

UTILISATION DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DES COMMUNICATIONS (TIC) ET PERFORMANCE ECONOMIQUE DES PME TUNISIENNES : UNE ETUDE ECONOMETRIQUE

MOHAMED KOSSAI* (EUROPEAN BUSINESS SCHOOL)
ET PATRICK PIGET** (UNIVERSITE DE PARIS I)

RESUME :

Les TIC représentent un des facteurs clés de performance des pays développés mais qu'en est-il des entreprises des pays en voie de développement ? Cet article apporte un élément de réponse en s'interrogeant sur le lien entre le niveau de TIC et la performance des PME tunisiennes du secteur des IEEE mesurée par la rentabilité économique. A partir d'une démarche économétrique (régression linéaire, causalité de Granger, test de Kruskal-Wallis, test de l'ANOVA de Welch, tests *post-hoc*), nous mettons en évidence l'existence d'un lien statistique significatif entre le niveau d'adoption des TIC et la performance des PME tunisiennes du secteur des IEEE.

ABSTRACT:

Information and Communication Technologies (ICT) are a key factor of performance of developed countries but what about companies in developing countries ? Our paper fills a gap by questioning the link between the level of ICT and performance of Tunisian electric and electronic SMEs measured by profitability. By relying on a statistic and econometric approach (linear regression, Granger causality, Kruskal-Wallis test and the Welch ANOVA, post-hoc tests), we show the existence of a statistically significant relationship between the level of ICT adoption and performance of Tunisian electric and electronic SMEs.

CLASSIFICATION JEL : C14, C21, L25, O33, O55.

MOTS CLES : Technologies de l'Information et des Communications (TIC),
Rentabilité économique, Tests statistiques, PME tunisiennes.

KEYWORDS: Information and Communication Technologies (ICT), profitability,
statistical tests, Tunisian SMEs.

* Enseignant chercheur en finance, European Business School, mohamedkossai@ebs-paris.com

** Maître de conférences HDR en sciences de gestion, Université de Paris I, patrick.piget@univ-paris1.fr

INTRODUCTION

L'accélération de la généralisation de l'utilisation des TIC (Technologies de l'Information et des Communications) a été l'un des faits les plus marquants des trois dernières décennies. Les TIC sont dorénavant considérées comme le moteur de croissance de la nouvelle économie du savoir. Les TIC, comme facteur de changement technologique, représentent une révolution numérique qui est d'ores et déjà une réalité dans les pays développés et les BRIC (Brésil, Russie, Inde, Chine) et commence à se diffuser dans les autres pays émergents ouvrant des perspectives de croissance et entraînant de profondes mutations organisationnelles et managériales (Bloom et al., 2010 ; OCDE, 2009 ; Black et Lynch, 2004 ; Brynjolfsson et Hitt, 2004). Il convient dès lors de s'interroger sur le lien entre les nouvelles TIC et la performance des entreprises issues des pays en voie de développement. L'objet de cet article est précisément d'apporter un éclairage à la fois empirique et statistique à cette interrogation. Pour ce faire, après avoir identifié au moyen d'une revue de la littérature le lien entre adoption des TIC et performance de l'entreprise, nous construisons et testons trois modèles sur la base d'un échantillon de 50 PME tunisiennes de moins de 100 salariés du secteur des IIEE (Industries électriques, électroniques et de l'électroménager) en utilisant respectivement la régression linéaire à variables muettes puis la causalité de Granger (1969), le test de Kruskal-Wallis (1952) puis les tests *post-hoc* et enfin le test de l'ANOVA de Welch (1951) à un facteur puis les tests *post-hoc*. Nos modèles sont construits afin de tester la relation statistique entre une variable continue quantitative dépendante qui est la rentabilité économique nette, mesure choisie de la performance, et une variable qualitative discrète mesurant le niveau d'utilisation des TIC. L'originalité de cet article est double. D'une part, nous nous concentrons sur un pays en développement et nous prenons les PME comme niveau d'analyse ; les études empiriques antérieures se concentrent principalement sur les grandes entreprises des pays développés. D'autre part, nous recourons à des tests économétriques avancés en utilisant des données exclusives sur la rentabilité économique recueillies d'une enquête récente (2009) fondée sur un échantillon de PME tunisiennes.

1. LES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DES COMMUNICATIONS (TIC) ET LEUR DIFFUSION

La diffusion continue des nouvelles TIC est un exemple des dynamiques du changement technologique et de développement économique (Koellinger, 2006 ; Freeman et Soete, 1997). Ainsi, pratiquement toutes les sphères économiques peuvent être affectées par ces changements, y compris la dynamique de l'innovation, la croissance, la performance des entreprises, etc.

Les TIC sont un facteur important de progrès. Les entreprises n'hésitent pas à consacrer d'importants investissements dans l'adoption de ces technologies, dans le but de devenir plus compétitives et performantes sur un marché fortement concurrentiel (Koivunen et al., 2008 ; Paré et Sicotte, 2004). Les TIC sont très

diverses¹ et elles sont directement utilisées comme une technologie de production afin d'améliorer la productivité du travail et la coordination au sein de l'entreprise (Raymond et St-Pierre, 2005). L'utilisation de la conception assistée par ordinateur (CAO) et la fabrication assistée par ordinateur (FAO), ont révolutionné la production manufacturière avec l'automatisation des processus, la fourniture d'une meilleure information et la transformation des processus de production en entier, tant dans le secteur des machines ainsi que dans les industries électroniques et électriques ayant des processus de fabrication compliqués (Ghobakhloo et al., 2011; Carbonara, 2005). Ces technologies ont conduit à l'abaissement des coûts et à des produits de qualité supérieure, en particulier dans les PME du secteur des IEEE.

L'utilisation des TIC dans les PME a fortement augmenté au fil du temps mais différentes études ont rapporté que les PME sont généralement en retard par rapport aux grandes entreprises (Stockdale et Standing, 2006 ; Simpson et Docherty, 2004). Ce faible niveau d'adoption, concerne particulièrement les PME dans les pays en développement.

2. LE ROLE ET LES AVANTAGES DES TIC POUR LES PME

Les TIC jouent un rôle clé pour les PME. Elles permettent la baisse des coûts de production et de main-d'œuvre (Nguyen, 2009 ; Aral et al., 2007), augmentent la flexibilité des processus (Ghobakhloo et al., 2011), améliorent l'avantage concurrentiel (Ion et Andreea, 2008) et créent des liens plus forts avec les clients (Kutlu et Özturan, 2009). Elles permettent également de réduire les coûts de transaction (Löhrke et al., 2006), le traitement rapide et décentralisé de l'information (Czernich et al., 2011) et sont des variables clés de la performance (Gaith et al., 2009 ; Bayo-Moriones et Lera-Lopez, 2007) et de la compétitivité (Alberto et Fernando, 2007). En outre, l'utilisation des TIC permet aux entreprises d'améliorer leurs capacités d'innovation (OCDE, 2010 ; Polder et al., 2009 ; Koellinger, 2008).

¹ Les TIC sont généralement regroupées en trois catégories : **les logiciels** [la conception et ingénierie assistées par ordinateur (CAO/IAO); la CAO appliquée au contrôle des machines utilisées dans la fabrication (CAO/FAO); les technologies de modélisation et de simulation; la planification des ressources de fabrication (PRF); la production assistée par ordinateur (PAO)]; **les communications en réseau** (l'échange électronique de fichiers CAO; le réseau local pour l'ingénierie et la production; les réseaux informatiques interentreprises et le contrôle numérique à distance des procédés de l'usine) et **le matériel** [les systèmes de fabrication flexibles (SFP); les dispositifs de commande programmables; les robots; les systèmes automatisés de stockage; et les ordinateurs exerçant un contrôle sur les activités de l'usine].

3. LES DETERMINANTS D'ADOPTION DES TIC PAR LES PME DANS LES PVD

Plusieurs études traitent de l'adoption des TIC dans les PME des pays développés². En comparaison, peu d'études ont été consacrées à l'adoption des TIC dans les PVD³. Les différences entre pays développés et en développement (tels que les moyens et les infrastructures disponibles et les aspects sociaux et culturels) ne permettent pas de généraliser les conclusions des pays développés aux PVD.

Mughal et Diawara (2011) ont conclu que les niveaux de formation, de qualification des dirigeants et d'éducation des salariés sont positivement associés à l'adoption des TIC dans les entreprises pakistanaïses. Kossai et al., (2010) ont montré que l'investissement dans le capital humain est le principal déterminant de l'adoption des TIC des PME tunisiennes du secteur des ITEE. Machikita et al., (2010) ont examiné l'adoption des TIC dans quatre pays de l'ASEAN (Indonésie, Philippines, Thaïlande et Vietnam) et ont montré que la taille de l'entreprise influe positivement sur la probabilité d'adoption des TIC. Alam et Nour (2009) ont montré que les avantages perçus, une meilleure connaissance des TIC et le soutien du gouvernement sont significativement importants dans l'adoption des TIC par les PME en Malaisie. Lal (1999) et Katrak (1997) ont identifié une relation significative entre les compétences technologiques existantes et le degré d'adoption des TIC dans le secteur indien des biens électroniques et électriques. Dans les PVD, les aspects juridiques et réglementaires, la faiblesse des stratégies technologiques, le manque de R&D et de compétences et un recours excessif à la technologie étrangère constituent autant de barrières à l'adoption et la mise en œuvre des TIC (Koivunen et al., 2008). Lal (2007) a trouvé que l'insuffisance des infrastructures est le principal facteur qui freine l'adoption des TIC dans les PME du Nigeria. Kapurubandara et Lawson (2006) ont identifié des obstacles internes (les caractéristiques managériales du dirigeant et de l'entreprise, le coût de l'investissement) et des facteurs externes (les infrastructures et les climats social, culturel, politique et réglementaire) à l'adoption des TIC par les PME dans les PVD. Au niveau de ces études empiriques, on constate une complexité croissante dans l'adoption et l'utilisation des TIC par les PME dans les PVD et une forte association entre performance des entreprises et niveaux de technologies, de connaissances, de compétences et d'expérience de l'entreprise.

² Tsuji et al., 2010 ; Hollenstein et Woerter, 2008 ; Giuri et al., 2008 ; Schubert et Leimstoll, 2007 ; Bayo-Moriones et Lera-Lopez, 2007 ; Lucchetti et Sterlacchini, 2004 ; etc.

³ Pour le Nigéria (Apulu et Latham, 2011 ; Lal, 2007) ; les pays arabes du Golf (Nour, 2011) ; le Pakistan (Mughal et Diawara, 2011) ; la Tunisie (Kossai et al., 2010) ; le Sénégal (Diawara et Mughal, 2010) ; la Malaisie (Alam et Nour, 2009 ; Tan et al., 2009) ; le Mexique (Verhoogen, 2008) ; la Chine, le Chili, l'Égypte et l'Inde (Indjikian et Siegel, 2005) ; le Chili (Fuentes et Gilchrist, 2005) ; l'Inde (Lal, 1999) ; etc.

4. LE LIEN ENTRE LES TIC ET LA PERFORMANCE

De nombreuses études récentes ont tenté d'évaluer la contribution des TIC à la fois au niveau macroéconomique et au niveau microéconomique (Bloom et al., 2010 ; OCDE, 2010, 2009 ; Polder et al., 2009 ; Jorgenson et al., 2008 ; etc.). Elles ont apporté un éclairage sur l'impact des TIC sur la croissance économique, la performance, la productivité, l'emploi, la compétitivité, etc.

Les effets des TIC sur la performance de l'entreprise restent soumis à débat, car toutes les études n'ont pas démontré clairement des retombées existantes des investissements en TIC.

Au niveau microéconomique, les premières études menées dans les années 1980, largement basées sur les données américaines, n'ont trouvé aucun lien entre l'investissement dans les TIC et la performance des entreprises (Brynjolfsson et Yang, 1997 ; Loveman, 1994). Le paradoxe de la productivité (Solow, 1987)⁴ a stimulé les économistes et les chercheurs à mener des études plus rigoureuses sur la relation entre les TIC et la productivité (Brynjolfsson et Hitt, 1998 ; Jorgenson et Stiroh, 2000). A partir de la fin des années 1990, une grande variété d'approches, de modélisations et d'analyses a été employée et différentes mesures de la performance ont été utilisées⁵ mais les résultats restent controversés. Plus récemment, plusieurs études ont fourni des preuves empiriques de la relation positive et statistiquement significative entre les investissements dans les TIC et la productivité.⁶

4.1. IMPACT DES TIC SUR LA RENTABILITE DES ENTREPRISES

Les premiers efforts de relier les investissements en TIC à la performance économique et financière sont rares et ont eu des résultats mitigés. Quelques premières études ont montré une relation entre l'investissement dans les TIC et les mesures intermédiaires de la performance opérationnelle telles que la rotation des stocks, mais n'ont trouvé aucun impact complémentaire sur la performance mesurée par le taux de rentabilité (Barua et al., 1995). Brynjolfsson et Hitt (1998) ont montré que si l'investissement en TIC affecte la productivité et contribue à la baisse des prix ou à un meilleur service, il n'améliore pas nécessairement la rentabilité. Cet échec constaté de montrer une relation positive significative entre l'investissement en TIC et la rentabilité ou d'autres mesures de performance économique et financière a incité Dedrick et al., (2003) à parler du « *paradoxe de la rentabilité* ». Mais récemment, plusieurs études ont réussi à montrer l'existence d'un lien significatif entre l'utilisation des TIC et la croissance de la rentabilité (Tello, 2011 ; Koski, 2010 ; Bloom et Van Reenen, 2007 ; Melville et al., 2004 ; Baldwin et Sabourin, 2002 ; etc.).

⁴ Solow (1987) "you can see the computer age everywhere but in the productivity statistics"

⁵ Productivité, rentabilité, ventes, innovation, augmentation de l'effectif, compétitivité, exportations, satisfaction des dirigeants et des clients, etc.

⁶ Bloom et al., 2010, Aker, 2010 ; Badescu et Garcès-Ayerbe, 2009 ; OCDE, 2008 ; Motohashi, 2008 ; Draca et al., 2006 ; etc.

Draca et al., (2006) ont résumé un large éventail de la littérature sur les effets des TIC sur la productivité et ont montré que le paradoxe de Solow ne tient plus.

4.2. IMPACT DES TIC SUR LA PERFORMANCE DES PME DANS LES PVD

Il est désormais largement admis que les TIC ont des répercussions importantes et positives sur la productivité et d'autres mesures de performance et, un peu moins évidentes sur la rentabilité des entreprises. Dans le cas des PVD, les preuves empiriques des effets des TIC sur les PME sont très limitées en partie à cause des problèmes de disponibilité de données. Dans le peu de travaux empiriques sur les PED, les résultats sont aussi mitigés. Récemment, Charlo (2011) a montré que l'augmentation du capital en TIC a entraîné une augmentation de la productivité des PME manufacturières uruguayennes. Tello (2011) a observé que les TIC affectent de manière significative positive la rentabilité des PME manufacturières péruviennes. Benavente et al., (2011) ont mené une étude sur les entreprises chiliennes et n'ont trouvé aucun lien entre les TIC et la performance. Machikita et al., (2010) ont trouvé des corrélations positives significatives entre l'introduction des TIC et divers indicateurs de performance des PME dans quatre pays de l'ASEAN (Indonésie, Philippines, Thaïlande et Vietnam). Une étude de l'UNCTAD (2008) a montré que l'adoption des TIC a engendré une augmentation de 21 % de la performance (les ventes et les ventes par employé) des PME manufacturières en Thaïlande. Esselaar et al., (2007) ont observé que les TIC avaient un impact positif sur la productivité du travail mais négatif sur la rentabilité des PME dans 13 pays africains⁷. Basant et al., (2006) ont montré l'existence d'un lien fort entre les TIC et la productivité au Brésil et en Inde. D'autres études sur les PME dans le secteur manufacturier indien ont signalé un lien positif entre les TIC et la productivité de l'entreprise (Müller-Falke, 2003) et entre les TIC et la performance des exportations (Lal, 2004, 1999). Lal (1996), en étudiant des PME du secteur manufacturier électrique et électronique indien, a observé des taux de profit, des taux d'exportation et d'importation ainsi qu'une intensité de compétences plus élevés dans les entreprises utilisant les TIC.

5. LES TIC DANS LE CONTEXTE DES PME MANUFACTURIERES TUNISIENNES

Consciente de l'importance du rôle pouvant être joué par les TIC, la Tunisie a adopté une nouvelle politique industrielle orientée vers la création et le développement des PME, la mise en place d'une stratégie axée sur les TIC ainsi que le soutien de la R&D pour favoriser l'innovation technologique⁸. Depuis 2002, une stratégie axée sur l'économie du savoir a été mise en place : avec le développement des infrastructures des TIC, la création d'un certain nombre de centres de recherche et d'un ambitieux programme de technopôles et de parcs technologiques⁹ qui ont pour rôle de favoriser les synergies entre l'industrie, la recherche et l'université.

⁷ Botswana, Cameroun, Ethiopie, Ghana, Kenya, Mozambique, Namibie, Nigeria, Rwanda, Afrique du Sud, Tanzanie, Ouganda et Zimbabwe.

⁸ Des mesures fiscales, législatives, financières de soutien à la recherche scientifique et au développement technologique ont été engagées pour promouvoir l'innovation et la performance des entreprises.

⁹ Ce programme comprend actuellement trois parcs spécialisés dans les TIC : TIC (Tunis), Informatique et Electronique (Sousse) et Informatique et Multimédia (Sfax).

Concernant les PME manufacturières tunisiennes, Ben Ayed Mouelhi (2009) a montré l'impact positif des TIC sur l'efficacité technique. L'étendue de l'adoption et les conséquences sur les performances des PME manufacturières tunisiennes reste largement un terrain inconnu. Par conséquent, notre article est la première étude microéconomique qui développe une approche économétrique afin d'étudier la relation entre les investissements dans les TIC et la rentabilité économique dans un secteur manufacturier tunisien.

6. METHODOLOGIE

Notre approche s'insère dans les théories de l'innovation et les fondements organisationnels du processus d'adoption des nouvelles technologies et plus précisément sur les travaux récents qui se trouvent à l'intersection de l'économie industrielle et les théories organisationnelles. Notre étude aborde trois nouveaux aspects. Tout d'abord, elle traite de la performance au niveau des PME dans un pays en développement. En deuxième lieu, elle repose sur un ensemble exhaustif de données découlant d'une enquête réalisée en 2009. Pour tester les hypothèses, nous utilisons des données micro-économiques individuelles issues d'une enquête thématique « TIC, capital humain et performance des entreprises tunisiennes du secteur des IIEEE » menée en 2009. Cette enquête a permis de disposer des informations concernant l'organisation interne de la firme, ses ressources et ses pratiques en termes d'usage des nouvelles technologies, principalement les TIC, et en terme d'investissement en capital humain. Elle a permis d'évaluer de façon empirique le lien entre l'utilisation des TIC et la performance des entreprises du secteur de l'IEEE. En troisième lieu, différents tests statistiques et économétriques sont effectués pour déterminer le lien entre l'utilisation des TIC et la performance des entreprises de l'échantillon mesurée par leur rentabilité économique (mesure choisie en fonction de la disponibilité des données)¹⁰.

a. TYPOLOGIE DES TIC

Pour les besoins de notre recherche relative à l'étude de la relation entre TIC et performance des PME tunisiennes, une typologie a été élaborée permettant de classer les entreprises de l'échantillon en 3 catégories en fonction de l'intensité de l'utilisation des TIC et de leur degré de sophistication : aucune utilisation, SIG, systèmes FAO/CAO et système SFP¹¹.

¹⁰ Plusieurs mesures de performance ont été utilisées dans la littérature : la rentabilité économique [Tello, 2011 ; Koski, 2010 ; Bloom et Van Reenen, 2007 ; Melville et al., 2004 ; Baldwin et Sabourin, 2002, etc] ; la productivité [Bloom et al., 2010 ; Van Ark et al., 2008 ; OCDE, 2008 ; Draca et al., 2006 ; etc] ; les ventes [Koellinger, 2008 ; Bloom et Van Reenen, 2007 ; etc] ; la satisfaction des dirigeants [Betcherman et al., 1997 ; etc] ; le taux de croissance du personnel de l'entreprise [Machikita et al., 2010 ; etc] ; la part des exportations dans les ventes totales [Lal, 1996 ; etc].

¹¹ Plusieurs méthodes ont été employées afin de mesurer l'intensité d'adoption des TIC : la part des TIC dans les dépenses de R&D (Saprasert, 2007 ; etc.), les dépenses en TIC par employé (Cainelli et al., 2004 ; etc.), la part du travail équipé en TIC (Maliranta et Rouvinen, 2004 ; etc.), la part des TIC dans l'investissement total (Doms et al., 1995 ; etc.), le classement des TIC par niveau de sophistication et de complexité (Kossai et al., 2010 ; Lal, 1999 ; etc.).

Le système intégré de gestion SIG (*Integrated Management Information system IMIS*) ou encore système de pilotage, est régulièrement utilisé pour l'acheminement de l'information au sein de l'organisation (Loilier et Tellier, 2001). Son degré d'intégration dépend du secteur et des stratégies des entreprises. Il repose sur la mise en place d'un tableau de bord structuré autour d'indicateurs permettant de suivre en permanence les principaux résultats des divers secteurs d'activité de la firme (fonction commerciale, production, finance, ressources humaines, etc.) par rapport aux prévisions, objectifs et budgets. Il aide aussi à la prise de décision, tant au niveau stratégique qu'au niveau opérationnel. Le *CIM (Computer Integrated Manufacturing)* ou production automatisée par ordinateur, intègre notamment les équipements de conception et de fabrication assistées par ordinateur (CAO et FAO ou CAD/CAM, *computer-aided design/computer-aided manufacturing*) (Roussel, 2005). Le *CIM* se caractérise par l'automatisation complète des processus de fabrication sous le contrôle permanent des ordinateurs, automates programmables et autres systèmes numériques. La conception assistée par ordinateur (CAO) comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation permettant de concevoir, de tester virtuellement à l'aide d'un ordinateur et des techniques de simulation numérique et de réaliser des produits manufacturés et les outils pour les fabriquer. Quant au système flexible de production SFP (ou *FMS Flexible Manufacturing System*), il se base généralement sur une robotisation très avancée et des machines-outils à commande numérique. Ce système permet une réaction rapide en cas de changements attendus ou inattendus dans le processus de production.

b. L'ECHANTILLON

Les données ont été recueillies au cours d'une enquête sur l'innovation technologique menée en 2009 sur une population de 320 entreprises manufacturières tunisiennes du secteur des IEEE (Industries Electriques, Electroniques et de l'Electroménager) implantées sur tout le territoire. Un questionnaire a été proposé à soixante-dix entreprises de moins de 100 salariés de ce secteur et cinquante réponses (= effectif) ont été collectées ; la taille de l'échantillon est supérieure à 30 (= grand échantillon)¹². Pour Dodge (2008), "*it can be useful to know when the terms ρ_k that are significantly different from zero. For large sample ($T > 30$), the coefficient tends asymptotically to a normal distribution with a mean of 0 and a standard deviation of $\frac{1}{\sqrt{T}}$* ".

En fonction du niveau d'utilisation des TIC, l'échantillon se présente ainsi : vingt entreprises (40 %) n'ont aucune utilisation de TIC – TIC0 ; dix-huit entreprises (36 %) ont un niveau de TIC bas (SIG : système intégré de gestion) – TIC1 ; douze

¹² En 2009 le secteur des IEEE comportait 320 entreprises principalement implantées à Tunis, Sousse, Nabeul et Bizerte. Nous avons collecté des informations sur l'utilisation des TIC auprès de 50 entreprises soit un taux de réponse de 71 %. Cette enquête a permis de disposer des informations concernant l'organisation interne de la firme, ses ressources et ses pratiques en termes d'usage des nouvelles technologies, principalement les TIC, et en terme d'investissements en capital humain.

entreprises (24 %) ont un niveau moyen voire élevé (SIG, CIM: CAO/FAO, SFP) – TIC2.

Le niveau de TIC est donc une variable qualitative par nature discrète : plus précisément, les trois niveaux de TIC constituent un exemple de données catégorielles ordonnées avec une échelle de variation ordinale. Il y a donc trois groupes indépendants où les mesures sont effectuées sur des individus différents.

c. LES VARIABLES ET HYPOTHESES

La variable continue quantitative dépendante est la rentabilité économique nette calculée de deux façons : rentabilité économique nette moyenne, moyenne arithmétique des rentabilités économiques nettes des années 2008, 2007, 2006 et 2005 (RENECOMO), envisagée dans l'hypothèse où l'année 2008 serait « particulière » ; rentabilité économique nette 2008 = résultat net 2008 / chiffre d'affaires 2008 (RENECO08).

La rentabilité économique est un ratio traduisant la capacité de l'entreprise à vendre avec profit (si numérateur positif), un produit et/ou une marchandise sur le marché des IEEE.

L'hypothèse de travail H1 est la suivante : plus le niveau de TIC est élevé, plus la rentabilité économique nette moyenne (ou 2008 le cas échéant) l'est également. Si H1 est acceptée, on peut raisonnablement conclure, car le risque d'erreur peut être estimé ; le seuil de signification choisi est α égal à 5 %. Si H0 est acceptée (absence de différence, de tendance entre les trois groupes), on ne peut généralement pas conclure, car soit cette hypothèse est vraie, soit l'information dont on dispose est insuffisante pour montrer qu'elle est fausse.

Trois modèles vont être construits :

- 1) régression linéaire à variables muettes puis causalité au sens de Granger ;
- 2) test de Kruskal-Wallis puis tests *post-hoc* ;
- 3) test (de l'ANOVA) de Welch à un facteur (= la rentabilité économique nette) puis tests *post-hoc*.

Avec la régression linéaire, l'objectif est de montrer qu'une relation statistique solide existe entre le niveau de TIC (variable explicative) et la rentabilité économique (variable à expliquer). Pour distinguer le cas échéant une différence entre les niveaux de TIC, Tufféry (2010)¹³ complète la marche à suivre : « pour les variables continues, on effectue selon les cas un test paramétrique de la variance (ANOVA) à un facteur ou un test non paramétrique, à moins que l'on effectue les deux pour avoir plus de chances de capter toutes les variables explicatives potentiellement intéressantes. Le test ANOVA sera approprié si les variables explicatives sont normales et ont la même variance quel que soit la modalité de la variable cible. Si l'une des hypothèses de normalité ou d'homoscédasticité n'est pas

¹³ Chapitre 3 : « l'exploration et la préparation des données ».

UTILISATION DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DES COMMUNICATIONS (TIC)
ET PERFORMANCE ECONOMIQUE DES PME TUNISIENNES :
UNE ETUDE ECONOMETRIQUE

satisfaite, on se fierait plus à un test non paramétrique plus robuste : soit le test de Kruskal-Wallis (1952) (nombre de modalités > 2) ».

7. ANALYSE ECONOMETRIQUE ET STATISTIQUE

a. REGRESSION LINEAIRE A VARIABLES Muettes PUIS CAUSALITE AU SENS DE GRANGER

Gujarati (2004)¹⁴ indique que « les variables muettes peuvent être intégrées dans des modèles de régression de la même manière que des variables quantitatives. En fait un modèle de régression peut contenir des régresseurs qui ne sont que des variables muettes ou qualitatives ». Il indique deux façons d'appréhender le problème des modèles de régression à variables muettes composées de 0 ou de 1. La première façon précise que si une variable qualitative possède m ($= 3$) catégories, il ne faut introduire que $(m - 1)$ variables muettes afin d'éviter le cas de parfaite colinéarité et tomber dans le piège de la variable muette. Gujarati (2004) indique également que « les coefficients des variables muettes sont appelés coefficients différentiels de valeur à l'ordonnée à l'origine parce qu'ils informent de combien la valeur de l'ordonnée à l'origine qui reçoit 1 diffère du coefficient de valeur à l'ordonnée à l'origine de la catégorie de référence ». Le choix de la catégorie de référence est totalement à la discrétion du chercheur : c'est ici TIC0. $X = TIC1$ (=1 si TIC1 et 0 sinon), $Y = TIC2$ (=1 si TIC2 et 0 sinon), TIC0 est contenu dans le terme constant. Une seconde façon de procéder est d'introduire autant de variables que de catégories mais il faut alors retirer la valeur en ordonnée à l'origine ; on obtient alors directement les valeurs moyennes des divers groupes. Les différents tests sont développés avec la rentabilité économique nette moyenne puis synthétisés avec la rentabilité économique nette pour l'année 2008.

TABLEAU 1. REGRESSIONS LINEAIRES EXPLIQUANT LA VARIABLE RENECOMO

Dependent Variable: RENECOMO¹⁵				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
X (=1 si TIC1, 0 sinon)	0.012207	0.007516	1.624186	0.1110
Y (=1 si TIC2, 0 sinon)	0.022121	0.008447	2.618663	0.0118
C	0.057155	0.005173	11.04885	0.0000
Dependent Variable: RENECOMO				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
X0 (=1 si TIC0, 0 sinon)	0.057155	0.005173	11.04885	0.0000
X1 (=1 si TIC1, 0 sinon)	0.069362	0.005453	12.72064	0.0000
X2 (=1 si TIC2, 0 sinon)	0.079275	0.006678	11.87077	0.0000
R-squared	0.132631	Adjusted R-squared	0.095722	

¹⁴ Chapitre 9 : « les modèles de régression à variables muettes ».

¹⁵ Tous les tests sont construits à partir de ce tableau avec constante.

La rentabilité économique nette moyenne de TIC0 est de l'ordre de 5.72 %, celle de TIC1 est de 6.94 % et celle de TIC2 est de 7.93 % qu'on lit directement ci-dessus avec la seconde approche.

Première constatation : la différence est notable entre TIC0 (= aucune utilisation de TIC) et TIC2 (= niveau de TIC moyen voire élevé) au niveau de la rentabilité économique nette moyenne.

Si la *t-statistic* est supérieur à 1.96 alors on rejette l'hypothèse nulle de nullité du coefficient au seuil de 5 % ou encore une *p-value* inférieure à 5 % indique le rejet de l'hypothèse nulle. Les variables sont significatives puisque les *t-statistics* sont toutes supérieures à 1.96 au seuil de 5 %. Par ailleurs, l'hypothèse de normalité des erreurs est indispensable pour construire des tests statistiques concernant la validité du modèle. Cette erreur représente l'influence combinée (sur la variable dépendante) d'un grand nombre de variables indépendantes non intégrées explicitement dans le modèle de régression. Concernant cette normalité, le test de Jarque-Bera (1980) mesure la différence entre le Skewness et le Kurtosis de la série et celle d'une distribution normale. Il donne une valeur de 0.470 pour une probabilité d'environ 79 % ou encore la valeur trouvée suit une loi du χ^2 à deux degrés de liberté qui est inférieure à 5.991 alors on ne rejette pas l'hypothèse H0 de normalité des erreurs au seuil $\alpha = 5 \%$.

Y a-t-il multicolinéarité ? Les régresseurs sont-ils corrélés ?

TABLEAU 2. MATRICE DE CORRELATION

	X0	X1	X2
X0	1.0000	-0.6123	-0.4588
X1	-0.6123	1.0000	-0.4214
X2	-0.4588	-0.4214	1.0000

La rapidité avec laquelle les variances et covariances augmentent peut être appréciée à l'aide du facteur d'inflation de la variance où : $FIV = 1 / (1 - r_{01}^2) \approx 1.60$; $FIV = 1 / (1 - r_{02}^2) \approx 1.27$ et $FIV = 1 / (1 - r_{12}^2) \approx 1.22$ ce qui est très proche de l'unité (= absence de multicolinéarité). Makridakis, Hyndman et Wheelwright (1997) considèrent d'éviter les situations où les variables ont une corrélation supérieure à 0.7 (un coefficient de détermination de 50 %) en valeur absolue, soit un FIV supérieur à 2.

Y a-t-il autocorrélation spatiale ? Les termes erreurs sont-ils corrélés ?

L'autocorrélation des erreurs est sans intérêt car selon Bourbonnais (2011), « dans le cas de modèle spécifié en coupe instantanée, nous ne pouvons concevoir une autocorrélation des erreurs que si les observations ont été préalablement triées en fonction croissante ou décroissante de la variable à expliquer

Y a-t-il hétéroscédasticité ? La variance résiduelle n'est-elle pas constante ?

UTILISATION DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DES COMMUNICATIONS (TIC)
ET PERFORMANCE ECONOMIQUE DES PME TUNISIENNES :
UNE ETUDE ECONOMETRIQUE

TABLEAU 3. TEST ARCH D'HETEROSCEDASTICITE

F-statistic	0.248208	Prob. F(1,47)	0.6207
Obs×R-squared	0.257410	Prob. Chi-Square(1)	0.6119

Le test ARCH consiste à tester l'hypothèse nulle d'homoscédasticité contre l'hypothèse alternative d'hétéroscedasticité. On calcule le résidu u du modèle de régression puis on procède à une régression autorégressive des résidus sur p ($=1$) retards. Enfin, on teste l'hypothèse nulle en calculant la statistique du multiplicateur de Lagrange $LM = (n - p) \times R^2$. Ce produit suit une loi du Khi-deux dont le nombre de degré de liberté est égal au nombre de paramètres estimés (hors constante). En utilisant la taille de l'échantillon $n = 49$ et la valeur du R^2 , on obtient : *Obs×R-squared* ≈ 0.257 avec une *p-value* de 0.612 qui sous l'hypothèse nulle d'absence d'hétéroscedasticité, possède une distribution du khi-deux avec 1 ddl. On ne peut pas rejeter l'hypothèse H_0 d'homoscédasticité.

L'équation $RENEMO = 0.0572.X_0 + 0.0693.X_1 + 0.0793.X_2$ est validée en raison de l'absence de violations des hypothèses.

TABLEAU 4. TEST DE CAUSALITE DE GRANGER

Sample : 1 50

Lags : 1

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
RENECOMO does not Granger Cause « niveau de TIC »	49	0.34480	0.5599
« Niveau de TIC » does not Granger Cause RENECOMO		5.84546	0.0196

Le test de causalité dans le sens de Granger (1969) répond à la question suivante : une variable X_i cause selon Granger une variable Y en observant tout d'abord dans quelle mesure les valeurs passées de Y arrivent à expliquer la valeur actuelle de Y et de voir par la suite l'amélioration de l'estimation grâce à la prise en compte de valeurs passées de la variable X_i . Le test est au seuil de 5 % et son rejet entraîne le rejet de l'hypothèse nulle X_i ne cause pas Y au sens de Granger et dans le cas de cet échantillon d'entreprises tunisiennes du secteur des IIEEE, force est de constater que la causalité va du niveau de TIC vers la rentabilité économique nette ; en revanche, il n'y a pas de causalité de la rentabilité économique nette vers le niveau de TIC.

Les résultats sont analogues si on raisonne à partir de la rentabilité économique nette 2008.

TABLEAU 5. PRINCIPAUX RESULTATS ECONOMETRIQUES A PARTIR DE RENE08

RENECO08 = 0.0566.X0 + 0.0692.X1 + 0.0821.X2
 R² = 0.179 – Adjusted R² = 0.144 – Jarque-Bera = 0.065 – *p-value* = 0.968
 Même données sur la matrice de corrélation
 ARCH : *Obs x R-squared* = 0.089 – Prob. Chi-Square (1) = 0.766

La rentabilité économique nette 2008 de TIC0 est « en moyenne », de 5.66 %, celle de TIC1 est de 6.92 % et celle de TIC2 est de 8.21 % ; la différence est notable entre TIC0 et TIC2.

Granger Causality Tests :

NullHypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
RENECO08 does not Granger Cause « niveau de TIC »	49	1.096	0.301
« Niveau de TIC » does not Granger Cause RENE08		8.301	0.006

b. TEST DE KRUSKAL-WALLIS ET TESTS POST-HOC

Un test non paramétrique ne dépend pas de paramètres (moyenne, écart-type, ...), il ne nécessite pas la connaissance des valeurs individuelles mesurées mais de leurs rangs respectifs. De ce fait, ce type de test est peu sensible aux valeurs extrêmes à la différence de la moyenne. Le test non-paramétrique H de Kruskal-Wallis (1952) est la généralisation à k groupes du test de Mann-Whitney-Wilcoxon supposant k groupes indépendants de distributions continues. Les effectifs sont au moins égaux à 5 ou $k \geq 4$. Le problème à résoudre consiste encore à choisir entre deux hypothèses : $H_0 : \mu_1^2 = \mu_2^2 = \dots = \mu_k^2$ (les groupes proviennent de la même population et leurs rangs ne diffèrent pas) ; H_1 : « au moins deux groupes diffèrent quant à leurs rangs », le test de Kruskal-Wallis ne dit pas lequel. La région critique correspond aux grandes valeurs de H : plus H s'écarte de 0, plus l'hypothèse alternative sera crédible ; H est à comparer à la valeur du χ^2 pour (k-1) degrés de liberté où k est le nombre de groupes de l'échantillon (ici $k-1 = 2$ d'où une valeur du χ^2 de 5.991). Les données étant des ratios, il n'y a pas de correction en cas d'ex-æquo, H est calculé ainsi :

$$H = \frac{12}{N \times (N + 1)} \times \left(\sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} \right) - 3 \times (N + 1)$$

où N est l'effectif total (= 50) ou somme de n_j , R_j le total des rangs pour un groupe donné et k le nombre de groupes. Dans le cas où la distribution des données est gaussienne, son efficacité relative asymptotique est de $3/\pi \approx 95\%$: si l'hypothèse alternative est vraie, là où il faut 95 observations pour que l'ANOVA détecte la réponse correcte, il en faut 100 pour le test de Kruskal-Wallis. Concernant la rentabilité économique nette moyenne face aux trois niveaux de TIC (TIC0, TIC1, TIC2), le test de Kruskal-Wallis donne une $H = 7.895$ avec une *p-value* de 0.019. On accepte l'hypothèse H_1 : il y a au moins deux groupes qui diffèrent quant à leurs rangs. Plusieurs méthodes sont proposées pour faire des comparaisons par paires, une fois établie l'hypothèse H_1 , on parle de tests *post-hoc* comme le test de Steel-

UTILISATION DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DES COMMUNICATIONS (TIC)
ET PERFORMANCE ECONOMIQUE DES PME TUNISIENNES :
UNE ETUDE ECONOMETRIQUE

Dwass, de Conover-Inman ou encore de Siegel-Castellan¹⁶. Les résultats des tests proposant des comparaisons par paires sont présentés dans le tableau ci-après.

TABLEAU 6. RESULTATS DES TESTS PARAMETRIQUES *POST-HOC*

Steel-Dwass-Critchlow-Fligner

TIC0 vs. TIC1 – not significant – (|1.571| < 3.314) – p-value = 0.507

TIC0 vs. TIC2 – *significant* – (|4.789| > 3.314) – p-value = 0.002

TIC1 vs. TIC2 – not significant – (|0.898| < 3.314) – p-value = 0.801

Conover-Inman

TIC0 vs. TIC1 – not significant – (7.528 < 8.910) – p-value = 0.096

TIC0 vs. TIC2 – *significant* – (14.750 > 10.014) – p-value = 0.005

TIC1 vs. TIC2 – not significant – (7.222 < 10.221) – p-value = 0.162

Siegel-Castellan

TIC0 vs. TIC1 – not significant – (1.589) – p-value = 0.336

TIC0 vs. TIC2 – *significant* – (2.771) – p-value = 0.017

TIC1 vs. TIC2 – not significant – (1.329) – p-value = 0.551

Deuxième constatation : la différence est à nouveau notable entre TIC0 et TIC2 au niveau de la rentabilité économique nette moyenne.

c. TEST DE WELCH A UN FACTEUR ET TESTS POST-HOC

Un test paramétrique repose sur des hypothèses concernant la distribution des variables étudiées chez les individus ; l'hypothèse que cette distribution correspond à la loi normale est la plus courante. Le test paramétrique de l'ANOVA (analyse de la variance) part de k groupes où chacun suit une loi normale : c'est la première hypothèse à valider juste avant la seconde qui consiste à vérifier que les variances des différents groupes sont égales.

Le problème à résoudre consiste encore à choisir entre deux hypothèses :

$H_0 : \mu_1^2 = \mu_2^2 = \dots = \mu_k^2$ (il n'y a pas de différence entre les groupes) ; H_1 : « au moins deux moyennes diffèrent », l'ANOVA ne dit pas laquelle. On sait que 95 % des valeurs d'une loi normale quelconque sont situées dans un intervalle de 1.96 écarts-types autour de sa moyenne. Comme Z suit $N(0 ; 1)$, la valeur de z va donc être comprise dans 95 % des cas entre -1.96 et +1.96. Si l'hypothèse est vraie, la valeur absolue du z observé devrait donc 95 fois sur 100 être inférieure à 1.96. Le principe du test va donc être de rejeter l'hypothèse H_0 chaque fois que l'écart z observé est supérieur (en valeur absolue) à 1.96. Concernant la rentabilité économique nette moyenne des trois groupes, l'hypothèse de normalité est respectée.

¹⁶ Source : <http://www.statsdirect.com/help/statsdirect.htm> – Kruskal-Wallis test.

TABLEAU 7. RESULTATS DES TESTS DE NORMALITE POUR LES 3 GROUPES

Tests	TIC0	TIC1	TIC2
Jarque-Bera	1.753 (p-value = 0.42)	1.068 (p-value = 0.59)	3.703 (p-value = 0.16)
Komolgorov-Smirnov	0.117 (p-value > 0.20)	0.149 (p-value > 0.20)	0.235 (p-value > 0.20)
Shapiro-Wilk	0.953 (p-value = 0.41)	0.942 (p-value = 0.32)	0.881 (p-value = 0.09)

L'homoscédasticité peut être vérifiée par le test B de Bartlett (1937) (il n'est vraiment performant que si l'hypothèse de normalité est établie) : il s'agit de vérifier l'hypothèse d'homogénéité des variances pour k groupes (loi du χ^2 à $(k - 1)$ ddl).

H0 : $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$ (comparaison de plusieurs variances);

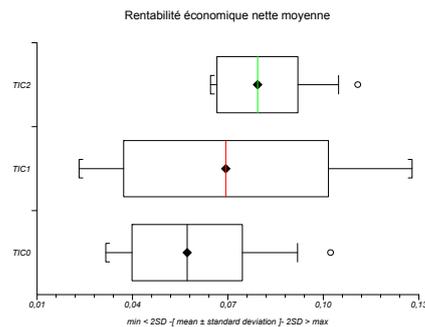
H1 : « au moins deux de ces variances différent ».

Il existe d'autres tests paramétriques concurrents notamment le test W de Levene (1960) si les k distributions sont approximativement normales. Ce test est une alternative crédible du test de Bartlett ; il est moins sensible à un écart par rapport à l'hypothèse de normalité et il suit une loi du χ^2 à $(k-1 ; n-k)$ degrés de liberté.

Y a-t-il égalité des variances entre les 3 groupes TIC0, TIC1 et TIC 2 ?

TABLEAU 8. RESULTATS DES TESTS DE VARIANCE

Method	df	Value	Probability
Bartlett	2	12.35709	0.0021
Levene	(2, 47)	11.49252	0.0001



Nous remarquerons la similitude des résultats (concernant la *p-value* du test principalement) ; la normalité des données étant constatée, les résultats sont proches et c'est assez logique. Dans cette situation, comme le test n'est pas significatif (*p-value* < 0.05), on peut rejeter l'hypothèse nulle de l'égalité des variances ce qui nous pose un problème puisqu'on ne peut passer à l'ANOVA. On accepte l'hypothèse H1 d'hétéroscédasticité des variances.

Pour Tufféry (2010), « on peut aussi utiliser le test de Welch en cas de normalité sans homoscédasticité ». En effet, ce test d'analyse de la variance peut être utilisé pour la comparaison de k groupes dont les variances sont inégales, les observations étant indépendantes et normalement distribuées. Si le test est significatif, les moyennes d'au moins deux groupes sont différentes. Le fait d'avoir trois groupes de tailles inégales (resp. 20, 18 et surtout 12) a un impact sur la variance inégale entre TIC0, TIC1 et TIC2. Le test de t de Welch évalue également l'égalité de la moyenne des groupes, mais à partir de la statistique Welch égale à 8.349 (p-value =

0.001) qui se distribue comme la statistique F de Fisher-Snedecor avec $v_1 = k - 1$ et

$$v_2 = (k^2 - 1) / 3 \sum_{i=1}^k h_i.$$

Au moins deux moyennes diffèrent (l'ANOVA de Welch ne dit pas laquelle !). Il faut alors passer aux tests de comparaison *post-hoc* sachant que la prémisse d'homogénéité des variances n'est pas respectée¹⁷. On peut envisager le test T2 de Tamhane, le test T3 de Dunnett et le test C de Games-Howell.

TABLEAU 9. RESULTATS DES TESTS NON PARAMETRIQUES *POST-HOC*

Statistiques	TIC(i)	TIC(j)	Erreur standard	p-value
T2 de Tamhane	0	1	0.009	0.416
	0	2	0.005	0.001
	1	2	0.008	0.581
T3 de Dunnet	0	1	0.009	0.408
	0	2	0.005	0.001
	1	2	0.008	0.571
C de Games-Howell	0	1	0.009	0.340
	0	2	0.005	0.001
	1	2	0.008	0.479

Troisième constatation confirmant les résultats non paramétriques du test de Kruskal-Wallis : la différence est encore notable entre TIC0 et TIC2 au niveau de la rentabilité économique nette moyenne. Les résultats sont analogues si on raisonne à partir de la rentabilité économique nette 2008.

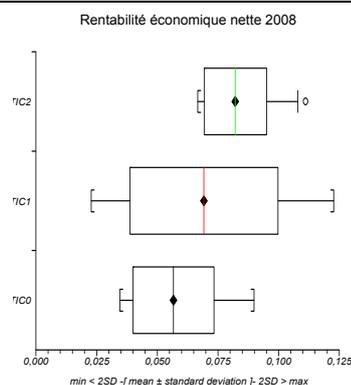
TABLEAU 10. PRINCIPAUX RESULTATS DES TESTS (NON) PARAMETRIQUES A PARTIR DE RENE08

Jarque-Bera (p-value) :
 TIC0 (0.500) – TIC2 (0.620) – TIC3 (0.212)
 Komolgorov-Smirnov :
 p-value > 0.20 pour les 3 niveaux de TIC

H de Kruskal-Wallis = 9.674 –p-value = 0.008
 B de Bartlett = 11.218 –p-value = 0.004
 W de Levene = 9.348 –p-value < 0.001

t de Welch = 11.470 –p-value < 0.001

Comparaisons multiples : quel que soit le test envisagé, la p-value est significative (< 0.05) pour le duo TIC0/TIC2.



¹⁷ Source : <http://pages.usherbrooke.ca/spss/pages/statistiques-inferentielles/analyse-de-variance/procedure-spss.php>.

CONCLUSION

Quel que soit le modèle utilisé : régression linéaire à variables muettes puis causalité au sens de Granger, test de Kruskal-Wallis et test de Welch ; la rentabilité économique nette moyenne (ou bien celle de l'année 2008) dépend du niveau de TIC pour les PME tunisiennes du secteur des IEEE.

La différence est statistiquement significative entre les PME qui n'ont aucune utilisation de TIC (catégorie TIC0= aucune utilisation) et celles qui utilisent des systèmes CIM (FAO/CAO) et des systèmes flexibles de production SFP (catégorie TIC2= niveau moyen voire élevé). La différence entre les rentabilités économiques nettes des deux catégories est de plus de 2 %, ce qui est notable. Nous avons ainsi montré, qu'en prenant en compte une mesure spécifique de la performance, à savoir la rentabilité économique nette, un lien statistique significatif existe entre le niveau d'adoption des TIC et la performance des PME tunisiennes du secteur des IEEE. L'utilisation des TIC a un lien positif avec la rentabilité de l'entreprise (Tello, 2011; Koellinger, 2006 ; Melville et al., 2004 ; Lal, 1996).

Plusieurs études ont confirmé que l'utilisation des TIC a un impact positif sur la performance de l'entreprise (Aker, 2010 ; Bloom et al., 2007 ; Draca et al., 2006 ; OCDE, 2005). Toutefois, il faut noter que les gains se produisent principalement ou uniquement, lorsque cette adoption est accompagnée d'autres changements et investissements tels que la formation de la main d'œuvre et d'autres changements regroupés dans la littérature sous la dénomination de changements organisationnels. Des pratiques de gestion complémentaires telles que la décentralisation de la prise de décision, la formation de la main d'œuvre et la gestion de la qualité totale, sont jugées essentielles au niveau des entreprises pour accompagner les investissements dans les TIC (Bloom et al., 2010, 2009 ; Crespi et al., 2007 ; Brynjolfsson et Hitt, 2004 ; Caroli et Van Reenen, 2001).

Au niveau macroéconomique, la structure économique, la politique du gouvernement en matière d'éducation, de formation du capital humain et d'organisation industrielle constituent des facteurs complémentaires essentiels pour accompagner les investissements dans les TIC. La compréhension des interactions entre adoption des TIC et les changements organisationnels qui seraient susceptibles de l'accompagner représentent une future piste de recherche indispensable à l'étude des facteurs déterminants de la performance des PME des pays émergents et des PVD.

BIBLIOGRAPHIE

- Aker, J. C.**, 2010. "Information from Markets Near and Far Mobile Phones and Agricultural Markets in Niger." *American Economic Journal: Applied Economics*, 2(3):46-59.
- Alam, S. S. and M. K. M. Noor**, 2009. "ICT adoption in small and medium enterprises: an empirical evidence of service sectors in Malaysia". *International Journal of Business and Management*, 4(2), 112-125.
- Alberto, B.M. and L. L. Fernando**, 2007. "A firm-level analysis of determinants of ICT adoption in Spain", *Technovation*, 27, 352-366.
- Apulu, I. and A. Latham**, 2011. "Drivers for Information and Communication Technology Adoption: A Case Study of Nigerian Small and Medium Sized Enterprises", *Canadian Center of Science and Education, International Journal of Business and Management* Vol. 6, No. 5; May.
- Aral, S., E. Brynjolfsson and M. Van Alstyne**, 2007. "Information, technology and information worker productivity: Task level evidence" NBER WP No. W13172.
- Badescu, M. and C. Garces-Aterbe**, 2009. "The Impact of Information Technologies on Firm Productivity: Empirical Evidence from Spain", *Technovation* 29: 122-129.
- Baldwin, J.R. and D. Sabourin**, 2002. "Advanced Technology Use and Firm Performance in Canadian Manufacturing in the 1990s", *Industrial and Corporate Change*, 11(4): 761-789.
- Baldwin, J.R., D. Sabourin and D. Smith**, 2004. "Firm Performance in the Canadian Food Processing Sector: the Interaction between ICT Advanced Technology Use and Human Resource Competencies", in OCDE (2004), *The Economic Impact of ICT – Measurement, Evidence and Implications*, OCDE, Paris, pp. 153-181.
- Bartlett, M.**, 1937. "Properties of sufficiency and statistical tests", *Proceedings of the Royal Statistical Society Series A* 160.
- Barua, A., C.H. Kriebel and T. Mukhopadhyay**, 1995. "Information Technologies and Business Value: An Analytic and Empirical Investigation." *Information Systems Research*, 6(1): 3-23.
- Basant, R., S. Commander, R. Harrison and N. Menezes-Filho**, 2006. "ICT Adoption and Productivity in Developing Countries: New Firm Level Evidence from Brazil and India", *Institute for the Study of Labor, IZA DP No. 2294*, September.
- Bayo-Moriones, A. and F. Lera-Lopez**, 2007. "A Firm Level Analysis of Determinants of ICT Adoption in Spain", *Technovation*, 27(6-7), 352-366.
- Bellon, B., A. Ben Youssef et H. M'henni**, 2007. "Les capacités d'usage des TIC dans les économies émergentes", *Revue Tiers Monde*, Novembre-Décembre, N° 192, p. 919-936.
- Bellon, B., A. Ben Youssef et H. M'henni**, 2006. "Le maillon manquant entre adoption et usage des TIC dans les économies du sud de la méditerranée", *Revue Française de Gestion*, Vol.32, n°166. Septembre, p. 173-190.
- Ben Youssef, A., H. M'henni et W. Hadhri**, 2011. "Intra-firm diffusion of innovation: Evidence from Tunisian SME's in matter of Information and Communication Technologies", *Middle East Development Journal*. Volume 3, Issue 1, p. 75-97.

- Ben Ayed Mouelhi, R.**, 2009. "Impact of the adoption of information and communication technologies on firm efficiency in the Tunisian manufacturing sector", *Economic Modelling*, Volume 26, Issue 5, September, Pages 961–967.
- Benavente, J. M., N. Lillo and J. Turen**, 2011. "ICT in Chilean firms", in Vergara, S., Rovira, S. and Balboni, M. (eds) *ICT in Latin America: A Microdata Analysis*, ECLAC – United Nations, MPRA Paper No. 34598.
- Betcherman, G., L. Norm and K. McMullen**, 1997. "Developing Skills in the Canadian Workplace", *Canadian Policy Research Networks Study* No. W02.
- Black, S. and L. Lynch**, 2004. "What's Driving The New Economy? The benefits of workplace innovation", *Economic Journal*, N°114(493), p. F97-116.
- Bloom, N. and J. V. Van Reenen**, 2007. "Measuring and explaining management practices across firms and nations", *Quarterly Journal of Economics* 122, 1351-1408.
- Bloom, N., M. Draca, R. Sadun, T. Kretschmer and J. Van Reenen**, 2010. "The Economic Impact of ICT", *Centre for Economic Performance*, LSE, SMART N. 2007/0020.
- Bloom, N., L. Garicano, R. Sadun and J. Van Reenen**, 2009. "The Distinct Effects of Information Technology and Communication Technology on Firm Organization", NBER Working Paper No.14975.
- Bourbonnais, R.**, 2011. "Econométrie", Dunod, 8^{ème} édit.
- Breusch, T.**, 1978. "Testing for autocorrelation in dynamic linear models", *Australian Economic Papers*, Vol. 17.
- Brynjolfsson, E. and L. Hitt**, 1996. "Paradox lost? Firm-level evidence on the returns to information systems spending", *Management Science* 42(4), 541-558.
- Brynjolfsson, E. and L. Hitt**, 1998. "Beyond the productivity paradox: Computers are the catalyst for bigger changes", *Commun. ACM* 41, 8 (Aug), 49–55.
- Brynjolfsson, E. and L. Hitt**, 2004. "Computing Productivity: Firm-Level Evidence", Working papers 4210-01, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Sloan School of Management.
- Brynjolfsson, E. and S. Yang**, 1997. "The Intangible Costs and Benefits of Computer Investments." Proceedings of the International Conference on Information Systems Atlanta.Georgia (December).
- Cainelli, G., R. Evangelista and M. Savona**, 2004. "The impact of innovation on economic performance in services", *Service Industries Journal*, Vol. 24, No. 1, pp. 116-130.
- Carbonara, N.**, 2005. "Information and communication technology and geographical clusters: opportunities and spread". *Technovation*, 25: 213–222.
- Caroli E. and J. Van Reenen**, 2001. "Skill-biased organizational change: evidence from a panel of British and French establishments", *Quarterly journal of economics*, CXVI(4), 1449-1492.
- Charlo, G.**, 2011. "Impact of ICT and innovation on industrial productivity in Uruguay", in Vergara, S., Rovira, S. and Balboni, M. (eds) *ICT in Latin America: A Microdata Analysis*, ECLAC - United Nations, MPRA Paper No. 34598.
- Conover, W.**, 1999. "Practical nonparametric statistics", Wiley, 3rd ed.
- Crespi, G., C. Criscuolo and J. Haskel**, 2007. "Information technology, organizational change and productivity growth: evidence from UK firms", CEP Discussion Paper no. 783.

- Critchlow, D. and M. Fligner**, 1991. "On distribution-free multiple comparisons in the one-way analysis of variance", *Communications in Statistics - Theory and Methods* 20.
- Czernich, N., O. Falck, T. Kretschmer and L. Woessmann**, 2011. "Broadband Infrastructure and economic Growth", *The Economic Journal*, vol. 121, pp. 505-531.
- Dedrick, J., V. Gurbaxani and K. L. Kraemer**, 2003. "Information technology and economic performance: A critical review of the empirical evidence", *ACM Computing Survey* 35 (1), 1-28.
- Diawara, B. and M. Mughal**, 2010. "Does education matter for the adoption of information and communication technologies (ICT) in developing countries? Evidence from Senegal", *Economie Internationale*.
- Dodge, Y.**, 2008. "Concise encyclopedia of statistics", Springer.
- Doms, M., T. Dunne and M. J. Roberts**, 1995. "The Role of Technology Use in the survival and Growth of Manufacturing Plants", *International Journal of Industrial Organization* 13(4):523-42.
- Draca, M., R. Sadun and J. Van Reenen**, 2006. "Productivity and ICT: A Review of the Evidence", CEP Discussion Paper 0749, *Centre of Economic Performance*, LSE.
- Dunnett, C.**, 1980. "Pairwise multiple comparisons in the homogeneous variance, unequal sample size case", *JASA*, 75 (372).
- Dunnett, C. and A. Tamhane**, 1992. "A step-up multiple test procedure", *JASA*, 87 (417).
- Engle, R.**, 1982. "Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of the united Kingdom inflation", *Econometrica*, vol. 50, n°1.
- Esselaar, S., C. Stork, A. Ndiwalana and M. Deen-Swarrray**, 2007. "ICT Usage and Its Impact on Profitability of SMEs in 13 African Countries", *Information Technologies and International Development*, 4 (1), 87-100.
- Freeman, C. and L. Soete**, 1997. "The economics of industrial innovation". MIT Press Books, *The MIT Press*, edition 3, volume 1, number 0262061953, April.
- Fuentes, O. and S. Gilchrist**, 2005. "Skill-biased Technology Adoption: Evidence for the Chilean manufacturing sector", Boston University - Department of Economics – Working Papers Series WP2005-045, Boston University-Department of Economics.
- Gaith, F. H., A. R. Khalim and A. Ismail**, 2009. "Usage of information technology in construction firms; Malaysian construction industry", *European Journal of Scientific Research*, 28(3), 412-421.
- Games, P., H. Keselman and J. Rogan**, 1981. "Simultaneous pair wise multiple comparison procedures for means when sample sizes are unequal", *Psychological Bulletin*, 90.
- Ghobakhloo, M., J. Benitez-Amado and D. Arias-Aranda**, 2011. "Reasons for information technology adoption and sophistication within manufacturing SMEs", Paper presented at the POMS 22nd Annual Conference: Operations management: The enabling link. Reno, USA.
- Giuri, P., S. Torrisi and N. Zinovyeva**, 2008. "ICT, skills, and organizational change: evidence from Italian manufacturing firms", *Industrial and Corporate Change*, 17: 29-64.

- Godfrey, L.**, 1978. "Testing against general autoregressive and moving average error models when the regressor include lagged dependent variables", *Econometrica*, Vol. 46.
- Granger, C.**, 1969. "Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods", *Econometrica*, Vol. 37, July.
- Gujarati, D.**, 2004. "Econométrie", De Boeck, 4^{ème} éd.
- Hochberg, Y. and A. Tamhane**, 1987. "Multiple Comparison Procedures", John Wiley & Sons.
- Hollenstein, H. and M. Woerter**, 2008. "Inter- and intra-firm diffusion of technology: The example of E-commerce. An analysis based on Swiss firm-level data", *Research Policy*, 37.
- Indjikian, R. and D. S. Siegel**, 2005. "The Impact of Investment in IT on Economic Performance: Implication for Developing Countries", *World Development* Vol. 33, No. 5, pp. 694-698.
- Ion, P., and Z. Andreea**, 2008. "Use of ICT in SMEs management within the sector of services", V4-management-marketing/085 (September).
- Jarque, C. and A. Bera**, 1980. "Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals", *Economics Letters*, Vol. 6.
- Jorgenson, D. W. and K. J. Stiroh**, 2000. "U.S. Economic Growth and the Industry Level.", *American Economic Review* 90(2): 161-7.
- Jorgenson, D.W., M. S. Ho and K. J. Stiroh**, 2008. "A retrospective look at the U.S. productivity growth resurgence", *Journal of Economic Perspectives*, vol. 22(1), pp. 3-24.
- Kapurubandara, M. and R. Lawson**, 2006., "Barriers Adopting ICT and E-commerce with SMEs in Developing Countries: An Exploratory Study in Sri Lanka", COLLECTeR 06, Adelaide.
- Katrak, H.**, 1997. "Developing countries' imports of technology, in-house technological capabilities and efforts: an analysis of the Indian experience". *Journal of Development Economics* 53, 67-83.
- Koellinger, P.**, 2006. "Impact of ICT on Corporate Performance, Productivity and Employment Dynamics", Special Report No 01/2006, European Commission Enterprise & Industry Directorate General, Berlin.
- Koellinger, P.**, 2008. "The Relationship between Technology, Innovation, and Firm Performance: Empirical Evidence from e-business in Europe", *Research Policy*, 37: 1317-1328.
- Koivunen, M., H. Hätonen and M. Välimäki**, 2008. "Barriers to Facilitators Influencing the Implementation of an Interactive Internet-portal Application for Patient Education in Psychiatric Hospital", *Patient Education and Counseling*, Vol.70, pp.412-419.
- Koski, H.**, 2010. "Firm Growth and profitability: the role of mobile IT and organizational practices", ETLA, The Research Institute of the Finnish Economy, 22 p. (Discussion Papers, Keskusteluaiheita ISSN 0781-6847; No 1222).
- Kossai, M., M. Lapa de Suza and J. Roussel**, 2010. "Adoption des technologies de l'information et capital humain: le cas des PME tunisiennes", *Revue Management & Avenir*, n°31, janvier.
- Kruskal, W. and W. Wallis**, 1952. "Use of ranks in one-criterion variance analysis", *Journal of the American Statistical Association* 47 (260), December.

- Kutlu, B. and M. Ozturan**, 2008. "The Usage and Adoption of IT Among SMEs in Turkey: An Exploratory and Longitudinal Study", *Journal of Information Technology Management*, 19(1), 12-24.
- Lal, K.**, 1996. "Information Technology, International Orientation and Performance: A Case Study of Electrical and Electronic Goods Manufacturing Firms in India", *Information Economics and Policy*, 8: 269-80.
- Lal, K.**, 1999. "Determinants of the Adoption of Information Technology: A Case Study of Electrical and Electronic Goods Manufacturing Firms in India", *Research Policy*, 28: 667-80.
- Lal, K.**, 2001 "The determinants of the adoption of information technology: A case study of the Indian garments industry. In Information Technology, Productivity, and Economic Growth: International Evidence and Implications for Economic Development", M. Pohjola, Ed. Oxford University Press, Cambridge, U.K., 149-174.
- Lal, K.**, 2004. "E-business and Export Behavior: Evidence from Indian Firms", *World Development*, 32(3), pp. 505-17.
- Lal, K.**, 2007. "Globalization and Adoption of ICTs in Nigerian SMEs", *Science, Technology Society*, Vol.12, No. 2, pp217-244.
- Lawson, R., C. Alcock, J. Cooper and L. Burgess**, 2003. "Factors Affecting the Adoption of Electronic Commerce Technologies by SMEs: An Australian Study", *Journal of Small Business Enterprise and Development* Vol. 10, No. 3, pp. 265-276.
- Leclerc, B.**, 1970. "Le rôle de la distribution normale en statistique", *Mathématiques et Sciences Humaines*, tome 32.
- Levene, H.**, 1960. "In contributions to probability and statistics: essays in honor of Harold Hotelling", Olkin I. et al. eds., Stanford University Press.
- Loilier, T. and A. Tellier**, 2001. "Nouvelles économie, net organizations", Editions EMS, Paris.
- Loveman, G. W.**, 1994. "An assessment of the productivity impact of information technologies", in Information Technology and the Corporation of the 1990s: Research Studies, T. J. Allen and M. S. Scott Morton, Eds. *Oxford University Press*, Cambridge, U.K., 84-110.
- Lucchetti, R. and A. Sterlacchini**, 2004. "The Adoption of UCT among SMEs: Evidence from an Italian Survey", *Small Business Economics* Vol. 23, No. 2, pp.151-168.
- Machikita, T., M. Tsuji and Y. Ueki**, 2010. "How ICTs Raise Manufacturing Performance: Firm-level Evidence in Southeast Asia", Papers DP-2010-07, *Economic Research Institute for ASEAN and East Asia*.
- Makridakis, S., R. Hyndman and S. Wheelwright**, 1997. "Forecasting: methods and applications", John Wiley, 3rd ed.
- Maliranta, M. and P. Rouvinen**, 2004. "ICT and Business Productivity: Finnish Micro-level Evidence", in OCDE (2004), *The Economic Impact of ICT – Measurement, Evidence and Implications*, OCDE, Paris, pp. 213-239.
- Melville, N., K. L. Kraemer and V. Gurbaxani**, 2004. "Information technology and organizational performance: An integrative model of IT business value", *MIS Quart.* 28(2) 283-322.
- Morton, B. and A. Forsythe**, 1974. "Robust tests for equality of variances", *Journal of the American Statistical Association*, 69.
- Motohashi, K.**, 2008. "IT, Enterprise Reform, and Productivity in Chinese Manufacturing Firms", *Journal of Asian Economics* 19(4): 325-333.

- Mughal, M. and B. Diawara**, 2011. "Human Capital and the Adoption of Information and Communications Technologies: Evidence from Investment Climate Survey of Pakistan", *Economics Discussion Papers*, No 2011-21, Kiel Institute for the World Economy.
- Müller-Falke, D.**, 2003. "The Use of Telecommunication and Information Technologies in Small Businesses - Evidence from Indian Small Scale Industry", *MIS Quarterly*.
- Nguyen, T. U. H.**, 2009. "Information technology adoption in SMEs: an integrated framework". *International Journal of Entrepreneurial Behaviour and Research*, 15(2), 162-186.
- Nour, S.**, 2011. "The Use and Economic Impacts of ICT at the Macro-Micro levels in the Arab Gulf Countries", Maastricht Economic and social Research Institute on Innovation and Technology, UNU-MERIT Working Papers, 2011-059.
- OECD**, 2002. "Organizational Change and Firm Performance", DSTI/DOC (2002)14. Paris.
- OECD**, 2004. "The Economic Impact of ICT, Measurement, Evidence and Implications", Paris.
- OECD**, 2005. "Guide to Measuring the Information Society", OECD, Paris.
- OECD**, 2008. "Measuring the impacts of ICT using official statistics", DSTI/IIS(2007)1, Paris.
- OECD**, 2009. "Science, Technology and Industry Scoreboard 2009", OECD, Paris.
- OECD**, 2010. "Are ICT Users More Innovative? An Analysis of ICT-Enabled Innovation in OECD Firms", DSTI/ICCP/IIS(2010)8/FINAL, OECD, Paris.
- Paré, G. and C. Sicotte**, 2004. "Les Technologies de l'Information et la Transformation de l'Offre de Soins", Cahier du Groupe de Recherche en Système d'Information, HEC Montréal, Vol.4, N°4, pp.1-25.
- Polder, M., G. P. Van Leeuwen, P. Mohnen and W. Raymond**, 2009. "Productivity effects of innovation modes", MPRA Paper No. 18893.
- Raymond, L. and St-Pierre, J.**, 2005. "Antecedents and performance outcomes of advanced manufacturing systems sophistication in SMEs". *International Journal of Operations and Production Management*, 25, 6, 514-533.
- Roussel, J.**, 2005. "Vers l'entreprise numérique", Gualino éditeur, Paris.
- Sapprasert, K.**, 2007. "The impact of ICT on the growth of the service industries", TIK Working Paper on Innovation Studies No. 20070531.
- Scherrer, B.**, 2007. "Biostatistiques", Gaëtan Morin, 2^{ème} éd.
- Schubert, P. and U. Leimstoll**, 2007. "Importance and Use of Information Technology in Small and Medium-Sized Companies", *Electronic Markets*, Vol. 17, No. 1, pp. 38-55.
- Siegel, S. and N. Castellan**, 1988. "Nonparametric statistics for the behavioral sciences", McGraw-Hill, 3rd ed.
- Simpson, M. and A. J. Docherty**, 2004. "E-commerce adoption support and advice from UK SMEs", *Journal of small business and enterprise development*, Vol. 11 Number 3, pp315-328.
- Solow, R. M.**, 1987. "We'd better watch out", New York Times, Book Review n°36.
- Stockdale, R. and C. Standing**, 2006. "A classification model to support SME ecommerce adoption initiatives", *Journal of small business and enterprise development* Vol. 13 Number 3pp 381-394.

UTILISATION DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DES COMMUNICATIONS (TIC)
ET PERFORMANCE ECONOMIQUE DES PME TUNISIENNES :
UNE ETUDE ECONOMETRIQUE

- Tan, K.S., S. C. Chong, B. Lin and U. C. Eze**, 2009. "Internet-based ICT adoption: Evidence from Malaysian SMEs", *Industrial Management and Data Systems* (109:2), 224-244.
- Tello, M. D.**, 2011. "Science and technology, ICT and profitability in the manufacturing sector in Peru", in Vergara, S., Rovira, S. and Balboni, M. (eds.) *ICT in Latin America: A Microdata Analysis*, ECLAC - United Nations, MPRA Paper No. 34598.
- Tsuji, M., T. Bunno, H. Idota, M. Ogawa, H. Miyoshi and Y. Ueki**, 2010. "An Empirical Analysis of Indices and Factors of ICT Use by Small and Medium-sized Enterprises in Japan", in Muhammed Karatas and Mustafa Zihni Tunca (eds.) *Sustainable Economic Development and Influence of Information Technologies: Dynamics of Knowledge Society Transformation*, Hershey, PA: IGI Global.
- Tufféry, S.**, 2010. "Data mining et statistique décisionnelle", Ed. Technip, 3ème Ed.
- UNCTAD**, 2008. "Measuring the Impact of ICT Use in Business: the Case of Manufacturing in Thailand". United Nations. New York and Geneva.
- Van Ark, B., M. O'Mahony and M. P. Timmer**, 2008. "The Productivity Gap Between Europe and the United States: Trends and Causes", *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 22(1). 25-44.
- Verhoogen, E.**, 2008. "Trade, Quality Upgrading, and Wage Inequality in the Mexican Manufacturing Sector", *The Quarterly Journal of Economics*, MIT Press, vol. 123(2), pages 489-530, 05.
- Welch, B.**, 1951. "On the comparison of several mean values: an alternative approach", *Biometrika*, 38.
- Zimmerman, D.**, 1996. "Some properties of preliminary tests of equality of variances in the two-sample location problem", *Journal of General Psychology*, 123.