

## L'intelligence artificielle au service de l'économie circulaire : Une meilleure valorisation des déchets pour un développement durable

Artificial intelligence for the circular economy : better waste recovery for sustainable development

Auteur 1 : BOUAZZAOUI Rian

Auteur 2 : TABAKKOUYAT Rachid

Auteur 3 : BENTAHAR Abdelrhani

---

### Rian BOUAZZAOUI, PhD.

Université Mohammed Premier / Faculté des sciences juridiques, économiques et sociales d'Oujda.  
Laboratoire d'Economie Sociale, Solidaire et Développement Local.

### Rachid TABAKKOUYAT, PhD.

Université Mohammed Premier / Faculté des sciences juridiques, économiques et sociales d'Oujda.  
Laboratoire d'Economie Sociale, Solidaire et Développement Local.

### Abdelrhani BEN TAHAR, Enseignant chercheur.

Université Mohammed Premier / Faculté des sciences juridiques, économiques et sociales d'Oujda.  
Laboratoire d'Economie Sociale, Solidaire et Développement Local.

**Déclaration de divulgation** : L'auteur n'a pas connaissance de quelconque financement qui pourrait affecter l'objectivité de cette étude.

**Conflit d'intérêts** : L'auteur ne signale aucun conflit d'intérêts.

**Pour citer cet article** : BOUAZZAOUI .R, TABAKKOUYAT .R & BEN TAHAR .A.(2023) «L'intelligence artificielle au service de l'économie circulaire : Une meilleure valorisation des déchets pour un développement durable », African Scientific Journal « Volume 03, Numéro 18 » pp: 800-822.

**Date de soumission** : Mai 2023

**Date de publication** : Juin 2023



DOI : 10.5281/zenodo.8270881  
Copyright © 2023 – ASJ



## Résumé

L'économie circulaire et contrairement à celle linéaire est basée sur le modèle de « extraire, produire, consommer et valoriser ». Elle implique la réutilisation des biens et matériaux dans la finalité de réduire à la fois l'exploitation des ressources limitées, la production des déchets et la pollution de l'environnement. Dans ce sens, le processus de traitement des déchets consiste à gérer et à éliminer les déchets en toute sécurité et durabilité.

De plus, l'amélioration de la qualité des procédés de traitement des déchets dépend vraisemblablement des outils de l'intelligence artificielle. Ceci s'explique essentiellement par l'utilisation des algorithmes informatiques ainsi que par l'apprentissage automatique permettant à titre d'exemple la réalisation des tâches à haut risque. Cette technologie peut contribuer à améliorer l'efficacité du tri des déchets, à réduire la contamination et à augmenter la quantité de matériaux pouvant être recyclés.

Notre démarche dans cet article théorique repose sur un positionnement épistémologique ancré dans le paradigme interprétatif, combiné à l'utilisation d'un mode de raisonnement inductif. Cette approche méthodologique nous permet d'explorer en profondeur les concepts et les théories au sein de notre domaine d'étude.

**Mots clés :** Economie circulaire ; Economie linéaire ; Intelligence artificielle ; Gestion des déchets.

## **Abstract**

In contrast to the linear model of "extract, produce, consume, and dispose," the circular economy is based on a model of "extract, produce, consume, and valorize." It involves the reutilization of goods and materials with the goal of simultaneously reducing the exploitation of limited resources, waste generation, and environmental pollution. In this context, the waste treatment process aims to manage and dispose of waste safely and sustainably.

Furthermore, the enhancement of waste treatment processes' quality is notably reliant on artificial intelligence tools. This reliance stems from the utilization of computer algorithms and machine learning, which enable tasks of high risk, for instance. This technology can contribute to enhancing waste sorting efficiency, minimizing contamination, and increasing the quantity of recyclable materials.

The theoretical framework of this article is underpinned by an epistemological stance rooted in the interpretive paradigm, coupled with the application of an inductive mode of reasoning. This methodological approach allows us to delve deeply into the concepts and theories within our field of study.

**Keywords :** Circular economy; Linear economy; Artificial intelligence; Waste management.

## Introduction

Le processus de traitement des déchets consiste à gérer et à éliminer les déchets en toute sécurité et durabilité. En effet, il est indispensable en matière de management environnemental puisqu'il implique le ramassage, le transport et la destruction des déchets. A ce titre, les déchets se subdivisent en plusieurs catégories telles que les déchets dangereux, les déchets solides municipaux, les déchets industriels, etc.

Dans le même ordre d'idées, l'économie circulaire (EC) a un aspect lié étroitement à la notion de la gestion des déchets. Elle fait référence à un système économique axé sur la réduction du gaspillage en créant des circuits fermés, appelés aussi des circuits en boucle, dans lesquels les ressources sont réutilisées et renouvelées de manière durable.

Dans ce sens, il est important de mettre en lumière l'un des fondements de cette discipline économique qui fait appel au principe de limitation des déchets en minimisant leur élimination intégrale et en veillant donc à la réutilisation et le recyclage à la fois des produits et des matériaux.

De surcroît, l'amélioration de la qualité des procédés de traitement des déchets dépend vraisemblablement des outils de l'intelligence artificielle, notamment de l'utilisation des algorithmes informatiques et de l'apprentissage automatique. Ces derniers permettent la réalisation des tâches à haut risque, l'amélioration de l'efficacité du tri des déchets, la réduction de la contamination et également l'augmentation de la quantité de matériaux pouvant être recyclés.

Face à ces enjeux, la promotion de l'élargissement des pratiques de l'EC au Maroc se révèle comme étant une préoccupation grandissante et représente une solution appropriée tant pour le secteur privé que pour le secteur public. Dans cette optique, le développement durable pour les générations futures est vraisemblablement relié aux performances dudit modèle, et ce, surtout en termes de responsabilités écologiques, économiques et sociales.

C'est dans ce sens que s'inscrit l'objectif du présent travail. Nous chercherons à analyser comment l'intégration de l'intelligence artificielle dans les stratégies de l'économie circulaire peut favoriser l'efficacité des processus de gestion des ressources, la prise de décision durable et l'innovation dans les modèles économiques axés sur la durabilité environnementale.

La problématique qui nous interpelle s'articule autour de la question suivante : « **Dans quelle mesure l'intégration des dispositifs de l'intelligence artificielle permet-elle l'optimisation du modèle de l'économie circulaire ?** ».

En complément de notre question centrale, la présente recherche tente également d'apporter des éléments de réponses pertinents aux questions suivantes :

- Quelles distinctions faites entre l'économie linéaire et l'économie circulaire ?
- Quelles sont les différentes politiques et réglementations menées par les pouvoirs publics marocains destinées à favoriser la mutation vers l'économie circulaire ?
- Quelle relation existe-t-elle entre l'économie circulaire et l'intelligence artificielle ?

La réponse à notre question centrale nous renvoie à formuler deux hypothèses liées au sujet de l'économie circulaire et l'intelligence artificielle.

- **Hypothèse 1** : L'économie circulaire permettrait la valorisation de la gestion des déchets.
- **Hypothèse 2** : L'intelligence artificielle favoriserait le développement des pratiques de l'économie circulaire.

A partir de ces constats qu'apparaît l'ampleur et la dimension cruciales de notre thématique. La structure de notre contribution se déclinera selon le plan ci-après.

#### Section 1 : Cadrage conceptuel

- 1.1. De l'économie linéaire à l'économie circulaire
- 1.2. Etat des lieux de la transition économique au Maroc

#### Section 2 : Intelligence artificielle et développement de l'économie circulaire

- 2.1. Economie circulaire et valorisation des déchets
- 2.2. Economie circulaire et intelligence artificielle : Quelle relation ?

### 1. Cadrage conceptuel

#### 1.1. De l'économie linéaire à l'économie circulaire

L'économie actuelle est basée sur le modèle linéaire « extraire, fabriquer, utiliser puis jeter » qui consomme des ressources naturelles et de l'énergie pour fabriquer des produits qui deviendront, en fin de compte, des déchets (voir figure ci-après).

**Figure N° 1** : Le flux des matériaux, des composants et des produits dans une économie linéaire.



**Source** : Rémy Le Moigne (2018). L'économie circulaire : stratégie pour un monde durable. Edition Dunod, p.7

Les matières premières sont d'abord extraites ou récoltées. Ces dernières sont ensuite utilisées pour fabriquer des pièces. Les pièces sont par la suite assemblées en composants. À leur tour, les composants sont assemblés entre eux pour fabriquer des produits. Les produits sont distribués dans des points de vente ou vendus en ligne. Le produit est alors acheté puis utilisé par un client. Arrivé en fin d'usage ou en fin de vie, le produit est, le plus souvent, jeté.

L'économie linéaire est basée sur le modèle de « prendre-produire-jeter », qui implique l'utilisation des ressources limitées, la production des déchets et la pollution de l'environnement. En revanche, l'EC est un modèle économique basé sur la réutilisation, le recyclage et la régénération des produits et des matériaux pour minimiser les déchets et préserver les ressources naturelles. Chacun de ces deux modèles économiques (linéaires ou circulaires) a ses propres avantages et inconvénients avec des impacts économiques, sociaux et environnementaux différents.

Pour l'économie linéaire, l'un de ces avantages est sa simplicité, qui permet une production à grande échelle et une baisse des coûts de production. Cependant, l'utilisation des ressources limitées a des effets néfastes sur l'environnement, notamment la pollution de l'air, de l'eau et des sols ainsi que la dégradation de la biodiversité (Jackson, 2017). De plus, l'élimination des déchets est coûteuse et nécessite des dépenses considérables pour les entreprises et les gouvernements.

Tandis que pour l'EC, elle présente de nombreux avantages, notamment la préservation des ressources naturelles, la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la création de nouveaux emplois et l'amélioration de la compétitivité des entreprises (Ghisellini, Cialani & Ulgiati, 2016). Cependant, la mise en œuvre de l'EC nécessite des investissements initiaux importants, une réorganisation complète de la chaîne d'approvisionnement et des changements dans les modèles d'affaires traditionnels.

Dans le même ordre d'idées, Kirchherr et al., (2018) avancent que l'EC peut avoir un impact significatif sur l'économie, la société et l'environnement. En effet, elle peut contribuer à la création d'emplois durables, à la réduction des coûts de production, à l'amélioration de la qualité de vie des populations et à la préservation des écosystèmes. Cependant, d'après Su et al., (2019), ce modèle économique peut également entraîner à la fois une perte d'emplois dans certaines industries, des coûts de transition élevés, des défis réglementaires et institutionnels.

Dans le même sens, l'Agence européenne pour l'environnement dans son rapport sur l'EC (2016) a mis en lumière que cette dernière offre un potentiel de réduction significative des émissions de gaz à effet de serre et de pollution. Le rapport a mis en exergue un certain nombre d'avantages économiques et sociaux de l'EC : (i) une réduction des coûts de production grâce à l'utilisation de matières premières recyclées ; (ii) une réduction des coûts de traitement des déchets, (iii) une création d'emplois dans les secteurs de la collecte, du tri et du recyclage des déchets ; (iv) une amélioration de la qualité de vie et de la santé publique ; (v) une augmentation de l'implication citoyenne.

Par ailleurs, la mise en œuvre de l'EC nécessite des investissements initiaux importants. La transition vers une EC peut être difficile pour les entreprises et les gouvernements qui sont habitués au modèle économique linéaire traditionnel. Les gouvernements doivent donc jouer un rôle important pour encourager la transition vers l'EC en élaborant des politiques de soutien et des réglementations appropriées pour stimuler l'innovation, la recherche et le développement dans ce domaine (Korhonen et al., 2018).

En plus, Su et al., (2019) avancent que la réussite de la transition économique, de l'économie linéaire à celle circulaire, nécessite une planification et une coordination efficaces entre les parties prenantes, y compris les gouvernements, les entreprises, la société civile et les collectivités locales, etc.

## **1.2. Etat des lieux de la transition économique au Maroc**

Dans le cadre de la transition vers une économie circulaire, le Maroc a mis en vigueur différentes politiques et réglementations destinées à favoriser la mutation vers l'économie circulaire. Celles-ci sont conçues de manière à promouvoir le développement durable, à réduire les déchets et à encourager l'utilisation efficace des ressources. Citons, entre autres, dans un premier temps quelques politiques favorisant la transition économique (voir tableau ci-après).

**Tableau N° 1 : Synthèse des politiques favorisant la transition vers l'EC au Maroc**

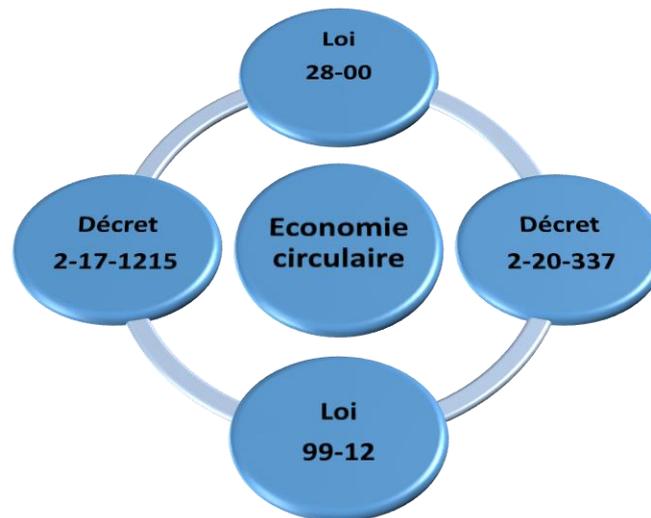
| Politiques                                    | Apports de transition   |
|---|---|
| Stratégie nationale de gestion des déchets.   | Les pouvoirs publics marocains avaient lancé en 2014 une stratégie nationale de gestion des déchets en vue à la fois d'améliorer la collecte, le tri et le recyclage des déchets. Cette stratégie avait fixée comme objectif de parvenir à un taux de recyclage de 20 % en 2022.                                |
| Responsabilité élargie des producteurs (REP). | Le Maroc a instauré une réglementation en matière de la REP dans le but de responsabiliser les producteurs quant à l'élimination de leurs produits en fin de vie. Pour ce faire, les producteurs sont tenus de financer et de gérer la collecte, le transport et le traitement de leurs produits en fin de vie. |
| Marchés publics écologiques (MPE).            | Le gouvernement marocain a introduit des politiques de marchés publics écologiques afin de stimuler le secteur public à acquérir des biens et des services à faible impact sur l'environnement.   |
| Étiquetage des produits.                      | Depuis 2020, l'Etat marocain a adopté un système de certification écolabel visant à promouvoir la consommation durable. Cette certification est décernée aux produits qui répondent aux normes environnementales, telles que l'utilisation de matériaux recyclés ou la réduction des déchets.                   |
| Les énergies renouvelables.                   | Pour soutenir le développement des énergies renouvelables, le Maroc a mis en avant des politiques et des réglementations incluant des incitations aux projets d'énergies renouvelables avec l'objectif de couvrir 42% des besoins en énergies renouvelables dans le mix-électrique en 2020.                     |

**Source :** Réalisé par nos soins sur la base de plusieurs références bibliographiques (2023).

Parallèlement, le Maroc a mis en œuvre une série de réglementations pour soutenir l'EC. Ces réglementations visent à réduire les déchets, à encourager les pratiques de consommation et de

production durables, et à promouvoir l'utilisation efficace des ressources. La figure ci-dessous regroupe les principales réglementations existantes.

**Figure N° 2 : Récapitulatif des principales réglementations en matière d'EC.**



**Source :** Réalisée par nos soins sur la base de plusieurs références bibliographiques (2023).

Commençant par la loi n° 28-00 portant sur la gestion des déchets. Cette loi a été promulguée en 2006 et fournit un cadre juridique pour la gestion des déchets au Maroc. Elle souligne l'importance de la prévention des déchets et encourage l'utilisation des déchets comme ressource. Elle décrit également les responsabilités des producteurs de déchets, des collecteurs, des transporteurs et des installations de traitement.

De surcroît, ladite loi se considère comme étant un élément clé de la législation marocaine. Elle fournit un cadre juridique pour la gestion des déchets. Au même titre, elle vise essentiellement à promouvoir les pratiques d'une gestion durable des déchets et à réduire l'impact environnemental des déchets.

Dans la même lignée, la loi 28-00 a joué un rôle clé dans la promotion de l'EC au Maroc en encourageant l'utilisation des déchets comme une ressource et en favorisant le développement de technologies et de processus pour la récupération et le recyclage des déchets. A ce stade, il nous convient capital de synthétiser les axes fondamentaux de la loi en question en matière de gestion des déchets.

**Tableau N° 2 :** Résumé des principales dispositions de la loi 28-00 portant sur la gestion des déchets.

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| Prévention des déchets.              | Le texte de loi en question met en évidence l'importance de la prévention des déchets. Il exige aux producteurs des déchets la prise des mesures permettant la minimisation des quantités des déchets produites. Cela inclut la promotion de la réduction, de la réutilisation et du recyclage des déchets.   |
| Classification des déchets.          | La loi exige que les déchets soient classés en fonction de leur type et de leurs propriétés afin de faciliter leur manipulation et leur traitement appropriés. Elle distingue les déchets dangereux et non dangereux. Elle établit les exigences nécessaires pour la manipulation et le traitement de chaque type de déchets.                                 |
| Collecte des déchets.                | La loi impose que les déchets soient collectés et transportés de manière sûre et efficace. Elle établit des exigences pour la collecte et le transport des déchets. En se référant au même texte de loi, la collecte et le transport doivent être effectués par des opérateurs autorisés tout en respectant les procédures d'autorisation desdites activités. |
| Traitement des déchets.              | Elle requiert un traitement écologiquement rationnel des déchets. Elle favorise également l'utilisation des déchets comme une ressource et promeut le développement des technologies et des processus pour la récupération et le recyclage des déchets.   |
| Surveillance et mise en application. | Elle constitue un système de surveillance et d'application des règlements liés à la gestion des déchets. Elle prévoit des sanctions pour la non-conformité aux règlements de gestion des déchets et habilite les autorités à effectuer des inspections et des enquêtes pour assurer la conformité.  |

**Source :** Réalisé par nos soins sur la base de la loi 28-00 (2023).

Passons à la loi n° 99-12 qui a été promulguée en 2013 et qui fournit un cadre juridique pour la protection de l'environnement au Maroc. Elle met l'accent sur le principe du pollueur-payeur et encourage l'utilisation d'instruments économiques pour promouvoir la protection de

l'environnement, et ce par la réduction maximale de l'impact environnemental des activités humaines. De plus, elle a prévu la création du Conseil National du Développement Durable (CNDD)<sup>1</sup> ainsi que le Haut Conseil pour l'Environnement (HCE)<sup>2</sup>.

En effet, il s'agit d'un texte législatif important qui joue un rôle déterminant dans la promotion de l'EC au Maroc à travers l'encourageant des pratiques de consommation et de production durables. Il favorise également l'utilisation d'instruments économiques pour promouvoir la protection de l'environnement et son développement durable.

En ce qui concerne, le décret n° 2-17-1215, il a été promulgué en 2019 et est relatif à la responsabilité élargie des producteurs (REP). Il impose aux producteurs de financer et de gérer la collecte, le transport et le traitement de leurs produits en fin de vie. Ce cadre législatif a conduit les pouvoirs publics à créer la Commission Nationale de la Responsabilité Élargie des Producteurs (CNREP)<sup>3</sup>.

Le décret établit les responsabilités des producteurs, notamment au sens de l'élaboration des plans de gestion des déchets, le financement des systèmes de gestion des déchets ainsi que la communication des activités de gestion des déchets. Le décret exige également que les producteurs mettent en œuvre des mesures visant à réduire l'impact environnemental de leurs produits, telles que l'utilisation de principes d'éco-conception et la promotion de pratiques de consommation et de production durables.

De surcroît, ce dispositif juridique joue, de nos jours, un rôle fondamental dans la promotion de l'EC via l'encourageant des pratiques de consommation et de production durables et la réduction de l'impact environnemental de certains produits. Il contribue aussi bien à promouvoir le développement des systèmes de gestion des déchets qui favorisent les pratiques de gestion durable des déchets, telles que le recyclage et la valorisation.

Finalement, arrivons au décret n° 2-20-337 relatif à l'écolabel. Il a été promulgué en 2020 et constitue un arsenal législatif de certification de l'écolabel au Maroc. La certification établit les critères d'obtention de l'écolabel et décrit les procédures d'obtention et d'utilisation de l'écolabel. A titre de synthèse, cette brève mise en lumière des lois, éclaire la volonté des pouvoirs publics à adopter des dispositifs favorisant la mise en place et le renforcement de l'EC.

---

<sup>1</sup> Le CNDD est chargé principalement par la coordination des politiques environnementales et de promotion du développement durable au Maroc.

<sup>2</sup> Le HCE conseille le gouvernement sur les politiques environnementales et fournit une plateforme pour l'engagement des parties prenantes.

<sup>3</sup> La CNREP est chargée de superviser la mise en œuvre du système de REP.

Pour conclure cette section, il est capital de rappeler qu'une feuille de route en matière d'EC a été mise en place en 2020 par le ministère marocain de l'Environnement. Celle-ci décrit la stratégie du gouvernement pour la transition vers une économie circulaire.

Cette feuille de route inclut, à savoir plusieurs initiatives, telles que le développement d'un mécanisme de financement de l'EC, la promotion de l'EC dans le secteur du tourisme et la création d'un pôle d'EC au Maroc.

L'engagement du gouvernement en faveur du développement durable et des énergies renouvelables s'aperçoit comme un moteur important pour l'agenda de l'EC dans le pays. La feuille de route de l'EC fournit aussi bien un cadre complet pour la mise en place de ce récent modèle économique au Maroc.

## **2. Intelligence artificielle et développement de l'économie circulaire**

### **2.1. Economie circulaire et valorisation des déchets**

Le XXe siècle semble l'époque la plus productrice en déchets. En effet, l'industrialisation, l'augmentation des équipements ont largement contribué à faire du déchet un problème préoccupant pour les différentes nations. De nos jours, les déchets sont très techniques et nécessitent une bonne connaissance du domaine afin de mieux les gérer.

Au fur et à mesure de l'évolution de la technicité, les réglementations se sont mises en place afin de pouvoir collecter et traiter au mieux les différents déchets dans la plus grande sécurité pour l'être humain et de son environnement. Il nous paraît capital de mettre en lumière, à présent, la notion de déchet et ses différentes catégories pour appréhender au mieux ladite notion.

La notion de déchet est complexe et peut être définie de différentes manières, selon les contextes et les disciplines scientifiques. Un déchet est un bien que son propriétaire destine à l'abandon. Étymologiquement, le terme déchet vient de déchoir, du latin *cadere* (tomber). La racine « dis » traduit l'éloignement et la séparation ; c'est bien là l'esprit qui entoure tous les objets qui sont considérés comme des déchets. Dans le même champ lexical, nous retrouvons « détritrus », « ordure », « résidu », termes également employés pour désigner ces objets ou restes que l'on ne veut plus.

D'après la définition du dictionnaire Larousse, le déchet est un résidu, une matière ou un produit dont l'utilisateur n'a plus l'utilité et qu'il rejette. D'autres définitions peuvent être trouvées, notamment celle proposée par la directive européenne (2008), qui considère « toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire » comme étant un déchet.

Par ailleurs, le déchet a également été défini dans le cadre de la convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination. Il désigne tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou bien abandonné qui doit être éliminé. Toutes ces définitions soulignent l'aspect de rejet ou d'abandon de la matière ou du produit considéré comme un déchet.

**Tableau N° 3 :** Grille de catégorisation des déchets évoqués dans la littérature.

| Nature de déchet               | Signification   |
|--------------------------------|---|
| Déchets ménagers et assimilés. | Ce sont des déchets produits par les ménages, tels que les ordures ménagères, les emballages, les déchets de jardin, les encombrants, etc. (Hoornweg et Bhada-Tata, 2012).                                |
| Déchets industriels.           | Ce sont des déchets produits par les industries, tels que les déchets chimiques, les déchets électroniques, les déchets de construction, etc. (Tchobanoglous et al., 2014).                               |
| Déchets médicaux.              | Ce sont des déchets produits par les établissements de santé, tels que les seringues, les médicaments périmés, les tissus contaminés, etc. (McBean et Rovers, 2016).                                      |
|                                | Ce sont des déchets qui présentent des risques pour la santé humaine ou l'environnement, tels que les déchets radioactifs, les déchets contenant des produits chimiques toxiques, etc. (Cointreau, 2006). |
| Déchets dangereux.             | Ce sont des déchets d'origine animale ou végétale, tels que les déchets alimentaires, les déchets de jardin, les déchets agricoles, etc. (Hoornweg et Bhada-Tata, 2012).                                  |

**Source :** Réalisé par nos soins sur la base de plusieurs références bibliographiques (2023).

D'autres classifications des catégories des déchets ont été adoptées par les scientifiques en se basant sur leurs natures. En fait, il s'agit des déchets ménagers, déchets industriels, déchets agricoles, déchets hospitaliers, déchets électroniques, déchets nucléaires, etc. (Barberis et al., 2017 ; Gutiérrez-Gutiérrez et al., 2021). Citons ci-après quelques classifications selon la nature.

- Primo, la classification selon composition chimique. Les déchets peuvent être classés en déchets organiques, déchets inorganiques, déchets toxiques, déchets combustibles, etc. (Sekabira et al., 2010 ; Tran et al., 2015).
- Secundo, la classification selon leur dangerosité. Abdullah et al., (2017) ; Chen et al., (2019) soulignent que les déchets peuvent être classés en déchets non dangereux, déchets dangereux et déchets très dangereux.
- Tertio, la classification selon leur provenance. Muyanja et al., (2016) ; Wang et al., (2020) mettent en lumière que les déchets peuvent être classés en déchets urbains, déchets industriels, déchets hospitaliers, déchets agricoles, déchets de construction, déchets marins, déchets spatiaux, etc.

Dans le même ordre d'idée, Jolibert et al., (2019) soulignent la relation entre la notion de déchet et celle de la gestion des déchets. Cette dernière vise à minimiser les impacts environnementaux et sanitaires des déchets produits par les activités humaines. De plus, Furedy et Gupta, (2013) ont défini la gestion des déchets comme l'ensemble des activités visant à collecter, transporter, traiter et éliminer les déchets de manière sûre et efficace, tout en minimisant leur impact environnemental et sanitaire.

La gestion des déchets fait référence à l'ensemble des processus impliqués dans la collecte, le transport, le traitement et l'élimination des déchets. Selon l'Agence de Protection de l'Environnement des États-Unis (EPA), la gestion des déchets est définie comme «*toute activité qui implique la gestion des déchets solides en amont, en aval ou en transit, y compris la réduction à la source, le recyclage, le compostage, la récupération énergétique, l'incinération, la mise en décharge et le stockage temporaire*» (EPA, 2021).

De nos jours, la gestion des déchets est devenue un sujet de plus en plus important dans le contexte de la durabilité environnementale. L'Organisation des Nations unies (ONU) a reconnu l'importance de la gestion des déchets pour atteindre les objectifs de développement durable (ODD) et a appelé à une action mondiale relative à l'amélioration de la gestion des déchets (ONU, 2021).

En effet, la gestion des déchets est un domaine complexe et multidimensionnel qui implique des aspects techniques, environnementaux, économiques et sociaux. Les activités de gestion des déchets peuvent avoir un impact significatif sur l'environnement et la santé humaine, en particulier lorsque les déchets ne sont pas traités de manière appropriée. Srivastava et al., (2019) avancent que la gestion des déchets peut avoir des conséquences sociales importantes, en particulier pour les populations vivant à proximité des installations de traitement des déchets.

Ils rajoutent que les résultats d'une étude menée en Inde ont montrés que les populations voisines des décharges de déchets étaient exposées à des risques sanitaires graves, tels que des maladies respiratoires et des infections.

De son côté, la banque mondiale a soulevé cette problématique liée aux quantités de déchets solides générées dans le monde qui ne cessent d'augmenter de manière exponentielle (Banque mondiale, 2018). Elle a mis en évidence la nécessité de mettre en place des politiques et stratégies efficaces de gestion des déchets pour éviter des conséquences négatives sur l'environnement et la santé.

Cependant, selon Moyin-Jesu et Adepoju, (2017) cette gestion peut varier en fonction des contextes géographiques, économiques et sociaux, comme par exemple dans les pays en développement, la gestion des déchets peut être limitée et insuffisante, ce qui peut entraîner des risques sanitaires importants pour les populations locales.

## **2.2. Economie circulaire et intelligence artificielle : Quelle relation ?**

L'intelligence artificielle (IA) est un domaine de recherche qui connaît une évolution exponentielle remarquable. L'IA peut être utilisée dans le domaine de l'EC afin d'optimiser les processus de production, les flux de matériaux et la gestion des déchets.

Dans le même élan, l'un des domaines clés où l'IA peut être utilisée pour améliorer l'EC est la gestion des déchets. En effet, l'IA peut contribuer à l'optimisation des processus de tri et de recyclage des déchets. Elle s'inscrit aussi dans l'amélioration de l'identification des matériaux réutilisables et des flux des déchets les plus efficaces (Thiell et al., 2020). L'IA peut également être exploitée pour prédire la durée de vie des produits, ce qui par conséquent peut aider les entreprises à mieux planifier la récupération et le recyclage de ces produits en fin de vie (Jiang et al., 2020).

En outre, l'IA bonifie la production à travers la minimisation des déchets et la maximisation de l'utilisation des ressources. Au même titre, nous déduisons que l'IA contribue au perfectionnement des processus de production en temps réel tout en ajustant les paramètres qui diminuent les déchets et les émissions (Chen et al., 2019). L'IA joue un rôle essentiel dans la prédiction des besoins en produits, offrant aux entreprises la possibilité d'optimiser leurs processus d'approvisionnement et de réduire les excédents de stocks qui pourraient éventuellement être gaspillés.

En dernier lieu, l'intelligence artificielle peut également servir à guider les entreprises vers des choix plus éclairés en matière de durabilité. À titre d'exemple, elle peut être mise à contribution pour analyser les données relatives à la production, à la consommation et aux émissions. Cette

démarche aide les entreprises à repérer les secteurs propices à des améliorations en vue de renforcer l'efficacité tout en limitant les répercussions sur l'environnement (Gardetti et al., 2020).

En synthèse, l'IA se révèle comme un acteur majeur dans la promotion de l'économie circulaire, en soutenant activement les entreprises dans l'optimisation de leurs procédés de fabrication, la fluidification des flux de matériaux et la gestion des déchets. Toutefois, intégrer l'IA au cœur de l'EC engendre également des défis, à savoir la collecte et la gestion des données essentielles pour affiner la production et la gestion des déchets. Par conséquent, une collaboration étroite entre les gouvernements et les entreprises s'impose afin de définir des politiques et des réglementations adéquates, favorisant ainsi l'adoption réussie de l'IA dans le cadre de l'économie circulaire.

A ce stade, il est primordial de mettre le point sur un autre secteur clé où l'intelligence artificielle peut véritablement enrichir l'économie circulaire qui est à savoir la logistique inversée. Celle-ci fait référence à la gestion des produits en fin de vie, incluant leur collecte, tri et recyclage.

L'IA peut jouer un rôle prépondérant dans l'optimisation des procédés de récupération des produits en fin de vie en identifiant avec précision les emplacements les plus propices à la collecte et en planifiant les itinéraires les plus efficaces pour les véhicules de ramassage (Zhu et al., 2020). Elle peut aussi être déployée pour classifier et identifier les produits en fonction de leur composition matérielle, ce qui stimule les taux de recyclage et limite la production de déchets (Zhao et al., 2021).

L'intégration de l'IA au sein de l'EC peut non seulement servir à catalyser l'innovation dans le domaine des produits et des procédés, mais aussi à propulser cette innovation. En effet, l'IA se prête à simuler les performances des produits en amont de leur lancement, ce qui lui permet de repérer les matériaux les plus résilients et performants pour une utilisation à long terme (Zhang et al., 2020). De plus, elle se révèle un outil précieux pour aider les entreprises à concevoir des produits plus soutenables en identifiant les matériaux et les méthodes de production les plus écologiques (Su et al., 2019).

Toutefois, il est essentiel de reconnaître que l'IA ne peut pas se substituer totalement à l'expertise humaine dans la prise de décisions relatives à l'économie circulaire. Les choix liés à la gestion des déchets, à la logistique inversée et à la durabilité des produits requièrent une connaissance approfondie des contextes locaux, des réglementations et des valeurs culturelles (Wang et al., 2020). Par conséquent, il est impératif que les entreprises et les gouvernements

collaborent pour intégrer l'IA dans une approche holistique de l'économie circulaire, tirant parti des avantages de l'IA tout en respectant les spécificités locales.

L'IA trouve de multiples applications dans la valorisation des déchets, se déclinant en diverses méthodes :

En premier lieu, elle peut être mise à profit pour le tri sélectif des déchets, permettant ainsi leur classification en fonction de leur nature, de leur composition ou de leur matériau. À cet effet, des caméras et des capteurs sont employés pour identifier les déchets et les répartir en catégories distinctes. En outre, les algorithmes d'apprentissage automatique se révèlent utiles pour affiner la précision du tri, puisqu'ils s'affranchissent de l'apprentissage à partir des données collectées. En second lieu, l'IA offre des opportunités d'optimisation des procédés. Les étapes de valorisation des déchets peuvent être améliorées au moyen de cette technologie. Les algorithmes sont à même d'ajuster les paramètres de traitement, comme par exemple, la température, la pression et le temps de traitement afin d'obtenir les rendements les plus optimaux. De plus, l'IA permet la surveillance en temps réel des procédés permettant l'ajustement instantané des paramètres en fonction des besoins.

En troisième lieu, l'IA se révèle pertinente pour anticiper la production de déchets. Grâce à cette technologie, il est possible de prédire la génération des déchets en prenant en compte divers paramètres tels que la démographie, les comportements d'achat et les évolutions économiques. Ces projections sont d'une aide précieuse pour les entreprises à planifier leur capacité de traitement des déchets et rationaliser leur exploitation des ressources disponibles.

En dernier lieu, l'IA trouve son utilité dans le développement de produits novateurs à partir des déchets. Les algorithmes permettent l'identification des matériaux aptes à la création de nouveaux articles tout en optimisant les méthodes de fabrication grâce à des algorithmes dédiés. A ce stade, il est impératif de mettre en avant que le Maroc génère chaque année des quantités colossales de déchets, dont une part importante demeure sans être valorisée et finit par être reléguée dans des décharges. Cette réalité constitue un défi environnemental d'une ampleur significative pour le pays. Toutefois, l'exploitation de l'intelligence artificielle pour la gestion des déchets demeure encore relativement restreinte au Maroc. Néanmoins, une dynamique croissante de nouvelles initiatives qui contribuent progressivement à renforcer cette pratique.

Dans le même contexte, un exemple concret est illustré par l'entreprise « GreenWise ». Cette société marocaine a conçu une plateforme basée sur l'intelligence artificielle qui se dédie à la gestion des déchets. Grâce à des algorithmes sophistiqués, cette plateforme assure un suivi en

temps réel de la collecte des déchets, tout en offrant des données précises quant à la quantité et à la composition des déchets récupérés.

Une telle démarche fournit aux instances locales ainsi qu'aux entreprises une meilleure compréhension des enjeux liés à la gestion des déchets et les éclaire dans leurs décisions pour optimiser les processus de collecte et de traitement des déchets.

## Conclusion

L'optimisation de la gestion des déchets constitue un défi de taille dans le domaine de l'EC. Elle offre l'opportunité de réduire considérablement la quantité des déchets destinés aux décharges, tout en minimisant l'empreinte environnementale liée à leur traitement et en préservant les précieuses ressources naturelles.

Parallèlement, l'intégration des mécanismes de l'IA au sein de ce processus de valorisation des déchets se traduit par une réduction des coûts, une amélioration notable de l'efficacité opérationnelle et une diminution significative de l'impact environnemental engendré par les déchets.

En guise de conclusion, il est essentiel de mettre en évidence les avancées significatives en matière d'adoption des principes de l'EC au Maroc au cours des dernières années, particulièrement en ce qui concerne la valorisation des déchets. Evoquons premièrement et à titre d'exemples notables, la centrale de valorisation énergétique des déchets à Casablanca, opérationnelle depuis 2019, illustre un progrès majeur. Elle traite quotidiennement près de 2 000 tonnes des déchets, générant de l'électricité qui alimente le réseau national.

Un autre modèle de mise en œuvre des fondements de l'EC, il s'agit de la transformation de la décharge de Meknès en un centre de valorisation des déchets en 2020. Ceci démontre la mise en œuvre réussie des principes de l'EC. Cette métamorphose permet la récupération de matériaux recyclables et la production du compost à partir des déchets organiques.

Le projet ambitieux « Zéro déchet » à Tanger se révèle également exemplaire en matière d'EC. Les autorités de la ville se sont engagées à atteindre le statut « zéro déchet » d'ici 2030, en déployant des centres de tri et de compostage, tout en sensibilisant les citoyens à la réduction des déchets. En somme, ces initiatives marocaines témoignent d'une progression positive vers les principes de l'EC et mettent en lumière l'engagement du pays envers la gestion durable des déchets.

Notre étude théorique nous a amené à obtenir des réponses à notre question centrale et à vérifier nos hypothèses. De ce qui suit, et en ce qui concerne nos hypothèses, nous les affirmons car nous jugeons, d'une part, que l'EC permettra la valorisation de la gestion des déchets. Et d'autre part, que l'IA favorisera le développement des pratiques de l'EC.

À l'issue de cette analyse, il est indéniable que ces initiatives suscitent un optimisme certain et témoignent de l'engagement du Maroc à mettre en œuvre des mesures tangibles en vue de réduire l'empreinte environnementale des déchets. Toutefois, il est impératif de souligner que des avancées significatives restent à accomplir dans le contexte de l'utilisation croissante de

l'IA. Ce déploiement n'est pas seulement destiné à améliorer de manière plus efficiente et durable la gestion et la valorisation des déchets, mais également à réaliser des taux élevés de recyclage et de valorisation des déchets à l'échelle nationale.

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) Chen, X., Zhou, S., Zhang, Y., & Lu, L. (2019). Intelligent decision-making for waste management in circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 218, 163-174.
- (2) Gardetti, M. A., & Torres, A. L. (2020). Artificial intelligence, big data, and circular economy : Opportunities and challenges for sustainability. *Journal of Business Research*, 119, 375-384.
- (3) Su, J., Xu, X., Zhang, L., & Cao, W. (2019). Research on green product design based on the combination of AI and circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 226, 938-948.
- (4) Wang, Y., Sun, L., Wang, J., & Chen, Y. (2020). Using artificial intelligence for sustainable supply chain management in circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119218.
- (5) Zhang, S., Zhao, M., & Hu, M. (2020). Research on product design optimization based on intelligent algorithm and circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 275, 122869.
- (6) Zhao, Y., Huang, L., Zhang, Y., & Yang, Y. (2021). Circular economy and sustainable development : A bibliometric analysis and research agenda. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126517.
- (7) Zhu, Y., Huang, G. Q., & Liang, L. (2020). An intelligent decision-making framework for reverse logistics in the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 255, 120227.
- (8) Ministère de l'Énergie, des Mines et de l'Environnement (MEMEE). (2019). Etat des lieux et perspectives de la gestion des déchets ménagers et assimilés au Maroc.
- (9) Jolibert, A., Buclet, N., & Coq, L. (2019). Gestion des déchets. In *Encyclopédie de l'environnement* (pp. 1-9). <https://www.encyclopedie-environnement.org/environnement/gestion-des-dechets/>
- (10) Srivastava, N., Manhas, R. K., & Sharma, S. (2019). Environmental and health impacts of solid waste disposal on land : A review. *Journal of environmental management*, 238, 343-358. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.096>
- (11) Furedy, C., & Gupta, J. (2013). *Integrated solid waste management : A life cycle inventory*. CRC Press.
- (12) OMS. (2018). Gestion des déchets solides. Récupéré le 29 mars 2023, de <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/solid-waste-management>

- (13) ADEME. (2020). La hiérarchie de gestion des déchets. Récupéré le 29 mars 2023, de <https://www.ademe.fr/hiérarchie-gestion-dechets>
- (14) Moyin-Jesu, E. I., & Adepoju, K. A. (2017). Solid waste management in African cities : A review of waste generation, composition, and disposal practices. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14(4), 2431-2440. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1299-6>
- (15) Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (2014). *Integrated solid waste management : engineering principles and management issues*. McGraw Hill Education.
- (16) McBean, E. A., & Rovers, F. A. (2016). *Solid waste management*. Routledge.
- (17) Hoorweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). *What a waste : A global review of solid waste management*. Urban Development Series ; Knowledge Papers no. 15. World Bank, Washington, DC.
- (18) Cointreau, S. (2006). *Integrated solid waste management : a lifecycle inventory*. IWA Publishing.
- (19) Hoorweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). *What a waste : A global review of solid waste management*. Urban Development Series ; Knowledge Papers no. 15. World Bank, Washington, DC.
- (20) Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (2014). *Integrated solid waste management : engineering principles and management issues*. McGraw Hill Education.
- (21) McBean, E. A., & Rovers, F. A. (2016). *Solid waste management*. Routledge.
- (22) Cointreau, S. (2006). *Integrated solid waste management : a lifecycle inventory*. IWA Publishing.
- (23) EPA. (2021). *Basic Information about Waste Management*. Récupéré de <https://www.epa.gov/waste/basic-information-about-waste-management>
- (24) Adam, A. (2013). *Waste Management : Practices, Issues, and Challenges*. Routledge.
- (25) Rada, E. C., Ragazzi, M., Istrate, I. A., & Apostol, T. (2018). *Integrated approach to solid waste management : Status and challenges in Europe and Asia*. *Journal of Environmental Management*, 228, 541-551.
- (26) Wilson, D. C., & Rodic, L. (2012). *Municipal solid waste management in developing countries*. World Bank.
- (27) ONU. (2020). *Sustainable Development Goal 12 : Responsible Consumption and Production*. Récupéré de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/ressources/guides/>

- (28) Commission européenne. (2014). European Waste Catalogue and Hazardous Waste List. Récupéré de <https://ec.europa.eu/eurostat/fr/web/waste/waste-classification>
- (29) ISO. (2018). ISO 14024 :2018 Environmental labels and declarations — Type I environmental labelling — Principles and procedures. Récupéré de <https://www.iso.org/standard/63533.html>
- (30) ISO. (2016). ISO 14021 :2016 Environmental labels and declarations — Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling). Récupéré de <https://www.iso.org/standard/61861.html>
- (31) Barberis, G., Perrone, D., & Strano, A. (2017). Urban solid waste collection system : A critical review of literature. *Waste Management*, 61, 557-573.
- (32) Gutiérrez-Gutiérrez, L. J., Solís-Guzmán, J., Espinosa-Valdemar, R. M., & Rivas-García, P. (2021). Review of the main technologies for treatment and management of hazardous medical waste. *Journal of Environmental Management*, 293, 112896.
- (33) Sekabira, K., Oryem-Origá, H., Basamba, T. A., & Mutumba, G. (2010). Assessment of municipal solid waste management in Jinja Municipality, Uganda. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 4(4), 210-218.
- (34) Tran, H. N., You, S. J., & Chao, H. P. (2015). Hazardous waste management in Taiwan : A case study of industrial waste. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 17(3), 411-422.
- (35) Abdullah, N. R., Sulaiman, F. A., & Ismail, M. A. (2017). Waste classification and composition study in Klang Valley, Malaysia. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 19(2), 705-711.
- (36) Chen, M., Li, M., Wu, X., & Li, H. (2019). Multi-objective optimization of municipal solid waste management system considering economic, environmental and social factors. *Journal of Cleaner Production*, 240, 117899.
- (37) Muyanja, C. K., Echodu, D., Buyinza, M., & Wanyama, J. (2016). Solid waste management in East African cities : A review of status, challenges and opportunities. *Journal of Environmental Management*, 171, 292-303.
- (38) Wang, X., Du, Y., Gao, B., Liu, H., & Zhao, Y. (2020). Challenges and solutions of marine waste management in China. *Marine*.