

# Technologies de l'information et de communication et croissance économique dans des pays de MENA et Africains A l'épreuve des modèles non linéaires à seuil

## ICT and Economic Growth in MENA and Africans countries: Evidence from non –linear – threshold model

Mohamed Bouhari <sup>1</sup>

Laboratoire d'économie du développement durable, des ressources naturelles et agriculture (LEDDRNA)  
Faculté des Sciences Economiques et de Gestion de Tunis  
Université de Tunis El Manar – Tunis- Tunisie

---

**Résumé :** Cet article vise à évaluer l'impact de l'indice de développement des TIC sur la croissance économique dans la région du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord et dans les pays africains au cours de la période 2000-2020. Le modèle de régression à transition lisse en panel (PSTR) proposé par González et al. (2005) a été utilisé à cette fin.

Les résultats empiriques mettent en évidence l'importance du niveau d'indice de développement des TIC enregistré par chaque pays sur l'impact des TIC sur la croissance économique.

Pour les pays les moins avancés dotés de TIC, en dessous du seuil optimal de 2,1, l'impact du développement des TIC sur la croissance économique est négatif. Au-delà de ce seuil, l'impact est positif. En revanche, pour les pays dotés de TIC avancées, en dessous du seuil d'environ 3,88, la contribution du développement des TIC à la croissance économique est positive. Cependant, une fois ce seuil dépassé, cette relation s'inverse.

Ces estimations mettent en outre en évidence une autre forme de non-linéarité concernant l'ampleur de l'impact des TIC sur la croissance économique. Les pays les moins avancés en matière de TIC connaissent un phénomène connu sous le nom d'effet de saute-mouton, dans lequel la tendance de l'impact des TIC sur la croissance économique est continuellement à la hausse. Les estimations dynamiques de panel obtenues par la méthode des moments généralisés (GMM) démontrent une certaine robustesse de nos résultats.

**Mots-clés :** Développement des TIC, croissance économique, non-linéarité, panel à effet de seuil.

---

**Digital Object Identifier (DOI):** <https://doi.org/10.5281/zenodo.8381240>

---

<sup>1</sup> This work was sponsored by the Economic Research Forum (ERF) and has benefited from both financial and intellectual support. The views expressed in this work are entirely those of the author(s) and should not be attributed to ERF, its Board of Trustees or donors.

## 1. Introduction

Pendant des décennies, Internet, porteur de milliards de connexions et de communications, a été un moteur de changement profond dans la vie des entreprises, des particuliers et des institutions. Avec près de 5 milliards de téléphones portables dans le monde, les TIC sont de plus en plus utilisées pour produire des biens et améliorer les performances économiques. Cependant, leurs intérêts restent inégaux. En 2020, la révolution numérique a touché 5,3 milliards de personnes, soit 56 % de la population mondiale, dont 2,7 milliards n'avaient pas accès à Internet en raison de mauvaises connexions haut débit. Parmi les pays en développement, l'Afrique est la région la moins connectée des six continents, et le processus de diffusion est également inégal, la téléphonie mobile représentant plus de 80 % du total à fin 2021, contre seulement 43 % pour Internet.

Dans les pays développés, les preuves empiriques montrent que les TIC ont un impact positif sur la croissance économique grâce à une productivité accrue et des dépenses consacrées à la formation de capital et au changement organisationnel (Bloom et al. 2012 ; Banque Mondiale, 2016, Timmer et van Ark, 2005). Dans les pays en développement, cependant, la recherche empirique montre des résultats mitigés, bien qu'il y ait une tendance générale à soutenir une relation positive entre la pénétration des TIC et la croissance économique (Sridhar, K et Sridhar, V. 2004 ; Youssef et M'Henni, 2004).

Il est évident que les résultats des pays développés ne doivent pas être généralisés aux pays en développement. De nombreux facteurs y ont contribué. Premièrement, le faible volume de d'investissement d'infrastructures TIC et le manque de ressources humaines ne peuvent garantir la durabilité à long terme de la croissance économique (Dewan et Kraemer, 2000 ; Dedrick .J et al, 2013 ; Dimelis et Papaioannou, 2010 Zuhdi et al, 2012 ; Chavula, 2013). Selon Mwakatumbula et al (2019), les technologies déployées étaient inférieures aux prévisions en raison du manque d'infrastructures TIC. De nombreuses avancées technologiques dans le domaine des TIC ont été réalisées par et pour les sociétés alphabétisées. Ce manque de compréhension de l'utilisation des TIC est souvent ignoré. Par conséquent, la relation entre les TIC et la croissance économique doit être appréhendée d'une manière nouvelle qui prend en compte les trois dimensions de la fracture numérique : les disparités socio-économiques dans l'accès aux équipements et aux infrastructures, les TIC, les informations requises et le manque d'utilisation des TIC. Deuxièmement, les externalités des réseaux de communication suggèrent que l'impact des TIC peut également avoir un effet de seuil, en ce sens que les TIC ne commencent à avoir des

effets durables sur les pays que lorsqu'elles pénètrent dans une certaine mesure dans l'ensemble de l'économie (d'après Jean C. Kouam et al., 2022 et Albiman, M.M., & Sulong, Z., 2016, 2017).

Plusieurs auteurs ont mis en évidence la relation non linéaire entre accès à Internet et croissance (Ghosh, 2016 ; Qureshi et Najjar, 2017). Les avantages de l'utilisation des TIC mettent du temps à apparaître (Gómez-Barroso et al, 2020b). Plusieurs études ont documenté l'impact non intuitif des TIC sur la croissance économique à travers le comportement des effets de réseau (Gruber & Koutrompis, 2011 ; Hawash & Lang, 2010 ; Vu, 2011). Enfin, l'industrie des TIC n'est pas directement liée à l'économie nationale, car peu de pays en développement ont la capacité de produire de grandes quantités de TIC. En conséquence, l'investissement dans les TIC en pourcentage de la production nationale sera beaucoup plus faible mais plus élevé en termes de variables macroéconomiques. Par conséquent, les bénéfices de la croissance économique nous parviendront davantage à travers des variables macroéconomiques influencées par le volume d'investissement dans les TIC.

Plusieurs études ont documenté l'impact non intuitif des TIC sur la croissance économique à travers un comportement d'effet de réseau.

Cet article identifie les relations non linéaires entre le développement des TIC et la croissance économique dans 30 pays d'Afrique, du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord au cours de la période 2000-2020. En raison de données de séries chronologiques incomplètes et indisponibles, certains pays ont été exclus de cette étude qui s'est concentrée sur 30 pays, dont 13 situés dans la région MENA et le reste en Afrique. Trois raisons principales justifient la sélection de cet échantillon de pays.

. Premièrement, ces pays ont connu des difficultés à réaliser une transformation structurelle à travers une croissance tirée par l'industrie manufacturière. Cependant, grâce à la transformation numérique, ces pays ont les moyens de parvenir à une croissance structurelle à forte productivité, tirée par l'utilisation des TIC. Deuxièmement, dans l'échantillon sélectionné, certains pays africains n'ont pas encore achevé leur processus de développement des TIC, tandis que d'autres pays, comme ceux de la région MENA, ont bien progressé dans cette phase de développement approfondi des TIC. Troisièmement, en raison de séries de données incomplètes ou indisponibles, quelques pays ont été exclus de cette étude.

Cet article contribue à la littérature de plusieurs façons, en apportant des éléments aux connaissances existantes dans le domaine de l'événement numérique. Tout d'abord, elle se distingue des études précédentes par l'utilisation d'un indice de développement des TIC comprenant trois sous-indices distincts : Accès aux TIC, Utilisation des TIC et Compétences en TIC. Cet indice, permettant de déterminer le niveau de numérisation de la population d'un

pays, sert de variable d'intérêt et de transition. Les indicateurs de TIC comme l'Internet, les téléphones cellulaires, les lignes fixes et la large bande ont été utilisés séparément dans les calculs économétriques de la plupart des études empiriques. Ensuite, cet article est consacré à l'analyse des effets de seuil pour ce qui est de la relation entre la diffusion des TIC et la croissance économique, en utilisant la technique PSTR (Panel Threshold Regression) proposée par González et al. (2005). Enfin, cet article cherche à mettre en évidence un deuxième type de non-linéarité, portant sur l'ampleur de l'effet de l'indice de développement des TIC sur la croissance économique.

Après cette introduction, le reste de l'article est organisé ainsi. La deuxième section présente un rapide examen de la littérature théorique et empirique sur le lien entre le développement des TIC et la croissance économique. L'analyse des données et les méthodologies sont décrites à la troisième section, suivies des résultats empiriques, leurs interprétations et du test de robustesse à la quatrième section. Enfin, la cinquième et dernière section est réservée à la conclusion.

## **2. Revue de la littérature**

Afin de situer le cadre de notre étude, sera dressée une présentation générale des différentes synthèses relatives aux multiples conceptions théoriques et empiriques s'intéressant au rôle des TIC dans la simulation de croissance.

Dans la littérature économique, cinq canaux complémentaires de transmission des TIC sur la croissance sont reconnus : l'effet multiplicateur dû à l'investissement dans les TIC, l'effet « déflateur » sur l'inflation suite à la baisse des prix dans le secteur des TIC et leurs effets sur les autres domaines, l'effet « capital deepening » qui est associé à une augmentation de la productivité du travail, l'effet « qualité » qui est associé à l'amélioration des caractéristiques des TIC, et enfin, l'effet « productivité totale des facteurs » : une augmentation de la productivité qui découle de l'investissement dans les TIC. Ainsi, la diffusion des technologies de l'information peut avoir des effets durables sur la croissance potentielle de moyen à long terme, via les effets de substitution capital-travail et les gains de productivité multifactorielle et des effets plus transitoires de court à moyen terme liés à l'ajustement retardé des salaires sur les gains de productivité. Les TIC entrent dans l'offre économique sous forme de capital et améliorent le processus de production en approfondissant le capital et en produisant la technologie et la main-d'œuvre avec une avance de qualité. En conséquence, les TIC génèrent de la valeur ajoutée au niveau des entreprises et des secteurs, entraînant une augmentation de

la productivité et de la croissance économique au niveau national (Aghaei & Rezagholizadeh, 2017 ; Quah, 2002).

Plusieurs modèles ont été proposés dans la théorie. Au regard de l'approche du saut-technologique de Gerschenkron (1962), les auteurs défendent l'idée de contourner les étapes du processus d'accumulation des investissements et de développement des capacités humaines afin de réduire le retard (Steinmuller, 2001). Concernant la théorie des marchés contestables (Baumol et al., 1982), l'Internet aurait le potentiel d'augmenter la contestabilité des marchés et de les rendre plus concurrentiels (Goel et Hsieh, 2002). La théorie des coûts de transaction de l'innovation financière de Hicks et Niehans (1983), dérivée de la théorie des coûts de transaction de Coase (1937) et Williamson (1975), stipule qu'un climat propice au partage de l'infrastructure des TIC réduira la prévalence des imperfections dans le système économique, les asymétries d'information et l'instabilité des prix.

Parallèlement à ces avancées théoriques, plusieurs d'études empiriques portant sur la relation entre les TIC et la croissance économique ont été réalisées dans les pays développés et les pays en développement. Certaines ont analysé la relation linéaire entre les TIC et la croissance économique, d'autres ont apprécié les relations non linéaires en mettant en évidence les effets des TIC dans l'analyse de la croissance au travers d'effet de seuils.

S'agissant des travaux qui ont retenu le modèle linéaire, les résultats montrent un impact positif et significatif **des** TIC sur la croissance économique (Colecchia et Schreyer, 2002, Oulton, 2001, Toader et al. 2018, Fernandez-Portillo et al. 2020, Cioaca et al. 2020). Ces travaux ont utilisé séparément les différentes variables liées aux TIC comme la téléphonie fixe, la téléphonie mobile, l'Internet, l'investissement dans les TIC et le capital TIC.

L'étude de Qiang (2009), sur un échantillon de 120 pays, a montré que l'accroissement du taux de pénétration des téléphones mobiles de 10%, entraîne une augmentation de la croissance économique de 0,81% dans les pays en développement, contre 0,60% dans les pays développés. De la même façon, l'étude de Sridhar et al. (2007), sur un échantillon de 28 pays en développement, révèle que les lignes fixes et le téléphone mobile ont un impact positif et significatif sur la production nationale. Ces résultats corroborent également ceux de l'étude réalisée par Stanley et al. (2018) qui montre un effet important de la pénétration des téléphones mobiles sur la croissance du PIB. Quant à l'étude de Waverman et al. (2005), les résultats montrent un impact positif et significatif de la téléphonie mobile sur la croissance économique. Cet impact est potentiellement deux fois plus important dans les pays en développement que dans les pays développés.

D'autres études ont cherché le lien de causalité entre les TIC et la croissance économique. Vu (2011) indique que la pénétration des ordinateurs personnels, des téléphones portables et les internautes ont un effet causal sur la croissance économique. De plus, Pradhan et al. (2014) ont montré une relation causale bidirectionnelle entre le développement des infrastructures de télécommunications et la croissance économique à la fois dans des pays développés du G-20 et des pays en développement.

Quant aux travaux ayant établis une relation non linéaire entre les TIC et la croissance économique, les résultats indiquent un seuil à partir duquel les TIC ont un effet sur la croissance économique des pays. L'analyse est généralement basée sur le concept d'externalités de réseau de communication, ce qui suggère que l'influence des TIC sera plus grande que prévu en fonction de leur mode de communication apparent d'expansion. L'étude de Sassi et Goaid (2013) démontre que, dans les pays MENA, à mesure qu'un seuil d'internautes soit atteint, une croissance explosive apparaît. Jean C. Kouam et al. (2022) découvrent que les effets des bandes passantes fixes sur la croissance économique ne sont pas linéaires en Afrique. Ainsi, au-delà d'un certain pourcentage de foyers ayant accès à l'électricité (60 %), le téléphone fixe haut débit a un impact positif et significatif sur la croissance.

De la même manière, Albiman, M.M., & Sulong, Z. (2017) mettent en évidence des liens non linéaires entre les TIC et la croissance économique en Afrique subsaharienne. En utilisant des données pour 27 pays sur la période 1990-2014, les auteurs montrent que l'internet a un impact positif sur la croissance pour les trois groupes de pays (à revenu faible, intermédiaire et moyen), tandis que l'effet des autres indicateurs des TIC dépend de niveau de développement économique des pays. Les lignes téléphoniques fixes ont impact important sur la croissance économique pour les pays à revenu intermédiaire et moyen. Cet impact est négligeable pour les pays à revenu faible.

La recherche de Lee et al. (2012) sur 44 pays subsahariens au cours des années 1975-2006 ont démontré que l'augmentation du téléphone mobile est cruciale pour la croissance économique de la région, et que l'impact du téléphone mobile est encore plus important dans les pays qui utilisent les lignes fixes. En revanche, Wemboye et al. (2015) ont montré que les indicateurs des TIC (téléphones mobiles, accès Internet et lignes fixes) avaient une relation négative avec la croissance dans la région de l'Afrique subsaharienne. Cependant, cette relation est devenue positive et significative lorsque les taux des indicateurs ont doublé.

Dans cette optique, le présent article tente d'apporter un éclairage complémentaire aux travaux existants ayant capté l'effet de la relation non linéaire entre les TIC et la croissance économique.

### 3. Méthodologie et sources des données

En étudiant les effets du seuil de développement des TIC sur la croissance économique dans 30 pays d'Afrique et de la région MENA, cette étude considère le taux de croissance du PIB réel par habitant comme variable dépendante et l'indice de développement des TIC et ses trois composantes comme variable de seuil ou de transition.

Conformément à la littérature sur les déterminants de la croissance économique (Barro et Sala-i-Martin, 2003 ; Easterly et al., 2006 ; Anyanwu, 2014; Akobeng, 2016), on considère plusieurs variables de contrôle dont le taux d'ouverture commerciale, le taux d'inflation, les dépenses publiques et le crédit accordé au secteur privé.

Nous utilisons la méthode PSTR (Panel Smooth Threshold Regression) proposée par Gonzàlez et al. (2005). Cette méthode permet de modéliser des situations où le passage d'un régime à l'autre se fait progressivement (transition lisse). Ainsi, la fonction de transition sera, non pas une indicatrice, mais plutôt une fonction continue.

#### 3.1 Spécification du modèle

L'intérêt de modèle de régression de seuil est double. Premièrement, les coefficients des paramètres peuvent prendre différentes valeurs qui dépendent du régime. Deuxièmement, dans la mesure où la transition d'un régime à un autre est lisse, les coefficients peuvent changer graduellement (Villavicencio et Mignon, 2011). La méthode bootstrap est également utilisée pour tester la signification statistique de l'effet seuil.

Pour estimer l'effet non linéaire du développement des TIC sur la croissance économique  $y_{it}$  en fonction de l'indice de développement des TIC, nous estimons le modèle PSTR

$$y_{it} = \mu_i + \beta_1 Idi_{it-1} + \beta_2 Idi_{it-1} \Phi(Idi_{it-1}, \gamma, C) + \alpha x_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Avec  $\mu_i$  les effets fixes du pays et  $\varepsilon_{it}$  les résidus

$y_{it}$ ,  $Idi_{it-1}$  et  $x_{it}$  représentent respectivement la croissance économique, l'indice de développement des TIC retardée d'une période et un vecteur de variables de contrôle.

$\Phi(Idi_{it-1}, \gamma, C)$  est une fonction de transition. Elle dépend de la variable seuil  $Idi_{it-1}$ , de paramètre de seuil  $C$  et de paramètre de lissage  $\gamma$ .

Les coefficients  $\beta_1$  et  $\beta_2$  sont des vecteurs de paramètres du modèle spécifiant respectivement le paramètre de seuil  $C$  et le paramètre de lissage  $\gamma$ . Ils permettent de caractériser la transition entre les deux régimes s'il y a évolution de la non linéarité gouvernée par l'indice développement des TIC (variable de transition).

La méthode PSTR peut identifier une infinité de régimes, chacun décrivant un impact différent du développement des TIC sur la croissance économique, selon  $Idi_{it-1}$ . L'impact du développement des TIC sur la croissance économique est égal à  $\beta_1$  pour  $Idi_{it-1} \leq C$  alors qu'il est de  $\beta_1 + \beta_2$  pour  $Idi_{it-1} > C$ . On retrouve ainsi les deux régimes extrêmes du PTR.

La variable explicative d'intérêt est l'indice de développement des TIC (Idi). Ainsi, l'impact direct des variables TIC sur la croissance économique est donné par ( $\beta_1$ ) lorsque les niveaux de ces variables sont inférieurs ou égaux à C, et par ( $\beta_1 + \beta_2$ ) lorsque les niveaux de ces variables sont supérieurs à C.

Ce paramètre  $\gamma$  détermine la pente de la fonction de transition. Pour une seule fonction de transition ( $m = 1$ ), le modèle présente deux régimes extrêmes séparant les valeurs basses et hautes de  $Idi_{it-1}$  et une transition monotone du coefficient de  $\beta_1$  à ( $\beta_1 + \beta_2$ ) à mesure que  $Idi_{it-1}$  augmente.

A l'instar de Granger et Teräsvirta (1993) et González et al. (2005), nous retenons la fonction de transition logistique suivante :

$$\Phi(Idi_{i,t-1}, \gamma, c) = \left[ 1 + e^{\left( -\gamma \prod_{z=1}^m (Idi_{i,t-1} - c_z) \right)} \right]^{-1} \in [0,1] \quad \gamma > 0 \quad c_1 < \dots < c_m \quad (2)$$

Par contre, lorsque  $\gamma \rightarrow 0$ , la fonction de transition devient constante et l'estimation du PSTR se ramène à celle d'un panel à effets fixes individuels.

Compte tenu de l'effet seuil introduit par la fonction de transition  $\Phi(Idi_{i,t-1}, \gamma, c)$ , la sensibilité de la croissance par rapport au développement des TIC du pays  $i$  à la date  $t$  est

$$\text{donnée par l'expression suivante : } s_{it} = \frac{\partial y_{it}}{\partial Idi_{it-1}} = \beta_1 + \beta_2 \Phi(Idi_{it-1}, \gamma, C) \quad (3)$$

L'équation (3) ci-dessus illustre comment la variable dépendante sensible à la variable explicative peut être considérée comme une combinaison des coefficients  $\beta_1$  et  $\beta_2$  obtenus dans les deux régimes extrêmes. Pour définir la fonction de transition, la condition suivante doit être remplie :

Si le coefficient  $\beta_2 < 0$  la sensibilité  $s_{it}$  s'écrit :  $\beta_1 + \beta_2 < s_{it} < \beta_1$ . Si le coefficient  $\beta_2 > 0$  la sensibilité  $s_{it}$  s'écrit :  $\beta_1 < s_{it} < \beta_1 + \beta_2$

Ainsi, l'impact direct de développement des TIC (variable d'intérêt) sur la croissance économique (variable endogène) est  $\beta_1$  pour les pays caractérisés par un indice de

développement des TIC inférieur au seuil et  $(\beta_1 + \beta_2)$  pour les pays caractérisés par un indice de développement des TIC supérieur au seuil.

### 3.2 Estimation des paramètres du modèle PSTR

Pour estimer le modèle PSTR, Colletaz et Hurlin (2006) et Fouquau et al. (2008) suggèrent une procédure en quatre étapes. Dans la première étape, il s'agit de tester le modèle linéaire contre un modèle à effets de seuils avec un minimum d'une fonction de transition. Si le modèle linéaire est rejeté, nous testons dans la deuxième étape, le nombre de fonctions de transition à admettre dans le modèle. Nous testons d'une manière itérative le nombre de fonctions possibles et la procédure s'arrête quand l'hypothèse alternative est rejetée. Dans la troisième étape, nous déterminons le nombre de seuils( $m$ ). Enfin, dans la quatrième étape nous estimons les paramètres du modèle PSTR par les moindres carrés non linéaires (NLS).

Le test de linéarité dans le modèle PSTR (l'équation 1) consiste à tester  $H_0 : \gamma = 0$  ou  $H_0 : \beta_2 = 0$ .

A la suite de González et al. (2005), Colletaz et Hurlin (2006) et Fouquau et al. (2008) proposent des statistiques de tests basés sur le Multiplicateur de Lagrange de Wald et sa version de Fisher et sur le Ratio de Vraisemblance.

Le test LM de Wald peut être écrit comme suit :  $LMW = \frac{NT(SCR_0 - SCR_1)}{SCR_0}$  (4) où

$N$  est le nombre de pays,  $T$  le nombre d'années ;  $SCR_0$  est la somme des carrés des résidus d'un modèle linéaire avec effets individuels et  $SCR_1$  la somme des carrés des résidus du modèle PSTR avec deux régimes.

Sous l'hypothèse nulle, la statistique LM de Wald est distribuée suivant une loi chi – deux à  $k$  degrés de liberté où  $k$  est le nombre de variables explicatives. Cependant, lorsque l'échantillon est de petite taille, González et al. (2005) proposent d'utiliser le test de Fisher

défini comme suit :  $LMF = \frac{\left( \frac{SCR_0 - SCR_1}{m} \right)}{\left( \frac{SCR_0}{TN - N - mk} \right)}$  (5)

Cette statistique est distribuée sous l'hypothèse nulle suivant une loi de Fisher  $F(mk, TN - N - m)$ . Ce test permet de rejeter ou non l'hypothèse de linéarité au profit d'un modèle PSTR, mais également de déterminer une variable de transition « optimale » parmi un ensemble de variables potentielles.

Selon González et al. (2005), la variable de transition optimale est celle qui minimise la p-value du test de linéarité. Finalement, le test du Ratio de vraisemblance dont la distribution suit une loi de chi-deux à k degrés de liberté est exprimé de la manière suivante :

$$LRT = -2[\log(SCR_1) - \log(SCR_0)] \quad (6)$$

Pour déterminer le nombre de fonctions de transition ou de manière équivalente le nombre de régimes dans le modèle, le test de non-linéarité résiduelle est effectué. Dans ce test, l'hypothèse nulle d'un modèle PSTR à une seule fonction de transition ( $H_0 : r = 1$ ) est confrontée à l'hypothèse alternative d'un modèle PSTR possédant au moins deux fonctions de transition ( $H_0 : r = 2$ ).

Parmi ces trois statistiques de test, on peut se contenter de la statistique proposée par Gonzalez et al. (2005), une statistique de test basée sur le Multiplicateur de Lagrange (LM) et sa version de Fisher (LMF).

### 3.3 Données du modèle

Les statistiques que nous utilisons couvrent la période de 2000 à 2020 et sont celles publiées par la Banque Mondiale et l'Union Internationale des télécommunications. Nous choisissons le taux de croissance de produit intérieur brut réel par habitant comme étant la variable expliquée. La variable explicative est l'indice de développement des TIC (Idi).

Nous retenons cinq variables de contrôle. La première est la variable retardée du taux d'accroissement du PIB réel. La deuxième, le ratio crédit domestique au secteur privé/PIB (crédit) permet de capter le développement du secteur financier.

L'ouverture commerciale (Ouv), approximée par les flux d'exportations et d'importations, est la troisième variable. La libéralisation du commerce international dans les pays de l'échantillon est de plus en plus observée (Kremer et al. 2013). Cette variable affecte la croissance économique en augmentant le revenu par habitant, compte tenu de son effet sur les télécommunications. La quatrième variable est le taux d'inflation (inflation). Une inflation élevée peut contribuer à détériorer la compétitivité-prix conduisant à des effets négatifs sur la croissance économique. Les dépenses publiques (Dépense) constituent notre cinquième variable. Le sens de la relation entre les dépenses publiques et la croissance économique ne fait pas consensus dans la littérature. En effet, les travaux empiriques montrent que les dépenses publiques peuvent influencer la croissance économique négativement ou positivement en fonction de la nature et de la qualité des dépenses publiques (Gupta et al., 2005) ou du seuil des dépenses publiques (Mondjeli, 2015).

➤ **L'Indice de développement des TIC (Idi)**

Cet indice comprend trois dimensions qui représentent de manière globale la dynamique des incidences économiques et sociales produites par les TIC

Dans ce papier, la méthode utilisée afin de normaliser les indicateurs et les regrouper est la même que celle est utilisée par l'UIT (voir encadré en annexe). L'indice de développement des TIC proposé dans ce travail (Idi) répond au même objectif que l'Idi calculé par l'UIT pour évaluer le niveau de développement des TIC des pays. Cet indice comprend trois composantes : infrastructure TIC, utilisation TIC et compétences en TIC. Il est mesuré sur une échelle de 0 (faible développement des TIC) à 10 (fort développement des TIC). Il est composé de 11 indicateurs. Sans perte de généralités, cinq indicateurs ont été exclus en raison de la qualité insuffisance des données. Au lieu d'exclure un pays en raison de la faible disponibilité des données nous avons préféré de calculer un score d'indice agrégé fondé sur une petite quantité de données<sup>2</sup>.

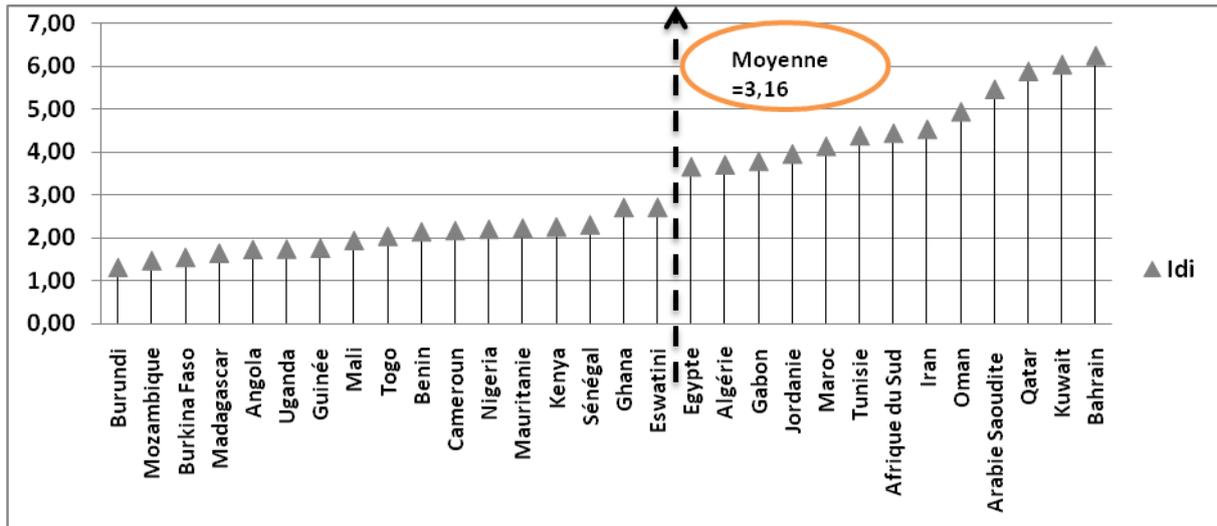
L'analyse comparative de l'indice Idi se fait par pays (fig1), par année (fig2) et par composantes (fig3).

S'agissant de l'analyse des valeurs de développement des TIC par pays, le classement montre des écarts de développement des TIC entre les pays de MENA et les pays africains. Des pays à revenus élevés de la région MENA se démarquent avec des valeurs Idi relativement élevées. Les quatre pays du Golfe (Bahreïn, Kuwait, Qatar, l'Arabie Saoudite), affichent une valeur Idi moyenne de 6,4 qui dépassent la moyenne mondiale de 4.77.

Des pays de la région Afrique occupent invariablement les dernières places du classement Idi, la moyenne s'établissant à seulement 1.69, soit presque trois fois moins. L'indice Idi pour l'Afrique est le plus faible, avec seulement cinq pays – l'Afrique du Sud (4.4), la Tunisie (4.38), le Maroc (4.13), le Gabon (3.79) et l'Algérie (3.71) dépassant la moyenne mondiale de 4.77. Le Guinée, Angola, Mozambique, Burundi et Burkina Faso, figuraient parmi les pays les moins connectés avec une valeur Idi moyenne de 2.

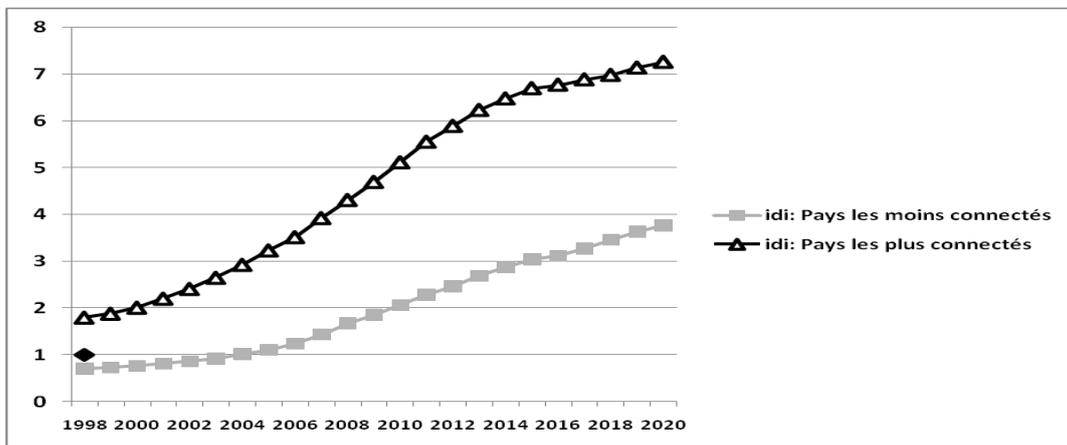
---

<sup>2</sup> L'indice Idi est divisé en trois sous-indices — accès, utilisation et compétences — chacun d'eux reflétant différents aspects et composantes du processus de développement des TIC. L'indicateur lié aux compétences en matière de TIC comprend le taux brut de scolarisation dans le primaire, le secondaire et le supérieur. L'indicateur lié à l'accès aux TIC regroupe le nombre d'abonnements à la téléphonie fixe pour 100 habitants et le nombre d'abonnements au cellulaire mobile pour 100 habitants. L'indicateur lié à l'utilisation des TIC comprend le pourcentage de particuliers utilisant l'Internet.



**Figure 1: Indice de développement des TIC (Idi) dans les différents pays de l'échantillon. (Moyenne de 2000 à 2020)**

La figure 2 représente l'évolution de l'indice de développement des TIC de deux groupes de pays entre 2000 et 2020. L'observation de cette figure permet de constater que l'indice Idi fluctue constamment tout en ayant une tendance à la hausse. Cette hausse s'explique sans doute par l'intérêt porté à la diffusion des TIC. L'indice Idi n'a cessé d'augmenter, plus que pour le groupe de pays le plus connectés (les pays de MENA), ce qui semble indiquer que le niveau de développement du pays détermine de plus en plus le développement des TIC.



**Figure 2: Evolution de l'Indice de développement des TIC (Idi) pour les deux groupes des pays de l'échantillon de 2000 à 2020**

Quant au classement des indicateurs TIC par année, la figure 3 montre que les TIC poursuivent leur essor dans les pays de l'échantillon, permettant à un nombre croissant de personnes d'être connectées. Même si les deux groupes de pays reconnaissent l'importance

des TIC pour le développement économique, un fossé persiste entre eux en ce qui concerne le niveau de développement de ces technologies.

Comme en témoigne la progression de ces trois sous indices (accès, utilisation et compétences), les TIC ont continué à se développer de manière constante à travers ces pays. En effet pour toute la période, l'indice Idi a augmenté en moyenne de 5,42%.

Le sous-indice utilisation a grimpé de 22,61% contre 9,85% pour le sous-indice accès. Cette tendance s'explique en partie par le fait que les valeurs de départ sont plus faibles dans les pays africains, mais elle reflète également l'adoption rapide de services TIC tels que l'Internet et le mobile. En effet, les pays les plus dynamiques du classement (ceux dont la valeur de l'indice Idi ou le classement a évolué à un rythme supérieur à la moyenne sont majoritairement des pays à revenus élevés. Une autre explication consiste à dire que le sous-indice des compétences est déjà élevé dans la plupart des pays, alors que les sous-indices accès et utilisation sont nettement inférieurs, tout en sachant que de nombreux pays continuent à faire des progrès en matière d'utilisation des TIC. De manière générale, les indices d'accès aux TIC augmentent plus rapidement que les indices d'utilisation des TIC.

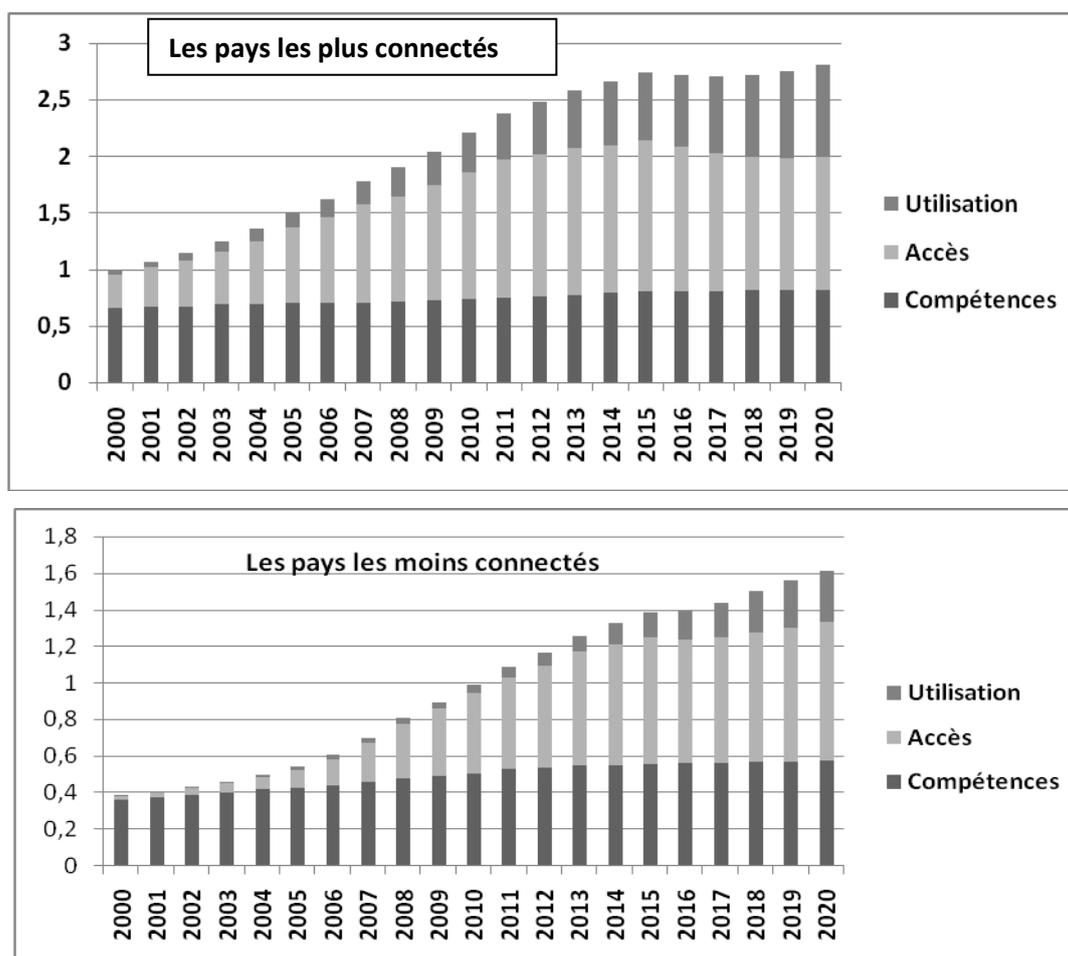


Figure 3: Evolution du secteur des TIC dans le monde

### ➤ Le taux de croissance du PIB par habitant

La figure 3 montre que les taux de croissance ont suivi une courbe en dents de scie tout en restant faibles et parfois même négatifs. L'évolution des taux de croissance du PIB réel dans les pays de l'échantillon est instable et fluctuante, et les tendances ne peuvent être décrites dans la plupart des cas. En moyenne, dans les pays africains, le taux est passé de 1,6 % en 2000 à -1,96 % en 2009, à 2,34 % en 2011, puis à -3,02 % en 2020. Les taux de croissance dans les pays MENA sont inférieurs à ceux de certains pays africains.

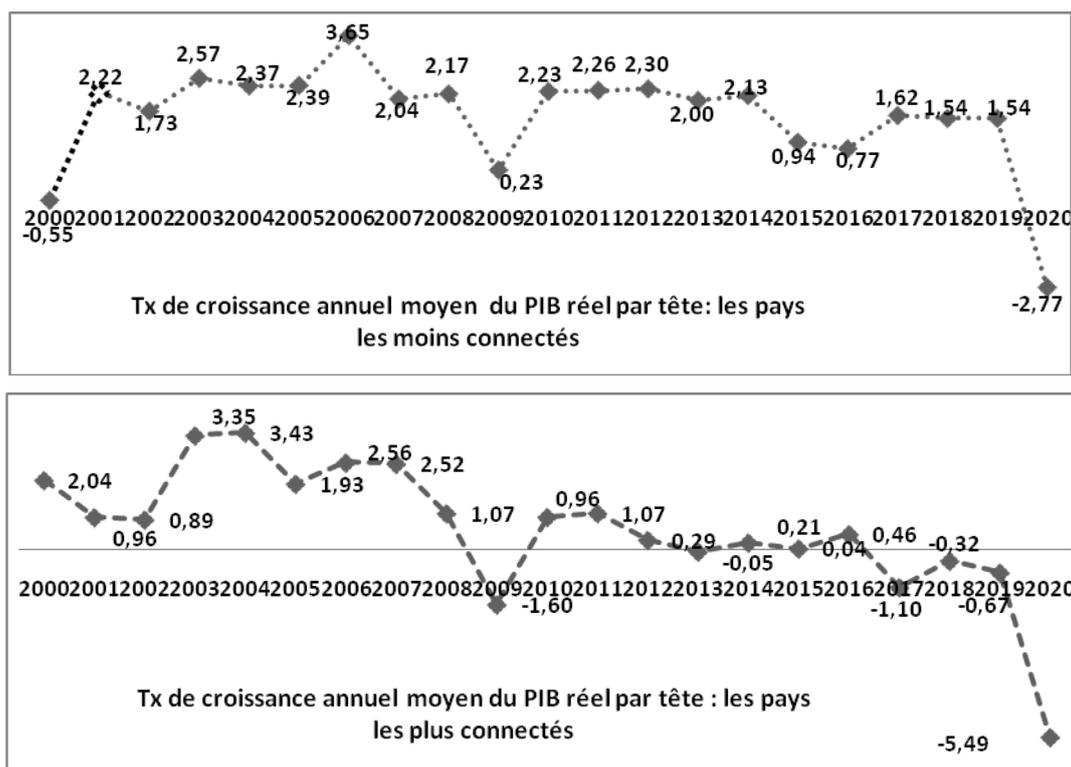


Figure 4 : Evolution du taux de croissance du PIB réel/tête dans les pays de l'échantillon

### 3.4 Analyse descriptive des variables du modèle

L'analyse des données nous a amené à identifier deux groupes de pays, les plus avancés dans les TIC et les moins avancés. A la suite de cette identification, nous présentons alors la statistique descriptive des deux groupes de pays. Les résultats de ces analyses sont compilés dans le tableau 8 en annexe, duquel plusieurs enseignements peuvent également être tirés. D'abord, on constate que chaque régime contient au moins 45% du total des observations. Ainsi, l'inférence statistique et économétrique est applicable car pour chaque régime, les données permettent d'obtenir des tests concluants et des estimations assez cohérentes. Ensuite, sans aller dans les détails, il y a bien une différence fondamentale entre les deux régimes en ce qui concerne les variables macroéconomiques comme l'inflation, les crédits

accordés au secteur privé, les dépenses de consommation et le taux d'ouverture. Enfin, le taux de croissance moyen n'est pas relativement stable dans les deux régimes. Le ralentissement se fait sentir essentiellement dans les pays MENA où les principales économies sont plus étroitement intégrées aux marchés mondiaux que dans la plupart des autres pays d'Afrique. Les pays africains exportateurs de pétrole maintiennent leur croissance malgré la baisse des prix du pétrole, grâce aux ressources obtenues pendant les périodes précédentes.

Avant de procéder à l'analyse économétrique, nous étudions la stationnarité des séries en ayant recours aux tests d'Im, Pesaran et Shin (IPS) (2003) et au test de Levin, Lin et Chu (LLC) (2002).

Les tests IPS et LLC ont permis d'obtenir deux principaux résultats (voir le tableau 9 en annexe). D'après le premier résultat, les variables taux de croissance du PIB, inflation et ouverture commerciale sont stationnaires en niveau. En effet, les valeurs des tests sont supérieures aux valeurs critiques à 1 %.

S'agissant du deuxième résultat, les autres variables, à savoir crédit et ouverture commerciale ne sont pas stationnaires en niveau. Toutefois, il convient de mentionner que pour la variable ouverture commerciale, les deux tests aboutissent à des conclusions différentes. Nous retenons les résultats du test IPS dans la mesure où ce dernier corrige l'homogénéité de la racine autorégressive dont souffre le test LLC. Après l'analyse de ces résultats, nous procédons aux tests statistiques et économétriques sur nos données.

## 4. Résultats

Cette section expose les résultats de l'estimation de la relation entre le développement des TIC et la croissance économique. D'abord, en utilisant comme variable de transition l'indice de développement des TIC, on étudie les tests de non linéarité et on détermine le nombre de régime. Ensuite, on présente les résultats de l'estimation du modèle PSTR par les moindres carrés non linéaires (NLS). Enfin, on teste la robustesse des résultats précédents en estimant à nouveau une équation de croissance non linéaire en fonction du développement des TIC à l'aide de la méthode des moments généralisés (GMM) sur panel dynamique (Arellano et Bond, 1991, Arellano et Bover, 1995 et Blundell et Bond, 1997).

### 4.1 Résultats du test de linéarité et du nombre de régimes

La première étape consiste à tester la linéarité par rapport au modèle PSTR en utilisant l'indice de développement des TIC comme variable de transition. Les résultats du test de linéarité sont obtenus à partir de la statistique de Fisher. Le résultat est reporté dans le tableau

1 ci-après. Ce tableau montre que le test de linéarité conduit clairement à rejeter l’hypothèse nulle de linéarité du modèle par rapport à une spécification PSTR. Le test LMF conduit au rejet de l’hypothèse nulle au seuil critique de 5 %. Ce résultat confirme la non-linéarité de la relation entre la croissance économique et l’indice de développement des TIC dans les pays de l’échantillon.

**Tableau 1 : Test de linéarité**

<b>H0 : Modèle linéaire</b>		
<b>Ha : Modèle PSTR avec au moins une variable seuil</b>		
	<b>Les pays les plus avancés dans les TIC</b>	<b>Les pays les moins avancés dans les TIC</b>
<b>Test de Fisher LM</b>	<b>4.25</b>	<b>4.52</b>
	<b>P-value=0,039</b>	<b>P-value=0,033</b>

Sachant que l’hypothèse de linéarité est rejetée, la deuxième étape consiste à déterminer le nombre optimal de fonctions de transition nécessaires pour capturer toute la non-linéarité. Les tests de spécification de l’absence de non linéarité résiduelle conduisent à l’identification du nombre de régimes. Les résultats de ces tests sont présentés dans le tableau 2 ci-après. L’hypothèse nulle (H0) est acceptée pour un seuil critique de 5 %. Par conséquent, il existe une seule fonction de transition et deux régimes de développement des TIC. Ce résultat traduit l’idée selon laquelle la non-linéarité de la relation développement des TIC -croissance économique dans les pays de l’échantillon donne lieu à la détermination d’un seuil d’indice de développement des TIC. Ainsi le développement des TIC aurait, jusqu’à un certain niveau, au-delà de seuil, une influence soit négative, soit positive sur la croissance économique.

**Tableau 2: Test du nombre de régime**

		<b>Test de l’effet de seuil</b>				
		<b>Les pays les plus avancés dans les TIC</b>				
		<b>Fstat</b>	<b>P-value</b>	<b>10%</b>	<b>5%</b>	<b>1%</b>
<b>Modèle unique</b>	<b>à seuil</b>	<b>19.49***</b>	<b>0,03</b>	<b>13.34</b>	<b>16.46</b>	<b>20.64</b>
<b>Modèle à double seuil</b>	<b>à double seuil</b>	<b>3.2</b>	<b>0.68</b>	<b>12.34</b>	<b>13.96</b>	<b>17.78</b>
		<b>Test de l’effet de seuil</b>				
		<b>Les pays les moins avancés dans les TIC</b>				
		<b>Fstat</b>	<b>P-value</b>	<b>10%</b>	<b>5%</b>	<b>1%</b>
<b>Modèle unique</b>	<b>à seuil</b>	<b>18.26**</b>	<b>0.05</b>	<b>16.2198</b>	<b>17.8431</b>	<b>26.9486</b>
<b>Modèle à double seuil</b>	<b>à double seuil</b>	<b>7.79</b>	<b>0.62</b>	<b>17.5936</b>	<b>18.8581</b>	<b>23.2099</b>

Note: Le niveau de significativité est donné par \*\*\* (1%), \*\* (5%) et \*(10%)

La lecture du tableau 3 permet de montrer que l'indice de développement des TIC optimal se situe autour de 2.87 pour les pays les moins avancés dans les TIC et autour de 4.55 pour les pays les plus avancés dans les TIC.

Tableau 3: Valeurs estimées du seuil

Coefficients	Valeurs estimées	Intervalle de confiance 95%
$\hat{\gamma}_1$ Idi	2.87	[2.76 2.89]
<b>Les pays les moins avancés</b>		
$\hat{\gamma}_2$ Idi	4.55	[4.36 4.61]
<b>Les pays les plus avancés</b>		

#### 4.2 Examen empirique de la non-linéarité à l'aide d'un modèle PSTR par les moindres carrés non linéaires (NLS)

Les paramètres estimés du modèle PSTR sont consignés dans le tableau 4. Notons que dans les modèles PSTR, les coefficients de pente ne sont pas directement interprétables. Cependant, les signes des coefficients de pente ( $\beta_1$ ) indiquent le sens de la relation entre la variable explicative et la variable expliquée en fonction de la variable de transition. Un signe positif de ( $\beta_2$ ) indique que lorsque la variable de transition augmente, les coefficients des pentes associés croissent.

Pour les pays les plus connectés, les résultats présentés dans la colonne 1 montrent que le coefficient  $\beta_1$  est positif et significatif alors que le coefficient  $\beta_2$  est négatif.

Pour les pays les moins connectés avant un seuil qui se situerait autour de 2.10, la relation entre les TIC et la croissance est négative. Au deçà de ce seuil, il apparaît une relation positive et significative entre les TIC et la croissance économique (colonne 2).

Les résultats des estimations des modèles PSTR nous permettent de calculer l'effet marginal de développement des TIC sur la croissance économique. L'effet marginal de la variable développement des TIC pour le pays  $i$  au temps  $t$  est défini par la moyenne pondérée des paramètres  $\beta_1$  et  $\beta_2$  obtenus dans les régimes extrêmes.

D'après l'équation (3), la sensibilité est comprise entre 0.021 et 0.806 pour les pays les plus connectés. En effet, pour ce groupe, au-delà d'un seuil (3.88), plus un pays avance dans le développement des TIC, moins il bénéficie de ses investissements.

Pour les pays les moins avancés dans les TIC, la sensibilité est comprise entre -1.67 et -0.54. Pour ce groupe, l'effet marginal de développement des TIC est initialement négatif et devient

de moins en moins négatif. L'indice de développement des TIC semble avoir un effet négatif mais qui s'atténue lorsque le pays investit plus dans les TIC.

Les signes des variables de contrôle ne sont pas toutes conformes aux prédictions théoriques. Ainsi, le taux d'inflation a un impact négatif sur la croissance mais il est peu significatif pour les pays les plus avancés tandis que l'effet du taux d'ouverture est positif et significatif pour les deux groupes de pays. Par ailleurs, le coefficient du crédit accordé au secteur privé est négatif peu significatif pour les deux groupes de pays.

Le coefficient associé au ratio au PIB des dépenses gouvernementales est significatif. Il est négatif pour les pays les plus connectés et positif pour les pays les moins avancés. Scully (1989) montre que l'effet négatif sur l'impact de l'accroissement des dépenses publiques dans l'économie sur la croissance, provient d'une moindre efficacité du secteur public.

**Tableau 4. Estimation du modèle PSTR à deux régimes**

	Les pays les plus connectés	Les pays les moins connectés
	(1)	(2)
$\beta_1$	0.802***	-1,67***
$\beta_2$	-0.781***	1,13***
Paramètre de lissage $\gamma$	4.55	2,87
Paramètre seuil : c	3.88***	2,10***
Taux d'inflation	-0.004	-0,038***
Taux d'ouverture	0.032***	0,043***
Dépenses gouvernementales	-0.125**	0,104*
Crédit accordé au secteur privé	-0.02	-0,033
Nombre d'observation	208	323
Nombre de groupe	13	17
LMF nullité Chi 2(1)	4.25	4.52
P-value	0.039	0.033
Sensibilité	0.021 < $s_{it}$ < 0.806	-1.67 < $s_{it}$ < -0.54
La période	2000 - 2020	2000 - 2020

Note: Le niveau de significativité est donné par \*\*\* (1%), \*\* (5%) et \*(10%).

Le signe de  $\beta_1$  matérialise l'orientation de la sensibilité des variables dans un régime d'Idi faible. Le signe de  $\beta_2$  matérialise l'orientation de la sensibilité des variables dans un régime d'Idi élevé.

Source : Calculs de l'auteur, extraits de STATA 15

Dans l'ensemble, ces résultats soulignent l'importance du développement des TIC pour la croissance économique, même si ces effets sont dépendants du niveau de développement des TIC. Trois principales conclusions peuvent être tirées de ces résultats.

Premièrement, nos résultats empiriques apportent une dimension supplémentaire à la relation non linéaire entre le développement des TIC et la croissance économique, dans la mesure où

l'influence du développement des TIC s'avère également non linéaire dans son ampleur. Plus le niveau de développement des TIC est élevé, plus l'effet marginal de l'indice de développement des TIC est faible.

Pour les pays les moins avancés, en dessous du seuil de 2.10 (régime de faibles TIC), toute augmentation des TIC entraîne une réduction de la croissance économique. Au-dessus de ce seuil, ces pays peuvent encore bénéficier d'un gain de croissance consécutif à une augmentation des TIC. Pour les pays les plus avancés dans les TIC, au-dessous du seuil de 3.88 (low-ICT regime), toute augmentation des TIC entraîne une augmentation de la croissance économique. Au delà de ce seuil, ils ne bénéficient pas suffisamment d'un gain de croissance résultant d'une augmentation des TIC.

Deuxièmement, le développement des TIC affecterait davantage la croissance économique dans les pays les moins avancés dans les TIC. Deuxièmement, le développement des TIC a un impact plus important sur la croissance économique dans les pays les moins avancés en la matière. Ce phénomène est connu sous le nom de "leapfrogging", qui désigne la capacité d'un pays en développement à "sauter" des technologies moins efficaces au cours de son développement. En raison de la baisse du coût des technologies à haut rendement, il devient de plus en plus possible de faire ce saut, ce qui contribue à stimuler le développement économique. Troisièmement, trois des quatre variables de contrôle expliquent significativement la croissance économique et les signes sont conformes à la littérature. Les dépenses publiques influencent significativement la croissance économique dans les deux groupes de pays bien que présentant un signe positif pour les pays les moins avancés et un signe négatif pour les pays les plus avancés. L'ouverture commerciale joue un rôle important dans la croissance économique.

En somme, nos résultats empiriques confirment la thèse selon laquelle la relation entre le développement des TIC et la croissance économique n'est pas linéaire. Jean C. Kouam et al (2022) apportent de nouvelles preuves en faveur des liens entre les TIC et la croissance économique. Ces auteurs se sont intéressés à la recherche d'un effet de seuil dans l'analyse de la relation entre l'électricité, le développement des TIC et la croissance économique. Il ressort qu'il existe un seuil d'accès à l'électricité au-delà duquel l'influence de la diffusion des TIC (connexion fixe à large bande) devient considérable sur la croissance.

Les effets du développement des TIC sur la croissance sont plus précisément conditionnés par la proportion de la population ayant accès à l'électricité. Au-dessus du seuil de 60%, la croissance économique augmenterait de 2,43%, alors que les abonnements au haut débit fixe augmenteraient de 1%.

### 4.3 Les tests de robustesse : Etude de la non-linéarité avec la méthode des moments généralisés

Nous testons la robustesse des résultats précédents en estimant à nouveau une équation de croissance non linéaire en fonction du développement des TIC à l'aide de la méthode des moments généralisés (GMM) sur panel dynamique (Arellano et Bond, 1991, Arellano et Bover, 1995 et Blundell et Bond, 1997). Cette méthodologie présente entre autres l'avantage de contrôler les biais d'endogénéité liés aux indicateurs de développement des TIC et aux autres variables de contrôle. L'inconvénient c'est qu'elle ne permet pas de représenter une transition lisse.

L'équation de la régression se présente alors sous la forme suivante :

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_1 Idi_{it} + \beta_2 Idi_{it}^2 + \beta_3 X_{it} + \mu_{it} \quad (7)$$

$\mu_{it}$  et  $X_{it}$  représentent respectivement le terme d'erreur, les autres variables étant définies précédemment. L'équation (7) inclut la variable  $Idi$  au carré, qui tient compte des non-linéarités dans l'équation de croissance. Cette norme permet également que l'effet marginal du secteur des TIC sur la croissance dépende du niveau de développement des TIC.

La méthode de détection est basée sur l'utilisation de variables retardées. Le niveau de développement des TIC pouvant être considéré comme endogène, nous utilisons comme instrument des valeurs décalées de la deuxième période, tandis que d'autres variables supposées faiblement exogènes (au sens d'Arellano et Bond, 1991) seront l'instrumentation commence par le premiers prix. L'expression du taux de croissance du développement des

$$\text{TIC est : } \frac{\partial y_{it}}{\partial Idi_{it}} = \beta_1 + 2\beta_2 Idi_{it} = 0 \Rightarrow Idi_{it}^* = -\frac{\beta_1}{2\beta_2}$$

L'effet marginal du développement des TIC sur la croissance est linéaire dans le modèle quadratique ; il reflète une perte d'information par rapport au modèle PSTR, où l'élasticité est une fonction non linéaire du développement des TIC.

Les différents seuils de changement de signe dans la relation entre le développement des TIC et la croissance économique sont présentés dans le Tableau 5, en fonction du modèle testé.

La spécification GMM permet par ailleurs de mettre en évidence un seuil égal à

$$\frac{\beta_1}{-2\beta_2} = 5.97 \text{ pour les pays les plus connectés et } 2.40 \text{ pour les pays les moins connectés.}$$

Pour les pays les moins avancés, l'estimation en GMM montre d'une part que l'indice  $Idi$  est significativement positif. D'autre part, la variable  $Idi$  au carré est négative et significative, ce qui suggère l'existence d'une relation en cloche entre le développement des TIC et la croissance économique.

Ce résultat confirme celui de Ishnazarov Akram et al. (2021), qui ont montré de manière spécifique que les trois variables (utilisateurs d'Internet, utilisateurs de téléphones mobiles et nombre de serveurs sécurisés) ont une relation non linéaire (en forme de U inversé) avec la croissance économique. Par exemple, le point d'inflexion pour l'internet est de 30 %. Cela signifie que la pénétration de l'internet a un effet positif sur la croissance économique jusqu'à ce que la part de la population utilisant Internet atteigne 30 %. Une fois que la pénétration de l'internet dépasse ce seuil, la poursuite du développement des TIC entrave la croissance économique.

Pour les pays les plus avancés, l'estimation en GMM montre d'une part que l'indice Idi est significativement négatif. D'autre part, la variable Idi au carré est positive et significative, ce qui suggère l'existence d'une relation en U entre le développement des TIC et la croissance économique.

Malgré les efforts d'investissement dans les TIC, ces seuils montrent que les pays africains accusent un retard en matière de progression numérique. Ces résultats corroborent ceux de Banga et Velde, (2018), Melia (2020) et Yoon (2020) selon lesquels les pénuries de compétences numériques et les déficits dans l'infrastructure des TIC constituent un obstacle à l'appropriation des technologies digitales.

En analysant les variables de contrôle, on constate qu'elles ont toutes un effet négatif, à l'exception de la variable du taux d'ouverture. Le paramètre d'ajustement associé au retard de la variable dépendante est positif mais non significatif.

Tableau 5. Résultats de régression par le GMM

Variable expliquée	(1)	(2)
Txcroi	Les pays les plus avancés	Les pays les moins avancés
Txcroi(-1)	0.063	0.091
Idi	-3.015***	2.56***
Idi2	0.252***	-0.533***
Taux d'inflation	-0.102*	-0.155***
Crédit accordé au secteur privé	-0,049	-0,276***
Taux d'ouverture	0.095***	0,024
Dépenses gouvernementales	-0.325***	0,106
Constante	8.82*	1.83
Sargan P-value	0.000	0.003
Nombre d'instruments	62	62
Nombre d'observations	247	323
Nombre de groupes	13	17
Seuil	5.97	2.40

Note: Le niveau de significativité est donné par \*\*\*(1%), \*\* (5%) et \*(10%).

Dans les colonnes 1et 2, toutes les variables sont considérées comme des instruments.)

La statistique de Sargan teste l'hypothèse nulle de non corrélation entre les instruments et les résidus.

Comme on peut le constater, les seuils d'inversion de signe sont différents, étant donné la contrainte imposée par le modèle quadratique sur l'effet marginal. La spécification GMM permet par ailleurs de mettre en évidence un seuil pour l'indice Idi. Au dessous du seuil, la variable TIC impacte positivement la croissance économique et au-dessus du seuil, elle a des effets contre-productifs sur la croissance. Comme le soulignent Ishnazarov Akram et al (2021), ces résultats démontrent l'existence d'un effet de saute-mouton (leapfrogging effect). Les pays dont l'infrastructure TIC est moins développée peuvent progresser rapidement grâce à l'adoption de technologies modernes en évitant toutes les étapes intermédiaires.

Dans l'ensemble, nos résultats confirment la présence d'effets de seuil dans la relation entre le développement des TIC et la croissance économique dans tous les pays de la région MENA et d'Afrique. Cependant, la plupart des pays africains ont des niveaux de développement des TIC inférieurs aux niveaux optimaux, ce qui indique qu'ils sont très en retard en termes de maturité numérique.

## 5. Conclusion

Dans cet article, nous avons utilisé le modèle PSTR pour déterminer le niveau optimal de l'indice de développement des TIC. Le modèle a été estimé sur la base des données de 2000 à 2020 pour 30 pays MENA et pays africains. L'approche adoptée diffère de l'abondante littérature empirique et théorique, qui suppose une relation linéaire entre la croissance économique et le développement des TIC.

La méthode d'estimation proposée par Gonzalez et al (2005) a été utilisée afin d'étudier les effets des TIC sur la croissance économique, dans laquelle la variable de transition correspond à l'indice de développement des TIC (Idi). Deux conclusions principales ont été tirées de cette estimation. Premièrement, le test de linéarité a mis en évidence la relation non linéaire entre le développement des TIC et la croissance économique dans les pays de l'échantillon, confirmant l'existence du seuil optimal de l'indice de développement des TIC, qui est d'environ 2.10 pour les pays les moins avancés des TIC et de 3.88 pour les pays les plus connectés. Deuxièmement, une autre forme de non-linéarité est observée concernant l'ampleur de l'impact des TIC sur la croissance économique. En effet, dans les pays les plus avancés dans les TIC, au-delà d'un seuil de 3.88, la sensibilité de la croissance économique au développement des TIC est faible. À l'inverse, dans les pays les moins avancés dans les TIC, la dépendance de la croissance économique à l'avancement des TIC est amplifiée lorsque le seuil dépasse 2.10. En d'autres termes, dans ces pays, une fois, le seuil dépasse 2.10,

l'influence du développement des TIC sur la croissance économique devient particulièrement favorable et affiche une tendance constante à la hausse.

Les résultats de nos études empiriques restent cohérents et fiables lorsqu'ils sont soumis à des analyses de sensibilité et à une estimation GMM. Ces résultats concordent avec des recherches antérieures, menées par Albiman, M. M., et Sulong, Z (2017), ainsi que Jean C. Kouam et al. (2022), qui montrent une relation non linéaire entre le développement des TIC et la croissance économique. En résumé, les informations empiriques démontrent un lien non linéaire entre le développement des TIC et la croissance économique. En outre, elles mettent en évidence une deuxième forme de non-linéarité concernant l'ampleur de l'impact des TIC sur la croissance économique.

Cette étude peut avoir certaines limites. Nos estimations empiriques se limitent à la nature de la relation non linéaire entre le développement des TIC et la croissance économique, et n'étudient pas les voies par lesquelles les TIC stimulent la croissance économique. En outre, nous n'avons pas recherché des seuils pour l'impact des trois dimensions de l'indice de développement des TIC (accès aux TIC, utilisation des TIC et compétences en TIC) sur la croissance économique. Il serait intéressant d'approfondir ces questions dans de futures études.

## Bibliographie

- [1] Aghaei, M., & Rezagholizadeh, M. (2017). The impact of information and communication technology (ICT) on economic growth in the OIC Countries. *Economic and Environmental Studies*, 17(2 (42)), 257-278
- [2] Akobeng, E (2016), 'Gross Capital Formation, Institutions and Poverty in Sub-Saharan Africa', *Journal of Economic Policy Reform*, in press.
- [3] Albiman, M. M., & Sulong, Z. (2017). «The linear and non-linear impacts of ICT on economic growth, of disaggregate income groups within SSA region. *Telecommunications Policy* 2017, 1-18
- [4] Albiman, Masoud Mohammed, Zunaidah Sulong, (2016). «The role of ICT use to the economic growth in Sub Saharan African region (SSA). *Journal of Science and Technology Policy Management* 7: 306–29.
- [5] Antonia López-Villavicencio and Valérie Mignon (2011) On the impact of inflation on output growth: Does the level of inflation matter? **Journal of Macroeconomics** Volume 33, Issue 3, September 2011, Pages 455-464
- [6] Anyanwu, J. C. (2014), 'Factors Affecting Economic Growth in Africa: Are There any Lessons from China?' *African Development Review*, Vol. 26, pp. 468–93.
- [7] Arellano, M. and Bond, S. (1991). «Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence with an application for employment equation», *Review of Economic Studies*, Vol. 58 No. 2, pp. 277-297.
- [8] Arellano, M. and Bover, O. (1995). «Another look at the instrumental variables estimation of error components models», *Journal of Econometrics*, Vol. 68, pp. 29-51.
- [9] Barro, R. (1991), «Economic growth in a cross section of countries», *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 106 No. 2, pp. 407-433.
- [10] Barro, R. and Sala-i-Martin, X. (1992), «Convergence», *Journal of Political Economy*, Vol. 100 No. 2, pp. 223-251

- [11] Ben Youssef A., M'henni H., (2004), 'Les effets des technologies de l'information et de la communication sur la croissance économique : le cas de la Tunisie', Région et Développement, n° 19, pp. 131-150.
- [12] Bloom, Nicholas, Raffaella Sadun, and John Van Reenen. (2012). "Americans do I.T. better: US multinationals and the productivity miracle", forthcoming American Economic Review.
- [13] Blundell, R. and Bond, S. (1998), "Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models", Journal of Econometrics, Vol. 87, pp. 115-143.
- [14] Chavula, H.K. (2013), "Telecommunications development and economic growth in Africa", Information Technology for Development, Vol. 19 No. 1, pp. 5-23.
- [15] Cioaca, S.I., Cristache, S.E., Vuta, M., Marin, E., & Vuta, M. (2020). Assessing the impact of ICT sector on sustainable development in the European Union: an empirical analysis using panel data. Sustainability, 12(2), 592, 1-16. doi: <https://doi.org/10.3390/su12020592>
- [16] Coase, R.H. (1937), "The nature of the firm", Economica, n° 4, N.s., novembre, p. 386-405; traduction française "La nature de la firme", Revue Française d'Economie, (1987), n°1, p. 135-157, (Commentaires de X. Gillis, p. 157-161
- [18] Colecchia, A., & Schreyer, P. (2002). ICT Investment and Economic Growth In the 1990s: Is the United States a Unique Case?: A Comparative Study of Nine OECD Countries, Review of Economic Dynamics, 5, 408-442.
- [19] Colletaz, G., & Hurlin, C. (2006). Threshold effects of the public capital productivity: An international panel smooth transition approach. Document de Recherche du Laboratoire d'Economie d'Orléans, 2006-1
- [20] Dedrick, J., Kraemer, K.L. and Shih, E. (2013), "Information technology and productivity in developed and developing countries", Journal of Management Information Systems, Vol. 30 No. 1, pp. 97-122.
- [21] Dewan, S. and Kraemer, K.L. (2000). "Information technology and productivity: evidence from country-level data", Management Science, Vol. 46 No. 4, pp. 548-562.
- [22] Dimelis, S.P. and Papaioannou, S.K. (2010), " FDI and ICT effects on productivity growth: a comparative analysis of developing and developed countries", European Journal of Development Research, Vol. 22 No. 1, pp. 79-96.
- [23] Fernandez-Portillo A, Almodovar-Gonzalez M, Hernandez-Mogollon R (2020) Impact of ICT development on economic growth. A study of OECD European union countries. Technol Soc 63:101420. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101420>
- [24] Fouquau, J., Hurlin, C., & Rabaud, I. (2008). The Feldstein–Horioka puzzle: A panel smooth transition regression approach. Economic Modelling, 25, 284–299.
- [25] Gerschenkron, A., (1962), "Economic Backwardness in Historical Perspective," Harvard University Press.
- [26] Ghosh, S. (2016). How important is mobile telephony for economic growth? Evidence from MENA countries. Info.
- [27] Goel, R.H. et E.W.T. Hsieh (2002), "Internet growth and economic theory," *Netnomics*, 4(2), 221-225.
- [28] Gomez-Barroso, J. L., & Marban-Flores, R. (2020b). Telecommunications and economic development–The 21st century: Making the evidence stronger. Telecommunications Policy, 44(2), Article 101905.
- [29] Gonzalez A., Teräsvirta T. et Dick V. D. (2005). « Panel smooth transmission regression models », Working Paper Series in Economics and Finance : Stockholm School of Economics.
- [30] Granger, C. W. J., and T. Teräsvirta (1993). « Modelling Nonlinear Economic Relationships. Oxford : Oxford University Press.

- [31] Gruber, H., & Koutroumpis, P. (2011). "Mobile telecommunications and the impact on economic development. *Economic Policy*, 26(67), 387–426. Hamit-Haggar, M. (2012).
- [32] Gupta, S., Clements, B., Baldacci, E., Mulas-Granados, C. (2005). "Fiscal Policy, Expenditure Consumption and Growth in Low-income Countries", *Journal of International Money and Finance*, 24 (3), p. 441-463.
- [33] Hansen B. E. (1999): "Threshold effects in non-dynamic panels : estimation, testing, and inference », *Journal of Econometrics* 93 (2), pp. 345 ?368.
- [34] Hawash, R., & Lang, G. (2010). The impact of information technology on productivity in developing countries. Faculty of Management Technology Working paper no. 19. Cairo, Egypt: German University of Cairo.
- [35] Hicks, D. et J. Niehans (1983), "Financial Innovation, multinational banking and monetary policy," *Journal of banking and finance*, 537-551.
- [36] Im K.S., M.H. Pesaran & Y. Shin (2003). "Testing for unit roots in heterogeneous panels», *Journal of Econometrics*, 115, pp.53-74.
- [37] Ishnazarov Akram, Nargiza Kasimova, Shakhnoza Tosheva, and Arletta Isaeva. (2021). ICT and economic growth: evidence from crosscountry growth modeling. In The 5th International Conference on Future Networks amp Distributed Systems (ICFNDS 2021), December 15, 16, 2021, Dubai, United Arab Emirates. ACM, New York, NY, USA, 4 pages. <https://doi.org/10.1145/3508072.3508204>
- [38] Jean C. Kouam Nkafu , Simplicie Asongu (2020). "The non-linear effects of fixed broadband on economic growth in Africa » *Journal of Economic Studies* 0144-3585 DOI 10.1108/JES-03-2022-0159
- [40] Katz, M. and K. Shapiro (1986). 'Technology adoption in the presence of network externalities', *Journal of Political Economy*, 94(4), 822–41.
- [41] Kremer, Stephanie, Alexander Bick and Dieter Nautz (2013). Inflation and growth: new evidence from a dynamic panel threshold analysis, *Empirical Economics*, 44(2), pp.861-878. <http://dx.doi.org/10.1007/s00181-012-0553-9>
- [42] Lee Sang H., John Levendis, Luis Gutierrez, (2012). « Telecommunications and economic growth: An empirical analysis of Sub-Saharan Africa. *Applied Economics*, 44: 461–69
- [43] Mondjeli, M. N. (2015). « Too Much Public Expenditures, Less Economic Growth?», *Economics Bulletin*, 35 (3), p. 1985-1991.
- [44] Mwakatumbula, H. J., Moshi, G. C., & Mitomo, H. (2019). Consumer protection in the telecommunication sector: A comparative institutional analysis of five African countries. *Telecommunications Policy*, 43(7), 101808. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2019.02.002>
- [45] Oulton N (2002) ICT and productivity growth in the UK. *Oxford Review of Economic Policy* 18 (3) 363–379. [Google Scholar]
- [46] Pradhan, R.P., Arvin, M.B., Norman, N.R., Bele, S.K., (2014). « Economic growth and the development of telecommunications infrastructure in the G-20 countries: A panel-VAR approach. *Telecommun. Policy* 38 (7), 634–649.
- [47] Qiang, C.Z.W.; Rossotto, C.M.; Kimura, K (2009). Economic impacts of broadband. In *Information and Communications for Development 2009: Extending Reach and Increasing Impact*; World Bank: Washington, DC, USA, 2009; Chapter 3; pp. 35–50. Available online: [http://siteresources.worldbank.org/EXTIC4D/Resources/IC4D\\_Broadband\\_35\\_50.pdf](http://siteresources.worldbank.org/EXTIC4D/Resources/IC4D_Broadband_35_50.pdf) (accessed on 20 June 2018).
- [48] Qureshi, S. (2005) How Does Information Technology effect development? Integrating Theory and practice into a Process Model, Proceedings of the Eleventh Americas Conference on Information Systems, Omaha, NE, USA.

- [49] Qureshi, S., & Najjar, L. (2017). Information and communications technology use and income growth: Evidence of the multiplier effect in very small island states. *Information Technology for Development*, 23(2), 212–234.
- [50] Sassi, S., Goaiad, M., (2013). « Financial development, ICT diffusion and economic growth: lessons from MENA region. *Telecommun. Policy* 37 (4-5), 252–261
- [51] SCULLY G. W. (1989). "The size of the state, economic growth and the efficient utilization of national resources." *Public Choice*, 63, 1989, pp 149-164.
- [52] Sridhar, K. and Sridhar, V. (2004), "Telecommunications infrastructure and economic growth: Evidence from developing countries," Working Papers 04/14, National Institute of Public Finance and Policy.
- [53] Sridhar, Kala Seetharam and Sridhar, Varadharajan (2007), telecommunications infrastructure and economic growth: evidence from developing countries. *Applied Econometrics and International Development Vol.7-2 (2007)*
- [54] Stanley, T.D., Doucouliagos, H., & Steel, P. (2018). «Does ICT generate economic growth? A meta-regression analysis. *Journal of Economic Surveys*, 32(3), 705-726.
- [55] Timmer MP, van Ark B (2005) Does Information And Communication Technology Drive Productivity Growth Differentials? A Comparison of The European Union Countries And The United States. *Oxford Economic Papers* 57 (4) 693–716. [Google Scholar]
- [56] Toader E, Firtescu BN, Roman A, Anton SG (2018) Impact of information and communication technology infrastructure on economic growth: an empirical assessment for the EU countries. *Sustainability (basel)* 10(10):3750. <https://doi.org/10.3390/su10103750>
- [57] Waverman L, Meschi M, Fuss M (2005) The Impact of Telecoms on Economic Growth in Developing Countries. *Vodafone Policy Paper Series 2: 10–24*. [Google Scholar]
- [58] Wemboye, E., Tochkov, K., & Sergi, B. S. (2015). Technology adoption and growth in sub-saharan african countries. *Comparative Economic Studies*, 57(1), 136–167. <http://dx.doi.org/10.1057/ces.2014.38>
- [59] Williamson, O.E. (1975), *Markets and Hierarchies: Analysis and Antitrust Implications*, Free Press, a division of Macmillan, Inc., New York.
- [60] World Bank (2016). *World Development Indicators*. Washington, DC: World Bank. [Online] Available: <http://data.worldbank.org/products/wdi>. (December 17th, 2017).
- [61] World Bank. (2020). *World Development Indicators*. WDI. [data.worldbank.org/country/subSaharan Africa](http://data.worldbank.org/country/subSaharan Africa)
- [62] Zuhdi, U., Mori, S. and Kamegai, K. (2012), 'Analyzing the role of ICT sector to the national economic structural changes by decomposition analysis: the case of Indonesia and Japan', *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Vol. 65, pp. 749-754, doi: 10.1016/j.sbspro.2012.11.194

## Annexe

**Méthodologie de calcul de l'indice de développement des TIC (Idi)**

L'Indice de développement des TIC proposé dans ce travail (Idi) répond au même objectif que l'Idi calculé par l'UIT pour évaluer le niveau de développement des TIC des pays.

L'Idi calculé comprend trois composantes : infrastructure TIC, utilisation TIC et compétences en TIC.

La valeur de référence de la téléphonie fixe (de la téléphonie mobile) est égale à 60% (120%).

**A. Accès aux TIC**

1- Abonnements au téléphone fixe pour 100 habitants : X1

2- Abonnements au téléphone mobile par 100 habitants : X2

**Indice accès=  $((X1/60)*0,5)+((X2/120)*0,5)/100$**

**B. Utilisation des TIC**

Pourcentage de personnes utilisant Internet : Y

**Indice utilisation=  $Y/100$**

**C. Compétences en TIC**

1 - Taux brut de scolarisation primaire : L1

2 - Taux brut de scolarisation secondaire: L2

3 - Taux brut de scolarisation supérieure : L3

**Indice compétences=  $(L1+L2+L3)/(100*3)$**

**Idi=  $(0,4*Accès+0,4*Utilisation+0,2*Compétences)*10$**

**Source: ITU.**

**1. Abonnements au téléphone fixe pour 100 habitants****2- Abonnements au téléphone mobile par 100 habitants****3- Bande passante Internet internationale (bits/s) par utilisateur d'Internet**

4- Pourcentage de ménages avec un ordinateur

5- Pourcentage de ménages ayant accès à Internet

**6 - Pourcentage de personnes utilisant Internet**

7 - Abonnements fixes à large bande pour 100 habitants

8 - Abonnements mobiles à large bande pour 100 habitants

**9 - Taux d'alphabétisation des adultes****10 - Taux brut de scolarisation secondaire****11 - Taux brut de scolarisation supérieure****Liste des pays**

Afrique du Sud, Angola, Bénin, Burkina Faso, Burundi, Cameroun, Estwani, Gabon, Ghana, Guinée, Nigeria Kenya, Madagascar, Mali, Mauritanie, Mozambique, Sénégal, Togo, Ouganda.

Algérie, Egypte, Jordanie, Maroc, Tunisie.

Arabie Saoudite, Bahreïn, Iran, Oman, Kuwait, Qatar.

**Tableau 6 : Description des variables**

Description des variables		
<b>Txcroi</b>	<b>Taux de croissance du PIB par tête, indicateur de croissance économique</b>	<b>WDI(2021)</b>
<b>Crédit</b>	<b>Crédits domestiques au secteur privé sur le PIB, indicateur du développement financier</b>	<b>WDI(2021)</b>
<b>Ouverture</b>	<b>Degré d'ouverture de l'économie mesurée par le ratio (importation + exportation) /2PIB</b>	<b>WDI (2021)</b>
<b>Inflation</b>	<b>Le taux d'inflation mesuré par l'indice des prix à la consommation</b>	<b>WDI(2021)</b>
<b>Dépense</b>	<b>Dépense publique par rapport au PIB</b>	<b>WDI(2021)</b>

Les Variables liées au TIC	Téléphone fixe : Nombre de souscription à la téléphonie fixe pour 100 habitants Mobile : Nombre de souscription à la téléphonie mobile pour 100 habitants) Internet : Nombre d’usagers d’internet sur 100 habitants	UIT(2021)
Compétences	Taux brut de scolarisation au primaire, secondaire et supérieur	WDI(2021)

Tableau 7: Statistiques descriptives

Les pays les moins avancés dans les TIC					
	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
txcroi	357	1.597058	3.23312	-15.0422	14.9979
idi	357	2.114543	1.134942	0.39825	5.85527
Ouverture	357	63.52419	26.61056	20.7225	175.798
Crédit	357	16.00434	7.23366	1.96654	40.0559
Inflation	357	9.213674	21.09795	-3.23339	324.997
dépense	357	14.12449	4.821985	0.951747	31.3443
Les pays les plus avancés dans les TIC					
	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
txcroi	273	3.528685	-12.5121	15.9889	15.9889
idi	273	2.115688	1.27389	9.75186	9.75186
ouv	273	29.16516	30.2465	191.873	191.873
credit	273	22.21155	5.94905	138.42	138.42
inf	273	5.902356	-4.86328	39.90734	39.90734
depense	273	4.197506	7.66051	30.0035	30.0035

Tableau 8 : Résultats des tests de racine unitaire LLC et IPS

Variables	LLC			IPS		
	A niveau	En différence	Conclusion	A niveau	En différence	Conclusion
txcroi	-2,36***		I(0)	-7,18***		I(0)
Idi	3,39	-5,25***	I(1)	15,04	-7,65***	I(1)
Accès	-2,58***		I(0)	5,83	-7,30***	I(1)
Utilisation	10,87	-2,12**	I(1)	25,87	-1,7**	I(1)
Compétences	-2,73***		I(0)	3,2	-9,79**	I(1)
Inflation	-7,2***		I(0)	-8,97***		I(0)
Crédit	0,112	-9,3***	I(1)	4,52	-11,57***	I(1)
Ouverture	-2,65***		I(0)	-1,11	-12,21***	I(1)
Dépense	0,034	-9,82***	I(1)	-0,66	-12,79***	I(1)