICE_{UEt}$	(2) HT	(5) IV
$\beta(ln\, ICE_{MENAt-1} - ln\, ICE_{UEt-1})$	**-0.533*** **	**-0.0747*** **
	(0.0114)	(0.00515)
lnPib/tête	0.000862	-0.00189
	(0.00193)	(0.00708)
lnIVE	**0.00337**	**0.0139*** **
	(0.00722)	(0.00262)
lnCorrupt	**-0.0136*** **	**-0.00936*** **
	(0.00274)	(0.00343)
lnInnov	**0.138*** **	-0.00482
	(0.0269)	(0.0342)
lnKH	**-0.0926*** **	-0.00803
	(0.0209)	(0.0147)
lnIPL	0.00322	0.0106
	(0.00486)	(0.00699)
lnRN	-0.00220	0.00231
	(0.00147)	(0.00159)
lnUrban	0.0135	0.0148
	(0.00943)	(0.0116)
Gafta	-0.00122	**0.0103*** **
	(0.00200)	(0.00245)
PA	0.00175	0.00250
	(0.00111)	(0.00211)
Constant	-0.0302*	-0.0283**
	(0.0171)	(0.0115)
Observations	4,123	4,123
R-squared	0.361	
Number of country	133	133

Chapitre 3 : L'effet de la complexité économique sur la pollution de l'air

Une autre approche de la Courbe Environnementale de Kuznets

Chapitre 3 : L'effet de la complexité économique sur la pollution de l'air : Une autre approche de la Courbe Environnementale de Kuznets

1. Introduction

Le changement climatique principalement dû à l'accumulation de gaz à effet de serre, dont le principal est le dioxyde de carbone (CO2), représente aujourd'hui un problème sérieux pour l'humanité[25]. Une progression sensible de la pollution apparaît depuis les trois dernières décennies. Les émissions de CO2 en provenance des pays de l'OCDE ont doublé sur la période 1984-2014 avec néanmoins une légère diminution suite à l'entrée en vigueur du protocole de Kyoto (2005). L'émission des pays de l'OCDE est significativement supérieure à la quantité de CO2 émise par les autres régions du monde, à l'exception des pays de l'Asie du Sud-Est. La région méditerranéenne, l'Amérique latine et l'Afrique subsaharienne ont, elles, doublé leurs émissions de CO2 sur la période 1984-2014, et leurs émissions ne représentent qu'1/6 de la quantité émise par les pays de l'OCDE et d'Asie du Sud-Est (annexe 1, graphique 1). Si l'on envisage les émissions par habitant, la région MENA figure parmi les économies en développement les plus émettrices de gaz à effet de serre, mais elle reste néanmoins largement derrière les pays de l'OCDE (annexe 1, graphique 2).

L'impact du développement économique sur la qualité de l'environnement a été largement discuté dans la littérature économique. L'étude de Grossman et Krueger (1991, 1994, 1995) notamment a fait l'objet d'un consensus grandissant sur l'existence d'une relation en forme de U inversé entre le revenu par habitant et la pollution : on parle alors de la courbe environnementale de Kuznets (CEK). A la suite de ce travail théorique, de nombreuses études empiriques ont justifié l'hypothèse de la CEK (Stern et al., 1996 ; Ekins, 1997 ; Stern et Common, 2001...). Toutefois elles ont pu être critiquées de différentes manières. En particulier, les types d'activités économiques à la base de la croissance ont des intensités de pollution qui diffèrent (Antweiler et al., 2001). Ainsi, il peut être judicieux de déterminer si la réduction relative de la pollution observée dans les pays à partir d'un

[25] Par exemple, l'Organisation mondiale de la Santé (2014) annonce que près de 7 millions de personnes sont décédées prématurément en 2012 du fait de l'exposition à la pollution de l'air.

certain seuil est le résultat de changements dans les structures sectorielles au-delà de l'effet du niveau de développement.

Dans ce travail, nous utilisons le cadre théorique de la CEK pour tester l'effet sur l'environnement de la structure sectorielle et de l'usage de produits moins polluants, en considérant un panel dynamique de 133 pays. Notre démarche est singulière dans le choix de l'indicateur relatif à l'effet de structure : il s'agit de l'indice de complexité économique (ICE) (Hidalgo et al., 2009) qui reflète les capacités d'exportation d'une économie basée sur la « qualité des produits ». Cet indicateur est en règle générale utilisé pour caractériser la place des pays dans le commerce international mais jamais sur les questions environnementales. ICE intervient comme variable explicative en complément du revenu par habitant dans la CEK. En testant la complexité économique, nous essayons de démontrer des trajectoires autres que la CEK classique puisque nous introduisons un élément plus particulier qui joue sur l'environnement au-delà du simple revenu par habitant. Nous réalisons des estimations sur l'ensemble des pays considérés mais aussi pour les groupes de pays à revenu élevé, intermédiaire, faible, ainsi que les pays d'Afrique du Nord et du Proche-Orient (MENA). Il apparaît en particulier que le groupe des pays à revenu élevé connaît une intensité de pollution par habitant plus importante dans ses premiers stades de transformation structurelle et qui tend à diminuer au-delà d'un certain seuil.

Notre travail est organisé autour de 4 sections. Dans la deuxième section, nous exposons les éléments de littérature consacrés au modèle CEK et notamment la caractérisation des effets d'échelle, technique et de structure pouvant conditionner les émissions de CO2. Dans une troisième section, nous proposons une nouvelle spécification du modèle CEK introduisant notamment l'indice de complexité économique, et qui est estimé en nous basant sur un panel de 133 pays sur la période 1984-2014. La quatrième section est consacrée à l'analyse des résultats en considérant l'ensemble des pays puis les groupes de pays selon leur niveau de développement. La section 5 conclut.

2. La courbe environnementale de Kuznets : revue de la littérature

2.1. La construction théorique de la CEK

Kuznets (1955) tend à déceler une relation en U inversé entre le niveau de revenu par tête et les inégalités sociales. Transposé dans le domaine de l'environnement, différentes études ont laissé apparaître une relation en U inversé entre la pollution et le niveau de revenu par tête des pays. On parle alors de « courbe environnementale de Kuznets » (Grossman et Krueger, 1991 ; Panayotou, 1993). A des niveaux de revenu par habitant très faibles, la quantité et l'intensité de pollution d'origine anthropique se limitent à l'impact des activités économiques de subsistance. Avec l'urbanisation, l'intensification de l'agriculture et le décollage industriel, les émissions de polluants augmentent fortement. Dans les pays en développement, la partie montante de la CEK est la conséquence de l'augmentation du PIB par tête.

De manière générale, l'évolution de la courbe en cloche a pu être expliquée par trois effets. Le premier est l'effet d'échelle, où une augmentation de l'activité économique conduit, en elle-même, à une pression plus forte sur l'environnement : plus de production nécessite plus d'inputs et crée ainsi plus de déchets et d'émissions polluantes. Le deuxième est l'effet de composition sectorielle, où à mesure que les richesses s'accumulent la structure du système productif d'une économie évolue. Par exemple, le déclin de la part des industries lourdes intensives en énergie et le développement des secteurs de services intensifs en technologie et en capital humain desserrent la contrainte écologique en diminuant l'intensité des émissions.

Le troisième est l'effet technique, où l'éducation, les innovations et le développement des activités de R&D peuvent conduire à l'utilisation de produits moins polluants et à une meilleure efficacité écologique des procédés de fabrication. Par exemple, les innovations permettent de remplacer des machines polluantes par des équipements plus performants sur le plan environnemental.

L'existence d'une CEK suppose qu'au-delà d'un seuil de revenu par tête, l'effet de composition et l'effet technique peuvent contrebalancer l'effet d'échelle, au point d'amener une réduction relative de la pollution (Stern, 2003).

2.2. La littérature empirique

Une vaste littérature explore la portée empirique de la CEK, avec des résultats divers (voir par exemple Stern et al., 1996 ; Ekins, 1997 ; Heil et Selden, 1999). Richmond et Kaufmann (2006) réfutent la présence d'une quelconque relation entre pollution et croissance économique, alors que Shafik (1994) et Azomahou et al. (2006) révèlent un lien plutôt linéaire. Bien que certains travaux identifient une courbe en U inversé (Lean et Smyth, 2010b ; Saboori et al., 2012...), d'autres contributions concluent que la forme des non linéarités entre pollution et croissance peut être plus complexe que ne le suggère la CEK (par exemple Shafik, 1994, Friedl et Getzner, 2003, Ren, 2014, concluent à la présence d'une relation en N).

C'est pour tenter d'expliquer cette absence de consensus que des études plus récentes ont proposé d'amender la relation entre pollution et croissance économique, en étudiant sa sensibilité à la présence d'autres variables qui conditionnent le lien croissance-pollution. Ainsi, l'introduction des variables additionnelles est la voie la plus souvent suivie dans les travaux récents. Il peut s'agir par exemple de la consommation d'énergie (Ang, 2008,2009 ; Apergis and Payne, 2009 ; Halicioglu, 2009 ; Jalil et Mahmoud, 2009 ; Lean and Smyth, 2010 ; Arouri et al., 2012), de l'urbanisation (Zhang et Cheng, 2009 ; Hossain, 2011 ; Sharma, 2011), de la qualité des institutions (Lopez et Mitra, 2000; Dasgupta et al., 2002; Cole, 2003, 2004 ; Friedl et Getzner, 2003; Copeland et Taylor, 2004; Bernauer et Koubi, 2009; Biswas et al., 2012), du développement financier (Ozturk et Acaravci, 2013; Omri et al., 2015), des investissements directs étrangers ou encore de l'ouverture du commerce.

Sur ce dernier point, la relation commerce international/pollution appliquée à divers pays ou périodes reste ambiguë (Copeland et Taylor, 1994, 1997 ; Cole et Elliot, 2003 ; Frankel et Rose, 2005 ; Managi, Hibiki, et Tsurumi, 2009 ; Halicioglu, 2009 ; Jalil et Mahmoud, 2009 ; Nasir et Rehman, 2011 ; Jayanthakumaran et al., 2012 ; Tiwari et al., 2013 ; Ren et al., 2014). Les travaux d'Ang (2007) pour la France, Jalil et Mahmoud (2009) pour la Chine, Nasir et Rehman (2011) pour le Pakistan, et Omri (2013, 2015) pour les 12 pays de la région MENA tendent à montrer une

courbe de type CEK en incluant la présence du commerce dans la relation environnement-croissance. D'autres auteurs réfutent la significativité de cette variable (e.g. Halicioglu, 2009 ; Ozturk et Acaravci, 2010, pour la Turquie ; Jaunky, 2010 pour 36 pays à revenu élevé ; Menyah and Wolde-Rufael, 2010, pour l'Afrique du Sud). Jalil et Mahmoud (2009) étendent la méthodologie de Halicioglu (2009) au cas de la Chine sur la période 1975-2005. Ils montrent une forme CEK avec un effet (positif mais) non significatif du commerce sur les émissions de CO2.

A la suite de ces travaux, Jayanthakumaran et al. (2012) affirment que, sur les trois dernières décennies, les émissions de CO2 en Chine ont été influencées par le revenu par habitant, la consommation d'énergie et les changements structurels, mais qu'un lien de causalité ne peut être établi pour l'Inde en ce qui concerne les changements structurels et les émissions de CO2. L'Inde dispose d'une économie informelle beaucoup plus importante que celle de la Chine, elle possède en particulier un nombre élevé de micro-entreprises qui sont de faibles consommateurs d'énergie et qui ne sont pas suffisamment compétitives pour atteindre les marchés internationaux.

Un champ de recherche prend en compte les trois effets (effet d'échelle, effet de composition et effet technique) du commerce sur l'environnement. En stimulant la consommation et la production domestique, le libre-échange commercial peut entraîner une dégradation de l'environnement (effet d'échelle) (Dasgupta et al., 2002). En sens inverse, un effet technique peut suivre, dû aux efforts possibles de dépollution et au renforcement des réglementations environnementales avec le développement du commerce extérieur (Antweiler et al., 2001). L'effet de structure enfin se manifeste sur les conditions écologiques lorsque les échanges extérieurs impliquent une transformation des structures productives du pays. L'effet net du commerce sur l'environnement dépend du bilan de ces trois effets. Empiriquement, Copeland et al. (1998) ont étudié l'effet d'échelle et l'effet technique engendrés par l'échange international. Il apparaît qu'une libéralisation des échanges qui augmente l'échelle de l'activité économique de 1% accroît les concentrations de pollutions de 0,25 à 0,5 % à travers l'effet d'échelle. Cependant, l'augmentation des revenus par tête pousse ces niveaux de pollution vers le bas de 1,25 à 1,5% à travers l'effet technique.

Des recherches critiquent aussi les formes fonctionnelles utilisées et proposent des spécifications non paramétriques pour étudier la CEK. Les résultats d'Azomahou et al. (2006) révèlent une

relation monotone entre la pollution et le revenu par habitant où, d'une part, la pollution est déterminée par la consommation d'énergie, le PIB et le commerce extérieur et où, d'autre part, le revenu par habitant est aussi déterminé par les émissions de CO2, la consommation d'énergie et le commerce extérieur. Des études comme celles de Stern (2002) et Auci et Becchetti (2006) ont essayé de prendre également en compte l'effet de la structure de l'économie et l'effet du progrès technique. Leurs estimations ne vérifient pas une CEK car l'impact du PIB par habitant sur les émissions de CO2 paraît conditionné par les effets de l'industrie et de l'infrastructure d'approvisionnement en énergie.

De ces différents travaux, nous pouvons avancer que plusieurs facteurs concourent à l'évolution de la pollution et distinguent les pays au-delà de leur niveau de revenu. Dès lors, la tendance à la hausse de la pollution décrite par la CEK peut ne pas être vérifiée de la même manière pour les économies à revenu faible et intermédiaire. Il apparaît que la réduction de la pollution perceptible dans les économies développées peut être largement expliquée par une transformation structurelle de leur appareil productif. De manière générale, il convient de prendre en compte d'une façon ou d'une autre le jeu combiné des effets d'échelle, des effets de structure et des effets techniques pour caractériser l'évolution du niveau de pollution. Nous proposons ainsi de tester la relation CEK en introduisant ces trois effets et tout particulièrement une variable représentative de l'effet de structure : le niveau de complexité économique.

3. Modélisation et stratégie empirique

3.1. Spécification du modèle et choix des variables

De manière générale, le modèle permettant de tester l'existence d'une CEK repose sur l'équation suivante :

$$Co2/t\hat{e}te_{it} = \alpha_0 + \alpha_1\ Pib/t\hat{e}te_{it} + \alpha_2\ Pib/t\hat{e}te_{it}^2 + \sum \delta X_{\ it} + \ \varepsilon_{it}$$

avec $Co2/t\hat{e}te_{it}$, la dégradation environnementale d'un pays i à l'instant t, $Pib/t\hat{e}te_{it}$ le PIB par habitant, X un ensemble de variables de contrôle et ε_{it} le terme d'erreur. La forme de la courbe est

déterminée par les paramètres α_1 et α_2. La relation entre Co2/tête et Pib/tête admet l'hypothèse d'une courbe environnementale de Kuznets si $\alpha_1 > 0$ et $\alpha_2 < 0$.

L'objectif principal de cet article consiste à rendre compte plus ou moins distinctement dans cette relation des effets d'échelle, de structure productive et des effets techniques. Ainsi, le modèle que nous retenons se présente sous la forme suivante :

$$\ln CO2/\text{tête}_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 lnICE_{it} + \alpha_2 \ln(ICE)^2_{it} + \alpha_3 lnPIB/\text{tête}_{it} + \alpha_4 lnInnov_{it} + \alpha_5 lnEduc_{it} + \alpha_6 lnEnergy_{it} + \alpha_7 lnGouv_{it} + \alpha_8 lnUrban_{it} + \alpha_9 lnIDE_{it} + \alpha_{10} Kyoto_{it} + \alpha_{11} OMC_{it} + \beta \ln CO2/\text{tête}_{it-1} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it}$$

La variable expliquée ***CO2/tête$_{it}$*** correspond aux émissions de CO2 par habitant d'un pays i à l'instant t. Le rapport au nombre d'habitants permet de corriger l'effet dû à la taille des populations des pays considérés. Le choix de cette variable a été validé par de nombreux travaux pour des polluants aux effets locaux (Meunié, 2004) comme les émissions de dioxyde de carbone ou encore de dioxyde de soufre (Shafik et al., 1992 ; Kaufmann et al., 1998).

Concernant les variables explicatives, ICEit le niveau de complexité économique d'un pays i à l'instant t traduit l'effet de structure ; Pib/tête le revenu par habitant traduit l'effet d'échelle ; Innov et Educ traduisent d'une certaine manière les effets techniques ; Gouv, Urban, IDE sont des variables de contrôle ; Kyoto et OMC des variables dummies ; μ_i les éventuels effets fixes ; γ_t les effets temporels et ε_{it} les erreurs de spécification.

Le Pib par habitant (en dollars courants) ***Pib/tête***$_{it}$ est habituellement retenu dans la plupart des travaux s'intéressant à la courbe en U inversé. Cette variable traduit principalement l'effet d'échelle. Un signe positif est attendu dans la mesure où pour la plupart des pays, les autres effets donnés, la croissance du revenu par habitant implique une dégradation de l'environnement.

L'indice de complexité économique ***ICE$_{it}$*** (Hausmann et al., 2007. Hidalgo et al., 2009 ; Poncet et al., 2013) est un indicateur utilisé pour rendre compte des déterminants économiques du commerce

(les dotations d'une économie en facteur travail, capital et technologique) (voir Annexe 2). Il paraît pouvoir être pertinent ici pour caractériser les structures productives d'une économie. ICE intervient dans le modèle comme une variable complémentaire au revenu par habitant. Une question peut cependant être posée sur la pertinence de cette variable : la matrice de corrélation (Annexe 3a) indique une corrélation sensible (R = 0,598) entre ICE et le PIB/tête en prenant en compte l'ensemble des 133 pays sur la période 1980-2012. Le graphique donné en Annexe 4 montre que si les deux variables ICE et PIB/tête présentent des valeurs moyennes croissantes en allant des pays à faible revenu vers les pays à revenu intermédiaire puis vers les pays à revenu élevé, une corrélation significative n'apparaît entre elles que dans le groupe des pays développés. Il y a peu de corrélation au sein du groupe de pays à revenu intermédiaire (R = 0,25) sinon aucune dans le groupe des pays à revenu faible (R = 0,05). Cela justifie, malgré la corrélation apparemment importante, le choix de cette variable en complément du PIB par tête.

Nous considérons des variables *proxies* des effets techniques[26] pouvant amener la production ou l'utilisation de produits moins polluants : la création technologique $\boldsymbol{Innov_{it}}$ et les dépenses publiques en éducation $\boldsymbol{Educ_{it}}$ (signe négatif attendu). Par ailleurs, nous introduisons une variable de contrôle institutionnelle telle que la stabilité du gouvernement $\boldsymbol{Gouv_{it}}$ (signe négatif attendu) dont le rôle a été montré dans la littérature en matière de viabilité à long terme de l'environnement et de conservation des ressources naturelles.

D'autres variables de contrôle sont également prises en compte telles que le taux d'urbanisation (population urbaine en % de la population totale) $\boldsymbol{Urban_{it}}$ (signe positif attendu) et la consommation d'énergie par habitant $\boldsymbol{Energy_{it}}$, dont la littérature montre l'incidence sur la dégradation de l'environnement, et qui présentent une certaine corrélation avec le PIB par tête (voir Annexe 3a).

[26] A défaut de variables appliquées à l'utilisation des biens plus écologiques. Les données que nous avons tenté de récolter pour capter l'ensemble des innovations écologiques comme par exemple les dépenses de protection de l'environnement ou encore la production primaire d'énergies renouvelables concerne un échantillon très restreint de pays.

L'effet sur l'environnement de l'investissement direct étranger $\boldsymbol{IDE_{it}}$ (en % du PIB) a été souligné à plusieurs reprises. Cette variable peut avoir, selon la littérature, des effets contraires. D'une part, des IDE peuvent permettre une amélioration de la qualité de l'environnement en apportant des technologies modernes (Birdsall et Wheeler, 1993 ; Esty et Gentry, 1997 ; Gentry, 1998). D'autre part, l'IDE peut reposer sur la délocalisation des firmes multinationales très polluantes, ce qui implique une dégradation de l'environnement notamment chez les pays à faible revenu.

Outre ces éléments, d'autres variables peuvent être considérées. Par exemple, O'Connor (1994) a pris en considération les mesures prises par les pouvoirs publics, essentiellement les réglementations environnementales. Dans cet esprit, nous introduisons deux variables muettes : l'effet sur les émissions de CO2 de l'entrée en vigueur du protocole de Kyoto ($\boldsymbol{Kyoto_{it}}$, de valeur 1, sinon 0, signe négatif attendu) et de l'impact de l'OMC ($\boldsymbol{OMC}_{it}$, 1 pour les pays membres de l'OMC et 0 sinon, signe négatif attendu). Les économies des pays signataires des conventions internationales sur l'environnement telles que la convention de Stockholm sur les organiques persistants polluants ont eu un effet déterminant dans la préservation de l'environnement. Très peu d'études prennent en compte ces effets. Nous considérons un échantillon de 133 pays qui couvre une période de 31 années (1984-2014). Les données utilisées sont issues des bases de la Banque mondiale (2016) exceptées les données sur l'ICE qui proviennent de l'Observatoire de la complexité économique du MIT. (Annexe 6-7)

3.2. Procédure d'estimation

Le choix des variables et de la régression a été déterminé à partir du modèle de base de Grossman et Krueger (1991). Le modèle empirique a été ajusté et vérifié par le test VIF (annexe 3b) afin d'éliminer un éventuel biais de multicolinéarité entre des variables explicatives suggéré par la matrice de corrélation[27].

Nous jugeons des biais d'autocorrélation, d'hétéroscédastiticité et d'endogénéité pouvant apparaitre dans l'échantillon, dans le modèle à forme quadratique. Le test de Wooldridge pour l'autocorrélation sur des données de panel indique une absence de corrélation de premier ordre. L'hétéroscédasticité est vérifiée par le test de Breusch et Pagan[28]. L'hypothèse de présence d'effets aléatoires ne peut pas être rejetée donc l'estimateur GLS paraît plus performant que celui des MCO. D'ailleurs, les résultats du test d'Hausman nous indiquant que la probabilité du test est supérieure au seuil de 10 %, l'hypothèse H0 ne peut être rejetée. Nous devons donc privilégier l'adoption d'un modèle à effets aléatoires et retenir l'estimateur GLS[29]. Une telle méthode d'estimation paraît ainsi plus appropriée qu'une estimation à effets fixes, sous l'hypothèse que le terme d'efficience ne soit pas corrélé avec les régresseurs afin d'obtenir le meilleur estimateur linéaire non biaisé.

Mais, concernant l'estimation dynamique, la présence de la variable explicative retardée ($lnCO2/tete_{ijkt-1}$) est considérée comme une source d'endogénéité – justifiée par la présence d'autocorrélation – rendant l'estimateur GLS inefficient (Baltagi, 1995). Ainsi, le recours à l'estimateur dynamique *GMM en Système* de Blundell et Bond (1998) avec une spécification de variance robuste pour l'autocorrélation est plus adapté pour traiter à la fois les différents biais cités précédemment mais aussi pour résoudre les problèmes de biais de causalité inverse et de

[27] Les résultats du VIF sont bien inférieurs à la limite supérieure de 10 (2, 35), ce qui indique que le problème de multicolinéarité est mineur dans nos spécifications.

[28] Le test BP nous indique une hétéroscédasticité importante et significative de l'ordre de 675,6*** pour l'échantillon global.

[29] Les effets individuels et les variables explicatives ne sont pas systématiquement reliés, de sorte que l'estimateur à effets aléatoires est plus adapté à notre modèle.

simultanéité. L'estimateur GMM va contrôler les caractéristiques des pays non observées invariantes et capturer l'impact des changements des variables dans le temps. Afin de garantir la cohérence de cet estimateur construit selon la Méthode des Moments Généralisés, nous avons vérifié l'absence d'autocorrélation moyenne dans les résidus de second ordre pour toutes les estimations.

Les résultats présentés dans le tableau 1 ont fait l'objet de tests de sensibilité en utilisant des estimateurs alternatifs (GLS et GMM) selon les variables explicatives introduites ainsi que les variables muettes (OMC et Kyoto) et les variables d'interactions (logICE*High/ Middle/Low/ MENA) qui figurent dans le tableau 2. Les tests[30] et estimateurs utilisés mettent en évidence la robustesse des résultats : le passage d'un estimateur à un autre n'a pas créé d'instabilité significative dans le signe et la valeur des coefficients estimés.

[30] Test d'hétéroscédasticité, d'hétérogénéité, d'endogénéité concernant la version statique, et le test de Sargan pour la version dynamique.

4. Résultats du modèle : l'effet selon une courbe en U de la complexité économique sur la pollution de l'air

4.1. Analyse globale

Les résultats économétriques donnés dans le tableau 1 nous indiquent que les coefficients estimés relatifs aux trois grands effets considérés sont statistiquement significatifs et leurs signes positifs sont conformes à ceux anticipés.

Le coefficient de la variable ICE relatif à l'effet de composition indique un effet positif et statistiquement significatif sur la pollution (1,2) dans les premiers stades de transformation structurelle et cette tendance décroît à partir d'un certain seuil (-0,8). A plus long terme le coefficient associé à l'ICE est significativement plus faible dans la première phase (0,9) puis décroit dans seconde (-0,25). En revanche, si l'effet n'est pas établi sur la période 1984-2000 (colonne 3), nous observons un effet significativement plus important sur la période 2000-2014 avec un coefficient de 0,7 puis de -0,19 (colonne 4). Ainsi, l'intensité en pollution augmente et s'inverse au-delà d'un certain seuil de complexité, comme cela peut être observé globalement dans le graphique donné en annexe 5. Ce résultat permet d'avancer en la matière l'existence d'une CEK dont le point de retournement se situerait à un niveau de complexité économique de 0,70 à court terme et de 1,8 à plus long terme correspondant au seuil maximal que les pays peuvent atteindre dans les conditions actuelles. L'augmentation de ce seuil s'explique du fait que les économies en croissance essaient de devenir progressivement plus écologique.

Concernant les effets d'échelle, il apparaît qu'une augmentation de 1% du revenu par habitant génère une hausse de 0,52% des émissions de CO2 par habitant à court terme (colonne 2 du tableau 1). A plus long terme le coefficient associé au revenu par habitant est significativement plus faible (0,07%). Concernant les effets techniques, les résultats montrent une relation négative et significative à long terme de l'innovation (-0,3%) ainsi que des dépenses d'éducation (-0,03%) sur la quantité des émissions de CO2/tête, avec un effet significativement plus important à court terme pour l'innovation (-2,6%). Ces résultats soutiennent ainsi l'idée que les effets techniques peuvent dépendre des dépenses accordées au système éducatif et au développement du capital humain et de

l'innovation, à travers une meilleure prise de conscience des enjeux au sujet des questions environnementales.

Les résultats montrent aussi une relation négative et significative à plus long terme de l'innovation (-0,4%) ainsi que des dépenses d'éducation (-0,02%) sur la quantité des émissions de CO2/tête. Avec un effet significativement plus important à court terme pour l'innovation (-2,6%). Ces résultats soutiennent ainsi l'idée que les effets techniques peuvent dépendre des dépenses accordées au système éducatif et au développement du capital humain et de l'innovation, à travers une meilleure prise de conscience des enjeux au sujet des questions environnementales.

Par ailleurs, une augmentation de 1% de la consommation d'énergie par habitant conduit à une hausse de 0,4% des émissions de CO2 par habitant contre à 0,14% à plus long terme, corroborant les travaux récents. L'accroissement des émissions de CO2/tête est également déterminé par le taux d'urbanisation : une augmentation de 1% de cet indicateur génère à court terme une hausse de 0,55% des émissions de CO2 par habitant. La stabilité du gouvernement joue un rôle significatif dans cette relation. Elle tend à amener une réduction de 0,04% des émissions de CO2 par habitant à long terme (colonne 3) avec un effet négatif plus important sur la période 2000-2014 (-1 ,2%).

Les investissements directs étrangers tendent aussi à dégrader l'environnement (coefficient positif et significatif), certainement liés à la délocalisation des activités polluantes vers des pays peu développés. Toutefois, cet effet n'est significatif que sur la période 1984-2000 (colonne 5). L'effet tend à s'inverser sur la seconde période de l'échantillon avec l'apparition d'un coefficient positif et significatif, ce qui nous amène à penser que les IDE tendent à changer de nature et à améliorer à plus long terme la qualité de l'environnement en apportant des technologies modernes et plus écologique.

Par ailleurs, les estimations révèlent l'effet significatif de l'entrée en vigueur du protocole de Kyoto (-0,012%) ainsi qu'un effet plus important encore de l'engagement des membres de l'OMC en faveur du développement durable et de l'environnement (-0,15%). Ce résultat s'explique par des règles et des clauses de protection environnementales renforcées impliquant une réduction de la quantité des émissions de CO2. Enfin, il ressort l'importante présence du phénomène d'hystérèse

à travers l'effet positif et significatif de la variable retardée (0,75%) sur les émissions de CO2/tête. Ceci indique que les émissions de CO2 par habitant correspondent à un processus largement dépendant des conditions passées avec le jeu progressif dans le temps des variables explicatives.

Tableau 1: Résultats de l'estimation pour les 133 pays.

Variable dépendante	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
LogCO2/tête	GLS	GLS	GMM	GMM	GMM
Période	1984-2014	1984-2014	1984-2014	1984-2000	2000-2014
$lnCO2/tête_{t-1}$			**0.728*** **	**0.755*** **	**0.616*** **
			(0.0104)	(0.0191)	(0.0146)
lnICE	**1.526*** **	**1.248*** **	**0.916***	0.0419	**0.723** **
	(0.110)	(0.0864)	(0.0298)	(0.0446)	(0.0438)
$lnICE^2$	**-0.465*** **	**-0.897*** **	**-0.257***	0.00727	**-0.187** **
	(0.152)	(0.121)	(0.0525)	(0.0735)	(0.0765)
lnPib/tête	**0.876*** **	**0.529*** **	**0.0691*** **	**0.0904*** **	**0.0374*** **
	(0.0124)	(0.0143)	(0.00697)	(0.0185)	(0.00830)
lnInnov	**-3.678*** **	**-2.610*** **	**-0.353*** **	**-0.609*** **	**-0.893*** **
	(0.179)	(0.142)	(0.101)	(0.233)	(0.165)
lnEduc	**-0.152*** **	-0.00604	**-0.0304*** **	**0.0305*** **	**-0.0121***
	(0.0216)	(0.0178)	(0.00769)	(0.0106)	(0.0125)
lnEnergy		**0.452*** **	**0.147*** **	**0.116*** **	**0.291*** **
		(0.0115)	(0.0145)	(0.0235)	(0.0223)
lnGouv		**-0.0902** **	**-0.0454*** **	**-0.0743*** **	**-1.261*** **
		(0.0442)	(0.0146)	(0.0173)	(0.387)
lnUrban		**0.553*** **	**0.298*** **	**0.277*** **	**0.376*** **
		(0.0310)	(0.0304)	(0.0532)	(0.0504)
lnIDE		-0.000315	0.000702	**0.00439*** **	**-0.00239*** **
		(0.00196)	(0.000663)	(0.00108)	(0.000848)
Kyoto		-0.00413	**-0.0127*** **	-0.00859	**-0.192*** **
		(0.0143)	(0.00401)	(0.00577)	(0.0553)
OMC		**-0.152*** **	0.00184	0.00316	**-0.0316** **
		(0.0130)	(0.00524)	(0.00662)	(0.0140)
Constant	-3.139***	-3.933***	-0.958***	-1.012***	-2.901***
	(0.0397)	(0.0581)	(0.0536)	(0.0974)	(0.496)

Point de retournement d'ICE	1,65	0,69	1,8	Pas significatif	2
Point de retournement de CO2/tête		0.43	0.81	Pas significatif	0.72
Observations	4,123	4,123	3,990	2128	1995
Number of id	133	133	133	133	133
Overall R-sq	0,73	0,78			
Llikelihood	-1691.2	-635.8			
AR(2) p-value			0,914	0,705	0,591
Sargan p-value			0,754	0,564	0,433

Standard errors in parentheses; *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1. *GLS : Moindre Carrés Généralisés. GMM : Méthode des moments généralisés.*

Le test de Sargan est la statistique du test de validité des instruments, avec la p-value. AR(2) : statistique d'Arellano-Bond du test d'autocorrélation des erreurs respectivement de second ordre avec la p value ; Trois instruments retenus : Pib/tête, Innov et Educ par son retard d'ordre (2).

4.2. Analyse par niveau de revenu et par région

Pour montrer que la relation en U inversé entre la complexité économique et la pollution de l'air peut être spécifique à certains groupes de pays, nous reprenons le modèle sur l'ensemble de la période (1984-2014)[31] en séparant de l'échantillon les pays à revenu élevé (High), intermédiaire (Middle) et faible (Low), selon les catégories de pays retenues par la Banque mondiale (Annexe 8). De manière plus particulière, nous testons l'existence d'une telle relation dans la région MENA, région très hétérogène sur le plan de la croissance et dans une position géopolitique et géo-climatique censée la rendre vulnérable.

Les résultats du tableau 2 révèlent l'effet très significatif du revenu par habitant sur les émissions de CO2 par habitant dans les pays à revenu élevé (0,045***), à revenu intermédiaire (0,048), à revenu faible (0,046) et MENA (0,052). Ces résultats consolident l'hypothèse liée à l'effet d'échelle où la croissance de l'activité économique engendre l'accroissement des émissions de polluants.

Le coefficient associé à la complexité économique est important, significatif et positif dans les premiers stades de transformation structurelle uniquement dans les pays à revenu élevé (0,7) et MENA (0,48) puis devient négatif pour les pays à revenu élevé (-0,16) et les pays MENA (-0,13)[32] à partir d'un certain seuil dont le point de retournement est à un niveau de complexité économique respectivement de 2,18 et 1,84. Ce seuil qui montre une relation en U inversé nous indique d'une certaine manière que la pollution augmente dans les premiers stades de transformation structurelle puis tend à diminuer à partir de ce seuil de complexité économique. Ces pays auront moins d'effort de dépollution dans les années à venir puisqu'ils sont spécialisés dans des domaines complexes

[31] Les estimations des périodes 1984-2000 et 2000-2014 n'ont pas été intégrées comme dans le tableau 2, parce que les coefficients des variables d'intérêts n'étaient pas significatifs.

[32] Valeur des coefficients à court terme. L'effet de ICE dans les pays à revenu élevé est calculé par la somme (log ICE+logICE*High) puis dans la seconde phase par la somme (log ICE2+logICE*High2).

alors que d'autres pays vont encore augmenter leur pollution du fait d'une structure productive moins complexe.

Une courbe en U apparaît dans les pays à revenu faible (composés principalement de pays africains), c'est-à-dire des pays qui sont positionnés au début de la première phase de la courbe (-0,62 puis 0,13). Ce résultat peut être expliqué par leur mode de croissance plus basé sur des industries extractives et à faible technologie correspondant ainsi à la première phase. La seconde phase représentée par un coefficient positif peut être expliquée par l'hypothèse du déplacement, où les industries polluantes (pays à revenu élevé) vont délocaliser leurs activités vers les économies propres (pays à revenu faible) qui auront des coûts environnementaux plus faibles ou des mesures de contrôle de pollution moins contraignantes.

Le budget consacré à l'éducation a un effet significatif pour les pays à revenu à revenu élevé (-0,01) dans la baisse des émissions de CO2 par habitant. Différent du cas des pays à revenu intermédiaire (0,01), faible (0,02) et aucun effet dans les MENA (0,01). Ce résultat peut être expliqué par leur manque de conscience des enjeux environnementaux véhiculé par un système éducatif moins sensibilisé à ce problème climatique. A la différence de l'éducation, la création technologique a un effet très important dans la baisse des émissions de CO2 par habitant essentiellement dans les MENA (-0,79).

L'entrée en vigueur du protocole de Kyoto joue un rôle significatif à long terme dans la réduction d'émission de gaz à effet de serre, les coefficients sont négatifs et similaires dans toutes les régions du monde (0,01). D'autre part, l'adhésion à l'OMC a un effet significatif à 1% dans la réduction des émissions de CO2 par habitant notamment dans les MENA (-0,01) suivie des pays à revenu intermédiaires avec un effet moins net.

L'effet lié à la consommation d'énergie par habitant ainsi que l'effet de l'urbanisation sont très élevés et significatifs dans toutes les régions du monde, ce qui est conforme à la littérature économique. L'effet significativement positif des IDE sur les émissions de polluants nous amène à affirmer une nouvelle fois que l'attractivité des IDE pour de nombreux pays n'offre pas d'amélioration de la qualité de l'environnement surtout dans les pays à revenu faible.

Tableau 2: Résultats de l'estimation CEK par région selon leur revenu, 1984-2014.

Période 1984-2014 lnCO2/tete	(1) GMM	(2) GMM	(3) GMM	(4) GMM
$lnCO2/tete_{t-1}$	**0.656*** **	**0.727*** **	**0.742*** **	**0.619*** **
	(0.0122)	(0.0108)	(0.0111)	(0.0125)
lnICE	**0.453***	0.0436	**0.808** **	**-0.187***
	(0.0340)	(0.0618)	(0.0398)	(0.0339)
$lnICE^2$	**-0.123***	-0.0394	**-0.143** **	**-0.126** **
	(0.0629)	(0.106)	(0.0685)	(0.0605)
LnPib/tête	**0.0449*** **	**0.0483*** **	**0.0462*** **	**0.0526*** **
	(0.00802)	(0.00742)	(0.00822)	(0.00832)
lnInnov	**-0.472*** **	**-0.550*** **	**-0.485*** **	**-0.798*** **
	(0.0829)	(0.137)	(0.159)	(0.124)
lnEduc	**-0.0146** **	**0.0143***	**0.0212*** **	0.0109
	(0.00742)	(0.00760)	(0.00808)	(0.00752)
lnEnergy	**0.248*** **	**0.133*** **	**0.173*** **	**0.260*** **
	(0.0168)	(0.0160)	(0.0153)	(0.0163)
lnGouv	**-0.0380** **	-0.0144	**-0.0798*** **	**-0.0414** **
	(0.0177)	(0.0163)	(0.0170)	(0.0178)
lnUrban	**0.125*** **	**0.267*** **	**0.321*** **	**0.233*** **
	(0.0263)	(0.0328)	(0.0300)	(0.0342)
lnIDE	**0.00155** **	0.000515	**0.00192*** **	**0.00148** **
	(0.000638)	(0.000659)	(0.000702)	(0.000617)
Kyoto	**-0.0194*** **	**-0.0105** **	**-0.0148*** **	**-0.0188*** **
	(0.00461)	(0.00439)	(0.00451)	(0.00465)
OMC	0.00519	**-0.0109***	-0.00290	**-0.0136** **
	(0.00558)	(0.00563)	(0.00587)	(0.00564)
lnICE*HIGH	**0.257*** **			
	(0.0864)			
$LnICE^2$*HIGH	**-0.0461*** **			
	(0.128)			
lnICE*MIDDLE		0.00381		
		(0.0677)		
$lnICE^2$*MIDDLE		0.0502		
		(0.122)		
lnICE*LOW			**-0.206*** **	
			(0.0619)	
$lnICE^{2*}$LOW			**0.275** **	
			(0.120)	
lnICE*MENA				**0.670*** **
				(0.0631)
$lnICE^2$*MENA				**-0.017** **

				(0.0122)
Constant	-0.983***	-0.926***	-1.056***	-1.151***
	(0.0556)	(0.0573)	(0.0594)	(0.0570)
Point de retournement d'ICE	2,18	-	2,38	1,84
Observations	3,990	3,990	3,990	3,990
Number of id	133	133	133	133
AR(2) p-value	0,921	0,915	0,928	0,89
Sargan p-value	0,624	0,65	0,71	0,592

Standard errors in parentheses. *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1.

Note : (1) Pays à revenu élevé, (2) Pays à revenu intermédiaire, (3) Pays à revenu faible

4.3. Comparaison avec le modèle CEK estimé avec PIB/tête et PIB/tête^2

Nos résultats nous laisseraient penser aujourd'hui que l'accroissement de la complexité économique permettrait plus rapidement d'atteindre le seuil de retournement du niveau de pollution que l'accroissement du PIB/tête. Pour vérifier cela, nous décidons de procéder à une nouvelle estimation qui permettrait de comparer les résultats de notre modèle CEK à celui estimé avec les variables PIB/tête et PIB/tête^2.

Le tableau 4 montre un effet important, significatif et positif du PIB/tête sur les émissions de CO2 par habitant dans la première phase de croissance puis cet effet devient négatif dans une seconde phase. Ces résultats confortent l'hypothèse d'un effet d'échelle où la croissance de l'activité économique engendre l'accroissement des émissions de polluants, permettant d'avancer en la matière l'existence d'une CEK dont le point de retournement se situerait à un niveau de revenu par habitant de 4,97 à court terme et de 4, 28 à plus long terme.

Le coefficient associé à la complexité économique est significativement négatif particulièrement à court terme (-0,53). De même pour les effets techniques, les résultats montrent une relation négative et significative à court terme de l'innovation (-1,9%) ainsi que des dépenses d'éducation (-0,05%) sur la quantité des émissions de CO2/tête.

Tableau 4: Estimation du modèle CEK estimé avec PIB/tête et PIB/tête²

Variable dépendante	(1)	(2)
lnCO2/tête	GLS	GMM
Période	1984-2014	1984-2014
$lnCO2/tête_{t-1}$		0.541***
		(0.0142)
lnPIB/tête	1.700***	0.428***
	(0.0793)	(0.0439)
$lnPIB/tête^2$	-0.171***	-0.0515***
	(0.0114)	(0.00615)
lnICE	-0.538***	-0.0161*
	(0.0375)	(0.0223)
lnInnov	-1.936***	0.0787
	(0.154)	(0.185)
lnEduc	-0.0519***	0.00615
	(0.0172)	(0.00808)
lnEnergy	0.418***	0.264***
	(0.0113)	(0.0218)
lnGouv	-0.0275	-0.0467**
	(0.0420)	(0.0198)
lnUrban	0.330***	0.224***
	(0.0314)	(0.0402)
lnIDE	-0.00498***	0.00117*
	(0.00186)	(0.000679)
Kyoto	-0.00844	-0.0255***
	(0.0136)	(0.00512)
OMC	-0.131***	-0.0193***
	(0.0123)	(0.00657)
Constant	-5.403***	-1.798***
	(0.130)	(0.0931)
Point de retournement du PIB/tête	4,97	4,28
Point de retournement du CO2/tête	4,25	0,88
Observations	4123	3990
Number of id	133	133
Overall R-sq	0,59	
Llikelihood	-498.7	
AR(2) p-value		0,805
Sargan p-value		0,769

Standard errors in parentheses. *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1.

A partir des estimations par les GMM effectuées sur l'ensemble des pays considérés entre 1984 et 2014, nous avons consigné dans le tableau 5 le seuil de retournement du CO2/tête selon le modèle estimé avec le PIB/tête et le PIB/tête^2, et celui obtenu d'après le modèle prenant pour variables ICE et ICE^2.

Il apparaît nettement que le point de retournement de la pollution dépendant du modèle estimé avec le PIB/tête est plus élevé (2.41) que le seuil lié à l'indicateur de complexité économique ICE (2.24) donné dans le modèle précédemment estimé au paragraphe 4.1, et que l'on peut discerner graphiquement dans l'annexe 5. Nous pouvons en déduire que l'accroissement de la complexité économique permet plus rapidement d'atteindre le seuil de retournement du niveau de pollution que l'accroissement du PIB/tête. Ce résultat laisse apparaître que pour réduire la pollution, le mode de croissance et les spécialisations productives sont plus importants que la croissance elle-même et le niveau de développement économique atteint.

Tableau 5 : Seuils de retournement selon le modèle estimé sur la période 1984-2014

	Point de retournement	
	Modèle estimé avec PIB/tête	**Modèle estimé avec ICE**
Emissions de CO2 (en tonnes métriques) par habitant	**2.41**	**2.24**

5. Conclusion et implications des politiques économiques

L'objectif de cet article était d'analyser l'effet de l'indicateur de complexité économique (ICE) sur le niveau de pollution en modifiant un paramètre dans le modèle CEK classique permettant de prendre en compte l'évolution de la structure productive comme un élément central du modèle CEK. En effet, en testant la complexité économique comme variable principale de l'effet de composition, nous pouvons évaluer des trajectoires autres que la CEK classique puisque nous introduisons un élément particulier qui joue sur l'environnement au-delà du seul revenu par habitant. Il se dessine une relation en U inversé entre ICE et pollution dans les pays à revenu élevé et MENA. La complexification des tissus productifs conduit à une intensité de pollution par habitant plus importante dans les premiers stades de transformation structurelle, puis s'amoindrit au-delà d'un certain seuil. Ces pays se développent et deviennent en même temps plus écologiques.

Nous avons fait appel à différentes spécifications afin de tester la robustesse des résultats obtenus par l'analyse exploratoire des données en panel. Nos résultats montrent que sur le plan macroéconomique, la courbe en U inversé n'est pas valable pour toutes les régions du monde car l'effet de composition à l'échelle d'une économie ne peut pas être reproduit à l'échelle mondiale. Tant qu'il y a une demande pour des produits polluants, la production se fera, même si le lieu de la production peut changer au cours du temps en fonction de l'évolution des avantages comparatifs. Toutefois, il est plus facile aujourd'hui aux pays à revenu intermédiaire de franchir le sommet de la CEK grâce à la production de produits plus complexes qui n'étaient pas disponibles lorsque les économies industrielles étaient au même stade de développement.

Outre l'effet de structure, nous caractérisons l'effet d'échelle et l'effet technique (PIB/tête) et l'effet technique (Innov et Educ) sur la pollution de l'air. L'effet d'échelle traduit le fait que la croissance économique implique, avec l'augmentation des quantités produites et à technologie donnée, un accroissement des pollutions émises. L'effet technique fait apparaître que la croissance peut devenir moins polluante avec la maîtrise de nouvelles technologies et les efforts en matière d'éducation.

Ce chapitre nous amène donc à penser que la diminution de la pollution à partir d'un certain seuil a été le résultat d'une profonde transformation structurelle au-delà de l'effet du niveau de développement. Toutefois, ce résultat nous interpelle sur le poids qu'a l'ICE par rapport au PIB/tête sur la courbe en U inversé. Pour cela, nous avons ré-estimé le modèle en remplaçant les variables ICE et ICE2 par PIB/tête et PIB/tete^2. Les estimations révèlent que le seuil de retournement de la pollution dépendant dans ce modèle du PIB/tête est plus élevé que le seuil lié à l'indicateur de complexité économique ICE donné dans le modèle précédent, que l'on peut discerner graphiquement dans l'annexe 8 par rapport à l'annexe 5. En d'autres termes, l'accroissement de la complexité économique permet plus rapidement d'atteindre le seuil de retournement du niveau de pollution que l'accroissement du PIB/tête. Ce résultat laisse apparaître que pour réduire la pollution, le mode de croissance et les spécialisations productives sont plus importants que la croissance elle-même et le niveau de développement économique atteint.

Ce résultat est une contribution originale apportant des implications à la fois pour la recherche future sur la courbe environnementale de Kuznets mais aussi sur la prise de décision politique à travers des réformes ciblées en tirant les enseignements des erreurs passées en matière de pollution, d'aménagement du territoire et d'exploitation des ressources. Face à ces résultats, les décideurs devraient construire un accord international plus contraignant (Cop22) visant à adopter des politiques pour stimuler une croissance plus écologique, essentiellement dans les économies en développement, afin d'accélérer la convergence des normes environnementales occidentales supposées plus écologiques en favorisant une production plus complexe qui préservent les ressources naturelles et réduisent la pollution par unité de production. Des mesures peuvent être reconduites telles que les taxes sur les émissions présumées (droit d'émission négociable), ou encore les subventions en R&D (dans la production de produit plus complexe) et de rendement énergétique, ainsi que la mise en place de normes obligatoires des techniques anti-

pollutions.[33]Toutefois, même si ces outils ont été et seront nécessaires pour inciter les pouvoirs publics à adopter de nouvelles lois environnementales, celles-ci ne sont pas encore assez rigoureuses dans certaines régions du monde. La pauvreté est une des raisons pour lesquelles de nombreuses économies tardent à mettre en œuvre des mesures de protection de l'environnement. Certaines régions n'ont tout simplement pas les moyens de consacrer des ressources à lutter contre la pollution, ou pensent qu'ils n'ont pas à sacrifier leurs perspectives de croissance pour régler des problèmes de pollution mondiaux qui résultent en très grande partie de la consommation des économies riches. Il faudrait ainsi éviter l'exportation des activités polluantes et à risque dans les économies qui sont moins exigeants à cet égard et ne correspondant pas à une certaine norme environnementale.

Les instruments de politique commerciale représentent aujourd'hui un moyen peu coûteux d'inciter les pays en développement à adopter des standards de consommation et des méthodes de production plus complexe et moins nocives pour l'environnement[34]. Il s'agit en fait d'amener les pays en développement à internaliser dans une certaine mesure les coûts environnementaux par la simple modification des conditions dans lesquelles ils produisent et exportent leurs produits. Toutefois, le commerce international peut jouer un rôle positivement direct sur l'environnement. En effet, les exigences environnementales des grands marchés internationaux incitent les économies en développement à améliorer les standards de production et les réglementations sur leurs marchés domestiques, par conséquent les échanges commerciaux contribuent à la diffusion des standards pro-environnementaux. D'autre part, l'acquisition et la maîtrise des technologies écologiquement justes est cruciale pour atteindre l'objectif du développement durable, d'où la nécessité d'une action concertée au niveau international visant à promouvoir ou faciliter le transfert international des produits plus complexes. Toutefois ce programme rencontre actuellement des difficultés

[33] Comme par exemple le cas des catalyseurs pour moteurs d'automobiles et les équipements de lavage des gaz de cheminées d'usines qui ont généré une baisse considérable de la pollution atmosphérique dans les régions où ils ont été rendus obligatoires.

[34] Nous avons démontré que l'adhésion à l'OMC a un effet significatif sur la réduction de la pollution de l'air.

sérieuses liées à l'absence de financement sur le plan international et local. En effet, le problème du financement reste au cœur de la problématique des émissions de gaz à effet de serre. La préoccupation environnementale constitue rarement une priorité dans les pays en développement, ceci dit la COP22 a su produire une forme de pré-mobilisation de lutte contre le réchauffement climatique. Il faut donc trouver du financement à l'extérieur. D'une part, il y a l'aide publique au développement qu'elle soit bilatérale ou multilatérale. Or, aujourd'hui le montant de cette aide reste insuffisant pour réaliser des projets à caractère environnemental. D'autre part, la conversion de la dette des pays en développement en fonds pouvant servir à la protection de l'environnement peut être une solution qui a peu été exploitée jusqu'à présent.

Enfin, il ne faut pas perdre de vue l'importance de la lutte contre les comportements criminels des entreprises (telle que la création de dépôts de déchets dangereux) et des ménages, ou encore contre la corruption, qui constituent un obstacle de taille pour la mise en place efficace de la politique environnementale. La complexification des systèmes productifs est donc un paramètre crucial à prendre en compte, elle joue un effet significatif sur l'environnement, mais peut aussi jouer un tout autre effet sur des variables relatives au développement humain à savoir les inégalités de genre en éducation. Dans le prochain chapitre, nous démontrons une relation directe entre la complexité économique et les inégalités de genre en éducation pour évaluer de nouvelles trajectoires de développement.

Références

Apergis, N., Payne, J.E., 2009b. Energy consumption and economic growth: evidence from the commonwealth of independent states. *Energy Economics* 31, 641–647.

Ang, J.B., 2009. CO2 emissions, research and technology transfer in China. Ecological Economics. 68, 2658–2665.

Ang, J.B., 2008. Economic development, pollutant emissions and energy consumption in Malaysia. J. *Policy Model* 30, 271–278.

Antweiler, W., Copeland, B.R., Taylor, M.S., 2001. Is free trade good for the environment? *American Economic Review* Vol. 91, 877–908 No.4, Sept.

Arouri, M.H., Ben Youssef, A., M'henni, H., Rault, C., 2012. Energy consumption, economic growth and CO2 emissions in Middle East and North African countries. *Energy Policy* 45, 342–349.

Auci, Becchetti, 2005. The Stability of the Adjusted and Unadjusted Environmental Kuznets Curve, Working Papers 2005.93, Fondazione Eni Enrico Mattei

Azomahou, T., Laisney, F., Van, P.N., 2006. Economic development and CO2 emissions: a nonparametric panel approach. *Journal Public Economics.* 90, 1347–1363.

Baltagi, B.H., 1995a. Editor's introduction: panel data, *Journal of Econometrics* 68, 1-4

Bernauer, Koubi, 2009. Political Determinants of Environmental Quality. *Ecological Economics*, Vol. 68, No. 5, pp. 1355-1365.

Birdsall, N., Wheeler, D., 1993. Trade policy and industrial pollution in Latin America: Where are the pollution havens? *Journal of Environment and Development* 2, 137–149.

Biswas, Farzanegan M,, Thum M., 2012. Pollution, shadow economy and corruption: Theory and evidence. *Ecological Economics* 75 (2012) 114–125.

Cole, M.A., 2004. Trade, the pollution haven hypothesis and the environmental Kuznets curve: examining the linkages. *Ecological Economics* 48, 71–81.

Cole, M.A., Elliott, R.J.R., 2003. Determining the trade-environment composition effect: the role of capital, labor and environmental regulations. *Journal of Environmental Economics and Management* 46 (3), 363–383.

Copeland, Brian R. and M. Scott Taylor. 2004. Trade, Growth, and the Environment. *Journal of Economic Literature,* 42(1): 7-71

Copeland, B., Taylor, M.S., 1997. A Simple Model of Trade, Capital Mobility and the Environment, NBER, No. 5898, Cambridge, MA.

Copeland, B., Taylor, M.S., 1994. North–south trade and the environment. *Quarterly Journal of Economics* 109 (3), 755–787.

Dasgupta, Laplante B, Hua Wang; Wheeler, 2002. Confronting the Environmental Kuznets Curve *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 16, No. 1. pp. 147-168.

Esty, D. , Gentry B., 1997. Foreign Investment, Globalisation, and Environment, in T. Jones, ed., *Globalisation and Environment.* OECD, Paris.

Ekins, P., 1997. The Kuznets curve for the environment and economic growth: examining the evidence. *Environment Plan*. A 29, 805–830.

Frankel F , Rose A., 2005. Is Trade Good or Bad for the Environment? Sorting Out the Causality, *The Review of Economics and Statistics*, MIT Press, vol. 87(1), pages 85-91.

Friedl, Getzner, 2003. Determinants of CO2 emissions in a small open economy *Ecological Economics*, 45 (2003), pp. 133–148.

Gentry, B., ed., 1998a. Private Capital Flows and the Environment: Lessons from Latin America. Edward Elgar Press, Cheltenham, UK.

Gentry, B., 1998b. "Avoiding Environmental 'Disasters' in Joint Ventures." Background Paper for the Pacific Basin Economic Council/World Bank Roundtable on "Expanding Public-Private Partnerships: Economic Competitiveness and Environmental Concerns in the Asia-Pacific Region." Hong Kong, September.

Gentry, B., 1998c. "Encouraging Public-Private Regulatory Dialogue." Background Paper for the PBEC/World Bank Roundtable, Hong Kong, September.

Grossman, G., 1995. Pollution and growth: What do we know? In: Goldin and Winter (Eds.), The Economics of Sustainable Development. Cambridge University Press, 1995.

Grossman, G., Krueger, A., 1994. Economic Growth and The Environment. NBER, Working Paper No. 4634.

Grossman, G., Krueger, A., 1991. Environmental impacts of a North American free trade agreement. National Bureau of Economics Research Working Paper, No. 3194. NBER, Cambridge.

Halicioglu, F., 2009. An econometric study of CO2 emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy* 37, 1156–1164.

Hausmann, R., Hwang, J., Rodrik, D. 2007. What you export matters. *Journal of Economic Growth*, 12(1), 1–25.

Hausmann, R., Hidalgo, C. 2011. The network structure of economic output. *Journal of Economic Growth*, 16, 309–342.

Heil, Mark T., Selden, Thomas M., 2001. Carbon emissions and economic development: future trajectories based on historical experience, *Environment and Development Economics*, Cambridge University Press, vol. 6(01), pages 63-83, February.

Hidalgo, C. 2009. The dynamics of economic complexity and the product space over a 42 year period. Working Paper No. 189. Cambridge, MA: Center for International Development, Harvard University.

Hidalgo, C., Hausmann, R. 2009. The building blocks of economic complexity. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 106(26), 10570–10575.

Hossain, M.S., 2011. Panel estimation for CO2 emissions, energy consumption, economic growth, trade openness and urbanization of newly industrialized countries. *Energy Policy* 39, 6991–6999.

Jalil, A., Mahmud, S.F., 2009. Environment Kuznets curve for CO2 emissions: a cointegration analysis for China. *Energy Policy* 37, 5167–5172.

Jaunky, V. C, 2010.The CO2 Emissions-Income Nexus: Evidence from Rich Countries. Faculty of Social Studies and Humanities. Department of Economics and Statistics. University of Mauritius.

Jayanthakumaran, K., Verma, R., Liu, Y., 2012. CO2 emissions, energy consumption, trade and income: a comparative analysis of China and India. *Energy Policy* 42, 450–460.

Kaufmann, R.K., Davidsdottir, B., Garnham, S., Pauly, P., 1998. The determinants of atmospheric SO2 concentrations: reconsidering the environmental Kuznets curve. *Ecological Economics* 25 (2), 209–220.

Kuznets, S., 1955. Economic growth and income inequality. *American Economic Review*, 49: 1-28.

Lean and Smyth, 2010. CO2 emissions, electricity consumption and output in ASEAN. *Applied Energy* 87: 1858-1864.

Lopez, Mitra, 2000. Corruption, Pollution, and the Kuznets Environment Curve. *Journal of Environmental Economics and Management* 40, 137_150 Ž2000.

Managi, S., Hibiki, A., Tsurumi, T., 2009. Does trade openness improve environmental quality? *Journal of Environment Economics Management.* 58, 346–363.

Meunié A., 2004. Les controverses autour de la courbe environnementales de Kuznets, Document de travail. Centre d'économie du développement, Université Montesquieu Bordeaux 4

Menyah, K., Nazlioglu, S., Wolde-Rufael, Y., 2014. Financial development, trade openness and economic growth in African countries: new insights from a panel causality approach. *Economics Model*. 37, 386–394.

Nasir, M., Rehman, F-U. 2011. Environmental Kuznets curve for carbon emissions in Pakistan: An empirical investigation. *Energy Policy* 2011; 39: 1857-1864.

O'Connor, D., 1994. Managing the Environment with Rapid lndustrialization : Lessons from the East Asian Experience., OCDE, Paris

Omri, A., 2015. Financial development, environmental quality, trade and economic growth: What causes what in MENA countries. *Energy Economics* 48, 242–252

Ozturk, I., Acaravci, A., 2010. CO2 emissions, energy consumption and economic growth

in Turkey. *Renewable Sustainable Energy Review.* 14, 3220–3225.

Ozturk, I., Acaravci, A., 2013. The long-run and causal analysis of energy, growth, openness and financial development on carbon emissions in Turkey. *Energy Economics*. 36, 262–267.

Panayotou, T., 2003. Economic development and the Environment. Working paper, Harvard University and Cyprus International Institute of Management.

Panayotou, T., 1993. Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development. *Working Paper WP238, Technology and Employment Programme, International Labour Office,* Geneva.

Poncet S, DE Waldemar, M. 2013. Export Upgrading and Growth: The Prerequisite of Domestic Embeddedness. *World Development* Vol. 51, pp. 104–118, 2013

Ren S, et al, 2014. The impact of international trade on China's industrial carbon emissions since its entry into WTO. *Energy Policy* 69 (2014) 624-634.

Richmond, K., Kaufmann, R., 2006. Is there a turning point in the relationship between income and energy use and/or carbon emissions? *Ecological Economics*, Elsevier, vol. 56(2), pages 176-189, February.

Shafik, N., 1994. Economic development and environmental quality: an econometric analysis. *Oxford Economis Papers*. 46, 757–773.

Sharma, S.S., 2011. Determinants of carbon dioxide emissions: empirical evidence from 69 countries. *Applies Energy* 88, 376–382.

Stern, D. I. and Common, M. S., 2001. Is there an environmental Kuznets curve for sulfur? *Journal of Environmental Economics and Environmental Management,* 41: 162-178.

Stern, D.I., 2000. A multivariate cointegration analysis of the role of energy in the US macroeconomy. *Energy Economics*. 22, 267–283.

Stern, D.I., Common,M.S., Barbier, E.B., 1996. Economic growth and environmental degradation: the environmental Kuznets curve and sustainable development. *World Development*. 24, 1151–1160.

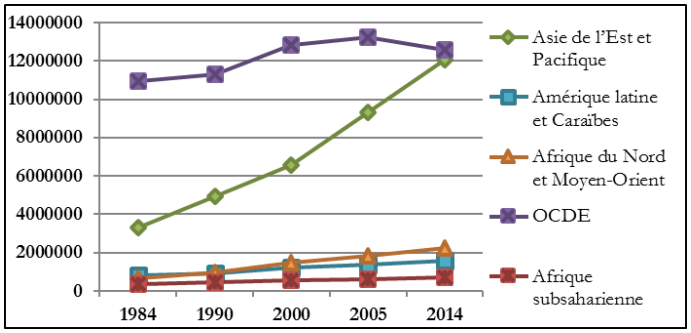
Tiwari, A.K., Shahbaz, M., Hye, Q.M.A., 2013. The environmental Kuznets Curve and the role of coal consumption in India: co-integration and causality analysis in an open economy. *Renewable Sustainable Energy Review*. 18, 519–527.

World Bank World Development Indicators (WDI)

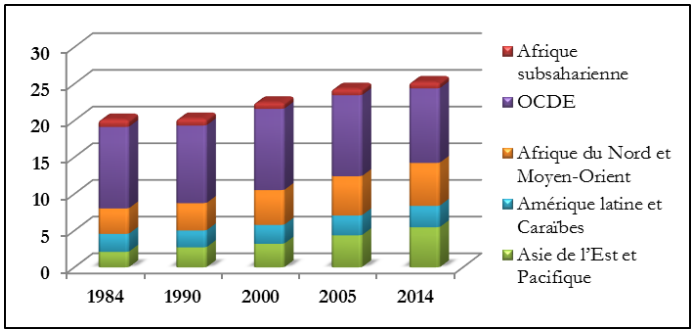
Zhang, X.P., Cheng, X.M., 2009. Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in China. *Ecological Economics.* 68, 2706–2712.

Annexe 1. Evolution des émissions de CO2 sur la période 1984-2014

Graphique 1 : Emissions de C02 (Kt) par région, sur la période 1980-2014.



Graphique 2 : Emissions de C02 (en tonnes métriques par habitant) par région, 1984-2014.



Source : Données issues de la Banque mondiale, 2013.

Annexe 2. Définition de l'indice de complexité économique

Hidalgo et Hausmann (2009) proposent un indicateur basé sur le niveau de diversification des exportations et l'ubiquité moyenne des produits que le pays exporte. La justification de cette approche est qu'un pays plus diversifié a plus de capacités nécessaires pour produire une gamme plus large de biens. Un bien qui est moins omniprésent nécessite des capacités plus exclusives. La complexité reflète l'ensemble des capacités dont dispose une économie et les capacités requises par un produit.

Cet indice qui varie entre -2 .8 et 2.8, a été formalisé à partir de la méthode des réflexions pour calculer simultanément et de manière itérative les mesures d'ubiquité et de diversité.

L'équation (1) mesure la diversité moyenne des économies qui exportent le produit *i* avec avantage comparatif révélé :

$$K_{i,1} = \frac{1}{K_{i,o}} \sum_c M_{ci} K_{c,0} \qquad (1)$$

Où, c désigne le pays, i représente le produit et M_{ci} est définit comme une matrice égale à 1 lorsque le pays c exporte un bien i avec un avantage comparatif révélé (RCA>1), ou égale à 0 autrement.

De même, la complexité d'une économie ne doit pas seulement être associée à la diversité, mais celle-ci doit aussi refléter le degré d'ubiquité des biens qu'il exporte :

$$K_{c,1} = \frac{1}{K_{c,o}} \sum_i M_{ci} K_{i,0} \qquad (2)$$

Annexe 3. Matrice de corrélation et test de *Variance Inflation Factor*

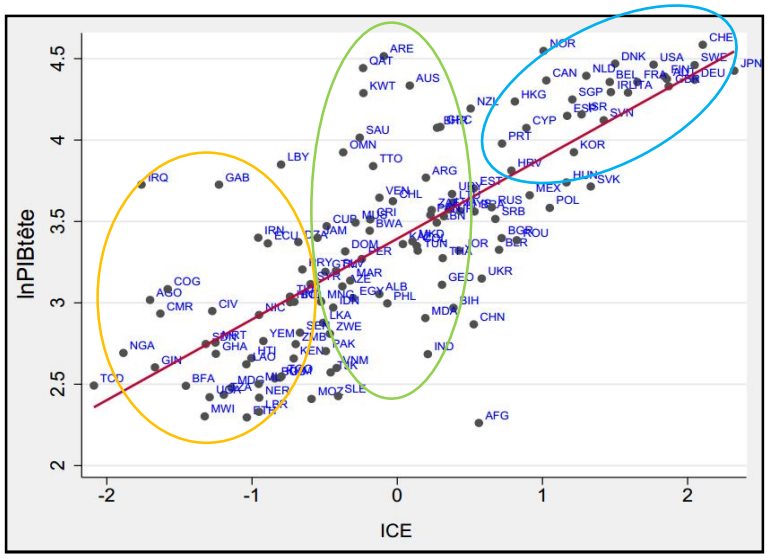
Annexe 3a. Matrice de corrélation entre les variables du modèle

	logCO2/tt	logICE	logICE2	LogPib/tt	logInnov	logEduc	logEne~y	logGouv	logUrban	logIDE	Kyoto	OMC
logCO2/tt	1.0000											
logICE	0.6575	1.0000										
logICE2	0.6564	0.9450	1.0000									
LogPib/tt	0.6270	0.6403	0.6964	1.0000								
logInnov	0.4210	0.5417	0.6448	0.6475	1.0000							
logEduc	0.2503	0.2751	0.2898	0.3820	0.3486	1.0000						
logEnergy	0.8250	0.5839	0.6112	0.7358	0.4611	0.2184	1.0000					
loggouv	0.1333	0.1196	0.1088	0.3158	0.2131	0.3621	0.1336	1.0000				
logUrban	0.7485	0.5357	0.5437	0.7508	0.4087	0.2936	0.6091	0.1965	1.0000			
logIDE	0.2366	0.3061	0.3128	0.2978	0.2215	0.1569	0.2298	0.3357	0.2269	1.0000		
Kyoto	0.0550	0.0040	-0.0098	0.2304	0.1071	0.3519	0.0533	0.7193	0.1265	0.2774	1.0000	
OMC	0.0408	0.0704	0.0653	0.2838	0.2089	0.3386	0.0478	0.6452	0.1443	0.2610	0.6715	1.0000

Annexe 3b. Test de *Variance Inflation Factor*

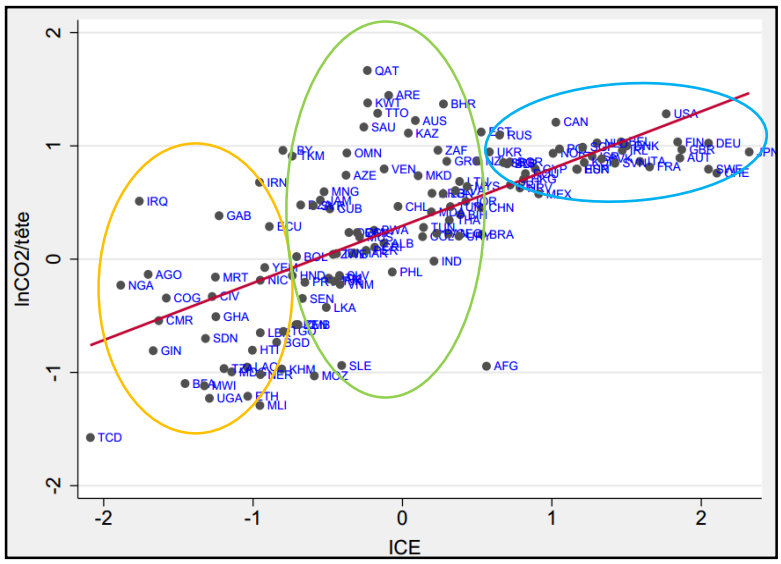
Variable	VIF	1/VIF
logpibhbt	4.92	0.203307
kyoto	2.57	0.388575
loggouv	2.45	0.408959
logenergy	2.44	0.409397
logurban	2.44	0.409868
omc	2.14	0.467064
logice	2.04	0.490359
logInnov	1.93	0.516822
logeduc	1.35	0.738011
logide	1.25	0.803003
Mean VIF	2.35	

Annexe 4 : ICE et PIB par tête, en moyenne sur la période 1984-2014



Pays à revenu faible
Pays à revenu intermédiaire
Pays à revenu élevé

Annexe 5: ICE et Emissions de CO2/tête, en moyenne sur la période 1984-2014



Pays à revenu faible
Pays à revenu intermédiaire
Pays à revenu élevé

Annexe 6. Statistiques descriptives

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
LogCO2/tête	4123	.2973562	.7298772	-1.94527	1.83591
logICE	4123	-.0051537	1.016123	-2.78258	2.71882
LogPib/tête	4123	3.437823	.6991184	1.81164	4.99842
logInnov	4123	.0231116	.0466619	0	.2827451
logEduc	4123	.4504797	.2886247	-.1078	1.64674
logEnergy	4123	3.025253	.5961906	0	38
logGouv	4123	1.199375	.1568548	.573545	1.35082
logUrban	4123	1.701835	.2224562	.931153	2
logIDE	4123	1.077357	0.0516816	0	1.642
Kyoto	4090	.5498778	.4975668	0	1
OMC	4090	.5007335	.5005494	0	1

Annexe 7. Indicateurs et Source

Indicateurs	Description	Source
CO2/tete	Emissions de CO2 (en tonnes métriques) par habitant	WDI (2016)
ICE	Indice de complexité économique (Hidalgo et al, 2007)	Observatoire de la complexité économique du MIT (2016)
Pib/tête	Pib par habitant en dollars courants	WDI (2015)
Innov	Indice de création technologique composé de: (i) nombre de brevets subventionnés pour 1 million de personnes; (ii) Nombre de publications dans un journal scientifique pour un million de personnes	World Intellectual Property Organization, (WDI, 2016)
Educ	Dépenses publiques en éducation en % du PIB	WDI, (2016)
Energy	Consommation d'énergie par habitant	WDI (2015)
Gouv	Stabilité du gouvernement	PRS-ICRG (2014)
Urban	Population urbaine en % de la population totale	WDI (2015)
IDE	Investissements étrangers directs, sorties nettes en % du PIB	WDI (2016)

Annexe 8: Liste des pays

Pays à revenu élevé	Australia, Austria, Bahrain, Belgium, Canada, Chile, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Equatorial Guinea , Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hong Kong SAR, China, Iceland, Ireland, Israel, Italy, Japan, Korea, Rep., Kuwait, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, New Caledonia, New Zealand, Norway, Oman, Poland, Portugal, Qatar, Russian Federation, Saudi Arabia, Singapore, Slovak Republic, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, United Arab Emirates, United Kingdom, United States, Uruguay.
Pays à revenu intermédiaire	Albania, Algeria, Angola, Argentina, Armenia, Bolivia, Botswana, Brazil, Bulgaria, Cameroon, China, Colombia, Congo, Rep., Costa Rica, Cote d'Ivoire, Cuba, Djibouti, Dominican Republic, Ecuador, Egypt, Arab Rep., Gabon, Ghana, Guatemala, Guyana, Honduras, Hungary, India, Indonesia, Iran, Islamic Rep., Iraq, Jamaica, Jordan, Lao PDR, Lebanon, Libya, Macedonia, FYR, Malaysia, Mauritania, Mauritius, Mexico, Morocco, Nigeria, Philippines, Romania, Senegal, Serbia, South Africa, Sudan, Swaziland, Syrian Arab Republic, Thailand, Tunisia, Turkey, Ukraine, Venezuela, RB, Vietnam, Yemen, Rep.
Pays à revenu faible	Afghanistan, Benin, Burkina Faso, Burundi, Cambodia, Central African Republic, Chad, Congo, Dem. Rep., Ethiopia, Gambia, The, Guinea, Haiti, Kenya, Korea, Dem. Rep., Liberia, Madagascar, Malawi, Mali, Mozambique, Nepal, Niger, Rwanda, Sierra Leone, Somalia, Tanzania, Togo, Uganda, Zimbabwe.
Pays Mena	Algeria, Bahrain, Egypt, Iran, Iraq, Israel, Jordan, Kuwait, Lebanon, Libya, Morrocco, Oman, Qatar, Saudi Arabic, Syria, Tunisia, Turkey, United Arab Emirates, Yemen**.**

Chapitre 4 : Complexité économique et Inégalité de Genre en Education

Approche par la théorie néoclassique

Chapitre 4 : Complexité économique et Inégalité de Genre en Education :

Approche par la théorie d'HOS

1. Introduction

Le 20e siècle a été marqué par un mouvement généralisé vers l'égalité de genre. Bien que cela ait conduit à de meilleures opportunités pour les femmes, essentiellement dans les économies développées, des constats parfois effrayants peuvent être analysés dans certaines économies en développement où l'égalité des sexes est encore un objectif lointain. Le taux de mortalité des femmes et des filles, par exemple, est beaucoup plus important en Asie du Sud par rapport à leurs homologues masculins (Sen, 1989; Klasen, 1994, WB, 2016). L'éducation diffère considérablement entre les sexes essentiellement dans les économies en développement et les écarts de rémunération existent toujours (OIT, 2004, WB, 2016). Au-delà des souffrances humaines souvent sévères des femmes qui sont soumises à la discrimination, les conséquences économiques pour l'économie concernée peuvent être considérables. À savoir, les préjugés sexistes peuvent réduire les taux de croissance économique à travers la mise en place de mesures commerciales protectionnistes contre la concurrence étrangère en dénonçant les normes du travail de leurs concurrents à faible coût (WEF, 2010).

Dans la littérature, il est démontré que le commerce extérieur a un effet significatif sur l'inégalité entre les sexes dans l'éducation, mais il n'y a pas de consensus sur la direction de l'impact , à savoir positif ou négatif (ILO, 2004; Korinek, 2005; Arora, 2012). Cependant, ces travaux ne tiennent pas compte de la structure productive. En effet, la productivité d'une économie résultant de la diversité de sa capacité de production et des lacunes en termes de revenu par habitant entre les économies pourrait être expliquée par les différences des niveaux de complexité économique (Hausmann et al., 2007, Hausmann et Hidalgo 2010, McMillan et Rodrik, 2011, Aditya et Acharyya 2012, Felipe et al., 2012.).

Dans ce chapitre nous utilisons la mesure théorique de la complexité économique fondée uniquement sur des données commerciales (Hidalgo et Hausmann, 2009) pour établir un lien entre les inégalités de genre en éducation et la complexification des structures productives. Nous partons de l'hypothèse que l'égalité de genre en éducation a des effets directs sur les capacités productives et est donc un atout pour l'économie, où les femmes constituent plus de 39% de la population active

totale, 42% de la main d'œuvre agricole, et près de 55% des étudiants universitaires à l'échelle internationale en 2014 (WB, 2015). Il importe alors que les aptitudes et compétences des femmes soient consacrées à des activités qui les mobilisent au mieux. La question est de savoir de quelle manière la complexification des systèmes productifs affecte-t-elle les inégalités de genre en éducation ? Et, si cette complexité a un effet significatif, peut-elle amener les économies en développement vers une égalité de genre en éducation ?

Les changements structurels suite à la mondialisation peuvent réduire en quelque sorte un grand nombre des inégalités entre les hommes et les femmes (Badji, 2008), et cela pour plusieurs raisons. En premier lieu, l'ouverture au commerce mondial (commerce plus sophistiqué) accroît les emplois auxquels peuvent prétendre les femmes. En deuxième lieu, le processus d'urbanisation et l'accès à l'information permettent de mettre en relation les cultures, les origines ce qui a un effet significatif sur les attitudes et les comportements des individus. En troisième lieu, les incitations à la poursuite d'une action publique en faveur de la parité hommes-femmes n'ont jamais été aussi fortes : il y existe maintenant un consensus à l'échelle mondiale sur l'effet positif de la promotion sociale, économique et politique des femmes, et aussi sur le fait que les inégalités entre les hommes et les femmes nuisent à l'image et notoriété internationale d'une économie. Cela dit, l'amélioration de tous les aspects de l'égalité entre les hommes et les femmes n'a rien d'automatique. Des mesures telles que les politiques économiques conjoncturelles et structurelles doivent être utilisées par les gouvernements pour lutter contre ce phénomène.

Notre principale contribution est de considérer la complexité économique comme variable d'intérêt dans l'analyse de l'effet du commerce sur l'inégalité de genre en éducation. Nous essaierons de démontrer de nouveaux couloirs de développement, en raison de l'utilisation d'un élément qui joue sur les perspectives de développement futurs, en nous reposant sur un cadre théorique néoclassique inspiré de Borjas et Ramey (1995). Ainsi, nous supposons qu'une augmentation du commerce résultant de la complexité des exportations réduit l'écart salarial entre les femmes et les hommes. Dans ce contexte, les femmes peuvent investir dans l'éducation de leurs enfants ; ce qui améliore leur situation éducative. En outre, pour rendre l'économie plus complexe, le gouvernement investira

dans le système éducatif. Par conséquent, cela entraînera une diminution des inégalités entre les sexes dans l'éducation.

L'importance de l'étude repose sur plusieurs aspects. Théoriquement, la complexité économique résultant du développement économique (Hausmann & Klinger, 2007, Jankowska et al., 2012, Péridy et al., 2016) peut avoir une incidence sur l'inégalité entre les sexes dans l'éducation (Brummet, 2008, Klasen & Lamanna, 2009). Dans ce contexte, il serait intéressant et novateur d'étudier l'effet direct de la complexité économique sur l'inégalité de genre en éducation où le maintien des femmes en dehors de l'éducation rend le monde moins juste et moins sûr, et réduit le bien-être général de la société (Sen, 1999).

Dans ce contexte, nous disposons de plusieurs échantillons pour en faire une étude comparative compte tenu de l'hétérogénéité des économies en termes de niveaux de développement et d'inégalité dans les secteurs primaire, secondaire et tertiaire (l'échantillon global, les pays à revenu élevé, les pays à revenu intermédiaire, les pays à faible revenu, les pays africains et les pays MENA). De plus, nous procédons à une analyse comparative aussi pour les deux indicateurs retenus (primaire/secondaire et tertiaire) à partir de la base de l'UNESCO.

L'indice de l'inégalité entre les sexes dans l'éducation est calculé pour les niveaux primaire, secondaire et tertiaire. Un indice inférieur à 1 signifie qu'il y a inégalité en faveur des hommes et inversement. L'égalité parfaite est représentée par un indice égal à 1. Les résultats révèlent qu'il n'y a pas de relation entre la complexité économique et l'inégalité entre les sexes au niveau primaire et secondaire. Mais l'effet est significatif au niveau tertiaire. Afin de réduire l'inégalité entre les sexes dans l'enseignement supérieur, les gouvernements doivent prendre des mesures pour transformer leur structure de production. Les dépenses publiques consacrées à l'éducation (Forsythe et al., 2003), à la bonne gouvernance (Iversen et Rosenbulth, 2006) et à l'ouverture financière (par l'attractivité des IDE) tendent à réduire les inégalités entre les sexes dans les trois niveaux d'éducation.

Chapitre 4 : Complexité économique et Inégalité de Genre en Education :

Approche par la théorie d'HOS

Ce chapitre sera organisé autour de 6 sections. Après une brève analyse des principaux faits stylisés relatifs aux inégalités de genre en éducation (section 2), nous établirons une revue de la littérature sur les liens entre le commerce et les inégalités de genre (section 3). Une modélisation empirique sur un panel dynamique de 133 pays sur la période 1984-2014 sera développée à partir du cadre théorique néoclassique (section 4). Par la suite, nous discuterons des principaux résultats de l'estimation (section 5), juste avant une brève conclusion (section 6).

2. Inégalités de Genre : Un nouvel éclairage

L'inégalité de genre (IG) représente un obstacle majeur au développement humain. Depuis ces trois dernières décennies, les filles et les femmes ont réalisé des progrès considérables, sans pour autant atteindre l'égalité des sexes. Plus de deux tiers de l'ensemble des économies du monde affichent dorénavant les mêmes taux de scolarisation primaire pour les garçons et les filles. Et dans plus d'un tiers des économies, les filles sont sensiblement plus nombreuses que les garçons dans le secondaire. Enfin dans l'enseignement supérieur, il n'est pas rare que la situation soit désormais inversée : les hommes sont en moins bonne posture que les femmes. (WB, 2016).

Les handicaps auxquels elles sont confrontées représentent une source majeure d'inégalité notamment dans les domaines fondamentaux tels que l'accès à la santé, à l'éducation, à l'emploi, … avec des répercussions négatives pour le développement de leurs capacités et leur liberté de choix. Ainsi, l'IG mesure les inégalités de genre dans trois dimensions importantes du développement humain. La première est la santé reproductive mesurée par le taux de mortalité maternelle et le taux de fertilité des adolescentes. La deuxième est l'autonomisation, mesurée par la part de sièges parlementaires occupés par des femmes et la part de femmes et d'hommes adultes âgés de 25 ans et plus ayant atteint au moins un niveau d'éducation secondaire. Le troisième est le statut économique exprimé en participation au marché du travail et mesuré par le taux d'activité de la population active chez les femmes et les hommes âgés de 15 ans et plus. Cet indicateur offrira un nouvel éclairage sur la situation des femmes dans plus de 133 pays sur la période de 1984 à 2014. Nous donnerons un aperçu des écarts entre les sexes dans l'un des domaines majeurs du développement humain : l'éducation. Une éducation de qualité basée sur les droits fondamentaux

et enracinée sur le concept d'égalité des sexes, génèrera des opportunités qui présenteront un effet bénéfique jusqu'aux générations à venir.

2.1. Mesure et principales limites

L'IG est conçu sur le même modèle que l'IDH (Indice de Développement Humain) afin de mieux démontrer les différences de répartition et les déséquilibres entre les hommes et les femmes en matière de réalisation. Il mesure les coûts de l'inégalité de genre en termes de développement, cela signifie que plus la valeur de l'IG est grande, plus les inégalités entre les femmes et les hommes sont importantes. Les valeurs de l'IG varient considérablement entre les économies.

En matière d'éducation, la parité entre les sexes est calculée dans notre étude en divisant le taux brut de scolarisation des femmes (F) par le taux brut de scolarisation des hommes (M) pour le niveau d'enseignement donné i et à l'instant t. Nous parlons alors d'inégalité de genre en éducation (IGE). Cette méthode nécessite des informations sur la structure de l'enseignement, les inscriptions dans chaque niveau d'éducation et les populations des groupes d'âge correspondant aux niveaux donnés de l'éducation. Cette mesure reflète également le niveau de l'autonomisation des femmes dans la société. En effet, cet indice peut être aussi désagrégé par type d'établissement (public / privé) et situation géographique (région, urbain / rural). Dans cette étude, nous avons choisi de désagréger par niveau d'enseignement primaire, secondaire et tertiaire. Ainsi, l'IGE est formalisé comme suit:

$$IGE_i^t = \frac{F_i^t}{M_i^t}$$

Lorsque l'IGE est égal à 1 cela indique une égalité parfaite entre les femmes et les hommes. Une valeur inférieure à 1 indique une inégalité en faveur des garçons/hommes et une valeur supérieure à 1 indique une inégalité en faveur des filles/femmes.

La principale limite de cet indicateur est que c'est une mesure imparfaite de l'accessibilité de la scolarisation des filles, car elle ne permet pas de déterminer si des améliorations dans le rapport reflètent l'augmentation de la scolarisation des filles ou plutôt une diminution de l'inscription scolaire chez les garçons. Cet indice ne montre pas non plus si le niveau global de participation à l'éducation est faible ou élevé.

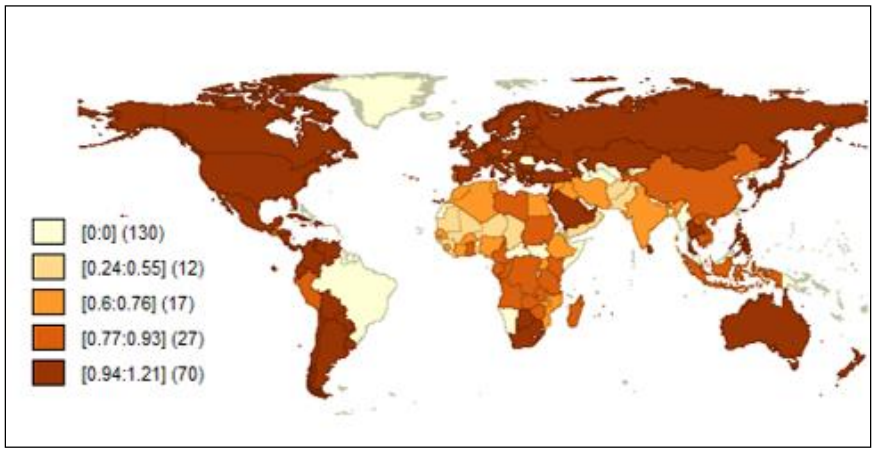
2.2. Quelques faits stylisés

L'inégalité de genre en éducation varie d'une économie à une autre. Plus intéressant encore, dans les économies caractérisées par une distribution inégale du développement humain, l'inégalité de genre est, elle aussi, très marquée. De même, dans les économies à forte inégalité de genre, le développement humain est inégalement distribué. Par exemple, les pays qui présentent un IDH élevé, tel que le Qatar, semblent être les plus éloignés de l'égalité de genre. Par contre le Burundi semble être le plus proche parmi les économies à faible IDH.

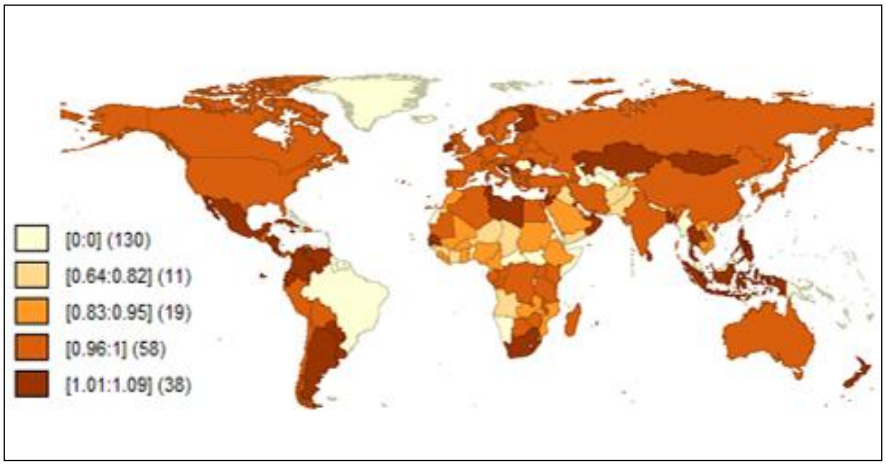
Ainsi, nous utilisons les cartographies pour analyser l'évolution de l'inégalité entre les sexes dans l'éducation sur la situation de 1984 et celle de 2014. Selon la figure 1, l'Amérique du Nord, une grande partie des pays européens et l'Australie présentent une tendance similaire. En 1984, leurs indices se situaient entre 0,94 et 1,21. En 2014, l'intervalle est compris entre 0,96 et 1. Ainsi, on constate que ces pays ont une évolution positive, car ils sont plus égalitaires en 2014 par rapport à leur situation en 1984. En Amérique centrale et du Sud, à l'exception du Brésil, l'évolution est presque la même. Les indices se situaient entre 0,94 et 1,21 en 1984 et deviennent compris entre 1,01 et 1,09 en 2014. Le Brésil est dans cette région, le pays le plus inégalitaire. Sa situation est la même entre 1984 et 2014. En Afrique, il n'y a pas d'homogénéité. La Lybie, le Soudan et la plupart des pays d'Afrique centrale et de l'Est présentent des indices compris entre 0,77 et 0,93 en 1984. Toutefois, en 2014, la situation du Soudan et de l'Ethiopie se détériore. Ceci peut être expliqué par les guerres civiles dans ces pays (1974-1991 en Ethiopie par exemple).

Figure 1: Cartographie de l'indice de parité entre les sexes dans les inscriptions au niveau primaire et secondaire, 1984-2014

1984



2014

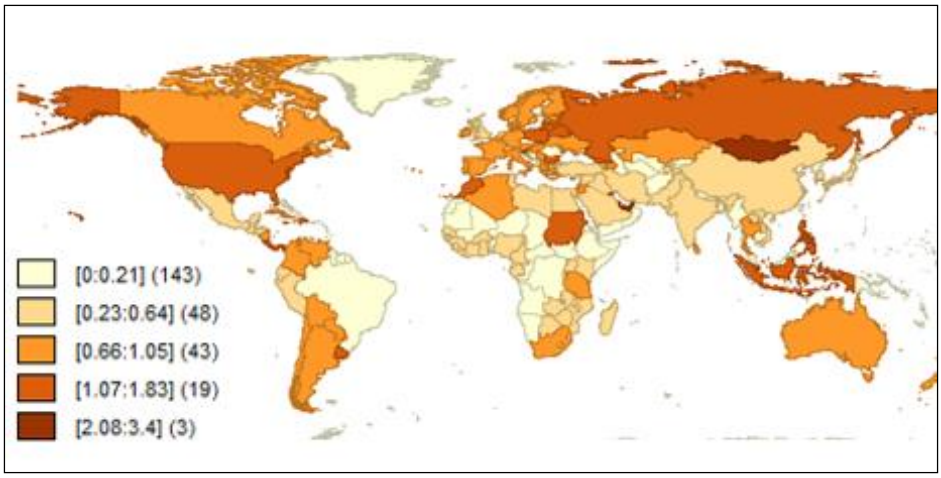


Source : Calcul de l'auteur à partir des données de la Banque mondiale, 2015.

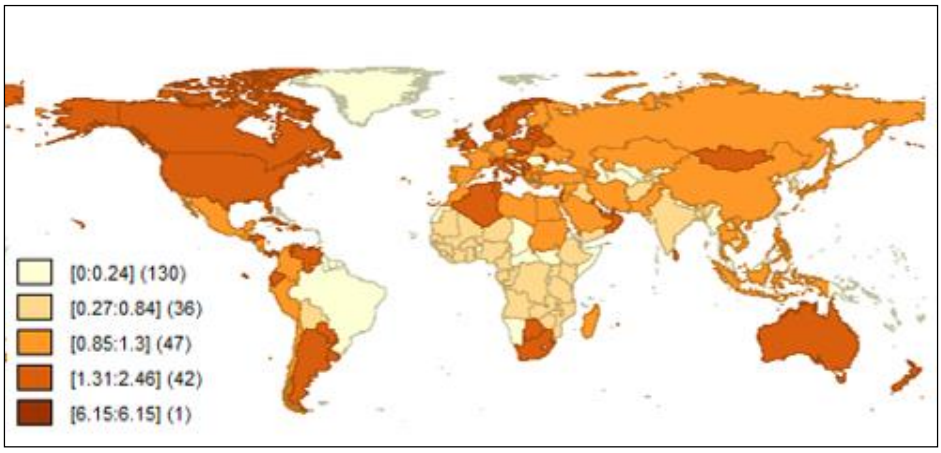
Au niveau tertiaire (figure 2), l'Afrique est le continent qui présente le plus d'inégalités de genre en éducation et la situation est peu attrayante en 1984 et 2014. L'Amérique centrale améliore sa situation avec un indice compris entre 0,23 et 0,64 en 1984, et entre 0,85 et 1,3 en 2014. Notons également une nette amélioration dans la situation du Canada; ce pays présentait un indice de 0,91 en 1984 et qui atteint de 1,34 en 2014. Cette évolution révèle l'existence d'une inégalité en faveur des femmes. Le cas du Qatar est l'exemple le plus marquant de l'évolution des inégalités de genre en faveur des femmes. En effet, l'indice dans les niveaux primaire et secondaire est compris entre 1,04 (1984) et 0,93 (2014) contre un indice dans le niveau supérieur compris entre 3,40 (1984) et 6,15 (2014). En outre, nous remarquons que les inégalités de genre en éducation dans le monde sont plus marquées concernant l'inscription de niveau supérieur par rapport à la situation des effectifs dans les niveaux primaire et secondaire.

Figure 2: Cartographie des indices de parité entre les sexes dans les inscriptions au niveau tertiaire, 1984-2014.

1984



2014



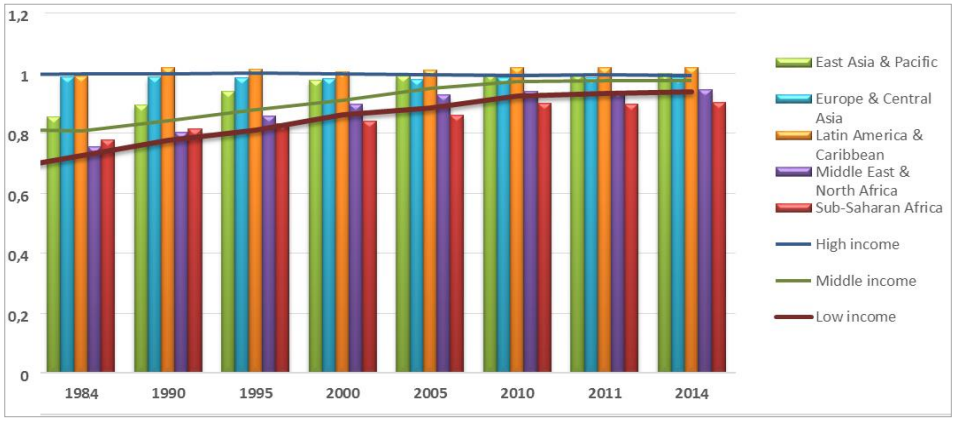
Source: Calcul de l'auteur à partir des données de la Banque mondiale, 2015.

L'approche par histogramme regroupe les pays par continent et les niveaux de développement. À cet effet, nous notons que les pays d'Amérique latine sont plus égalitaires dans l'enseignement primaire et secondaire, suivis par les pays européens et asiatiques. Le continent africain est le plus inégal. Cependant, les inégalités diminuent dans le temps. En analysant selon les niveaux de développement, nous observons qu'il y a une égalité parfaite dans les pays à revenu élevé. Les pays à revenu intermédiaire sont inégaux, mais moins que ceux à revenu faible.

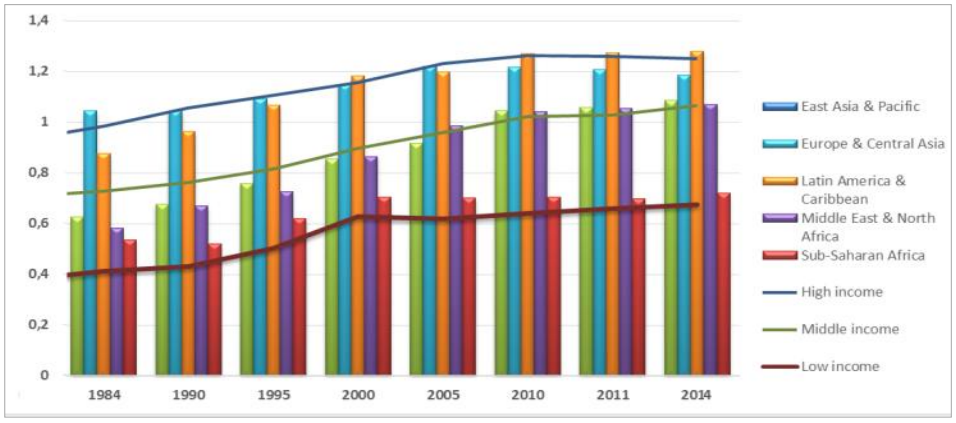
En ce qui concerne l'enseignement supérieur, nous analysons que l'indice est supérieur à 1 en Europe, en Amérique latine et en Afrique du Nord (seulement depuis 2010). Ainsi, dans ces pays il existe une inégalité en faveur des femmes. Les pays asiatiques deviennent égalitaires à partir de 2010. Ceux de l'Afrique subsaharienne sont encore plus inégaux en faveur des hommes. Quant à l'analyse en termes de niveau de revenu sur l'ensemble des pays, l'indice est supérieur à 1 depuis 1990, ce qui reflète une inégalité en faveur des femmes. Les pays à faible revenu sont quant à eux plus inégaux en faveur des hommes.

Graphique 3 & 4: Le taux de scolarisation primaire et secondaire, tertiaire (brut), l'indice de parité entre les sexes (GPI)

Primaire & Secondaire



Tertiaire

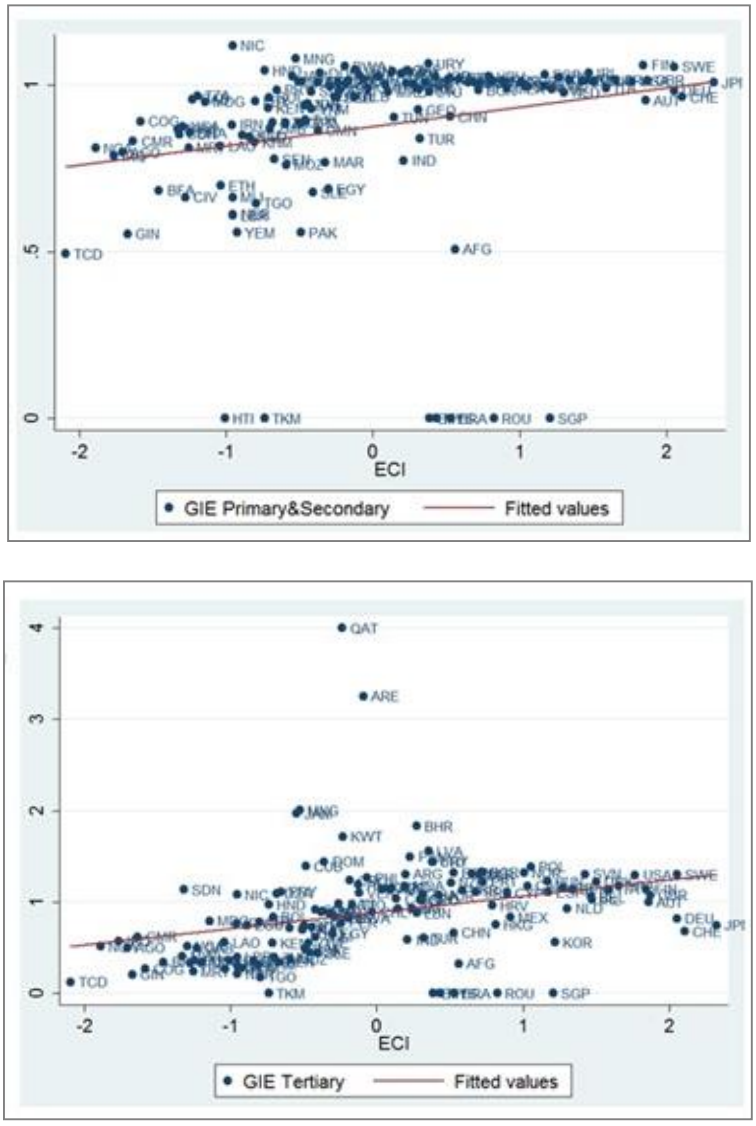


Source: Calcul de l'auteur à partir des données de la Banque mondiale, 2015.

Après avoir présenté les cartes de l'évolution de l'inégalité des sexes dans le monde en comparant les situations de 1984 et de 2014, les figures 5 et 6 nous montrent la corrélation moyenne des trois dernières décennies de l'inégalité de genre en éducation et de la complexité économique. A cet effet, on observe une relation positive entre l'inégalité de genre (GIE) et la complexité économique (ICE) aussi bien dans les niveaux primaire et secondaire (figure 5) que dans le niveau tertiaire (Figure 6). Dans la figure 5, on constate que la plupart des points sont au-dessus de la ligne droite qui peut représenter une corrélation imparfaite entre l'inégalité entre les sexes dans les niveaux

primaire et secondaire et de la complexité économique. Cependant, la corrélation ne signifie pas causalité. Voilà pourquoi dans la section suivante, nous effectuons une analyse empirique.

Figure 5 & 6: Relation entre la complexité économique et l'inégalité entre les sexes dans les niveaux primaire et secondaire inscriptions et les inscriptions au niveau tertiaire (1984-2014).



Source: Calcul de l'auteur à partir des données de la Banque mondiale et de l'Atlas of Economic Complexity, 2015.

3. Revue de la littérature

Dans la littérature empirique, les travaux les plus populaires sont ceux qui ont établi une relation entre les inégalités de genre et la croissance, et ceux qui ont abordé les inégalités de genre à travers les écarts de salaires. Toutefois, le lien direct entre le commerce et l'égalité de genre en éducation a été établi mais reste peu concluant. Nous présenterons, à la dernière section, l'effet du commerce sur les inégalités de genre à partir de fondements théoriques.

3.1. Inégalité de genre et croissance

L'étude la plus récente sur les inégalités de genre en éducation a été menée par Barro (2013). Il démontre, à travers un cadre de croissance néo-classique, que l'écart entre les sexes en éducation est un déterminant majeur de la croissance économique. D'autres travaux ont étudié le fossé éducatif entre les sexes comme ceux d'Hassan et Cooray (2013). Ils ont étudié l'effet de l'égalité de genre en éducation sur la croissance économique. Leurs travaux révèlent l'existence d'un écart entre les sexes, où l'éducation des femmes affecte peu la croissance économique. Une autre étude sur les différences entre les sexes dans l'éducation menée par Tansel et Gungor (2012) a établi une relation entre le développement économique et l'éducation en tenant compte du genre en Turquie sur une période de 1975 à 2000. Les résultats montrent que l'écart entre les sexes dans l'éducation affecte négativement et de manière significative la productivité dans toutes les provinces y compris celles développées et en développements. Kaur et Letic (2012) ont étudié l'effet de l'éducation des femmes sur le développement économique à travers des taux d'investissement. Quant à Dahal et al. (2014), son analyse porte sur le lien entre l'égalité des sexes dans l'éducation et la croissance économique pour le cas du Népal en utilisant des données régionales (75 villes) pour l'année 2001. Il a utilisé la fonction de production Cobb-Douglas où il démontre un impact négatif évident de l'inégalité de genre sur le niveau de revenu par habitant.

Chapitre 4 : Complexité économique et Inégalité de Genre en Education : Approche par la théorie d'HOS

Knowles et Lorgelly (2002) ont tenté une étude sur les écarts entre les sexes dans l'éducation et le développement économique. Ils ont analysé les effets à long terme de la scolarité des femmes et des hommes sur la productivité du travail. L'étude de Benavot (1989) analyse l'impact des différences entre les sexes dans l'expansion de l'éducation sur la croissance d'une économie. L'auteur démontre qu'une économie qui tend vers une égalité de genre dans le niveau d'enseignement primaire aura un effet significativement positif sur la croissance des pays en développement

De plus, la littérature existante montre que la qualité des institutions joue un rôle crucial sur l'égalité de genre. Les travaux de Kiriti et Tisdell (2003) ont porté essentiellement sur les principaux déterminants de la pauvreté, des inégalités de genre et du développement humain au Kenya. Ils ont analysé plusieurs aspects de l'inégalité de genre y compris l'éducation, l'emploi et la participation politique. Les résultats empiriques montrent que les femmes sont fortement discriminées dans l'éducation et la santé. Iversen et Rosenbulth (2006) montrent également que les femmes sont fortement discriminées par les institutions, ce qui entrave leur capacité à obtenir les compétences pour avoir pris part à une répartition égale du travail au sein du foyer.

Chen (2004) a étudié l'effet du rôle des technologies de l'information et de la communication sur l'amélioration de l'égalité de genre où ces résultats démontrent une relation significativement positive entre les TIC et l'égalité des sexes dans l'éducation et de l'emploi.

Klasen et Lamanna (2003) ont étudié les effets des inégalités de genre sur l'éduction et l'emploi dans la région MENA. Ils démontrent que l'écart entre les sexes en emploi affecte négativement la croissance par rapport aux disparités entre les sexes dans l'éducation. Par la suite, ces mêmes auteurs (Klasen et Lamanna, 2008) ont mené une étude similaire sur l'inégalité de genre en éducation et emploi pour les pays en développement. Leurs résultats montrent que la croissance d'une économie est ralentie en raison des disparités entre les sexes dans l'éducation et l'emploi en termes de salaires, essentiellement dans les pays MENA, d'Afrique et d'Asie du Sud.

3.2. L'effet du revenu

Un second champ de recherche aborde la question des inégalités de genre à travers le salaire en partant de l'hypothèse que; plus les femmes travaillent, plus elles investissent dans l'éducation de leurs enfants. Les travaux d'Hoddinott et Haddad (1995), la Banque mondiale (2001) démontrent que les ménages où les femmes ont plus de revenus que les hommes investissent davantage dans l'éducation, la santé et la nutrition des enfants. Une étude de cas au Brésil a fait valoir que la mortalité infantile diminue dans les ménages dont le revenu des femmes augmente, tandis que la nutrition des enfants et la scolarisation des enfants augmentent dans ces mêmes ménages (Thomas, 1990; Thomas et al, 1997). En Côte d'Ivoire, l'augmentation du revenu des femmes dans les ménages conduit à l'augmentation de la partie du budget réservé à la nutrition et à l'éducation, au détriment de l'alcool et de la cigarette (Khander, 1998; Pih et Khandker, 1998). Ainsi, un meilleur revenu pour les femmes mène à une plus grande égalité des sexes dans l'éducation. Une liaison éducation-revenu peut être établie. Cela peut avoir un effet positif sur le capital humain des enfants et leur bien-être. D'autre part, Barro (1997) soutient l'idée que les femmes plus instruites ont des enfants plus instruits. Cela augmente la part des travailleurs instruits dans la société et est bénéfique pour la croissance économique. Hill et King (1995) montre qu'une augmentation de 10 points de pourcentage dans la scolarisation des femmes dans l'enseignement primaire conduit à une diminution de 4,1 décès pour 1000 naissances d'enfants, tandis que la même augmentation dans l'enseignement secondaire conduit à une diminution de 5,6 points de décès. Baliamoune-Lutza et Bokoc (2013) attestent que le revenu est le principal déterminant du développement humain mesuré en termes d'alphabétisation et d'espérance de vie.

3.3. Inégalité de genre et commerce

Enfin, un troisième champ de recherche a pris en compte l'effet du commerce sur les inégalités de genre. Les fondements théoriques de l'effet de la libéralisation des échanges sur les inégalités de genre, en particulier l'écart des salaires entre les sexes, reposent sur deux théories à savoir la théorie HOS du commerce international et l'autre est la théorie de la discrimination de Becker

(Becker, 1971). Lorsqu' une économie passe d'un état d'autarcie à une économie de libre-échange, la transformation augmente la mobilité des facteurs de production à savoir le capital et le travail. La théorie HOS explique l'effet distributif du mouvement du travail entre les pays. Les économies en développement ont un avantage comparatif dans la production de biens nécessitant une utilisation intensive de main-d'œuvre non qualifiée. La libéralisation des échanges augmente la concurrence des travailleurs non qualifiés dans les économies en développement et les économies développées, ce qui permet d'améliorer les salaires des travailleurs non qualifiés dans les économies en développement et, ainsi réduire l'écart des salaires. Les travailleuses représentent généralement un segment de la main-d'œuvre non qualifiée. Par conséquent, la réduction de l'écart de revenu entre les travailleurs qualifiés et les travailleurs non qualifiés entraîne aussi une baisse de l'écart des salaires entre les sexes. Dans ce contexte, le commerce joue positivement sur les différences salariales entre les sexes dans les économies en développement et négativement dans les économies développées.

La théorie de Becker sur la discrimination montre quant à elle, que dans un environnement moins concurrentiel, il est plus facile pour les employeurs de maintenir le comportement discriminatoire coûteux. La libéralisation des échanges augmente la concurrence et érode la capacité des firmes à maintenir la discrimination coûteuse, ce qui génère une baisse des écarts des salaires entre les sexes.

Un certain nombre d'études ont tenté de tester ces deux théories empiriquement, comme par exemple les travaux de Fontana (2003), qui ont montré que la libéralisation du commerce a entraîné une féminisation de la main-d'œuvre manufacturière dans les économies en développement. Il démontre aussi que les effets de la libéralisation du commerce sur l'emploi sont les plus favorables pour les travailleuses, particulièrement dans les économies en développement qui se spécialisent dans la production de main-d'œuvre à forte intensité.Les effets des salaires sont l'aspect le plus étudié de l'impact du commerce sur les inégalités de genre. Toutefois, d'autres paramètres ont été pris en compte à savoir l'éducation.

L'étude de Korinek (2005) montre que l'intégration dans le commerce international a un effet positif sur l'égalité des sexes dans l'éducation. Ce résultat diffère en ce qui concerne le salaire avec

la persistance des inégalités. S'agissant de l'éducation, une augmentation des emplois des femmes dans les secteurs orientés vers l'import-export leur donne un surplus de pouvoir d'achat qui permet d'augmenter les investissements dans l'éducation des générations futures. Selon l'OIT (2004), la mondialisation peut conduire à des changements dans le mode de vie et les institutions traditionnelles. Ces changements dans les traditions peuvent avoir des effets positifs et négatifs sur l'inégalité entre les sexes. Les pratiques de gestion des pays développés sont introduites dans les pays en développement ; conduisant à plus de d'égalité des sexes dans les secteurs orientés vers l'import-export. En ce qui concerne les pratiques discriminatoires qui peuvent être observées dans les entreprises locales, les femmes ayant un niveau d'enseignement supérieur préfèrent travailler dans les succursales d'entreprises étrangères. À moyen et long terme, les pratiques des entreprises externes sont progressivement introduites dans la gestion des entreprises locales, conduisant à une meilleure égalité de genre.

Il n'y a pas de consensus dans la littérature des effets directs du commerce extérieur sur l'inégalité des sexes dans l'éducation. Badji (2008), sur un échantillon des pays l'Union économique et monétaire ouest-africaine (UEMOA), démontre en se basant sur le commerce, que la mondialisation a eu un impact positif sur l'égalité des sexes dans l'éducation. Néanmoins, l'ouverture financière par les investissements directs étrangers contribue à augmenter ses inégalités.

Dans la même perspective, Schultz (2006) utilise un échantillon de 70 pays sur la période 1965-1980 afin de démontrer que l'augmentation des tarifs, quotas et autres restrictions au commerce conduit à une diminution du niveau d'éducation des femmes et de l'accès à la santé. En revanche, la libéralisation des politiques commerciales conduit à une accumulation de capital plus élevée et à plus d'égalité de genre. En outre, Sajid (2014) a tenté de savoir si l'ouverture commerciale réduisait les inégalités de genre en éducation dans les pays D8 (Bangladesh, l'Egypte, l'Indonésie, l'Iran, la Malaisie, le Nigeria, le Pakistan et la Turquie) sur la période 1980-2012. Le coefficient de la variable du commerce est positivement significatif à 1% sur la diminution des inégalités de genre aux niveaux de l'enseignement primaire, secondaire et tertiaire. Yamamuna (2016) utilise des données en coupe transversale pour mesurer l'effet de l'ouverture commerciale en 1970 sur les inégalités de 2011 et montre que l'ouverture commerciale a réduit les inégalités de genre au niveau

des salaires et de l'éducation jusqu'en 2011. Concernant l'éducation, l'effet de l'ouverture sur les inégalités disparaît en 2000 et ce résultat est robuste après contrôle du biais d'endogénéité.

Contrairement aux études précédentes, Forsythe et al. (2003), Verschuur et Reysoo (2003), Baliamoune-Lutz (2006) et Arora (2012) trouvent un effet négatif ou aucun effet sur les inégalités de genre. Verschuur et Reysoo (2003) analysent les effets de l'économie politique inspirée du libéralisme sur le bien-être social, les services sociaux sanitaires et éducatifs. L'étude est basée sur l'impact des politiques d'ajustement structurel qui ont conduit à une diminution de la condition des femmes dans l'accès à l'éducation par rapport à celles des hommes. Arora (2012) étudie l'impact de la mondialisation sur les inégalités entre les sexes dans les États de l'Inde. La conclusion est que la plupart des États ayant un indice d'ouverture plus élevé ont des inégalités de genre en éducation plus élevé. En utilisant des données transversales, Baliamoune-Lutz (2006) soutient l'idée que la mondialisation et la croissance n'affectent pas l'égalité de genre dans les pays en développement. La situation est différente dans les pays d'Afrique subsaharienne où l'impact est négatif. De même, Forsythe et al. (2003) constatent que les politiques d'ouverture commerciale n'impactent pas l'inégalité entre les sexes dans l'éducation. Ce sont, plutôt, les dépenses publiques dans l'éducation qui diminue ce type d'inégalité entre les sexes.

Ces nombreux travaux ouvrent ainsi plusieurs perspectives intéressantes. Nous pouvons penser que la structure productive d'une économique peut jouer un rôle important dans la réduction des inégalités de genre en éducation. C'est pour tenter d'expliquer cette absence de consensus que nous proposons d'amender la relation entre la capacité productive et les inégalités de genre en étudiant la sensitivité à la présence d'une variable relative au commerce, et ce à partir d'un cadre théorique néoclassique.

4. Cadre théorique et modélisation empirique

Dans la littérature, il est démontré que le commerce extérieur a un effet significatif sur l'inégalité entre les sexes dans l'éducation (OIT, 2004; Korinek, 2005; Arora, 2012). Ainsi, nous utilisons la théorie néoclassique comme cadre théorique. Comme l'ont montré Borjas et Ramey (1995) et d'autres, nous supposons qu'une augmentation du commerce devrait réduire l'écart salarial entre les femmes et les hommes. En outre, nous supposons que plus les femmes ont un revenus qui augmente et plus elles investissent dans l'éducation, la santé et la nutrition des enfants (Hoddinott et Haddad, 1995, Banque mondiale, 2001). Cela entraîne une diminution de l'inégalité entre les sexes dans l'éducation. Ainsi, pour tenir compte de l'endogénéité résultant de cette causalité, nous incluons l'écart entre les sexes dans le marché du travail (mesuré par le ratio du taux d'activité féminin sur le taux d'activité masculin) dans les variables instrumentales du modèle empirique.

En somme, l'inégalité de genre peut affecter de manière significative la performance d'une économie à travers sa structure productive et la composition de ses paniers d'exportations.

Ainsi, nous supposons que la complexité économique joue un rôle significatif et crucial sur l'inégalité de genre en éducation. Il a été démontré dans la littérature empirique que le commerce avait un effet significatif sur les inégalités de genre en éducation (Korinek, 2005; Arora, 2012). La mesure de la complexité économique formalisée par Hausmann et Hidalgo (2009, 2011) est un indice théorique basé sur les données du commerce qui combinent le niveau de diversification des exportations et l'ubiquité moyenne des produits exportés. Cet indicateur interviendra comme une mesure complémentaire au revenu par habitant. En testant la complexité économique, nous démontrons d'autres trajectoires de développements.

En outre, des facteurs politiques comme la qualité de la gouvernance ont été pris en compte (Anderson et Konard 2003a, 2003b; Baskaran et Hessami, 2012). Les régions ou pays participent au commerce international selon leurs accords bilatéraux et multilatéraux (Menon et Vand der Meullen Rodgers 2009; Boler 2015). Pour cela, nous spécifions l'adhésion du pays à l'Organisation mondiale du commerce (OMC). De plus, l'investissement direct étrangers et les dépenses en

éducation (Educ) devraient impacter l'inégalité entre les sexes dans l'éducation (Selden et Wasylenko, 1995; Esim, 2000; Forsythe et al , 2003, Braunstein, 2006).

Sur la base de ce cadre théorique, le modèle que nous retenons pour expliquer la relation empirique entre l'inégalité de genre en éducation et la complexité économique se présente sous la forme suivante:

$$ln\, IGE_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 lnICE_{it} + \sum \delta lnX_{it} + \beta ln\, IGE_{it-1} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it}$$

La variable expliquée IGE_{it} représente le logarithme de l'indice d'inégalité de genre dans l'enseignement primaire/secondaire et tertiaire d'un pays i à l'instant t.

Concernant les variables explicatives, ICE_{it} le niveau de complexité économique d'un pays i à l'instant t traduit les capacités productives. X contient les variables explicatives telles que l'indice des dépenses publiques d'éducation en % du PIB (Educ), la stabilité du gouvernement (Gouv), l'investissement direct étranger en % du PIB (IDE), et l'adhésion à l'OMC (OMC), $\boldsymbol{\mu_i}$correspond aux éventuels effets fixes, $\boldsymbol{\gamma_t}$les effets temporels et $\boldsymbol{\varepsilon_{it}}$ le terme d'erreur.

Nous considérons un échantillon de 133 pays qui couvre une période de 31 années (1984-2014). Nous distinguons de l'échantillon global, premièrement, les pays selon leur niveau de revenu et deuxièmement, nous accordons une attention particulière aux pays Africains et MENA (Annexe 1). Ces deux régions présentent d'une part une réelle complexification de leur économie malgré qu'elles soient encore insuffisantes pour assurer un développement inclusif et d'autre part, les inégalités de genre restent très élevées malgré une réelle diminution au cours de ces 3 dernières décennies. Les données utilisées pour les 133 pays sont issues des bases de la Banque mondiale (2016) et Unesco (2016) exceptées les données ICE qui proviennent de l'Observatoire de la complexité économique du MIT (2016).

5. Principaux résultats

Les résultats présentés dans les tableaux ont fait l'objet de tests de sensibilité en adoptant différentes techniques d'estimation. Etant donné que certaines variables sont invariantes dans le temps ou presque (en particulier la variable OMC), nous préférons l'utilisation de l'estimateur à effets fixes à celui des effets aléatoires pour produire des paramètres efficaces et moins biaisés des variables invariantes (Annexe 2).

Comme analyse de sensibilité, nous procédons à un découpage de l'échantillon par niveau de revenu (pays à revenu élevé, intermédiaire et faible) et par groupe régional (Afrique et Mena) pour corriger le problème d'hétérogénéité. Puis, nous retenons l'estimateur des variables instrumentales (Annexe 3-4) et GMM en système pour prendre en compte les problèmes d'endogénéité et d'erreurs de mesure. Ainsi, les différents tests ont mis en évidence la robustesse des résultats puisque le passage d'un estimateur à un autre n'a en effet pas créé d'instabilité significative dans le signe et la valeur des coefficients estimés. Ce modèle empirique a été vérifié par le test VIF[35] et la matrice de corrélation afin d'éliminer un éventuel biais de multicolinéarité entre les variables explicatives (annexe 5 b et c)[36]. Les tests nous révèlent aussi une absence de cointégration entre les variables.

La présence de la variable explicative retardée ($lnIGE_{t-1}$) est considérée comme une source d'endogénéité dans cette estimation – justifiée par la présence d'autocorrélation – rendant l'estimateur inefficient (Baltagi, 1995). Dans ce contexte, la présence de cette variable nous conduit à utiliser la méthode des moments généralisés (GMM) en système (Blundell et Bond, 1998) pour

[35] Les résultats du VIF sont bien inférieurs à la limite supérieure de 10 (1,34), ce qui indique que le problème de multicolinéarité est mineur dans nos spécifications.

[36] Nous avons essayé d'introduire une variable proxy relative à l'effet d'ouverture commercial, mais cette variable lors des tests était fortement corrélé avec la variable ICE (R=0,72). Nous avons donc décidé de la supprimer de l'échantillon. A cet effet compte tenu de son importance dans la littérature économique nous avons tenté une variable d'interaction entre ICE et ouverture commercial, mais cette variable n'était significatif pour chaque estimation.

contrôler les effets spécifiques individuels et temporels. Pour tester la validité des variables retardées et du PIB/tête comme instruments, nous nous basons sur les tests de Sargan.

Pour analyser l'effet de la complexité économique sur l'inégalité des sexes dans l'éducation, nous avons utilisé six échantillons différents : l'échantillon total, les pays à revenu élevé, les pays à revenu intermédiaire, les pays à faible revenu, les pays d'Afrique et les MENA (Annexe1).

La première observation que nous pouvons faire est que tous les *p-value* du test de Sargan sont supérieures à 0,05. Ainsi, nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse nulle H0 de validité des instruments. De plus, l'effet AR (1) des résidus est accepté et l'effet AR (2) est rejeté. Il y a donc absence de corrélation sérielle des résidus.

Deuxièmement, il y a une auto-perpétuation des inégalités, tant dans l'enseignement primaire et secondaire, mais aussi dans le tertiaire. En fait, la variable dépendante de l'année t-1 a un effet positif et significatif sur le niveau des inégalités dans l'année t. Ainsi, la diminution de l'inégalité dans l'année t-1 a un effet positif sur l'égalité des sexes dans l'éducation de l'année t. En d'autres termes, les gouvernements doivent réduire l'inégalité dans les niveaux inférieurs pour lutter contre ce phénomène au niveau suivant.

La troisième observation est que, en dehors de l'échantillon global, la complexité économique n'a pas d'effet sur l'inégalité des sexes dans l'enseignement des niveaux primaire et secondaire. Ce résultat empirique confirme l'observation d'absence de corrélation dans la figure 5. Ceci peut être expliqué par le fait qu'une économie complexe a besoin de main-d'œuvre plus qualifiée. Ainsi, les travailleurs les plus concernés sont ceux avec un haut niveau d'éducation.

Dans ce contexte, nous trouvons un effet significatif de la complexité économique sur les inégalités dans le niveau tertiaire. Le signe est positif pour l'échantillon global (0,01*), les pays à revenu moyen (0,022***), à revenu faible (0,01*) et les pays africains (0,01*). Alors qu'il est significativement négatif pour les pays à revenu élevé (-0,05***) et pour ceux des pays MENA (-0,013*).

Ce résultat est pertinent puisque nous démontrons que, quel que soit le niveau de revenu, la complexité économique réduit les inégalités entre les sexes dans l'éducation au niveau tertiaire. En fait, dans les pays à revenu intermédiaire et faible, et d'Afrique, l'indice est inférieur à 1 au niveau tertiaire (voir figures 3 et 4). Le signe positif signifie que les inégalités diminuent. Dans les pays à revenu élevé et les pays de la région MENA, l'indice est supérieur à 1 (voir la figure 3 et 4). Le signe négatif signifie que les inégalités diminuent aussi[37]. Néanmoins, cette diminution ne devrait pas amener l'indice en deçà de 1 ; ce qui conduirait à la naissance des inégalités en faveur des hommes.

Le cas des MENA est intéressant. Cette région est riche en pétrole et en gaz, mais l'éducation est aujourd'hui un nouveau secteur d'exploration, en particulier pour les femmes. Par exemple, au Qatar, il y a 6 femmes avec un niveau d'étude supérieur pour un homme selon le classement de Business Insider (2015). Un écart qui place ce petit pays en tête des pays où les femmes sont plus instruites que les hommes.

En analysant les résultats selon le cadre théorique néoclassique, avec l'hypothèse qu'une augmentation du commerce réduit l'écart salarial entre les femmes et les hommes, les pays en développement ont plus de dotations en matières premières. Ils sont donc spécialisés dans l'exportation de ces produits. La complexité économique signifie que ces pays transformeront les matières premières avant de les exporter. Cela nécessite des travailleurs plus qualifiés et spécialisés. Dans ces conditions, les entreprises travaillant dans ces secteurs recruteront la main-d'œuvre qualifiée ; soit masculin ou féminine. Cela a deux implications. Premièrement, la diminution de l'inégalité entre les sexes dans le marché du travail et l'augmentation du revenu des femmes qui peuvent investir dans l'éducation de leurs enfants. Deuxièmement, pour rendre l'économie plus adaptée aux besoins de la complexité des exportations, le gouvernement investira

[37] Rappelons que l'indice à 1 représente l'égalité parfaite

dans le système éducatif. Par conséquent, cela entraînera une diminution des inégalités entre les sexes dans l'éducation.

La quatrième observation est que, quel que soit le niveau de l'éducation, les variables de contrôle réduisent les inégalités en particulier les dépenses publiques dans l'éducation, la stabilité du gouvernement et l'ouverture financière par les IDE. Ces résultats sont conformes à ceux de la littérature (Braunstein, 2006; Hessami, 2012; Boler 2015). Le signe des dépenses publiques dans l'éducation est positif et significatif dans les pays africains et les pays à faible revenu et ce quel que soit le niveau d'éducation. L'indice d'inégalité entre les sexes dans l'éducation étant inférieur à 1 dans ces pays, nous pouvons en déduire que le gouvernement joue un rôle important pour réduire ce type d'inégalité. Par conséquent, le rôle des dépenses publiques est important dans les pays africains et les pays à faible revenu où il existe un niveau initial plus élevé des inégalités ; ce qui n'est pas le cas dans les autres pays.

La stabilité du gouvernement a elle aussi un signe positif et significatif. Ainsi, la lutte contre la corruption dans un pays conduit à l'égalité des sexes dans l'éducation. Pour faire un parallélisme avec les dépenses publiques dans l'éducation, cela signifie que ces investissements ne seront pas détournés à d'autres fins et conduiront à améliorer le système d'éducation pour plus d'égalité entre les sexes.

En ce qui concerne les IDE, le signe est positif et significatif dans les pays en développement. Ainsi, ils réduisent les inégalités. En effet, les entreprises étrangères apportent souvent les nouveaux styles de gestion en faveur de l'égalité entre les sexes qui sont adoptés par des entreprises locales. En outre, certaines études ont montré que les femmes plus instruites préfèrent travailler dans les entreprises multinationales qui sont moins inégales. Ainsi, ils peuvent soutenir l'éducation de leurs enfants (OIT 2004; Korinek 2005). Dans ce contexte, d'autres mesures comme les politiques économiques structurelles doivent être utilisées par les gouvernements pour lutter contre ce phénomène.

Chapitre 4 : Complexité économique et Inégalité de Genre en Education :

Approche par la théorie d'HOS

Tableau 1: Effet de la complexité économique sur l'indice des inégalités de genre dans les inscriptions au niveau primaire et secondaire, 1984-2014.

GMM SyS $\mathbf{lnIGE_{it}}$	(1) **Total**	(2) **High income**	(3) **Middle income**	(4) **Low income**	(5) **Africa**	(6) **MENA**
$\mathbf{lnIGE_{it-1}}$	0.354***	0.752***	0.338***	0.858***	0.883***	0.363***
	(0.0122)	(0.00885)	(0.0172)	(0.0162)	(0.0115)	(0.0300)
$\mathbf{lnICE_{it}}$	**0.0117****	-0.000104	0.0104	0.00280	0.00293	0.00185
	(0.00462)	(0.00139)	(0.00858)	(0.00342)	(0.00198)	(0.0141)
$\mathbf{lnEduc_{it}}$	0.00759***	-7.75e-05	0.0103***	0.00351**	0.00220**	-0.00496
	(0.00169)	(0.000429)	(0.00319)	(0.00154)	(0.000895)	(0.00539)
$\mathbf{lnGouv_{it}}$	0.00676***	0.000751	0.00950***	0.00232	0.00322***	0.0224***
	(0.00142)	(0.000470)	(0.00248)	(0.00148)	(0.000865)	(0.00541)
$\mathbf{lnIDE_{it}}$	6.50e-05	-9.96e-06	-0.000332	0.000477***	0.000244***	-9.99e-05
	(0.000150)	(3.52e-05)	(0.000288)	(0.000156)	(7.32e-05)	(0.000429)
$\mathbf{OMC_{it}}$	0.000168	-0.000518***	-0.00253	0.00244**	0.000874	-0.000793
	(0.000889)	(0.000214)	(0.00177)	(0.00101)	(0.000535)	(0.00345)
Constant	0.156***	0.0727***	0.158***	0.0255***	0.0239***	0.154***
	(0.00398)	(0.00263)	(0.00621)	(0.00352)	(0.00272)	(0.0111)
Observations	3990	1,440	1,710	840	900	570
Nb country	133	48	57	28	30	19
Sargan test (p-value)	0.12	0.17	0.09	0.11	0.08	0.1
AR(1)	0.04	0.0002	0.01	0.04	0.001	0.02
AR(2)	0.28	0.12	0.25	0.45	0.73	0.49

Standard errors in parentheses. *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1.

GMM SyS: Méthode des moments généralisés en Système. Le test de Sargan est la statistique du test de validité des instruments, avec la p-value. AR(2): statistique d'Arellano-Bond du test d'autocorrélation des erreurs respectivement de second ordre avec la p value ; Instrument retenu : ICE par son retard d'ordre (2).

Tableau 2: Effet de la complexité économique sur les inégalités de genre dans les inscriptions au niveau tertiaire, 1984-2014.

GMM SyS $lnIGE_{it}$	(1) **Total**	(2) **High income**	(3) **Middle income**	(4) **Low income**	(5) **Africa**	(6) **MENA**
$lnIGE_{it-1}$	0.620***	0.817***	0.528***	0.808***	0.723***	0.856***
	(0.00926)	(0.0140)	(0.0136)	(0.0187)	(0.0177)	(0.0190)
$lnICE_{it}$	**0.0126****	**-0.048*****	**0.0224*****	**0.0108***	**0.0161****	**-0.0126***
	(0.00603)	(0.0138)	(0.00704)	(0.00734)	(0.00694)	(0.00165)
$lnEduc_{it}$	0.00167	0.000503	0.00293	0.00929***	0.0123***	-0.00404
	(0.00202)	(0.00384)	(0.00252)	(0.00327)	(0.00308)	(0.00619)
$lnGouv_{it}$	0.0263***	0.0310***	0.0149***	0.0104***	0.0180***	0.0239***
	(0.00191)	(0.00495)	(0.00211)	(0.00329)	(0.00319)	(0.00767)
$lnIDE_{it}$	0.000527***	0.000150	0.000782***	0.000555*	0.00123***	0.000782
	(0.000180)	(0.000334)	(0.000221)	(0.000321)	(0.000258)	(0.000528)
OMC_{it}	0.00911***	-0.00202	0.0179***	0.00199	-0.000102	-0.00267
	(0.00114)	(0.00205)	(0.00148)	(0.00211)	(0.00185)	(0.00429)
Constant	0.0552***	0.0552***	0.0782***	0.00530	0.00813**	0.0237**
	(0.00372)	(0.0101)	(0.00449)	(0.00414)	(0.00383)	(0.0110)
Observations	3990	1,440	1,710	840	900	570
Nb country	133	48	57	28	30	19
Sargan test (p-value)	0.14	0.16	0.09	0.076	0.17	0.2
AR(1)	0.001	0.006	0.01	0.01	0.03	0.02
AR(2)	0.53	0.52	0.53	0.12	0.16	0.35

Standard errors in parentheses. *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

GMM SyS: Méthode des moments généralisés en Système. Le test de Sargan est la statistique du test de validité des instruments, avec la p-value. AR(2): statistique d'Arellano-Bond du test d'autocorrélation des erreurs respectivement de second ordre avec la p value ; instrument retenu : ICE par son retard d'ordre (2).

6. Conclusion

Dans ce chapitre, l'objectif a été d'établir un lien entre les inégalités de genre en éducation et la complexité économique comme élément central de lutte contre ce phénomène. L'analyse descriptive nous montre que les inégalités de genre sont plus importantes dans l'éducation de niveau tertiaire que dans les niveaux primaire et secondaire. Les pays à faible revenu sont les plus inégaux. De plus, le nuage de points montre une forte corrélation entre la complexité économique et l'inégalité entre les sexes dans l'inscription au niveau tertiaire. Sur la base du modèle HOS comme cadre théorique, nous avons procédé à une analyse empirique en utilisant l'estimateur GMM en Système. Nos résultats montrent que sur le plan macroéconomique, les trajectoires peuvent sensiblement différer au sein des régions mais aussi au sein des niveaux d'éducation. En effet, il n'y a pas de relation entre la complexité économique et l'inégalité entre les sexes dans les inscriptions des niveaux primaire et secondaire. L'effet n'est significatif qu'au niveau tertiaire. Cette différence s'explique par le fait que la complexité économique a besoin de plus de travailleurs d'un haut niveau d'éducation. En outre, plus une économie est complexe, plus elle parvient à réduire son niveau des inégalités de genre. Nous retrouvons ce résultat dans l'éducation au niveau tertiaire, quel que soit le niveau de revenu. En effet, dans les pays à revenus intermédiaires et faibles et dans les pays Africains, l'indice est inférieur à 1 au niveau tertiaire (voir figures 3 et 4). Le signe positif du coefficient signifie que les inégalités diminuent. Dans les pays à revenu élevé et dans les MENA, l'indice est supérieur à 1 (voir figure 3 et 4). Le signe négatif du coefficient signifie que les inégalités diminuent en faveur des femmes.

Dans ce contexte, les gouvernements doivent prendre les mesures en vue de diversifier les structures de production afin de réduire davantage l'inégalité entre les sexes dans le niveau tertiaire. Des mesures autres que la complexité économique doivent être mises en œuvre pour réduire l'inégalité dans les niveaux primaire et secondaire, et particulièrement les pays en développement ; par exemple un accord international pour réduire ce type des inégalités.

Chapitre 4 : Complexité économique et Inégalité de Genre en Education : Approche par la théorie d'HOS

La pauvreté et la qualité des institutions sont deux des raisons pour lesquelles de nombreux pays ont des difficultés pour mettre en œuvre les mesures visant à réduire les inégalités. Certaines régions ne disposent pas des revenus pour consacrer les ressources nécessaires afin de lutter contre ce type d'inégalité. Un accord international pour soutenir financièrement ces pays ne seraient pas de refus.

Par ailleurs, l'égalité de genre se traduit par des investissements très importants dans le capital humain des enfants, qui, à son tour, aura des effets positifs et dynamiques sur la croissance économique. Dans ce contexte, les politiques économiques conjoncturelles et structurelles doivent être utilisées par les gouvernements pour lutter contre la transmission intergénérationnelle des inégalités de genre.

Pour y parvenir, il conviendrait d'adopter des stratégies qui visent à réduire le taux d'abandon en cours d'étude par des bourses dans l'enseignement supérieur par exemple et de faciliter la transition entre l'école et le monde du travail, afin d'arriver à une autonomisation économique des femmes et une égalité des chances.

La complexification des systèmes productifs joue désormais un rôle essentiel dans le développement humain. Les résultats des quatre premiers chapitres nous amènent à proposer un modèle de développement capable d'assurer la stabilité sociale et la transition politique pacifique à partir de la physique théorique.

References

Aditya, A., Acharyya, A. 2012. Do what countries export matter? *Journal of Economic Development*, 37(3): 47-74.

Anderson, F., Konard K. A. 2003a. Human capital investment and globalization in extortionary states, *Journal of Public Economics* 87(7–8), 1539–55.

Anderson, F. 2003b. Globalization in risky human capital investment, *International Tax and Public Finance* 10(3), 211–28.

Arora, R.U. 2012. Gender Inequality, Economic Development, and Globalization: a State level Analysis of India, *The Journal of Developing Areas*, vol. 46, n° 1.

Badji, M.S. 2008. Mondialisation et inégalités de genre chez les populations des Etats membres de l'Union Economique et Monétaire Ouest africaine (UEMOA), *cahier de recherche/ Working Paper* 08-04.

Baliamoune-Lutz, M., Bokoc, S.H. 2013. Trade, Institutions, Income and Human Development in African Countries, *Journal of African Economies*, 22 (2): 323-345.

Baliamoune-Lutz, M. 2006. Globalization and Gender Inequality: Is Africa Different? *Journal of African Economies,* 16 (2): 301-348.

Baltagi, B. 2005. Econometric Analysis of Panel Data, New York: Wiley, 3rd edition.

Barro, R. J., 2013. Education and Economic Growth, *Annals of Economics and Finance*, Vol. 14(2), Pages 301-328, November

Barro, R. J. 1997. Determinants of Economic Growth: A Cross-Country Empirical Study, The MIT Press, Cambridge, Mass. and London, 1997.

Baskaran, T., Hessami, Z. 2012. Public education spending in a globalized world, *International Tax and Public Finance* 19(5), 677–707.

Becker,G,.1971. The Economics of Discrimination. The University of Chicago Press.

Benavot, A. 1989. Education, Gender, Economic Development: A Cross National Study, Sociology of Education, Vol.62,No.1, Special Issue on Gender and Education, 14-32

Boler, E.A., Javorcik, B. S., Ulltveit-More, K. H. 2015. Globalization: A woman's best friend? Exporters and the gender wage gap. CESifo *Working Paper* Series 5296.

Borjas G, Ramey V,. 1995. Foreign Competition, Market Power, and Wage Inequality. *The Quarterly Journal of Economics*, 1995, vol. 110, issue 4, 1075-1110

Braunstein, E. 2006. Foreign Direct Investment, Development and Gender Equity: A Review of Research and Policy, United Nations Research Institute for Social Development, Occasional Paper 12.

Brummet, Q. 2008. The Effect of Gender Inequality on Growth: A Cross-Country Empirical Study. *The Park Place Economist*, vol. XVI.

Dahal, P. 2014. Effect of Gender Gap In Education On District Level Gdp Per Capita Of Nepal, *Economic Journal of Development* Issues Vol. 13 & 14 No. 1-2 (2011)

Esim, S. 2000. Impact of Government Budgets on Poverty and Gender Equality, *Inter-Agency Workshop on Improving the Effectiveness of Integrating Gender Into Government Budgets*, Commonwealth Secretariat, Malborough House, London, 26-27 April 2000.

Felipe J., Abdon A. 2012. Product complexity and economic development, *Structural Change and Economic Dynamics*, Volume 23, Issue 1, Pages 36-68

Felipe, J., Kumar U., Abdon A. 2010. How Rich Countries Became Rich and Why Poor Countries Remain Poor: It's the Economic Structure. *Levy Economics Institute*, WP n0.644, Asian Development Bank.

Fontana, M. 2003. The gender effects of trade liberalization in developing countries: A review of the literature. University of Sussex at Brighton, Discussion Paper 101

Forsythe, N., Korzeniewicz, R. P., Majid, N., Weathers, G., Durrant, V. 2003. Gender inequalities, economic growth and economic reform: A preliminary longitudinal evaluation (No. 2003/45). Geneva: *International Labour Office*.

Hassan G., Cooray A, 2013. Effects of Male and Female Education on Economic Growth: Some Evidence from Asia Using the Extreme Bounds Analysis, *Working Papers* in Economics 13/10, University of Waikato, Department of Economics.

Hausmann, R, Hidalgo, C. 2010. Country Diversification, Product Ubiquity, and Economic Divergence, *Working Paper* Series rwp10-045, Harvard University.

Hausmann, R., Hwang J., Rodrik. 2007. What you export matters? *Journal of Economic Growth*, 12(1): 1-25

Hausman R., Klinger B. 2007. The structure of the product space and the evolution of comparative advantage, *Working Paper* Series rwp06-041, Harvard University,

Hidalgo, C.A. 2009. The Dynamics of Economic complexity and the Product Space over a 42 year period, *Working Paper* No. 189, Center for International Development at Harvard University.

Hidalgo, C., Hausman, R. 2009. The building blocks of economic complexity, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106(26): 10570-10575.

Hidalgo, C. A., Klinger, B., Barabási, A. L., Hausmann, R. 2007. The Product Space Conditions the Development of Nations, *Science*, 317(5837), pp, 482-487.

Hoddinott, J., Haddad L. 1995. Does Female Income Share Influence Household Expenditures? Evidence from Cote d'Ivoire, *Oxford Bulleting of Economics and Statistics*, vol. 57, n1.

International Labour Office (ILO), A Fair Globalisation: Creating Opportunities for All, Geneva, 2004.

Iversen, T, Rosenbluth F. 2006. The Political Economy of Gender: Explaining Cross-National Variation in Household Bargaining and the Gender Voting Gap, *American Journal of Political Science* 50 (1): 1–19.

Jankowska, A., Nagengast A., Perea J.R. 2012. The Product Space and the Middle-Income Trap: Comparing Asian and Latin American Experiences, *OECD Development Centre Working Paper* 311.

Kaur, N.G., Letic, J. 2012. Female Education and Economic Growth: theoretical overview and two country cases, A thesis submitted for the degree of Bachelor of Science in Economics June 2012

Khandker, S. 1998. Fighting Poverty with Micro-Credit: Experience in Bangladesh, *World Bank*, Washington.

Kiriti, T, Tisdell, CA., 2003. Gender Inequality, Poverty and Human Development in Kenya: Main Indicators, Trends and Limitations, Social Economics, *Policy and Development Working Papers* 105587, University of Queensland, School of Economics.

Klasen, S., Lamanna, F. 2009. The Impact of Gender Inequality in Education and Employment on Economic Growth: New Evidence for a Panel of Countries, *Feminist Economics*, 15(3): 91–132.

Klasen, S., Lamanna, F. 2003. The Impact of Gender Inequality in Education and Employment on Economic Growth in the Middle East and North Africa. Mimeographed, University of Göttingen.

Klasen, S. 1994. Missing Women Reconsidered. *World Development* 22(7): 1061 – 71.

Knowles, Lorgelly, 2002. Are Educational Gender Gaps a Brake on Economic Development? Some Cross-Country Empirical Evidence. *Oxford Economic Papers* 54(1): 118 49

Korinek, J. 2005. Trade and Gender: Issues and Interactions, *OECD Trade Policy Working Paper* n°24.

McMillan, M., Rodrik, D. 2011. Globalization, structural change and productivity growth. *NBER Working Paper* 17143.

Peridy N., Jouini N., Oulmane N. 2016. North African Countries' production and export structure: Towards diversification and export sophistication strategy, *Canadian Journal of Development Studies.*

Pitt, M. Khandker S. 1998. The Impact of Group-based Credit Programs on Poor Households in Bangladesh: Does the Gender of Participants Matter? *Journal of Political Economy*, No. 106.

Poncet S, DE Waldemar, M. 2013. Export Upgrading and Growth: The Prerequisite of Domestic Embeddedness. *World Development* Vol. 51, pp. 104–118, 2013.

Sajid, S. 2014. Does Trade Openness Advances Gender Equality in Education: A Case of D8 Countries, *Journal Global and Science.* Issues, vol. 2, n° 2.

Selden, T. M., Wasylenko, M. J. 1995. Measuring the Distributional Effects of Public Education in Peru.' In: Public Spending and the Poor: Theory and Evidence, edited by Dominique van de Wale and Kimberly Nead, published by Johns Hopkins, Baltimore.

Schultz, T.P. 2006. Does the Liberalization of Trade Advance Gender Equality in Schooling and Health?, The Institute for the Study of Labor Discussion paper n° 2140.

Sen, A. 1999. Development as Freedom. New York: Knopf.

Sen, A. 1989. Women's Survival as a Development Problem. *Bulletin of the American Academy of Arts and Sciences* 43(2): 14 – 29

Tansel, A., Güngör, N. D. 2012. Gender Effects of Education on Economic Development in Turkey, IZA Discussion Papers 6532, Institute for the Study of Labor (IZA).

Thomas, D., Contreras D. and Frankenberg E. 1997. Child Health and the Distribution of Household Resources at Marriage, RAND, and UCLA, California.

Thomas, D. 1990. Intrahousehold Resource Allocation: An Inferential Approach, *Journal of Human Resources*, vol. 25

Verschuur, C., Reysoo, F. 2003. Genre mondialisation et pauvreté, *Cahiers genre et développement*, N°.3, EFI, Le Harmattan, Genève – Paris

World Bank. 2016. Database

World Bank. 2004. The Impact of International Trade on Gender Equality. PREM NOTES Number 86.

World Bank .2001. Engendering Development, Washington

World Economic Forum. 2010. The Global Gender Gap Report.

Yamanura, E. 2016. Long-Term Effect of International Trade on the Gender Wage and Education Gaps, *the Institute of Social and Economic Research Discussion* Paper n° 963

Annexe 1. Liste des pays selon le niveau de revenu et par région

Pays à revenu élevé	Australia, Austria, Bahrain, Belgium, Canada, Chile, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Equatorial Guinea , Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hong Kong SAR, China, Iceland, Ireland, Israel, Italy, Japan, Korea, Rep., Kuwait, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, New Caledonia, New Zealand, Norway, Oman, Poland, Portugal, Qatar, Russian Federation, Saudi Arabia, Singapore, Slovak Republic, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, United Arab Emirates, United Kingdom, United States, Uruguay.
Pays à revenu intermédiaire	Albania, Algeria, Angola, Argentina, Armenia, Bolivia, Botswana, Brazil, Bulgaria, Cameroon, China, Colombia, Congo, Rep., Costa Rica, Cote d'Ivoire, Cuba, Djibouti, Dominican Republic, Ecuador, Egypt, Arab Rep., Gabon, Ghana, Guatemala, Guyana, Honduras, Hungary, India, Indonesia, Iran, Islamic Rep., Iraq, Jamaica, Jordan, Lao PDR, Lebanon, Libya, Macedonia, FYR, Malaysia, Mauritania, Mauritius, Mexico, Morocco, Nigeria, Philippines, Romania, Senegal, Serbia, South Africa, Sudan, Swaziland, Syrian Arab Republic, Thailand, Tunisia, Turkey, Ukraine, Venezuela, RB, Vietnam, Yemen, Rep.
Pays à revenu faible	Afghanistan, Benin, Burkina Faso, Burundi, Cambodia, Central African Republic, Chad, Congo, Dem. Rep., Ethiopia, Gambia, The, Guinea, Haiti, Kenya, Korea, Dem. Rep., Liberia, Madagascar, Malawi, Mali, Mozambique, Nepal, Niger, Rwanda, Sierra Leone, Somalia, Tanzania, Togo, Uganda, Zimbabwe.
Pays Mena	Algeria, Bahrain, Egypt, Iran, Iraq, Israel, Jordan, Kuwait, Lebanon, Libya, Morrocco, Oman, Qatar, Saudi Arabic, Syria, Tunisia, Turkey, United Arab Emirates, Yemen**.**
Pays d'Afrique subsaharienne	Benin, Burkina Faso, Burundi, Cameroon, Central African Republic, Chad, Djibouti, Equatorial Guinea, Ethiopia, Gabon, Gambia, Ghana, Kenya, Liberia, Madagascar, Malawi, Mali, Mauritania, Mozambique, Niger, Nigeria, Rwanda, Sierra Leone, Senegal, Somalia, South Africa, Tanzania, Togo, Uganda, Zimbabwe.

Annexe 2. Effet de la complexité économique sur les inégalités de genre dans les inscriptions au niveau primaire & secondaire et tertiaire, 1984-2014.

Echantillon total	(2)	(3)	(5)	(6)
Variable expliquée	IGE P&S	IGE P&S	IGETert	IGETert
Estimateur	FE	RE	FE	RE
$lnICE_{it}$	0.0102**	0.0111**	0.0249***	0.0306***
	(0.00504)	(0.00500)	(0.00920)	(0.00912)
$lnEduc_{it}$	0.00782***	0.00799***	0.0185***	0.0188***
	(0.00152)	(0.00152)	(0.00278)	(0.00278)
$lnGouv_{it}$	0.0185***	0.0185***	0.0938***	0.0940***
	(0.00283)	(0.00283)	(0.00518)	(0.00519)
$lnIDE_{it}$	0.000761***	0.000760***	0.00105***	0.00106***
	(0.000152)	(0.000152)	(0.000278)	(0.000278)
OMC_{it}	0.000325	0.000322	0.0206***	0.0204***
	(0.000965)	(0.000964)	(0.00176)	(0.00176)
Constant	0.233***	0.232***	0.114***	0.111***
	(0.00385)	(0.00714)	(0.00704)	(0.0118)
Observations	4,123	4,123	4,123	4,123
R-squared	0.42		0.347	
Number of country	133	133	133	133

Annexe3. Effet de la complexité économique sur les inégalités de genre dans les inscriptions au niveau primaire et secondaire, 1984-2014.

IV $lnIGE_{it}$	(1) Total	(2) High	(3) Middle	(4) Low	(5) Africa	(6) Mena
$lnICE_{it}$	0.0839**	0.178***	0.0271	-0.141***	-0.160***	-0.0112
	(0.0368)	(0.0431)	(0.0550)	(0.0533)	(0.0591)	(0.0334)
$lnEduc_{it}$	0.00650***	0.00366*	0.00299	0.0227***	0.0257***	-0.000602
	(0.00149)	(0.00193)	(0.00248)	(0.00458)	(0.00332)	(0.00504)
$lnGouv_{it}$	0.00561***	-0.00227	0.00484	0.0146***	0.0161***	0.0109**
	(0.00158)	(0.00328)	(0.00299)	(0.00410)	(0.00365)	(0.00493)
$lnIDE_{it}$	0.000656***	0.000476**	0.000586**	0.00153***	0.000914***	0.000353
	(0.000155)	(0.000239)	(0.000249)	(0.000462)	(0.000315)	(0.000431)
OMC_{it}	-0.000941	0.00266*	-0.00230	0.0160***	0.0144***	-0.00433
	(0.000876)	(0.00161)	(0.00161)	(0.00307)	(0.00235)	(0.00320)
Constant	0.0612***	0.0933**	0.115***	0.187***	0.206***	-0.150***
	(0.0144)	(0.0381)	(0.0209)	(0.0243)	(0.0245)	(0.0365)
Observations	4,123	1,333	2,108	651	930	589
Number of id	133	43	68	21	30	19

Annexe 4. Effet de la complexité économique sur les inégalités de genre dans les inscriptions au niveau tertiaire, 1984-2014.

IV $lnIGE_{it}$	(1) total	(2) High	(3) Middle	(4) Low	(5) Africa	(6) Mena
$lnICE_{it}$	1.499***	-0.548***	0.147***	0.807**	0.484***	-0.830***
	(0.271)	(0.196)	(0.0562)	(0.330)	(0.135)	(0.350)
$lnEduc_{it}$	0.0239***	0.0102	0.0268***	0.0263*	0.0116	0.0261*
	(0.00876)	(0.00718)	(0.00428)	(0.0139)	(0.00829)	(0.00225)
$lnGouv_{it}$	0.0180*	0.122***	0.0228***	-0.0187	0.0127	0.154***
	(0.00950)	(0.0131)	(0.00437)	(0.0130)	(0.00891)	(0.0333)
$lnIDE_{it}$	-0.000842	-0.00135	0.00118***	0.00414***	0.00245***	-0.00325
	(0.000940)	(0.000960)	(0.000425)	(0.00154)	(0.000779)	(0.00234)
OMC_{it}	0.0324***	0.0125*	0.0186***	0.0182*	0.0353***	0.0235*
	(0.00518)	(0.00672)	(0.00259)	(0.0101)	(0.00574)	(0.0141)
Constant	0.301***	-0.313*	-0.104***	0.0736	-0.0341	0.505
	(0.0838)	(0.161)	(0.0298)	(0.111)	(0.0526)	(0.359)
Observations	4,123	1,333	2,108	651	930	589
Number of id	133	43	68	21	30	19

Annexe 5. Statistiques descriptives, test VIF et matrice de corrélation

Annexe 5a. Statistiques descriptives

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
IGE	4123	.2678004	.0731716	0	.3508932
Educ	4123	.425878	.2981994	-.1078	1.64674
Gouv	4123	43.109818	37.2835233	1	96
IDE	4123	26.902433	17.542333	-4.54	44.5315
OMC	4123	.4212219	.4942767	0	1

Annexe 5b. Test VIF

Variable	*VIF*	*1/VIF*
OMC	1.58	0.634076
logGouv	1.54	0.651163
logEduc	1.21	0.825076
logIDE	1.20	0.831683
logICE	1.17	0.858277
Mean VIF	1.34	

Annexe 5c. Matrice de correlation

	lnIGE Prim&Sec	*lnICE*	*lnEduc*	*lnGouv*	*lnIDE*	*WTO*
lnICE	0.1633	1.0000				
lnEduc	0.1996	0.2529	1.0000			
lnGouv	0.0841	0.0991	0.2913	1.0000		
lnIDE	0.0618	0.3014	0.1699	0.2732	1.0000	
WTO	0.0835	0.0513	0.3276	0.5677	0.2632	1.0000

	lnIGE Prim&Sec	*lnICE*	*lnEduc*	*lnGouv*	*lnIDE*	*WTO*
lnICE	0.3564	1.0000				
lnEduc	0.2358	0.2529	1.0000			
lnGouv	0.2210	0.0991	0.2913	1.0000		
lnIDE	0.1423	0.3014	0.1699	0.2732	1.0000	
WTO	0.2080	0.0513	0.3276	0.5677	0.2632	1.0000

Chapitre 5 : Application de la physique théorique dans la modélisation des phénomènes de transformation structurelle

Chapitre 5 : Application de la physique théorique dans la modélisation des phénomènes de transformation structurelle

1. Introduction

Dans un environnement économiquement et politiquement instable et incertain en raison des récents développements géostratégiques, la région Méditerranéenne est désormais confrontée à de nombreux défis notamment celui de la réédification d'économies capables de résister à des chocs exogènes et de garantir un développement plus soutenu et inclusif.

La macroéconomie est capable d'étudier le fonctionnement de l'économie de la même manière que l'astrophysique étudie le mouvement des corps astraux, à travers l'étude des systèmes d'équations différentielles ordinaires ou partielles. Ce champ théorique à travers l'étude des grands systèmes économiques, n'apporte suffisamment pas d'élément dans la compréhension des modèles de transformation structurelle. En revanche, d'autres domaines tels que celui de la physique théorique peuvent répondre aux limites des modèles économiques traditionnels qui peinent à démontrer l'existence d'un nouveau processus. L'application de la physique théorique hors de son champ traditionnel s'est considérablement développée depuis le milieu du XXe siècle. L'Econophysique, en fait partie. Il s'agit d'un domaine de recherche scientifique multidisciplinaire qui tente de résoudre des problèmes économiques en appliquant des méthodes et théories issues notamment de la physique statistique.

L'Econophysique aborde depuis les années 1960 des thèmes très variés parmi lesquels nous retrouvons la dynamique des échanges bilatéraux avec le modèle de gravité (Tinbergen, 1962; Anderson, 1979, 2001 , Péridy et al, 2008), les mécanismes de marché (Lux et Marchesi, 1999), la répartition de la richesse en fonction des mécanismes de production, d'échange, d'épargne, de prélèvement (Chatterjee et al., 2005), la reformulation thermodynamique des concepts clefs de l'Economie à savoir le travail et le capital (Mimkes 2006) et également les chaînes de Markov dans l'explication de convergence régionale (Schaffar et Peridy, 2015).

Parmi les récentes tentatives réussies portant sur les marchés financiers et boursiers, en raison de la prédominance de l'échange dans une économie capitaliste, et aussi à l'accessibilité des données de prix et de transactions sur tous les marchés à des fréquences de plus en plus élevées, nous

retrouvons la théorie du chaos qui a eu un réel impact en économie (Brock et Hommes, 1998 ; Chiarella et al. 2006). La crise financière survenue en 2007-2008 a quant à elle, créé un choc dans la modélisation classique en économie et finance. De nombreux scientifiques ont essayé d'apporter quelques réponses à la perturbation de ces marchés financiers (Bouchaud, 2008; Lux and Westerhoff, 2009; Farmer and Foley, 2009).

De plus, la théorie de la percolation a également joué un rôle important dans de nombreux domaines outre les marchés boursiers à travers l'étude de la propagation d'une information en apportant une réponse aux limites des modèles économiques traditionnels qui peinent à expliquer le passage de l'individuel au collectif [38](Pajot S, 2003).

Néanmoins, l'approche la plus utilisée pour expliquer des phénomènes collectifs est l'approche probabiliste liée à la physique statistique. Il s'agit entre autre de la loi de Pareto, le mouvement brownien , le processus stochastique ou encore les chaines de Markov. Le développement de ce champ théorique ouvre l'étude d'un certain nombre de questions importantes, comme par exemple, pourquoi certaines économies sont-elles si pauvres alors que d'autres, pas si éloignés, sont si riches ? Pourquoi la richesse est-elle inégalement distribuée ? Qu'est ce qui explique les déséquilibres socio-économiques ? Comment les économies peuvent-elles converger vers un état stationnaire ? Dans ce chapitre, l'objectif est de savoir si la complexité économique est une force du système qui mène à une accélération du développement économique ?

Notre démarche est une contribution à la justification des modèles de développement qui dépendent de facteurs macroéconomiques et socioéconomiques. D'un point de vue économique, notre modélisation s'insère dans le cadre de trois orientations différentes de la recherche en économie internationale. Une première orientation s'intéresse au rôle des institutions dans le système économique (Mauro, 1995 ; Méon et Sekkat, 2005 ; Shleifer et Vishny 1993; Bardhan 1997; Ali et

[38] Sur un réseau, la théorie de la percolation étudie à l'échelon global (macro) les effets d'actions locales (micro).

Isse 2003). Dans cette optique, le dispositif institutionnel occupe une place importante dans le processus de développement avec une corruption qui est explicitement modélisée. La deuxième orientation, privilégie l'interaction entre l'abondance des ressources naturelles et le développement économique. La troisième orientation considère les capacités productives comme un facteur clé de développement. Cette vision est fondée sur la complémentarité entre la complexité économique et le capital humain.

Notre objectif est de transposer une théorie qui avait révolutionné la physique théorique dans le domaine de l'économie et qui n'a jamais été utilisée par les économistes : il s'agit de la Théorie de Réponse Linéaire. Dans la représentation de notre modèle, les particules que l'on considère sont des économies. Ces dernières sont soumises à une force dissipative : le niveau de corruption, et une force dominante : la complexité économique. Au-delà de l'équation de Langevin habituelle, notre système économique est perturbé "positivement" par un autre facteur : les ressources naturelles à condition qu'elles soient bien gérées (Stiglitz, 2012).

Les modèles d'agents hétérogènes sont généralement fixés en temps discret. Certains articles récents ont étudié des versions en temps continu. Notre objectif est donc d'examiner cette littérature avec des agents hétérogènes partageant une structure mathématique commune qui, en temps continu, peut être résolue par la Théorie de Réponse Linéaire en utilisant un système d'équations linéaires différentielles ordinaires: (i) équation de Langevin, décrivant le problème étudié qu'on transforme par la suite par (ii) une équation de Fokker-Planck, décrivant l'évolution de la distribution d'un vecteur des variables d'état individuelles dans le développement économique.

La structure de ce chapitre est la suivante. La section 2 définit le contexte et les hypothèses du modèle économique. La section 3 présente les propriétés de la TRL en incluant une brève littérature relative à l'équation de Langevin et Fokker-Planck. La section 4 apporte une résolution mathématique du passage de la mécanique statistique classique à la macroéconomie pour démontrer l'existence d'un processus d'accélération dans le système économique. La section 5 applique la résolution précédente à travers une modélisation économétrique. La section 6 conclut.

2. Analyse économique

Si les pays d'Asie de l'Est affichent une transformation structurelle qui passe par des niveaux de revenus qui augmentent de manière considérable avec une croissance évaluée à 8% par an[39] qui s'explique en majeure partie par une forte sophistication et diversification de leur économie, la région méditerranéenne affiche quant à elle des taux de croissance bien plus raisonnables de l'ordre de 4,5%, qui placent certains pays sur une trajectoire de convergence avec leurs voisins européens certes (Femise, 2013), mais ces derniers restent insuffisants pour assurer un développement rapide et durable. Cette lenteur du développement économique n'est pas seulement due à la succession des dernières crises ou encore aux turbulences qui ont suivi la révolution arabe mais probablement à un manque du niveau de sophistication dans le système productif, remettant en question toute les interrogations faites sur la structure des exportations et son évolution. Ainsi, la structure productive des pays méditerranéens doit être revisitée, où seul un modèle de développement capable de construire un système productif plus novateur et créateur de valeur ajoutée peut garantir une stabilité sociale, une transition politique pacifique et ainsi aboutir à une transformation structurelle efficiente. Les économies qui ont le mieux réussi à ajouter de la valeur à leurs exportations ont obtenu des niveaux plus élevés de croissance, leur donnant ainsi les moyens de créer des emplois et de distribuer la richesse produite[40].

2.1. Hypothèses du modèle

L'économie sera représentée dans notre modèle par trois grands paramètres : la structure productive, les ressources naturelles (comme moyen de financement) et la gouvernance. Nous supposons avec force et conviction que ces trois paramètres, et particulièrement le commerce à travers une efficacité en matière de complexification des systèmes productifs peuvent contribuer à

[39] Banque Mondiale (2012)

[40] L'expérience des économies asiatiques l'a prouvé à plusieurs reprises

accélérer le développement économique et humain. Partant de cette relation potentiellement symbiotique, nous émettons trois hypothèses:

Hypothèse 1 : La corruption (*dissipation*) ralentit le processus d'accélération mais est nécessaire à l'équilibre du système. $\mathbf{z_{it} < 0.}$

Hypothèse 2 : Les ressources naturelles perturbent positivement le développement sous conditions qu'elles soient bien gérées et redistribuées (H1 : bonne gouvernance) pour financer la transformation d'une matière brute en matière à plus forte valeur (H3 : niveau de complexité économique élevée). $\mathbf{y_{it} > 0.}$

Hypothèse 3 : La complexité économique associée à une performance du capital humain contribue avec force à l'accélération du développement. $\mathbf{F_{it} > 0.}$

2.1.1. Hypothèse 1 : Littérature sur la relation corruption/développement

La littérature en matière de lutte contre la corruption a fortement évolué depuis ces deux dernières décennies, grâce à la prise de conscience de ses effets négatifs sur la croissance économique (Mauro, 1995 ; Bardhan 1997; Ali et Isse 2003 ; Méon et Sekkat, 2005) et plus largement sur les différentes dimensions du développement (Kaufmann et Zoido, 1999).

Aujourd'hui, la corruption induit des distorsions qui pèsent sur l'activité privée en ralentissant les investissements, en affectant la composition sectorielle de l'économie et en limitant l'accumulation du capital humain (Shleifer et Vishny, 1993). En effet, la corruption a tendance à se développer dans les économies à niveau de corruption déjà élevé (Paldam, 2002). Elle affaiblit en premier lieu l'investissement des entreprises et de manière plus générale la production, à travers l'accroissement des coûts de production (baisse du rendement de l'investissement) et les incertitudes pesant sur les projets (hausse du risque de l'investissement).

En dépit de cette littérature, certains auteurs (Leff ,1964 ; Lui , 1985, Beck and Maher , 1986 ; Egger et Winner, 2005 ; Aidt, 2003,2009) ont soutenu qu'une certaine corruption pouvait être favorable à la croissance et au développement économique pour deux raisons.

La première est qu'en jouant le rôle d'une prime par tâche effectuée par l'agent, le surcoût encaissé par ce dernier l'incite à travailler beaucoup plus. La deuxième raison est que la corruption permet aux entrepreneurs de contourner une administration inefficiente. Ainsi, la corruption permet « de graisser les rouages » d'une administration rigide (Bardhan 1997).

Selon ce courant de pensée, la corruption peut accroître le développement économique. Cette pensée est soutenue par la théorie selon laquelle dans un environnement où il est impossible d'atteindre l'optimum parétien, les politiques correctrices permettent d'aboutir à un optimum de second rang. Ainsi, dans les économies où les salaires sont bas et où les biens ne sont pas vendus à leur juste valeur sur des marchés hautement régulés, la corruption rétablirait le mécanisme des prix et améliorerait l'allocation des ressources (Lui 1996).

Toutefois, cet argument du « huilage des rouages administratifs » est peu pertinent puisqu'il ne prend pas en compte le fait que l'agent corrompu peut créer une situation de pénurie artificielle, autrement dit « créer et allonger artificiellement les rangs » afin de pouvoir imposer un surcoût aux bénéficiaires potentiels.

Dans notre modèle, nous prenons ainsi comme hypothèse de départ que la corruption est nuisible au développement (Shleifer et Vishny 1993; Bardhan 1997; Ali et Isse 2003) mais qu'elle fait partie involontairement du système économique.

2.1.2. Hypothèse 2 : Relation ressources naturelles/développement

Le premier courant de pensée considérait l'abondance de ressources naturelles comme un puissant vecteur de développement économique. Les investissements directs étrangers et les bénéfices tirés

des ressources naturelles devaient contribuer au développement conformément aux théories selon lesquelles l'apport de capital reste la clé de voûte des stratégies de développement.

Toutefois, un nouveau courant a dominé depuis les années 50 (Singer 1950, Prebish, 1964), mais s'est surtout développé dans les années 90, en y voyant au contraire une source de mal-développement et d'inégalités. Les auteurs se sont aperçus que les pays fortement dotés en ressources naturelles pouvaient être désavantagées dans leurs performances économiques. Les travaux d'Auty (1993, 2001) trouvent que non seulement les économies riches en ressources naturelles n'arrivent pas à tirer profit de leurs dotations, mais qu'ils enregistrent également des résultats économiques encore plus faibles que les économies pauvres en ressources naturelles. Sachs et Warner (1995) confirment ces résultats à travers un panel de 97 pays en développement.

En outre, la plupart des travaux incitent au pessimisme (Leite et Weidmann, 1999, Stevens, 2003 ; Wright et Celutza, 2004). Toutefois, il y a eu des exceptions où certaines économies en développement ont su tirer parti de la richesse naturelle pour réduire la pauvreté avec un succès relatif, il s'agit du Botswana, de l'Indonésie et de la Malaisie. L'explication se trouve dans les performances des politiques économiques, à travers plusieurs canaux, à savoir, les efforts de diversification économique, de politique de taux de change empêchant l'appréciation de la monnaie, ou encore de la qualité institutionnelle.

Depuis la fin du XXe siècle et avec le changement des paradigmes de développement (Stiglitz, 1998), la malédiction des ressources naturelles a été progressivement élucidée à travers la structure politique et les institutions. Les ressources naturelles ont été considérées comme un frein au développement d'institutions économiques et politiques solides. Les travaux de Sala-i-Martin et Subramanian (2003) introduisent le rôle des institutions et suggèrent que les ressources naturelles présentent un effet négatif sur la qualité institutionnelle d'une économie. (Hamilton 2003, Papyrakis et Gerlagh, 2004).

Ces théories relatives à la malédiction des ressources sont aujourd'hui remises en question (Sinnot, Nash et de la Torre, 2010 ; Murshed et Serino, 2010). L'abondance de ressources naturelles dans

les économies en développement peuvent permettre de financer une croissance économique plus rapide et de générer des revenus importants pour l'État qui peuvent être investis dans le capital humain (éducation et santé) ou encore le capital public (infrastructure et services publics), afin de créer des opportunités d'activités économiques intensives dans ces types de capitaux. Nous prenons ainsi comme hypothèse de départ que les ressources naturelles peuvent être une bénédiction et non une malédiction, si elles sont bien gérées (Stiglitz, 2012) et transformées.

2.1.3. Hypothèse 3 : Littérature sur la relation entre la complexité économique, le capital humain et le développement

La capacité d'un pays à développer un ensemble de structures de production complexes requiert la disponibilité de capacités et de compétences, qui sont adaptables à l'évolution de la technologie. La reconnaissance d'un lien de causalité entre la division efficace du travail et les avantages de la spécialisation remonte à Smith (1776) et a été largement reconnu depuis. Par exemple, le rôle des capacités en tant que condition préalable à la croissance à long terme est au cœur du travail de Hirschman (1958), où les capacités sont constituées de liens en amont et en aval dans les différents secteurs économiques. De même, Lewis (1955), Rostow (1959) puis Kaldor (1967) décrivent le processus de transformation structurelle comme une amélioration de la productivité qui découle d'un renforcement progressif des capacités de production, ainsi que par la réallocation des ressources. Par la suite, les travaux de Lall (1992) et Kremer (1993) ont relié les capacités à la croissance économique et au développement à travers leur impact sur l'innovation.

Plus récemment, une littérature empirique a réinstallé le changement structurel au premier plan de la compréhension de la croissance économique future (Hausmann et Hidalgo, 2009,2011). La capacité des économies à améliorer leur structure productive et à se diversifier dans des biens plus complexes semblent expliquer pourquoi certaines économies décolleraient et d'autres resteraient pauvres (Felipe et al, 2010 ; McMillan et Rodrik, 2011).

Hausmann et al (2007) ont introduit une notion qui lie les produits selon les caractéristiques du pays nécessaires à leur production. Ils démontrent une relation positive entre l'ensemble de

capacités productives d'un pays et leur taux de croissance économique, et suggèrent que certains produits ont plus effets d'entraînement que d'autres. Puis Hidalgo et Hausmann (2009) ont développé cette étude en démontrant que la mesure des capacités est hautement prédictive de la croissance économique future. Ainsi, les économies qui connaissent de faibles capacités auront des incitations plus faibles pour accumuler des capacités supplémentaires. Ce piège peut contribuer à expliquer l'écart important dans les niveaux de revenus entre les économies, puisqu'en effet les différences initiales dans les dotations de capacité seraient amplifiées au fil des années. (Felipe et al., 2012 ; Poncet et de Waldemar, 2013; Ferrarini et Scaramozzino, 2015).

Dans notre modèle, l'hypothèse de départ est que la complexité et les capacités économiques jouent un rôle crucial sur la performance économique d'un pays. La façon dont ils interagissent peut être expliqué par le capital humain grâce à l'avancement des compétences et à la promotion de l'apprentissage (Lucas, 1988), qui reste l'un des moteurs fondamentaux de la croissance à long terme. Ce paramètre représentera dans notre étude la force dominante du modèle économique.Ces hypothèses relatives à la littérature économique nous apportent une base solide dans la justification d'un éventuel processus d'accélération du développement économique mais non démontrable. L'utilisation des outils tirés de la physique théorique pourrait apporter des réponses complémentaires aux limites des modèles économiques traditionnels qui peinent à démontrer l'existence d'un processus d'accélération. L'accélération est donc justifiable par les théories économiques mais démontrable par les modèles de physique théorique.

3. Propriétés et fondements de la Théorie de Réponse Linéaire (TRL)

L'objectif de cette théorie est de décrire la réponse d'un système (mécanique ou thermodynamique) soumis à des forces extérieures dans un régime de « faible forcing. » autrement dit, un régime auquel on applique une force faible en intensité. Cette théorie traite de la façon dont réagit un système physique soumis à un léger changement au niveau des forces appliquées ou des paramètres de contrôle de système.

Le système débute dans un état d'équilibre puis il est soumis à une faible perturbation qui peut dépendre du temps. Notre approche consiste à supposer que la variation des états dépend linéairement de la perturbation.

La théorie de la réponse linéaire, contenue dans le théorème fluctuation-dissipation, montre en substance que le processus de dissipation observé lorsqu'un système est soumis à une action extérieure qui l'éloigne de sa position d'équilibre est lié aux fluctuations des grandeurs physiques du système en équilibre. Une des premières manifestations de ce phénomène a été étudiée par Nyquist (1928) en reliant l'impédance d'un conducteur soumis à une différence de potentiel avec le bruit thermique au mouvement des électrons dans le conducteur.

Ces résultats sont généraux et peuvent s'appliquer à tout système isolé et initialement en équilibre, auquel on applique une force extérieure $F_{ext}(t)$ dépendant explicitement du temps et faible dans le sens où l'équation qui modélise le système perturbé est très proche de l'équation du système en équilibre. Nous verrons par la suite comment nous appliquerons la Théorie de la Réponse Linéaire de manière simple pour calculer la solution de notre équation de Langevin et de Fokker Planck après une brève présentation de la littérature.

3.1. Mécanique quantique et statistique : Les précurseurs

En 1827, le botaniste Brown a découvert au microscope le mouvement incessant et irrégulier de petites particules de pollen en suspension dans l'eau. Il a également remarqué que de petites particules minérales se comportent exactement de la même manière : cette observation est importante, car elle exclut d'attribuer ce phénomène à une quelconque "force vitale" spécifique aux objets biologiques.

De manière générale, une particule en suspension dans un fluide est en mouvement brownien lorsque le rapport entre sa masse et la masse des molécules du fluide est grand devant l'unité.

Chapitre 5 : Application de la physique théorique dans la modélisation des phénomènes de transformation structurelle

L'idée selon laquelle le mouvement de la particule brownienne est une conséquence du mouvement des molécules du fluide environnant s'est répandue au cours de la seconde moitié du XIXème siècle. C'est Einstein, qui, en 1905, a donné la première explication théorique claire de ce phénomène, qui a été vérifiée directement expérimentalement, ce qui a permis d'établir les fondements de la théorie atomique de la matière. Cependant, un peu avant Einstein – et dans un tout autre contexte –, Bachelier avait déjà obtenu la loi du mouvement brownien dans sa thèse intitulée "La théorie de la spéculation" (1900) ; le mouvement brownien est d'ailleurs couramment utilisé aujourd'hui dans les modèles de mathématiques financières.

Le mouvement brownien a joué un rôle important en mathématiques. Historiquement, c'est en effet pour représenter la position d'une particule brownienne qu'un processus stochastique a été construit pour la première fois (Wiener, 1923). Les phénomènes de fluctuations mis en évidence dans le mouvement brownien sont en fait universellement répandus. Les concepts et les méthodes mis en œuvre pour étudier le mouvement brownien ne sont pas limités au mouvement d'une particule immergée dans un fluide de molécules plus légères, mais sont généraux et applicables à une large classe de phénomènes physiques.

3.2. Modèle de Langevin

Le mouvement brownien est donc le mouvement compliqué, de type erratique, effectué par une particule "lourde" immergée dans un fluide, subissant des collisions avec les molécules de celui-ci. Les premières explications du mouvement brownien furent données, indépendamment, par Einstein (1905) et par Smoluckoski (1906). Dans ces premiers modèles, l'inertie (accélération) de la particule n'était pas prise en compte. Un mode de raisonnement plus élaboré, tenant compte des effets de l'inertie, a été mis au point par Langevin P. (1908).

La résolution de l'équation différentielle généralisée de la dispersion peut s'obtenir par des méthodes déterministes ou probabilistes, qui d'un point de vue formelle sont équivalentes

(Kolmogorov, 1931). La modélisation du transfert des particules peut s'effectuer à l'aide d'un processus de marche aléatoire. Pour appliquer ce processus de marche aléatoire à la construction de réseaux de particules, une approche Lagrangienne est nécessaire pour décrire le mouvement de chaque particule en fonction du temps. Dans le cadre Lagrangien, une description du mouvement des particules peut être obtenue à l'aide de l'équation de Langevin.

Les premiers développements relatifs à l'application du processus de marche aléatoire à la modélisation des phénomènes physiques datent du début du siècle. Le mouvement brownien, correspondant au déplacement désordonné des particules en suspension dans un fluide provoqué par les collisions entre particules voisines fut notamment étudié par Langevin (1908).

3.2.1. Equation de Langevin

Le modèle de Langevin est un modèle phénoménologique classique, dans lequel on analyse l'effet du fluide sur la particule brownienne de la façon suivante. A une dimension donnée, on repère la position de la particule par une abscisse *x.* Deux forces, caractérisant toutes les deux l'effet du fluide, agissent sur la particule de masse *m* : avec d'une part, une force de frottement visqueux $-m\gamma(dx/dt)$, caractérisée par le coefficient de frottement γ, et d'autre part, une force fluctuante *F(t),* qui représente les impacts incessants des molécules du fluide sur la particule brownienne.

La force *F(t),* une force extérieure appelée aussi force de Langevin, est supposée être indépendante de la vitesse de la particule. S'il n'y a pas de force extérieure appliquée dépendant de la position, la particule brownienne est dite "libre". L'équation du mouvement pour la position est alors donnée par la loi de Newton :

$$m\frac{d^2x}{d^2t} = -m\gamma\frac{dx}{dt} + F(t)$$

ou encore

$$m\frac{dv}{dt} = -m\gamma v + F(t), \quad v = \frac{dx}{dt}$$

L'équation de Langevin sous l'une de ses deux formes est historiquement le premier exemple d'une équation stochastique, contenant un terme aléatoire *F(t).* Comme *F(t),* la solution d'une telle équation différentielle est une fonction aléatoire du temps, c'est à dire un processus stochastique. Dans le problème étudié ici, la force de frottement et la force fluctuante représentent deux conséquences du même phénomène physique, les collisions de la particule avec les molécules du fluide. La force de Langevin est un bruit aléatoire gaussien de type bruit blanc de moyenne nulle et de moyenne à deux temps ne dépendant que de la différence des temps.

En présence d'une force extérieure appliquée $F_{ext}(t)$ s'ajoutant à la force aléatoire *F(t),* l'équation du mouvement de la particule s'écrit alors :

$$m\frac{d^2x}{d^2t} = -m\gamma\frac{dx}{dt} + F(t) + F_{ext}(t)$$

ou encore

$$m\frac{dv}{dt} = -m\gamma v + F(t) + F_{ext}(t), \quad v = \frac{dx}{dt}$$

Il s'agit de la forme générale de l'équation de Langevin. Cette équation décrit l'influence de deux forces sur le mouvement d'une particule en suspension dans un fluide. La première de nature externe, induisant le déplacement du fluide, est modélisée de façon déterministe. La seconde, décrivant les interactions entre particules aboutissant à leur dispersion au sein du fluide est décrite de manière probabiliste à l'aide d'un processus de bruit blanc. Classiquement, l'équation de Langevin est appliquée à des phénomènes d'advection[41] et de dispersion.

Dans le cadre probabiliste, l'équation de Langevin se résout grâce à Fokker Planck. En effet, les processus markoviens qui peuvent être définis à l'aide de l'équation de Langevin sont les même que ceux de l'équation de Fokker Planck (FPE), c'est à dire ceux pour lesquels il existe une équation de Fokker Planck. La FPE est une équation aux dérivées partielles parabolique. L'équation de la diffusion en est l'exemple le plus simple et le plus connu.

La FPE fournit un moyen de décrire l'évolution des lois de probabilités associées à certains processus markoviens qui ne peuvent pas être définis par des équations maîtresses. En effet, la FPE représente, sous certaines conditions, l'ordre le plus bas dans un développement systématique de l'équation maîtresse. Il a été démontré en physique théorique une équivalence entre l'équation de Langevin et l'équation de Fokker Planck.

[41] L'advection définit le transport d'une quantité (scalaire ou vectorielle) d'un élément donné (comme par exemple la chaleur, l'énergie interne, des charges électriques) par le mouvement (et ainsi la vitesse) du milieu environnant.

3.3. Passage de Langevin à Fokker Planck

3.3.1. Littérature sur la FPE

La méthode dite de Fokker Planck est une méthode classique de Physique Statistique qui étend le théorème de Liouville au cas d'un Hamiltonien perturbé par des forces non conservatrices. C'est une équation aux dérivées partielles qui permet de déterminer la densité de probabilité des positions et des vitesses des particules à un instant donné, partant de la connaissance des conditions initiales et des mécanismes de perturbation. Cette méthode s'applique à tout système monodimensionnel représenté dans le plan de phase par un système différentiel du premier ordre.

La FPE pour la probabilité de densité $\rho(x, t)$ dépend de la variable x et du temps t, et vérifie la forme générale suivante :

$$\frac{\partial \rho(x,t)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}[f(x,t)\rho(x,t)] + \frac{\partial^2}{\partial x^2}[\frac{D(x,t)}{2}\rho(x,t)]$$

Avec le coefficient de dérive ou la force $f(x, t)$, et le coefficient de diffusion $D(x, t)$, qui dépendent en général de x et de t.

La FPE est reliée à l'équation de Smoluchowski.

Débutant par les travaux pionniers de Smoluchowski, ces équations ont été historiquement utilisées pour décrire le mouvement Brownien de particules. Les équations de Smoluchowski décrivent "la limite de frottement élevé" alors que la FPE s'applique au cas général. La FPE fournit un outil puissant pour modéliser une large variété de phénomènes stochastiques découlant de la physique, chimie, biologie, finance et notre cas, la macroéconomie.

Etant donné l'importance de la FPE, diverses méthodes analytiques et numériques ont été proposées pour sa solution.

Comme il est bien connu, la solution stationnaire de la FPE peut être donnée dans une forme fermée si la condition "d'équilibre détaillé" est vérifiée. L'étude de la solution dépendante du temps est un problème bien plus compliqué. En général, il n'y a que quelques cas solvables, un exemple connu lorsqu'on considère un système avec un coefficient de diffusion constant et une interaction harmonique qui dérive d'un potentiel *(F = −dV (x) / dx)* avec un potentiel *V (x*) proportionnel à *x2*. Les autres cas sont loin d'être triviaux.

Pour étudier certains systèmes dynamiques incertains, la FPE peut être utilisée. Même lorsque l'équation peut être résolue analytiquement il est intéressant d'avoir une approche numérique pour ce genre d'équations. L'équation de Fokker Planck connue aussi sous le nom d'équation de Kolmogorov directe est en fait une généralisation de l'équation de la chaleur en Physique

4. Application de la TRL dans le système économique

Dans notre modèle économique, on considère l'équation de Langevin avec une force extérieure F_{ext}, et la force de Langevin *F(t)* sera représentée par un bruit blanc de moyenne nulle <*F(t)* >= 0 et de variance égale à 1, i.e

$$< F(t)F(s) >= \delta(t-s) = \begin{cases} 1 & \text{si } t = s \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

avec δ est la fonction de Dirac.

Ce bruit blanc correspond au terme dit d'erreur en économétrie. On se place dans un repère où la masse vaut *m = 1*. En effet, dans la représentation de notre modèle les particules que l'on considère sont les pays du MENA, ces derniers sont soumis à une force dissipative : la corruption et une force dominante F_{ext} *(t)* : la complexité économique.

Chapitre 5 : Application de la physique théorique dans la modélisation des phénomènes de transformation structurelle

Au delà de l'équation de Langevin habituelle, notre système économique est perturbé "positivement" par un autre facteur : les ressources naturelles à condition qu'elles soient bien gérées. L'équation de Langevin "version macroéconomique" devient alors :

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} = -\gamma\frac{dx(t)}{dt} + F(t) + F_{ext}(t) + \delta x(t)$$

Dans notre équation, l'élasticité δ liée à la perturbation du système est faible (i.e proche de zéro), l'idée serait alors d'utiliser la Théorie de Réponse Linéaire (principe qui a révolutionné la physique théorique) pour résoudre "l'équation perturbée de Langevin".

Le but de notre étude est de résoudre l'équation de Langevin de manière déterministe et pour ce faire, il faut considérer l'équation de Langevin en moyenne afin d'éliminer le terme stochastique *F(t)* puisque s'agissant d'un bruit blanc sa moyenne est nulle, de plus la force extérieure sera remplacée par sa moyenne que l'on notera *F*.

Notre équation devient alors une équation solvable de manière analytique et s'écrit sous la forme suivante :

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} = -\gamma\frac{dx(t)}{dt} + F + \delta x(t)$$

Même si on parvient à résoudre notre équation de manière déterministe avec une approche analytique, on s'intéressera de tout même à l'équation de Fokker Planck qui découle de l'équation de Langevin qui décrit notre modèle économique.

Chapitre 5 : Application de la physique théorique dans la modélisation des phénomènes de transformation structurelle

4.1. Résolution de l'équation : Explication de la Théorie de Réponse Linéaire

Dans cette section, on s'intéresse à la résolution littérale de l'équation de Langevin perturbée mais pour ce faire on va d'abord déterminer la solution l'équation de Langevin classique sans perturbation et à partir de cette dernière on va calculer la solution du problème perturbé grâce à la théorie des perturbations. Il existe peu de problèmes exactement solubles en physique et il faut souvent recourir aux techniques d'approximations. Une des techniques les plus utilisées est celle qui porte le nom de ce chapitre.

L'idée de base est une généralisation du développement de Taylor ou développement limité : si nous connaissons la valeur d'une fonction au point x_0, nous pouvons calculer, sous certaines conditions, la valeur de la fonction au point $x_0 + \varepsilon$ tend vers 0 :

$$f(x_0 + \epsilon) = f(x_0) + A_1\epsilon + A_2\epsilon^2 + ... + A_n\epsilon^n + o(\epsilon^n)$$

Où $o(\epsilon^n)$ est la fonction petit t au de ϵ^n qui tend vers 0 plus vite que ϵ^n.

Le développement de Taylor nous fournit en plus un moyen de trouver les coefficients A_i. De plus, si ϵ est petit et que nous ne sommes pas très exigeant quant à la précision, nous pouvons nous contenter du premier ou des deux premiers termes du développement.

Au premier ordre, il s'agit de la théorie de la réponse linéaire (TRL), théorie révolutionnaire de la physique, en effet soit un système physique auquel on applique une perturbation alors la TRL nous permet d'affirmer que dans le cas où la perturbation est faible (i.e proche de 0) alors le système "répond" de manière linéaire, i.e la solution du problème s'écrit comme la somme de la solution du problème non perturbé et de ϵf où f est une fonction qu'on détermine.

Le calcul des perturbations généralise cette démarche au calcul des solutions des équations différentielles, des racines de polynômes, des équations intégrales, des vecteurs propres des matrices...

C'est le premier outil du physicien qui tombe sur un problème ardu dont la solution n'est pas explicite : si on connaît la solution d'un problème proche, on peut alors tenter les perturbations Cependant, cette technique ne fonctionne pas toujours, en effet il existe des perturbations singulières pour lesquelles cette méthode ne s'applique pas. Dans notre cas, la TRL s'applique et nous donne des résultats intéressants.

4.2. Résolution de l'équation de Langevin en moyenne

Soit *(E),* l'équation de Langevin classique et dans laquelle on considèrera $F_{ext}(t) = F$, sa moyenne sur le temps, notre équation s'écrit alors :

$$\ddot{x}_t = -\gamma \dot{x}_t + F \qquad (1)$$

où $\dot{x}_t = \frac{dx(t)}{dt}$ et $\ddot{x}_t = \frac{d^2x(t)}{dt^2}$.

On pose yt = $\dot{x}_t$ et on obtient l'équation du premier ordre :

$$\dot{y}_t = -\gamma y_t + F$$

L'équation $\dot{y}_t = -\gamma y_t$ homogène a $y_t = e^{-\gamma t} y_0$ pour solution et le principe de Duhammel nous donne la solution du problème inhomogène :

$$y_t = e^{-\gamma t} y_0 + \int_0^t e^{-\gamma(t-s)} F ds,$$

Soit

$$y_t = e^{-\gamma t} y_0 + \frac{F}{\gamma}(1 - e^{-\gamma t}).$$

On peut maintenant intégrer y_t pour obtenir x_t

$$\begin{aligned} x_t &= x_0 + \int_0^t y_s ds \\ &= x_0 + \int_0^t (e^{-\gamma t} y_0 + \frac{F}{\gamma}(1 - e^{-\gamma t}))ds \\ &= x_0 + \frac{1}{\gamma}(1 - e^{-\gamma t})\dot{x}_0 + \frac{F}{\gamma^2}(e^{-\gamma t} - 1 + \gamma t). \end{aligned}$$

Soit *(E_δ)* l'équation de l'équation de Langevin avec une perturbation dépendant de δ, notre équation s'écrit alors :

$$\ddot{x}_t = -\gamma \dot{x}_t + F + \delta x_t \qquad (2)$$

Puisque la perturbation δ est faible, nous pouvons appliquer la TRL, nous cherchons alors la solution sous la forme $x_\delta(t) = x(t) + \delta_z(t) + o(\delta)$, où z(t) est une fonction inconnue à déterminer. Nous injectons cette expression dans l'équation différentielle exacte *(E_δ)*. En se limitant au premier ordre et en utilisant le fait que *x(t)* est la solution exacte de (E), on obtient l'expression au premier ordre de la théorie des perturbations. Notre équation devient alors :

$$\begin{aligned} \cancel{\ddot{x}}(t) + \delta\ddot{z}(t) &= -\gamma(\cancel{\dot{x}}(t) + \delta\dot{z}(t)) + \cancel{F} + \delta(x(t) + \delta z(t)) \\ \ddot{z}(t) &= -\gamma\dot{z}(t) + \delta z(t) + x(t) \end{aligned}$$

Il faut donc résoudre l'équation différentielle ci-dessous pour déterminer *z(t)* :

$$\ddot{z}(t) + \gamma\dot{z}(t) - \delta z(t) = x(t) \qquad (3)$$

L'équation (3) correspond
à une équation différentielle d'ordre 2 linéaire avec second membre résolvable. Nous pouvons la résoudre comme suit :

Soit z_h la solution homogène et z_p la solution particulière, la solution générale s'écrit alors sous la forme suivante:

$$z(t) = z_h(t) + z_p(t)$$

Soit $r^2 + \gamma r - \delta = 0$, l'équation caractéristique associée à (3), les solutions de cette équation du second degré s'écrivent

$$\begin{cases} r_1 = \dfrac{-\gamma + \sqrt{\gamma^2 + 4\delta}}{2} \\ r_2 = \dfrac{-\gamma - \sqrt{\gamma^2 + 4\delta}}{2} \end{cases}$$

d'où zh(t) = Aer1t + Ber2t avec A et B des constantes qu'on déterminent par les conditions initiales. Etant donné qu'on s'intéresse à une solution linéaire de (Eδ), on va procéder à un développement limité d'ordre 0 au voisinage de $\delta = 0$, en effet l'ordre 0 suffit car lorsqu'on le multiplie par δ dans la solution finale, on obtient l'ordre 1, d'où après factorisation et en considérant $\gamma < 0$.

$$\begin{cases} r_1 = \dfrac{-\gamma - \gamma\sqrt{1 + \frac{4\delta}{\gamma^2}}}{2} \\ r_2 = \dfrac{-\gamma + \gamma\sqrt{1 + \frac{4\delta}{\gamma^2}}}{2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} r_1 = \dfrac{-\gamma}{2}[1 + \sqrt{1 + \dfrac{4\delta}{\gamma^2}}] \\ r_2 = \dfrac{-\gamma}{2}[1 + \sqrt{1 - \dfrac{4\delta}{\gamma^2}}] \end{cases}$$

$$\begin{cases} r_1 = \dfrac{-\gamma}{2}[1 + 1 + \dfrac{4\delta}{2\gamma^2} + o(\delta)] \\ r_2 = \dfrac{-\gamma}{2}[1 - (1 + \dfrac{4\delta}{2\gamma^2} + o(\delta))] \end{cases}$$

$$\begin{cases} r_1 = -\gamma + o(1) \\ r_2 = 0 + o(1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} e^{r_1 t} = e^{-\gamma t} + o(1) \\ e^{r_2 t} = 1 + o(1) \end{cases}$$

On en déduit $z_h(t) = Ae^{-1t} + B$ + o (1) avec A, B Є ℝ. Solution particulière : z_p a la même forme que le second membre de l'équation (3) soit $x(t)$

$$z(t) = C + Dt + Ee^{-\gamma t}$$

avec C, D, E des constantes réelles qu'on détermine par identification, z_p est une solution particulière de (3) donc elle vérifie l'équation ci-dessous

$$\ddot{z}_p(t) + \gamma \dot{z}_p(t) - \delta z_p(t) = x(t)$$

d'où

$$\begin{aligned} \gamma^2 Ee^{-\gamma t} + \gamma(D - \gamma Ee^{-\gamma t}) - \delta(C + Dt + Ee^{-\gamma t}) &= x(t) \\ \gamma D - \delta C - \delta Dt - \delta Ee^{-\gamma t} &= x(t) \end{aligned}$$

avec $x(t) = x_0 + \frac{1}{\gamma}(1 - e^{-\gamma t})\dot{x}_0 + \frac{F}{\gamma^2}(e^{-\gamma t} - 1 + \gamma t)$, en identifiant les coefficients, on obtient

$$\begin{cases} \delta C = \dfrac{-\gamma F}{\delta} - x_0 - \dfrac{\dot{x}_0}{\gamma} + \dfrac{F}{\gamma^2} \\ \delta D = \dfrac{-F}{\gamma} \\ \delta E = \dfrac{\dot{x}_0}{\gamma} - \dfrac{F}{\gamma^2} \end{cases} \tag{4}$$

$$\delta z(t) = \delta(Ae^{-\gamma t} + Bt) + (\frac{-\gamma F}{\delta} - x_0 - \frac{\dot{x}_0}{\gamma} + \frac{F}{\gamma^2}) - \frac{F}{\gamma}t + (\frac{\dot{x}_0}{\gamma} - \frac{F}{\gamma^2}) + o(\delta)$$

On rappelle que la solution approchée de (E_δ) s'écrit

$$x_\delta(t) = x(t) + \delta z(t) + o(\delta)$$

après simplification

$$x_\delta(t) = \delta A e^{-\gamma t} + \delta B - \frac{\gamma F}{\delta} + o(\delta)$$

On considère qu'à l'état initial la perturbation n'a pas encore agi, soit $x_\delta(0) = x(0) = x_0$ et $\dot{x}_\delta(0) = \dot{x}(0) = \dot{x}_0$, les constantes A et B deviennent alors

$$\begin{cases} \delta A = x_0 + \dfrac{\gamma F}{\delta} \\ \delta B = \dot{x}_0 + \gamma(x_0 + \dfrac{\gamma F}{\delta}) \end{cases}$$

La solution finale à notre problème s'écrit

$$x_\delta(t) = (x_0 + \frac{\gamma F}{\delta})e^{-\gamma t} + (\dot{x}_0 + \gamma(x_0 + \frac{\gamma F}{\delta}))t - \frac{\gamma F}{\delta} + o(\delta) \tag{5}$$

d'où l'accélération s'écrit

$$\ddot{x}_\delta(t) = \gamma^2(x_0 + \frac{\gamma F}{\delta})e^{-\gamma t} + o(\delta) \tag{6}$$

En somme, grâce à la TRL nous avons pu résoudre l'équation de Langevin, en montrant que l'accélération était toujours positive et qu'elle augmentait avec la force dominante du système à savoir la complexité économique. Toutefois, cette équation ne nous a pas permis de donner la résolution avec la densité de probabilité. Autrement dit, l'équation de Langevin ne nous permet pas de déterminer le comportement en moyenne du système, elle permet juste de savoir si l'accélération

en moyenne est positive ou pas. L'idée est donc de savoir quelle est la probabilité pour que l'accélération soit positive ? Quel est le comportement typique du système ? Pour y parvenir, nous utilisons dans la prochaine section, une équation aux dérivées partielles linéaire qui satisfait la densité de probabilité de transition d'un processus de Markov. Il s'agit, de l'équation de Fokker Planck. Cette équation n'a jamais été explorée par les économistes. À l'origine, une forme très simplifiée de cette équation a permis d'étudier le mouvement brownien. Comme dans la plupart des équations aux dérivées partielles, elles nous donnent des solutions explicites et vraies uniquement dans des cas bien particuliers portant à la fois sur la forme de l'équation ou du domaine où elle est analysée (conditions réfléchissante ou absorbante pour les particules browniennes par exemple).

4.3. Résolution de l'équation de Fokker-Planck (FPE)

On rappelle le système d'équations qui modélise notre problème :

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = v(t) \\ \frac{dv(t)}{dt} = -\gamma v(t) + F + \delta x(t) + F(t) \end{cases}$$

Avec F, la valeur moyenne de la force extérieure $F_{ext}(t)$ et $F(t)$ la force de Langevin qui est un bruit blanc de moyenne nulle et de variance $\sigma = 1$.

Historiquement, l'équation de Fokker Planck en 2D associé aux équations précédentes est de la forme suivante :

$$\frac{\partial \rho(x,v,t)}{\partial t} = \frac{\sigma^2}{2}\frac{\partial^2}{\partial v^2}[\rho(x,v,t)] - v\frac{\partial}{\partial x}[\rho(x,v,t)] - \frac{\partial}{\partial v}[F - \gamma v + \delta x(t)\rho(x,v,t)]$$

Cette équation a été introduite par Kramer (1940) pour étudier la cinétique des réactions chimiques. L'équation de Fokker Planck associée à notre modèle est donnée par :

$$\frac{\partial \rho(x,v,t)}{\partial t} = \frac{1}{2}\frac{\partial^2}{\partial v^2}[\rho(x,v,t)] - v\frac{\partial}{\partial x}[\rho(x,v,t)] - \frac{\partial}{\partial v}[F - \gamma v + \delta x(t)\rho(x,v,t)]$$

soit

$$\partial_t \rho(x,v,t) = (\frac{1}{2}\partial_v^2 - v\partial_x - \partial_v(F - \gamma v + \delta x))\rho(x,v,t)$$

où $\rho\ (x, v, t)$ représente la densité de probabilité dépendant des variables x, v et du temps t.

On pose ainsi :

$$-\frac{dU(x)}{dx} = \delta x + F \text{ soit } U(x) = -(\frac{\delta x^2}{2} + Fx).$$

Ce modèle décrit, par exemple le mouvement Brownien d'une particule dans un fluide soumis à un potentiel $U(x)$. L'équation de Fokker Planck qui en découle n'est pas linéaire et une solution analytique est sans espoir. Une première simplification peut être faite dans la limite d'une grande viscosité i.e quand $v(t)$ tend plus rapidement que $x(t)$. On peut alors utiliser l'élimination adiabatique de la variable v en prenant $(dv/dt) = 0$. Dans la limite du fluide très visqueux (forte limite de frottement), la force inertielle dv/dt est beaucoup plus petite que la force de friction $-\gamma v$.

Dans cette limite, la vitesse est une variable dont les variations se produisent dans des intervalles de temps très petits par rapport à ceux sur lesquels la position varie de manière appréciable. On peut donc négliger le terme inertiel $(\ (dv/dt) = 0)$ dans les équations précédentes, on obtient alors :

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = \frac{F + \delta x(t)}{\gamma} + F(t)$$

Ce qui réduit le problème à l'équation suivante :

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{1}{\gamma}\frac{dU}{dx} + F(t)$$

Dans cette approximation, la variable rapide *v* se détend très rapidement et suit presque instantanément la variable lente *x*. On dit généralement que v est la variable esclave du paramètre de commande x. Ainsi, l'équation de Fokker Planck devient une équation de Smoluchowski :

$$\frac{\partial \rho(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}[-\frac{1}{\gamma}\frac{dU}{dx}\rho(x,t)] = \frac{\sigma^2}{\gamma^2}\frac{\partial^2}{\partial x^2}\rho(x,t)$$

Dans notre cas σ = 1. On s'intéresse à la solution stationnaire pour l'équation de Fokker Planck, on exploite le fait que l'équation de Fokker Planck peut être appliquée pour calculer la distribution de densité de probabilité de certains processus markoviens. On définit la densité de probabilité stationnaire ρs telle que :

$$\frac{\partial}{\partial t}\rho_s(x,t) = 0$$

Ce qui implique $$\frac{d}{dx}[D_1(x)\rho_s(x)] - \frac{d^2}{dx^2}[D_2(x)\rho_s(x)] = 0$$

soit $$\frac{dj_s(x)}{dx} = 0$$

avec $j_\delta(x)$ le courant de probabilité

$$j_s(x) = [D_1(x) - \frac{d}{dx}D_2(x)]\rho_s(x)$$

avec $$D_1(x) = -\frac{1}{\gamma}\frac{dU}{dx} \text{ et } D_2(x) = \frac{\sigma^2}{2\gamma^2} = \frac{1}{2\gamma^2}$$

La probabilité stationnaire est donc donnée par la formule suivante :

$$\begin{aligned}\rho_s(x) &= \frac{2\mathcal{N}_0}{\sigma^2}\exp(\frac{2\gamma}{\sigma^2}\int_{x_0}^{x}-\frac{dU(x')}{dx'}dx') \\ &= 2\mathcal{N}_0\exp(2\gamma\int_{x_0}^{x}-(\delta x'+F)dx') \\ &= 2\mathcal{N}_0\exp\left(-2\gamma(\frac{\delta}{2}(x^2-x_0^2)+F(x-x_0))\right)\end{aligned}$$

Où x_0 est le développement économique initial et $\mathcal{N}_0$, la constante de normalisation telle que $\int_{x_0}^{x}\rho_s(x')dx'=1.$

5. Modélisation et analyse de sensibilité

5.1. Spécification du modèle

Notre régression est ainsi modélisée par l'équation différentielle suivante afin d'établir un mouvement d'accélération dans le processus de développement économique :

$$\ddot{x} = F + \delta x_t - \gamma\,\dot{x}_t \qquad (1)$$

Nous représentons l'équation (1) sous une forme plus détaillée :

$$2x_{it} - x_{it-1} - x_{it+1} = \alpha + \nu\,(F_{it}) + \varepsilon\,(b_{it}) + \delta(y_{it})\,(x_{it}) - \gamma\,(z_{it})\,(x_{it+1} - x_{it}) \qquad (2)$$

Avec, $x_{i,t}$, le développement économique d'un pays i à l'année t. $\dot{x}$, sa vitesse et $\ddot{x}$, son accélération. $F_{i,t}$, le niveau de complexité économique associée au capital humain d'un pays i à l'année t. y_{it} , les bénéfices tirés des ressources naturelles, z_{it}, le niveau de corruption, b_{it}, le bruit (terme d'erreur) et ν, ε, δ, γ correspondent respectivement aux élasticités des variables *F, b, y et z.*

Le modèle économétrique (3) peut finalement s'écrire sous la forme suivante :

$$ln\, D\ddot{E}V_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 lnForce_{it} + \alpha_2 lnPerturbation_{it} + \alpha_3 lnDissipation_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Avec D$\ddot{E}$V, l'accélération du développement économique représentée par l'équation différentielle ($2x_{it} - x_{it-1} - x_{it+1}$) où x_{it} est le revenu par tête d'un pays i à l'instant t. La Force représentée par $(ICE*KH)_{it}$ où ICE, l'indice de complexité économique et KH, le capital humain d'un pays i à l'instant t. La perturbation est représentée par l'équation $\delta(y_{it})\,(x_{it})$ où y_{it} correspond aux bénéfices tirés des ressources naturelles d'un pays i à l'instant t. La dissipation est quant à elle représentée par l'équation $(z_{it})\,(x_{it+1} - x_{it})$ où z_{it} correspond au niveau de corruption d'un pays i, à l'année t. Enfin, *μi, γt, εit* correspondent respectivement aux éventuels effets fixes, effets temporelles et aux termes d'erreurs. Le modèle est estimé sur un échantillon de 133 pays qui couvre une période de 1984 à 2014. La définition précise des variables ainsi que la source est donnée dans le tableau 1.[42]

Indicateurs	Description	Source
x	Pib par habitant en dollars courants	WDI (2016)
F	(1) Indice de complexité économique (Hidalgo et al, 2007) (2) Indice de capital humain : (i) Taux d'alphabétisation, total des adultes (en % des personnes de plus de 15 ans) (ii) Inscriptions dans l'enseignement supérieur pour 100 000 habitants, (iii) Scolarisation moyenne des adultes (en années)	(1)Observatoire de la complexité économique du MIT (2016) (2) WDI, UNESCO, UNDP (2015) http://lead.univ-tln.fr
y	Bénéfices tirés des ressources naturelles (en % du PIB)	WDI (2016)
z	Degré de corruption au sein du système politique	PRS-ICRG (2014)

[42] Les statistiques descriptives de ces variables sont données en Annexe 1.

5.2. Procédure d'estimation

Le modèle empirique a été ajusté et vérifié par le test VIF[43] (annexe 2a) afin d'éliminer un éventuel biais de multicolinéarité entre des variables explicatives suggéré par la matrice de corrélation (annexe 2b).

Par la suite, notre modèle a adopté différentes techniques d'estimation pour prendre en compte les principaux biais de l'échantillon. Etant donné que certaines variables sont invariantes dans le temps ou presque (en particulier la variable relative à la Force), nous préférons l'utilisation de l'estimateur à effets fixes à celui des effets aléatoires pour produire des paramètres efficaces et moins biaisées des variables invariantes.

Comme analyse de sensibilité, nous présentons deux autres estimateurs pour corriger le problème d'endogénéité. La première est basée sur un estimateur à effets aléatoires avec des variables instrumentales, à savoir l'estimateur Hausman et Taylor (HT), décrites dans Egger (2004). La seconde est l'estimateur composante de l'erreur des moindres carrés à deux degrés variables instrumentales (EC2SLQ IV) (Baltagi, 2005). En effet, l'endogénéité est un problème crucial dans ce type de régression. Par exemple, la force du système peut expliquer l'accélération du développement économique, mais peut également être expliquée par celle-ci. La même remarque vaut aussi aux ressources naturelles et à la qualité des institutions qui devrait être stimulée par le développement économique. Dans les estimations présentées ci-dessous, les variables endogènes comprennent la complexité économique et les bénéfices tirés des ressources naturelles. En plus de l'endogénéité, le biais dû aux variables omises doit aussi être abordé. A cet effet, l'introduction des variables spécifiques à chaque pays et de délais précis (μi et λt) permet d'inclure des variables

[43] Les résultats du VIF sont bien inférieurs à la limite supérieure de 10 (1, 05), ce qui indique que le problème de multicolinéarité est mineur dans nos spécifications.

inobservables ou omises (Egger et Pfaffermayr, 2003). A cet égard, les tests de Wald montrent qu'ils sont très élevés.

Le problème d'autocorrélation est pris en compte avec l'estimateur Autorégressif (d'ordre 1 de Cocrane-Orcutt). Ainsi, les tests et estimateurs utilisés mettent en évidence la robustesse des résultats : le passage d'un estimateur à un autre n'a pas créé d'instabilité significative dans le signe et la valeur des coefficients estimés.

5.3. Interprétations des résultats

La caractéristique la plus importante qui se dégage de ces estimations (tableau 1 à 3) est que les paramètres relatifs à la force et à la dissipation sont, au-delà de leurs significativités, respectivement positifs et négatifs quel que soit l'estimateur considéré, la période et le groupe de pays sélectionnés.

Le premier résultat montre que la force dominante du système représentée par la complexité économique associée au capital humain, joue un rôle crucial dans l'accélération du développement économique sur les pays de l'échantillon. D'un point de vue politique, cette conclusion renforce l'argument selon lequel la complexification du système productif doit être promue comme un bon accélérateur de développement économique. Le deuxième résultat concerne le coefficient négatif de la dissipation du système, représenté par le niveau de corruption. Cela signifie que la qualité institutionnelle joue un rôle très important dans l'accélération du processus de développement.

Le troisième résultat montre que la dépendance aux ressources naturelles ne constitue pas un frein au processus d'accélération du développement économique comme l'atteste le paramètre positif et significatif de la variable liée à la perturbation sur la période 1984-2014, comme le souligne la littérature économique. Toutefois, nous observons sur la période 1984-2000 un coefficient significativement négatif, qui peut être expliqué par la détérioration des termes de l'échange, la volatilité des prix, la faible croissance de la productivité ou encore la mise en place de politiques d'accompagnement inappropriées.

Tableau 1: Estimation du modèle sur les 133 pays, de 1984 à 2014.

$\ln D\ddot{E}V_{it}$	(1) MCO	(2) FE	(3) HT	(4) IV	(5) AR(1)
lnForce$_{it}$	**0.0376*** **	**0.0501*** **	**0.0376*** **	**0.295*** **	**0.0805***
	(0.00622)	(0.00989)	(0.00622)	(0.0517)	(0.0466)
lnPerturbation$_{it}$	**0.00192*** **	**0.0104*** **	**0.00192*** **	**0.00233*** **	**0.00183*** **
	(0.000542)	(0.00129)	(0.000542)	(0.000571)	(0.000701)
lnDissipation$_{it}$	**-0.714*** **	**-0.730*** **	**-0.714*** **	**-0.707*** **	**-0.920*** **
	(0.0132)	(0.0133)	(0.0132)	(0.0132)	(0.0132)
Constant	0.00775***	-0.0136***	0.00775***	0.00952***	0.0189***
	(0.00229)	(0.00356)	(0.00229)	(0.00203)	(0.00235)
Observations	4,123	4,123	4,123	4,123	4,123
R-squared		0.44			
Nb of country	133	133	133	133	133

Standard errors in parentheses. *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tableau 2: Résultats des estimations des 133 pays, sur la période 1984-2000.

Periode 1984-2000 $\ln D\ddot{E}V_{it}$	(1) **FE**	(2) **HT**	(3) **IV**	(4) **AR(1)**
lnForce$_{it}$	**0.672** **	**0.123** **	**0.501*** **	**0.143** **
	(0.264)	(0.0580)	(0.0896)	(0.0690)
lnPerturbation$_{it}$	**-0.00141**	**-0.00291*** **	**-0.00155***	**-0.00309*** **
	(0.00187)	(0.000808)	(0.000851)	(0.000928)
lnDissipation$_{it}$	**-0.800*** **	**-0.756*** **	**-0.762*** **	**-0.891*** **
	(0.0204)	(0.0196)	(0.0198)	(0.0198)
Constant	0.0183***	0.0114***	0.00430	0.0124***
	(0.00536)	(0.00242)	(0.00276)	(0.00282)
Observations	2,128	2,128	2,128	2,128
R-squared	0.436			
Number of country	133	133	133	133

Standard errors in parentheses. *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tableau 3 : Résultats des estimations des 133 pays, sur la période 2000-2014.

Periode 2000-2014	(1)	(2)	(3)	(4)
$D\ddot{E}V_{it}$	**FE**	**HT**	**IV**	**AR**
lnForce$_{it}$	**0.0352****	**0.0196****	**0.0603*****	**0.0248*****
	(0.0167)	(0.00769)	(0.0123)	(0.00948)
lnPerturbation$_{it}$	0.00961***	**0.00218*****	**0.00313*****	**0.00290*****
	(0.00137)	(0.000624)	(0.000665)	(0.000780)
lnDissipation$_{it}$	-0.753***	**-0.678*****	**-0.680*****	**-0.875*****
	(0.0157)	(0.0149)	(0.0149)	(0.0149)
Constant	-0.00112	0.0116***	0.000164	0.0150***
	(0.00524)	(0.00284)	(0.00392)	(0.00353)
Observations	1995	1995	1995	1995
R-squared	0.490			
Number of country	133	133	133	133

Standard errors in parentheses. *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Comme analyse de sensibilité, nous avons appliqué le modèle précédent aux pays MENA, d'Afrique, d'Asie, et aux pays classés selon leur niveau de revenu pour éviter les biais d'hétérogénéité. Cela permet entre autre de comparer quels sont les groupes de pays qui présentent une force qui domine plus qu'à d'autres, les amenant à se développement plus rapidement. A cet effet, la procédure d'estimation est similaire à celle décrite précédemment. L'estimateur mis en œuvre est EC2SLQ IV. Les résultats sont présentés dans le tableau 4 pour la période 1984-2014.

Une première caractéristique concerne l'estimation du paramètre relative à la Force. Le coefficient est significativement positif quel que soit la région étudiée et particulièrement dans les pays MENA (0.55***) suivie des pays à revenu faible (0.42***). Cela signifie que les pays de la région MENA par exemple ont entamé un processus d'accélération du développement économique plus important que les autres pays du monde. Le second résultat, révèle l'effet positif et significatif de la perturbation essentiellement dans les pays MENA (0.01***) suivie des pays africains dotés d'une abondance en ressources naturelles. Le troisième résultat concerne l'effet négatif et significatif à 1% de la dissipation dans toutes les régions étudiées particulièrement dans les pays MENA (-0.88***), d'Afrique (-0.74***) et d'Asie (-0.63***) où l'effet est plus important. Cela signifie que

la corruption est un obstacle majeur dans le processus d'accélération du développement économique. En physique, ce résultat signifie que la combinaison de ces trois paramètres permet aux particules de se propulser vers un état stationnaire à une vitesse exponentielle.

Table 4 : Résultats des estimations par région et selon le niveau de revenu, sur la période 1984-2014.

IV	**(1)**	**(2)**	**(3)**	**(4)**	**(5)**	**(6)**
$D\ddot{E}V_{it}$	**MENA**	**Afrique**	**Asie**	**High**	**Middle**	**Low**
$lnForce_{it}$	**0.362*** **	**0.245*** **	**0.168*** **	**0.101*** **	**0.203*** **	**0.618*** **
	(0.121)	(0.0414)	(0.0461)	(0.0186)	(0.0258)	(0.119)
$lnPerturbation_{it}$	**0.00715*** **	**0.0118*** **	0.000384	**0.00291*** **	**0.00451*** **	**0.00415***
	(0.00266)	(0.00193)	(0.00366)	(0.000725)	(0.00101)	(0.00365)
$lnDissipation_{it}$	**-0.920*** **	**-0.758*** **	**-0.677*** **	**-0.678*** **	**-0.746*** **	**-0.762*** **
	(0.0403)	(0.0295)	(0.0586)	(0.0233)	(0.0194)	(0.0457)
Constant	-0.0749**	-0.0447***	-0.00578	-0.0165**	-0.0265***	-0.0589***
	(0.0318)	(0.00882)	(0.0111)	(0.00716)	(0.00620)	(0.0151)
Observations	589	930	248	1,333	2,139	651
Nb of country	19	30	8	43	69	21

Standard errors in parentheses. *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

6. Conclusion

L'objectif de ce chapitre a été d'appliquer la physique théorique hors de son champ traditionnel comme une réponse aux limites des modèles économiques qui peinent à démontrer l'existence d'un processus d'accélération. Pour cela, nous avons fait appel à deux outils tirés de la mécanique statistique classique, à savoir l'équation de Langevin et l'équation de Fokker Planck, résolu par la TRL pour déterminer de nouvelles trajectoires de développement. Les démonstrations mathématiques et les estimations économétriques sont robustes et mettent en évidence trois grands résultats. Premièrement, comme dans un système à particules, le modèle économique possède une force dominante, représentée par la complexification des systèmes productifs qui passe par la valorisation du capital humain. Cette force, au-delà de son influence significative, est positive et

augmente avec l'accélération du développement économique d'après la résolution de la TRL. D'autre part, ce paramètre qui domine le système est particulièrement important dans les pays MENA, suivis des pays à revenu faible et intermédiaire. De nouvelles trajectoires de développement peuvent alors se dessiner.

Deuxièmement, en plus d'une force dominante, notre modèle économique est soumis à une force dissipative : le niveau de corruption. Cette dissipation, bien qu'elle soit nécessaire en physique théorique pour éviter que le système ne converge et qu'elle n'explose vers l'infini, joue un rôle fondamental dans le processus d'accélération de développement économique. Les résultats montrent que le coefficient relatif au niveau de corruption est significativement négatif quel que soit l'estimateur utilisé, la période de l'étude ou encore l'échantillon de pays considéré. Cela signifie que la corruption est bel et bien un frein à l'accélération du développement économique, avec un effet beaucoup plus important dans les pays MENA, qui figurent parmi l'une des régions les plus corrompues au monde.

Troisièmement, notre modèle économique est perturbé "positivement" par un autre facteur : les ressources naturelles à condition qu'elles soient bien gérées (Stiglitz, 2012). Cette perturbation a un effet faible mais très significatif sur le processus d'accélération du développement économique. Cela signifie que l'abondance de ressources naturelles dans les économies en développement peuvent accélérer le développement économique si et seulement si les bénéfices tirés de ces ressources naturelles sont investis dans le capital humain (éducation et santé) ou encore le capital public (services publics et infrastructures), afin de créer des opportunités et des trajectoires de développement.

Les résultats de ce modèle, nous amènent à penser qu'il est moins difficile aujourd'hui aux pays MENA de franchir leur niveau optimal (état stationnaire) grâce à la complexification des systèmes productifs qui n'étaient pas disponibles lorsque les économies développées étaient au même stade de développement et grâce à une bonne gouvernance et à une meilleure exploitation des ressources naturelles avant que celles-ci ne s'épuisent définitivement. Ce dernier chapitre est une réelle contribution qui peut apporter des implications à la fois pour la recherche future mais aussi sur la

prise de décision politique à travers des réformes ciblées en matière de structure productive, de gouvernance et d'exploitation des ressources.

Face à ces résultats, les décideurs doivent encourager la complexification des systèmes productifs, et en particulier dans les secteurs des ressources naturelles (pétrole, gaz, phosphate, sel, …) ce qui contribuerait efficacement à l'accélération du développement économique et humain. Pour y parvenir, une gouvernance saine et transparente est nécessaire au-delà d'une valorisation du capital humain dans ce processus de transformation structurelle. Des mesures efficaces doivent être mises en place pour faciliter l'accès à des couloirs de développement. Le financement innovant tiré des bénéfices des ressources naturelles pourrait être une solution pertinente pour assurer des flux financiers supplémentaires prévisibles et durables. Pour cela, des organisations internationales doivent ainsi créer ces opportunités, et gérer les fonds de solidarité et les matérialiser en projets de développements globaux.

Références

Aidt, T. 2009. Corruption, institutions, and economic growth. *Oxford Review of Economic Policy,* 25, 2, 271-291.

Aidt, T. 2003. Economic analysis of corruption: a survey. *The Economic Journal,* 113, 491, 622-652.

Ali, AM,. Isse, HS .2003. Determinants of Economic Corruption: A Cross-Country Comparison . *Cato Journal,* 2003, vol. 22, issue 3, pages 449-466.

Anderson J.E., Wincoop Van E. 2001. Gravity with Gravitas : A Solution to the Border Puzzle, *NBER Working Paper,* 8079.

Anderson J.E. 1979. A Theoretical Foundation for the Gravity Equation, *American Economic Review,* 69: 106-116.

Auty, R.M. 2001a. Resource Abundance and Economic Development (Oxford:Oxford University Press).

Auty, R.M. 2001b. The Political Economy of Resource-driven Growth, *European Economic Review,* 45(4), 839-846.

Auty R.M. 1993. Sustaining development in mineral economies: the resource curse thesis. Routledge, London.

Bardhan, P,. 1997. Corruption and Development: A Review of Issues. *Journal of Economic Literature,* Vol. 35, No. 3, pp. 1320–46.

Beck, P.J., Maher M.W. 1986. A comparison of bribery and bidding in thin markets. *Economics Letters* 20, 1-5.

Bouchaud, J. 2008. Economics needs a scientific revolution. *Nature,* 2008, 455, 1181.
Felipe J., Abdon A. 2012. Product complexity and economic development, *Structural Change and Economic Dynamics*, Volume 23, Issue 1, Pages 36-68.

Brock, W.A., Hommes, C.H. 1998. Heterogeneous beliefs and routes to chaos in a simple asset pricing model. *Journal of Economic Dynamics and Control,* 22, 1235–1274.

Chatterjee, A., Chakrabarti, B.K. 2005a , Stinchcombe, R.B. 2005. Master equation for a kinetic model of trading market and its analytic solution. *Physical Review Economic 7*2, 026126.

Chiarella, C., He, X., Hommes, C. 2006. A dynamic analysis of moving average rules. *Journal of Economic Dynamics and Control,* 2006, 30, 1729–1753.

Egger, P., Winner, H. 2005. Evidence on corruption as an incentive for foreign direct investment. *European Journal of Political Economy, December*, pp. 932–952.

Einstein, A. 1905. Zur Elektrodynamik bewegter Körper (On the Electrodynamics of Moving Bodies), dans *Annalen der Physik,* vol. 322, no 10, 26 septembre 1905, p. 891-921.

Farmer, J.D., Foley, D. 2009. The economy needs agent-based modelling. *Nature,* 460, 685–686.

Felipe, J., Kumar U., Abdon A. 2010. How Rich Countries Became Rich and Why Poor Countries Remain Poor: It's the Economic Structure. *Levy Economics Institute,* WP n°.644, Asian Development Bank.

Ferrarini, B., Scaramozzino P. 2015. Production complexity, adaptability and economic growth. *Structural Change and Economic Dynamics,* Volume 37, June 2016, Pages 52-61.

Hamilton, K.2002. Sustaining Economic Welfare: Estimating Changes in total and per capita wealth. *Environment, Development and Sustainability,* 5, pp.419-436.

Hausmann, R., Hwang, J., Rodrik, D. 2007. What you export matters. *Journal of Economic Growth*, 12(1), 1–25.

Hausmann, R., Hidalgo, C. 2011. The network structure of economic output. *Journal of Economic Growth*, 16, 309–342.

Hidalgo, C. 2009. The dynamics of economic complexity and the product space over a 42 year period. Working Paper No. 189. Cambridge, MA: Center for International Development, Harvard University.

Hidalgo, C., Hausmann, R. 2009. The building blocks of economic complexity. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 106(26), 10570–10575.

Hirschman, A., 1958. The strategy of economic development. *Yale University Press*, New Haven.

Kaldor, N. 1967. Strategic Factors in Economic Development. *New York State School of Industrial and Labor Relations, Cornell University, Ithaca, NY.*

Kaufmann, D., Kraay A, Zoido-Lobatón P. 1999. Governance Matters. *World Bank Policy Research Working Paper* No. 2196 .

Kremer, M. 1993. The O-ring Theory of Economic development. *Quarterly Journal of Economics,* 108. pp. 551–575.

Lall, S. 1992. Technological Capabilities and Industrialization. *World Development,* 20. pp. 165–188.

Langevin, P. 1908. On the Theory of Brownian Motion. *Comptes Rendus de l'Académie des Science (Paris)* 146, 530–533 .

Leff, N.H. 1964. Economic development through bureaucratic corruption. *American Behavioral Scientist* 8, 3, 8-14. Reprinted in Political corruption: A handbook, A.J.

Leite, C., Weidmann, J. 2002. Does mother nature corrupt? Natural resources, corruption and economic growth, in G. Abed and S. Gupta (eds.), Governance, corruption, and economic performance (Washington DC: *International Monetary Fund*), 156–69.

Lewis, A. 1955. The Theory of Economic Growth *(London: Allen & Unwin).*

Lucas, R. 1988. On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics* 22 (1988) 3-42. North-Holland.

Lui, F.T. 1985. An equilibrium queuing model of bribery. *Journal of Political Economy* 93, 4, 760-

781.

Lux, T. , Westerhoff, F. 2009. Economics crisis. *Nature Physics*, 5, 2–3.

Lux, T. , Marchesi, M. 2000. Volatility clustering in financial markets. *International Journal Theorical Applied Finance,* 2000, 3, 675–702.

Mauro, P. 1995. Corruption and Growth. *Quarterly Journal of Economics,* Vol. 110, No. 3, pp. 681–712.

McMillan, M., Rodrik, D. 2011. Globalization, structural change and productivity growth. *NBER Working Paper* 17143.

Méon, P.-G., Sekkat K. 2005. Does corruption grease or sand the wheels of growth?. *Public Choice* 122, 1-2, 69-97.

Mimkes, J,.2006. Thermodynamic formulation of economics. Chapiter in Econophysics and Sociophysics: Trends and Perspectives.

Murshed, M., Goulart, P., Serino, L. 2011. Globalization and the South at the Crossroads of Change'. *In South-South Globalization: Challenges and Opportunities for Development. Sinnott*.

Nash EJ, and Torre A. 2010. Natural Resources in Latin America: Beyond Booms and Busts? *World Bank,* Washington DC.

Nyquist, H. 1928. Thermal agitation of electric charge in conductors. *Physical Review* 32(1), 110{113.

Pajot, S. 2003. Intégration du marché global dans un système composé de marchés locaux. Analyse par la théorie de la percolation. *Revue économique* 2003/3 (Vol. 54), p. 675-686.

Paldam, M. 2002. The Cross-Country Pattern of Corruption: Economics, Culture and Seesaw Dynamic. *European Journal of Political Economy,* Vol. 18, pp. 215-240.

Papyrakis, E., Gerlagh, R. 2004. The resource curse hypothesis and its transmission channels. *Journal of Comparative Economics* 32(1), 181-193.

Péridy, N., Abedini, J. 2008. The Greater Arab Free Trade Area(GAFTA): an Estimation of Its Trade Effects. *Journal of Economic Integration,* vol. 23, pages 848-872.

Poncet S, DE Waldemar, M. 2013. Export Upgrading and Growth: The Prerequisite of Domestic Embeddedness. *World Development* Vol. 51, pp. 104–118, 2013.

Prebisch, R. 1964. Toward a new trade policy for development, in Proceedings of the United

Conference on *Trade and Development,* New York, Vols I–VIII

Rostow, W. 1959. The Stages of Economic Growth *(Cambridge University Press).*

Sachs, J., Warner A. 1995. Economic reform and the process of global integration, *Brookings Papers of Economic Activity* 1, 1-18.

Sala-i-Martin, X., Subramanian, A. 2003. Addressing the natural resource curse: an illustration from Nigeria, *NBER Working Paper* No. 9804.

Schaffar A., Péridy N,. 2015. Exploring spatial convergence of Maghreb regional areas: An application of a Markov chains approach. *Economics Bulletin,* AccessEcon, vol. 35(3), pages 1848-1855.

Shleifer, A., Robert, V. 1993. Corruption. *Quarterly Journal of Economics,* pp. 599–617.

Singer H. 1950. The distribution of gains between investing and borrowing countries. *American Economic Review,* vol40, may, pp.473-485.

Smoluchowski, M. 1906. Sur le chemin moyen parcouru par les molécules d'un gaz et sur son rapport avec la théorie de la diffusion, *Bulletin International de l'Académie des Sciences de Cracovie*, p. 202–213, (1906).

Smoluchowski, M. 1906. Essai d'une théorie cinétique du mouvement Brownien et des milieux troubles. *Bulletin International de l'Académie des Sciences de Cracovie,* p. 577–602, (1906).

Stevens, P. 2003. Resource impact: Curse or blessing? A literature survey, *Journal of Energy*

Literature, 9(1): 3–42.

Stiglitz J. 2012. De la malédiction à la bénédiction des ressources. *Les Echos.fr* (http://archives.lesechos.fr/archives/cercle/2012/08/06/cercle_51784.htm)

Stiglitz J. 1998c. Towards a New Paradigm for Development: Strategies, Policies and Processes 9th Raul Prebisch Lecture delivered at the Palais des Nations, Geneva, UNCTAD.

Tinbergen J. 1962. Shaping the World Economy : Suggestions for an International Economic Policy, *NewYork, The Twentieth Century Fund.*

Wiener, N,. 1923. Differential space. *Journal of Mathematics and Physics,* 2 :131-174.

Wright, G., Czelusta, J. 2004. The Myth of the Resource Curse. *Challenge,* 47(2), 6–38.

Annexe 1. Statistiques descriptives des variables.

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
DEV	4123	102.0675	2285.024	-31267.4	37930.5
Force	4123	.2078004	.5836056	-1.263215	2.311076
Perturbation	4123	70876.62	227527.7	.113349	3300000
Dissipation	4123	-413.8708	5529.743	-71405.5	72199.1

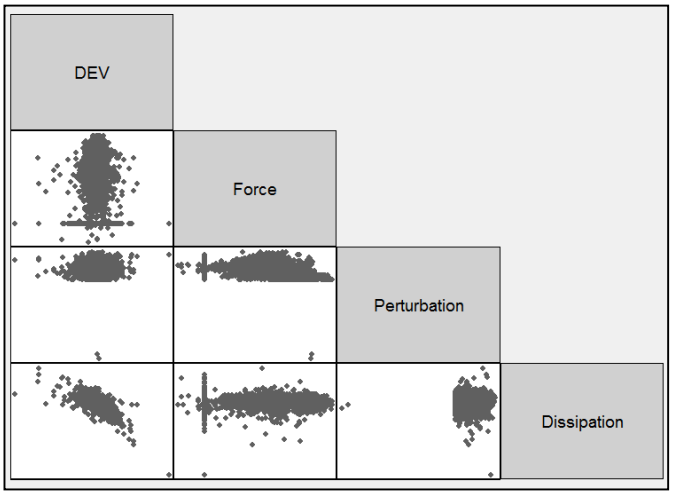
Annexe 2. Test de Variance Inflation Factor et matrice de corrélation

Annexe 2a. Test VIF

Variable	VIF	1/VIF
Force	1.07	0.936594
Perturbation	1.06	0.942454
Dissipation	1.01	0.992987
Mean VIF	**1.05**	

Annexe 2b. Matrice de corrélation

	DEV	Force	Perturb	Dissip
DEV	1.0000			
Force	0.0367	1.0000		
Perturbation	0.0057	-0.2521	1.0000	
Dissipation	0.1616	-0.0451	0.1136	1.0000



Conclusion Générale

L'objectif principal de la thèse a été de proposer de nouvelles trajectoires de développement à partir de cinq problématiques majeures. Tout d'abord, le premier chapitre nous a permis d'identifier les nouvelles dynamiques d'exportation des MENA par rapport au reste du monde, en présentant les principaux travaux théoriques et empiriques relatifs à la transformation structurelle ainsi que leurs faits stylisés. Le résultat de cette analyse nous a laissé penser que la complexification des systèmes productifs représente un paramètre crucial dans la compréhension des modèles de développement économique pour lequel le faible niveau de complexité économique est l'une des principales causes pour laquelle le développement économique est actuellement limité.

C'est dans ce contexte que le deuxième chapitre intervient. Il porte sur les facteurs déterminants du niveau de complexité économique à l'échelle internationale et régionale. Le but a été d'étudier non seulement l'influence des caractéristiques individuelles des économies et de leurs environnements sur leurs performances en matière de transformation structurelle mais également de montrer le rôle des caractéristiques régionales en prenant en compte la dimension de proximité spatiale (ou disparité spatiale).

Ensuite, les troisièmes et quatrièmes chapitres ont plutôt cherché à comprendre comment la complexification de systèmes productifs contribue respectivement à la réduction de la pollution de l'Air ainsi qu'au recul des inégalités de genre dans le domaine de l'éducation. Enfin, le cinquième et dernier chapitre, a développé une approche novatrice pour montrer l'existence d'un processus d'accélération dans un système économique.

1. Apports de la thèse

Dans ce travail de recherche, cinq catégories d'apports paraissent être mis en lumière par rapport à la littérature existante.

- Bases de données (Echantillonnage) et récentes techniques d'estimations

D'une part, tout au long de cette thèse, nous avons considéré un large panel (133 pays) sur une période relativement importante et récente (1984 à 2014). Ces pays ont été répertoriés selon leur

niveau de revenu, toutefois, une attention particulière a été établie sur les 19 pays MENA, une région relativement négligée dans cette littérature économique.

D'autre part, nos analyses ont été réalisées à l'aide d'outils méthodologiques différents selon les différentes problématiques énumérées précédemment : une modélisation spatiale dans le chapitre deux, un modèle non paramétrique dans le chapitre trois et quatre, un modèle issu de la mécanique classique dans le dernier chapitre.

- Le rôle de la localisation et la proximité spatiale

Concernant le deuxième chapitre, les études menées dans les pays développés et en développement n'ont utilisé que des méthodes d'analyse a-spatiale. Aucunes d'entre elles n'ont pris en compte la dimension de convergence spatiale dans la compréhension des déterminants de la complexité économique. En particulier, le fait de prendre en compte le degré d'interaction spatiale entre deux pays, qui est calculé sur la base de la distance sphérique entre les centroïdes des pays à partir de la latitude et de la longitude associés à chaque pays du globe.

A cet effet, dans ce deuxième chapitre, il a été montré que la dépendance spatiale avait une influence très significative dans le processus de complexification des systèmes productifs. Le fait qu'une région soit entourée d'économies possédant un système productif complexes peut encourager cette dernière à transformer son panier d'exportation en produits plus complexes. Cela entrainerait une meilleure utilisation de ses ressources afin d'être plus efficients et compétitives.

L'analyse de la convergence spatiale, principale contribution de ce chapitre, a montré que les pays MENA ont entamé un processus de rattrapage assez important vers les pays de l'UE en matière de transformation structurelle, en dépit de leur situation macro et socio-économique qui reste est un élément de taille dans l'efficience de ce processus. En particulier, l'importance de la qualité des institutions ainsi que de la création technologique (innovation) dans la région a été mise en évidence.

- Le rôle de variables nouvelles dans ce genre d'estimation

L'utilisation de nouvelles mesures et variables liées à l'amélioration du développement économique a été mise en évidence. Des variables muettes telles que l'adhésion à l'OMC, l'entrée en vigueur du protocole de Kyoto, l'ouverture commerciale Gafta ou encore l'effet du Printemps Arabe (PA) ont permis à la compréhension d'un système productif plus moderne et complexe.

De nouveaux indicateurs composites ont récemment fait l'objet d'un regain d'intérêt dans les modèles de croissance économique. L'une de nos contributions a été de les affecter dans les processus de transformations structurelles. L'indice de vulnérabilité économique et structurelle (IVE) ou encore l'indice de création technologique (Innov) ainsi que l'indice de capital humain (KH) ont joué un rôle crucial dans nos modèles de développement.

- L'impact de la complexité économique sur la pollution et les inégalités de genre en éducation

Une des contributions du chapitre trois et quatre a été de considérer l'indice de complexité économique comme élément central et déterminant tant dans la dégradation de l'environnement que dans la lutte contre les inégalités de genre en éduction et ce au-delà de l'effet important du revenu par habitant. Cette variable nous a permis de nous éclairer sur les enjeux qui favorisent l'efficience des modèles de développement économique et de changement structurel.

- Le rôle de la mécanique classique dans la compréhension des systèmes économiques.

Le dernier chapitre a été le moyen pour nous d'apporter une réponse aux limites des modèles économiques traditionnels qui peinent à démontrer l'existence d'un processus d'accélération. L'application de la physique théorique hors de son champ traditionnel a été une importante contribution dans cette thèse. Par ailleurs, ce modèle que nous avons proposé pourrait également s'adapter et jouer un rôle important dans d'autres branches de l'économie à savoir les marchés financiers et boursiers.

2. Principaux résultats

Partant des objectifs de la thèse, les résultats de nos travaux peuvent être énoncés. D'un point de vue général, les résultats révèlent que les performances en matière de complexification des systèmes productifs sont très hétérogènes et en particulier dans les MENA et que leurs déterminants dépendent des caractéristiques des économies. Les fortes disparités observées s'expliquent, au-delà de l'effet significatif du revenu par habitant, par une carence dans le système institutionnel, éducatif en particulier dans l'accès à l'innovation, mais aussi à l'abondance des ressources naturelles ou encore à l'attractivité des investissements directs étrangers suite à l'instabilité politique de ces pays.

Au-delà des caractéristiques individuelles des économies, l'analyse spatiale montre que des facteurs géographiques tels que le taux d'urbanisation, les accords commerciaux, mais surtout la distance joue un rôle très important dans le processus de transformation structurelle. Les résultats révèlent d'ailleurs l'existence d'une autocorrélation spatiale dans ce processus. Les économies ayant des niveaux de complexité économique élevés sont souvent entourées par des économies ayant de faible niveau de complexité économique et inversement. Ce travail révèle également l'existence d'effets d'ombres et d'espaces très discriminés essentiellement dans la région MENA-UE où certaines économies d'Afrique du Nord à faible niveau de complexité économique sont proches d'économies à très fort niveau de complexité (UE) et inversement. D'autre part, nous avons montré que la croissance du niveau de complexité économique dans une économie est préjudiciable à la croissance de la complexité économique dans les économies voisines car elle peut réduire leur potentiel de croissance. Ce résultat laisse opaque la dépendance spatiale dans le processus de transformation structurelle.

Au niveau environnemental, notre travail nous a permis de réétudier le modèle CEK en mettant en lumière la complexité économique, ce paramètre assez négligé dans la littérature économique. Notre principal résultat a été de prouver que l'accroissement de la complexité économique permet plus rapidement d'atteindre le seuil de retournement du niveau de pollution que l'accroissement du revenu par tête. Ce résultat nous laisserait admettre que pour réduire la pollution, le mode de croissance et les spécialisations productives sont plus importants que la croissance elle-même et le niveau de développement économique atteint.

Au niveau structurel, nous pouvons noter le rôle important de la complexité économique sur la lutte contre les inégalités de genre dans le secteur de l'éducation. Les résultats ont montré une relation directe et significative seulement au niveau de l'enseignement supérieur. Enfin, au-delà des déterminants et des différents effets qui résultent de la complexité économique, nous montrons que seul un modèle de développement capable de réédifier un système productif innovant, de lutter contre la corruption, et d'exploiter au mieux les ressources naturelles est capable d'assurer une accélération du développement économique. Les résultats révèlent que les MENA figurent parmi les pays qui ont entamé un processus d'accélération du développement économique plus important que les autres pays du monde.

3. Recommandations en termes de politiques économiques

Certains pays MENA ont été fortement affectés par la crise internationale, par les révolutions arabes et plus récemment par la crise des réfugiés ou guerres civiles. Les résultats de la thèse nous permettent de suggérer quelques orientations générales de politiques économiques dans le but d'améliorer l'efficacité et l'efficience de la complexification des systèmes productifs à l'échelle mondiale et particulièrement en Méditerranée.

En effet, pour se complexifier, les MENA doivent relever des défis considérables. Dans cette thèse, nous avons souligné différents aspects qui ont joué un rôle déterminant dans ce processus. Il s'agit particulièrement de l'éducation, de la corruption, des investissements directs étrangers, de la concentration urbaine et des ressources naturelles. Ces recommandations de politiques économiques s'articulent autour des axes suivants. Amélioration du système éducatif et de formation, est le premier défi à relever. Il est aujourd'hui admis, que l'éducation a une forte influence sur la création technologique. La formation du capital humain notamment avec l'accès à l'enseignement supérieur (ingénierie) est une stratégie efficace pour faciliter le changement structurel et la modernisation productive. Pour cela, l'efficacité du système éducatif passe essentiellement par la qualité de l'enseignement et des enseignants. Des tests internationaux ont affiché des résultats modestes dans la majorité des pays MENA, où il a été montré que même les ingénieurs, les chefs de projet n'étaient pas compétents et novateurs sur le marché de travail.

Au-delà des conditions d'apprentissage des étudiants, ce travail nous montre que l'offre et la demande d'emploi dans les MENA ne concordent pas. Le cas des pays d'Afrique du Nord est le plus marquant, où plus des deux tiers des lauréats de l'enseignement supérieur sortent diplômés dans des disciplines qui ne sont pas au centre des préoccupations des grandes entreprises. A cet effet, les jeunes diplômés peinent à trouver un emploi, et n'ont que deux choix à savoir : un déclassement local avec à la clef un emploi sous-qualifié ou encore une expatriation forcée.

Un autre problème pose aussi des difficultés sociales et de pertes économiques. Il s'agit du faible taux de participation des femmes au marché du travail. Nombreuses lauréats des universités sont des femmes, toutefois, seulement le quart d'entre elles rentrent sur le marché du travail, c'est le cas en particulier des pays d'Afrique du Nord. Cette région consacre un budget considérable pour former des femmes qui restent finalement au foyer.

Enfin, les inégalités territoriales entre les zones urbaines et rurales, existent dans l'ensemble des pays MENA : Il s'agit là aussi d'un problème économique, social mais aussi politique. Ainsi, trouver un bon positionnement dans les chaînes de valeurs mondiales requiert des efforts de formation et des changements dans les techniques d'apprentissage. Les gouvernements doivent donc mettre en place des mesures permettant une meilleure adéquation entre les formations et les besoins du marché.

Une façon de limiter ce problème majeur consiste à allouer des ressources nécessaires d'une part, pour renforcer la qualité des enseignements. Des évaluations annuelles aux enseignants peuvent être la solution pour limiter et supprimer la corruption dans les structures éducatives, exemple connu des professeurs corrompus qui sur-notent leurs étudiants. D'autre part, il est nécessaire d'augmenter le budget consacré à la formation pré et post diplômes pour aider et faciliter les lauréats à s'insérer sur le marché du travail. Enfin, d'importantes ressources financières devraient être allouées dans le cadre de la création de technopole, dans des zones rurales avec l'espoir que cette mise en valeur entraîne une modernisation nouvelle à l'initiative d'entreprises produisant et exportant des produits à très faible valeur ajoutée.

L'amélioration de la qualité des institutions et de la vulnérabilité économique et structurelle, est le deuxième défi à relever. Dans cette région, certains MENA ont des difficultés à mettre en place des mesures visant à transformer leurs structures productives en raison d'une corruption persistante qui érode les capabilités. C'est sans aucun doute une évidence d'avancer qu'une transformation structurelle efficace doit passer par une bonne gouvernance et une stabilité politique et économique. Toutefois, les pays MENA rencontrent actuellement des difficultés très sérieuses liées aux révolutions arabes et actuellement à la crise des réfugiés et aux guerres civiles.

En effet, le problème du financement et de l'investissent reste au cœur de cette problématique. Il faut donc trouver du financement à l'extérieur pour stabiliser l'économie et la rendre plus attractive. Premièrement, il y a l'aide publique au développement qu'elle soit bilatérale ou multilatérale. Or, aujourd'hui le montant de cette aide reste insuffisant pour réaliser des projets d'envergures et où les rendements n'apparaitront que d'ici quelques années. Deuxièmement, la conversion de la dette de certains pays MENA en fonds pouvant servir à la complexification de certains secteurs d'activité peut être une issue qui a peu été exploitée jusqu'à présent.

Troisièmement, le financement innovant est récemment considéré comme l'une des solutions les plus prometteuses pour assurer des flux financiers supplémentaires prévisibles et durables. Il s'agit de mobiliser des moyens non traditionnels pour réunir des fonds pour le développement. Un exemple marquant et fructueux dans le domaine de la santé est celui d'UNITAID et de sa taxe sur les billets d'avion payée par les passagers à l'achat de leur billet (1 à 2 dollars). Cette taxe a été imposée à toutes les compagnies aériennes et n'a eu aucune incidence sur la concurrence. En ce moment également, UNITAID négocie avec plusieurs états africains la mise en place d'une taxe sur les barils de pétrole (5 à 10 %) produits dans les pays producteurs. Par ailleurs, l'Équateur a également proposé à plusieurs pays pétroliers de créer une taxe sur chaque baril de pétrole qui alimenterait le « Fond Vert » afin d'aider les états les plus démunis dans la lutte contre le changement climatique. Un autre exemple de financement innovant porte sur la taxe sur les transactions financières (actions et obligations), déjà mis en œuvre dans certains pays européens dont la France.

Ce genre de financement entraine des retombées positives pour ces gouvernements en termes de visibilité et de réputation, mais suppose que l'on soit créatif. Autrement dit, il est possible, d'explorer des opportunités encore inexploitées avec l'industrie de cosmétique, du cinéma, de l'art, du sport. Pour y parvenir, les organisations internationales et les gouvernements pourraient imposer des petites taxes indolores sur la vente de billets pour les manifestations et festivals. Ces recettes seront ainsi allouées pour des projets de développement de grande envergure.

Pour cela, les organisations internationales doivent créer ces opportunités, et gérer les fonds de solidarité et les matérialiser en projets de développement globaux. L'importance des facteurs géographiques que nous avons mis en évidence pour réduire les inégalités entre les économies pourrait passer par des politiques de décentralisation des structures productives. Dans la plupart des pays MENA, c'est le pouvoir central qui gère toutes les structures politiques dont le commerce. La décentralisation donnerait la possibilité aux autorités locales de pouvoir travailler dans l'intérêt de la population en faisant des entités locales des niveaux de gestion plus adaptés. Grace à la décentralisation, les autorités peuvent investir dans des projets régionaux innovants et porteurs de croissance, permettant une création d'emploi même dans les zones rurales. Le renforcement des capacités des entreprises locales est nécessaire pour accélérer la transformation structurelle.Deux niveaux d'action peuvent être envisagés pour faire face aux lourdes contraintes qui entravent le développement des nouveaux entrepreneurs et investisseurs.

Au niveau macroéconomique, il s'agit en premier lieu d'alléger le système d'imposition des entreprises, notamment en faveur des investisseurs locaux, qui sont taxé dès le premier jour contrairement aux investisseurs étrangers qui sont eux exonérés d'impôts (Tunisie, Egypte, ..). Par ailleurs, la simplification du système d'imposition est nécessaire pour diminuer les risques de corruption.

A cet effet, la création des zones économiques spéciales ou zones franches regroupées par secteur d'activités serait très pertinent pour dynamiser les échanges plus complexes. Le cas des EAU est le plus marquant.

En second lieu, il s'agit de simplifier les procédures et les formalités administratives dans de la cadre de la création d'entreprise et de l'innovation mais également renforcer la protection des droits de propriété intellectuelle. Au niveau microéconomique, il s'agit plutôt de lancer des nouveaux programmes de développement et de projets d'envergure à destination des jeunes qui travaillent dans une entreprise et qui veulent y investir. Ainsi, les organisations internationales et les gouvernements devraient d'une part, encourager des politiques sectorielles adaptées à chaque pays et à chaque région. D'autre part, ils devraient imposer des mesures et des règles pour lutter essentiellement contre la corruption et favoriser l'allégement des contraintes administratives et fiscales, et de lancer des initiatives encourageant l'investissement dans les PME qui permettra de créer des emplois qualifiés et une croissance plus inclusive.

Nos résultats plaident également au renforcement de l'accord du GAFTA, ou à la signature d'un nouvel accord commercial similaire encourageant la mise en place de nombreux projets de grande envergure semblables à celui du Plan Solaire Med ou encore EolMed pour créer de l'emploi qualifié et accélérer son développement économique.

Le renforcement de l'intégration économique régionale et le commerce intra-mena est nécessaire aujourd'hui. Même si, l'intégration méditerranéenne est en progrès, cette dernière n'a pas eu les effets escomptés dont le niveau est encore bien en deçà des attentes espérées. Si nous comparons les résultats obtenus dans la zone mena par rapport aux autres régions du monde, nous mesurons bien mieux le retard accusé par ces économies dans la construction d'espaces communs, capables de porter les choix et les politiques de développement.

En effet, l'UE, principale cliente des pays méditerranéens, a favorisé leur spécialisation sur des secteurs très faible productivité ce qui n'est pas favorable à la création d'emplois, notamment qualifié. Or, les transferts de main-d'œuvre d'un secteur peu productif (comme le secteur agricole) vers des secteurs plus productifs (secteurs de l'industrie et des services) permettraient de réaliser des gains de productivité, qui sont sources d'emploi basé sur des activités innovantes plutôt que sur une rationalisation du processus de production économisant de la main d'œuvre.

Ainsi, les pays MENA doivent trouver des solutions collectives et non individuelles pour mener des négociations commerciales plus favorables avec leurs partenaires commerciaux européens, ou encore mieux s'ouvrir et conquérir de nouveaux marchés, particulièrement le marché africain. Pour y parvenir, au-delà d'un rapprochement par un simple dialogue ou une entente entre les pays MENA, le renforcement des capacités de production et d'exportation est nécessaire pour une meilleure intégration des MENA dans le marché mondiale. Cette région devra trouver des complémentarités sectorielles pour défendre la compétitivité et les valeurs de la région à l'international.

La poursuite de l'amélioration des politiques macroéconomiques est cruciale pour gérer efficacement les risques associés au syndrome hollandais et à la volatilité des recettes en provenance des ressources naturelles.

Même si les ressources naturelles ont permis à certains pays MENA d'engranger sans beaucoup d'efforts des recettes substantielles du fait même que les ressources extraites sont expédiées en vrac, à l'état brut vers d'autres économies, qui eux transforment ces ressources. Cette facilité ne les a pas incités à complexifier leur structure productive dans ce secteur extractif. Selon nous, la complexification des systèmes productifs du pétrole, gaz, phosphate ou même le sel contribuerait efficacement à l'accélération du développement économique et humain, comme nous l'avons souligné dans le dernier chapitre. Pour cela, les pays pétroliers de la zone MENA, devraient s'orienter vers un secteur moderne plus productif, comme par exemple, l'industrie pétrochimique pour accroitre la valeur ajoutée des produits pétroliers. Ces ressources devraient servir en priorité à pallier le déficit d'infrastructures, à répondre aux besoins en capital physique des exploitations pétrolières et à améliorer l'accès aux marchés. Pour y parvenir, l'intégration régionale pourrait étendre les liens continentaux par-delà la filière pétrolière en établissant par exemple des liens en amont, secondaires et latéraux pour désenclaver le secteur pétrolier méditerranéen. Pour cela, les organisations internationales et les gouvernements devraient favoriser et faciliter l'accès à des couloirs de développement inter et intracontinentaux, par la mise en place de nouveaux contrats pétroliers, permettant de réduire la fracture de développement infrastructurel.

4. Limites et extensions de la thèse

Comme tout travail, cette thèse comporte des limites. Il convient de rappeler que, pour la réalisation de cette thèse, nous nous sommes basés sur des données en panel dynamique qui couvrent une période de plus de trois décennies (1984-2014). Toutefois, une des limites majeures a été l'absence de données régionales sur plusieurs années qui auraient permis d'effectuer une analyse dynamique couvrant l'ensemble des régions méditerranéennes. Il est vrai que la très récente étude de Poncet et al (2015) sur le cas des villes chinoises a été très appréciée auprès de la communauté de chercheurs, toutefois, le manque d'informations sur les critères de la diversité et de l'ubiquité dans les pays MENA a été un obstacle majeur dans la construction d'une base de données plus fine couvrant notre période d'étude. Ce manque d'informations et ce traitement de données des pays MENA nous a donc conduit à ignorer cet aspect.

Ceci dit, grâce à notre base de données, nous avons des résultats en cours de publication et des travaux non cités dans cette thèse[44], dont un projet de recherche commandé par le FEMISE, où il a montré le rôle important de la complexification des systèmes productifs dans la création d'emplois qualifiés dans le cas de trois pays MENA (Emirats Arabes Unis, Tunisie et Turquie). Toutefois, il aurait été pertinent de confronter nos résultats et de les poursuivre en procédant à une analyse avec des données régionales et non plus nationales en particulier dans la région méditerranéenne.

Dans ce contexte, notre principale limite a également été de ne pouvoir explorer de nouveaux modèles économiques en raison d'un manque d'information et de transparence dans les pays étudiés. Il serait aussi très intéressant dans les recherches futures d'essayer de comprendre empiriquement la dynamique du processus de transformation structurelle à partir de modèle

[44] Un modèle de gravité augmenté dynamique a été réalisé en première année de thèse et publié dans l'Harmattan dans l'ouvrage intitulé "Commerce international, investissements directs étrangers et participation des pays méditerranéens aux chaînes de valeur mondiales", p120-101. Toutefois nous avons fait le choix de ne pas introduire ce travail dans la thèse parce que nous avons utilisé uniquement l'indice EXPY, et non ICE pour expliquer la dynamique des flux d'échanges dans la région euro-méditerranéenne.

multiniveaux (pays-région-firme), d'un modèle d'efficience ou encore d'un modèle incluant les chaines de Markov.

Par ailleurs, nous n'avons pas assez distingué l'intérieur de la zone MENA, à savoir différencier les pays pétroliers aux pays non pétroliers, les pays d'Afrique du Nord à ceux du Proche Orient. Puis à l'échelle internationale, il aurait été pertinent de comparer de manière plus approfondie les MENA par rapport aux pays d'Asie pour tirer les enseignements de leur expérience ou encore par rapport aux pays d'Afrique Subsaharienne qui eux sont bien loin de ce processus malgré leur fort potentiel.[45] La comparaison entre les trois systèmes productifs aurait pu nous éclairer davantage sur le choix des politiques économiques et leurs effets.

Une dernière limite a été de ne pas avoir traité dans cette thèse certaines questions portant sur la concurrence, les clusters, et les *capabilities* de Sen. Dans ce contexte, notre principal regret dans cette thèse serait de n'avoir pas pu créer un indicateur qui reflèterait **l'accès** aux connaissances et aux capacités productivement technologique. Cette mesure serait capable de prendre en compte trois paramètres cruciaux à savoir, le bien être des pays/régions/agents, les effets spatiaux et la distinction des différentes gammes de produits. Il serait donc très pertinent dans les recherches futures d'essayer de conceptualiser cet indicateur à travers un modèle réseau (METRO) en dynamique similaire à celui développé par Hidalgo et al (2009), mais avec une tout autre particularité. Ce modèle serait capable de montrer comment conduire les produits à très faible valeur ajouté à accélérer vers des produits à plus forte ajoutée. L'utilisation de l'opérateur hamiltonien issu de la mécanique quantique serait efficace pour décrire ce mouvement dans cet espace.

Finalement, les pays MENA ne sont ni intégrés au Sud de l'Afrique, ni en Europe, ni en Asie, ils doivent entrer collectivement dans cette compétitivité globale avec une réelle identité. Pour qu'un

[45] Le dernier chapitre capte dans la modélisation économétrique les pays d'Asie et d'Asie pour étudier et comparer le processus d'accélération.

rattrapage économique puisse se faire, ces pays doivent prioritairement trouver des complémentarités sectorielles entre eux, une étape préalable à l'ouverture commerciale vers d'autres régions du Sud (l'Afrique) ou de l'Est (l'Asie). L'intégration et l'association de cette zone fonctionneront grâce aux transferts de technologie, au partage des valeurs, à des dynamiques de convergence entre les productivités et les revenus.

Aujourd'hui, la question est de savoir sur quels leviers intervenir prioritairement pour transformer les modèles économiques des pays MENA ? Pourrait-on s'inspirer de modèles de d'autres régions du monde comme celui de l'Asie? Deux types de modèles économiques coexistent dans le monde il s'agit du modèle asiatique et du modèle latino-américain. En revanche, réédifier un modèle économique peut prendre plus d'une génération. Rappelons, qu'il a fallu trois décennies pour que le modèle asiatique porte l'étiquette économique de Pays émergents. Les pays MENA, en particulier l'Afrique du Nord, sont aujourd'hui trop impatients et exigent sur le court terme des résultats quasi-impossibles à atteindre et surtout depuis les printemps arabes. Alors, à quand un nouvel accord qui cherche à favoriser une profonde et réelle intégration et identité régionale ? A quand un sommet MENA basé sur les questions de développement par la complexification des systèmes productifs qui brisera les hypocrisies et donnera un nouveau souffle à cette région ?

Tables des matières

Remerciements *5*

Résumé de thèse *9*

Introduction Générale *15*

1. Contexte et enjeux économiques **16**

2. Problématique **19**

3. Structure des chapitres **22**

Chapitre 1 : Littérature, mesure et analyse de la transformation structurelle *29*

1. Introduction **30**

2. Revue de la littérature **32**

2.1. L'efficience des modèles fondamentaux prête à controverse 32

2.2. Littérature empirique : les récentes tentatives 34

2.3. Complexité économique : une mesure multidimensionnelle 36

3. Evolution récente de la situation économique : Principaux faits stylisés **40**

3.1. Perspectives mondiales 40

3.2. Focus sur la région MENA 44

4. La transformation structurelle des MENA : Comparaison avec le reste du monde **48**

4.1. Analyse de la complexité économique sur les 3 dernières décennies 48

4.2. Evaluation de la composition des exportations de l'Algérie, EAU, Tunisie et Turquie 55

5. Transformation structurelle et Opportunité de croissance **60**

5.1. ICE et Pib par habitant, un bon prédicteur de croissance à long terme ? 60

5.2. Les MENA au cœur de l'espace de produits : Analyse comparative 61

6. Conclusion **66**

Chapitre 2 : Modélisation empirique des interactions spatiales dans le processus de la complexification des systèmes productifs *76*

1. Introduction 77

2. Evaluation des déterminants de la complexité économique 79

2.1. Spécification du modèle et choix des variables 79

3. Modélisation et stratégie empirique 86

3.1. Spécification du modèle spatial 86

3.2. Procédure d'estimation du modèle 1 et 2 86

3.3. Principaux résultats : Analyse global, régional et par niveau de revenu 88

4. Processus de convergence et analyse économétrique spatiale : 92

4.1. Focus sur le concept de β-convergence : *a.spatial vs spatial* 92

4.2. Modélisation et stratégie empirique 94

4.3. Résultats du modèle de convergence conditionnelle 95

5. Conclusion et recommandations en termes de politiques économiques 99

Chapitre 3 : L'effet de la complexité économique sur la pollution de l'air 119

Une autre approche de la Courbe Environnementale de Kuznets 119

1. Introduction 120

2. La courbe environnementale de Kuznets : revue de la littérature 122

2.1. La construction théorique de la CEK 122

2.2. La littérature empirique 123

3. Modélisation et stratégie empirique 125

3.1. Spécification du modèle et choix des variables 125

3.2. Procédure d'estimation 129

4. Résultats du modèle : l'effet selon une courbe en U de la complexité économique sur la pollution de l'air 131

4.1. Analyse globale 131

4.2. Analyse par niveau de revenu et par région 135

4.3. Comparaison avec le modèle CEK estimé avec PIB/tête et PIB/tête^2 138

5. Conclusion et implications des politiques économiques 141

Chapitre 4 : Complexité économique et Inégalité de Genre en Education *157*

1. Introduction **158**

2. Inégalités de Genre : Un nouvel éclairage **161**

2.1. Mesure et principales limites 162

2.2. Quelques faits stylisés 163

3. Revue de la littérature **169**

3.1. Inégalité de genre et croissance 169

3.2. L'effet du revenu 171

3.3. Inégalité de genre et commerce 171

4. Cadre théorique et modélisation empirique **175**

5. Principaux résultats **177**

6. Conclusion **183**

Chapitre 5 : Application de la physique théorique dans la modélisation des phénomènes de transformation structurelle *195*

1. Introduction **196**

2. Analyse économique **199**

2.1. Hypothèses du modèle 199

2.1.1. Hypothèse 1 : Littérature sur la relation corruption/développement 200

2.1.2. Hypothèse 2 : Relation ressources naturelles/développement 201

2.1.3. Hypothèse 3 : Littérature sur la relation entre la complexité économique, le capital humain et le développement 203

3. Propriétés et fondements de la Théorie de Réponse Linéaire (TRL) **204**

3.1. Mécanique quantique et statistique : Les précurseurs 205

3.2. Modèle de Langevin 206

3.2.1. Equation de Langevin 208

3.3. Passage de Langevin à Fokker Planck 210

3.3.1. Littérature sur la FPE 210

4. Application de la TRL dans le système économique 211

4.1. Résolution de l'équation : Explication de la Théorie de Réponse Linéaire 213

4.2. Résolution de l'équation de Langevin en moyenne 214

4.3. Résolution de l'équation de Fokker-Planck (FPE) 219

5. Modélisation et analyse de sensibilité 222

5.1. Spécification du modèle 222

5.2. Procédure d'estimation 224

5.3. Interprétations des résultats 225

6. Conclusion 228

Conclusion Générale 237

1. Apports de la thèse 238

2. Principaux résultats 241

3. Recommandations en termes de politiques économiques 242

4. Limites et extensions de la thèse 248