

La robotique collaborative.

Promouvoir un outil de développement en jugulant la faiblesse des
infrastructures physiques en Afrique

Titi PALE



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/ctd/2628>

DOI : [10.4000/ctd.2628](https://doi.org/10.4000/ctd.2628)

ISSN : 2491-1437

Éditeur

Chaire Unesco Pratiques émergentes en technologies et communication pour le développement

Édition imprimée

ISBN : 2491-1437

Référence électronique

Titi PALE, « La robotique collaborative. », *Communication, technologies et développement* [En ligne], 8 | 2020, mis en ligne le 30 juin 2020, consulté le 28 mars 2021. URL : <http://journals.openedition.org/ctd/2628> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/ctd.2628>

Ce document a été généré automatiquement le 28 mars 2021.

Communication, technologies et développement

La robotique collaborative.

Promouvoir un outil de développement en jugulant la faiblesse des infrastructures physiques en Afrique

Titi PALE

Introduction

- 1 L'une des prouesses de la science et des techniques de l'industrie de ces dernières décennies est le développement spectaculaire de la robotique, découverte dans les années 1960. On peut définir la robotique comme un système technologique d'autonomisation des tâches qui interconnecte des objets en vue de « découpler les rythmes de production pour un nombre d'ouvriers toujours réduit »¹. Dans sa thèse de doctorat consacrée à la Navigation d'un robot mobile dans un environnement intérieur structuré et encombré, Adrien Durand-Petiteville (2012 : 1) considère que la robotique « consiste à concevoir et à étudier des machines intelligentes, c'est-à-dire des machines capables de réaliser des tâches avec un certain degré d'autonomie. Les disciplines de recherche associées à cette thématique sont articulées autour de la perception (traitement du signal, reconnaissance de formes), de la décision (intelligence artificielle) et de l'action (automatique) ». Pour Michel Devy (2012, résumé) cette robotique industrielle se caractérise aujourd'hui par un ensemble de « bras manipulateurs autonomes pour réaliser des tâches répétitives à haute cadence, ou des chariots sans conducteur qui suivent des trajectoires fixes ». Ce chercheur ajoute que « La mise en œuvre de ces solutions robotisées a un fort impact sur l'environnement humain ; elles doivent satisfaire à des contraintes de sécurité et de robustesse et se caractérisent par leur faible versatilité et des capacités d'adaptation limitées » (*idem*). La fiabilité du modèle économique de la robotique industrielle fait que la réduction des emplois humains induit par l'introduction de cette nouvelle technologie est très largement minimisée par les spécialistes. En effet, l'autonomisation de l'industrie dope tellement la productivité et la compétitivité des entreprises qu'elle s'est mondialisée. Cette tendance a « permis aux Européens de conserver un semblant de compétitivité face à la main-d'œuvre pléthorique des pays en développement au premier rang desquels figure la Chine (...) Pour rester compétitives, les entreprises chinoises se

lancent elles aussi de plain-pied dans la robolution en rachetant un certain nombre de fabricants historiques »².

- 2 La robotique collaborative renvoie à un domaine de pratiques et de recherches où l'enjeu reste de mettre la machine (robot) au service de l'homme. Le potentiel des idées dans ce domaine a été présenté et analysé dans des travaux théoriques et techniques consacrés à la nature et aux problèmes techniques de la robotique collaborative (Burgard et al., 2000 ; Fong, Thorpe and Baur, 2003). Quelques travaux ont décrypté l'insertion sociale de la robotique collaborative (Severinson-Eklundh, Green, and Hüttenrauch, 2003), tandis que d'autres touchaient à l'ergonomie et à la comanipulation d'objets et au rapport homme-robot (Dumora, 2014 ; Hinds, Roberts and Jones ; Maurice, 2015). Intégrant ces débats savants, Bernard Claverie, Benoît Le Blanc et Pascal Fouillat (2013 : 203) ont remarqué avec finesse que dans la robotique collaborative, « Les robots, êtres mécaniques autonomes, vont collaborer avec les hommes ; ils perdent leur autonomie pour se soumettre aux hommes, et en deviennent donc des cobots ». Au-delà de ce jeu de subordination de la machine à l'homme, ces chercheurs notent que la cobotique couvre un domaine de recherche sérieux et nouveau : citant *Wikipedia*, ils notent qu' « il s'agit d'une « branche émergente de la technologie à l'interface de la cognitive et du facteur humain (comportement, décision, robustesse et contrôle de l'erreur), de la biomécanique (modélisation du comportement et de la dynamique des mouvements) et de la robotique (utilisation d'artefacts dans un but de production de comportements mécaniques fiables, précis et/ou répétitifs à des fins industrielles, de santé ou de convivialité) ». On est donc dans un domaine interface, une discipline « émergente », ou plutôt une « interdiscipline » à visée opérationnelle, qui se propose à la fois de produire des outils, d'imaginer et concevoir pour la rendre effective une relation particulière entre robots et hommes, et entre hommes entre eux par l'intermédiaire des robots » (Claverie et al. 2013 : 204).
- 3 Quelle que soit la nature et les termes du débat qui entourent la robotique collaborative, l'Afrique n'est pas partie prenante de cette nouvelle donne globale : pour longtemps encore, ce continent regardera le monde se robotiser, en raison de son très faible niveau d'industrialisation et de sa très insuffisante insertion dans le commerce mondial. Mais en dépit de ces limites objectives du continent africain dans le domaine de la robotique industrielle, la présente contribution réfléchit l'apport de la robotique au travers de la cobotique (ou robotique collaborative), qui s'insère entre le robot industriel et l'homme. L'objectif est ici de montrer que dans le lien de l'industrie et de l'homme, des perspectives stimulantes de la robotique s'offrent au continent africain, notamment du côté de la robotique collaborative. Dans divers domaines de la vie (sécurité, éducation, santé, loisirs, lutte contre la pauvreté, etc.), le développement exponentiel constaté en robotique collaborative indique clairement que bientôt, l'homme ne pourra plus se passer de la puissance de ces machines pour optimiser son savoir-faire et ses moyens d'anticiper et de maîtriser convenablement les dégâts et les risques qu'il gère ou génère au quotidien. Pour nous, la robotique collaborative est un atout important pour l'Afrique aux prises avec le sous-développement, notamment de ses infrastructures traditionnelles et physiques. Ici, il s'agira essentiellement de répondre aux questions suivantes : quelles sont les bases du *design* de la production des robots collaboratifs et quels domaines spécifiques pourraient être dopés, en Afrique, par l'introduction des outils ainsi produits ? Quels sont les risques de la robotisation pour l'avenir de l'économie africaine ? Quelles infrastructures physiques préalables

manquent en Afrique à l'heure de la robotique industrielle et collaborative ? Comment se jure-t-on aujourd'hui ce déficit d'infrastructures physiques et sur quels points doit-on aller plus loin et plus vite ?

Robotique industrielle et robotique collaborative

- 4 La technique de création et de promotion d'outils innovants met en mouvement un modèle de production et une méthodologie réversible (*design* technologique). Dans ce cadre, la robotique collaborative propose une gamme d'objets nouveaux qui modifient avantageusement l'environnement et le rendement du travail. Grâce à l'électronique et au génie informatique, et plus spécifiquement aux travaux des différents domaines de recherche et d'applications liés aux Systèmes Automatiques et Microélectronique (SAM), la robotique collaborative a fait des progrès considérables par la fabrication des outils d'ISS (Information, Structures et Systèmes). En informatique, une synthèse analytique et évaluative de l'évolution des connaissances sur ce secteur nouveau a été proposée par Haythem Ghazouani (2012), qui a étudié minutieusement les différentes fonctionnalités visuelles qu'il convient d'embarquer sur un robot destiné à la mobilité et à la navigation dans un espace intérieur. Articulant la mise en place conjointe des capteurs de profondeur et de couleur et les algorithmes de détection de squelettes en super-temps réel, Masse et al. (2014) montrent combien la recherche sur les capteurs de mouvements humains a réalisé des progrès dans le champ de la communication Homme-Machine et permis un approfondissement de la maîtrise de la robotique de détection. Depuis les cinq dernières années, les chercheurs ont étendu le champ d'application de cette robotique de détection à l'agriculture, notamment à l'arboriculture où elle sert précisément à repérer des fruits à partir des images collectées grâce aux caméras d'un verger (Dore et al., 2017). Cette approche vise à « développer des outils d'assistance aux arboriculteurs en leur donnant un moyen d'estimer le rendement d'un verger, en extrapolant à partir de l'estimation obtenue sur quelques arbres sélectionnés dans ce verger. Cette estimation doit pouvoir se faire à plusieurs étapes de croissance, mais en particulier avant la récolte, cela pour pouvoir planifier les ressources nécessaires (personnel, palox, etc.) [...] (et) s'adapter à plusieurs fruits (pomme, prune, etc.), mais aussi, pour chacun, à plusieurs variétés » (Dore et al., 2017, introduction, p.2/9).
- 5 Si plusieurs architectures de réseaux de tailles différentes rentrent en jeu dans la mise en place des modèles de détection en robotique collaborative, la base de travail des chercheurs sus-évoqués est constituée de deux outils qui exploitent « les réseaux de neurones de convolution pour la détection d'objets » : le Faster R-CNN et le Yolo. Dans le cas du Faster R-CNN qui a été élaboré par S.Ren et al (2015), il est proposé un algorithme « qui repose sur une détection entièrement faite avec des réseaux de neurones de convolution » (Dore et al., 2017, p.4/9). Sur le détail et la méthodologie de cette procédure, S. Ren et ses collègues utilisent deux réseaux de neurones : « un premier réseau de neurones de convolution prend en entrée une image de taille quelconque et donne en sortie des régions dans lesquelles pourraient se trouver les objets à détecter. — le second réseau prend en entrée les régions proposées par le premier réseau et recherche si elles contiennent l'objet à détecter » (Dore et al., 2017, p. 4/9). On doit à J.Redmon et al.(2015) l'algorithme qui permet la mise en place du Yolo. Pour Dore et al. (2017, p.4/9), « Cet algorithme repose sur deux étapes qui sont

appliquées sur des images de taille prédéfinie lors de l'apprentissage : – une détection d'objets opérée par des réseaux de neurones de convolution ; – un quadrillage de l'image où l'on prédit la classe de l'objet s'il existe (dans notre cas soit une pomme soit rien) ». Comparant les deux modèles de détection, Dore et al. (2017, p.4/9) observent que « L'une des principales différences entre YOLO et Faster RCNN est le temps de calcul, YOLO permet d'avoir une détection de 37 images par seconde pour une image de 445x445x3 alors que Faster R-CNN permet d'avoir seulement 5 images par seconde (sur les images prises dans des vergers). De plus, sur les data sets VOC2012 et VOC2007, YOLO semble donner de meilleurs résultats ».

- 6 L'agriculture n'est pas le seul champ d'exploration et d'application de la robotique collaborative dont les prémises datent des années 1960. Si l'on observe la pratique dans ce domaine technoscientifique en temps long, on constatera que « Dans un premier temps, les chercheurs se sont intéressés à la robotique de manipulation et à ses applications, notamment dans l'industrie manufacturière. A partir des années 1980, en raison de l'augmentation de la puissance de calcul embarquable et de l'amélioration des capteurs, la robotique mobile devient un thème de recherche important avec comme objectif la création de robots capables d'explorer des zones dangereuses ou inaccessibles pour l'homme » (Durand-Petiteville, 2012 : 1). Il s'ensuit que dans tous les domaines de la recherche et de la pratique industrielle, éducative et thérapeutique, culturelle et ludique, la robotique collaborative a son mot à dire grâce à la maîtrise de l'architecture embarquée et aux outils faits sur mesure qu'elle propose aux différents chercheurs, intervenants, acteurs et experts.
- 7 Dans le domaine sensible de la santé par exemple, les robots collaboratifs participent aux diagnostics et à pratiquement toutes les formes d'intervention chirurgicale, permettant ainsi d'articuler soins et sécurité (Acoulon, 2014). Plus intéressant encore, la robotique collaborative est une nouvelle technologie qui contribue très nettement à combler une attente sociale plus qu'essentielle en matière de santé : la relocalisation, autrement dit la re-personnalisation de l'information médicale. Grâce à la robotique collaborative, il y a en effet émergence d'une approche sociale, relationnelle et qualitative de la santé, dans laquelle « la maladie ne doit plus être traitée sous le seul angle fonctionnel, mais également sous celui de la culture, de l'histoire et du savoir expérimentiel du patient » (Dubey 2014 : résumé).

Robotisation et avenir de l'économie africaine : le point de vue du FMI

- 8 Au cœur de l'industrie contemporaine, l'Afrique peut redouter les conséquences de ces changements technologiques auxquels participent la robotique industrielle et la robotique collaborative. En effet, les avancées technologiques posent d'abord la question de savoir si l'homme ne sera pas, à terme, purement et simplement remplacé par la machine. Selon une publication des chercheurs du département des études financières du Fonds Monétaire International (FMI), « La vague actuelle d'avancées technologiques devrait bouleverser les marchés du travail aux niveaux national et mondial. Par le passé, les périodes de changement technologique ont conduit à une amélioration des niveaux de vie, mais les périodes de transition étaient marquées par des craintes quant à l'avenir du travail, car de nouveaux et différents emplois tardaient à remplacer ceux devenus obsolètes » (Perinnet et al., 2018 : 39). Actuellement, les pays

développés sont dans une phase de transition imposée par cette quatrième révolution industrielle.

- 9 L’Afrique, elle, part de plus bas et risque de prendre les effets de ces changements de plein fouet. Au regard de la vague actuelle des innovations technoscientifiques, c’est en Afrique que se concentre la crainte des impacts de ces changements sur l’emploi. Sur ce continent jeune et à la démographie dynamique, un jeune sur deux est au chômage. Ailleurs, la robotisation des sociétés a engendré un tassement des revenus du travail et une croissance des inégalités. Dès lors que cela se fait sur fond de vieillissement de la population (cas du Japon et des démocraties occidentales), ces pays « accueillent ainsi favorablement la possibilité de maintenir ou d’accroître leur niveau de production avec moins de travailleurs » (Perinet et al., 2018 : 39). Dès lors, le problème de l’Afrique subsaharienne est que la quatrième révolution industrielle arrive au moment où « la population active continue d’augmenter rapidement ». Dès lors, la question se pose de savoir « Comment l’Afrique subsaharienne peut-elle créer les 20 millions d’emplois par an nécessaires sur les deux prochaines décennies pour absorber sa population active croissante ? » (*idem*).
- 10 Pour résoudre ces équations difficiles, ces chercheurs ont modélisé les effets de la quatrième révolution industrielle à partir d’un modèle qui « divise le monde en deux régions qui peuvent s’échanger des biens : une région composée de pays avancés et une région à faible revenu comme l’Afrique subsaharienne. Dans ces deux régions, les biens sont produits en utilisant du capital classique, du travail et des robots. Les robots sont définis au sens large de façon à inclure tout l’éventail des nouvelles technologies qui constituent la quatrième révolution industrielle, dont l’automatisation, l’apprentissage automatique et l’intelligence artificielle. » (Perinet et al., 2018 : 41-42). D’après ce modèle, l’écart de revenus du travail dans les deux régions montre clairement le faible niveau de productivité du capital en Afrique, en raison notamment du sous-équipement technologique. Pour ce modèle, « Les robots se substituent aux travailleurs, par exemple, lorsqu’une entreprise automobile introduit des robots sur sa chaîne de montage pour installer des phares, une tâche auparavant réalisée manuellement par des travailleurs. À l’inverse, l’utilisation de la technologie numérique dans l’agriculture, par le biais d’une application qui permet aux agriculteurs de traiter des infestations parasites, est un exemple de complémentarité entre les robots (au sens large) et les travailleurs. Bien entendu, ces deux évolutions peuvent se produire de façon parallèle ou successive » (Perinet et al., 2018, 42). Le modèle prévoit qu’en cas de doublement de la productivité des robots, les deux régions voient considérablement augmenter leur productivité et, par conséquent, la production des richesses (le PIB par habitant). Cette augmentation dépend néanmoins de la substituabilité ou de la complémentarité de l’homme et du robot. Il est avéré qu’en cas de complémentarité, « l’augmentation du PIB par habitant est plus forte en Afrique subsaharienne que dans les pays avancés, ce qui signifie qu’il y a convergence. L’Afrique subsaharienne en bénéficie, car les salaires de la région étant plus faibles, il est plus rentable d’investir dans des robots lorsqu’ils sont combinés à du travail relativement peu coûteux » (Perinet et al., 2018 : 42). En Afrique et mieux que dans les pays développés, cette complémentarité homme-robot engendre une hausse de salaire plus forte que celle du stock du capital. De fait, la part du travail augmente beaucoup plus dans la productivité africaine. Par contre, « Si le travail et les robots sont substituables, la hausse du PIB par habitant est plus forte dans les pays avancés qu’en Afrique subsaharienne, ce qui signifie que l’écart de revenus

entre les deux régions se creuse encore plus. Dans ce cas, l'introduction de robots et l'investissement dans du capital physique complémentaire sont plus rentables là où les salaires sont élevés, car les robots permettent d'économiser le coût de la main-d'œuvre » (Perinnet et al., 2018 : 42). Si la robotisation assure des gains de productivité certains à l'ensemble de l'économie, elle pose d'énormes soucis aux exportations africaines. Certes, « Par comparaison aux pays avancés et émergents, les pays d'Afrique subsaharienne pourraient être moins exposés au remplacement immédiat des emplois existants dû à l'automatisation, en raison des différences de structure économique, mais aussi de niveau de salaire » (Perinnet et al., 2018 : 43). Pour autant, l'Afrique subsaharienne « pourrait être touchée indirectement par l'intermédiaire des exportations si l'automatisation prend la place de l'Afrique subsaharienne dans les chaînes de valeur, rend ces dernières plus difficiles d'accès à l'avenir ou déplace l'avantage comparatif de la région vers ses concurrents » (*idem*).

- 11 Tous ces indices de risques fournissent des scénarios probables dans lesquels se dessine l'avenir de l'emploi dans l'Afrique subsaharienne et, par ricochet, les contours des politiques publiques adéquates pour le développement de cette région du monde à l'ère de la robotisation. En effet, la quatrième révolution industrielle est contemporaine d'une époque où l'Afrique fait encore face à des difficultés quotidiennes et structurelles qui pénalisent le développement et le progrès socioéconomique. Quatre facteurs sont parmi ceux des plus régulièrement cités : la pauvreté des Etats, très souvent dépourvus de moyens matériels et financiers, pourtant essentiels à l'équipement public en tous domaines; l'insuffisance, voire l'absence des ressources humaines de qualité, adéquates pour résoudre certains problèmes structurels ; la démographie galopante, qui engendre de nouvelles contraintes de gouvernance aussi bien de la santé, de l'alimentation que de l'éducation ; enfin, la corruption endémique, qui fait que les fonds publics issus de la fiscalité ou de l'aide bilatérale et multilatérale finissent par être détournés de leurs destinations normales et de l'investissement en vue du progrès social et économique.
- 12 L'Afrique subsaharienne doit mettre en place des politiques publiques nécessaires à la création des emplois à l'épreuve de l'avenir. Pour le FMI, même si les effets des changements technologiques sur l'avenir de l'emploi ne sont pas clairement établis, en Afrique, « L'enjeu pour les décideurs est de conserver une attitude ouverte à l'égard des différentes stratégies de croissance et de saisir les opportunités que présente la quatrième révolution industrielle » (Perinnet et al., 2018 : 46).

L'enjeu des infrastructures physiques et traditionnelles

- 13 Le FMI a raison de sous-entendre que l'automatisation, qui constitue une alternative crédible au sous-développement de plusieurs secteurs entravés par des problèmes structurels, comporte des risques pour l'économie africaine, notamment en raison du dynamisme démographique. Il faut donc adapter les stratégies de développement aux exigences et aux possibilités offertes par la quatrième révolution industrielle. En même temps, l'intégration et la connectivité ne seront des composantes essentielles de toute politique de croissance fructueuse qu'à la condition d'intégrer et de résoudre un problème plus ancien : le sous-développement des infrastructures physiques et traditionnelles, qui supportent toute stratégie industrielle et de développement social. Dans ce sens, cette section met en lumière la capacité de nuisance du grand retard accusé par le continent africain dans la mise en place des équipements traditionnels

(électrification, infrastructures routières et ferroviaires, hydraulique urbaine et rurale, etc.). En effet, dans différents champs économiques (santé, éducation, finances, agriculture, pêche, etc.) en pays développés, tout épanouissement de l'automatisation et de la robotisation s'appuie sur ces infrastructures qui manquent cruellement à l'Afrique. L'équation est ici de repérer et de résoudre ces problèmes infrastructurels qui peuvent entraver considérablement l'intégration de la robotique collaborative en Afrique.

L'importance stratégique des villes

- 14 Il a été indiqué plus haut que dans les pays développés, la quatrième révolution industrielle est un phénomène purement urbain, qui se greffe aux différents équipements traditionnels constitutifs de la citoyenneté (routes, électricité, eau courante, etc.). De fait, l'absence de véritables villes structurées et ordonnées dans la plupart des pays subsahariens est la première contrainte qui pèse sur l'insertion locale des changements technologiques de la quatrième révolution industrielle. Or un récent rapport de la Banque Mondiale (Lall & al., 2017) indique qu'en raison de leur essor démographique, les villes africaines sont amenées à jouer un rôle de plus en plus important dans la croissance du continent, notamment par l'ouverture sur le monde et la création d'emplois dans le secteur du numérique et de la robotique. Selon ce rapport, « La population urbaine en Afrique s'élève actuellement à 472 millions d'habitants, mais elle va doubler au cours des vingt-cinq prochaines années, pour atteindre un milliard d'habitants en 2040. Et, dès 2025, les villes africaines abriteront 187 millions d'habitants supplémentaires, soit l'équivalent de la population actuelle du Nigéria »³. Cette croissance de la démographie urbaine fait qu'aujourd'hui (2019) 40% d'Africains sont citadins. Plusieurs obstacles au déploiement de la quatrième révolution industrielle et liés à la faiblesse des infrastructures africaines peuvent s'aligner sur cette tendance du continent à l'urbanisation.
- 15 Le premier obstacle au développement de l'économie connectée et donc de l'industrie de la robotique est la qualité de l'équipement urbain. En effet, « le processus de concentration de la population dans les villes n'a pas donné lieu à des investissements suffisants dans les infrastructures urbaines et autres structures industrielles et commerciales, ni dans une offre appropriée de logements abordables. Avec des investissements coordonnés dans les infrastructures et les structures résidentielles et commerciales, les villes africaines seront en mesure d'accroître les économies d'agglomération et de rapprocher les habitants des emplois »⁴. Cela est d'autant plus urgent que les villes africaines sont « 29 % plus chères que celles des pays à niveau de revenus similaire. Les ménages urbains africains ont, proportionnellement au PIB par habitant, des coûts plus élevés que ceux d'autres régions du monde, sachant que ces coûts sont surtout grevés par les dépenses de logement, supérieures de 55 % à celles observées dans d'autres régions. À Dar es Salaam, par exemple, 28 % des habitants vivent à trois au moins dans une pièce, et à Abidjan, ils sont 50 %. À Lagos, au Nigéria, deux habitants sur trois vivent dans des bidonvilles »⁵. À cela s'ajoute les coûts des denrées alimentaires et des transports, qui sont prohibitifs pour les citadins contraints de se loger dans des implantations sauvages et loin des sites d'emplois. Le coût élevé de la vie en villes africaines impacte aussi les entreprises, « puisqu'il les oblige à verser des salaires plus élevés, ce qui nuit à leur productivité et leur compétitivité, et leur ferme les portes de l'exportation. Le résultat, c'est que les villes africaines n'attirent guère les

investisseurs régionaux ou mondiaux et partenaires commerciaux potentiels »⁶. Le sous-équipement et l'absence de planification font de la ville africaine une « trappe de sous-développement » où aucune révolution industrielle ne saurait prospérer. L'autonomisation et la robotique collaborative ne sauraient prospérer dans un environnement anarchique où toutes les tentatives d'investissement se heurtent aux goulots d'étranglement de la ville africaine. Sur ce point, ce rapport de la Banque Mondiale pense que la solution « est de faire en sorte qu'elles [les villes africaines] grandissent en se densifiant économiquement et physiquement, avec le souci de les connecter pour accroître leur efficacité et, à la clé, des perspectives de rentabilité plus élevées pour les investisseurs »⁷. Cette solution inclut deux priorités complémentaires, dont la première est de rassembler les territoires par des politiques publiques efficaces d'aménagement urbain, la régularisation des marchés fonciers et la clarification des droits de propriété. La seconde priorité est de veiller à relier les trois éléments essentiels du développement urbain que sont le résidentiel, le commercial et l'industriel. Cela requiert d'« investir tôt et de manière coordonnée dans les infrastructures »⁸.

Développer le réseau routier et les voies ferrées

- 16 Le manque flagrant des routes est le deuxième obstacle au processus de développement socioéconomique de l'Afrique. D'après les estimations, « les principales routes du réseau routier africain s'établissent à une longueur totale de 31.423 km auxquels s'ajoutent 45.832 km de voies de raccordement, représentant environ 90% des transports des passagers et des marchandises. Une très faible proportion (environ 28%) de ces routes est bitumée »⁹. L'ensemble des voies transafricaines (Le Caire-Le Cap, N'djamena-Djibouti, etc.) mises en place dans l'euphorie des indépendances au cours des années 1960 sont à l'arrêt ou considérablement ralenties. À cette situation s'ajoute l'insécurité des routes africaines qui peut refroidir les ardeurs des investisseurs. Selon un rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé sur la sécurité routière (World Health Organization, 2018), l'Afrique a les routes les plus meurtrières du monde : on compte 26,6 morts dans les accidents de la route pour 100 000 habitants en Afrique contre 9,3 pour 100 000 habitants en Europe. Depuis les années 2000, des objectifs du développement socio-économique et de la réduction de la pauvreté sont assignés au Programme de Développement des Infrastructures en Afrique (PIDA), qui reprend d'une certaine manière les projets des voies transafricaines et interrégionales sous le pilotage technique et financier de la Banque Africaine de Développement (BAD). Au-delà, les réseaux intégrés d'infrastructures régionales doivent être densifiés et accélérés, en raison de leur rôle de préalables à l'implantation véritable de la quatrième révolution industrielle en Afrique. En effet, ces réseaux sont des facilitateurs du déploiement et du développement significatif de la robotique industrielle et de la robotique collaborative. Les entreprises de ces domaines sont appelées à implanter leurs équipements (antennes relais, postes opérationnels et techniques, etc.) parfois dans les zones reculées en tirant profit de ces voies aménagées. Il leur faut aussi des routes pour intervenir rapidement et efficacement à l'échelle nationale ou sous régionale sur plusieurs secteurs sensibles : santé publique (lutte contre les épidémies, interventions sur des accidents de la route, médecine de brousse et interventions chirurgicales d'urgence, etc.), éducation (formations à distance, bibliothèques numériques, séminaires et soutenances des

travaux, etc.), l'agriculture (optimisation de la production, transformations en produits semi-finis, logistique et technique de production, distribution et traçabilité, etc.).

- 17 L'inconsistance des voies ferrées est le troisième obstacle à l'instauration de la quatrième révolution industrielle et donc de la robotique, collaborative ou non, dans le système de développement économique de l'Afrique. Or il faut avoir à l'esprit qu'à l'origine, les chemins de fer sont des instruments de « contrôle territorial et de mise en valeur » qui ont été montés « à l'assaut du continent à partir des bases portuaires de la pénétration coloniale. Sur le plan spatial, la double finalité, politique et économique, permettait de désenclaver les pays de l'intérieur de façon à les intégrer à l'économie-monde. Le chemin de fer a été le premier instrument d'intégration territoriale, le premier outil de ce qu'on n'appelait pas encore le développement. A la fin du XIXe siècle, la voie ferrée et la machine à vapeur, fer de lance du progrès, étaient porteuses de rêves prométhéens » (Pourtier 2013 : 189-190). Dans le cas de l'Afrique considérée comme une « tabula rasa », l'idéologie du rail était rapidement proclamée et intégrée par les entrepreneurs coloniaux dès lors que les chemins de fer servaient deux impératifs : drainer les matières premières vers les côtes pour être exportées vers les métropoles et diffuser la « civilisation » européenne au milieu des peuples dits « arriérés » et « indigènes ». Aujourd'hui, « Le diagnostic général des chemins de fer africains ne prête pas à l'optimisme. Pour un réseau continental totalisant environ 90000 km, plus de lignes ferment qu'il ne s'en crée de nouvelles (...) Ailleurs, vétusté du matériel roulant, vitesse commerciale réduite sur des voies mal entretenues, horaires non respectés etc., détournent les voyageurs du rail.» (Pourtier 2013 : 192). Il faut y ajouter l'absence de réseaux, qui « résulte des politiques d'équipement mises en œuvre par les administrations coloniales, avec pour seul cadre de référence le territoire de chacune des colonies, au détriment d'une vision continentale ou tout au moins régionale. L'Afrique de l'Ouest, la partie du continent où le partage colonial s'est traduit par le plus fort morcellement territorial, en est l'illustration, jusqu'à la caricature dans le cas d'"États tranches" comme les actuels Bénin et Togo. Voisins et rivaux, les Français et les Allemands construisirent des pénétrantes ferroviaires parallèles à partir d'étroites ouvertures sur le Golfe de Guinée : à la ligne Cotonou-Parakou répond la ligne Lomé-Sokodé » (Pourtier 2013 :190).
- 18 Pour une pénétration rapide du continent par les changements induits par la quatrième révolution industrielle, ces cloisonnements et leurs effets lents sur l'équipement de l'Afrique postcoloniale doivent être dépassés. Il faut mettre en place les bases d'une politique panafricaine du rail qui partirait d'un renforcement des capacités et des regroupements régionaux financés par des fonds africains et des partenariats extérieurs ou de bon voisinage. Sur ce point, la relance du programme ferroviaire en Afrique sous l'impulsion des Chinois est une bonne nouvelle pour le développement de la robotique collaborative. On sait que dans les années 1970 et pour 500 millions de dollars, 1860 kilomètres de rails ont déjà été construits entre le port de Dar-es-Salam (Tanzanie) et le Sud-Ouest de la Zambie¹⁰. Si l'enjeu était dogmatique à l'époque (rendre gloire à Mao), aujourd'hui, la poursuite de la dynamique de construction des voies ferrées par la Chine est un enjeu économique. L'inauguration de la ligne Djibouti-Addis-Abeba en 2017, construite pour 4 milliards de dollars, permet de relier l'Éthiopie à la mer. Afin de faciliter l'importation du textile chinois et exporter les matières premières africaines, ce chemin de fer va relier le Kenya et le Soudan pour 13 milliards de dollars supplémentaires entièrement financés par la Chine. Pour la pénétration de la

quatrième révolution industrielle, les équipements techniques de télécommunication qui accompagnent la construction des voies ferrées en vue de l'alimentation et de la coordination de la circulation des trains peuvent servir de support à la connectivité des robots collaboratifs. Ceux-ci demandent en effet à être interconnectés et donc à interagir à distance pour être rentabilisés. De ce point de vue, le développement des voies ferrées à l'échelle continentale peut faciliter l'instauration d'une économie véritable de la robotique, qui s'appuierait ainsi sur l'équipement des télécommunications annexé au système ferroviaire pour doper sa productivité en évitant les coûts prohibitifs d'installation.

Le défi énergétique : électrifier partout

- 19 Enfin, l'électrification est le quatrième obstacle majeur à la pénétration de la robotique en Afrique. Sur ce continent, on estime à 620 millions le nombre de personnes qui n'ont pas accès à l'électricité (soit 1 Africain sur 2). Avec un taux de croissance démographique annuelle de 5%, l'Afrique fabrique chaque année 10 millions de nouveaux exclus de l'électricité. Le dernier rapport de la Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement (CNUCED, 2018) consacré aux Pays les Moins Avancés (PMA) indique que la situation y est plus grave. En effet, ce sont 577 millions de personnes, soit 62% de la population des PMA, qui n'ont pas d'accès à l'électricité. Ce rapport souligne aussi des disparités entre les zones urbanisées et le monde rural : dans les PMA, 82% des personnes n'ayant aucun accès à l'électricité vivent dans les campagnes. Au-delà du bien-être des populations, le même rapport du CNUCED souligne le risque de la sous-électrification pour l'économie en indiquant que dans les PMA, « Plus de 40 % des entreprises sont freinées dans leur activité de production par un approvisionnement en électricité inadéquat, peu fiable et trop coûteux ». On note cependant des disparités régionales : il y a près de 100% de couverture électrique dans les pays d'Afrique du Nord, 55 à 65 % pour la Côte d'Ivoire, le Sénégal et le Ghana, et 27% seulement dans la plupart du reste de l'Afrique subsaharienne¹¹.
- 20 Ce retard de l'électrification en Afrique subsaharienne a souvent été expliqué par l'urbanisation du développement et la lenteur d'exécution des grands projets. Ainsi, « Les investisseurs se concentrent sur les grandes zones urbaines et les méga projets industriels comme les mines pour financer d'importantes infrastructures électriques lesquelles demandent entre 20 et 40 ans de travaux »¹². À la vérité, la sous-électrification de l'Afrique subsaharienne plonge ses racines dans l'option initiale des pouvoirs métropolitains de ne pas participer à un équipement conséquent des colonies. À titre d'exemple, l'Afrique Équatoriale Française (AEF) a été créée le 15 octobre 1910. Mehjong & Ndong (2011) montrent que sur cette entité administrative de 2 500 000 km² qui couvre quatre colonies (Gabon, Moyen Congo, Oubangui -Chari, Tchad), le premier projet d'électrification ne date que des années 1930 et ne concerne que les trois villes de Pointe-Noire, Brazzaville et Libreville où sont concentrés plus de la moitié des Européens. L'administration coloniale brillait par la modicité des moyens financiers. Elle a très vite concédé (dès 1932) la réalisation complète de ce projet à une entreprise privée, la Société hydroélectrique du Congo français (SHEF). D'ailleurs, trois contraintes locales vont rapidement biaiser la productivité du secteur électrique : abandon de la traction électrique par l'ingénierie du chemin de fer, manque d'industries de grand calibre pour consommer l'électricité et marché domestique faible. Le manque de capitaux et l'absence de perspective de rentabilité amènent la SHEF à abandonner le

projet d'un réseau d'interconnexion par l'aménagement d'un barrage hydroélectrique. En 1934, face à l'absence d'intérêt manifesté par une éventuelle concurrence, l'administration coloniale se replie sur une démarche de proximité et par défaut : l'État colonial décide, dans l'improvisation, de la « mise en place de petits réseaux autonomes par ville s'appuyant sur des centrales thermiques, financés par des entreprises privées, l'Union électrique coloniale (UNELCO) et la Compagnie coloniale de distribution électrique (CCDE) » (Mehyong & Ndong, 2011 : 94). Cette solution va à son tour être plombée et « digérée » par plusieurs pesanteurs locales. Parmi elles, les coûts inconséquents de l'installation des réseaux, l'importation rentable de l'électricité du Congo belge par l'UNELCO, et la pauvreté des bénéficiaires. En effet, « L'acquisition de la nouvelle énergie impose une contrepartie financière que plusieurs Africains ne peuvent honorer à cause des tarifs prohibitifs. Ces paramètres imposent une structure modeste des réseaux et de maigres marges de développement. » (Mehyong & Ndong, 2011 : 94). À cela s'ajoute le fait que durant la Seconde Guerre mondiale et comme partout dans l'empire colonial, l'effort de guerre sinistre l'économie. Dans ce contexte, « Les entreprises d'électricité et les centrales ne sont pas en reste : quasi-impossibilité d'importer des pièces de rechange et du combustible. Il en résulte une détérioration des réseaux et des délestages permanents » (Mehyong & Ndong, 2011 : 94). La dernière contrainte locale et géostratégique est que « comme la majorité des colonies françaises, l'AEF est une colonie d'exploitation. Sur recommandation de l'État, l'administration locale s'endette, auprès des banques métropolitaines, pour financer surtout l'aménagement des voies de communication et le déploiement des troupes et du personnel administratif afin de parachever l'occupation territoriale et de favoriser l'extraction des matières premières. L'électrification ne cadre pas avec ces objectifs » (Mehyong & Ndong, 2011 : 94).

- 21 Le retard considérable pris dans l'Afrique subsaharienne se raccorde à cette période coloniale d'absence d'une politique d'électrification. Que la situation persiste aujourd'hui montre que les efforts de densification et de développement du réseau électrique après la Seconde Guerre mondiale et dans les deux premières décennies de l'indépendance ont été nuls ou peu consolidés. Désormais, il faut densifier l'accès à l'électricité pour faciliter la vie des populations pauvres et encourager la pénétration continentale des changements technologiques indus par la quatrième révolution industrielle. Un consensus se dégage sur le fait que les retards d'électrification accusés en Afrique subsaharienne doivent être rattrapés pour doper le développement et le bien-être en Afrique. Signalons ici quelques solutions et projets d'envergure qui se tissent en mêlant l'échelle internationale, nationale et la société civile mondiale. Au début du XXI^{ème} siècle, le système des Nations Unies a décidé de « *Garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et modernes, à un coût abordable* », faisant de cet engagement le septième objectif de développement durable (ODD). Si cet objectif était hors de portée en 2015, plusieurs autres projets continuent de travailler dans cette direction. En 2011, l'ONG *Africa Progress Panel*, dirigée par Koffi Annan, l'ancien Secrétaire Général des Nations Unies, s'engageait pour une électricité propre et durable pour tous en Afrique. Depuis, 101 pays et l'Union Européenne ont rejoint ce projet. Suite à un engagement solennel sur la mise en place du projet *Power Africa* lors de sa visite au Kenya en juillet 2015, le président américain Barack Obama a signé un décret en février 2016 qui définissait un cadre stratégique permettant aux entreprises privées américaines de poursuivre l'électrification du continent et de fournir l'électricité à 50 millions d'Africains supplémentaires. Enfin, entre 2014 et 2016, l'ancien ministre

français de l'environnement et de la ville, Jean-Louis Borloo « a soutenu un “plan Marshall de l'énergie” en Afrique, dont les besoins de financements atteignaient environ 4 milliards d'euros par an pendant une quinzaine d'années (une somme totale de 200 milliards d'euros a également été évoquée) »¹³.

- 22 L'un des points de convergence et d'aboutissement de ces différents projets est la mise en place de l'Initiative africaine pour les énergies vertes (AREI), qui montre que les Africains et les partenaires extérieurs considèrent le retard accumulé par l'Afrique comme une opportunité pour faire de l'électrification durable. Dans le choix du label des énergies renouvelables pour poursuivre et parfaire l'électrification de l'Afrique, le solaire vient en tête, en raison de son abondance sur le continent, où le taux d'ensoleillement est exceptionnel, et de la baisse des coûts d'exploitation. En 2016, deux projets d'envergure ont été réalisés dans deux pays pionniers : la centrale solaire *Noor* au Maroc, qui est l'une des plus puissantes au monde (avec une capacité de production de 160 MW), et la centrale *Senegy II* au Sénégal, avec une capacité de 20 MW pouvant alimenter 200 000 foyers. L'hydroélectricité est la seconde source significative d'énergie propre mise au service de l'électrification en Afrique. L'Éthiopie est le leader africain en la matière : la force motrice de l'eau fournit 95,6% de la production électrique de ce pays. Cette production a progressé de 700% entre 1990 et 2014. Le Kenya expérimente l'éolien et la géothermie. Son parc éolien du lac Turkana (365 éoliennes pour une puissance unitaire de 850 kW) alimente une centrale de 300 MW et satisfait 20% de la demande énergétique du pays¹⁴.
- 23 Ces perspectives sont encourageantes. Mais pour équiper l'Afrique en énergie et attirer les investissements dans le secteur des nouvelles technologies (et par extension en robotique industrielle et en cobotique), l'Afrique doit investir massivement dans l'énergie. Beaucoup d'efforts restent à faire. Certes, on note que des pays comme l'Éthiopie ont doublé leur production. Entre 1990 et 2014, la production d'électricité des PMA a plus que quadruplé. Ces progrès sont l'arbre qui cache la forêt : en raison de la croissance démographique, la production par habitant n'a pu se multiplier que par 2,5. Selon le rapport du CNUCED (2018), cela montre que « *Ni les capacités de production ni la production elle-même ne sont parvenues à suivre l'augmentation du nombre de personnes ayant accès à l'électricité, qui a progressé de 460 % depuis 1991* ». Pour cette raison, l'Afrique de l'énergie doit se guérir de son problème essentiel, qui est le manque de capitaux. En effet, Rolf Traeger, économiste à la CNUCED et coauteur du rapport déjà cité, a noté que « *Seulement 1,8 % de l'aide publique au développement, soit 3,8 milliards de dollars par an, est dirigée vers l'énergie. Pour atteindre d'ici à 2030 l'objectif 7 des ODD, il en faudrait entre 12 et 40 milliards de dollars chaque année* »¹⁵.

Conclusion

- 24 Cette contribution a clairement montré que le potentiel et les prouesses de la robotique et de la cobotique n'étaient pas sans risque pour l'économie africaine du présent et du futur. Elle a aussi montré que l'impact du sous-équipement du continent en infrastructures physiques et traditionnelles était quelque peu sous-estimé et qu'il fallait impérativement le prendre en compte lorsqu'on parle de l'introduction de la robotique collaborative dans divers domaines de la vie sociale et économique africaine. Pour cela même, nous trouvons pertinentes les recommandations suivantes du FMI qui insiste sur un investissement massif dans cinq domaines stratégiques en Afrique : (1)

favoriser la connectivité par le développement d'infrastructures numériques, (2) investir dans des systèmes éducatifs flexibles pour faire des nouvelles technologies des substituts ou des compléments pédagogiques et éducatifs, (3) promouvoir une urbanisation intelligente pour consolider les principaux foyers d'émergence et de rayonnement des changements technologiques, (4) promouvoir des dispositifs de protection sociale en phase avec un marché du travail flexible et volatile et, (5) approfondir l'intégration économique régionale. Le déploiement des changements technologiques induits par la quatrième révolution industrielle et auxquels participent la robotique industrielle et la robotique collaborative ne peut se faire véritablement et à grands profits pour les investisseurs et le continent qu'à la condition de structurer et de stabiliser durablement ces cinq domaines. Ainsi, la robotique collaborative doit être fixée au sol : elle ne pousse que dans un environnement et une structure où les infrastructures physiques et traditionnelles sont clairement implantées et fiables. L'Afrique doit se pourvoir de ces outils préalables et nécessaires, si elle veut tirer le meilleur profit de la robotique collaborative.

BIBLIOGRAPHIE

Acoulon, S. (2014). Les robots collaboratifs : guide d'intégration de la santé et de la sécurité. Paris : CETIM.

Wolfram B. (2000). Collaborative multi-robot exploration. Robotics and Automation, 2000. Proceedings. ICRA'00. IEEE International Conference on. Vol. 1, 476 – 481.

Claverie B., Le Blanc B., Fouillat P. (2013). La cobotique. La robotique soumise. Communication et organisation n°44, 203-214.

CNUCED (2018). The Least Developed Countries Report 2018. Entrepreneurship for structural transformation: Beyond business as usual. Washington : United Nations publication.

Devy M. (2012). La cobotique : des robots industriels aux robots assistants, coopérants et co-opérateurs. Annales des Mines-Réalités industrielles, n° 1, 76-85.

Dore A., Devy M., Herbulot A. (2017). Détection d'objets en milieu naturel: application à l'arboriculture. 16ième Journées Francophones des Jeunes Chercheurs en Vision par Ordinateur (ORASIS).

Dubey G. (2014). Les nouvelles technologies en autonomie et santé : un déplacement des frontières de la connaissance. Annales des Mines-Réalités industrielles, n° 4, 82-88.

Dumora J. (2014). Contribution à l'interaction physique homme-robot: application à la comanipulation d'objets de grandes dimensions (Thèse de doctorat de l'université Montpellier 2).

Durand-Petiteville A. (2012). Navigation référencée multi-capteurs d'un robot mobile en environnement encombré. Automatique / Robotique (Thèse de doctorat Université Paul Sabatier - Toulouse III).

Fong T., Thorpe C., Baur C. (2003). Multi-robot remote driving with collaborative control. IEEE Transactions on Industrial Electronics 50.4, 699-704.

Hinds P., Roberts T., Jones H. (2004). Whose job is it anyway ? A study of human-robot interaction in a collaborative task. *Human-Computer Interaction* 19.1, 151-181.

Vinay L., Vernon H., Anthony V. (2017). *Africa's Cities: Opening Doors to the World*. Washington : World Bank. En ligne : <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/25896> License: CC BY 3.0 IGO.”

Masse J.-T. et al. (2014, juin). Capture de Mouvements Humains par Fusion de Multiples Données Squelettes. Communication présentée au colloque Reconnaissance de Formes et Intelligence Artificielle (RFIA), Rouen.

Maurice, Pauline. (2015). *Virtual ergonomics for the design of collaborative robots* (Thèse, université Paris 6).

Mehyong, S. & Ndong, R. (2011). L'électrification de l'Afrique équatoriale française (AEF) dans la période de l'après Seconde Guerre mondiale : aménagements hydroélectriques et rivalités interterritoriales. *Revue historique*, 657, (1), 93-118.

Perinet M. et al. (2018). L'avenir de l'emploi en Afrique subsaharienne. *Perspectives économiques régionales pour l'Afrique subsaharienne*, 39-52.

Pourtier R. (2007). Les chemins de fer en Afrique subsaharienne, entre passé révolu et recompositions incertaines. *Belgeo*. En ligne <http://journals.openedition.org/belgeo/11266>

Severinson-Eklundh K., Green A., Hüttenrauch H. (2003). Social and collaborative aspects of interaction with a service robot. *Robotics and Autonomous systems* 42.3-4, 223-234.

World Health Organization. (2018). *Global status report on road safety 2018*. Geneva: World Health Organization.

NOTES

1. Newsroom, « Ford vante les mérites de la robotique collaborative en vidéo », article du 18.07.16, disponible sur <https://humanoides.fr/ford-robotique-collaborative/>

2. *Idem*.

3. Banque Mondiale, « Rapport sur l'urbanisation en Afrique : pour soutenir la croissance il faut améliorer la vie des habitants et des entreprises dans les villes », article du 9 février 2017, disponible sur <http://www.banquemondiale.org/fr/news/press-release/2017/02/09/world-bank-report-improving-conditions-for-people-and-businesses-in-africas-cities-is-key-to-growth>.

4. *Idem*.

5. *Idem*.

6. *Idem*.

7. *Idem*.

8. *Idem*.

9. Xinhua, « Routes: à peine 28% du réseau africain bitumé, les circuits transafricains au centre des préoccupations (PAPIER GENERAL) », disponible sur <http://french.peopledaily.com.cn/96852/8216758.html>.

10. Jacques Deveaux, « Dans l'Afrique en développement, les projets ferroviaires se multiplient » <https://www.francetvinfo.fr/monde/afrique/economie-africaine/>

11. *Global energy architecture performance index report*, 2017.

12. Richard Hiaukt, « L'électrification de l'Afrique prend du retard », article du 22/11/17, disponible sur https://www.lesechos.fr/22/11/2017/lesechos.fr/030912798577_1-electrification-de-l-afrique-prend-du-retard.htm

13. Jeune Afrique/ Marion Douet, « Electricité : Clap de fin pour les ambitions africaines de Jean-Louis Borloo », article du 16 février 2017, disponible sur <https://www.jeuneafrique.com/404369/economie/clap-de-fin-ambitions-africaines-de-jean-louis-borloo/>
 14. Source des données : *La Tribune Afrique*, « L'électrification de l'Afrique en cinq questions », article du 02/05/2018, disponible sur <https://afrique.latribune.fr/afrique.latribune.fr/entreprises/la-tribune-afrique-de-l-energie-by-enedis/2018-05-02/l-electrification-de-l-afrique-en-cinq-questions-777283.html>
 15. Cité par Richard Hiaukt, « L'électrification de l'Afrique prend du retard », *op.cit.*
-

AUTEUR

TITI PALE

Docteur