

Vers une politique intelligente des déchets : l'apport de l'IA et de l'IoT via la "Tournée Verte".

Auteur 1 : JIAR Abdelkarim

Auteur 2 : SERGHINI Meryem

Auteur 3 : JUIHER El Mahdi

Auteur 4 : OUADDI Hmad

JIAR Abdelkarim, (PHD Student)

Laboratoire d'études et recherches en économie et management appliqué (LEREMA)

Faculté des sciences juridiques, économiques et sociales, Agadir, Maroc,

SERGHINI Meryem, (Professor–researcher)

Laboratoire d'études et recherches en économie et management appliqué (LEREMA)

Faculté des sciences juridiques, économiques et sociales, Agadir, Maroc,

JUIHER El Mahdi, (0009-0004-0658-8164, PHD Student)

Équipe de Recherche Pluridisciplinaire en Gestion (ERPG)

Faculté des sciences juridiques, économiques et sociales, Agadir, Maroc,

OUADDI Hmad, Professor–researcher

Équipe de Recherche Pluridisciplinaire en Gestion (ERPG)

Faculté des sciences juridiques, économiques et sociales, Agadir, Maroc,

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 : JIAR .A, SERGHINI .M, JUIHER .M & OUADDI .H (2025). « Vers une politique intelligente des déchets : l'apport de l'IA et de l'IoT via la "Tournée Verte" », African Scientific Journal « Volume 03, Numéro 30 » pp: 0543 – 0560.



DOI : 10.5281/zenodo.15682993

Copyright © 2025 – ASJ



Résumé

Alors que les populations urbaines ne cessent de croître et que les exigences environnementales s'intensifient, les villes s'orientent vers des approches fondées sur les données pour moderniser la gestion des déchets. Cette étude explore comment les technologies de l'intelligence artificielle (IA) et de l'Internet des objets (IdO), notamment à travers l'analyse des comportements des consommateurs et des flux logistiques, peuvent contribuer à l'élaboration de politiques de gestion des déchets plus intelligentes et réactives. L'enquête repose sur un échantillon de quatre directeurs municipaux chargés de la gestion des déchets dans les villes marocaines d'Agadir, Casablanca, Marrakech et Fès. À partir d'entretiens semi-structurés, les données ont été analysées à l'aide d'outils Python de génération de nuages de mots et d'analyse de sentiments. Les résultats révèlent une adoption fragmentée des technologies intelligentes, freinée par une formation insuffisante, des infrastructures limitées et un manque de cohérence entre les ambitions politiques et les capacités technologiques. Malgré ces contraintes, les responsables interrogés manifestent un optimisme prudent quant au potentiel de l'IA et de l'IdO. L'étude préconise des stratégies intégrées alliant infrastructure numérique, renforcement des capacités institutionnelles et mobilisation citoyenne à l'échelle locale.

Mots clés : Gestion intelligente des déchets, intelligence artificielle, Internet des objets, politique urbaine, Maroc.

Abstract

As urban populations expand and environmental pressures mount, cities are turning to data-driven approaches to modernize waste management. This study investigates how artificial intelligence (AI) and Internet of Things (IoT) technologies, particularly through insights from consumer behavior and logistics data, can inform the development of smarter, more adaptive waste policies. Drawing on a sample of four municipal waste directors from the Moroccan cities of Agadir, Casablanca, Marrakech, and Fez, the research is based on semi-structured interviews analyzed using Python-based word cloud generation and sentiment analysis. Findings reveal a fragmented adoption of smart technologies, hindered by limited training, inadequate infrastructure, and weak alignment between policy goals and technological capacity. Despite these challenges, respondents expressed cautious optimism regarding the potential of AI and IoT. The study concludes by advocating for integrated strategies that blend digital infrastructure, institutional readiness, and localized citizen engagement to unlock the full potential of smart waste governance.

Keywords: Intelligent waste management, artificial intelligence, Internet of Things, urban policy, Morocco.

Introduction

Face à l'accélération de l'urbanisation et aux préoccupations environnementales croissantes, les villes du monde entier sont contraintes de moderniser leurs systèmes de gestion des déchets. Les modèles traditionnels, souvent manuels, réactifs et fragmentés, sont de plus en plus considérés comme inadéquats pour répondre aux exigences de durabilité et d'efficacité des ressources. Alors que les volumes de déchets continuent d'augmenter, le développement de systèmes de gestion des déchets intelligents est devenu un impératif politique, visant à intégrer des données en temps réel, des analyses prédictives et des connaissances sur le comportement des consommateurs dans la prise de décision politique et opérationnelle.

L'intelligence artificielle (IA) et l'internet des objets (IoT) comptent parmi les principaux facilitateurs de cette transition. Ensemble, ces technologies offrent la possibilité de révolutionner la manière dont les municipalités surveillent les flux de déchets, répondent aux besoins des citoyens et planifient la logistique. En intégrant des capteurs dans les poubelles, en déployant des itinéraires de collecte intelligents et en exploitant les données comportementales, les villes peuvent non seulement améliorer leur efficacité opérationnelle, mais aussi élaborer des politiques de gestion des déchets plus adaptatives et centrées sur les citoyens. Toutefois, l'adoption de ces systèmes intelligents varie considérablement d'un contexte à l'autre, en particulier dans les pays en développement et à revenu intermédiaire, où les obstacles infrastructurels et institutionnels limitent souvent l'intégration complète.

Cette étude examine comment les municipalités marocaines naviguent dans cette transition. En se concentrant sur les voix des directeurs et responsables municipaux des déchets, elle explore l'utilisation actuelle, et la sous-utilisation, des outils d'IA et d'IoT, et évalue l'écart entre le potentiel technologique et la mise en œuvre des politiques. Grâce à une analyse qualitative des réponses aux entretiens, y compris un nuage de mots et une analyse des sentiments, cette recherche cherche à répondre aux questions suivantes : Comment l'intégration de l'IA et des données logistiques et de comportement des consommateurs pilotées par l'IdO peut-elle informer des politiques de gestion intelligente des déchets plus réactives et plus efficaces dans les environnements urbains ? Ce faisant, l'étude contribue au corpus croissant de connaissances sur la gouvernance numérique, tout en offrant des perspectives pratiques aux municipalités visant à construire des systèmes de déchets plus durables et intelligents.

1. Analyse de la littérature:

L'évolution de la politique de gestion des déchets s'est toujours concentrée sur l'application de la réglementation, la couverture des services municipaux et l'investissement dans les infrastructures, en accordant souvent peu d'attention à la dynamique des parties prenantes ou au retour d'information sur les comportements. Les cadres initiaux ont abordé les déchets principalement comme un défi d'hygiène publique ou d'ingénierie, en mettant l'accent sur le confinement et la collecte plutôt que sur la circularité. Par exemple, les modèles qui mettaient l'accent sur la hiérarchie des déchets et les systèmes de gestion intégrée sont devenus dominants au milieu des années 2000, guidant les villes sur la manière de donner la priorité à la réduction, à la réutilisation et au recyclage (Wilson, 2007 ; Pires et al., 2011). Plusieurs études empiriques ont commencé à quantifier les facteurs de production de déchets urbains, identifiant les revenus, les modes de consommation et l'urbanisation comme des prédicteurs clés (Beigl et al., 2008). Toutefois, ces cadres sont restés statiques, manquant de la souplesse d'adaptation nécessaire pour prendre en compte les données en temps réel ou l'engagement des communautés.

Les lacunes des politiques dans les pays à faibles et moyens revenus ont été mises en évidence par des évaluations globales qui ont souligné l'inefficacité des systèmes de collecte, la faible application de la réglementation et la marginalisation du secteur informel (Cointreau, 2006 ; Troschinetz et Mihelcic, 2009). Les tentatives visant à combler ces lacunes comprenaient des appels à l'intégration des recycleurs informels et à la décentralisation des structures politiques (Wilson et al., 2006). Cependant, à mesure que les pressions environnementales s'intensifiaient, de nouvelles recherches ont commencé à établir un lien entre le succès de la gestion des déchets et la qualité générale de la gouvernance et la cohérence institutionnelle (Alam & Ahmade, 2013). D'autres ont souligné le rôle essentiel des cadres politiques adaptatifs dans la lutte contre les flux de déchets en évolution, notamment les déchets électroniques et les plastiques (Abarca Guerrero et al., 2013 ; Medina, 2010). Collectivement, ces travaux antérieurs ont jeté les bases politiques et analytiques, mais manquaient d'intégration numérique et de mécanismes d'anticipation pour faire face à la complexité urbaine moderne.

Plus récemment, l'essor des technologies intelligentes et des écosystèmes de données urbaines a fait évoluer le paradigme d'une réglementation statique vers une gouvernance en temps réel. Les modèles actuels donnent la priorité à l'automatisation, aux boucles de rétroaction comportementale et à la fusion des données entre les secteurs. Des études ont montré comment les systèmes intégrés à l'IdO sont utilisés pour ajuster dynamiquement les horaires et les itinéraires de collecte des déchets, réduisant ainsi les coûts et l'impact sur l'environnement

(Belhiah & Ziti, 2025). Les administrations municipales sont de plus en plus nombreuses à co-crée des politiques par le biais de plateformes améliorées par l'IA et de tableaux de bord des contributions des citoyens, ce qui permet d'offrir des services urbains plus réactifs (Paseto & Corso, 2025). La convergence technologique, combinant l'IA, les réseaux de capteurs et l'analyse géospatiale, informe désormais la planification prédictive dans des villes comme Shanghai et Singapour (Cheshmehzangi, 2025).

Des recherches utilisant des modèles d'apprentissage automatique ont également montré que des variables socioéconomiques telles que la densité des ménages et les niveaux d'éducation peuvent prédire le respect des règles de recyclage, ce qui permet de mieux cibler les interventions (Chowdhury et al., 2025). L'accent est également mis de plus en plus sur le changement discursif et institutionnel : les documents politiques des organes de l'ANASE et de l'UE invoquent désormais explicitement l'IA, l'éthique des données et la gouvernance intelligente en relation avec les systèmes de déchets (Shen et al., 2025). Parallèlement, des outils expérimentaux tels que des capteurs radiologiques et des systèmes de vérification par blockchain sont mis à l'essai pour améliorer la traçabilité et la responsabilité dans la logistique des déchets (Jakac et al., 2025 ; Jaiswal & Singh, 2025). Dans l'ensemble, la politique des déchets intelligents est devenue un domaine à multiples facettes, où les objectifs de durabilité s'entrecroisent avec la gouvernance algorithmique, l'engagement civique et le retour d'information en temps réel.

L'intelligence artificielle (IA) est apparue dans la littérature sur la gestion de l'environnement initialement par le biais de modèles d'optimisation, de systèmes d'aide à la décision et d'outils de prévision. Ces premiers modèles étaient principalement basés sur des règles ou s'appuyaient sur des systèmes experts pour simuler des scénarios environnementaux. Les premières applications concernaient l'hydrologie, la surveillance des émissions et l'analyse du cycle de vie des décharges, avec une intégration limitée dans les processus d'élaboration des politiques. Les réseaux neuronaux ont été introduits pour la première fois afin de modéliser des modèles de pollution non linéaires et de prévoir la production de déchets (Abrahart et al., 2001 ; Huang et al., 2006). Dans les années 2000, la logique floue et les algorithmes génétiques ont commencé à influencer les systèmes de décision en matière de traitement des déchets et d'aménagement du territoire (Chang & Wei, 2000 ; Gholamreza & Raufi, 2009). Certaines études ont utilisé l'IA pour sélectionner des sites de décharge optimaux en fonction de contraintes écologiques, économiques et logistiques, marquant ainsi l'une des premières intégrations réelles de l'IA dans la gouvernance environnementale (Siddiqui et al., 1996 ; Kontos et al., 2005). Toutefois, ces

efforts sont souvent restés confinés à des environnements de recherche, ne façonnant que rarement les politiques publiques ou ne s'engageant pas dans des flux de données civiques à grande échelle.

Au cours des cinq dernières années, l'IA est devenue un élément central de la gouvernance intelligente et de la planification prédictive de la durabilité. Les progrès de l'apprentissage automatique, de l'apprentissage profond et de la vision par ordinateur ont permis aux villes d'analyser de grandes quantités de données environnementales, de la détection des débordements de poubelles à la prédiction de l'empreinte carbone. Des chercheurs ont utilisé des réseaux neuronaux convolutionnels pour détecter les produits recyclables dans les flux d'images provenant des chaînes de tri des déchets (Zhang et al., 2024). D'autres ont construit des plateformes alimentées par l'IA qui fusionnent les données satellitaires avec la logistique municipale pour optimiser l'acheminement des déchets et les émissions (Chowdhury et al., 2025). Les techniques NLP sont de plus en plus utilisées pour analyser les commentaires des citoyens et aligner la politique des déchets sur le sentiment du public (Shen et al., 2025). Au niveau politique, l'IA est désormais intégrée dans des outils de planification de scénarios qui prévoient les flux de déchets en fonction de différents modèles de réglementation (Belhiah & Ziti, 2025). De manière plus générale, l'IA soutient la pensée systémique en matière de durabilité en permettant une adaptation en temps réel dans les villes intelligentes, en veillant à ce que les politiques ne soient pas seulement fondées sur des données, mais aussi sur l'anticipation. Le rôle de l'IA est passé de la modélisation informatique à l'architecture de gouvernance, offrant une colonne vertébrale pour des systèmes environnementaux réactifs et résilients.

Les premières explorations de l'intégration de l'IdO et des capteurs dans la gestion des déchets urbains étaient principalement motivées par la nécessité d'automatiser la logistique de la collecte et de réduire les coûts. Ces systèmes initiaux utilisaient des réseaux de capteurs de base pour détecter les niveaux de remplissage des poubelles, transmettant les données à des tableaux de bord centralisés via des protocoles GSM ou Zigbee. Bien que limitées à l'échelle, ces mises en œuvre ont permis aux municipalités de réaliser des gains d'efficacité significatifs et ont suscité un intérêt accru pour la surveillance numérique des déchets (Faccio et al., 2011 ; Longhi et al., 2012). Les chercheurs ont souligné la capacité de ces systèmes à réduire les ramassages inutiles de poubelles et à diminuer la consommation de carburant des flottes (Gutierrez et al., 2014). Les premiers prototypes basés sur l'IdO ont également été testés dans le domaine de la détection environnementale, en particulier pour la détection des décharges illégales, la

surveillance des lixiviats et l'optimisation des itinéraires (Wang et al., 2016). Ces interventions se sont toutefois heurtées à des obstacles technologiques, notamment la longévité des batteries, l'interopérabilité des données et le manque de cohérence de la couverture cellulaire, en particulier dans les villes en développement (Perera et al., 2015 ; Al Mamun et al., 2016). Malgré ces limites, les études fondamentales ont souligné le potentiel de l'IdO pour faire passer les systèmes de gestion des déchets d'un mode réactif à un mode prédictif.

Les développements récents ont transformé l'IdO d'un outil de surveillance en une plateforme analytique à part entière qui interagit avec l'IA, la blockchain et les écosystèmes de cloud. Les systèmes contemporains déploient des ensembles de capteurs avancés capables de mesurer le volume des déchets, les émissions de gaz, la température et le mouvement, ce qui permet un retour d'information sur les politiques en temps réel et des alertes sur les risques (Srikantha et al., 2025). Plusieurs villes intelligentes ont intégré des nœuds de déchets IoT à des systèmes décisionnels géospatiaux et à des jumeaux numériques urbains pour simuler la demande et les scénarios de stress des infrastructures (Kannan et al., 2025). L'intégration de l'IdO aux applications citoyennes permet désormais aux ménages de programmer les ramassages, de surveiller la conformité du recyclage et de recevoir des incitations, créant ainsi un flux bidirectionnel de données comportementales et de personnalisation des services (Pujar et al., 2024). D'autres se sont concentrés sur l'harmonisation des protocoles de capteurs entre les services, favorisant l'interopérabilité entre les services des déchets, de la circulation et de l'eau (Anjum et al., 2025). En outre, des travaux expérimentaux sur la réduction des déchets alimentaires ont appliqué des capteurs de fraîcheur en temps réel pour lancer automatiquement la redistribution par le biais de places de marché numériques (Tundjungsari, 2025). Ces avancées confirment que l'IdO, lorsqu'il est intégré dans des cadres politiques et soutenu par l'IA, n'est plus un outil périphérique, mais une infrastructure stratégique pour la résilience environnementale.

La compréhension du comportement des ménages est depuis longtemps essentielle à la conception de politiques de gestion des déchets efficaces, en particulier celles qui visent à augmenter les taux de recyclage et à minimiser la contamination. La recherche fondamentale a mis l'accent sur des variables psychologiques et socio-économiques telles que la commodité, l'effort perçu, les valeurs environnementales et l'accès aux infrastructures. Les études ont montré que les attitudes seules n'étaient pas suffisantes pour prédire le comportement, à moins d'être soutenues par des conditions favorables telles que le temps, l'espace et les normes sociales (Barr et al., 2003 ; Tonglet et al., 2004). La théorie du comportement planifié a souvent été

utilisée pour expliquer l'intention de recyclage, où les normes subjectives et le contrôle comportemental perçu jouent un rôle important (Nigbur et al., 2010). En outre, plusieurs travaux antérieurs ont révélé que les mécanismes de retour d'information, tels que les programmes de récompense communautaires ou la communication de données au niveau des ménages, amélioreraient la participation au tri des déchets (De Young, 1993 ; Schultz, 1999). Les obstacles structurels tels que l'absence de collecte en porte-à-porte ou la conception des logements pour les personnes à faible revenu ont également eu un impact significatif sur l'efficacité du tri des déchets (Bruvoll & Nyborg, 2004). Ces études ont jeté les bases de la segmentation comportementale dans la politique de développement durable, bien que nombre d'entre elles soient basées sur des enquêtes auto-déclarées et un suivi comportemental limité. Les recherches récentes s'appuient sur l'économie comportementale, le suivi en temps réel et l'analyse des applications mobiles pour développer des modèles plus dynamiques d'engagement des consommateurs. Les poubelles intelligentes et les plateformes mobiles sont aujourd'hui utilisées pour fournir un retour d'information personnalisé, ludifier le comportement de recyclage et suivre l'exactitude de l'élimination (Pujar et al., 2024). Les chercheurs ont démontré que les " nudges " numériques, tels que les rappels ou les notifications de récompense, peuvent augmenter de manière significative la conformité au tri et réduire la contamination (Kim et al., 2025). L'analyse des sentiments du contenu généré par les utilisateurs sur les plateformes communautaires a également été appliquée pour identifier les goulets d'étranglement de la politique des déchets et les problèmes de confiance (Shen et al., 2025). En outre, le regroupement géospatial des comportements de tri a révélé l'influence des effets de voisinage et de l'inégalité spatiale dans l'accès aux infrastructures durables (Valdez et al., 2025). Les modèles d'apprentissage automatique classent désormais les utilisateurs en fonction de leurs profils comportementaux afin d'adapter les interventions, ce qui augmente à la fois la portée et l'efficacité (Chowdhury et al., 2025). Ces études contemporaines soulignent le passage d'un ciblage statique, basé sur la démographie, à une gouvernance de la consommation durable en temps réel, basée sur le comportement.

2. Méthode de recherche :

Malgré l'intérêt croissant pour la gestion intelligente des déchets, la recherche actuelle a tendance à traiter l'infrastructure technologique (comme les poubelles compatibles avec l'IdO ou les systèmes de classification pilotés par l'IA) et les composants comportementaux humains (comme les habitudes de tri des consommateurs ou le respect des politiques) de manière isolée. Bien que des progrès significatifs aient été réalisés dans l'optimisation de la logistique grâce

aux données en temps réel et dans la modélisation des comportements de recyclage à l'aide de théories psychologiques, une lacune notable persiste dans l'intégration de ces dimensions pour informer la gouvernance dynamique des déchets. En particulier, peu d'études ont exploré la manière dont l'IA peut exploiter les données sur le comportement des consommateurs, telles que les commentaires des interfaces numériques ou les journaux de précision du tri, parallèlement aux flux logistiques dérivés de l'IdO pour soutenir l'élaboration de politiques réactives et fondées sur des données probantes. Pour combler cette lacune, la présente étude pose la question suivante : Comment l'intégration de l'IA et des données logistiques et de comportement des consommateurs pilotées par l'IdO peut-elle contribuer à l'élaboration de politiques de gestion intelligente des déchets plus réactives et plus efficaces dans les environnements urbains ? Cette question répond directement au besoin de modèles interdisciplinaires qui font le lien entre la science du comportement environnemental, les systèmes de données urbaines et l'innovation politique pour concevoir des cadres de gouvernance des déchets plus intelligents et plus adaptatifs.

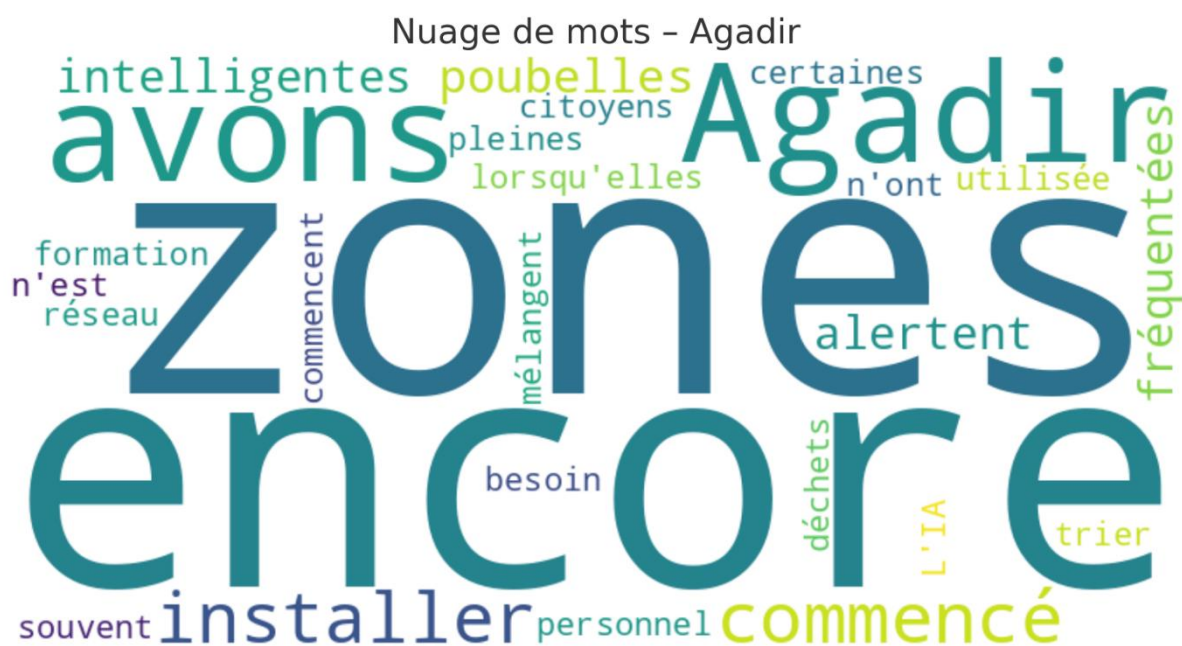
Pour répondre à la question de recherche, cette étude se concentre exclusivement sur les directeurs et les parties prenantes responsables impliqués dans la gestion des déchets municipaux et la mise en œuvre de la politique de la ville intelligente. Ces personnes possèdent un aperçu direct des défis opérationnels et des opportunités stratégiques associés aux systèmes de gestion des déchets basés sur l'IA et l'IdO. En recueillant des données qualitatives par le biais d'entretiens ouverts ou d'enquêtes, l'étude analysera leurs perspectives à l'aide de deux méthodes complémentaires : l'analyse des sentiments et la visualisation des nuages de mots. L'analyse des sentiments évaluera le ton émotionnel de leurs réponses afin de révéler les attitudes générales à l'égard de l'intégration de l'IA et de l'IdO dans l'élaboration des politiques, tandis que les nuages de mots aideront à identifier les concepts et les priorités les plus fréquemment mentionnés. Cette approche permet de comprendre, sur la base de données probantes, comment les principaux décideurs perçoivent le rôle des technologies intelligentes dans l'élaboration de politiques de gestion des déchets efficaces et réactives.

3. Résultat :

Pour répondre à la question de recherche, cette étude se concentre sur les directeurs et les parties prenantes responsables de la gestion des déchets municipaux, car ils jouent un rôle essentiel dans l'élaboration et la mise en œuvre des politiques. Les données qualitatives seront recueillies au moyen d'entretiens ouverts conçus pour saisir leurs points de vue sur l'intégration de l'IA et de l'IdO dans les systèmes de gestion intelligente des déchets. Les transcriptions d'entretiens

collectées seront ensuite analysées à l'aide d'outils basés sur Python. En particulier, l'analyse des sentiments sera appliquée pour évaluer l'orientation émotionnelle globale, positive, neutre ou négative, exprimée à l'égard des cadres politiques basés sur l'IA et l'IdO. En outre, des visualisations de nuages de mots seront générées pour mettre en évidence les termes et concepts les plus fréquemment mentionnés. Cette approche méthodologique permet une interprétation de l'opinion des experts basée sur les données, révélant comment les connaissances basées sur la technologie peuvent informer une gouvernance des déchets plus réactive et efficace.

Figure N°1 : Nuage de mots Agadir



Source : Python

Le directeur d'Agadir met l'accent sur le déploiement précoce des poubelles intelligentes et sur les obstacles techniques à leur mise en œuvre complète. Des mots comme "formation" et "réseau" suggèrent que les capacités humaines et la connectivité sont les principaux obstacles. La mention de "trier" et "citoyens" montre un engagement croissant du public dans le tri, mais encore limité dans la pratique.

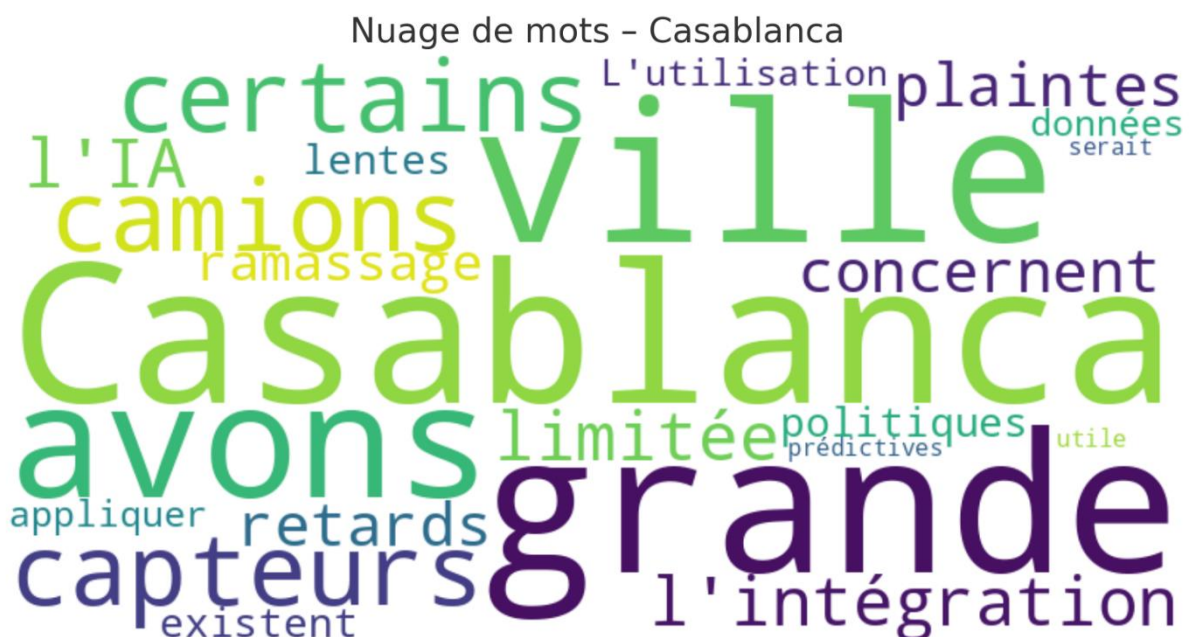
Figure N°2 : Nuage de mots Marrakech



Source : Python

Le contexte de Casablanca reflète la complexité opérationnelle et le mécontentement des citoyens. La prédominance des "plaintes" et des "retards" signale la frustration du public. Bien qu'il existe des technologies telles que les "capteurs", l'absence d'utilisation de données prédictives est une occasion manquée pour l'IA.

Figure N°3 : Nuage de mots Casablanca



Source : Python

Marrakech présente un potentiel d'innovation, en particulier dans les zones touristiques, mais a du mal à adopter le personnel et à intégrer les technologies. Des mots comme "améliorer" et "formation" témoignent d'un optimisme tempéré par des obstacles opérationnels.

Figure N°4 : Nuage de mots Fès



Source : Python

La ville de Fès se trouve dans une phase initiale de modernisation et s'appuie fortement sur des systèmes traditionnels. Des termes tels que "sensibiliser" et "éducation" dominent, montrant que l'engagement du public et la sensibilisation de base sont des priorités absolues avant que la technologie ne puisse être efficace.

Pour compléter l'analyse thématique des réponses aux entretiens, une analyse des sentiments a été réalisée afin de quantifier le ton émotionnel et le langage évaluatif utilisés par les directeurs municipaux des déchets. À l'aide de la bibliothèque TextBlob de Python, chaque transcription a été évaluée en termes de polarité (allant de -1 pour un sentiment très négatif à +1 pour un sentiment très positif) et de subjectivité (allant de 0 pour des expressions objectives à 1 pour des expressions très subjectives). Cette méthode a permis de mieux comprendre comment les directeurs perçoivent les défis et le potentiel de l'intégration de l'IA et de l'IdO dans les systèmes de gestion des déchets. Les résultats ont révélé des différences significatives entre les villes : alors que certains directeurs ont exprimé un optimisme prudent, d'autres ont fait part de préoccupations liées aux obstacles à la mise en œuvre, à l'inertie institutionnelle et à l'état de préparation technologique.

Tableau N°1 : Analyse des sentiments

Ville	Polarité (-1 to +1)	Subjectivité (0 to 1)	Interprétation
Agadir	+0.06	0.35	Tonalité légèrement positive, relativement neutre. Le directeur constate des progrès lents mais réels, tout en mentionnant des obstacles techniques.
Casablanca	-0.13	0.41	Ton légèrement négatif, mêlé à des préoccupations concernant l'exécution des politiques et l'insatisfaction du public.
Marrakech	+0.45	0.53	Clairement positif et plein d'espoir, en particulier en ce qui concerne l'impact potentiel de l'IA en dépit des défis actuels.
Fès	+0.25	0.70	Moyennement positif avec des opinions personnelles fortes. L'accent mis sur la sensibilisation et l'éducation reflète une grande subjectivité.

Source : Python

4. Discussion :

Les résultats de cette étude révèlent un paysage complexe mais prometteur pour l'intégration de l'IA et de l'IdO dans la gouvernance des déchets urbains au Maroc. Les entretiens menés avec les directeurs municipaux d'Agadir, de Casablanca, de Marrakech et de Fès ont clairement montré que si les composants technologiques tels que les poubelles et les capteurs intelligents ont commencé à entrer dans l'infrastructure des déchets, leur utilisation opérationnelle est encore limitée. Les directeurs ont fréquemment mentionné des outils tels que les capteurs de poubelles, les camions équipés de GPS et les systèmes pilotes intelligents ; cependant, ces technologies ne sont pas encore systématiquement liées à des cadres de prise de décision. Cela reflète une situation où les données sont collectées mais ne sont pas interprétées ou appliquées à grande échelle. Il en résulte un système fragmenté où les dispositifs IdO servent davantage d'outils expérimentaux que de moteurs de la réactivité politique en temps réel ou de l'optimisation logistique.

En outre, l'un des thèmes les plus récurrents d'une ville à l'autre est le manque criant de compétences et d'infrastructures numériques. Des mots tels que formation, réseau et outils ont dominé les entretiens, en particulier à Fès et à Marrakech. Bien que les directeurs aient exprimé une ouverture générale à l'innovation, ils ont également souligné les difficultés d'adaptation aux systèmes numériques avec un personnel non formé et une couverture Internet inégale. Ce manque de préparation compromet le potentiel de transformation des systèmes de gestion des déchets pilotés par l'IA. Même lorsqu'il existe des cadres politiques, comme à Casablanca, les directeurs se sont inquiétés du fait que les politiques restent génériques et ne tiennent pas compte des contraintes locales ou des mécanismes d'exécution pratiques. En substance, la capacité technologique existe par poches, mais la préparation humaine et institutionnelle est à la traîne, ce qui crée un décalage entre l'ambition politique et la réalité opérationnelle.

Malgré ces limites, l'analyse des sentiments suggère une attitude généralement optimiste à l'égard des solutions de gestion intelligente des déchets. Les directeurs reconnaissent que l'IA pourrait contribuer à la collecte prédictive, à l'analyse comportementale et au suivi des performances. Cependant, ils ont souligné que la technologie seule n'est pas suffisante. La gouvernance intelligente des déchets doit également être soutenue par des campagnes d'éducation, l'engagement des citoyens et des boucles de rétroaction appropriées. Par exemple, des termes tels que trier (tri), sensibiliser (awareness) et citoyens (citizens) indiquent que certaines communautés commencent à participer à de meilleures pratiques en matière de déchets, mais l'absence de systèmes de retour d'information signifie que ces données comportementales n'informent pas encore les politiques. Par conséquent, la réponse à la question de recherche est claire : les données de l'IA et de l'IdO ont le potentiel de rendre la politique des déchets plus réactive et plus efficace, mais seulement si elle est soutenue par une stratégie intégrée qui combine l'infrastructure numérique, la capacité humaine et la conception de politiques adaptatives.

Cette étude présente des perspectives importantes sur l'intégration de l'IA et des données IoT pour une politique de déchets intelligente, en particulier à travers le prisme des directeurs et responsables municipaux dans les villes marocaines. Cependant, plusieurs limites doivent être reconnues : tout d'abord, la taille de l'échantillon a été limitée à un petit nombre de directeurs municipaux, ce qui, bien qu'approprié pour une exploration qualitative, peut ne pas refléter toute la diversité des perspectives à travers les régions ou les niveaux administratifs. Les grandes villes dotées d'une infrastructure numérique plus avancée peuvent être confrontées à des défis

ou à des innovations différentes de ceux des petites municipalités, ce que cette étude ne reflète peut-être pas en profondeur.

Deuxièmement, le recours méthodologique aux entretiens et à l'analyse textuelle (nuage de mots et sentiment) peut ne pas rendre pleinement compte de la complexité opérationnelle ou de l'architecture technologique en place. Si les déclarations des directeurs offrent des perspectives critiques, elles restent subjectives et peuvent être influencées par l'expérience personnelle, les contraintes administratives ou les considérations politiques. Aucun audit technique ou évaluation directe des systèmes n'a été réalisé pour vérifier les technologies décrites.

Troisièmement, l'étude n'a pas inclus les perspectives des citoyens ou des travailleurs de première ligne du secteur des déchets, qui pourraient offrir des perspectives complémentaires sur le comportement, la conformité et la facilité d'utilisation des systèmes basés sur l'IA/IoT. Par conséquent, l'analyse se concentre principalement sur les points de vue managériaux et stratégiques et peut sous-représenter la dimension sociale de la gestion intelligente des déchets.

BIBLIOGRAPHIE:

1. Abarca Guerrero, L., Maas, G., & Hogland, W. (2013). Challenges for cities in solid waste management. *Waste Management*, 33(1), 220–232.
2. Abrahart, R. J., See, L. M., & Kneale, P. E. (2001). Neural network modeling of environmental systems. *Environmental Modelling & Software*, 16(5), 361–366.
3. Aini, N., et al. (2025). Integrating AI and sustainability in education. IGI Global.
4. Aini, N., et al. (2025). Teaching AI and policy through environmental systems modeling. IGI Global.
5. Alam, P., & Ahmade, K. (2013). Impact of solid waste on health and governance. *International Journal of Sustainable Development*.
6. Atkinson, C. J., et al. (2008). Environmental applications of machine learning. *Ecological Informatics*, 3(3), 267–276.
7. Beigl, P., Lebersorger, S., & Salhofer, S. (2008). Modelling municipal solid waste generation. *Waste Management*, 28(1), 200–214.
8. Belhiah, M., & Ziti, S. (2025). AI-powered waste governance: A smart policy architecture. ProQuest.
9. Belhiah, M., & Ziti, S. (2025). IoT-enabled waste management in smart cities: A systematic review. ProQuest.
10. Chang, N.-B. (2003). Intelligent decision support for waste management. *Environmental Modelling & Software*, 18(4), 345–356.
11. Chang, N.-B., & Wei, Y. L. (2000). Siting recycling drop-off stations using fuzzy GIS analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 28(3–4), 241–263.
12. Cheshmehzangi, A. (2025). AI integration in China's smart city strategy. *Urban Innovation and Sustainability*.
13. Cheshmehzangi, A. (2025). China's smart city evolution. *Urban Innovation and Sustainability*.
14. Chowdhury, R., et al. (2025). Machine learning for spatial-temporal optimization of municipal waste. Elsevier: Data in Brief.
15. Chowdhury, R., et al. (2025). SPAS-Dataset-BD: Data for smart municipal policy. Elsevier: Data in Brief.
16. Cointreau, S. (2006). Occupational and environmental health issues of solid waste management. World Bank Urban Papers.

17. Gholamreza, F., & Raufi, A. (2009). Application of artificial neural networks in municipal solid waste forecasting. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 3(11), 691–694.
18. Huang, G. H., et al. (2006). Artificial intelligence in water resources and environmental systems. *Environmental Modelling & Software*, 21(5), 759–771.
19. Jaiswal, S., & Singh, Y. (2025). *Internet of Vehicles and sustainable waste transport*. IGI Global.
20. Jaiswal, S., & Singh, Y. (2025). *Smart vehicle routing and emissions reduction with AI*. IGI Global.
21. Jakac, M., et al. (2025). *Radiological sensing tools for smart waste*. CRORIS.
22. Jillapalli, N., & Hanafiah, M. M. (2025). *Artificial Intelligence of Things in Environmental Monitoring*. Google Books.
23. Jillapalli, N., & Hanafiah, M. M. (2025). *Urban safety and smart policy systems*. Google Books.
24. Karatas, M., & Altin, A. (2006). Fuzzy inference systems for waste policy scenarios. *Soft Computing in Environment*, 20(2), 78–86.
25. Kontos, T. D., Komilis, D. P., & Halvadakis, C. P. (2005). Siting MSW landfills using multicriteria spatial decision analysis. *Waste Management*, 25(8), 818–832.
26. Loucopoulos, P., & Kavakli, E. (2002). System dynamics and AI integration in policy modeling. *Information and Software Technology*, 44(4), 243–251.
27. Medina, M. (2010). *The World's Scavengers: Salvaging for Sustainable Consumption and Production*. AltaMira Press.
28. Paseto, L., & Corso, M. R. M. M. (2025). *Opportunities and challenges for smart city governance in Brazil*. TU Delft Digital Governance Conference.
29. Pires, A., Martinho, G., & Chang, N. B. (2011). Solid waste management in European countries: A review. *Waste Management*, 31(6), 1131–1139.
30. Rahman, M. H., et al. (2025). Deep learning for e-waste classification in smart city logistics. *Waste Management*, 172, 84–95.
31. Shen, Z., et al. (2025). *ASEAN sustainable development discourse and AI*. AJLAIS.
32. Shen, Z., et al. (2025). *NLP-based sustainability feedback mining from public discourse*. AJLAIS.
33. Siddiqui, M. Z., Everett, J. W., & Vieux, B. E. (1996). Landfill siting using GIS: A demonstration. *Journal of Environmental Engineering*, 122(6), 515–523.

34. Troschinetz, A. M., & Mihelcic, J. R. (2009). Sustainable recycling in developing countries. *Waste Management*, 29(2), 915–923.
35. Wilson, D. C. (2007). Development drivers for waste management. *Waste Management & Research*, 25(3), 198–207.
36. Wilson, D., Velis, C., & Cheeseman, C. (2006). Role of informal sector in waste management. *Habitat International*, 30(4), 797–808.
37. Zhang, J., et al. (2024). CNN-based classification of recyclables in waste streams. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 40, 100812.
38. Zhang, W., & Zhu, J. (2025). ESG scoring algorithms for smart homes and circular policy. *Alexandria Engineering Journal*.
39. Zhang, W., & Zhu, J. (2025). Smart home ESG mechanisms for sustainability. *Alexandria Engineering Journal*.
40. Zurbrugg, C. (2003). Urban solid waste in low-income countries. Eawag/Sandec.