



Le rôle des technologies numériques issues de l'Industrie 4.0 dans la mise en œuvre de l'économie circulaire et la réalisation de la durabilité

The role of digital technologies from Industry 4.0 in implementing the circular economy and achieving sustainability

Fatima Zohra Benkarouba ^{1*},

Mohammed Benbouzian ²

¹ Ecole supérieure de management (Algérie), fatima.benkarouba@hotmail.com 

² Ecole supérieure de management (Algérie), benbouzianmohamed@yahoo.fr 

Reçu le: 08-07-2022

Accepté le: 22-08-2022

Résumé :

L'économie circulaire implique une transformation intense du modèle linéaire actuel (prendre-produire-consommer-jeter). En conséquence, nous réduisons l'extraction des ressources naturelles et le rejet des déchets tout en maintenant la qualité de vie des citoyens. Tout cela implique la création d'un environnement, d'une qualité et d'une prospérité économiques, d'une équité sociale et la réalisation des objectifs du développement durable. Dans ce contexte, les technologies numériques issues du concept Industrie 4.0 de l'industrie manufacturière sont de plus en plus invoquées pour la réalisation de l'économie circulaire en aidant à fermer la boucle, à ralentir la boucle matérielle et à réduire la boucle grâce à une meilleure efficacité des ressources.

Dans ce contexte, les technologies numériques sont considérées comme des solutions pour la mise en œuvre de l'économie circulaire

L'étude conclut . La numérisation peut stimuler la transformation vers une économie circulaire plus durable si les technologies numériques du concept d'industrie 4.0 sont bien appliquées.

Mots clés : l'économie circulaire ; technologies numériques ; Industrie 4.0 ; développement durable.

JEL Classification Codes : Q55 ; Q56 ; Q52.

Abstract:

The circular economy generate an extreme transformation of the current linear model (extract-produce- consume-throw). As a result, we reduce the extraction of natural resources and the amount of trash in nature, in the meanwhile we improve the living life of our citizens. All of this lead to the creation of an environmental, economic prosperity, social equity and the achievement of the objective of sustainable development.

In this context, digital technologies from the Industry 4.0 concept from the manufacturing industry are increasingly required for the realization of the circular economy by helping close the loop, slow down the material consumption and reduce the rubbish throw thanks to better resource efficiency. In these conditions, digital technologies are considered as solutions for the accomplishment of the circular economy The study concludes. Digitization can push the transformation to a more sustainable circular economy if the digital technologies from the Industry 4.0 concept are well applied.

Keywords: the circular economy; digital technologies; Industry 4.0; sustainable development.

JEL Classification Codes : Q55 ; Q56 ; Q52.

* *Auteur correspondant.*

Le rôle des technologies numériques issues de l'Industrie 4.0 dans la mise en œuvre de l'économie circulaire et la réalisation de la durabilité

1. Introduction :

La première révolution industrielle a eu lieu en 1750 avec l'utilisation de l'eau et vapeur pour la production mécanique. Plus tard, le début du XXe siècle a vu la deuxième révolution industrielle avec l'avènement des chaînes de montage et de la production de masse utilisant l'électricité. La troisième révolution industrielle a commencé en les années 1970 avec l'automatisation numérique de la production grâce à l'électronique, aux technologies de l'information (TI) et robotique industrielle. Le développement et l'intégration de ces systèmes ont conduit à l'intégration informatique systèmes de fabrication, actuellement appelés systèmes cyber-physiques, un jalon marquant le début de la quatrième révolution industrielle, également connue sous le nom d'Industrie 4.0 (Garza-Reyes, 2021, p. 4).

Les technologies modernes de l'information et de la communication ainsi que le stockage des données constituent le fondement de l'industrie 4.0. les flux de travail technologiques avancés peuvent être intégrés dans des méthodologies d'amélioration continue, en tenant compte d'éléments tels que l'Internet des objets (IoT), la réalité augmentée, la fabrication additive (FA), le big data, le cloud computing, la simulation, l'automatisation industrielle et la cybersécurité.

Les ressources sont de plus en plus difficiles à trouver dans l'économie linéaire actuelle, fondée sur le principe du "prendre et fournir". Les entreprises cherchent des stratégies pour atteindre une croissance durable et des ressources renouvelables afin de maintenir leur compétitivité. Ces dernières années, un certain nombre de modèles de consommation qui vont à l'encontre du paradigme de croissance accepté basé sur l'économie linéaire ont été mis en avant. L'une des idées les plus encourageantes qui ont émergé ces dernières années est l'économie circulaire.

L'économie circulaire est une stratégie visant à promouvoir la durabilité ou une croissance qui répond aux besoins actuels sans compromettre la capacité des générations futures à faire de même. Des études récentes ont également montré que l'adoption des principes de l'économie circulaire peut stimuler le PIB jusqu'à 11 %, avec un bénéfice net d'environ 1 800 milliards d'euros d'ici à 2030 et des réductions de coûts de matériaux pouvant atteindre 1 000 milliards d'euros.

Dans cette situation, la technologie numérique issue du concept d'industrie 4.0 peut encourager le passage à une économie circulaire plus durable. En donnant des informations précises sur la disponibilité, l'emplacement et l'état des produits, elle peut aider à fermer les boucles de matériaux. En outre, la numérisation améliore les opérations commerciales en réduisant les déchets, en prolongeant la durée de vie des articles et en réduisant les coûts de transaction. Par conséquent, Clairement notre travail de recherche, inscrit dans cette optique, essaie d'apporter une réponse à la problématique suivante: Comment les technologies numériques issues de l'Industrie 4.0 permettent le fonctionnement de l'économie circulaire ?

Cet article permettra une meilleure compréhension des technologies numériques issues de l'Industrie 4.0 . et il nous permettra également d'avoir une idée de l'économie circulaire tout ça va nous permettre de vérifier notre hypothèse essentielle, à savoir l'existence d'un bon fonctionnement de l'économie circulaire par le biais de l'utilisation des technologies numériques issues de l'Industrie 4.0. Pour ce faire, nous avons adopté la méthode analytique descriptive. Et nous avons devisé notre recherche en trois axes :

1. le numérique : concept Industrie 4.0.
2. Le cadre conceptuelle de l'économie circulaire.
3. Le rôle des technologies numériques dans la mise en œuvre de l'économie circulaire.

Le rôle des technologies numériques issues de l'Industrie 4.0 dans la mise en œuvre de l'économie circulaire et la réalisation de la durabilité

2. Revue de la littérature

2.1 Le numérique : concept Industrie 4.0.

Depuis l'arrivée du numérique, nos sociétés ont évolué jusqu'à devenir hyper connectées. Les technologies se sont développées dans différents domaines.

Dans les entreprises industrielles, les technologies numériques sont considérées comme faisant partie de la quatrième révolution industrielle, appelée Industrie 4.0 ou Internet industriel. Ces termes est assez nouveau ; il a été lancé en Allemagne en 2011 et représente le paradigme de production actuel, qui combine information et communication technologies avec les technologies de fabrication numérique (Hyoung Seok Kang, 2016, pp. 111-128).

L'industrie 4.0 a été définie comme un moyen qui permet de créer des usines et des produits intelligents, de sorte que les composants, les machines et les appareils numériques peuvent communiquer entre eux afin d'autogérer les lignes de production et fournir des performances élevées en termes de conception de produits, de production et de systèmes logistiques. Pour résumer, les principales caractéristiques de l'Industrie 4.0 sont intégrées, adaptées, optimisées, et processus de fabrication interopérables (Trentesaux. D, 2016, pp. 1-10).

Les technologies numériques appliquées dans l'Industrie 4.0 ils sont catégorisés en trois catégories en fonction de leur fonction :

- collecte de données,
- intégration de données,
- analyse de données.

Les technologies ont été classées de manière similaire en fonction des capacités de numérisation :

- La capacité de renseignement,
- La capacité de connexion,
- La capacité d'analyse.

La capacité d'intelligence fait référence à la mise à niveau du matériel clé avec des composants numériques qui collectent des données. Les capacités de connectivité font référence à la connexion sans fil de produits entre eux et à Internet. Les capacités analytiques remplissent des fonctions de développement des connaissances, générant des renseignements à partir des données abondantes fournies par les capteurs et les systèmes.

2.2 Les technologies de base de l'Industrie 4.0 :

Il y'a plusieurs technologies clés dans l'Industrie 4.0 ils sont présenté comme suite :

- **Les systèmes technologiques cyber-physiques « Cyber-Physical technological systems » :**

Ces systèmes permettent l'intégration du cyberspace, processus et objets afin de connecter des machines et des appareils dans les lignes de production en tant que réseau, mettant ainsi à disposition des données réelles pour la prise de décision, comme pour la priorisation des ordres de fabrication, optimisation des tâches, reporting des besoins de maintenance. Autrement dit, il Permet l'automatisation, la surveillance et le contrôle des processus et des objets dans temps réel (Ana Beatriz Lopes de Sousa Jabbour, 2018, p. 277).

- **La fabrication en nuage « Cloud manufacturing » :**

La fabrication en nuage est une technologie qui crée un espace virtuel et mondial pour permettre un réseau partagé de ressources et de capacités de fabrication via Internet. La logique de la fabrication en nuage est basée sur les services, ce qui signifie que les fournisseurs et les clients interagissent pour vendre et acheter des services, par exemple, la conception, la simulation, la fabrication et l'assemblage de des produits. La fabrication en nuage est recommandée pour ses fonctionnalités de commerce électronique (Yu. C, 2015, pp. 4-9) .

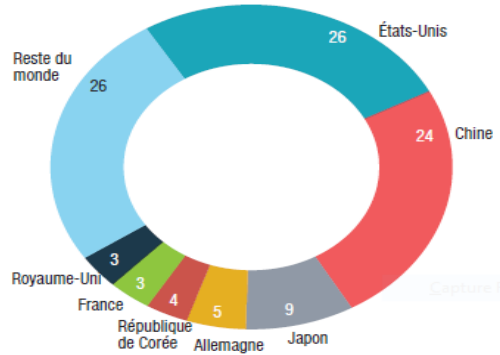
- **La technologie de l'Internet des objets « The Internet of Things (IOT) technology » :**

Le rôle des technologies numériques issues de l'Industrie 4.0 dans la mise en œuvre de l'économie circulaire et la réalisation de la durabilité

La technologie de l'Internet des objets signifie l'inter-connectivité entre des objets, tels que les appareils électroniques, les smartphones, les machines, les modes de transport et Internet, via des codes d'identification uniques qui permettent à ces choses de communiquer entre elles pour atteindre des objectifs communs (Atzori. L, 2010, pp. 2787–2805).

Cela donne la capacité aux entreprises de communiquer et de devenir des participants actifs dans un réseau d'information. L'application de la technologie IOT transforme les produits autonomes en produits intelligents et connectés. Ainsi, grâce à l'IOT, les entreprises peuvent obtenir surveillance à distance en temps réel de l'utilisation, de l'état et de l'emplacement du produit. Par conséquent, les entreprises ont une excellente occasion d'acquérir des connaissances sur la façon dont les clients utilisent les produits, en réalisant une proximité avec eux, transformant ainsi les interactions entre le fabricant et ses clients de la négociation à la communication (Gianmarco Bressanelli, 2018, p. 21). L'étiquetage RFID permet l'identification par radiofréquence des biens destinés à l'industrie, l'élevage et la logistique, la surveillance des conditions pédologiques et météorologiques en agriculture. Les sept premiers pays utilisant l'internet des objets sont (États-Unis, suivis de la Chine, du Japon, de l'Allemagne, la République de Corée, de la France et du Royaume-Uni) comme il est présenté dans la figure suivante (NATIONS UNIES, 2019) :

Figure 1. Répartition géographique des dépenses consacrées à l'internet des objets en 2019 pourcentage.



Source : CNUCED, d'après IDC, 2019.

La fabrication en nuage et La technologie de l'Internet des objets vont générer une grande quantité de données qui peuvent être analysées par la suite pour améliorer valeur ajoutée pour les organisations En ce sens, l'approche Big Data permet analyse du volume élevé et de la variété des données. Ils sont généralement définis à travers les quatre V : volume, variété, vitesse et véricité. En fait, ils sont caractérisés par (Aris Pagoropoulos, 2017, pp. 19–24):

- ✓ une quantité massive de données générées de manière continue ;
- ✓ non structurés et des formats distincts, tels que l'imagerie, les textos, etc ;
- ✓ une fréquence de génération de données élevée ;
- ✓ une bonne qualité et une application directe et éprouvée.

Le Big Data a été utilisé, pour exemple :

- ✓ Pour améliorer le développement de produits.
- ✓ La prévision de la demande dans l'offre chaînes.
- ✓ Les politiques de production verte.

- **La fabrication additive « Additive manufacturing » :**

Le rôle des technologies numériques issues de l'Industrie 4.0 dans la mise en œuvre de l'économie circulaire et la réalisation de la durabilité

Elle est basée sur la fabrication des pièces des produits sans la nécessité d'utiliser des outils spécialisés. De plus, la production passe par la conception numérique, qui permet à la fois un délai de production raccourci et une connectivité entre les concepteurs, ingénieurs et utilisateurs. Les imprimantes 3D sont les principales ressources associées avec fabrication additive (Ana Beatriz Lopes de Sousa Jabbour, 2018, p. 277).

Au lieu de promouvoir des articles qui peuvent contourner les processus de production conventionnels, l'impression 3D, parfois appelée fabrication par processus, encourage les modèles d'échange mondiaux. En fait, un certain nombre d'entreprises d'impression 3D sont déjà actives dans quelques nations. Les États-Unis, la Chine, le Japon, suivie de l'Allemagne et du Royaume-Uni, sont les cinq pays qui possèdent le plus de capacités d'impression 3D. (NATIONS UNIES, 2019).

2.3. L'avantage de l'application des technologies de l'Industrie 4.0 :

Entrez L'application des technologies de l'Industrie 4.0 permet de réaliser plusieurs avantages (Shrouf. F, 2014, pp. 697-701):

- La surveillance et le contrôle en temps réel des paramètres de production importants tels que l'état de la production, la consommation d'énergie, flux de matières, commandes clients et données fournisseurs.
- Ces technologies faciliter les relations et la communication avec les clients grâce à la connectivité entre clients et produits ; par conséquent, les organisations sont en mesure de développer des produits qui répondent aux besoins de vrais clients.

3. Le cadre conceptuelle de l'économie circulaire

3.1 Définition de L'économie circulaire

L'économie linéaire a eu un grand succès dans les industries jusqu'au 20ème siècle. Plus tard, il a atteint un grand échec dans le scénario actuel et les prévisions futures. Une voie alternative ait été introduit qui est économie circulaire dans une industrie, à travers l'analyse, il est étudié que l'utilisation de l'économie circulaire est meilleure en termes de durabilité que l'économie linéaire. (E. Sakthivelmurugan, 2022)

L'article intitulé "The Potential for Substituting Manpower for Energy", rédigé par Walter Stahel, architecte et économiste à la Commission européenne, est généralement considéré comme ayant contribué à populariser l'idée d'économie circulaire au milieu des années 1970. À partir des années 1980, de nombreux auteurs et penseurs contribueront à préciser le concept et son application (Institut de l'environnement, du développement durable et de l'économie circulaire, 2016). L'économie circulaire représente une alternative à l'économie linéaire qui consistais a traité des matières premières puis les fabrique en tant que produit pour que le cycle d'utilisation se termine par l'élimination en tant que déchets qui sont jetés dans la nature et qui n'ont aucune valeur économique. Contrairement à l'économie circulaire qui vise à apporter des solutions pour surmonter un certain nombre de problèmes environnementaux, climatiques, économiques et de rareté actuels qui deviennent de plus en plus apparents.

L'économie circulaire a était définie par la fondation de Ellen MacArthur « une économie circulaire est par nature restauratrice et régénérative et tend à préserver la valeur et la qualité intrinsèque des produits, des composants et des matériaux a chaque étape de leur utilisation. Le concept distingue les cycles biologiques et techniques. Telle qu'envisagée à l'origine, l'économie circulaire est un cycle de développement positif continu qui préserve et développe le capital naturel, optimise le rendement des ressources et minimise les risques systémiques par la gestion des stocks et des flux de ressources. Un

Le rôle des technologies numériques issues de l'Industrie 4.0 dans la mise en œuvre de l'économie circulaire et la réalisation de la durabilité

système qui demeure efficace quelle que soit l'échelle » (Ellen MacArthur Foundation et le McKinsey Center for Business and Environment. , juin 2015).

L'économie circulaire a aussi été définie par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) « comme un système économique d'échange et de production qui, à tous les stades du cycle de vie des produits (biens et services), vise à augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources et à diminuer l'impact sur l'environnement. L'économie circulaire doit viser globalement à diminuer le gaspillage des ressources afin de découpler la consommation des ressources de la croissance du PIB tout en assurant la réduction des impacts environnementaux et l'augmentation du bien-être. Il s'agit de faire plus et mieux avec moins » (ADEME et Geldron, 2016-2018). L'agence a introduit de manière explicite l'idée de la préservation de l'environnement.

L'économie circulaire a aussi été définie par plusieurs chercheurs Gregson propose la définition suivante : «L'économie circulaire cherche à allonger la vie économique des biens et des matériaux en les récupérant des phases de consommation de post-production. Cette approche valorise aussi les boucles de fermeture, mais le fait en imaginant la fin des objets dans leur conception et en considérant les fins comme des débuts pour de nouveaux objets. . » (N. Gregson, 2015, p. 9)

Geissdoerfer définit l'économie circulaire comme «Un système régénératif dans lequel l'apport de ressources et les déchets, les émissions et les fuites d'énergie sont minimisés en ralentissant, en fermant et en réduisant les boucles de matériaux et d'énergie. Ceci peut être réalisé grâce à une conception, une maintenance, une réparation, une réutilisation, une remise à neuf, une remise à neuf et un recyclage durables. Deuxièmement, nous définissons la durabilité comme l'intégration équilibrée de la performance économique, de l'inclusion

sociale et de la résilience environnementale, au profit des générations actuelles et futures. » (M. Geissdoerfer, 2017, p. 766).

3.2 Les avantages de l'économie circulaire :

L'économie circulaire représente pour de nombreux pays du monde un avantage économique social et environnemental, ses nombreux avantages, qui sont résumés dans les points suivants :

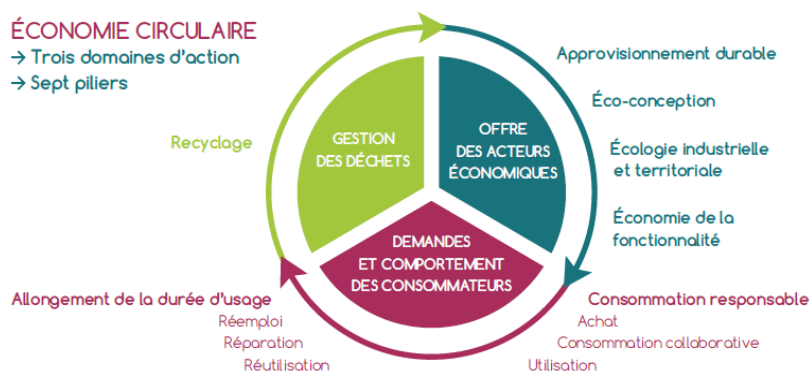
- Promouvoir l'efficacité environnementale ;
- Créer des systèmes de production respectueux de l'environnement.
- Réduire l'utilisation de sources d'énergie non renouvelables ;
- Réduire les coûts de préservation de l'environnement ;
- Augmentation du sens des responsabilités ;
- Préserver l'écosystème ;
- Réduire considérablement les émissions de gaz à effet de serre ;
- Les systèmes circulaires aident à réutiliser et recycler afin de conserver les ressources, conserver les matériaux, les matières premières et protéger la nature, atteignant ainsi la durabilité.
- Réduire les déchets les pertes et maximiser la valeur ;
- Réutilisation des ressources en production plus d'une fois ;
- Réduire les coûts des matières premières et la consommation d'énergie ;
- Améliorer l'image des marchés et des institutions ;
- Créer de nouvelles opportunités d'emploi en maximisant l'utilisation des ressources ;
- Renforcer la coopération et la participation dans tous les domaines de l'économie ;
- Réduire les coûts de gestion des déchets ;
- Réduire les coûts de contrôle des émissions nocives ;
- Créer de nouveaux marchés et industries.

Le rôle des technologies numériques issues de l'Industrie 4.0 dans la mise en œuvre de l'économie circulaire et la réalisation de la durabilité

3.3 Les pratiques de l'économie circulaire

L'ADEME découpe l'Économie Circulaire en trois domaines d'actions et sept piliers différents (schéma ci-dessous).

Figure N° 1. Les trois domaines d'actions et sept piliers de l'économie circulaire.



Source : (ademe, 2022)

Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie propose sept piliers et trois domaines d'actions sont (ADEME et Geldron, 2016-2018) :

- **L'approvisionnement durable**

Elle prend en compte tous les aspects de l'exploitation ou de l'extraction des ressources afin d'avoir une exploitation efficace des ressources, de réduire les déchets, et de retarder les effets sur l'environnement, notamment dans l'exploitation des matériaux énergétiques et minéraux (mines et carrières), ou dans l'exploitation des ressources agricoles et forestières tant pour les matériaux renouvelables que pour les énergies non renouvelables.

- **L'écoconception**

L'écoconception se fait dès la conception d'un procédé d'un service ou d'un bien, on prenant en compte l'ensemble du cycle de vie du bien ou service en minimisant tous impacts sur l'environnement.

- **L'écologie industrielle et territoriale**

Nommée aussi symbiose industrielle, elle part du principe d'échanges de flux ou d'une mutualisation de besoins entre les entreprises 'interentreprises'.

- **L'économie de la fonctionnalité :**

Elle favorise l'usage à la possession et privilège la vente des services liés aux produits plutôt que les produits eux-mêmes ;

- **La consommation responsable :**

Son objectif est d'influencer le citoyen ou l'acteur économique (privé ou public) pour qu'il prenne la meilleure décision en tenant compte des impacts environnementaux à toutes les étapes du cycle de vie du produit ;

- **L'allongement de la durée d'usage par le consommateur :**

Cela consiste à faire appel à la réparation, à la vente ou don d'occasion, ou à l'achat d'occasion dans le cadre des 3R :

- La réutilisation est la pratique consistant à remettre un produit sur le marché après qu'il ait rempli sa fonction initiale.
- Réparation : Augmenter la durée de vie d'un produit en remplaçant les pièces usées ou endommagées.
- Réutilisation : Utiliser quelque chose dans un but différent de celui auquel il était destiné à l'origine (récupération de pièces en bon état).
- **Le recyclage :**

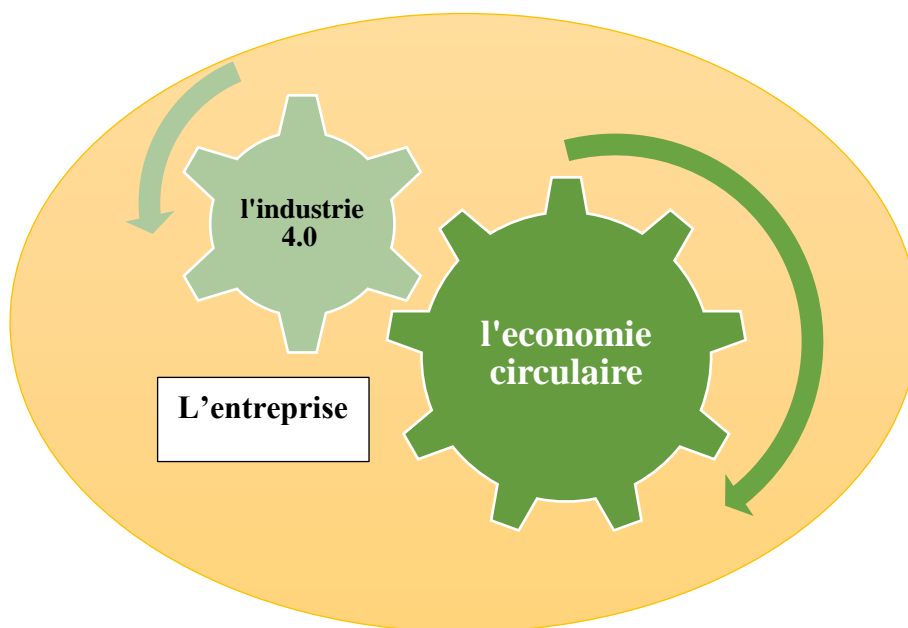
Le rôle des technologies numériques issues de l'Industrie 4.0 dans la mise en œuvre de l'économie circulaire et la réalisation de la durabilité

C'est l'utiliser de déchets autant que les matières premières.

4. Le rôle des technologies numériques dans la mise en œuvre de l'économie circulaire :

Afin de d'utiliser Les technologies de l'Industrie 4.0 adaptées à la mise en œuvre de l'économie circulaire une feuille de route originale présentée est présenter comprenant cinq étapes clés, qui les entreprise vers une gestion durable un bon positionnement dans la fabrication numérique. La figure si dessous présente le Liens entre l'économie circulaire et l'industrie 4.0.

Figure N° 2. Le Liens entre l'économie circulaire et l'industrie 4.0.



Source : élaborer par nous.

Les étapes de la feuille de route sont les suivant (Ana Beatriz Lopes de Sousa Jabbour, 2018, p. 277) :

- **La première étape**

Pour les organisations qui souhaitent évoluer vers l'économie circulaire doit décider quels modèles sont adaptés à leurs processus de production et à leur objectif. Les organisations peuvent avoir des niveaux de capacité définis pour la circularité des ressources, ce qui influence la mesure dans laquelle ils sont capables de développer des cycles de formation continue.

- **La deuxième étape**

L'identification des technologies et des ressources de l'Industrie 4.0 qui sont viables pour eux, compte tenu de facteurs tels que la disponibilité, les coûts et les contraintes techniques.

- **La troisième étape**

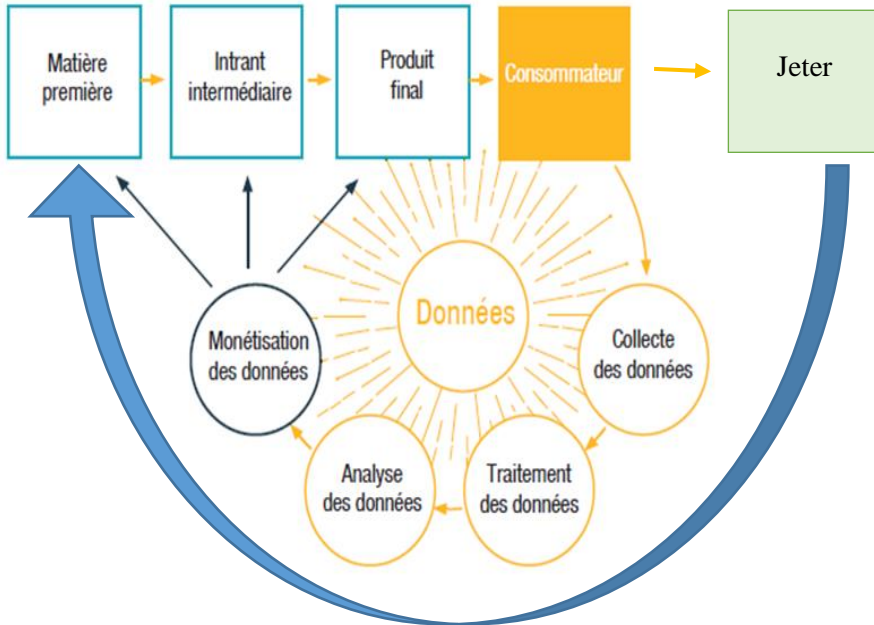
Pour les organisations serait l'adaptation des décisions de gestion des opérations durables pour la conception, la production et le processus et la logistique des produits.

- **La quatrième étape**

Pour les organisations serait le développement de l'intégration entre les niveaux chaînes d'approvisionnement afin de connecter les technologies et les ressources et partager les informations relatives à la demande, l'offre, les livraisons et le comportement des clients en temps réel.

Le rôle des technologies numériques issues de l'Industrie 4.0 dans la mise en œuvre de l'économie circulaire et la réalisation de la durabilité

Figure N° 2. L'intégration des technologies de la chaine d'appointement durable.



Source : réaliser par nous en en se basant sur le rapport de (NATIONS UNIES, 2019).

- **La cinquième étape**

Pour les organisations serait la création d'indicateurs de performance en afin de mesurer les progrès vers l'économie circulaire. De plus, petit et réalisable les cibles doivent être conçues lors de la planification des actions organisationnelles, en fonction des ressources et capacités.

4.1. Le rôle de l'Internet des objets, du Big Data et de l'analytique pour Économie circulaire

4.1.1. La technologie de l'Internet des objets

Quand les produits deviennent intelligents, les entreprises peuvent intervenir en cas de détérioration en le collectant facilement, le réparant et alléger la durée de vie du produit cela minimise les déchets de matériaux, ainsi aider à boucler la boucle par la réutilisation, la remise à neuf et le recyclage. Améliorant ainsi la transition vers l'économie circulaire (Olivier Pialota, 217, pp. 538-550).

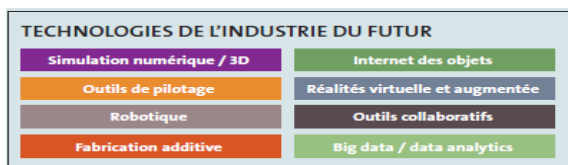
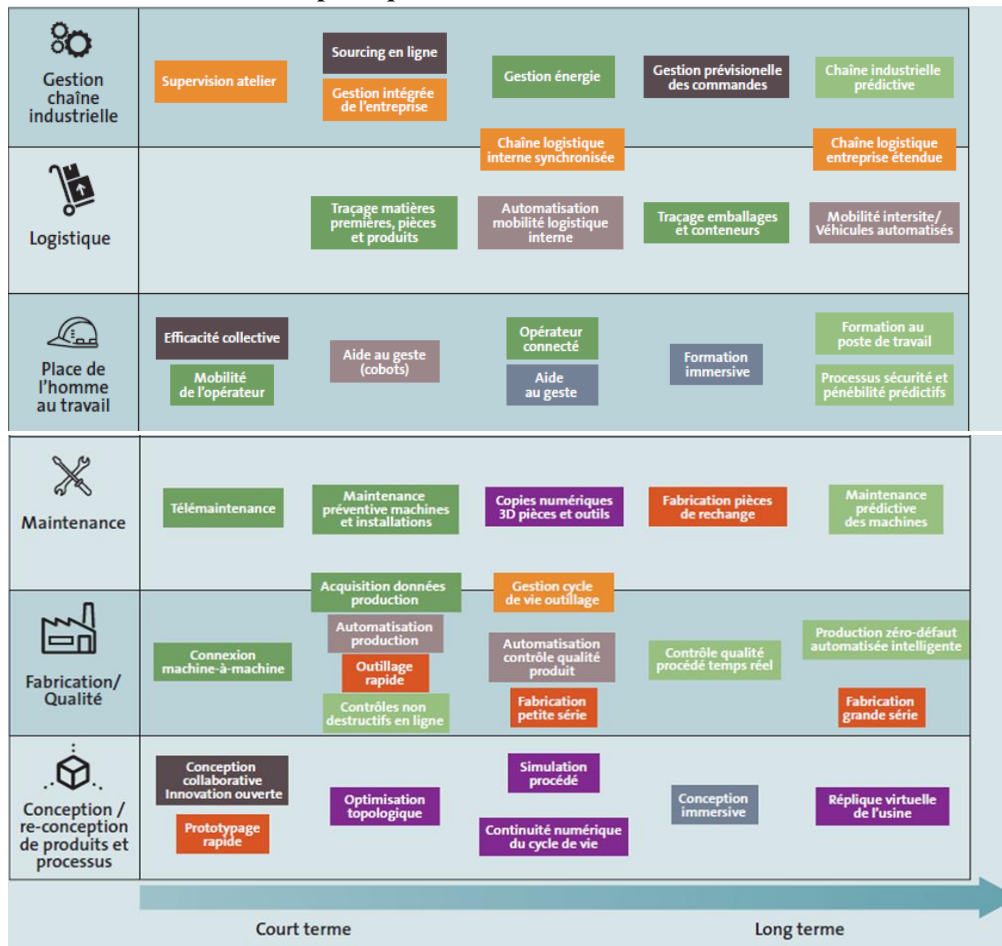
4.1.2. Les Big Data et data analytics

Le Big Data est généralement considéré comme une approche valable pour permettre une meilleure décision dans la fabrication, si elle est combinée avec des techniques analytiques appropriées. En fait, l'analyse exploite le logiciel et des techniques d'exploration de données pour extraire des informations utiles des données, en développant l'intelligence d'affaires et des systèmes d'aide à la décision pour identifier des modèles dans les données et faire des prédictions . Dans ce cas, les analyses permettent aux entreprises de transformer les données en informations, ce qui fournit la base pour une meilleure prise de décision .Ainsi, la combinaison entre le Big Data et l'analyse peut faire progresser positivement la gestion vers l'économie circulaire, en alimentant les processus décisionnels axés sur la durabilité avec les informations requises (Charbel Jose Chiappetta Jabboura, 2019, p. 550)

Les autres technologies ils sont résumés dans le tableau suivant (Phung, 2019):

Le rôle des technologies numériques issues de l'Industrie 4.0 dans la mise en œuvre de l'économie circulaire et la réalisation de la durabilité

Table N°1. La mise en œuvre des technologies de l'industrie 4.0 dans les pratiques d'économie circulaire.



Source : Carola Guyot Phung, « les implications de l'économie circulaire et de la transition numérique sur les compétences et les emplois verts dans le secteur du plastique », la revue de l'institut veolia - facts reports, page 106.

4.2. Les frais interdisant les avantages numériques dans l'économie circulaire

Il y'a plusieurs barrières entravant les avantages de la numérisation pour la réalisation de l'économie circulaire ils peuvent être divisés comme suite (maria antikainen, 2018) :

- Barrières financières (mesure des avantages financiers, rentabilité) ;
- barrières structurelles (échange manquant des informations, répartition peu claire des responsabilités) ;
- Opérationnelles barrières (infrastructure, gestion de la chaîne d'approvisionnement),
- Barrières comportementales (perception de la durabilité, aversion pour le risque).

Bien que la numérisation ait considérablement augmenté la quantité, l'exactitude et le coût des informations, il reste encore beaucoup à être terminé. Actuellement, des problèmes liés à l'information peuvent être observés comme l'un des principaux obstacles à la mise en œuvre de la CE. Celles-ci incluent, par exemple, une disponibilité sous-développée des informations, augmentation des coûts de transaction et de recherche et manque de connaissance. Les problèmes liés à l'intégration des données sont souvent ignorée lors de l'étude du rôle des solutions numériques dans la l'économie circulaire.

5. Conclusion

L'économie circulaire offre une perspective nouvelle et différente sur les systèmes organisationnels et opérationnels de production et de consommation, une perspective axée sur la restauration de la valeur des Ressources. L'économie circulaire propose qu'une approche circulaire de l'énergie et des matériaux puisse fournir avantages économiques, environnementaux et sociaux pour les organisations lorsqu'elles remplacent la perspective traditionnelle de «prendre, fabriquer, utiliser et éliminer» - également connue comme économie linéaire. Cependant,

Le rôle des technologies numériques issues de l'Industrie 4.0 dans la mise en œuvre de l'économie circulaire et la réalisation de la durabilité

dans le l'économie circulaire, la coordination du matériel et des informations les flux sont cruciaux. Informations sur la quantité et la qualité des produits et leurs matières premières doivent être collectés et retenu. Les technologies numériques permettent de conserver les données avec les matériaux du cycle et permettent d'utiliser les déchets en tant que ressource.

L'intégration de concept d'Industrie 4.0 offre des opportunités pour diffusées les connaissances, Cela permet aux entreprises d'être plus connecté avec les clients et assurer la durabilité du produite. En plus, les solutions numériques permettent des modèles commerciaux circulaires grâce à surveillance, contrôle et optimisation automatisés des ressources et flux de matières

Les technologies numériques, en particulier celles liées au concept d'Industrie 4.0 ont été identifiés comme des catalyseurs importants des modèles commerciaux de l'économie circulaire car ils permettent aux entreprises de partager des données au sein de leurs chaînes d'approvisionnement et d'identifier et de suivre les produits et les matériaux, ce qui améliore leur capacité à conserver de la valeur

La numérisation offre des opportunités pour la virtualisation des canaux de distribution. La valeur peut être livrée aux clients via des canaux numériques. Cela peut conduire à une réduction de l'impact environnemental et assuré la durabilité.

6. Liste Bibliographique

ademe. (2022, 04 28). Récupéré sur <http://www.ademe.fr>:
<http://www.ademe.fr/expertises/economie-circulaire>

ADEME et Geldron. (2016-2018).

Ana Beatriz Lopes de Sousa Jabbour, C. J. (2018). Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap

- for sustainable operations. *S. I : BIG DATA ANALYTICS IN OPERATIONS & SUPPLY CHAIN MANAGEMENT*, 270, 277.
- Aris Pagoropoulos, D. C. (2017). T.C. The Emergent Role of Digital Technologies in the Circular Economy: A Review. *Procedia CIRP*, 64, 19–24.
- Atzori, L, I. A. (2010). The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54, 2787–2805.
- Charbel Jose Chiappetta Jabboura, A. B. (2019). Unlocking the circular economy through new business models based on large-scale data: An integrative framework and research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 144, 550.
- E. Sakthivelmurugan, G. S. (2022, juin 9). Analysis of the impact of circular economy over linear economy in the paper processing industry. (Elsevier, Éd.) *Materials Today: Proceedings*, 64(5), 1.
- Ellen MacArthur Foundation et le McKinsey Center for Business and Environment. . (juin 2015). *Emergence intérieure : Une Vision d'Economie Circulaire pour une Europe Compétitive*. Fondation pour l'Economie Environnementale et la Durabilité.
- Garza-Reyes, J. A. (2021). Exploring industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: a business model proposal. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 4.
- Gianmarco Bressanelli, F. A. (2018). Exploring How Usage-Focused Business Models Enable Circular Economy through Digital Technologies. *sustainability*, 10(639), 21.
- Hyoungh Seok Kang, J. Y. (2016). Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 3, 111-128.

Le rôle des technologies numériques issues de l'Industrie 4.0 dans la mise en œuvre de l'économie circulaire et la réalisation de la durabilité

- Institut de l'environnement, du développement durable et de l'économie circulaire. (2016). *Principes de l'économie circulaire et approches à l'étranger*. Montréal.
- M. Geissdoerfer, P. S. (2017). The circular economy - a new paradigm of sustainability? *J. Clean. Prod.*, 143, 766.
- maria antikainen, t. u. (2018). Digitalisation as an Enabler of Circular Economy. *10th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems* (p. 47). ELSEVIER .
- N. Gregson, M. C. (2015). Questioning the circular economy: the moral economy of resource recovery in the EU. *Econ. Soc.*, 44, 9.
- NATIONS UNIES. (2019). *l'économie numérique 2019: LE COMMERCE ET LE DÉVELOPPEMENT , INCIDENCES POUR LES PAYS EN DÉVELOPPEMENT*.
- Olivier Pialota, D. M. (2017). Upgradable PSS”: Clarifying a new concept of sustainable consumption/production based on upgradability. *Journal of Cleaner Production*, 141, 538-550.
- Phung, C. G. (2019). *les implications de l'économie circulaire et de la transition numérique sur les compétences et les emplois verts dans le secteur du plastique*. la revue de l'institut veolia.
- Shrouf, F, O. J. (2014). Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm. . *international conference on industrial engineering and engineering management* (pp. 697-701). IEEE.
- Stahel, W. (2016). Circular economy. *nature*, 435.
- Trentesaux, D, B. T. (2016). Emerging ICT concepts for smart, safe and sustainable industrial systems. *Computers in Industry*, 81, 1-10.
- United Nations. (2019). *The Sustainable Development Goals*.

Yu. C, X. X. (2015). Computer-integrated manufacturing, cyber-physical systems and cloud manufacturing: Concepts and relationships. *Manufacturing Letters*, 6, 4-9.