Les Cahiers du CEDIMES

2024, Volume 19, Hors-série n° 2024, https://doi.org/10.69611/cahiers19-HS-23

ISSN 2110-6045

Les défis de la valorisation des déchets en Algérie : Une étude sur l'impact de la concurrence imparfaite sur le secteur

Abdelalim MELBOUCY[1*], Samira SIFER[2], Amel GUEHAIRIA[3]

[1]Doctorant (École Nationale Supérieure de Statistique et d'Economie Appliquée (ENSSEA) & LIRUE, Algérie), melboucy.aa@gmail.com

[2]Maitre de conférences (École des Hautes Etudes commerciales (HEC) & LIRUE (ENSSEA), Algérie), sifer.samira.enssea@gmail.com

[3]Professeure des universités (École Nationale Supérieure de Statistique et d'Economie Appliquée (ENSSEA) & LIRUE, Algérie), guehairia.amel.ga@gmail.com

*auteur correspondant

Résumé : La valorisation des déchets est une approche visant à transformer les déchets en ressources précieuses, réduisant ainsi les impacts environnementaux. La Stratégie Nationale de Gestion Intégrée des Déchets à l'horizon 2035 vise à promouvoir cette pratique en Algérie. Cependant, des obstacles tels que l'inefficacité du marché des déchets entravent son succès. À travers une révision conceptuelle du théorème de Hotelling ajustée au cadre du marché oligopsonique, notre analyse a permis d'anticiper les comportements des centres d'évaluation des déchets en tant qu'acteurs acheteurs. Notre étude a simulé la performance du secteur de valorisation des déchets ménagers en Algérie, montrant que la concurrence imparfaite entraîne des coûts plus élevés, une productivité réduite et une dévalorisation du secteur. Pour atteindre son plein potentiel, l'intervention des autorités publiques est nécessaire.

Mots-clefs : Valorisation et gestion des déchets ; Modèle de la ville linéaire de Hotelling ; Concurrence imparfaite ; Cartellisation ; Concurrence spatiale.

Abstract: The valorization of waste is an approach aimed at transforming waste into valuable resources, thereby reducing environmental impacts. The National Strategy for Integrated Waste Management by 2035 aims to promote this practice in Algeria. However, obstacles such as the inefficiency of the waste market hinder its success. Through a conceptual revision of the Hotelling theorem adjusted to the framework of the oligopsonistic market, our analysis allowed us to anticipate the behaviors of waste evaluation centers as buying actors. Our study simulated the performance of the household waste valorization sector in Algeria, showing that imperfect competition leads to higher costs, reduced productivity, and devaluation of the sector. To achieve its full potential, intervention by public authorities is necessary.

Keywords: Waste recovery and management; Hotelling's linear city model; Imperfect competition; Cartelization; Spatial competition.

Classification JEL : D43 - L13 - Q53 - R12 - R32.

1. Introduction

La gestion des déchets ménagers et assimilés (DMA) est essentielle pour la préservation de l'environnement et la réduction des coûts sociaux liés à la santé et à la pollution. Ainsi, elle représente un enjeu majeur pour la durabilité environnementale et économique des territoires. En effet, les déchets mal gérés peuvent entraîner des problèmes de santé publique, des pollutions locales et des coûts liés à la collecte et au traitement des déchets. D'où l'importance de la mise en place des politiques de gestion des DMA axées sur la prévention et la valorisation, de manière à réduire la pression sur les services de santé, minimiser les risques de pollution et optimiser l'utilisation des ressources.

Par ailleurs, dans un contexte de concurrence imparfaite, où les acteurs économiques adoptent des comportements stratégiques visant à maximiser leurs profits et ne jouissant pas tous d'un même niveau de pouvoir et d'influence, la dynamique du marché des DMA devient complexe. Cette étude vise à explorer cette complexité en présentant des simulations et scénarios pour mieux comprendre le comportement des acteurs économiques dans ce secteur spécifique. Cependant, dans un environnement de concurrence imparfaite, où certains acteurs ont un pouvoir de marché significatif, il devient essentiel de comprendre l'évolution de la gestion des déchets. Quelles sont les implications en matière de coûts, de valorisation des déchets et de création de valeur ajoutée dans un tel contexte ?

Le théorème de Hotelling, également connu sous le nom de modèle de localisation de Hotelling, propose une explication de la localisation des entreprises dans un marché concurrentiel où les consommateurs sont répartis le long d'une ligne géographique. Selon ce théorème, les entreprises cherchent à maximiser leurs profits en choisissant leur emplacement de manière stratégique, en tenant compte de la distribution spatiale des consommateurs et de la concurrence. Dans le cadre du marché oligopsonique, où un nombre restreint d'acheteurs exerce une influence significative sur la demande d'un produit ou d'un service, l'application directe du théorème de Hotelling peut nécessiter des ajustements conceptuels afin de refléter précisément la dynamique propre à ce marché. Les centres d'évaluation des déchets, en tant qu'acheteurs dans ce cadre, sont sujets à des considérations particulières en termes de localisation, de comportement stratégique et de prise de décision. Dans notre étude, nous avons adapté le théorème de Hotelling au contexte spécifique du marché oligopolistique des centres d'évaluation des déchets. Cette révision conceptuelle a permis une analyse plus précise et contextualisée des comportements attendus de ces acteurs acheteurs. En intégrant les particularités du marché oligopsonique, tels que le pouvoir de marché des acheteurs et les interactions stratégiques entre eux, notre étude a fourni des insights approfondis sur la manière dont les centres de valorisation des déchets peuvent agir et réagir dans ce contexte économique particulier. En conséquence, notre analyse a été en mesure d'anticiper les stratégies de localisation et les comportements des centres de valorisation des déchets en tant qu'acteurs acheteurs dans un marché oligopsonique.

C'est ainsi que notre étude avance une première hypothèse selon laquelle l'organisation du secteur des déchets, que ce soit à travers le prisme du marché ou par le biais de la gestion intégrée, exerce des conséquences significatives sur les coûts de transport, la valorisation des déchets, les revenus engendrés, ainsi que sur la valeur ajoutée économique. La deuxième hypothèse considère qu'une gestion efficace des déchets, axée sur la valorisation des déchets plutôt que sur l'enfouissement, peut contribuer de manière significative à l'économie locale.

Pour aborder cette problématique, nous nous appuyons sur des modèles théoriques et des simulations afin d'évaluer la performance du secteur de la valorisation des DMA dans deux scénarios distincts en nous projetant à l'horizon 2030. Le premier scénario repose sur la gestion intégrée des déchets élaborée par AMENHYD, tandis que le deuxième envisage un secteur de valorisation aggloméré et cartellisé. Pour simuler la performance du secteur dans le premier scénario, nous nous appuyons sur les données fournies par AMENHYD, tandis que, dans le deuxième scénario, nous utilisons le concept de ville linéaire de Hotelling (Hotelling, 1929) et le

modèle de tarification du cartel. Notre analyse prend en considération les coûts de transport, les taux de valorisation des déchets, les revenus générés, et la valeur ajoutée afin d'évaluer la performance de chaque scénario. Au final, une évaluation des résultats obtenus et une formulation des recommandations appropriées sont entreprises pour conclure cette étude.

En adaptant le concept de la ville linéaire au contexte d'un marché oligopsonique, nous mettons en évidence la pertinence des conclusions de Hotelling dans le domaine de la gestion des déchets. Le modèle de Hotelling trouve son écho dans un environnement de concurrence oligopolistique, où il ne considère que les vendeurs comme acteurs stratégiques. Il propose une représentation dynamique dans laquelle les vendeurs choisissent d'abord l'emplacement de leurs magasins respectifs, puis fixent leurs prix, influençant ainsi la demande pour leurs produits en fonction de ces paramètres. Les acheteurs, quant à eux, supportent un coût de transport depuis leur position jusqu'au magasin. L'observation centrale de Hotelling est que les vendeurs ont tendance à se concentrer au centre de la ville linéaire. Dans notre modèle, nous pivotons vers une perspective où les acheteurs, représentés par les centres de valorisation, deviennent les acteurs stratégiques dans le cadre d'un marché oligopsonique. Ces acheteurs déterminent leurs emplacements et fixent ensuite leurs prix d'achat, tandis que les vendeurs, ou les collecteurs de déchets, choisissent à qui vendre en fonction des prix et des emplacements, tout en subissant les coûts de transport associés au déplacement des déchets. Les résultats issus de notre modélisation confirment l'observation de Hotelling selon laquelle les acteurs stratégiques tendent à se concentrer au centre de la ville. De plus, pour représenter le comportement d'un cartel de valorisation des déchets, nous développons un modèle du comportement du monopsone dans un cadre spatial. Dans ce contexte, l'offre sur le marché est influencée par le prix d'achat du monopsone et les coûts de transport. En supposant que ces coûts de transport soient supportés par les vendeurs, nous constatons que plus le prix fixé par le monopsone est élevé, plus les marchandises (les déchets) sont acheminées depuis de longues distances. Les vendeurs ne ramènent leurs marchandises que si le prix est suffisamment élevé pour couvrir leurs coûts de transport respectifs. Notre modèle démontre ainsi l'impact négatif du pouvoir de marché du monopsone sur l'offre dans le marché des déchets.

Le tableau 1 entreprend une comparaison structurée des paradigmes de gestion des déchets, en se penchant sur les modèles de coopération et de concurrence au sein de la gestion intégrée des déchets et du marché des déchets, afin de dégager des insights éclairants sur les dynamiques économiques sous-jacentes à ces deux approches.

Cette comparaison met en lumière les différences fondamentales entre la gestion intégrée des déchets et le marché des déchets, en mettant en évidence les modes de fonctionnement distincts des acteurs économiques impliqués. Dans le cadre de la gestion intégrée des déchets, la coopération entre les différents acteurs économiques est mise en avant, ce qui suggère une approche collaborative où les décisions sont prises de manière concertée en tenant compte des intérêts communs. En revanche, dans le marché des déchets, la prise de décision individuelle est privilégiée, ce qui reflète une dynamique concurrentielle où chaque acteur cherche à maximiser ses propres gains de manière autonome.

L'implication des collectivités et des organismes compétents est mise en exergue dans le cadre de la gestion intégrée des déchets, ce qui indique une coordination plus étroite avec les autorités publiques et les organismes réglementaires dans la gestion et la régulation des déchets. En revanche, dans le marché des déchets, la concurrence entre les acteurs économiques est mise en avant, suggérant un environnement où les entreprises rivalisent pour attirer les clients et maximiser leurs parts de marché.

Tableau 1 : Comparaison Structurée des paradigmes de gestion dans les déchets

Gestion intégrée des déchets (AMENHYD)	Marché des déchets (Le Cartel)
Coopération entre les acteurs économiques	Prise de décision individuelle
Implication des collectivités et organismes compétents	Concurrence entre les acteurs économiques
Négociation entre les parties prenantes	Objectifs lucratifs
Objectifs de performance globale	Risque des défaillances de marché

Source : Réalisé par les auteurs.

La négociation entre les parties prenantes est un élément central de la gestion intégrée des déchets, ce qui implique un processus de dialogue et de compromis entre les différentes parties impliquées dans la gestion des déchets. En revanche, dans le marché des déchets, les objectifs lucratifs dominent, ce qui suggère une priorité accordée aux intérêts financiers et à la rentabilité économique des acteurs.

Les objectifs de performance globale sont une caractéristique clé de la gestion intégrée des déchets, ce qui met en avant la nécessité d'atteindre des résultats environnementaux, sociaux et économiques équilibrés dans la gestion des déchets. En revanche, dans le marché des déchets, le risque des défaillances de marché est mis en lumière, ce qui suggère une reconnaissance des limites du marché et la nécessité d'une intervention réglementaire pour corriger les inefficiences et les externalités négatives associées à la gestion des déchets.

2. Revue de la littérature

2.1. Déchets ménagers en Algérie : Problématiques et solutions à travers la littérature

Des études révèlent des problèmes systémiques dans la gestion des déchets en Algérie, incluant la valorisation, la planification de la collecte, la coordination, et les impacts sur l'environnement et l'économie. Les chercheurs suggèrent des approches durables et la mobilisation des parties prenantes pour améliorer la situation. En se référant aux investigations et aux travaux de différents chercheurs, nous pouvons mettre en avant les problématiques les plus pertinentes :

2.1.1. Faible taux de valorisation des déchets :

Une étude révèle un taux de valorisation extrêmement faible de seulement 0,33% des déchets dans la wilaya de Ouargla. Cela indique une gestion inefficace des déchets et un manque d'initiatives de recyclage ou de réutilisation, ce qui contribue à l'accumulation de déchets et à la pollution environnementale (Frouhat, Ben Grina, 2015).

2.1.2. Lacunes dans l'organisation de la collecte des déchets :

Des urbanistes ont souligné en 2015 de graves problèmes d'organisation de la collecte des déchets solides urbains à Tébessa, avec l'absence totale de valorisation. Ces lacunes peuvent entraîner des problèmes de salubrité publique, de santé et d'esthétique urbaine, (Gherzouli, Labii, 2015).

2.1.3. Impact négatif sur le secteur du tourisme :

Une étude met en évidence l'impact négatif de la mauvaise gestion des DMA sur le secteur du tourisme à Bejaïa. La présence de déchets non traités peut affecter la qualité de l'environnement, dissuader les touristes et nuire à l'économie locale (Aid, Bouadam, 2021).

2.1.4. Transition vers un modèle de gestion circulaire :

Bouadam a proposé une transformation nécessaire du modèle de gestion des DMA en Algérie, passant d'un modèle linéaire (collecte, traitement, élimination) à un modèle circulaire (réduction, réutilisation, recyclage). Cette transition vise à réduire la production de déchets, à favoriser la durabilité et à minimiser l'impact environnemental, (Bouadam, 2021).

2.2. Analyse économique de la gestion des déchets ménagers et assimilés en Algérie

D'autres auteurs ont comparé la performance économique de la collecte des DMA entre les services de la commune et les opérateurs privés à Bejaïa. Les résultats indiquent que le mode de production et les quantités de déchets collectés influencent les coûts, avec des économies de coûts observées chez les entreprises privées (Bouzit, Belkhiri, Kherbachi, 2022).

Tolba et ses co-auteurs ont analysé les coûts et les sources de financement de la gestion des déchets à Annaba. Les résultats montrent que le financement du service des déchets repose principalement sur le budget de la commune et les subventions des collectivités locales, plutôt que sur le principe "pollueur-payeur", avec une faible participation des citoyens, ne dépassant pas 15 %, via la taxe d'enlèvement des ordures ménagères (TEOM), (Tolba, Moroncini, Kehila, 2020).

En 2021, des auteurs se sont penchés sur le consentement à payer (CAP) des ménages de Bejaïa pour l'amélioration de la gestion des DMA. Ils ont mesuré un taux de consentement de 69% et ont observé des variations dans la valeur du CAP en fonction de plusieurs facteurs, notamment le niveau de revenu des ménages et le degré de sensibilisation aux problèmes environnementaux (Bensmail, Bouzadi, 2021).

2.3. Modèles de localisation des infrastructures de gestion des déchets : Perspectives internationales

Dans la littérature anglophone, des chercheurs ont utilisé le modèle de la ville linéaire pour étudier l'emplacement des infrastructures de gestion des déchets. Des auteurs espagnols ont employé ce modèle pour trouver l'emplacement optimal d'un point de collecte des déchets solides d'entreprises dans une ville. Ils ont conclu que le meilleur emplacement se trouve généralement au centre de la ville, à condition d'être choisi avant les emplacements des entreprises (Bàrcena-Ruiz, Casado-Izaga, 2015). Cependant, des auteurs portugais ont montré qu'aucun point de collecte n'était situé au centre de la ville, car les décisions étaient prises partiellement après que certaines entreprises aient choisi leurs emplacements. Ils ont également utilisé le modèle de la ville linéaire pour montrer comment les entreprises déjà installées influencent l'emplacement optimal du point de collecte (Ribeiro, Pezzino, 2018).

Par ailleurs, des chercheurs japonais ont étudié le recyclage des véhicules hors d'usage au Japon. Ils ont empiriquement démontré que la fonction des coûts de transport de ces véhicules n'était pas binomiale. En conséquence, ils ont prédit que les centres de recyclage se regroupent en utilisant le principe de différenciation minimale, et ont recommandé la création d'une zone industrielle à cet effet (Hosoda, Yamamoto, 2020).

En bref, ces études mettent en évidence la complexité de l'emplacement des infrastructures de gestion des déchets et de recyclage, influencée par divers facteurs tels que les décisions des entreprises et les coûts de transport. Les modèles, comme celui de la ville linéaire, offrent des enseignements imminents, mais leur applicabilité dépend du contexte. Elles ont des implications pratiques pour la planification urbaine et les politiques de gestion des déchets.

2.4. Analyse de la concurrence sur les marchés des déchets : Une perspective internationale

Une série d'études met en lumière divers aspects de la gestion des déchets, de la structure concurrentielle des marchés en Italie aux défis dans les pays en développement, en passant par l'application de systèmes informatisés dans des industries au Brésil. Ces recherches montrent l'évolution vers des solutions technologiques et la nécessité de tenir compte des contextes spécifiques pour relever les défis de la gestion des déchets.

2.4.1. Analyse de la structure concurrentielle des marchés de déchets urbains en Italie

Cette étude met en évidence l'importance de la taille géographique des marchés de déchets urbains en Italie (Beccarello, Di Foggia, 2021). Il est constaté que les marchés plus petits sont plus concentrés, ce qui suppose que dans les régions géographiquement restreintes, il peut y avoir moins d'acteurs concurrents et une possible domination de quelques entreprises. Cette concentration pourrait entraîner des problèmes tels que des prix plus élevés pour les services de gestion des déchets, un contrôle moins efficace de la qualité du service et des barrières à l'entrée pour de nouvelles entreprises.

2.4.2. Risques liés à l'octroi d'un monopole dans la gestion des déchets

Cette étude souligne que l'octroi d'un monopole peut entraîner une augmentation des coûts de collecte, une réduction de la qualité du service et la sortie d'autres entreprises du marché (dans un contexte de monopole limité ou partiel). Cela peut entraîner des services de gestion des déchets inefficaces et coûteux pour les consommateurs. Cette étude met en garde contre l'octroi de monopoles dans la gestion des déchets. Il est donc important pour les autorités de réglementer les monopoles dans ce secteur de manière à protéger les intérêts des consommateurs (Dzintra, Natalija, 2019).

2.4.3. Modélisation de la concurrence oligopsonique sur le marché des véhicules hors d'usage en Inde

Une étude adopte une approche de modélisation pour examiner la concurrence oligopsonique sur le marché des véhicules hors d'usage en Inde. Elle met en lumière l'impact du secteur informel sur ce marché. Le secteur informel peut introduire des distorsions dans la concurrence, en particulier dans les marchés où un petit nombre d'acheteurs dominent (Mohan, Amit, 2021). Cette étude souligne l'importance de comprendre les dynamiques spécifiques à chaque marché pour élaborer des politiques efficaces de réglementation de la concurrence.

2.4.4. Analyse des décisions d'intégration dans l'industrie chinoise des terres rares

Un équilibre entre intérêts des entreprises et bien-être social : Une étude analyse l'industrie chinoise des terres rares, composée de trois secteurs distincts : extraction et purification en amont, traitement et transformation des minéraux en intermédiaire, et utilisation des terres rares comme matières premières en aval, notamment par les fabricants de composants informatiques. Ils ont utilisé la théorie des jeux pour modéliser différents scénarios d'intégration, montrant que l'intégration horizontale favorise les profits des entreprises en amont, tandis que l'intégration verticale bénéficie au bien-être social. Les entreprises préfèrent l'intégration horizontale, mais le gouvernement chinois devrait encourager l'intégration verticale pour maximiser le bien-être social. Des mesures proposées incluent des subventions pour l'intégration verticale, des taxes sur l'intégration horizontale et des prêts à taux d'intérêt réduits pour les entreprises impliquées dans l'intégration verticale (Han, Ge, Lei, 2016). Cette étude met en évidence la complexité des décisions

d'intégration dans une industrie à plusieurs niveaux et suggère des mesures politiques pour équilibrer les intérêts des entreprises et le bien-être social.

2.4.5. Le défi de la gestion des déchets dans les pays en développement

Un appel à l'action pour la recherche et l'innovation : Marshall et Farahbakhsh soulignent la complexité de la gestion des déchets, mettant en avant l'importance de prendre en compte divers facteurs pour résoudre efficacement les problèmes liés aux déchets dans différentes nations. Leur étude met l'accent sur l'approche globale qui tient compte des facteurs démographiques, institutionnels et culturels pour élaborer des stratégies de gestion des déchets plus efficaces. Le déficit de recherche sur la gestion des déchets dans les pays en développement suscite des inquiétudes en raison de son impact sur la création de solutions efficaces face à cette problématique croissante. (Marshall, Farahbakhsh, 2013).

Un groupe de chercheurs a mené une étude sur la gestion des déchets dans les pays en développement mettant en évidence l'urgence de politiques et d'infrastructures efficaces pour résoudre les problèmes croissants liés à la gestion des déchets. Les résultats révèlent des défis majeurs tels que la pollution environnementale, les risques pour la santé publique et les impacts sur les écosystèmes. L'étude préconise l'adoption de pratiques durables telles que le recyclage, la réutilisation et la réduction à la source, ainsi que l'éducation environnementale pour sensibiliser la population. En somme, elle souligne la nécessité d'une action immédiate pour préserver l'environnement, la santé publique et la qualité de vie dans ces pays (Batista et al, 2021).

Au final, cette recherche met en lumière l'importance de prendre en compte à la fois les obstacles et les opportunités spécifiques aux pays en développement lors de la mise en place de stratégies de gestion des déchets. Elle souligne également l'importance de promouvoir des approches intégrées et durables pour résoudre ces problèmes, en tenant compte des réalités économiques, institutionnelles et culturelles de chaque région. Cela suggère que la recherche commence à se concentrer sur la compréhension des problèmes spécifiques auxquels ces pays sont confrontés et sur l'identification des facteurs clés pour réussir dans la gestion des déchets.

2.4.6. L'application du système informatisé de gestion des déchets dans une brasserie au Brésil

Silva et Morais ont proposé un système informatisé pour la gestion collective des déchets et ont étudié son application dans une brasserie au Brésil. Le fait que cette approche ait été étudiée dans une brasserie au Brésil suggère qu'elle peut être adaptée à divers contextes industriels. Les brasseries génèrent souvent une quantité significative de déchets, y compris des matériaux organiques, ce qui en fait un lieu pertinent pour tester et appliquer des solutions de gestion des déchets (Silva, Morais, 2021). En d’autres termes, cette étude montre une tendance vers des solutions pratiques et technologiques pour relever les défis de la gestion des déchets, ce qui peut être prometteur pour l'amélioration de la situation.

3. Gestion des DMA en Algérie : Vers une nouvelle stratégie et une approche innovante avec AMENHYD

À l'heure actuelle en Algérie, la gestion des déchets domestiques présente des insuffisances, caractérisées par une collecte partielle et un taux de recyclage faible. Toutefois, une nouvelle orientation stratégique nationale pour la gestion des déchets d'ici 2035 a pour objectif d'apporter des améliorations grâce à des réformes à la fois institutionnelles et économiques.

3.1. Définitions

L'article 3 de la loi 01-19 du 12 décembre 2001 (JO, 2001) définit les déchets ménagers et assimilés comme étant tous les déchets provenant des ménages ainsi que des activités industrielles, commerciales, artisanales et autres, qui sont similaires aux déchets ménagers en termes de nature et de composition. Ces déchets comprennent des matières organiques, du verre, des métaux ferreux et non ferreux, du papier, du carton, des plastiques, des textiles et d'autres.

La gestion des déchets englobe la prévention, la collecte, le transport, le traitement et la valorisation des déchets, dans le but de réduire leur impact sur l'environnement et la santé publique tout en favorisant leur utilisation efficace. Le traitement des déchets se scinde en deux catégories : l'élimination, qui concerne la destruction, l'enfouissement ou la mise en décharge et devrait être réservée aux déchets ultimes, et la valorisation, qui comprend le recyclage et la réutilisation des déchets en tant que matières premières. La valorisation des déchets joue un rôle essentiel dans la promotion de l'économie circulaire et le développement durable.

Le recyclage se divise en trois techniques principales. Le recyclage chimique implique la décomposition de la matière par des processus chimiques pour extraire des composants de valeur. Le recyclage mécanique transforme les déchets en matière première tout en préservant leur composition chimique. Le recyclage organique convertit la fraction organique des déchets en énergie par incinération ou fermentation (valorisation énergétique) ou en engrais par compostage (valorisation agronomique). Ces méthodes contribuent à la gestion durable des déchets en leur donnant une nouvelle utilité (Nouri, Ait Habouche, 2018).

En somme, la gestion des déchets est un enjeu décisif pour la protection de l'environnement et la promotion du développement durable, et elle repose sur une combinaison de prévention, de collecte, de traitement, et de valorisation des déchets, avec le recyclage comme l'une de ses principales composantes.

3.2. Gestion des DMA en Algérie : Un aperçu de la production, de la gestion et potentiel économique

En Algérie, la production annuelle de déchets ménagers et assimilés (DMA) atteint 13,5 millions de tonnes, équivalant à environ 0,80 kg par habitant par jour (AND, 2020). La majeure partie de ces déchets (90%) provient des ménages, tandis que les activités économiques en génèrent 10% (AND, 2020). Les matières organiques constituent la composante prédominante des DMA, représentant 53,6% du total, suivies des plastiques à hauteur de 15,3%. D'autres composantes significatives incluent les couches jetables (11,8%), les papiers-cartons (6,8%) et les textiles (4,5%). En revanche, les métaux ne représentent que 1,7% et les verres 1% de la composition des DMA (AND, 2020).

La répartition géographique de la production de DMA en Algérie varie considérablement, avec une concentration plus élevée dans les wilayas du Nord par rapport au Sud. Alger se distingue en tant que la wilaya la plus importante, produisant plus d'un million de tonnes de DMA par an. Les disparités s'expliquent par la densité de la population et l'activité économique à travers le territoire (AND, 2020).

La gestion des DMA comprend la collecte par les communes ou des prestataires privés ou publics, suivie du transport vers des centres d'enfouissement techniques (CET), des décharges contrôlées ou des décharges sauvages. Certains DMA passent par des centres de tri, tandis qu'une petite fraction est collectée à la source, triée, puis vendue à des entreprises de transformation. Cependant, la collecte n'est pas toujours assurée de manière efficace, comme le montrent des études dans certaines régions, où la gestion des DMA est déficiente (Aid, Bouadam, 2021).

Bien que la valorisation des déchets plastiques ait atteint un certain niveau de développement, elle demeure limitée, ne dépassant pas les 25% de déchets effectivement recyclés (Dorbane, Guendouzi, Mezig, 2021). En général, le taux de recyclage de l'ensemble des déchets en

Algérie est inférieur à 10%. Cette lacune dans le recyclage constitue une opportunité manquée pour l'économie algérienne, évaluée à environ 40 milliards de dinars algériens par an (Dorbane, Guendouzi, Mezig, 2021).

3.3. Vers une Vision 2035 : La Stratégie Nationale pour une Gestion Intégrée des Déchets (SNGID)

La stratégie nationale de gestion intégrée des déchets à l'horizon 2035 (SNGID 2035) en Algérie est une série d'objectifs et de recommandations pour une gestion durable des déchets et la transition vers une économie circulaire. Élaborée suite à une étude réalisée en 2018 par le cabinet EY et la GIZ pour le ministère de l'environnement et des énergies renouvelables, elle propose des objectifs à court, moyen et à long terme ainsi que les réformes nécessaires pour les atteindre. La SNGID 2035 a cinq objectifs stratégiques majeurs :

- Réduction de la production de déchets en limitant la quantité de déchets ménagers par habitant à 1,1 kg/jour au lieu de 1,23 kg/jour prévu d'ici 2035 (MEER, 2018).
- Promotion du tri sélectif des déchets à la source pour augmenter le taux de valorisation des déchets ménagers à 31% en 2035 (MEER, 2018).
- Application du principe pollueur-payeur en imposant aux producteurs et générateurs de déchets (ménages et industries) de payer pour le traitement de leurs déchets par le biais de taxes, pour financer les dépenses liées à la gestion des déchets.
- La mise en place d'un système de gestion intégrée des déchets, avec la participation des acteurs privés, notamment dans la valorisation, vise à générer des emplois directs (30 000) et indirects (70 000) (MEER, 2018). Cette approche intègre la filière de gestion des déchets dans un système collaboratif impliquant les collectivités et les organismes compétents, fondé sur la négociation et la collaboration entre les parties prenantes.
- Assurer un enfouissement adéquat des déchets ultimes dans des centres d'enfouissement technique conformes aux normes internationales, tout en éliminant les décharges sauvages pour réduire les risques sanitaires et environnementaux liés aux déchets.

Ces objectifs montrent une approche de la gestion des déchets, allant de la réduction à la valorisation, en passant par la responsabilisation financière des producteurs. Ils reflètent également une préoccupation sérieuse pour la préservation de l'environnement et la promotion d'une économie circulaire en Algérie. La réussite de ces objectifs dépend de la mise en œuvre efficace des réformes et des politiques correspondantes, ainsi que de la collaboration de divers acteurs, publics et privés.

Pour améliorer la gestion des déchets, des recommandations clés comprennent la mise en place d'infrastructures pour le tri, le recyclage et le compostage, ainsi qu'un modèle de gestion intégrée des déchets. L'application du principe du pollueur-payeur est préconisée, avec une augmentation de la taxe d'enlèvement des ordures ménagères (TEOM) pour financer la gestion des déchets, et la mise en place de la responsabilité élargie des producteurs (REP). Il est suggéré de clarifier les rôles des communes et des wilayas dans la gestion des déchets, de professionnaliser les établissements publics de collecte et de traitement, de promouvoir le secteur privé avec une réglementation transparente, de réorganiser la gouvernance des déchets industriels, de sensibiliser le public, et d'encourager le tri à la source pour une participation active des ménages dans la gestion intégrée des déchets.

Envisageant l'horizon 2035 selon le scénario de la SNGID 2035, la gestion des déchets ménagers sera caractérisée par une diversification des approches. La consigne sera privilégiée pour le tri des emballages à la source, le porte-à-porte sera adopté pour le papier-carton et les déchets organiques, tandis que les déchets non triés seront collectés dans des conteneurs publics. Des « points verts » seront établis pour la collecte d'articles spécifiques, alignés sur la Responsabilité Élargie des Producteurs (REP). Les déchets non triés seront dirigés vers des centres de tri, tandis que ceux triés seront recyclés, compostés ou réutilisés. Les déchets non valorisables trouveront leur place dans de nouveaux Centres d'Enfouissement Technique (CET). Pour la gestion des déchets, les

entreprises feront appel à des prestataires privés, à l'exception de l'enfouissement, qui restera sous la responsabilité du service public. Des instruments économiques, tels que la taxe à l'enfouissement, seront utilisés pour stimuler le tri, le recyclage et restreindre l'enfouissement aux résidus non valorisables.

3.4. Projet AMENHYD : Une approche innovante pour la gestion des déchets en Algérie

AMENHYD est une entreprise privée algérienne spécialisée dans l'aménagement, l'environnement et l'hydraulique. Elle possède une vaste expérience dans la réalisation d'infrastructures hydrauliques et environnementales, et joue un rôle important dans diverses filières de valorisation, notamment le tri des déchets ménagers et assimilés (DMA), la valorisation des matériaux, la valorisation agricole et la valorisation énergétique.

AMENHYD a élaboré un système de gestion des déchets ménagers et assimilés (DMA) pour atteindre les objectifs de la SNGID 2035. Ce système repose sur un réseau de centres de valorisation répartis dans tout le pays. Ces centres recevraient des DMA non triés ou partiellement triés, puis les trieraient. Les éléments principaux, tels que les plastiques et les matières organiques, seraient valorisés sur place, tandis que d'autres seraient vendus à des recycleurs spécialisés. Les résidus restants seraient dirigés vers les Centres d'Enfouissement Technique (CET). Cette répartition des centres de valorisation est planifiée en fonction de la densité attendue des DMA en 2030 et des distances nécessaires pour leur collecte et leur transport.

AMENHYD propose une répartition stratégique des centres de valorisation pour la gestion des déchets dans différentes zones d'Algérie. Dans la zone nord-littoral, couvrant les wilayas littorales à l'exception d'Alger, Oran et Annaba, 34 centres sont prévus. Dans la zone nord englobant le reste des wilayas du nord, 75 centres sont proposés. Pour la zone semi-aride, le projet prévoit des centres de valorisation adaptés aux caractéristiques de chaque wilaya en termes de superficie. Enfin, dans la zone aride, un centre de valorisation est recommandé pour chaque commune en raison des vastes distances, avec des capacités variant en fonction de la population locale. De plus, AMENHYD suggère la régulation des prix pour renforcer la compétitivité et améliorer la performance globale du système de gestion des déchets.

4. Modélisation : La dynamique des acteurs économiques dans le marché des déchets ménagers et assimilés en concurrence imparfaite

Nous exposons les modèles que nous développons pour décrire le comportement des acteurs économiques dans un marché des DMA, marqué par la concurrence spatiale et la concurrence imparfaite. Dans un premier temps, nous modélisons les emplacements géographiques des centres de valorisation des DMA, puis la dynamique des prix dans un marché soumis à des ententes cartellisées. Cette approche nous permet d'évaluer l'impact de ces conditions sur la performance du marché des DMA.

4.1. Modélisation des centres de valorisation en concurrence spatiale

Pour représenter la localisation géographique des centres de valorisation, nous adaptons le concept de la ville linéaire de Hotelling. Le modèle de localisation de Hotelling, également appelé théorème de différentiation minimale de Hotelling, représente une théorie économique conçue par Harold Hotelling au cours des années 1920. Ce modèle, étudie la concurrence entre deux producteurs, A et B, dans une ville linéaire de longueur 1. Les consommateurs, répartis uniformément le long de la ville, cherchent à minimiser leurs dépenses en prenant en compte le prix du produit et le coût de transport (en fonction de la distance). Chaque consommateur a une demande inélastique de 1 et supporte à lui seul le coût du transport de la marchandise. Ce modèle permet

d'analyser la dynamique de la concurrence entre les deux producteurs dans ce contexte (Hotelling, 1929).

Soit une ville linéaire de longueur $l = 1$. Dans cette ville, deux centres de valorisation, désignés par les lettres A et B, sont situés à des distances a et b respectivement des extrémités 0 et 1 de la ville. Il est important de noter que A est positionné du côté gauche de la ville, tandis que B se trouve du côté droit, comme illustré dans la figure 1. En d'autres termes, la somme des distances a et b est inférieure ou égale à 1 ($a + b \leq 1$).

Figure 1 : Modèle de la ville linéaire

Source : (De Marcellis, Warin, 2020).

Les producteurs de déchets sont répartis de manière uniforme le long de la ville et cherchent à vendre leurs déchets au plus offrant. Cependant, le transport des déchets engendre un coût proportionnel à la distance parcourue :

$$f(d) = c.d \qquad (1)$$

d : Distance parcourue.
c : Coût unitaire de transport.

Ce coût est supporté par les producteurs. Nous avons opté pour une fonction de coût linéaire pour des raisons de simplicité, tout en tenant compte des observations antérieures de Hosoda et Yamamoto dans le domaine du recyclage des véhicules hors d'usage au Japon (Hosoda, Yamamoto, 2020). Des coûts binomiaux engendreraient quant à eux d'autres formes d'inefficience (De Marcellis et Warin, 2020).

Dans ce cadre, les acteurs stratégiques sont les entités A et B engagées dans le processus de valorisation. Ils participent à un jeu dynamique en deux phases : d'abord, ils prennent des décisions concernant leurs positions respectives a et b, puis, dans la deuxième étape, ils déterminent leurs prix d'achat individuels, notés p_A et p_B par unité de quantité de déchets, dans le but de maximiser leurs profits :

$$\begin{cases} \pi_A = (v - p_A) \,.\, q_A \\ \pi_B = (v - p_B) \,.\, q_B \end{cases} \qquad (2)$$

Dans cette équation, q_A et q_B représentent les quantités de déchets vendues à A et B respectivement, tandis que v représente la valeur d'une unité de quantité de déchets bruts après recyclage. Nous supposons que v est supérieur ou égal à la moitié du coût unitaire (c) multiplié par la longueur (l) de la ville linéaire de Hotelling.

$$v \geq \frac{1}{2}.c.l \qquad (3)$$

l : Distance totale de la ville linéaire.
d : Distance entre un acheteur et un vendeur.

L'objectif est de garantir que la somme des parts de marché des deux concurrents équivaut à 1 et de ne pas imposer de contrainte sur les positions potentielles des centres de valorisation.

Une fois que les prix sont déterminés, le centre A obtient le segment de marché a situé à sa gauche, le centre B obtient le segment b situé à sa droite, et les deux se partagent le segment situé entre a et b en fonction de leurs prix d'achat respectifs. Il existe un producteur indifférent situé à

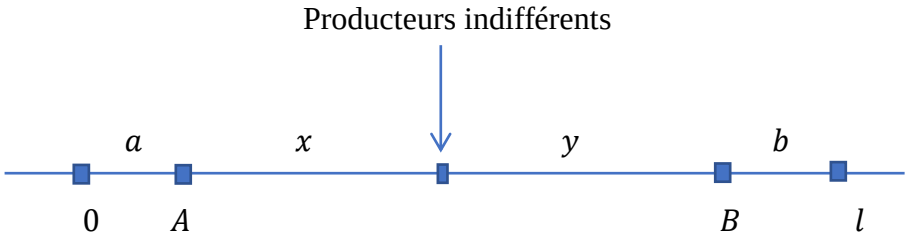
des distances x et y de A et B respectivement, comme illustré dans la figure 2, qui satisfait la condition suivante :

$$p_A - cx = p_B - cy \qquad (4)$$

Nous pouvons donc reformuler les fonctions de profit comme suit :

$$\begin{cases} \pi_A = (v - p_A).(a + x) \\ \pi_B = (v - p_B).(b + y) \end{cases} \qquad (5)$$

Figure 2 : Producteurs de déchets indifférents



Source : (De Marcellis, Warin, 2020).

Pour résoudre la première étape du jeu, nous partons de l'équation (4) et de l'égalité $l = a + b + x + y$, pour inférer les valeurs de x et y de la manière suivante :

$$\begin{cases} x = \frac{1}{2}(l - a - b + \frac{p_A - p_B}{c}) \\ y = \frac{1}{2}(l - a - b + \frac{p_B - p_A}{c}) \end{cases} \qquad (6)$$

Nous procédons ensuite à l'intégration de ces équations dans les fonctions de profit, définies comme suit : En substituant les expressions de distance (6) dans les fonctions de profit (5).

En procédant à une optimisation de ces fonctions, nous aboutissons aux fonctions de meilleure réponse suivantes en termes de prix d'achat :

$$\begin{cases} p_A^* = -\frac{1}{2}[(a - b + l)c - p_B - v] \\ p_B^* = -\frac{1}{2}[(-a + b + l)c - p_A - v] \end{cases} \qquad (7)$$

En résolvant ce système d'équations, nous parvenons à obtenir les prix suivants :

$$\begin{cases} p_A^* = \frac{1}{3}[(-a + b - 3l)c + 3v] \\ p_B^* = \frac{1}{3}[(a - b - 3l)c + 3v] \end{cases} \qquad (8)$$

Après avoir obtenu la solution de la deuxième étape du jeu, nous entreprenons de résoudre la première. Nous déduisons les valeurs de x et y en substituant l'équation (8) dans l'équation (6) :

$$\begin{cases} x^* = \frac{1}{6}(-5a - b + 3l) \\ y^* = \frac{1}{6}(-a - 5b + 3l) \end{cases} \qquad (9)$$

En substituant les valeurs des équations (8) et (9) dans les fonctions de profit (5) et dérivant π_A et π_B par rapport à a et b respectivement, nous obtenons les dérivées partielles suivantes :

$$\begin{cases} \frac{\partial \pi_A}{\partial a} = \frac{(a-b+3l)c}{9} \\ \frac{\partial \pi_B}{\partial b} = \frac{(-a+b+3l)c}{9} \end{cases} \quad (10)$$

Lorsque $l = 1$ et que les valeurs de a et b satisfont[1] $0 \leq a + b \leq 1$, les expressions du système (10) prennent la forme suivante :

$$\begin{cases} \frac{\partial \pi_A}{\partial a} \geq \frac{2}{9}c \\ \frac{\partial \pi_B}{\partial b} \geq \frac{2}{9}c \end{cases} \quad (11)$$

En conclusion, les profits des entreprises augmente graduellement avec l'accroissement des distances a et b depuis l'extrémité de la ville. Ainsi, nous parvenons à une conclusion similaire dans le cadre du duopsone à celle établie par Hotelling pour le duopole : les entreprises concurrentes sont incitées à se rapprocher autant que possible les unes des autres, convergeant vers le centre géographique de la zone concernée (en l'occurrence, la wilaya de Tizi Ouzou). Toutefois, ce rapprochement entre les deux acheteurs a un impact négatif sur les vendeurs, car cela accroît les distances qu'ils doivent parcourir.

En ce qui concerne la valorisation des déchets, cette conclusion implique que les centres de valorisation tendront à se regrouper dans les mêmes régions plutôt que de se disperser pour se rapprocher des sources de déchets. Cette situation pourrait poser problème car elle entraînerait une augmentation des coûts de transport des déchets, en particulier dans des régions montagneuses telles que la wilaya de Tizi-Ouzou.

4.2. Modélisation du comportement du cartel

La pratique de la cartellisation, définie comme un accord explicite entre des entreprises concurrentes visant à influencer les prix sur le marché, est largement reconnue comme une forme anticoncurrentielle de coordination économique. Ce phénomène peut avoir des répercussions significatives sur la performance des marchés, favorisant souvent les acteurs qui dictent les prix au détriment de ceux qui les acceptent. Divers facteurs, tels que la transparence des prix, la rigidité de l'offre ou de la demande, ainsi que la présence de barrières significatives à l'entrée sur le marché, peuvent favoriser l'émergence de cartels. De plus, le manque d'application ou de durcissement des lois antitrust peut encourager cette pratique. Dans ce contexte, l'industrie de la valorisation des déchets ménagers apparaît comme une cible potentielle pour la cartellisation.

Le cartel des centres de valorisation agit de manière similaire à un monopsone, en utilisant la courbe d'offre du marché pour déterminer le prix qui maximisera la somme des profits de ses membres. Pour accroître ses profits, le cartel réduit souvent le prix des déchets en dessous de leur niveau compétitif, ce qui a pour effet de réduire l'offre sur le marché. Cette baisse des prix implique que le transport des déchets générés dans des régions éloignées des centres de valorisation ne serait pas rentable en raison des coûts de transport élevés.

Dans ce contexte, nous proposons d'explorer le comportement du cartel des centres de valorisation à travers une simulation économique. Cette étude vise à examiner les stratégies et les dynamiques de prix adoptées par le cartel dans le cadre de la valorisation des déchets ménagers.

[1] En accord avec le cadre établi par Hotelling (1929), considérons une variable x représentant la position le long d'une ligne unidimensionnelle, où x est défini dans l'intervalle [0,1], reflétant ainsi une normalisation de la longueur de cette ligne pour des fins d'analyse économique.

Nous commençons par considérer un scénario simplifié où un centre de valorisation unique opère dans une région sans concurrence, avec des déchets produits de manière uniforme sur toute la zone.

À un prix donné (p), ce centre récupère tous les déchets produits dans une certaine distance (nous supposons que cette distance « *d* » représente la distance maximale entre les points de collecte des DMA et le Cartel) définie comme :

$$d = \frac{p}{c} \qquad (12)$$

p : est le prix unitaire des DMA (exprimé en unité monétaire/ quantité des DMA).

c : représente le coût unitaire de transport des déchets ménagers, exprimé en unité monétaire par quantité de déchets ménagers et par unité de distance parcourue.

En conséquence, la fonction d'offre des DMA est déterminée[1] par :

$$O(p) = \frac{\Pi}{c^2} p^2 \qquad (13)$$

La mise à disposition des DMA est opérée par les collecteurs de déchets. Ainsi, l'offre $O(p)$ est exprimée en termes de superficie de ramassage, avec $\Pi = 3{,}14$.

Si le centre décide d'acheter les déchets au prix ($p = v$).

v : La valeur moyenne tirée de la valorisation d'une unité de quantité de DMA bruts, pour le centre de valorisation, en unité monétaire.

Soit, $O(v)$: La quantité de déchets recyclés.

$$O(v) = \frac{\Pi}{c^2} v^2 \qquad (14)$$

Cependant, en tant que monopsone visant à maximiser ses profits « π ».

$$\pi = (v - p)\, O(p) \qquad (15)$$

En optimisant la fonction (15) par rapport à p, le monopsone choisirait un prix p^* :

$$p^* = \frac{2}{3} v. \qquad (16)$$

Par conséquent, en remplaçant (16) dans (13) la quantité de déchets recyclés devient :

$$O(p^*) = \frac{4}{9} \frac{\Pi}{c^2} v^2 \qquad (17)$$

Par équivalence avec la formule (14), on obtient :

$$O(p^*) = \frac{4}{9} O(v) \qquad (18)$$

D'où le taux de valorisation de la région est de 4/9, représentant 44,44 % de son potentiel économique maximal.

Dans la section suivante, nous appliquons le modèle théorique à la région spécifique de notre étude, à savoir Oued Fali. Dans le contexte pratique de notre étude, les équations (17) et (18) ne seront pas directement employées, mais seront ajustées en fonction des données disponibles et

[1] Ce résultat est obtenu après calcul de la superficie du cercle ayant pour rayon *d.*

recueillies à partir de Google Maps, permettant ainsi de différencier la topographie des routes (montagneuses, plates, etc.). Les résultats obtenus démontrent une convergence avec ceux anticipés par ces équations.

5. Prospective 2030 : Simulation de l'évolution du secteur de valorisation des déchets Ménagers et assimilés (DMA) à Tizi-Ouzou

La présente section se penche sur la simulation de la performance du secteur de valorisation des déchets Ménagers et assimilés (DMA) dans la wilaya de Tizi-Ouzou pour l'année 2030. Cette simulation est réalisée en utilisant Microsoft Excel et s'appuie sur deux scénarios distincts : celui d'un secteur organisé en un cartel aggloméré, et celui d'un système de gestion intégrée géographiquement réparti, tel que proposé par le scénario d'AMENHYD. L'objectif principal est de comparer la performance de ces deux configurations en termes de coûts, de valeur ajoutée et de productivité.

Notre hypothèse fondamentale repose sur l'inférence que le secteur soumis à la cartellisation démontrera une performance notablement inférieure par rapport au système de gestion intégrée. Cette assertion trouve sa justification dans divers aspects, comprenant notamment des coûts de transport des déchets plus élevés, un taux de valorisation moindre et une création de valeur ajoutée moins substantielle au sein du cadre du cartel aggloméré. Le choix de la valeur ajoutée comme indicateur de performance clé découle de sa capacité à englober la rémunération des emplois générés par l'activité, reflétant ainsi l'impact social et économique global du secteur de valorisation des déchets ménagers et assimilés (DMA) à Tizi-Ouzou.

5.1. Données et méthodologie

Les données utilisées nous ont été communiquées par AMENHYD. Les informations recueillies comprennent les projections de la production des DMA dans la wilaya de Tizi-Ouzou d'ici 2030, ventilées par commune et par daïra et les distances routières avec le CET d'Oued Falli. D'ici 2030, la wilaya de Tizi-Ouzou prévoit une production quotidienne de 696 tonnes de DMA.

Pour estimer la performance du projet AMENHYD, nous procédons au calcul des coûts de transport pour un centre de valorisation hypothétique situé à Oued Falli, traitant les déchets des quatre daïras les plus proches, à savoir Tizi-Ouzou, Draâ Ben Khedda, Mâatkas, et Beni Douala.

Tableau 2 : Hypothèses de la simulation

Objet	Valeur
Capacité des camions-bennes	6 Tonnes
Consommation de gasoil par les camions-bennes	50l/100km
Prix du gasoil	29.01 DA/l
Vitesse moyenne des camions-bennes	40km/h
Personnel à bord d'un camion benne	4 Employés (1 chauffeur et 3 agents de collecte)
Travail hebdomadaire des employés	40 h/Semaine
Salaire brute moyen	2.350 DA/Jour
Fréquence de changement de pneus	Tous les 45.000km
Prix d'un pneu	35.000 DA
Usage journalier des camions-bennes	16 h/Jour
Prix d'un camion-benne	14.000.000 DA
Durée d'amortissement d'un camion-benne	4 ans (linéaire)
Valorisation des DMA (brut)	12.270 DA/Tonne
Coût de tri et de valorisation des DMA	6.560 DA/Tonne
Dont amortissement	960 DA/Tonne
Dont coûts de personnel	2040 DA/Tonne
Taux de DMA valorisable	81,37%

Coût d'enfouissement des DMA	1.140 DA/Tonne
Dont amortissement	340 DA/Tonne
Dont coût de personnel	330 DA/Tonne

Source : Structure AMENHYD, Alger, 2022.

Ces coûts serviront à établir une moyenne représentative dans le cadre du scénario. En ce qui concerne la productivité, nous supposons que l'engagement des parties prenantes et la répartition géographique des centres de valorisation permettront d'atteindre un taux de valorisation maximal.

Les coûts de transport quotidiens, notés « C_T », sont subdivisés en quatre composantes, dont le calcul est effectué conformément aux formules suivantes et pour chaque scenario :

$$C_T = C_G + C_{PB} + C_{Pn} + C_{Cam} \quad (19)$$

$$C_G = Di_j \times P_G \quad (20)$$

$$C_{PB} = Du_{PB} \times W_{PB} \quad (21)$$

$$C_{Pn} = Di_j \times F_{Pn} \times P_{Pn} \quad (22)$$

$$C_{Cam} = \frac{\mathrm{Du}_j \times P_{Cam}}{Du_{Ammo} \times Du_{Cam} \times 365} \quad (23)$$

Il convient de noter que les variables correspondant aux divers coûts sont définies de la manière suivante :
C_T : Coût associé au transport journalier de ramassage (DA/jour) ;
C_G : Coût du carburant journalier pour le transport des déchets (DA/jour) ;
C_{PB} : Coût ou salaire du personnel à bord, comprenant le chauffeur et ses accompagnants (DA/jour) ;
C_{Pn} : Coût des pneumatiques (DA/jour)
C_{Cam} : Coût d'amortissement des camions à bennes (DA/jour).

Concernant les paramètres liés aux prix, nous spécifions les éléments suivants :
P_G : Représentant le prix du gasoil (DA/litre) ;
P_{Pn} : Désignant le prix des pneus (en DA) ;
P_{Cam} : Indiquant le prix unitaire d'un camion (en DA).

Nous exposons également les différentes durées comme suit :
Du_{PB} : Définissant la durée journalière de travail du personnel à bord (h/jour) ;
Du_j : Correspondant à la durée journalière nécessaire de voyage pour l'ensemble des camions à benne (h/jour) ;
Du_{Cam} : Désignant l'usage journalier moyen d'un camion (h/jour) ;
Du_{Ammo} : Représentant la durée moyenne d'amortissement d'un camion à benne (en années).

Les distances et autres variables pertinentes sont décrites comme suit :
Di_j : Indiquant la distance journalière de voyage nécessaire (kilomètre/ jour) ;
Di_{CV} : Représentant la distance entre la commune et le centre de valorisation Oued Falli (km) ;
F_{Pn} : Désignant la fréquence de changement des pneus (nombre de pneus/km) ;
W_{PB} : Correspondant au salaire horaire du personnel à bord (DA/ heure) ;
V_{Cam} : Indiquant la vitesse moyenne des camions à benne (km/heure) ;
C_{Cam} : Définissant la capacité des camions à benne (tonnes) ;

DMA_j : Représentant la production journalière de déchets Ménagers et assimilés (DMA) (tonnes/par jour).

Enfin, pour obtenir les durées et distances de voyage :

$$\mathrm{Du}_j = \frac{Di_j}{V_{Cam}} \quad (24)$$

$$Di_j = \frac{DMA_j}{C_{Cam}} \times Di_{CV} \times 2 \quad (25)$$

Pour évaluer les performances dans le scénario du cartel, il est nécessaire de calculer l'offre de déchets, laquelle dépend du prix imposé par le cartel. Nous faisons l'hypothèse que les centres de valorisation sont regroupés dans la zone d'Oued Falli. Après avoir calculé les coûts de transport unitaires depuis chaque daïra.

Le prix des DMA est le prix optimal p^* qui maximise le profit du Cartel, suivant la formule (15).

$$\max \pi = \max[O(p) \times (v - p)] \quad (26)$$

p : Prix d'une unité de DMA imposé par le Cartel en DA/Tonne.
π : Profit du cartel, en DA.
O : Offre de DMA par les collecteurs (les communes) en tonnes/jour.
v : Valeur des DMA bruts après valorisation (après recyclage) en DA/par tonne.

La fonction d'offre des DMA, notée $O(p)$, intègre les coûts de transport unitaires des DMA pour chaque daïra, que nous considérons comme les prix de réservation respectifs de ces DMA. En d'autres termes, les collecteurs de déchets ne seront incités à vendre les DMA aux centres de valorisation que si le prix proposé par ces derniers est égal ou supérieur au coût du transport.

Il en résulte la valeur ajoutée qui est calculée comme suit pour chaque scenario :

$$VA = PS - CI_T \quad (27)$$

$$PS = DMA_j \times T_{Val} \times v_{DMA} \quad (28)$$

$$CI_T = C_G + C_{Pn} + CI_{Val} + CI_{Enf} \quad (29)$$

$$T_{Val} = \frac{DMA_{Val}}{DMA_j} * 100\% \quad (30)$$

$$C_E = (1 - T_{Val}) \times DMA_{Val} \quad (31)$$

Notons pour cela :
VA : Valeur ajoutée de la valorisation des DMA en DA/ jour ;
PS : production totale du secteur[1] (DA/Jour) ;
T_{Val} : Taux de valorisation en pourcentage ;
DMA_{Val} : Quantité DMA valorisée en tonne/jour ;
CI_T : Consommations intermédiaires[2] (DA/Jour) ;

[1] Production totale relative à la valorisation des DMA.
[2] Ce sont tous les coûts liés au transport, au tri, à la valorisation et à l'enfouissement, à l'exception des amortissements et des dépenses liées au personnel.

CI_{Val} : Consommations intermédiaires de tri et valorisation[1] en DA/jour ;
CI_{Enf} : Consommations intermédiaires d'enfouissement (DA/jour)[2] ;
v_{DMA} : Valeur des DMA (DA/tonne).

5.2. Analyse des coûts de transport et de valorisation : Implications pour la rentabilité du projet AMENHYD

Cette étude de faisabilité a pour but la réduction des coûts d'enfouissement et la génération de revenus par la valorisation des DMA. Le coût moyen de transport, évalué à 274,04 DA par tonne, témoigne de l'efficience du scénario élaboré par AMENHYD, se traduisant par des coûts de 190 839 DA par jour pour l'ensemble de la wilaya, soit 69 565 070 DA par an. Les revenus potentiels de la valorisation des DMA sont estimés à 8 544 583 DA par jour, soit 3 118 772 649 DA par an, soulignant l'importance de transformer les déchets en ressources et d'en tirer profit. L'analyse suppose un taux de traitement ambitieux de 100% des DMA, atteignant le taux de valorisation maximal théorique de 81,4%. La réduction du taux d'enfouissement à 18,6% entraîne un coût d'enfouissement de 147 899 DA par jour, soit 53 982 981 DA par an, marquant une diminution significative par rapport aux coûts actuels dépassant les 250 millions de dinars par an. La valeur ajoutée annuelle générée par le projet s'élève à 5 958 894 DA, représentant une somme considérable de 2 174 996 241 DA par an, mettant en évidence l'impact positif de la gestion efficace des DMA sur l'économie locale.

5.3. Analyse des coûts de transport et de valorisation : Implications pour la rentabilité du Cartel

La variation des coûts de transport par unité est considérable, oscillant entre 176,94 DA/t pour les DMA en provenance de Tizi-Ouzou et 1 727,6 DA/t pour ceux de Iferhounen, cette disparité étant attribuable aux longs trajets imposés par l'agglomération des centres de valorisation. En considérant les coûts unitaires comme prix de réservation pour les DMA de chaque daïra, un prix de 1.054,25 DA/t a été identifié pour maximiser les profits d'un cartel, impactant négativement l'offre des DMA en raison de son écart significatif par rapport à la valeur des DMA bruts. Certaines régions, notamment Ain El Hammam, Azzefoun, Bouzeguen et Iferhounen, sont exclues du marché des DMA du fait que le prix du cartel est inférieur à leur prix de réservation, entraînant un impact négatif sur les taux de tri et de valorisation des déchets, avec une valorisation totale atteignant 7 579 302 DA par jour et 2 766 445 121 DA par an. Cependant, le taux de tri des déchets est de 88,7%, et le taux de valorisation est de 72,2%, significativement inférieur à celui du premier scénario. Le coût de transport total pour les régions concernées atteint 394 656 DA par jour et 144 049 349 DA par an, avec un coût moyen de 638,9 DA/t, soit plus du double du scénario d'AMENHYD. Avec un taux d'enfouissement de 27,8%, le coût de l'enfouissement s'élève à 220 874 DA par jour, soit 80 619 114 DA par an, soulignant l'importance de réduire la quantité de déchets enfouis en raison des coûts considérables liés à la gestion des déchets. La valeur ajoutée générée par le secteur est évaluée à 5 194 890 DA par jour et 1 896 134 910 DA par an, indiquant une contribution moindre à l'économie locale par rapport au scénario d'AMENHYD.

Ainsi, l'analyse du scénario d'AMENHYD met en évidence les avantages potentiels d'un projet de gestion intégrée des déchets ménagers et assimilés, notamment en réduisant les coûts d'enfouissement, en générant des revenus grâce à la valorisation des déchets et en créant une valeur ajoutée significative pour la région. Cependant, la réalisation de l'objectif de 100 % de traitement des DMA et du taux de valorisation de 81,4% nécessite une planification et une mise en œuvre efficaces, ainsi que des investissements en technologies de gestion des déchets. En revanche,

[1] Coût du tri et de la valorisation à l'exception des coûts du personnel et de l'amortissement.
[2] Coût d'enfouissement à l'exception des coûts du personnel et de l'amortissement.

l'analyse du scénario du cartel met en lumière les risques de la concurrence imparfaite pour le secteur de la gestion des déchets et ses effets pervers sur le comportement des acteurs économiques.

6. Comparaison des Scénarios de Gestion des DMA : AMENHYD vs. Cartel

L'analyse des données présentées dans le tableau 2 met en évidence plusieurs indicateurs importants concernant les deux scénarios, celui d'AMENHYD et celui du cartel, ainsi que les écarts en valeur et en pourcentage entre ces indicateurs.

Dans le scénario du cartel, le coût de transport moyen par tonne est considérablement plus élevé (près de 133 % plus élevé) par rapport au scénario d'AMENHYD, ce qui indique une inefficience et des coûts logistiques nettement plus élevés dans le scénario du cartel. Par ailleurs, le taux de valorisation, qui mesure la proportion de déchets valorisés par rapport à la quantité totale de déchets, est nettement plus bas dans le scénario du cartel (-11%). Cela suggère que le cartel compromet la capacité à valoriser les déchets de manière efficace par rapport au modèle de gestion intégrée. Le produit de la valorisation, qui représente les revenus générés par la valorisation des déchets, est également inférieur dans le scénario du cartel (-11%). Cela signifie que le modèle d'AMENHYD génère plus de revenus grâce à la valorisation des déchets.

Tableau 2 : Comparaison des performances entre le scénario d'AMENHYD et le scénario du cartel

Critères	Scénario d'AMENHYD	Scénario du cartel	Ecart en valeur	Ecart en pourcentage
Coût de transport moyen [1] (DA/Tonne)	274,04	638,9	+364,86	+133%
Taux de valorisation [2] (%)	81,4	72,2	-9,2	-11%
Production de la valorisation [3] (10^9 DA/An)	3,12	2,77	-0,352	-11%
Coût d'enfouissement [4] (10^6 DA/An)	54	80,6	+26,6	+49%
Valeur ajoutée [5] (10^9 DA/An)	2,17	1,90	-0,278	-13%

Source : *Conçu par les auteurs*

(1) Calculé à partir de l'équation (19). Ainsi nous précisons :
Coût de transport moyen égal au coût total des DMA valorisés divisé par la quantité DMA valorisée (DMA_{Val}) en Tonne/jour.
DMA_{Val} : représente la production journalière des DMA dans la wilaya de Tizi-Ouzou pour le scénario AMENHYD. Dans le scénario du Cartel elle est égale à l'offre des DMA $O(p)$, maximisant le profit formulé dans l'équation (26).

(2) Calculé à partir de l'équation (30).

(3) Calculé à partir de l'équation (28).

(4) Calculé à partir de l'équation (31).

(5) Calculé à partir de l'équation (27).

De plus, le coût d'enfouissement des déchets par an est nettement plus élevé dans le scénario du cartel (+49%). Cela indique des pratiques de gestion moins efficaces. Enfin, la valeur ajoutée, qui mesure la contribution économique du secteur des déchets, est inférieure dans le scénario du cartel (-13%). Cela suggère que le modèle d'AMENHYD apporte une contribution économique plus importante.

Globalement, les résultats de la simulation montrent que le scénario d'AMENHYD est plus efficace et génère de meilleurs résultats en termes de coûts, de valorisation des déchets, de revenus et de valeur ajoutée par rapport au scénario du cartel. Ces écarts en faveur du modèle d'AMENHYD soulignent l'importance d'une gestion intégrée des déchets et de politiques publiques favorisant la valorisation plutôt que l'enfouissement.

7. Conclusion

La gestion des déchets ménagers en Algérie est confrontée à des défis tels qu'un faible taux de valorisation, des lacunes dans la collecte, et des impacts négatifs sur l'environnement et l'économie. La stratégie nationale pour une gestion intégrée des déchets à l'horizon 2035 (SNGID 2035) propose une vision ambitieuse pour améliorer ce secteur en mettant l'accent sur la réduction, la valorisation et la responsabilité des producteurs. Le projet AMENHYD présente une approche innovante avec un réseau de centres de valorisation à travers le pays, susceptible de contribuer significativement à la réalisation des objectifs de la SNGID 2035. Des études et perspectives internationales mettent en lumière les problèmes actuels et des solutions potentielles pour la gestion des déchets en Algérie, tandis que les technologies, comme les systèmes informatisés, offrent des opportunités d'innovation pour relever ces défis.

Par ailleurs, afin d'évaluer la performance du secteur de la valorisation des DMA en concurrence imparfaite, notre étude a proposé deux scénarios distincts : le cartel et AMENHYD. Les simulations et modèles théoriques montrent que dans le scénario du cartel, les coûts de transport augmentent considérablement, réduisant l'efficacité de la gestion des déchets. Le taux de valorisation diminue, affectant négativement les revenus et la valeur économique ajoutée. En revanche, le modèle d'AMENHYD présente des avantages avec une meilleure efficacité des coûts de transport, un taux de valorisation plus élevé, des revenus accrus grâce à la valorisation des déchets, et une plus grande valeur économique ajoutée. Il suggère ainsi d'intégrer les parties prenantes avec des installations de valorisation bien réparties est plus efficace que l'organisation par le marché, notamment si les conditions de la concurrence imparfaite se réalisent.

Dans un contexte de concurrence imparfaite sur le marché, les acteurs économiques adoptent des stratégies visant à maximiser leurs profits. Par conséquent, les prix des déchets ménagers et assimilés (DMA) ainsi que la répartition géographique des infrastructures de valorisation qui en résultent ne sont pas optimaux pour la performance du secteur. Les scénarios de gestion intégrée des déchets et de concurrence imparfaite ont des implications significatives sur les coûts de transport, la valorisation des déchets, les revenus générés et la valeur ajoutée. La comparaison entre les deux scénarios révèle que le modèle basé sur la gestion intégrée des déchets développé par AMENHYD s'avère plus efficace que le modèle du secteur de valorisation aggloméré et cartellisé. Enfin, une gestion efficace des déchets, axée sur la valorisation plutôt que l'enfouissement, peut contribuer de manière significative à l'économie locale. Les données montrent que le modèle d'AMENHYD, axé sur la valorisation des déchets, génère des revenus plus élevés, réduit les coûts d'enfouissement et contribue davantage à la valeur ajoutée par rapport au scénario du cartel, ce qui confirme l'importance de la valorisation des déchets pour l'économie locale. En somme, la gestion des déchets en Algérie est à un moment décisif, avec des initiatives telles que la SNGID 2035 et AMENHYD qui ouvrent la voie à la transformation du secteur.

Il convient de noter que l'étude n'a pas pris en considération les obstacles institutionnels qui pourraient entraver la croissance organique du secteur et son expansion vers une dimension industrielle. Par conséquent, nos prévisions pour l'année 2030 pourraient être considérées comme excessivement optimistes dans les deux scénarios, soulignant ainsi la nécessité d'adopter une politique publique visant à soutenir le développement de ce secteur.

Cependant, ces résultats soulèvent également des questions importantes pour l'avenir visant à approfondir notre compréhension de la gestion des déchets en Algérie et à évaluer l'efficacité des diverses approches proposées. Ces investigations ont le potentiel d'informer les politiques et les décisions relatives à la gestion des déchets dans le pays. En premier lieu, il est essentiel d'explorer les causes sous-jacentes du faible taux de valorisation des déchets en Algérie, qu'il s'agisse d'infrastructures inadéquates, de pratiques de gestion obsolètes ou de lacunes dans la sensibilisation du public.

En outre, il est important d'examiner en détail les implications environnementales et économiques de la gestion inadéquate des déchets en Algérie, notamment en ce qui concerne la pollution et les coûts liés à la gestion des déchets non valorisés. Les technologies informatisées offrent également des opportunités d'amélioration de la gestion des déchets, et leur mise en œuvre mérite une exploration approfondie, notamment en ce qui concerne les systèmes de suivi des DMA et de gestion des flux de travail. Enfin, une analyse comparative des expériences internationales en matière de gestion des déchets peut fournir des informations précieuses sur les meilleures pratiques et les leçons à appliquer en Algérie.

En ce qui concerne l'étude sur le marché des DMA en concurrence imparfaite, plusieurs questions intrigantes se posent également. Tout d'abord, il est essentiel d'examiner comment la formation d'un cartel pourrait influencer la réglementation gouvernementale de la gestion des déchets en Algérie, y compris ses implications politiques. Par la suite, une exploration des facteurs susceptibles de motiver les autorités à opter pour le modèle d'AMENHYD plutôt que de permettre au marché de se développer dans un contexte de concurrence imparfaite peut apporter de la clarté sur les décisions économiques sous-jacentes.

Bibliographie

1. AND. (2020). *Rapport sur l'état de la gestion des déchets en Algérie.* Agence Nationale des déchets, Alger. In : https://and.dz/site/wp-content/uploads/rapport%20DMA2.pdf. Consulté le : 09/12/2022.
2. Atstāja, D., Cudečka-Puriņa, N. (2019). Transition towards circular economy - is monopoly in waste management a solution ?, *Proceedings of the 12th Economics & Finance Conference,* Prague, International Institute of Social and Economic Sciences, pp. 9-20. ISBN: 978-80-87927-80-9. In: https://science.rsu.lv/en/publications/transition-towards-circular-economy-is-monopoly-in-waste-management. Consulté le : 28/05/2021.
3. Aid, A., Bouadam, R. (2021). Pour une gestion intégrée des déchets ménagers et assimilés dans la ville de Bejaia : Esquisse d'une approche de coordination entre les acteurs. *Architecture et environnement de l'enfant,* 6 (2), 25-39. In : https://www.asjp.cerist.dz/en/article/162541. Consulté le : 10/10/2022.
4. Bàrcena-Ruiz, J C., Casado-Izaga, F J. (2015). Regulation of waste management under spatial competition. *Journal of Cleaner Production,* 92, pp. 216-222. DOI : https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.052.
5. Batista, M., Caiado, R. G. G., Quelhas, O. L. G., Lima, G. B. A., Leal Filho, W., Rocha Yparraguirre, I. T. (2021). A framework for sustainable and integrated municipal solid waste management: Barriers and critical factors to developing countries. *Journal of Cleaner Production,* 312, pp.127516. DOI : 10.1016/j.jclepro.2021.127516.
6. Bensmail, S., Bouzadi, S. (2021). Vers une amélioration de la gestion des déchets solides ménagers à Bejaia.
7. *Revue l'Intégration Economique*, 09(03), pp. 741-756. In https ://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/180/9/3/168013. Consulté le : 10/10/2022.
8. Bouadam, R. (2021). L'Algérie face à ses déchets : outils et entraves de gestion vers quelles perspectives ? *Architecture et environnement de l'enfant,* 07(01), pp. 65-79. In: http://www.asjp.cerist.dz/en/article/183146. Consulté le : 13/06/2022.
9. Bouzit, N., Belkhiri, A E., Kherbachi, H. (2022). Partenariat public-privé : étude de coûts de collecte des déchets ménagers, cas de la commune de Bejaia. *Etudes économiques*, 22(1), pp. 506-523. In : https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/590/22/1/193828. Consulté le : 23/04/2023.
10. De Marcellis, *N*., Warin, *T. (*2020). *Économie industrielle avec R*. In : https://warin.ca/ecoindusr. Consulté le : 17/02/2022.
11. Di Foggia, G., Beccarello, M. (2021). Market structure of urban waste treatment and disposal: Empirical evidence from the Italian industry. *Sustainability,* 13 (13), 7412-12. DOI : 10.31235/osf.io/fwk6d.
12. Dorbane, N., Guendouzi, B., Mezig, A. (2021). Valorisation des déchets plastiques, une opportunité pour le développement local durable. Référence empirique à la wilaya de Tizi-Ouzou. *Journal Of North African Economies*, 17(25), pp. 33-50. In: https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticlepdf/9/17/1/146374. Consulté le : 28/04/2022.

13. Frouhat, H., Ben Grina, M. H. (2015). The reality of sustainable management of household waste: A case study of Public Enterprise for the Management of Technical landfill Centers of the wilaya of Ouargla "EPWG CET"» *Revue de la Performance des Sociétés Algériennes*, 4(2), pp. 185-200. In : http://www.asjp.cerist.dz/en/article/17061. Consulté le : 23/05/2021.
14. Gherzouli, L., Labii, B. (2015). La gestion des déchets solides urbains : Une nécessité pour le développement urbain durable de la ville de Tébessa et la protection de son environnement, *Sciences & Technologies*, (42), pp. 29-38, In : https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/15/42/4/3525. Consulté le : 28/05/2021.
15. Han, A., Ge, J., Lei, Yalin. (2016). Vertical vs. horizontal integration: Game analysis for the rare earth industrial integration in China, *Resources policy*, Elsevier, 50(C), pp. 149-159. In: https://ideas.repec.org/a/eee/jrpoli/v50y2016icp149-159. Consulté le : 28/05/2021.
16. Hosoda, E. B., Yamamoto, M. (2020). Transportation costs of vehicle recycling under Hotelling's Duopoly competition. *Journal of Industrial and Business Economics*, 48(6), pp. 77-91. DOI: https://doi.org/10.1007/s40812-020-00148-9. Consulté le : 28/05/2021.
17. Hotelling, H. (1929). Stability in Competition. *The Economic Journal*, 39(153), pp. 41-57. DOI: https://doi.org/10.2307/2224214.
18. Marshall, R. E., Farahbakhsh, K. (2013), « Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries », *Waste Management*, 33(04), pp. 988–1003. DOI : https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.12.023.
19. MEER. (2018), *Etude sur la stratégie nationale et plans d'actions de la gestion intégrée et de la valorisation des déchets à l'horizon 2035*, Ministère de l'Environnement et des Energies Renouvelables. Alger.
20. Mohan T. V. K., Amit R. K. (2021). Modeling oligopsony market for end-of-life vehicle recycling. *Sustainable Production and Consumption*, 25, pp. 325-346. DOI: https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.09.001.
21. Nouri, I., Ait Habouche-Mihoub, O. (2018). Ecologie industrielle et valorisation des déchets : Cas de recyclage des déchets industriels à Oran. *Revue algérienne d'économie et de gestion*, 12(01).
22. Ribeiro, V M., Pezzino, M. (2018). Anticipating the location of a waste collection point: an application based on Portugal. *Portuguese economic journal*, Advance online publication, 18, pp. 87-106. DOI: 10.1007/s10258-018-0146-4.
23. Silva, W. D. A., Morais, D. C. (2021). A Group Decision Support System to Share Responsibilities Towards a Circular Economy Transition for Solid Waste Management in Developing Countries. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), Melbourne*, Australia, pp. 2221-2226. DOI: 10.1109/SMC52423.2021.9658685.
24. Tolba, T., Moroncini, A., Kehila, Y. (2020). *Le recouvrement des coûts : un défi pour une gestion durable des déchets ménagers en Algérie. Cas de la Commune d'Annaba*. CIRIEC N° 2020/03. In : https://www.ciriec.uliege.be/wp-content/uploads/2020/03/WP2020-03.pdf Consulté le : 03/09/2021.

Textes législatifs

25. Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire du Samedi 30 Ramadhan 1422 correspondant au 15 décembre 2001 (77). In, https://www.joradp.dz/FTP/Jo-Francais/2001/F2001077.pdf