

## Changements Technologiques Biaisés en Faveur des Compétences: Cas des Pays en Développement

### [ Skills Biased Technological Changes: Case of developing Countries ]

*Sirine MNIF*

Département des Sciences Economiques,  
Faculté des Sciences Economiques et de Gestion de Sfax/Université Rennes 2-Haute Bretagne,  
Tunisie/France

---

Copyright © 2014 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** Our work deals with the relationship between inequality and technological changes. In particular, we focus on the transmission channels through which technological innovations affect inequality. The objective of this work is to determine the effects of the diffusion of innovations on the demand for labor of different skills. We are interested in the notion of technological bias and the role of inequality between different workers. Empirical validation of this work is based on Dynamic Panel. Our model tests the impact of technological change and capital on unequal access to employment and tests the hypothesis of skills biased Technological Change. An estimate by the Arellano and Bond method seems more relevant. A positive relationship between innovation and demand for skilled labor and a negative relationship between innovation and demand for unskilled labor seems to be confirmed for developing economies. Furthermore, complementarity between capital or technologies and skilled labor also seems to be confirmed for the same sample.

**KEYWORDS:** Technological changes, inequality in access to employment, Biased Technology, complementarity between capital and skilled labor, GMM.

**RESUME:** Notre travail traite la relation entre l'inégalité et les Changements Technologiques. Plus particulièrement, nous nous intéressons aux canaux de transmission par lesquels les innovations technologiques touchent l'inégalité. L'objectif de ce travail est de déterminer les effets de la diffusion des innovations sur la demande de main-d'œuvre de différentes qualifications. Nous nous intéressons à la notion du biais technologique et au rôle des inégalités entre les différents travailleurs. La validation empirique de ce travail se base sur la technique des données de Panel Dynamique. Notre modèle teste l'impact du Changement Technologique et du capital sur l'inégalité d'accès à l'emploi et vérifie l'hypothèse des Changements Technologiques Biaisés en faveur des Compétences. Une estimation par la méthode d'Arellano et Bond paraît plus pertinente. Une relation positive entre l'innovation et la demande du travail qualifié et une relation négative entre l'innovation et la demande du travail non-qualifié semblent être confirmées pour un échantillon d'économies en développement. Par ailleurs, une complémentarité entre le capital et le travail qualifié ou entre les technologies et les compétences semble aussi être confirmée pour ce même échantillon.

**MOTS-CLEFS:** Changements Technologiques, inégalité d'accès à l'emploi, Technologie biaisée, complémentarité entre capital et travail qualifié, MMG.

### 1 INTRODUCTION

Rejoignant ainsi la littérature liant les inégalités à la croissance, nous abordons le rôle de l'innovation comme sources d'inégalités suivant des analyses portant sur le progrès technologique biaisé [1], [2] et plus généralement sur l'idée de destruction créatrice proposée par Schumpeter. Le principal mécanisme mis en œuvre est que l'innovation est créatrice d'inégalités à côté des opportunités de profits. Ainsi, quelles sont les implications du changement technique sur le marché du travail? Comment la Nouvelle Technologie affecte-t-elle l'emploi et la distribution des salaires?

Le changement technique favorise plus les travailleurs qualifiés, remplace les tâches précédemment effectuées par les non-qualifiés et augmente l'inégalité. Cette vision est formée sur la base de l'expérience de plusieurs décennies, qui était témoin des changements importants dans la technologie, y compris la diffusion rapide des ordinateurs dans les lieux de travail et dans notre vie, et l'inégalité de salaire. Aux Etats-Unis, par exemple, la prime de l'université - les salaires des diplômés universitaire relativement aux salaires des diplômés non universitaire - croit plus de 25 pour cent entre 1979 et 1995. L'inégalité globale de revenus a augmenté également brusquement. En 1971, un ouvrier au 90<sup>ème</sup> percentile de la distribution de salaire a gagné 266 pour cent plus qu'un ouvrier au 10<sup>ème</sup> percentile. En 1995, ce nombre avait atteint 366 pour cent [3], [4]. Plusieurs chercheurs trouvent un rapport causal direct entre les évolutions technologiques et ces variations radicales dans la distribution des salaires dans l'économie américaine. Le titre de l'article de [5] sur les ordinateurs et l'inégalité récapitule cette vue: «Comment les ordinateurs ont changé la structure de salaire». La référence [6] donne également un rapport succinct: l'installation et le fonctionnement des Nouvelles Technologies impliquent souvent l'acquisition et le traitement de l'information. La compétence facilite ce processus d'adoption. Par conséquent, les périodes d'avancement technologique rapide devraient être associés à une augmentation du rendement de la compétence. Ils argumentent que nous sommes maintenant au milieu d'une «troisième Révolution Industrielle» alimenté par des avancées de la Technologie de l'Information et que cette révolution est responsable de l'augmentation de l'inégalité.

La référence [7] évalue le lien entre la scolarisation et les salaires dans les années 1980 et 1990 aux États-Unis. Elle observe une hausse de «l'avantage salarial de la scolarisation», qu'elle définit comme la mesure selon laquelle les travailleurs bien scolarisés gagnent davantage que les travailleurs peu scolarisés. Les bénéfices de la scolarisation ont augmenté ces dernières décennies et cela représente une cause considérable de l'amplification de l'inégalité des salaires.

Il y avait aussi des signes de complémentarité significative entre la compétence et la technologie dans les années 10. La référence [8] argumente que la diffusion en lots et le processus continu des méthodes de production ont augmenté la demande pour les compétences. Elle ajoute: «Le changement à l'électricité après les sources d'énergie de vapeur et de puissance de l'eau est renforcé parce qu'il a réduit la demande des ouvriers manuels non-qualifiés dans beaucoup de tâches comme tirer, transporter et assembler». Pendant cette période, les industries intensives en capital augmentent considérablement la demande des compétences [8].

L'évidence du début du 20<sup>ème</sup> siècle est si puissante pour que la référence [9] suggère que le capital et les qualifications soient complémentaires. Les références [10], [11], [12] et [13] ont également montré que les développements technologiques augmentent la demande des qualifications. Les ordinateurs personnels, les techniques de production assistées par ordinateur et la robotique semblent compléter les travailleurs qualifiés, remplaçant beaucoup de tâches à forte intensité en main-d'œuvre. Il est peut-être naturel de voir l'augmentation de l'inégalité sur le passé de plusieurs décennies comme conséquence directe du changement technique. Le Changement Technologique Biaisé en faveur des Compétences (CTBC) explique donc l'inégalité des salaires et l'inégalité d'accès à l'emploi.

Berman et Machin (2000) tiennent compte de la transition dans la structure des compétences et de l'emploi au sein des pays développés, de façon à illustrer dans quelle mesure la transition de la demande a favorisé les travailleurs qualifiés et dans quelle mesure ces transitions relatives de la demande ont été plus marquées au sein des industries les plus avancées sur le plan technologique. Quel est donc le sort des pays en développement?

### 2 REVUE DE LA LITTÉRATURE

Au début des années 1990, vu la dégradation de la situation des salariés non-qualifiés sur le marché du travail des pays développés, concernant le revenu ou l'accès à l'emploi, un certain nombre d'études ont attiré l'attention sur le progrès technologique comme une source de l'augmentation de la demande de la main-d'œuvre qualifiée [14], [15], [16], [17], [18] ou de l'augmentation du salaire du travail qualifié par rapport au travail non-qualifié [19], [20]. Le progrès technique serait intrinsèquement biaisé en faveur du travail qualifié.

L'hypothèse sous jacente est que l'adoption des Nouvelles Technologies nécessite un niveau de capital humain élevé qui est souvent rare au départ de processus de la diffusion technologique. Etant donné cette rareté, nous assistons à une

augmentation des salaires des travailleurs qualifiés alors que les salaires des autres travailleurs demeurent maintenus à leur niveau initial ce qui entraîne une inégalité de salaires. Si les plus Nouvelles Technologies sont plus complexes que les technologies anciennes, cela implique une corrélation positive entre les salaires et l'utilisation de ces Nouvelles Technologies.

L'hypothèse des CTBC est confirmée par des estimations des équations qui mettent en relation la part de l'emploi des travailleurs non manuels d'une part et les dépenses en R&D et l'utilisation des ordinateurs d'autre part. La référence [17] montre que les ordinateurs et les dépenses en R&D ont un impact positif et significatif sur l'augmentation de la part de la masse salariale des travailleurs hors production: ces deux facteurs représentent 70 pour cent du déplacement au détriment des travailleurs de la production. La référence [21], en se concentrant sur la période 1979-1989, prouve que les écarts salariaux ont augmenté dans la plupart des industries avec la montée de la R&D.

La référence [22] obtient des résultats semblables pour les secteurs autres que le secteur de la production aux États-Unis. Elle documente une demande croissante de la main-d'œuvre qualifiée pendant les cinq dernières décennies et particulièrement depuis 1970. Elle argumente que la diffusion des ordinateurs et des technologies a contribué de manière significative à ce phénomène et prouve que l'évolution des compétences s'est produite plus rapidement dans les industries qui sont intensifs en ordinateurs. Dans l'ensemble, les preuves empiriques montrent que les industries plus avancées sur le plan de la technologie sont plus susceptibles d'afficher une augmentation de la demande relative des travailleurs qualifiés.

Ainsi, la référence [8] a étudié les conséquences des Nouvelles Technologies et des nouveaux processus de production au cours de la première moitié du siècle, dans la période qui a suivi l'introduction de l'énergie électrique. Elle a constaté l'existence d'une complémentarité entre les Nouvelles Technologies et les travailleurs qualifiés. En particulier, la diffusion des techniques de production liées à l'emploi de moteurs électriques dans la première décennie du siècle a favorisé une augmentation de la demande relative de travailleurs qualifiés dans le secteur manufacturier aux États-Unis.

Pour la France, la référence [23], en prenant un échantillon de 4954 entreprises pour la période 1991-1996, montre l'existence d'un biais technologique qui favorise la main-d'œuvre de conception de l'entreprise, qui est supposée la main-d'œuvre la plus qualifiée. Au Canada, pour une analyse qui réunit le secteur industriel et celui de services, la référence [24] trouve que les indicateurs de niveau technologique (le stock de brevets, l'âge du stock du capital) sont positivement corrélés avec l'utilisation des compétences, ce qui s'arrime bien avec l'hypothèse du CTBC. Cette étude confirme le résultat de [25] qui a montré que, sur la période 1962-1986, le progrès technique est défavorable à la main-d'œuvre non-qualifiée pour la plupart des secteurs de l'industrie canadienne.

Le travail de [25] concerne 18 secteurs industriels relatifs au Canada. Il considère deux catégories d'emploi par profession: ouvriers = main-d'œuvre de production ou cols bleus, reste = main-d'œuvre indirect ou cols blancs. Les tests rejettent l'hypothèse selon laquelle le Changement Technologique a été neutre dans 10 des 18 secteurs. Dans chaque cas de progrès technique biaisé, l'innovation consomme des qualifications. La référence [26] défend l'idée que les mêmes forces qui ont baissé le salaire réel des moins qualifiés sur le marché de travail américain ont aussi affecté les marchés du travail au Canada et en France.

La référence [27] part d'une comparaison internationale pour trouver que l'industrie américaine est semblable aux autres industries. Elle identifie à la fois une corrélation entre le capital et le travail qualifié et une corrélation entre les Nouvelles Technologies et le travail qualifié. Ces corrélations sont plus fortes aux États-Unis et en Grande-Bretagne. La référence [28] montre aussi à partir de données individuelles d'entreprises américaines, que l'utilisation des NTIC mesurée par les stocks d'ordinateurs détenus par les firmes est corrélée de manière significative avec une augmentation de la demande de capital humain et de qualifications.

La référence [29] s'intéresse à l'exemple des Pays-Bas. Elle considère deux groupes de secteurs: secteurs protégés et secteurs exposés et deux catégories d'emploi par niveau d'éducation: secondaire, apprentissage et plus = qualifiés, primaire et primaire étendu = non-qualifié. Elle trouve que le Changement Technologique joue un rôle important. En effet, la plus grande part de la réduction de la demande de travail peu qualifié peut être attribuée au Changement Technologique asymétrique économe en travail. Elle confirme aussi la complémentarité entre le capital et la main-d'œuvre qualifiée. La référence [30] se base sur deux catégories d'emploi (production et non production). Elle trouve que le coefficient affecté à l'évolution du ratio capital/produit (en log) est plus élevé en 1909-1919 et 1979-1989, suggérant un fort accroissement de la complémentarité entre le capital et les qualifications durant les années 1910, peut être similaire aux changements récents associés à la révolution informatique.

La référence [31] s'intéresse à deux catégories d'emploi par profession: ouvriers + employés = non-qualifié, cadres + profession intermédiaires = qualifiés. Ses mesures du progrès technique incorporé aux facteurs expliquent une part importante de l'évolution de la structure productive. En particulier, le différentiel de progrès technique entre travail non-qualifié et travail qualifié est positif. La référence [32] utilise la déformation de la structure des salaires et s'intéresse à quatre

catégories d'emploi par niveau d'éducation. Elle décompose l'évolution de salaire par groupe. Et elle trouve que la raison principale de la hausse des différentiels de salaires par niveau éducatif réside dans la combinaison d'un progrès technique biaisé au profit du travail qualifié et des changements dans la qualité du travail non mesurée.

La référence [33] utilise deux catégories d'emploi par niveau d'éducation: main-d'œuvre avec plus de 13 ans d'éducation = qualifiés, reste = non-qualifié. Le proxy pour mesurer les Nouvelles Technologies est l'âge moyen du stock de capital. Pour elle, la demande relative de main-d'œuvre éduquée diminue quand le stock de capital et la technologie qui y est incorporée vieillit. Elle montre que plus l'âge du capital est élevé plus la part dans les coûts de la main-d'œuvre ayant suivi plus de 13 ans d'études est faible. Ce résultat indique que les technologies les plus récentes sont associées à une main-d'œuvre plus qualifiée. Pour la référence [34], l'accroissement de la composante «haute technologie» du capital est relié positivement à la croissance des heures de travail des cols blancs. Là réside l'explication principale de la baisse de productivité du travail associée au développement du capital en hautes technologies. En termes de niveau éducatif, parmi les cols bleus, il ressort clairement que les accroissements du capital s'accompagnent d'une hausse des qualifications au profit des salariés plus éduqués.

La référence [35] utilise deux indicateurs de PTF: niveau d'investissement en informatique et dépense en R&D. L'indicateur sectoriel d'innovation est l'utilisation de brevets. Elle estime un modèle Logit et trouvent que les salariés des secteurs marqués par des taux supérieurs de Changement Technologique reçoivent davantage de formation professionnelle continue que ceux qui travaillent dans les secteurs ou les technologies se renouvellent moins fréquemment. Pour la référence [27], le progrès technique est mesuré par le ratio dépenses de R&D/valeur ajoutée par l'usage de l'informatique. Sa conclusion est la suivante: Il existe d'importantes complémentarités entre les technologies et les qualifications dans les 4 pays de leur échantillon. De plus, il y a une complémentarité entre le capital physique et les qualifications dans la plupart des pays.

La référence [22] emploie quatre niveaux d'éducation: inférieur au bac, bac, université, diplôme universitaire et estiment les parts de qualifications dans la masse salariale. Pour elle, la diffusion de l'informatique peut expliquer de 30 à 50 pour cent de la hausse du taux de croissance de la part des plus qualifiés dans la masse salariale depuis les années 70. La croissance des investissements en informatique représente aussi plus de 30 pour cent de l'augmentation intra-sectorielle du niveau de qualification dans l'industrie manufacturières américaine au cours des années 80.

La référence [36] a entrepris une étude de cas pour une entreprise appelée «Bell Telephone Company» des Etats-Unis. Elle trouve que la composition de l'emploi dans la téléphonie s'est déplacée depuis plusieurs décennies vers les qualifiés et les techniciens. En particulier, le Changement Technologique dans les télécommunications conduit au gonflement des fonctions centrales et à l'élimination des sous-directions décentralisées. Pour Siegel (1995), le Changement Technologique conduit à un glissement dans la composition du travail et de la rémunération au profit des salariées les plus formés.

La référence [37] utilise trois indicateurs de progrès technique: l'intensité sectorielle de R&D, l'activité d'innovation et l'usage de micro informatique. Elle décompose l'évolution de la part des qualifiés dans l'emploi et la masse salariale. Il apparait pour elle que l'on peut expliquer ces glissements au sein des secteurs en termes d'indicateurs de Changement Technologique comme la R&D ou l'innovation et l'introduction de l'informatique. Ce dernier effet est particulièrement marqué au sommet de la hiérarchie professionnelle.

L'étude de [38] a révélé une forte corrélation entre les indicateurs de Changement Technologique et les changements récents de la structure des salaires au niveau des secteurs. Les résultats sont particulièrement marqués pour la R&D, le capital en hautes technologies, l'accroissement du rapport K/L et les rendements de l'éducation. La référence [39] utilise des travailleurs manuels qui constituent la main-d'œuvre de production et des travailleurs non manuels. L'utilisation de divers modèles où la technologie et les salaires sont déterminés simultanément la permet de conclure que la main-d'œuvre qualifiée à haut revenu exerce une influence positive sur la probabilité d'introduire des Changements Technologiques, mais que le Changement Technologique en soi n'a pas d'influence directe sur le salaire.

La référence [40] indique qu'il existe des relations significatives entre d'une part la manière de produire les biens et d'autre part les salaires et la structure de l'emploi dans les établissements. L'interprétation qui s'en dégage est que les méthodes de production varient, les besoins en terme de production de la main-d'œuvre évoluent également. La référence [41] utilise deux catégories d'emploi: cols bleus et cols blancs pour dire que l'usage des Nouvelles Technologies a conduit à un déplacement de la demande relative de travail au profit des salariés indirects au cours de la seconde moitié des années 80. Toutefois, il est peu évident qu'une hausse de la prime salariale se produise en même temps.

La référence [42], à partir de données appariées d'établissement industriels et de salariés, mettent en évidence une corrélation positive entre les Nouvelles Technologies et les qualifications: les établissements utilisateurs de nombreuses technologies de production avancées se caractérisent par une part supérieure de la main-d'œuvre qualifiée. La référence

[43], dans une estimation avec effets individuels, trouve que tous les effets sauf l'expérience des Nouvelles Technologies disparaissent. Les firmes sélectionnent leurs meilleurs salariés quand elles cherchent quelqu'un pour travailler avec des Nouvelles Technologies à base d'informatique. Ces Nouvelles Technologies sont utilisées par des salariés qui étaient déjà mieux payés que leurs collègues avant de travailler sur ces équipements.

Plus récemment, Conte et Vivarelli (2007) ont étudié, pour un échantillon de 32 pays et sur la période 1980-1991, les conséquences de l'importation de technologies fabriquées par les pays développés sur la structure de la main-d'œuvre dans les pays en développement et les pays moins avancés. Ils remarquent l'existence d'une complémentarité entre le capital et le facteur travail (travail qualifié et le travail non-qualifié). Par ailleurs, l'importation de technologies contribue à augmenter la main-d'œuvre qualifiée et réduit le nombre des employés non-qualifiés.

Pour le cas de pays en développement, les estimations des effets du progrès technique sur l'emploi ou sur les salaires sont restées rudimentaires et limités. Pour pallier ce manque dans la littérature, nous nous intéressons à ces pays. En se basant sur un échantillon de pays en développement, nous allons essayer de répondre aux questions suivantes: Quels sont les effets des innovations sur la demande des travailleurs qualifiés et des travailleurs non-qualifiés? Et quel est la nature de la relation entre le capital et les compétences et entre les Changements Technologiques et le niveau éducatif pour ces pays?

### 3 L'ANALYSE EMPIRIQUE

#### 3.1 L'ÉVOLUTION DE LA MAIN-D'ŒUVRE QUALIFIÉE DANS LES 39 PAYS DE NOTRE ÉCHANTILLON

La figure 1 montre que l'emploi qualifié où le nombre de travailleurs qualifiés n'a cessé d'augmenter durant la période 1965-2007. Ce graphique illustre que le nombre de main-d'œuvre qualifiée a enregistré une augmentation continue en passant de 346,140 à 5168,701.

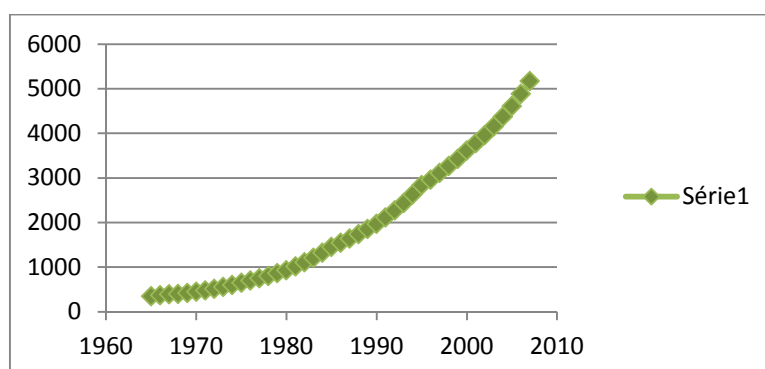


Fig. 1. Evolution de l'emploi qualifié durant la période 1965-2007 dans les pays en développement

#### 3.2 CORRÉLATION ENTRE LE CHANGEMENT TECHNOLOGIQUE ET LA MAIN-D'ŒUVRE QUALIFIÉE

La figure 2 montre que la corrélation entre la main-d'œuvre qualifiée et le nombre des brevets déposés, qui constitue un indicateur du Changement Technologique, est forte. Ce qui confirme la thèse du CTBC.

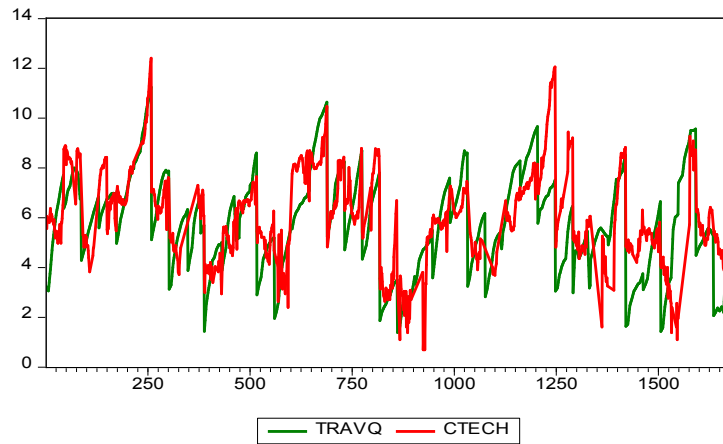


Fig. 2. Corrélation entre le nombre des brevets déposés et le travail qualifié

### 3.3 LE MODÈLE ET LES DONNÉES

Dans le but de maximiser leurs profits, les industries définissent les niveaux optimaux d’emplois qualifiés et non-qualifié. Dans notre cas, ces niveaux optimaux dépendent de la production, du stock du capital, de l’effet du progrès technologique et des salaires relatifs des deux catégories d’emplois ( $L_{it}^q$  et  $L_{it}^{nq}$ ). Pour notre analyse, nous n’avons pas pu obtenir les données relatives aux salaires des deux catégories d’emploi. Pour cette raison et en se basant sur les explications de [17], nous supposons que les salaires relatifs sont constants au cours du temps et changent seulement entre les pays.

Le manque de données sur les salaires par niveau de qualification constitue une limite à notre travail. Cependant, nous comptons sur les effets spécifiques des individus, représentés par le terme  $\alpha_i$  pour capter les variations des salaires relatifs. Nous allons donc nous concentrer sur l’impact du Changement Technologique sur l’inégalité d’accès à l’emploi et non pas sur l’inégalité de salaire ou de revenu.

Enfin, nos équations d’emplois des deux catégories de main-d’œuvre estimées sur données de Panel sont de la structure suivante:

$$\ln L_{it}^q = (1 - \alpha_1) \ln L_{it-1}^q + \alpha_2 \ln Y_{it} + \alpha_3 \ln K_{it} + \alpha_4 CT_{it} + \alpha_5 PPA_{it} + \alpha_i + \xi_{it}$$

$$\ln L_{it}^{nq} = (1 - \alpha_1) \ln L_{it-1}^{nq} + \alpha_2 \ln Y_{it} + \alpha_3 \ln K_{it} + \alpha_4 CT_{it} + \alpha_5 PPA_{it} + \alpha_i + \xi_{it}$$

Notre travail estime le Travail Qualifié et le Travail non-Qualifié (ce sont les variables expliquées) en fonction de ces deux variables retardées, de la Production, du Capital, du Changement Technologique et de la Parité du Pouvoir d’Achat (ce sont les variables explicatives). Ces modèles sont inspirés des travaux de Berman et Machin (2000) et de Conte et Vivarelli (2007).

Nous allons étudier ces deux équations dans le temps et dans l’espace où « i » représente chaque pays et « t » représente

chaque période de temps (avec  $t = 1, 2, \dots, T$ ).  $L_{it}^q$  constitue le travail qualifié mesuré par le nombre des travailleurs qui ont suivi une éducation universitaire, c.-à-d. ceux qui ont un niveau scolaire supérieur au bac y compris les diplômés de l’université. Le travail qualifié représente donc la main-d’œuvre avec plus de 13 ans d’éducation (Bourguignon, 2010).  $L_{it}^{nq}$  représente le travail non-qualifié mesuré par le reste des travailleurs, c.-à-d. ceux qui ont un niveau scolaire inférieur ou égal au bac (sans éducation, primaire atteint, primaire complet, secondaire atteint, secondaire complet). Le travail non-qualifié représente donc la main-d’œuvre avec 13 ans ou moins d’éducation (Bourguignon, 2010).  $Y_{it}$  représente la Production,  $K_{it}$  est le Stock de Capital,  $CT_{it}$  est le Changement Technologique et  $PPA_{it}$  représente la Parité du Pouvoir d’Achat.

Les résultats empiriques sont basés sur les estimations des équations d’emplois discutées précédemment. La majorité des variables est exprimée en logarithme. Pour mesurer l’innovation, la référence [44] utilise des données sur les brevets accordés aux résidents et aux non-résidents. D’autres études de fond qui ont utilisé le nombre de brevets comme un proxy

pour la mesure de l'innovation globale comprennent Mancusi (2004), [45], [46]. Une autre mesure de l'innovation qui paraît dans la littérature est celle des dépenses en R&D. Les références [47], [48], [49] utilisent comme mesure de l'innovation, le nombre de brevets déposés, les dépenses en R&D ainsi que la valeur des technologies importées. Pour Berman et Machin (2000), ils utilisent le nombre d'utilisateurs d'ordinateur dans le travail et les dépenses en R&D pour vérifier l'hypothèse du CTBC. Conte et Vivarelli (2007) utilisent la valeur du commerce pour la technologie importé pour mesurer le transfert technologique qui représente un Changement Technologique. Pour la référence [50]: « . . . les brevets semblent être un bon indicateur . . . pour l'activité inventive ... à un niveau très agrégé ». Ainsi, pour notre travail, nous choisissons le nombre des brevets déposés comme mesure des Changements Technologiques.

Notre contribution s'appuie sur des données statistiques provenant de plusieurs sources différentes. Le Stock de Capital est présenté par la part de l'investissement du PIB réel par tête. Il est tiré de Pen World Tables [51] version 6.3. La Production est représentée par le PIB réel par tête et tirée de Pen World Tables [51]. La PPA provient aussi de Pen World Tables [51]. Le Travail Qualifié est représenté par le nombre des employés qualifiés qui sont les employés avec un niveau d'étude universitaire. Ces variables sont issues de la base de données International Data on Educational Attainment: Updates and Implications [52]. Le Travail Non-Qualifié est représenté par le nombre des employés non-qualifiés qui constituent les employés avec un niveau scolaire secondaire ou moins. Ces données sont aussi issues de la base de données International Data on Educational Attainment: Updates and Implications [52].

Le nombre de brevets déposés est tiré de World Intellectual Property Organization [53]. Notre technique pour l'estimation des modèles porte sur la technique des données de Panel Dynamique cylindré. Ces modèles sont inspirés des travaux de Berman et Machin (2000) portant sur 32 pays en développement et de Conte et Vivarelli (2007) pour 23 pays de bas et moyen revenu. Notre Panel porte sur un échantillon de 39 pays en développement pour une période allant de 1965 à 2007. Nos 39 pays sont: Algeria, Argentina, Bolivia, Bulgaria, Chile, China, Colombia, Costa Rica, Croatia, Cyprus, Ecuador, Egypt, Guatemala, Honduras, Hungary, India, Indonesia, Iran, Malaysia, Malta, Mauritius, Mongolia, Morocco, Pakistan, Panama, Paraguay, Peru, Philippines, Romania, Singapore, Sri Lanka, Tajikistan, Thailand, Trinidad & Tobago, Tunisia, Uganda, Ukraine, Uruguay, Zambia. Le tableau 1 représente un ensemble des statistiques descriptives.

**Tableau 1. Résumé des statistiques**

Variable	Définition	Source	Moyenne	Déviati on Standard	Minimum
<b>Travail Qualifié</b>	Nombre des employés qualifiés: ceux qui ont suivi une éducation supérieure	International Data on Educational Attainment: Updates and Implications (Barro et Lee, 2010).	5,739	1,966	1,391
<b>Travail Non-Qualifié</b>	Nombre des employés non-qualifiés: le reste des travailleurs	International Data on Educational Attainment: Updates and Implications (Barro et Lee, 2010).	8,843	1,721	5,275
<b>Production</b>	Log du PIB réel par tête	Penn World Tables (Heston et Summers, 2009) version 6.3.	8,463	0,763	6,209
<b>Stock de Capital</b>	La part de l'investissement du PIB réel par tête	Penn World Tables (Heston et Summers, 2009) version 6.3.	2,997	0,556	-0,116
<b>PPA</b>	La Parité du Pouvoir d'Achat	Penn World Tables (Heston et Summers, 2009) version 6.3.	1,352	2,436	-4,605
<b>Changements Technologiques</b>	Le logarithme du nombre des brevets déposés par les résidents et les non-résidents	World Intellectual Property Organization (WIPO, 2010)	6,157	1,889	0,693

En résumé, nous allons vérifier l’hypothèse du CTBC. Nous avons voulu tester l’impact du Changement Technologique sur le rapport de salaire entre les travailleurs qualifiés et les travailleurs non-qualifiés. Mais, à cause de l’absence des données concernant les salaires, nous avons remplacé le salaire par le nombre des employés. En utilisant donc deux spécifications, nous allons adopter l’impact du Changement Technologique sur la demande des employés qualifiés d’un côté et la demande des employés non-qualifiés d’un autre côté. Nous allons donc tester l’impact du Changement Technologique sur l’inégalité d’accès à l’emploi des travailleurs qualifiés et des travailleurs non-qualifiés.

**3.4 MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE**

La fonction de demande d’emploi estimée définit la présence d’une variable dépendante retardée. La présence de cette variable constitue un problème majeur. Cette complication a pour origine la corrélation entre le retard de la variable dépendante et la perturbation, même si  $\xi_t$  est supposée non corrélée. La solution de ce problème repose sur les estimateurs des variables instrumentales et par suite sur un estimateur par la Méthode des Moments Généralisés (MMG) développé par Arellano et Bond (1991). Cette méthode permet de résoudre les problèmes de biais de simultanéité, de causalité inverse et de variables omises qui affaiblissent les résultats obtenus. La méthode d’Arellano et Bond (1991) se propose comme une estimation dite du «Panel dynamique» en deux étapes. Ce qui nous amène d’abord à réécrire le modèle en différence première pour éliminer les effets spécifiques individuels et temporels. Les valeurs en niveau retardées de deux ou plusieurs périodes sont par suite employées comme des instruments des variables explicatives en différences premières, en supposant que les erreurs de l’équation en niveau ne soient pas corrélées en série.

La convergence de l’estimateur de la MMG est conditionnée par la validité des instruments donnés par les valeurs retardées des variables explicatives. Nous traitons cette question en utilisant le test de spécification déterminé par Arellano et Bond (1991). En effet, la validité de l’ensemble des instruments peut être vérifiée en se basant sur le test de sur-identification de Sargan qui s’appuie sur l’estimateur de la MMG. Nous pouvons dire que, pour les deux spécifications retenues, les deux tests de sur-identification de Sargan n’indiquent aucun problème concernant la validité des variables instrumentales. Les statistiques de ces tests sont inférieures aux seuils, nous acceptons donc l’hypothèse nulle: les variables instrumentales ne sont pas corrélées asymptotiquement avec les perturbations du modèle estimé et les instruments choisis sont valides. Les résultats de nos estimations sont représentés dans les tableaux 2 et 3.

*Tableau 2. Résultats de l’estimation (Variable dépendante: main-d’œuvre qualifiée)*

Estimation	Arellano et Bond (MMG)
Travail Qualifié (-1)	1,0389 (0,000)
Production	-1,2389 (0,000)
Capital	0,1710 (0,000)
Changement Technologique	0,1143 (0,000)
PPA	0,0332 (0,000)
Pays	39 pays

Note: Les valeurs entre parenthèses représentent les probabilités.



Tableau 3. Résultats de l'estimation (Variable dépendante: main-d'œuvre non-qualifiée)

Estimation	Arellano et Bond (MMG)
Travail Qualifié (-1)	1,0259 (0,000)
Production	0,0461 (0,003)
Capital	-0,0030 (0,003)
Changement Technologique	-0,0359 (0,000)
PPA	0,0143 (0,000)
Pays	39 pays

Note: Les valeurs entre parenthèses représentent les probabilités.

Nous avons trouvé un signe négatif et fortement significatif de la Production relativement au travail qualifié et un signe positif et fortement significatif de la Production relativement au travail non-qualifié. Pour la PPA, elle exerce un effet positif et fortement significatif sur le travail qualifié et sur le travail non-qualifié. C.-à-d. qu'une augmentation du pouvoir d'achat entraîne l'augmentation du travail qualifié et l'augmentation des qualifications.

Les signes des coefficients du Changement Technologique et du capital sont conformes à nos attentes. Nous avons obtenu un effet positif et statistiquement significatif du Changement Technologique sur la demande du travail qualifié. Ainsi, une augmentation de 1 point du Changement Technologique ou du nombre de brevets déposés est corrélée avec une augmentation de la demande de la main-d'œuvre qualifiée de 11,43 pour cent. Ce qui confirme la thèse du CTBC. De même, une augmentation de 1 point du Capital s'accompagne d'une augmentation de la demande de la main-d'œuvre qualifiée de 17,10 pour cent. Aussi, nous avons obtenu un effet négatif et statistiquement significatif du Changement Technologique sur la demande du travail non-qualifié. Par ailleurs, une augmentation de 1 point du Changement Technologique ou du nombre de brevets déposés entraîne une baisse de la demande de la main-d'œuvre non-qualifiée de 3,59 pour cent. De même, une augmentation de 1 point du capital va de paire avec une baisse de la demande de la main-d'œuvre non-qualifiée de 0,30 pour cent. Ce qui confirme bien la thèse de [9] concernant la complémentarité entre le travail qualifié et le capital.

Nous remarquons donc que les Changements Technologiques influencent positivement et significativement sur le travail qualifié. Ce résultat confirme bien la thèse du CTBC. En effet, le nombre des brevets déposés explique bien la variation de la demande des travailleurs. Ainsi, notre étude économétrique prouve l'existence d'un biais technologique, qui favorise la demande des cadres représentant la main-d'œuvre la plus qualifiée. A cet effet s'ajoute un second effet favorable à la main-d'œuvre qualifiée. Cette dernière est beaucoup plus complémentaire avec le capital que les travailleurs qui représentent la main-d'œuvre non-qualifiée. Tous les résultats de nos estimations s'arriment bien avec la thèse du biais technologique. L'innovation technologique conduit à une modification permanente de la structure de l'emploi en faveur de ces travailleurs qualifiés.

Les références [47], [48], [49], Berman et Machin (2000), Conte et Vivarelli (2007) et Ben slama et Plassard (2011) ont aussi vérifié et confirmé l'hypothèse du CTBC en utilisant la technique des données de Panel. Conte et Vivarelli (2007) ont représenté le Changement Technologique par l'importation de technologie. Pour Berman et Machin (2000), les indicateurs de technologie sont l'utilisation d'ordinateur et la R&D. Ces deux travaux se sont intéressés par un échantillon de pays en développement. Pour les références [47], [48], [49], ils se sont intéressés à 9 secteurs industriels de la Tunisie. Ces travaux ont trouvé que la diffusion technologique conduit à une modification de la structure de l'emploi en faveur des travailleurs

qualifié. Ils ont trouvé aussi que l'augmentation de la valeur technologique augmente la demande de la main-d'œuvre qualifiée et baisse la demande de la main-d'œuvre non-qualifiée et que l'augmentation du capital est corrélée avec l'augmentation de la demande de la main-d'œuvre qualifiée. Dans une autre étude sur la Tunisie dans le cadre d'une Alliance *for Research on North Africa* (ARENA), Iwasaki et Kashiwagi (2011) clarifient la relation entre capital humain et emploi en Tunisie, en estimant le rendement de l'éducation sur le travail et le salaire. En tenant compte des différences régionales des régions enquêtées (Kebili, Monastir, Béja et Tataouine), les résultats de leur analyse confirment l'effet positif de l'investissement dans l'éducation sur la productivité et le revenu du travail. Le niveau de l'éducation donne un rendement positif sur le revenu des ménages. Par ailleurs, en se basant sur des données françaises, Ben slama et Plassard (2011) contribuent à la littérature concernant l'effet des TIC sur les salaires des employés qui utilisent un ordinateur au travail. Ces deux auteurs confirment l'existence d'une prime salariale associée à l'utilisation de l'informatique. Tous ces résultats confirment la thèse de [9] relative à la complémentarité entre les technologies et les compétences.

#### 4 CONCLUSION

Traditionnellement, dans la littérature de croissance, le progrès technologique est associé aux améliorations de productivité qui est bénéfique à tous les ouvriers et il est considéré comme le déterminant principal des niveaux du revenu moyens à long terme. Plus récemment, apparaisse la notion de compétence biaisée où le progrès technologique bénéficie seulement à un sous groupe d'ouvriers, en plaçant le changement technique au centre du débat de la distribution du revenu. Nous avons expliqué la thèse du CTBC. Nous avons testé empiriquement l'impact du Changement Technologique sur l'inégalité d'accès à l'emploi. Nous avons trouvé une grande complémentarité entre le capital et le travail qualifié. Ainsi une hausse du Changement Technologique est corrélée avec une augmentation de l'inégalité d'accès à l'emploi.

#### REFERENCES

- [1] P. Aghion and P. Howitt, *Endogenous Growth Theory*, M.A: MIT Press, 1998.
- [2] J. Rubart, The Employment Effects of Technological Change: Heterogenous Labour, Wage Inequality and Unemployment. *Springer Berlin Heidelberg*, NewYork, pp. 61-69, 2007.
- [3] D. Acemoglu, "Directed Technical Change," *Review of Economic Studies*, vol. 69, pp. 781-809, 2002a.
- [4] D. Acemoglu, "Technical Change, Inequality, and the Labor Market," *Journal of Economic Literature*, vol. 40, no. 1, pp. 7-72, 2002b.
- [5] A. B. Krueger, "How Computers Have Changed the Wage Structure: Evidence from Microdata," *Quarterly Journal of Economics*, vol. 108, 1993.
- [6] J. Greenwood and M. Yorukoglu, "1974," *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, vol. 46, pp. 49-95, 1997.
- [7] T. N. Bradbury, "Research on Relationships as a Prelude to Action," *Journal of Social and Personal Relationships*, vol. 19, pp. 571-599, 2002.
- [8] C. Goldin and L. F. Katz, "The Origins of Technology-Skill Complementarity," *Quarterly Journal of Economics*, vol. 113, pp. 693-732, 1998.
- [9] Z. Griliches, "Capital-Skill Complementarity," *Review of Economics and Statistics*, vol. 5, pp. 465-68, 1969.
- [10] R. R. Nelson and E. S. Phelps, "Investment in Humans, Technological Diffusion and Economic Growth," *American Economic Review*, vol. 56, pp. 69-75, 1966.
- [11] F. Welch, "Education in Production," *Journal of Political Economy*, vol. 78, no. 1, January/February, pp. 35-59, 1970.
- [12] T. W. Schultz, "The Value of the Ability to Deal with Disequilibria," *Journal of Economic Literature*, vol. 13, no. 3, pp. 827-846, 1975.
- [13] J. Tinbergen, *Income Differences: Recent Research*, Amsterdam: North Holland, 1975.
- [14] G. Picot, "What is Happening to Earnings Inequality in the 1990s," *Canadian Economic Observer*, September, Cat. no. 11-010-XPB, Statistics Canada, 1998.
- [15] R. Topel, "Factor Proportion and Relative Wages: the Supply-side Determinants of Wage Inequality," *Journal of Economic Perspectives*, vol. 11, pp. 55-74, 1997.
- [16] K. Murphy, W. C. Riddell and P. Romer, "Wages, Skills, and Technology in the United States and Canada," *Working Paper*, no. 6638, NBER, 1998.
- [17] E. Berman, J. Bound and Z. Griliches, "Changes in the Demand for Skilled Labor within U.S. Manufacturing Industries: Evidence from the Annual Survey of Manufacturing», *Quarterly Journal of Economics*, vol. 109, pp. 367-397, 1994.
- [18] E. Berman, J. Bound and S. Machin, "Implications of Skill-Biased Technological Change: International Evidence," *Quarterly Journal of Economics*, vol. 113, November, pp. 1245-1279, 1998.

- [19] D. Acemoglu, "Why Do New Technologies Complement Skills? Directed Technical Change and Inequality," *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 113, 1998.
- [20] P. Aghion and P. Howitt, *Théorie de la croissance endogène*, Dunod, Paris, 2000.
- [21] R. C. Allen, "The Great Divergence in European Wages and Prices from the Middle Ages to the First World War," *Explorations in Economic History*, vol. 38, pp. 411-447, 2001.
- [22] D. H. Autor, L. F. Katz and A. B. Krueger, "Computing Inequality: Have Computer Changed the Labor Market?," *Quarterly Journal of Economics*, vol. 113, pp. 1169-1213, 1998.
- [23] E. Duguet and N. Greenan, "Le biais technologique: une analyse économétrique sur données individuelles," *Revue économique*, vol. 48, no. 5, 1997.
- [24] S. Gera, W. Gu and Z. Lin, "Technology and the Demand for Skills in Canada: an Industry Level Analysis," *Canadian Journal of Economics*, vol. 34, pp. 132-148, 2001.
- [25] J. R. Betts, "The Skill Bias of Technological Change in Canadian Manufacturing Industries," *Review of Economics and Statistics*, vol. 74, no. 1, 1997.
- [26] D. Card, F. Kramarz and L. Lemieux, "Changes in the Relative Structure of Wages and Employment: a Comparaison of the United States, Canada and France," *NBER working paper*, no. 5487, 1996.
- [27] S. Machin and J. Van Reenen, "Technology and Changes in Skill Structure: Evidence from Seven OECD countries," *Quarterly Journal of Economics*, vol. 113, pp. 1215-1244, 1998.
- [28] T. F. Bresnahan, E. Brynjolfsson and L. M. Hitt, "Information Technology, Workplace Organization and the Demand for Skilled Labor: Firm-level Evidence," *NBER Working Paper*, no. 7136, Mai, 1999.
- [29] N. Draper and T. Manders, "Structural Changes in the Demand for Labor," *Research Memorandum*, vol. 128, Amsterdam Central Planbureau, 1996.
- [30] C. Goldin and L. F. Katz, "Technology, Skill and the Wage Structure: Insights from the past," *American Economic Review*, vol. 64, 1997.
- [31] F. Mihoubi, "Coût des facteurs et substitution capital-travail: une analyse manufacturier," *Economie et statistiques*, no. 301-302, 1997.
- [32] J. Bound and G. Johnson, "Changes in the Structure of Wages in the 1980's: an Evaluation of Alternative Explanation," *American Economic Review*, vol. 82, no. 3, 1992.
- [33] A. Bartel and F. Lichtenberg, "The Comparative Advantage of Educated Workers in Implementing New Technology," *Review of Economics and Statistic*, vol. 69, 1987.
- [34] E. R. Berndt, C. Morrisson and L. Rosenblum, "High-tech Cpital Formation and Labor Composition in US Manufacturing Industries: an Exploratory Analysis," *NBER working paper*, no. 4010, 1992.
- [35] A. Bartel and F. Lichtenberg F., "The Comparative Advantage of Educated Workers in Implementing New Technology," *Review of Economics and Statistic*, vol. 69, 1987.
- [36] L. Lynh and P. Osterman, "Technological Innovation and Employment in Telecommunication," *Industrial relations*, vol. 28, pp. 188-205, 1989.
- [37] S. Machin, "Wage Inequality in the UK," *Oxford Review of Economic Policy*, vol. 12, no. 1, pp. 47-64, 1996.
- [38] D. S. Allen, "Technology and the Wage Structure," *NBER working paper*, no. 5956, 1996.
- [39] L. Chennels and J. Van Reenen, *Wages and technology in British Plants: Do Workers Get a Fair Share of the Plunder?*, London, Institute for Fiscal Studies & University College London, Mimeo, 1995.
- [40] T. Dunne and J. A. Schmitz, "Wages, Employment Structure and Employer Size Wages Premia: their Relationship to Advanced Technology Usage at US Manufacturing Establishments," *Economica*, vol. 62.
- [41] P. Casavola, A. Gavosto and P. Sestito, "Technical Change and and Wages Dispersion in Italy: Evidence from Firm's Data," *Annales d'économie et de statistique*, no. 41-42, 1996.
- [42] M. Doms, T. Dunne and K. Troske, "Workers, Wages and Technology," *Quarterly Journal of Economics*, vol. 112, no. 1, 1997.
- [43] H. Entorf and F. Kramarz, "Does Unmesured Ability Explain the Higher Wages of New Technology Workers," *European Economic Review*, vol. 41, pp. 1489-1510, 1997.
- [44] D. Weinhold and U. Nair-Reichert, "Innovation, Inequalities and Intellectual Property Rights," *World Development*, vol. 37, no. 5, 2008.
- [45] Y. Chen and T. Puttitanun, "Intellectual Property Rights and Innovation in Developing Countrie," *Journal of Development Economics*, vol. 78, pp. 474-493, 2005.
- [46] J. L. Furman, M.E. Porter and S. Stern, "The Determinants of National Innovative Capacity," *Research Policy*, vol. 31, pp. 899-933, 2002.
- [47] S. Saafi, "Innovations technologiques, mobilité et demande de main-d'œuvre: une analyse au niveau des industries tunisiennes," *Revue européenne du droit social*, no. 1, 2009.

- [48] S. Saafi, "Les opportunités des investissements directs étrangers, diffusion technologique et demande de la main-d'œuvre par qualification des industries tunisiennes," *Cahiers du LAB-RII*, no. 240, 2011a.
- [49] S. Saafi, "Conséquences de la diffusion des innovations technologiques sur l'emploi industriel en Tunisie: Une analyse par les données de panel," *Revue d'Économie Industrielle*, à paraître, 2011b.
- [50] Z. Griliches, "R&D and Productivity: Econometric Results and Measurements Issues," *Journal Economic Perspectives*, vol. 2, no. 4, pp. 9-21, 1995.
- [51] A. Heston and R. Summers, "The Penn World Tables (Mark 6.3)," *Center for International Comparisons of Production, Income and Prices*, CIC, 2009.
- [52] R. Barro and L. W. Lee, "International Data on Educational Attainment: Updates and Implications," 2010. [Online] Available: <http://www.barrolee.com/data/dataexp.htm>.
- [53] World Intellectual Property Organization (WIPO), 2010. [Online] Available: <http://www.wipo.int/portal/en/index.html>.