

Les Technologies De L'information Et De Communication Et Le Développement Durable: Enjeux Et Pratiques Dans Les Pays En Développement

Mohamed Bouhari

**LES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DE
COMMUNICATION ET LE DÉVELOPPEMENT DURABLE:
ENJEUX ET PRATIQUES DANS LES PAYS EN
DEVELOPPEMENT**

Mohamed Bouhari¹

Working Paper No. 1411

October 2020

Send correspondence to:
Mohamed Bouhari
Université de Tunis El Manar
mohabouhtn@yahoo.com

¹ Professor of Economics at the Faculty of Economics and Management of Tunis, University of Tunis El Manar, mohamed.bouhari@fsegt.utm.tn

First published in 2020 by
The Economic Research Forum (ERF)
21 Al-Sad Al-Aaly Street
Dokki, Giza
Egypt
www.erf.org.eg

Copyright © The Economic Research Forum, 2020

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced in any form or by any electronic or mechanical means, including information storage and retrieval systems, without permission in writing from the publisher.

The findings, interpretations and conclusions expressed in this publication are entirely those of the author(s) and should not be attributed to the Economic Research Forum, members of its Board of Trustees, or its donors.

Résumé

Cet article étudie les relations entre les densités des TIC et les usages qui y sont liés et le développement durable soutenable (IDHS), pour un échantillon de 19 pays en développement (MENA et Afrique), en s'appuyant sur une analyse économétrique basée sur un modèle vectoriel à correction d'erreur et sur des tests de causalité sur la période 2000-2017.

Nos résultats montrent qu'à long terme, l'impact des deux indicateurs TIC (info-densité et info –utilisation) demeure important quoiqu'il soit inégal entre les pays à divers stades de développement. Ils montrent aussi un effet de causalité bidirectionnelle entre les deux indicateurs TIC et le développement durable qui est largement différencié entre les pays de l'échantillon.

Nos conclusions nous amènent à penser que si dans les pays à IDHS moyen ou faible, l'heure est au renforcement des infrastructures TIC, un nouveau modèle d'usage des TIC donnant plus d'importance à l'apprentissage s'impose dans les pays à IDHS élevé.

Mots-clés: Développement durable, TIC, Capabilités, Modèle VECM en panel, pays en développement.

Classification JEL: Q01, O10, C33.

Abstract

This paper attempts to identify the links between the Information and Communication Technologies (ICTs) and key dimensions of “sustainable development”, with a focus on 19 developing countries (MENA and Africa), by relying on an econometric analysis based on a vector model with error correction and on causality tests over the period 2000-2017.

Our results show that in the long term, the impact of the two ICT indicators (info-density and info-use) remains significant although it is uneven between countries at various stages of development. They also show a two-way causal effect between the two ICT indicators and sustainable development which is widely differentiated between the countries in the sample. Our conclusions lead us to think that while in countries with medium or low development index, the time has come to strengthen ICT infrastructure, a new model of ICT use giving more importance to learning is needed in the countries with high development index.

Keywords: Sustainable development, ICT, Capabilities, VECM panel model, developing countries.

JEL Classifications: Q01, O10, C33.

Introduction

Aujourd'hui, dans cette ère du numérique, les enjeux soulevés par l'accès et l'usage des technologies de l'information et de la communication (TIC) pour la croissance économique et le développement se sont imposés dans plusieurs États du monde et ont généré une littérature abondante. De nombreux travaux ont montré l'impact positif des TIC (Breuil et al. 2008 ; Petit, 2009, Warschauer, 2003, Hilty et al. 2010). D'autres n'ont pas manqué de montrer les retombées négatives des TIC sur l'environnement, la société et l'économie de par l'effet rebond relatif à leur usage (Deltour, 2010 ; Daly et Butler, 2009 ; Elliot, 2007 ; Molla et Cooper, 2009).

Dans les pays en développement, les optimistes pensent que les TIC offrent une opportunité en leur permettant d'entrer dans l'économie de la connaissance, d'accélérer le développement et de dépasser les barrières de handicap de la technologie pour réaliser la croissance économique et favoriser un développement généralisé (Steinmueller, 2001 ; Lal.K 2007 ; Tello, 2011, Akomea-Bonsu, 2012, Gutiérrez, L.H., 2011). D'autres, les moins optimistes, soulignent que l'impact des TIC est déterminé par le contexte où ces technologies sont déployées. Torero et Von Braun (2006) indiquent que le développement économique contribue à une utilisation accrue des TIC plutôt que l'inverse. De même, Bloom *et al.* (2012) montrent que l'impact positif des TIC lorsqu'il est accompagné d'investissements complémentaires tels que la formation du capital humain.

Dans la même lignée, la banque mondiale (2016), montre que si les TIC se diffusent rapidement à travers le monde en développement, leur adoption est encore insuffisante et leurs impacts positifs sur la productivité, la croissance et l'emploi sont en dessous des attentes.

Jusqu'à présent, les travaux analysant l'impact des TIC ont adopté des approches basées sur la comptabilisation de la croissance ou fondées sur une logique sectorielle tout en négligeant les mécanismes par lesquels la connexion entre les TIC et le développement durable a lieu.

Dans cet article, on s'interroge sur la relation empirique entre la densité des TIC et les divers usages qui lui y sont induits et le développement durable. On essaiera d'apporter des explications à ce sujet tant en ce qui concerne la méthodologie de recherche, qu'en ce concerne les variables prises en considération.

La contribution de cet article est double. D'une part, la prise en considération d'une approche par les capacités apparaît pertinente pour mieux comprendre le rôle des TIC au service du développement durable (Sen, 2000, Anand, et al, 2009). Du point de vue de cette approche, l'accès aux TIC n'est pas une fin en soi, mais plutôt le moyen par lequel des capacités valorisées peuvent être obtenues pour réaliser les objectifs de développement durable. D'autre

part, cette étude examine empiriquement non seulement le rôle que peuvent jouer les TIC dans la mise en œuvre du développement durable, mais aussi en questionnant la nature de la causalité entre le développement des télécommunications et le développement durable soutenable.

Sur un échantillon de 19 pays en développement et sur la période (2000–2017), cette étude utilise un modèle économétrique qui fait appel à la technique des tests avancés de cointégration de panel et du modèle à correction d'erreur pour capturer la dynamique entre les variables liées aux TIC et au développement durable. Cette méthode, bien que courante dans la littérature économique, n'a pas gagné beaucoup d'importance dans la littérature sur les systèmes d'information.

La difficulté particulière à mesurer le poids économique et social des TIC dans le développement nous a amené à calculer indice de développement durable (IDHS) et un indice de développement des TIC (info-état). Ce dernier comprend deux composantes, info – densité et info – utilisation, qui permettent de comparer l'état d'avancement des pays en matière des TIC. L'indicateur de développement soutenable (IDHS) est l'indicateur de développement humain (IDH) modifié en intégrant les notions de vulnérabilité économique et de soutenabilité environnementale dans le cadre d'un développement humain durable (Sabine et al.2011).

La suite de cet article est organisée de la façon suivante. D'abord, la section 2 est consacrée à une revue de la littérature théorique et empirique se rapportant sur le lien entre TIC et développement durable. En suite, la section 3 présente la méthodologie retenue. En fin, dans la section 4, on discute les différents résultats obtenus et on conclut.

2. Revue de la littérature sur le lien entre TIC et développement durable

2.1. Cadre théorique : Approche par les capacités

Depuis le milieu des années 90, une nouvelle approche dite par les capacités (notée CA) développée par l'économiste A. Sen (1999) a été utilisée pour aborder les enjeux soulevés par le développement durable dans un contexte de liberté de choix (Dahmani et al. 2014). Cette approche a cherché à évaluer la liberté réelle dont disposent les individus pour permettre à tous de vivre en bonne santé, à promouvoir le bien être à tous et à assurer l'accès de tous à une éducation de qualité. Cependant, elle a connu plusieurs extensions afin de l'adapter à la problématique de développement durable et aux enjeux des TIC (Cruz, 2006 ; Zimmermann, 2006, Anand et al. 2009).

Premièrement, Sen (1999) a redéfini le rapport entre le développement humain considéré comme une fin et la croissance économique considérée comme un moyen pour atteindre cette

fin. Cette précision a permis de mettre l'accent non seulement sur les dimensions écologique ou économique mais aussi sur la dimension sociale du développement durable (Ballet et al. 2005). La définition du développement durable, reprise dans le cadre de l'approche par les capacités, a mis l'accent à la fois sur les libertés d'agir et d'être pour la satisfaction des besoins des générations actuelles et des générations futures (Polischuck et Rauschmayer.2012, Schultz, E. 2013).

Deuxièmement, cette approche fournit un cadre d'analyse pertinent pour analyser les enjeux des TIC dans la perspective du développement durable. D'abord, les usages d'une technologie ne sont pas prédéterminés par la technologie elle-même (déterminisme technologique) mais construits par les acteurs dans leurs pratiques quotidiennes (Grunfeld, H., 2013). Par exemple, l'usage des TIC comme modalité d'action et de coordination peut avoir un impact sur le coût énergétique en remplaçant le déplacement physique par des technologies d'administration électronique, des systèmes de télésurveillance, des multiples applications de groupware et l'enseignement à distance (e-learning). En suite, la **capacité** de mettre efficacement les TIC au service du développement est liée aux aspects matériels. L'impact des TIC sur les modalités d'exercice et de coordination de certaines activités et leur « durabilité » dépendent des infrastructures de recueil, de traitement, de diffusion et de partage d'informations. Par exemple dans l'agriculture, la diffusion d'informations spécifiques permet de résoudre plusieurs problèmes comme la gestion de l'eau, les informations météo, le partage d'expériences, l'ajustement de la production aux marchés. En fin, du point de vue de l'approche par les capacités, l'accès aux TIC n'est pas une fin en soi, mais plutôt le moyen par lequel des capacités valorisées peuvent être obtenues. Reconnaisant l'importance des TIC, Sen (2005) considère l'accès au Web et la liberté de communication générale comme étant une capacité très importante qui présente un intérêt et une pertinence pour tous les Indiens.

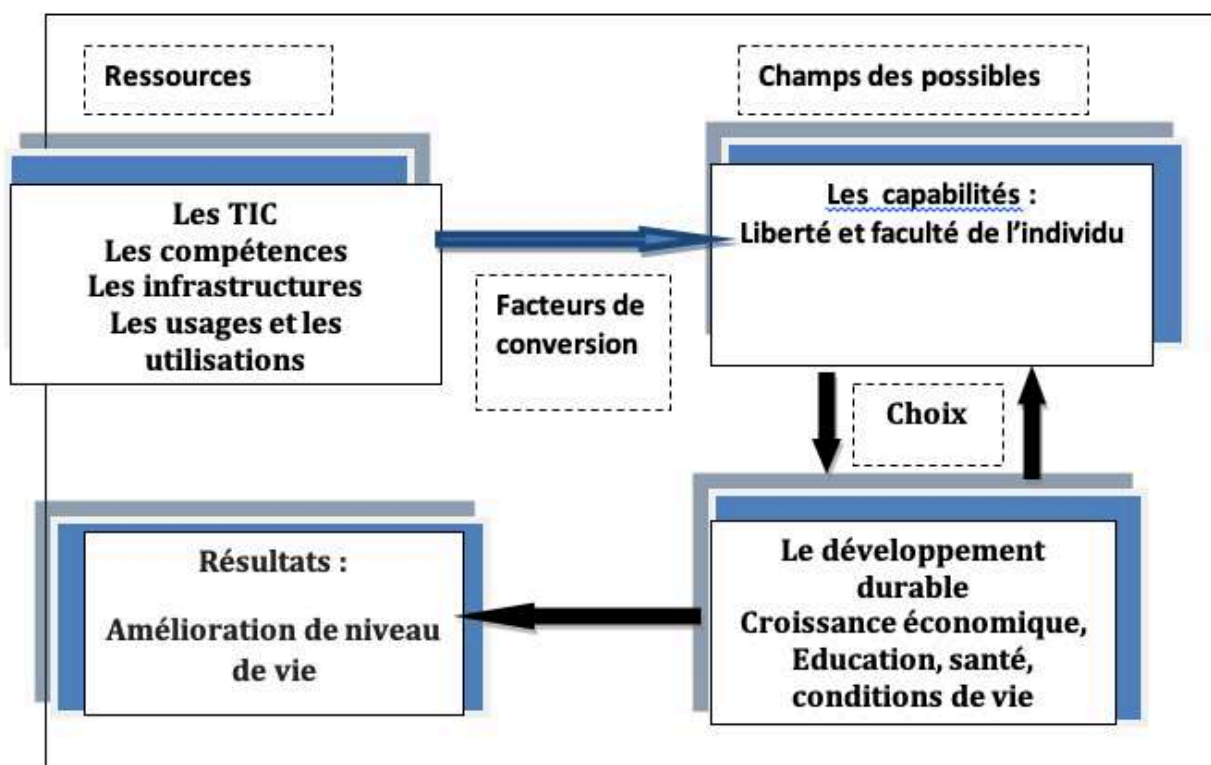
De manière très synthétique, la figure 1 montre que l'analyse des relations entre TIC et développement durable peut être menée sur trois plans : en tant qu'infrastructures, en tant que contenus (médias) et aussi comme vecteurs de relations entre les acteurs impliqués dans des processus de mobilisation des ressources.

Sur cette base, la capacité s'appuie sur un ensemble de ressources (équipements TIC et capital personnel, social ou financier) et un ensemble de facteurs de conversion liés à l'individu et/ou au contexte dans lequel celui-ci évolue. Ces facteurs individuels (sexe, âge, expérience, niveau de formation), sociaux (héritage social de l'individu, équipe de travail, etc.), ou environnementaux (contraintes institutionnelles, moyens techniques) facilitent la capacité des individus à faire usage des ressources pour les convertir en réalisations concrètes (atteindre les objectifs de développement durable).

Selon cette approche, les TIC sont identifiées par l'ensemble des acteurs comme une condition nécessaire au développement durable, elles sont majoritairement appréhendées sous l'angle des infrastructures mais aussi sur les types d'usages sociaux que ces technologies contribuent à modeler ou à développer.

A cet égard les TIC apparaissent comme un outil d'accompagnement d'activités organisées dans une perspective de développement durable et comme générant une dynamique de développement durable.

Figure 1: Approche par les capacités



Source : Construction individuelle

Deux idées fondamentales, de notre point de vue, aident à percevoir les TIC comme un levier de développement durable dans les pays en développement.

En premier lieu, le développement des réseaux de télécommunication, comme la téléphonie mobile et l'Internet, et la baisse des coûts des équipements et des services des TIC favorisent leur diffusion accélérée dans tous les secteurs de l'activité économique. Des technologies comme les logiciels, l'analyse de données massives et l'Internet des objets, peuvent contribuer à la réalisation des objectifs du développement durable, au travers de la

dématérialisation de l'économie : l'information étant reproductible, peu consommatrice de matière et peu dissipatrice d'énergie.

Ces technologies ont des applications importantes dans les domaines de la santé, de l'agriculture, de l'énergie, de conseils et expertises, de l'éducation, la gestion de l'eau et de la qualité de l'eau. Elles offrent des flux d'information en temps réel et **permettent** de contrôler et de gérer l'état et le comportement des objets connectés et des machines. Par exemple dans le secteur de l'énergie, il est possible de mettre au point de systèmes énergétiques décentralisés reposant sur des sources renouvelables. Les possibilités de raccourci technologique permettent de développer les modes de transports collectifs, d'analyser par satellite l'évolution de certains phénomènes (sécheresse, pollution etc.) et réduire des coûts via l'optimisation de la gestion de l'éclairage, du chauffage et de la climatisation.

En second lieu, dans cette nouvelle économie, les nouveaux facteurs de productivité, d'attractivité et de compétitivité sont la capacité à accéder à l'information, à l'exploiter suivant les besoins et à donner la possibilité d'une plus grande intégration économique, commerciale et culturelle dans le monde. La baisse des coûts de transaction induite par la réduction des coûts des services de télécommunications peut dynamiser les activités de sous-traitance et de délocalisation de nombreux services vers certains pays en développement : centres d'appels, secrétariat, édition, saisies de données, services bancaires et d'assurances, services informatiques. Ces activités ont permis dans certains pays comme le Maroc, la Tunisie et le Sénégal, la création d'emplois pour de nombreux jeunes diplômés peu intéressés ou alors exclus du marché de travail local.

La disponibilité des technologies sur des marchés concurrentiels, transférables rapidement et ne nécessitant pas d'investissements massifs et coûteux dans des installations et des infrastructures constitue des signes encourageants pour les pays en développement (E. Steinmueller, 2001). Cette nouvelle donne permet aux pays en développement d'élargir les possibilités de participer aux marchés internationaux. L'utilisation d'Internet permet aux entreprises prêtes à participer à l'économie du savoir d'entrer dans l'économie mondiale, en leur donnant accès à de l'information et à un savoir qui étaient auparavant hors de leur portée.

Cependant, l'intégration des TIC dans les politiques de développement permettrait d'en accélérer la mise en œuvre et d'en améliorer les résultats.

2.2 La littérature empirique

Plusieurs études empiriques ont été menées sur l'investissement, la diffusion et l'appropriation des TIC donnant naissance à trois visions clairement divergentes du problème. La première s'appuie sur l'hypothèse d'une offre dominante (SLH), la deuxième se préoccupe

d'avantage du côté demande des TIC (DFH) et la troisième soutient l'hypothèse d'une relation bidirectionnelle entre les TIC et la croissance économique.

Il faut noter d'emblée qu'il existe beaucoup plus d'études sur l'effet des TIC sur la croissance économique, et qu'il y a peu de travaux de recherche sur le lien de causalité entre les TIC et le développement durable.

Les partisans de la première vision indiquent que la densité des TIC est une condition préalable au développement économique puisqu'elle permet d'améliorer la productivité, la capacité d'innovation et les opportunités de création de richesse. Les agents économiques qui deviennent de plus en plus connectés à l'autoroute de l'information, sont en mesure d'étendre leur portée pour obtenir plus d'informations, de connaissances, de produits, de services et de marchés. La contribution des TIC peut revêtir différents aspects : accroissement de la productivité, amélioration des réseaux, développement du secteur des TIC (production et services). Dans les pays en développement, les TIC peuvent offrir des opportunités multiples : analyse des données, amélioration de la planification, formation, diffusion des résultats de la recherche, adoption de nouvelles méthodes et techniques et réduction des vulnérabilités (grâce, par exemple, aux alertes météorologiques et à la mobilisation des intrants).

Mehmood et Siddiqui (2013) ont examiné la relation à long terme entre les télécommunications et la croissance économique de 23 pays asiatiques entre 1990 et 2010. En effectuant des tests économétriques (tests de racine unitaire de panel et test de cointégration de panel proposé par Pedroni (1995, 2004)), les auteurs ont montré que l'impact positif de l'investissement en TIC sur la croissance économique s'avère unidirectionnelle. Ces résultats corroborent avec ceux de l'étude de Waverman et al. (2005) qui ont constaté que la téléphonie mobile avait un impact positif et significatif sur la croissance économique.

Selon la deuxième vision, des revenus plus élevés entraînent à leur tour une augmentation de la demande des biens TIC et de l'utilisation de ces technologies. A mesure que les pays connaissent des plus forts rythmes de développement, les agents économiques ont tendance à exiger des technologies plus sophistiquées pour améliorer leur statut socio-économique.

Une demande accélérée des TIC incite les pays à s'engager dans des politiques qui encouragent les investissements productifs et les évolutions nécessaires pour mettre les TIC à profit. La contribution des TIC à cet égard est conditionnée par la demande des TIC et par conséquent l'investissement global et les performances de l'économie. Les études empiriques menées ont montré que le développement économique favorise la diffusion des technologies et le développement de services nouveaux (Sang H Lee et al.2012, Pradhan et al. ,2013a). Cependant, Shiu et Lam (2008a) ont montré une relation unidirectionnelle entre la croissance du PIB et le développement des télécommunications en Chine. La causalité dans la direction

opposée, c'est-à-dire des télécommunications à la croissance économique, n'est pas vérifiée que dans les régions orientales.

Une troisième vision soutient l'hypothèse de l'existence d'une rétroaction (FBH) entre le développement des TIC et la croissance économique. Les partisans de cette vision considèrent que les TIC peuvent compléter et améliorer la productivité économique et les opportunités de croissance économique et vice versa, c'est – à – dire cette relation bidirectionnelle qui se renforce mutuellement, permet à l'économie de graviter vers un stade supérieur de développement économique.

L'idée générale est que le développement économique du pays et l'augmentation de la richesse favorisent l'augmentation des investissements dans les TIC. Cette relation serait de nature à augmenter non seulement le nombre de personnes utilisant les TIC, mais aussi développer et améliorer continuellement la qualité des TIC afin de permettre aux entreprises de réaliser des économies d'échelle et de progresser dans la chaîne de valeur de l'innovation. Plusieurs travaux empiriques se sont également intéressés à l'hypothèse de rétroaction. Chakraborty et Nandi (2003) ont montré une relation bidirectionnelle entre la télé-densité et le Produit Intérieur Brut (PIB) à court et à long terme dans 12 pays en développement d'Asie. Lorsque ces pays sont divisés en deux groupes avec un degré de privatisation élevé et faible, la causalité n'est bidirectionnelle que pour les pays du premier groupe. Dans une autre étude réalisée en 2011, ces auteurs ont étudié l'impact des investissements dans les infrastructures de télécommunications sur la croissance économique dans les pays en développement. Les résultats du test de causalité de Granger dans un cadre de cointégration de panel montrent que les effets de la télé-densité sur la croissance varient considérablement d'un groupe de pays à l'autre, reflétant différents niveaux de développement. La télé-densité et la croissance par habitant se renforcent fortement mutuellement pour les pays relativement moins développés. En revanche, les auteurs concluent qu'il existe faibles preuves de lien de causalité bidirectionnel entre les deux variables pour les pays qui sont relativement plus développés. Ces différences dans les relations de télé-densité et de croissance par habitant de la ligne principale suggèrent que l'investissement dans les infrastructures de télécommunications, avec son potentiel de générer un rendement de croissance élevé, peut servir d'outil essentiel pour faire avancer le processus de croissance et de développement dans les pays moins développés. Aux Etats – Unis, Wolde-Rufael (2007) a montré que l'existence d'une relation bidirectionnelle entre les TIC et la croissance économique entre 1947 et 1996. Par contre en Afrique Subsaharienne, Sang H. et al (2012) ont examiné la contribution des téléphonies cellulaires mobiles dans la croissance économique. En tenant compte de problème d'endogénéité et du degré de substituabilité entre le fixe et le mobile, leurs résultats ont montré un impact positif et significatif des téléphonies cellulaires mobiles sur la croissance économique.

Il ressort de cette littérature que globalement la croissance économique est associée à l'infrastructure des TIC et vice versa. Toutefois, peu d'efforts ont été faits pour examiner le lien entre le développement durable et la télé-densité et les utilisations des TIC. C'est l'une des principales motivations de cet article.

3. Méthodologies

3.1. Les données

Dans ce travail, nous analysons les liens entre les TIC et le développement durable. De ce fait, nous calculons une variable indicatrice du niveau de développement durable et une variable indicatrice des TIC. Nous utilisons les données annuelles de 2000 à 2017 obtenues à partir du World Development Indicator (2018), sur un échantillon de 19 pays en développement.

3.1.1 Mesure du développement durable

En un siècle d'existence, le produit intérieur brut (PIB) s'est imposé comme indicateur traditionnel de la comptabilité nationale pour évaluer l'état de l'activité économique. En effet, même s'il demeure un outil intéressant, le PIB souffre de multiples imperfections ne lui permettant d'approcher le développement que de manière très partielle (Stiglitz *et al.* 2009).

De nombreuses propositions se sont intéressées à l'importance du concept de soutenabilité dans le processus de développement, aboutissant à ce qui est connu de nos jours sous l'appellation de « développement durable ». Les chercheurs académiques (Nourry, 2008 ; Pearce *et al.* 2008) et les organismes internationaux (la Banque Mondiale, Global Footprint Network, les Nations-Unies, etc.) ont avancé trois dimensions du développement durable telles que définies par la commission Brundtland (1987), à savoir les volets économique, social et environnemental, tout en s'efforçant de les regrouper pour obtenir une mesure scalaire unique. Le premier paramètre retenu est l'Indice de Développement Humain (IDH²), proposé par le PNUD, qui est un indice synthétique combinant plusieurs facteurs socio-économiques (Niveau de vie, Education et Espérance de vie³) représentatifs du niveau de développement d'un pays.

² - l'IDH, dont le caractère incontournable, tant comme indicateur précurseur que comme source de débats et donc d'avancées dans les recherches en cours, justifie d'être examiné isolément des autres mesures.

³ D'un point de vue technique, la construction de l'IDH repose globalement sur deux étapes (PNUD, 2008). En premier lieu, il s'agit de déterminer un indice dimensionnel pour chacune des variables présentées ci-dessous. Cet indice de dimension, noté X_i , pour chaque variable i $i = 1$ pour la longévité $i = 2$ pour l'éducation $i = 3$ pour le revenu et pour un pays donné se déduit de : $X_i = \frac{\text{valeur observée de } x_i - \text{valeur minimale de } x_i}{\text{valeur maximale de } x_i - \text{valeur minimale de } x_i}$ (1) La valeur maximale associée à la variable x_i est la valeur la plus forte qu'un pays puisse atteindre dans cette dimension. Elle représente en quelque sorte l'objectif à réaliser à terme. La valeur minimale de x_i est la performance minimale qu'un pays est susceptible de réaliser dans cette dimension. Elle représente « la ligne de départ sur le parcours du développement ». En clair, l'indice X_i indique le chemin déjà réalisé par un pays sur la dimension par rapport au chemin total à parcourir.

Comme l'IDH ne prétend pas capturer toutes les caractéristiques du développement humain et ne reflète pas la réalité sociale d'un pays dans toute sa complexité, on utilise une construction semblable à celle proposée par Sabine et al. (2011). On calcule dans cet article un indice, appelé l'Indicateur de Développement Humain Soutenable (IDHS), qui prend en considération deux éléments importants à savoir la vulnérabilité économique et la soutenabilité environnementale.

Le calcul de l'IDHS pour un échantillon de 19 pays en développement est composé de quatre grandes dimensions. Les deux premières, la longévité et l'éducation, ne changent pas par rapport à l'IDH standard. La troisième dimension est donnée par le PIB réel par tête (en PPA), mais ajusté d'un facteur de vulnérabilité économique. Une manière simple de procéder est de multiplier l'indice dimensionnel du revenu par $(1-VE)$, la variable VE étant un indice de vulnérabilité économique à déterminer. La quatrième dimension mesure la performance sur le plan de la préservation de l'environnement.

Finalement, l'IDHS se déduit de manière simple de la formule générale suivante :

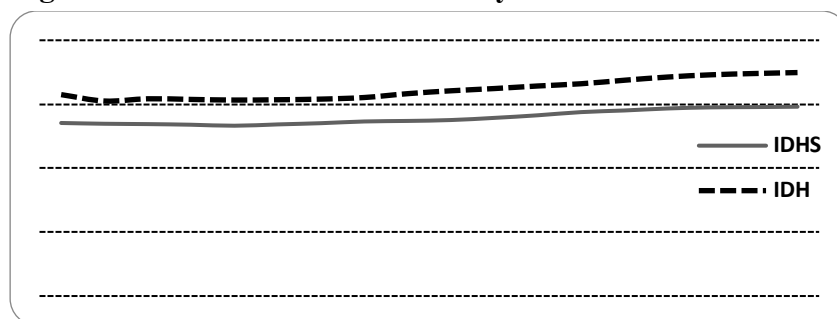
$$IDHS = \frac{H_1 + H_2 + (1-VE)H_3 + H_4}{4} \quad (1)$$

Comme le montre le tableau A1 en annexe, les résultats obtenus pour l'ensemble des pays de l'échantillon sont en moyenne comparables à ceux indiqués par l'étude de Sabine et al. (2011).

La figure 2 affiche l'évolution des niveaux moyens des deux indices IDH et IDHS. Trois points méritent d'être soulignés. D'abord, tous les pays de l'échantillon ont, en moyenne, un niveau d'IDH standard du PNUD supérieur à celui de l'IDHS, ce qui signifie que l'introduction des dimensions de la vulnérabilité économique et de la soutenabilité environnementale a changé le classement des pays. La grande sensibilité des pays en développement au problème de la vulnérabilité économique a des implications importantes dans le classement des pays par rapport à l'IDH. En suite comme le montre le tableau A1 en annexe, une analyse plus détaillée de la différence entre les deux indices dévoile que certains pays de l'échantillon touchés par les modifications perdent jusqu'à 23 points. Les pays les plus touchés sont ceux dont le secteur énergétique tient une place importante dans l'économie comme Kuwait, Qatar, Bahreïn et Oman (figure A1 en annexe). Cette dépendance énergétique justifie également leur mauvaise performance en termes de vulnérabilité économique. En fin, pour les autres pays touchés par ce classement comme la Tunisie, la

Jordanie, l’Egypte et l’Algérie, l’intégration de la dimension environnementale a eu un effet plus important que l’indice de vulnérabilité. Ce ci nous revoie à l’importance d’un modèle de développement économique compatible avec la prudence écologique.

Figure 2: Evolution des niveaux moyens d’IDH et d’IDHS



Source : Construction personnelle

3.1.2 Mesure de TIC

Le cadre conceptuel repose sur la mesure des notions d’info-densité, d’info-utilisation et d’info - état. En tenant compte de la disponibilité des données, chaque indicateur a été soumis à une analyse statistique (ITU’publication, 2007, Chapter seven).

L’info-densité correspond à la part du capital en TIC et du capital travail lié aux TIC. Elle se veut indicative de la capacité de production du pays.

La mesure de l’indicateur info-densité passe par la mesure de l’infrastructure en TIC et des compétences en TIC. Puisque aucune masse d’information statistique ne permet de mesurer précisément l’une ou l’autre de ces composantes, nous utilisons des proxys.

Dans le cas de l’infrastructure en TIC, nous restreignons notre mesure à celle des réseaux approximés par les abonnements au téléphone fixe pour 100 habitants (**TF**) et les abonnements au téléphone mobile par 100 habitants (**TM**).

$$\text{Réseaux} = \sqrt{TF \times TM} \quad (1)$$

Les compétences en TIC sont évaluées de façon approximative par le biais d’indicateurs en matière d’éducation. Nous avons retenu les indicateurs suivants : le taux brut de scolarisation primaire, le taux brut de scolarisation secondaire, le taux brut de scolarisation supérieure et le taux d’alphabétisation

$$\text{Education} = \text{Taux de scolarisation brut} = (\text{primaire} + 2 \times \text{secondaire} + 3 \times \text{tertiaire})/6 \quad (2)$$

$$\text{Compétences en TIC} = \sqrt{\text{Education} \times \text{Alphabétisation}} \quad (3)$$

$$\text{Info-densité} = \sqrt{\text{Réseaux} \times \text{Compétence}} \quad (4)$$

L'info-utilisation se rapporte quant à elle à la consommation des TIC. Elle décrit la disponibilité de produits liés aux TIC indispensable à la consommation des services liés aux TIC à même de satisfaire des besoins finaux. Les ménages dotés d'un téléviseur par 100 ménages, les lignes téléphoniques résidentielles par 100, les ordinateurs personnels par 100 habitants, les Internautes par 100 habitants sont des indicateurs utilisés pour construire Info-utilisation.

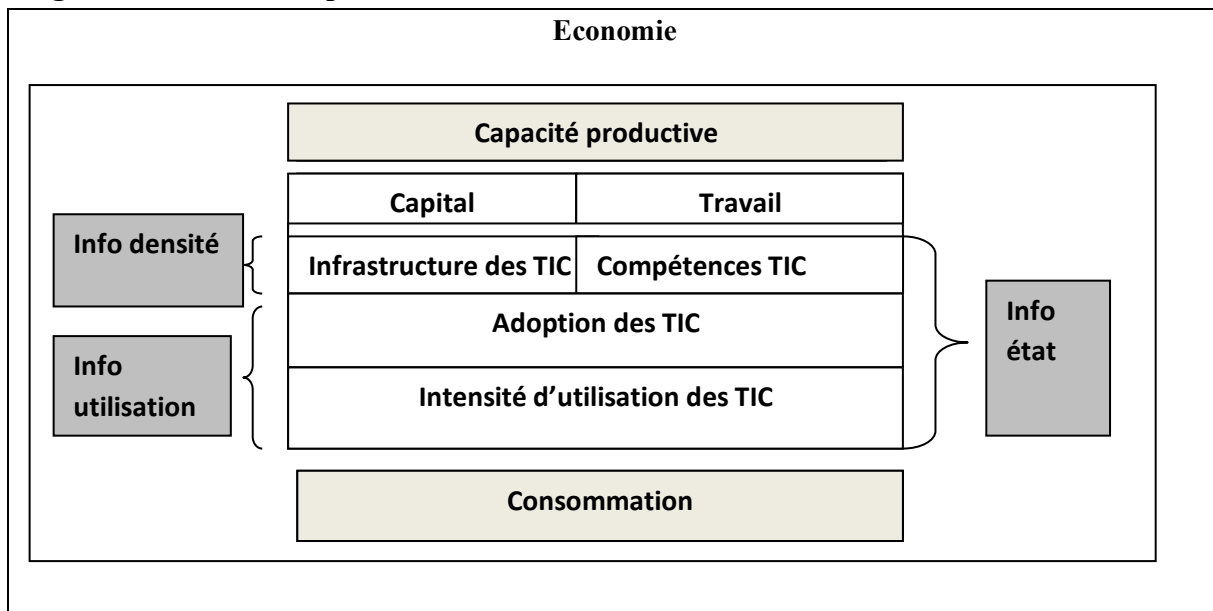
Le premier indicateur n'est pas très significatif car les taux de pénétration ont atteint près de cent pour cent dans la plupart des pays. De même, puisque les ordinateurs personnels par 100 habitants sont fortement corrélés à l'utilisation d'internet, nous avons approximé info – utilisation par le pourcentage de ménages ayant accès à Internet (**Internet**) reste un indicateur important pour les pays en développement.

$$\text{Info-utilisation} = \text{Internet} \quad (5)$$

Il est possible d'amalgamer les deux de manière à obtenir l'*info-état d'un pays*. La fracture numérique peut dès lors être définie comme la différence relative d'info-état entre les pays.

$$\text{Info-état} = \sqrt{\text{info-densité} \times \text{info-utilisation}} \quad (6)$$

Figure 3: Cadre conceptuel des TIC



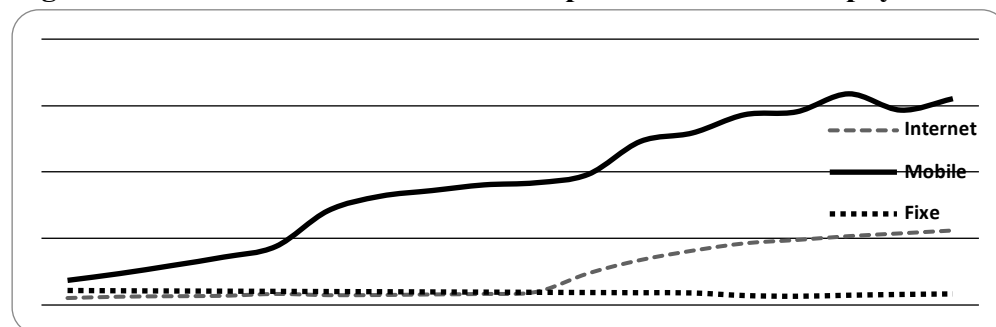
Source : ITU adapté par Orbicom.

Les trois indicateurs retenus, l'info-densité, l'info-utilisation et l'info-état, sont choisis en fonction de leur disponibilité.

L'indice info-état est fondé sur les deux indices, info-densité et info-utilisation. L'indice de l'info-densité mesure l'écart de l'équipement en TIC. Il s'agit d'un écart du stock des TIC dans un pays donné, approximé par le nombre de téléphones fixes pour cent habitants et le nombre de téléphones portables pour cent habitants. L'indice info-utilisation mesure davantage les usages des TIC qui sont approximés par le nombre d'utilisateurs d'Internet pour cent habitants.

Les données sur le développement des TIC font apparaître une progression de la téléphonie mobile cellulaire et de l'accès à l'Internet (figure 4).

Figure 4: Evolution des indicateurs TIC pour l'ensemble des pays de l'échantillon

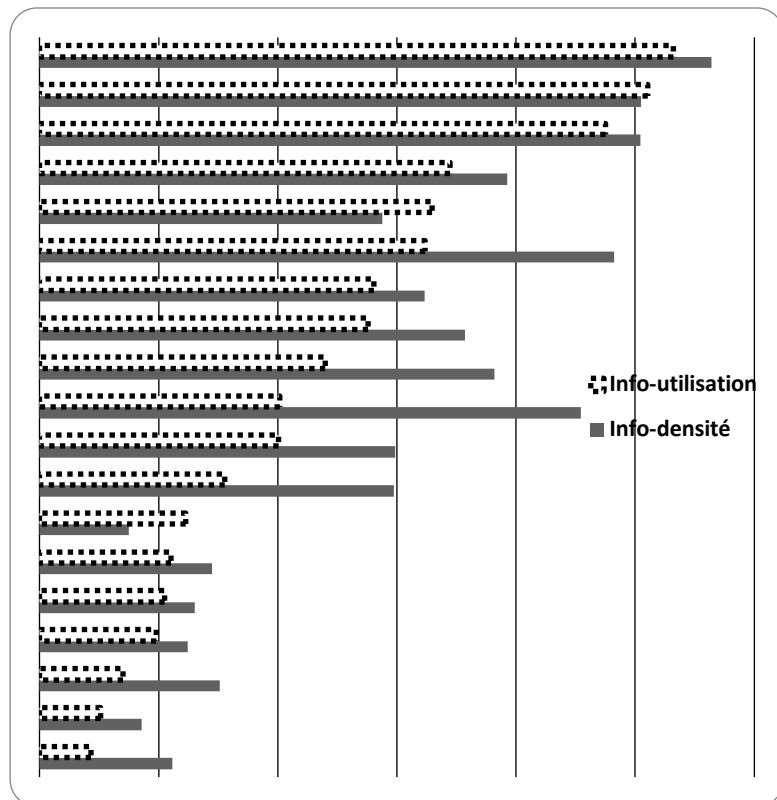


Source : Construction personnelle

En effet, malgré l'expansion rapide de la téléphonie mobile et de l'utilisation d'Internet, des fractures numériques considérables subsistent selon les pays de l'échantillon. La figure 5 montre qu'il existe un écart important quel que soit l'indice retenu (info-densité ou info-utilisation) entre les 19 pays.

Les inégalités liées aux équipements en TIC (infrastructure) et aux usages et aux utilisations (incluent un sens social et culturel et renvoient manipulation technique des outils) des TIC, font apparaître deux groupes de pays, les plus avancés dans les TIC (les pays de MENA) et les moins avancés (certains pays de l'Afrique).

Figure 5: Comparaison des pays de l'échantillon selon les niveaux de l'info-densité et de l'info-utilisation



Source : Construction personnelle

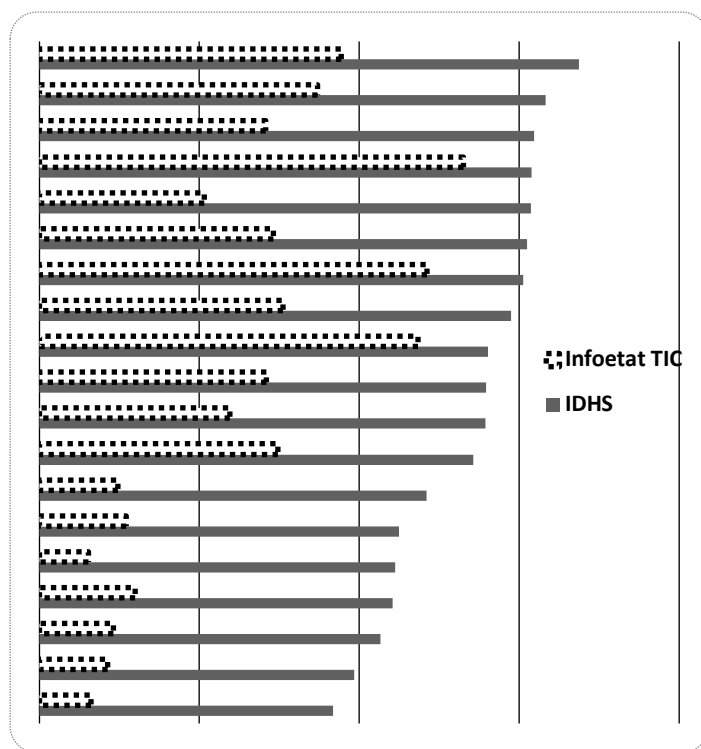
En ce qui concerne la comparaison des pays selon le niveau de développement économique (IDHS) et le niveau de développement des TIC (info-état TIC), les résultats ne suscitent pas de grande surprise. La figure 6 montre que les écarts entre les pays sont importants et sont principalement liés aussi bien au niveau de développement économique qu'au niveau de développement de TIC.

Selon l'indice info-état TIC, la valeur moyenne de l'indice est de 24,98 (tableau A2 en annexe). Le Bahreïn arrive en tête de liste, suivi par Qatar, le Kuweït et la Turquie et d'autres pays dont la Tunisie, l'Iran, le Maroc et l'Égypte. Les pays le moins avancés (le Bénin, Nigéria, la Côte d'Ivoire, le Sénégal, Angola, Ghana et le Cameroun) se trouvent en queue du classement. Du point de vue de l'indice de développement économique (IDHS), les pays qui connaissent un niveau élevé d'info-état TIC, sont ceux les mieux classés selon le niveau d'IDHS. Par exemple, le Bénin est le pays ayant l'IDHS le plus faible et le niveau d'info-état TIC le moins élevé.

On remarque qu'entre les deux groupes de pays, les écarts sont importants et sont principalement liés au niveau de développement économique et au niveau de développement des TIC.

Le premier groupe des pays qui comprend la Turquie, Oman, la Jordanie, Bahreïn, l'Algérie, l'Iran, Qatar, le Tunisie, Kuwait, l'Afrique du Sud, l'Egypte et le Maroc, est très hétérogène. Ce résultat n'est pas surprenant à plus d'un titre. Premièrement, certains pays riches en ressources naturelles notamment de pétrole, n'arrivent en tête du classement des pays à l'indice de développement humain soutenable le plus élevé. Par exemple le Kuwait considéré comme un pays à revenu élevé, arrive à la 9^{ème} place sur les 19 pays de l'échantillon. Il est considéré parmi les pays les plus vulnérables avec un indice de vulnérabilité économique de 41,28. D'autres pays mieux classés dans l'IDHS se distinguent par l'espérance de vie et par la durée moyenne de scolarisation comme la Tunisie et la Jordanie. Deuxièmement, des pays dont le Bahreïn, le Kuwait et Qatar, ont investi dans les infrastructures de réseaux et de services de prochaine génération, et ceci indépendamment des niveaux de développement économique.

Figure 6: Comparaison des pays de l'échantillon selon les niveaux de l'info-état et d'IDHS



Source : Construction personnelle

En résumé, pour le premier groupe de pays, compte tenu des niveaux de développement économique relativement similaires, les résultats montrent que le développement économique ne suffit pas à expliquer la raison pour laquelle le niveau des TIC est plus élevé dans certains pays et pas dans d'autres. Pour le deuxième groupe, les pays ayant de faibles niveaux de développement ont des niveaux de l'info-état TIC très faibles.

Au vu des corrélations positives mises en évidence dans nos analyses entre le développement des TIC et le développement durable, il serait aussi intéressant d'étudier empiriquement le sens de lien entre ces deux variables.

3. 2. Méthodologie économétrique

Le modèle empirique adopté dans le cadre de ce travail est inspiré des modèles qui ont étudié les effets des TIC sur la croissance économique (Yousefi, A. 2011, Farhadi et all, 2012, Majeed et all, 2018, Niebel, 2018). Il ressort clairement de cette littérature que peu d'efforts ont été faits dans les travaux antérieurs pour examiner le lien entre le développement des TIC et le développement durable. C'est l'une des principales motivations de ce papier.

L'hypothèse centrale du modèle est l'existence d'une relation directe entre le niveau de développement des TIC et les dimensions économiques, sociales et environnementales de développement durable.

Pour l'estimation économétrique, la nature des variables nous amène à recourir aux techniques de l'économétrie des panels. On utilise la forme linéaire du modèle empirique final qui prend cette forme :

$$IDHS_{it} = \beta_{0i} + \beta_{1i} \text{inf utilisation}_{it} + \beta_{2i} \text{inf densité}_{it} + \mu_i + v_{it} \quad (1)$$

C'est une relation de long terme ou relation de cointégration. Si les variables sont I(1) et cointégrées, alors le terme d'erreur est I(0) pour tout i.

La spécification du panel dynamique ARDL (1, 1,1) de l'équation (1) s'écrit :

$$IDHS_{it} = \alpha_{10,i} \text{inf utilisation}_{it} + \alpha_{11,i} \text{inf utilisation}_{i,t-1} + \alpha_{20,i} \text{inf densité}_{it} + \alpha_{21,i} \text{inf densité}_{i,t-1} + \lambda_i IDHS_{i,t-1} + \eta_{it} \quad (2)$$

La réécriture de l'équation (2) pour faire apparaître la correction d'erreur :

$$IDHS_{it} = \delta_i \left[IDHS_{i,t-1} - \beta_{0i} - \beta_{1i} \text{inf utilisation}_{it} - \beta_{2i} \text{inf densité}_{it} \right] + \alpha_{11,i} \Delta \text{inf utilisation}_{it} + \alpha_{21,i} \Delta \text{inf densité}_{it} + \eta_{it}$$

Avec $\delta_i = -(1 - \lambda_i)$: La vitesse d'ajustement. Le paramètre δ doit être négatif pour qu'il y ait un retour de $IDHS_t$ à sa valeur d'équilibre de long terme.

$\beta_{ai} = \frac{\mu_i}{1 - \lambda_i}$: la constante, $\beta_{1,i} = \frac{\alpha_{10,i} + \alpha_{11,i}}{1 - \lambda_i}$ et $\beta_{2,i} = \frac{\alpha_{20,i} + \alpha_{21,i}}{1 - \lambda_i}$ sont des coefficients de long terme

Les données utilisées dans le cadre de cette étude proviennent du site de la Banque Mondiale pour la période 2000–2017. Ces données sont bien renseignées pour dix neuf pays en développement. Le premier groupe comprend l'Afrique du Sud, l'Algérie, le Bahreïn, l'Egypte, l'Iran, la Jordanie, le Kuwait, le Maroc, Oman, Qatar, la Tunisie et la Turquie, alors le second groupe de pays est constitué par Angola, Bénin, Cameroun, la Côte d'Ivoire, Ghana, Nigeria et Sénégal. Les statistiques descriptives de notre échantillon sont présentées dans le tableau 2 en annexe.

L'examen des statistiques descriptives nous révèle qu'en moyenne, certains pays de l'échantillon sont à IDHS élevé ou moyen, d'autres sont à IDHS faible. Ils semblent être aussi non homogènes vu que la différence entre le minimum et le maximum quant aux variables info- état TIC, info-densité et info-utilisation est élevée. Ce constat semble corroborer les idées que les pays à IDHS élevé sont avancés l'investissement dans les TIC.

4. Présentations et analyses des résultats

La méthodologie fondée sur un modèle VAR ou VEC en Panel nécessite plusieurs étapes. On commence par les tests de stationnarité pour déterminer s'il y a possibilité d'intégration ou non. Si le test de stationnarité montre que les séries sont intégrées d'un même ordre, il y a alors risque de cointégration. On peut envisager l'estimation d'un modèle VECM et le test de causalité entre les variables.

Le tableau A3 reporté en annexe résume les résultats du test de stationnarité des quatre variables utilisées dans le modèle. Les résultats révèlent que l'IDHS est stationnaire en niveau. Les trois autres variables sont toutes I(1) c'est-à-dire stationnaires en différence première.

En ce qui concerne le test de cointégration, Westerlund (2007) a développé quatre tests de cointégration en panel, l'idée sous-jacente étant de tester l'absence de cointégration tout en déterminant si les individus du panel peuvent adopter chacun un modèle à correction d'erreur.

Les tests statistiques G_a et G_t sont appelés des tests de moyennes de groupe et l'hypothèse alternative est qu'au moins une observation possède des variables coïntégrées. Les tests statistiques P_a et P_t combinent l'information de toutes les séries temporelles, l'hypothèse alternative est que le panel, considéré comme un tout, est coïntégré.

Le rejet de H_0 est donc considéré comme le rejet de non cointégration pour le panel tout entier. Des quatre statistiques de Westerlund (2007) construites avec les données des pays de l'échantillon, les statistiques P_t et P_a évoquent l'acceptation de l'hypothèse nulle de non cointégration entre les variables l'IDHS et l'info état TIC pour le panel tout entier (tableau A4 en annexe).

La statistique G_t montre aussi le rejet de l'hypothèse nulle de non cointégration entre ces variables au niveau individuel c'est-à-dire pour au moins un pays.

Les statistiques P_t et P_a conduisent au rejet de l'hypothèse de non cointégration entre les deux variables tant au niveau du panel qu'au niveau individuel.

En somme, le modèle vectoriel à correction d'erreur peut être adopté pour le panel tout entier et même pour les deux groupes des pays pris individuellement. Ce modèle permet de modéliser conjointement les dynamiques de court terme (représentées par les variables en différence première) et de long terme (représentées par les variables en niveau).

4.1 Estimation du modèle VECM en panel (Vector Error Correction Model)

Les résultats de l'estimation de la relation de court terme et de long terme entre l'IDHS et l'info état TIC par la méthode VECM sont présentés dans le tableau 1.

L'estimation du modèle montre qu'à long terme, le coefficient associé à la variable info état TIC est positif et significatif au seuil de 1%. Pour le groupe 1, une augmentation de 10% des TIC entraîne une augmentation de 0,95% de niveau de l'IDHS. Pour le groupe 2, l'augmentation des TIC de 10% tend à hausser l'IDHS de 0,72%.

Globalement, le modèle montre qu'à court terme, le développement durable n'est pas sensible aux TIC. L'estimation indique que la variable info état TIC est statistiquement non significative.

Ce résultat ne permet pas de distinguer entre les pays qui se sont tardivement engagées dans l'usage des TIC ou qui n'ont pas dépassé le stade de l'investissement dans les équipements en TIC.

Tableau 1: Résultat de l'estimation du modèle VECM

	(1)	(2)	(3)
	Panel tout entier	Groupe 1	Groupe 2
Δ IDHS		Long terme	
Info état TIC	0,185***	0,165***	0,345***
		Court terme	
EC(-1)	-0,137**	-	-
		0,225***	0,111***
Δ info état TIC	0,011	-0,013	0,042
Constante	7,13***	12,61***	4,93***

*, **, *** significativité à 10%, 5%, 1%

Dynamic Fixed Effects Regression: Estimated Error Correction Form

Source : Réalisé par l'auteur à partir des modèles 1 et 2.

Tableau 2 : Résultat de l'estimation de la dynamique de court terme (MCE)

	(1)	(2)	(3)
	Panel tout entier	Groupe 1	Groupe 2
Δ IDHS		Long terme	
Info densité	0,310***	0,149***	0,587***
Info utilisation	0,322	0,091***	0,717
		Court terme	
EC(-1)	-0,526***	-	-
		0,646***	0,320***
Δ info densité	0,033	-0,033	0,148
Δ info utilisation	-0,036**	-0,032	-0,044
Constante	25,84***	33,87***	12,07***

*, **, *** significativité à 10%, 5%, 1%

Mean Group Estimation: Error Correction Form

Source : Réalisé par l'auteur à partir des modèles 1 et 2.

Pour le groupe 1 de pays, à long terme, les coefficients associés aux variables densité et utilisation TIC sont statistiquement significatifs et positifs. En effet, une augmentation de 10% de la l'info – utilisation des TIC entraîne une augmentation de 0,49% de niveau de l'IDHS.

L'augmentation de 10% de la variable info – densité des TIC tend d'augmenter l'IDHS de 1%.

Pour le groupe 2, à long terme, l'augmentation de la densité des TIC de 10% tend à hausser l'IDHS de 1,6%.

L'info densité apparaît comme l'une des principales sources du développement durable dans les pays en développement.

Le coefficient associé à la variable info utilisation n'est pas significatif. Dans notre cas, l'info utilisation est approximé par le nombre d'utilisation d'Internet pour 100 habitants. Ce résultat corrobore également les conclusions de certains travaux notamment celles de l'union internationale des télécommunications (IUT) qui montrent que plusieurs pays en développement ne sont pas encore entrés de plain-pied dans l'ère du numérique.

A court terme, pour les deux groupes de pays, les estimations ont montré l'absence d'effet significatif de l'info densité et de l'info utilisation des TIC sur l'IDHS. Une hypothèse possible est que le renforcement des réseaux nécessaires pour tirer parti de ces technologies met du temps à se faire et que les effets positifs s'en feront sentir à plus long terme.

Les pays du groupe 2 se sont lancés au développement des télécommunications pour maintenir le secteur à la pointe de la technologie. Malgré cette volonté, l'accès direct des ménages à ces technologies reste extrêmement limité et les utilisateurs bénéficient d'un accès nettement plus restreint que ceux des pays riches.

Il semble que dans ces pays, il reste encore beaucoup à faire pour généraliser l'utilisation des TIC dans les secteurs clés et amener les citoyens à adopter les services en ligne. L'interconnexion des pays africains doit être référencée en termes de capacités des pays à parvenir à une utilisation optimale des liaisons établies pour la croissance économique et le développement social.

En ce qui concerne le modèle de court terme, le coefficient associé au résidu de l'équation de la relation de long terme, retardé d'un an, est négatif et significativement différent de 0 à 1% (le modèle à correction d'erreur est donc satisfaisant) confirmant ainsi l'existence d'un mécanisme à correction d'erreur : à long terme, les déséquilibres entre l'évolution de l'IDHS et celles de l'info-densité et de l'info-utilisation se compensent de sorte que les variables ont des évolutions similaires sur la période de l'étude.

Le coefficient de correction d'erreur indique la vitesse à laquelle tout déséquilibre entre les niveaux désiré et effectif de l'IDHS est résorbé dans l'année qui suit le choc. Pour le groupe 1 des pays à IDHS élevé, la valeur 0,646 représente donc la vitesse à laquelle le déséquilibre est résorbé. Ainsi, un choc sur l'IDHS au cours d'une année est entièrement résorbé au bout d'une année et demie. Pour le groupe 2 de pays à IDHS faible, un choc sur les trois dimensions de développement durable au cours d'une année est entièrement résorbé au bout de 3 ans.

Nos résultats montrent que l'info densité et l'utilisation des TIC, prises isolément, ne sont pas automatiquement corrélés avec le développement durable. Il semble intuitivement fondamental que les pays à IDHS élevé sont capables de diffuser et d'utiliser les TIC de manière efficace et réelle. Ces résultats pourraient refléter le fait que les TIC nécessitent d'être activées dans un environnement sophistiqué d'équipements avant de pouvoir contribuer efficacement au développement économique. Gurstein (2003) remet en question l'ensemble de bases des TIC pour le développement, et montre que les avantages économiques tirés des TIC ne seront pas vus jusqu'à ce que la nation dispose d'une fortune suffisante pour rendre la pénétration des TIC économiquement viable pour la majorité.

4.2 Analyse de la causalité

Le tableau 3 montre les résultats des tests de causalité de Hurlin et Dumitrescu (2012) entre l'info état et l'IDHS.

L'ensemble des pays de l'échantillon et les deux groupes de pays à IDHS élevé ou faible affichent une causalité allant de l'info-état à l'IDHS. Le retard optimal est de 3 ans. La causalité en sens inverse, de l'IDHS à l'info-état, est observée, avec un retard allant jusqu'à 4 ans.

Tableau 3 : Test de causalité de Hurlin et Dumitrescu (2012)
(Les variables qui causent sont sur les colonnes de la première ligne)

		Test de causalité			
Variable dépendante		Lags	IDHS	Lags	Info état
IDHS	Tous les pays			3	21,04** (0,000)
	Groupe 1			3	27,10** (0,000)
	Groupe 2			3	8,48** (0,000)
Info - état	Tous les pays	4	8,23** (0,000)		
	Groupe 1	4	6,15** (0,000)		
	Groupe 2	4	5,48** (0,000)		

*, **, *** significativité à 10%, 5%, 1%

Ces résultats doivent être considérés avec prudence car l'info état est indice composite de deux indices densité et utilisation. Un pays peut fournir un effort important dans le développement des réseaux des outils de traitement de l'information, sans offrir l'accès simplifié et accessible aux TIC, et d'encourager leur développement pour que tous les segments de la société puissent tirer profit des possibilités offertes par ces outils.

Pour affiner ces résultats, nous avons refait le test **de causalité de Hurlin et Dumitrescu (2012)** en dissociant entre les deux dimensions de l'info-état : info – utilisation et info-densité.

Les résultats reportés dans le tableau 4 montrent que :

- L'info-utilisation des TIC cause le développement durable dans le cas de groupe 2 de pays avec un retard de 3 ans et dans le cas du groupe 2 avec un retard d'une année.
- La causalité dans l'autre sens, de la variable IDHS vers la variable info-utilisation, est constatée, avec un retard optimal allant jusqu'à quatre ans, dans le cas des deux groupes de pays.

- Le groupe 1 de pays affiche une causalité de la variable info-densité vers le développement durable avec un retard d'une année. La causalité en sens inverse est observée avec un retard de 3 ans.
- La causalité unidirectionnelle allant de l'info-densité à l'IDHS est vérifiée dans le cas du groupe 2. La causalité dans le sens inverse, de l'IDHS à l'info-densité, n'est pas observée.

Tableau 4: Test de causalité de Hurlin et Dumitrescu (2012)
(Les variables qui causent sont sur les colonnes de la première ligne)

Variable dépendante		Test de causalité					
		Lags	IDHS	Lags	Info utilisation	Lags	Info densité
IDHS	Tous les pays			1	8,26** * (0,000)	1	20,17 *** (0,000)
	Groupe 1			1	4,57** * (0,000)	1	12,45 *** (0,000)
	Groupe 2			3	6,68** * (0,000)	4	10,25 *** (0,000)
Info utilisation	Tous les pays	4	11,96 *** (0,000)				
	Groupe 1	4	11,17 *** (0,000)				
	Groupe 2	4	5,60* ** (0,000)				
Info densité	Tous les pays	2	0,887 (0,374)				
	Groupe 1	3	4,33* ** (0,000)				
	Groupe 2	2	1,36 (0,172)				

*, **, *** significativité à 10%, 5%, 1%

Les différents tests effectués ont permis d'établir l'existence de causalité entre l'info-état TIC représenté par les deux variables, à savoir, l'info-densité et l'info-utilisation, et le développement durable.

Il ressort de tout ce qui précède que :

- Les relations de causalité bidirectionnelle entre les variables de l'info-état TIC et le développement durable sont mieux établies pour le groupe 1 de pays que pour le groupe 2 de pays.
- La causalité, dans les deux sens entre l'info-densité et le développement durable, est présente dans le cas du groupe 1 de pays de l'échantillon. L'accroissement de niveau de développement pousse l'info-densité à se développer et à répondre aux besoins de l'économie. Il nous semble que ces relations dépendent plutôt des spécificités des pays, de l'efficacité et du niveau de développement du pays.
- La causalité, dans le sens de l'info-utilisation vers le développement durable, est vérifiée dans les deux groupes de pays.

Au total, le niveau de développement du pays influence le niveau d'adoption des TIC. Une amélioration du niveau de développement du pays constitue une opportunité d'amélioration du niveau de diffusion des TIC. Ce résultat est encourageant pour les réformes en cours dans le secteur des télécommunications.

La causalité, qui va de l'info-densité vers le développement durable, est la plus forte et la plus significative et non l'inverse. Bocquet *et al.* (2007), indiquent qu'avant d'investir dans les TIC, les utilisateurs potentiels ont besoin d'acquérir de la connaissance sur les technologies disponibles de manière à pouvoir sélectionner les plus profitables. L'importance de cette causalité diffère fortement entre les pays de l'échantillon. Il faudrait un niveau minimum de développement des TI avant d'observer ses effets bénéfiques sur le développement durable. Une intégration technologique à grande échelle est vraisemblablement un garant pour le développement durable.

Conclusion

Le présent article a examiné la relation entre les TIC et le développement durable. D'abord, le fait d'articuler la vision du développement des TIC avec celle du développement durable, au travers de l'approche par les capacités, a permis d'explicitier les fondements d'un développement durable. C'est le développement des TIC qui garantit l'amélioration des capacités de bien-être pour tous au sein de chaque génération en veillant, au moyen d'une transmission équitable des capacités d'une génération à l'autre.

Ensuite, le calcul des indicateurs liés aux TIC et l'indice de développement durable soutenable (IDHS) a fait ressortir deux groupes de pays. Un premier groupe à IDHS élevé et

à fort niveau d'info-état TIC comprend le Bahreïn, le Kuweit et Qatar et les autres pays de MENA, la Turquie, la Tunisie, la Jordanie, l'Algérie, l'Iran, l'Egypte, le Maroc, Oman et l'Afrique du Sud. Le deuxième groupe englobe les pays africains à IDHS moyen avec des faibles niveaux d'info-état TIC comme le Sénégal, Ghana, la Côte d'Ivoire, Nigéria, le Cameroun, Bénin et Angola.

Dans cet échantillon, nous observons sans ambiguïté l'existence d'un lien entre le niveau de l'IDHS et le niveau des TIC. Avec cette constatation, la question est bien « comment se fait-il que les pays à IDHS élevé affichent un niveau élevé des TIC ? »

Enfin, nous avons estimé un modèle à correction d'erreur en panel sur l'échantillon choisi de 19 pays en développement de l'Afrique et de MENA pour la période de 2000-2017 l'autre, de manière à ce que la génération présente bénéficie d'au moins autant de capacités que la génération précédente ». Ces conditions ont aussi pour effet d'impliquer que personne ne soit exclu, ou n'ait le sentiment d'être exclu, du mécanisme intergénérationnel de transmission des capacités.

Conclusion

Le fait d'articuler la vision du développement humain avec celle du développement durable, au travers de l'approche par les capacités, permet d'explicitier les fondements d'un développement humain durable. Il s'agit d'un développement que l'on définit comme « garantissant l'amélioration des capacités de bien-être pour tous au sein de chaque génération en veillant, au moyen d'une transmission équitable des capacités d'une génération à l'autre, que l'accroissement des capacités au sein d'une génération donnée ne compromette pas la constitution des capacités des générations suivantes ».

Il permet ainsi de résoudre le problème de l'équité intergénérationnelle en termes de capacités et d'éviter que surgissent des situations irréversibles comme les conflits armés aux conséquences irréparables en termes humains et sociaux. En effet, de trop nombreux exemples montrent l'échec de cette transmission en raison du non respect des conditions de durabilité sociale pour des raisons exogènes ou endogènes. L'inégalité de capacités, au sein d'une même génération, comme entre les générations, est la forme d'inégalité qui est la plus fortement ressentie par les populations car elle touche directement leurs libertés de choisir et d'accomplir leur mode de vie. Elle a donc un impact très fort sur l'existence des gens

L'estimation économétrique montre :

- Un impact, à long terme, positif et significatif de l'info-densité des TIC sur le développement durable.

- Un impact, à long terme, positif et significatif de l'info-utilisation des TIC sur le développement durable dans le cas du premier groupe. Lorsque ces technologies sont disponibles, leur utilisation extensive est la preuve du succès qui peut provenir d'un niveau de développement durable élevé.

L'analyse de causalité montre :

- Pour les deux groupes de pays, un lien de causalité bidirectionnelle entre l'info-utilisation des TIC et le développement durable. Mais, le développement durable cause l'utilisation des TIC avec un retard de 4 ans.
- Pour le premier groupe de pays, une causalité bidirectionnelle qui va de l'info-densité vers le développement durable et vice versa, soutenant ainsi la thèse que l'expansion du secteur TI affecte les piliers de développement durable.
- Pour le deuxième groupe de pays, une relation unidirectionnelle entre l'info-densité et le développement durable. La causalité n'existe pas dans la direction opposée, c'est-à-dire de l'IDHS à l'info-densité.

La constatation fondamentale qui ressort de cette étude est que la capacité des TIC à réaliser les principaux objectifs de développement n'est pas systématique. Pour les pays du premier groupe, nous proposons un nouveau modèle d'accès et d'usage des TIC qui donne plus d'importance à l'apprentissage, à l'acquisition des connaissances en matière de TIC et aux nouveaux modes d'organisation.

Quant au deuxième groupe, l'heure n'est pas encore aux questionnements concernant les besoins des usagers, mais bien au renforcement des infrastructures des TIC et de leur performance dans le but de réaliser les objectifs de développement durable.

Bibliographie

- Anand, P., Hunter, G., Carter, I., Dowding, K., Guala, F. & Van Hees, M. (2009). The Development of capability indicators. *Journal of Human Development and Capabilities*, 10(1), 125-152.
- Ballet, J., Dubois, J. L. and Mahieu, F. R. (2005). *L'autre développement, le développement socialement soutenable*. L'Harmattan, Paris.
- Bayon D. (2007). Des économies vulnérables et dépendantes. In : Levratto N. (ed), *Comprendre les économies d'outre-mer*. Paris : L'harmattan (chapitre 2).
- Bilal Mehmood W. Siddiqui (2013) "What causes what? Panel cointegration approach on investment in telecommunication and economic growth: Case of Asian countries" January 2013 *Romanian journal of economic forecasting* 16(47):3-16
- BLOOM, N., SADUN, R., VAN REENEN, J. (2012), « Americans Do It Better: US Multinationals and the Productivity Miracle », *American Economic Review*, 102(1), 167-201. DOI : [10.1257/aer.102.1.167](https://doi.org/10.1257/aer.102.1.167)
- Breuil H., Burette D., Flüry-Hérard B., Cuegniet J., Vignolles D., (2008). TIC et développement durable. Rapport du CGEDD (Conseil général de l'environnement et du développement durable) & CGTI (Conseil général des technologies de l'information), Paris, ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du Territoire, ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi, http://www.handiplace.org/media/pdf/rapport_tic.pdf.
- C.Akomea-Bonsu (2012). "The impact of Information and Communication Technologies (ICT) on Small and Medium Scale Enterprises (SMEs) in the Kumasi Metropolis", Ghana, West Africa. *European Journal of Business and Management*, 152-158.
- Chandana Chakraborty and Banani Nandi (2011), Mainline' telecommunications infrastructure, levels of development and economic growth: Evidence from a panel of developing countries Volume 35, Issue 5, Telecommunications policy, Pages 399-482 (June 2011)
- Chapter seven (2007)" The ICT Opportunity Index (ICT-OI)" (2007). World information society report
- Cruz, I. (2006). Human Development assessment through the Human-Scale Development approach: integrating different perspectives in the contribution to a Sustainable Human Development Theory. Thèse de Doctorat, Université Polytechnique de Catalogne.
- Dahmani Ahmed, (2013) « Les TIC au service du développement en Afrique : une approche par les capacités » In Jean-Michel LEDJOU et Hanitra RANDRIANASOLO-RAKOTOBE, *Des réseaux et des hommes ; Les Sud à l'heure des technologies de l'information et de la communication*, Editions KARTHALA et GEMDEV, 2013, p. 301.

- Daly, M. et T. Butler (2009). Environmental Responsibility and Green IT: An Institutional Perspective. Proceedings of the European Conference on Information Systems (ECIS"2009), Verona, Italy.
- Deltour, F. (2010). Peut-on produire des « TIC vertes » ? Equipementiers et parties prenantes dans le débat sur le caractère écologique des TIC. 15ème colloque de l'AIM. La Rochelle.
- Dumitrescu, E. & Hurlin, C. (2012), "Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels", *Economic Modelling*, vol. 29, no. 4, pp. 1450-1460.
- Elliot, S. (2007). Environmentally Sustainable ICT: A Critical Topic for IS Research? Pacific Asia Conference on Information Systems (PACIS, 2007), Auckland, New Zealand
- Farhadi, M.; Ismail, R.; Fooladi, M. Information and communication technology use and economic growth. *PLoS ONE* 2012, 7, e48903.
- Grunfeld, H. (2013). "ICT for sustainable development: an example from Cambodia. The Journal of Community Informatics", *10*(2). Retrieved from <http://128.163.188.57/index.php/ciej/article/view/900>
- Gurstein, M. (2003). Effective use: A community informatics strategy beyond the digital divide. *First Monday*, Volume 8, Number 12 - 1 December 2003. Retrieved from
- Gutiérrez, L.H., 2011, "ICT and labor productivity in Colombian manufacturing industry", in Vergara, S., Rovira, S. and Balboni, M., *ICT in Latin America: A Microdata Analysis*, ECLAC - United Nations, and MPRA Paper No. 34598.
- Hilty, L.M., Ruddy, T.F. (2010) "Sustainable Development and ICT Interpreted in a Natural Science Context: the Resulting Research Questions for the Social Sciences. *Information, Communication & Society* 13(1), 7–22 (2010)
- Lal, K., (2007), "Globalization and Adoption of ICTsin Nigerian SMEs", *Science, Technology Society*, 12(2), 217-244.
- Majeed, M. T., & Ayub, T. (2018). Information and Communication Technology (ICT) and Economic Growth Nexus: A Comparative Global Analysis. *Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences*, 12(2), 443-476.
- Molla, A. et V. Cooper (2009). "Green IT readiness. A framework and preliminary proof of concept" *Australasian Journal of Information Systems* 16(2): 19.
- Niebel, T. (2018). "ICT and Economic Growth—Comparing Developing, Emerging and Developed Countries". *World Development*, 104, 197-211.
- Nourry M., (2008), « Measuring sustainable development: some empirical evidence for France from eight alternative indicators », *Ecological Economics*, Vol. 67, n°3, pp. 441-456
- Pearce D.W, Hamilton K., Atkinson G.,(2008) « Measuring sustainable development: progress on indicators », *Environment and Development Economics*, Vol. 1, n°1, pp. 85-101.

- Pedroni, P., “Panel Cointegration, Asymptotic and Finite Sample Properties of Pooled Time Series Tests with an Application to the PPP Hypothesis”, *Working Paper in Economics*, 1995, 92-013, Indiana University.
- Pedroni, P., “Panel Cointegration. Asymptotic and Finite Sample Properties of Pooled Time Series Tests with an Application to the PPP Hypothesis”, *Econometric Theory*, 2004, 20(3). pp. 597-625.
- Polishchuk, Y. and Rauschmayer, F. (2012). Beyond “benefits”? Looking at ecosystems services through the capability approach. *Ecological Economics*, vol.81, 103–111.
- Sabine GARABEDIAN, Jean-François HOARAU (2011). “Indicateur de développement humain pour petits espaces insulaires 2011 - N° 4 Revue d’Économie Régionale & Urbaine
- Sang H. Lee , John Levendis & Luis Gutierrez (2012)”Telecommunications and economic growth: an empirical analysis of sub-Saharan Africa”. *Journal Applied Economics* Volume 44, 2012 - Issue 4
- Schultz, E., Christen, M., Voget-Kleschin, L., Burger, P. (2013). A sustainability-fitting interpretation of the capability approach: Integrating the natural dimension by employing feedback-loops. *Journal of Human Development and Capabilities*, 14(1), 115–133.
- Sen, A.K. (2000). *Social Exclusion: concept, application and scrutiny*. Social Development Paper No. 1, Manila: Asian Development Bank.
- Sen, A.K. (2005). Human rights and capabilities. *Journal of Human Development*, 6(2), 151-166.
- Sen, A.K. (2009). *The Idea of Justice*. Harvard University Press.
- Shiu, A. and P.L. Lam, (2008). Causal Relationship between Telecommunications and Economic Growth in China and its Regions, *Regional Studies*, 42:5, 705-71
- Steinmueller, E., (2001), « Les TIC et les possibilités pour les PED de brûler les étapes », *Revue internationale du travail*, 140(2).
- STIGLITZ J., SEN A., FITOUSSI J.P., 2009, Rapport de la Commission sur la mesure des performances économiques et du progrès social.
- Tello, M. D., 2011, “Science and technology, ICT and profitability in the manufacturing sector in Peru”, in Vergara, S., Rovira, S. and Balboni, M., *ICT in Latin America: A Microdata Analysis*, ECLAC - United Nations, and MPRA Paper No. 34598.
- Torero, Maximo & von Braun, Joachim (ed.), 2006. "Information and communication technologies for development and poverty reduction: The potential of telecommunications," *IFPRI books*, International Food Policy Research Institute (IFPRI), number 0-8018-8041-6, May
- Warschauer M. (2003), “Technology and social inclusion”. *Rethinking the digital divide*, MIT Press, Boston.

- WAVERMAN, L., MESCHI, M., FUSS, M., 2005, « The impact of telecoms on economic growth in developing countries », in Africa: The Impact of Mobile Phones: Moving the Debate, The Vodafone Policy Paper Series, n°2, Newbury - Berkshire.
- Westerlund, Joakim, (2007), Testing for error correction in panel data”, Oxford Bulletin of Economics and Statistics, 2007, 69: 709-748.
- Wolde-Rufael, Y., 2007. Another look at the relationship between telecommunications investment and economic activity in the United States. *International Economic Journal*, 21: 199-205.
- World Bank (2016), World Development Report 2016: Digital Dividends, Washington, DC, World Bank. DOI : [10.1596/978-1-4648-0671-1](https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0671-1)
- Yousefi, A. (2011), “The impact of information and communication technology on economic growth: Evidence from developed and developing countries”. *Econ. Innov. New Technol.* 2011, 20, 581–596.
- Zimmermann, B. (2006). “Pragmatism and the capability approach. Challenges in social theory and empirical research”. *European Journal of Social Theory*, n°9 (4), 467-484.

Annexe

Tableau A1 : L'IDHS et l'IDH pour les 19 pays de l'échantillon (Moyenne pour toute la période).

Pays	IDHS	IDH	IDH-IDHS	IVE	Info- état TIC
Kuwait	56,09	79,24	23,15	41,28	47,38
Qatar	60,45	83,44	22,99	29,95	48,45
Bahreïn	61,48	80,36	18,88	33,62	53,01
Oman	63,27	77,46	14,19	24,39	34,75
Iran	60,95	73,99	13,03	24,54	29,25
Tunisie	58,97	70,18	11,21	21,19	30,42
Jordanie	61,82	72,63	10,82	21,15	28,29
Egypte	55,76	65,52	9,75	17,15	23,78
Algérie	61,40	71,09	9,69	13,04	20,59
Benin	36,70	46,33	9,64	37,74	6,45
Nigéria	39,37	48,61	9,25	32,42	8,51
Ghana	44,94	53,87	8,93	39,74	10,81
Afrique du Sud	55,81	64,60	8,79	23,18	28,36
Maroc	54,20	60,47	6,26	16,05	29,81
Angola	44,47	49,80	5,33	36,65	6,11
Turquie	67,41	72,43	5,01	12,19	37,74
Cameroun	48,41	49,71	1,30	22,90	9,82
Côte d'Ivoire	42,62	43,58	0,96	19,02	9,22
Sénégal	44,11	44,66	0,55	31,64	11,97

Source : calcul de l'auteur

IDH-IDHS : variation en points

IVE : Indice de vulnérabilité économique

Conformément à la construction de l'IDH, la somme des valeurs de pondération est égale à l'unité, ce qui permet de déduire l'IDHS d'une moyenne arithmétique simple de ses quatre dimensions. La méthodologie adoptée ici est finalement très proche de celle de l'IDH standard.

Figure A1 : IVE par pays

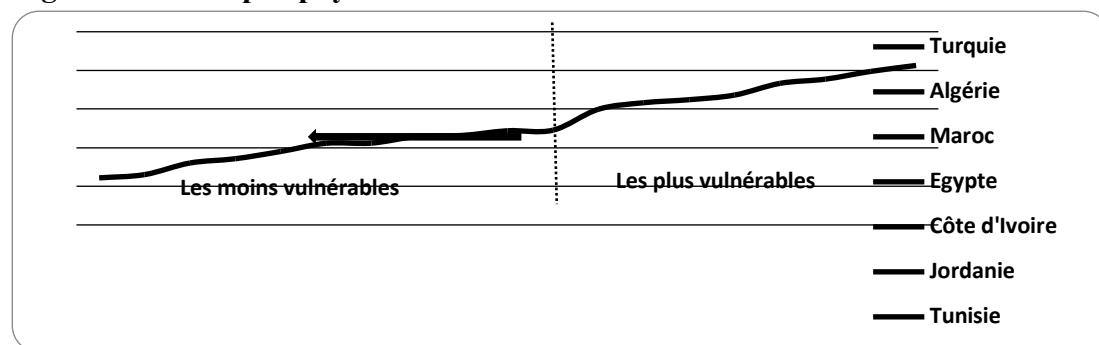


Tableau A2 : Statistiques descriptives

Variable	Obs	Moyenne	Std. Dev.	Min	Max
IDHS	342	53.59109	9.512924	31.44418	72.47038
IDH	342	63.57632	13.55652	38	85.6
Info-état TIC	342	24.98551	20.27749	.2202179	82.97363
Info -utilisation	342	23.52882	24.53663	.0640808	100
Info-densité	342	29.84005	18.23892	.7567931	70.31582
Compétences TIC	342	58.78633	16.70732	22.34764	86.40194

Tableau A3 : Tests de racine unitaire en panel

Test de racine unitaire en panel						
Statistiques	Levinlin		IPS		Fisher	
	Coefficients	p-value	Coefficients	p-value	Chi2	p-value
IDHS	-3,46	0,000	2,819	0,997	34,45	0,634
ΔIDHS	-3,26	0,000	-7,44	0,000	274,35	0,000
Info-densité	-5,49	0,161	4,035	1,000	81,37	0,000
ΔInfo-densité	-1,69	0,043	-3,103	0,001	91,04	0,000
Info-utilisation	6,005	1,000	14,31	1,000	1,45	1,000
ΔInfo-utilisation	-0,617	0,268	-4,86	0,000	205,98	0,000
Info-état	0,572	0,716	7,99	1,000	11,77	1,000
Δinfo- état	-2,59	0,004	-6,54	0,000	223,34	0,000

Δ=opérateur de différence première

Tableau A4 : Test de cointégration de Westerlind (2007)

IDHS Info-état			
Statistique	Valeur	Z- valeur	P-value
Gt	-2.872	2.800	0.003
Ga	-24.199	8.061	0.000
Pt	-9.441	0.270	0.394
Pa	-15.852	5.034	0.000
IDHS-Info-densité			
Statistique	Value	Z-value	P-value
Gt	-3.100	4.038	0.000
Ga	-22.733	7.100	0.000
Pt	-10.861	1.923	0.027
Pa	-15.694	4.918	0.000
IDHS-Info-utilisation			
Statistique	Value	Z- value	P-value
Gt	-2.720	1.977	0.024
Ga	-22.719	7.091	0.000
Pt	-9.211	0.002	0.499
Pa	-14.403	3.976	0.000

Résultats pour H0: pas de cointegration. Avec 19 séries and 1 covariate

Average AIC selected lag length: 2

Average AIC selected lead length: 2.95