

واقع استخدام الذكاء الاصطناعي في إدارة النفايات في الجزائر في ظل التحول نحو الاقتصاد الدائري

The Reality of Artificial Intelligence Use in Waste Management in Algeria Amid the Transition to a Circular Economy.

صلاح سعاد

جامعة سوق أهراس (الجزائر)

s.sallah@univ-soukahrass.dz

ملخص:	معلومات المقال
تهدف الدراسة إلى تسليط الضوء على واقع توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي من أجل إدارة النفايات في الجزائر، في إطار التحول نحو اقتصاد دائري يركز على الاستدامة ويقلل من الطلب على الموارد الطبيعية ويقلل الهدر. وقد أظهرت النتائج أن تطبيق الذكاء الاصطناعي في إدارة النفايات في الجزائر لا يزال محدودا وفي بدايته نتيجة وجود العديد من التحديات الرئيسية كضعف البنية التحتية الرقمية وقلّة الخبرات التقنية، واستنادا إلى هذه النتائج، توصي الدراسة بتعزيز البنية التحتية الرقمية، تدريب الكوادر المختصة، وكذا تطوير سياسات تشريعية داعمة لدمج الابتكارات الذكية في إدارة النفايات.	تاريخ الارسال: 2026/01/17 تاريخ القبول: 2026/03/22 الكلمات المفتاحية: ✓ الذكاء الاصطناعي ✓ الاقتصاد الدائري ✓ إدارة النفايات.
Abstract :	Article info
This study aims to shed light on the reality of employing artificial intelligence (AI) technologies for waste management in Algeria, within the framework of the transition toward a circular economy that emphasizes sustainability, reduces demand for natural resources, and minimizes waste. The results reveal that the use of AI in waste management in Algeria remains limited and in its early stages, due to several challenges, including weak digital infrastructure, lack of technical expertise, the study recommends strengthening digital infrastructure, training specialized personnel, and developing supportive legislative policies to integrate smart innovations into waste management practices.	Received 17/01/2026 Accepted 22/03/2026 Keywords: ✓ Artificial Intelligence ✓ Circular Economy ✓ Waste Management

مقدمة:

ساهم التزايد المتسارع لعدد سكان العالم والذي من المتوقع أن يبلغ قرابة عشرة مليارات نسمة بحلول عام 2050 في تعقيد الإشكالات البيئية والضغوط الاقتصادية كالاستغلال المفرط للموارد الطبيعية ، وتفاقم كميات النفايات ومن هنا أصبح تقليل تأثير الأنشطة البشرية على البيئة وتحقيق أهداف التنمية المستدامة ضرورة لا بد منها، كما أصبح الاقتصاد الدائري نموذجاً تنموياً واعداً يركز على إعادة النظر في استخدام الموارد وتقليل النفايات.

يُعدّ الاقتصاد الدائري مقارنة تشجع على إطالة عمر المنتجات والحد من الهدر، مما يؤثر إيجابياً على البيئة وتحقيق الاستدامة الاقتصادية والاجتماعية. و الجزائر على غرار العديد من الدول شرعت في التوجه تدريجياً نحو تبني هذا النموذج كخيار استراتيجي ، عبر الاعتماد على أساليب علمية ومنهجية في تسيير النفايات ، وذلك من أجل تحويلها من عبء بيئي إلى مورد ذو قيمة اقتصادية. ومن هنا برزت تقنيات الذكاء الاصطناعي المبتكرة من أجل تحسين كفاءة منظومة إدارة النفايات عن طريق تطوير عمليات الفرز الذكي، التنبؤ، الجمع، وحتى إعادة التدوير، وهذا ما يدعم أهداف الاقتصاد الدائري و التنمية المستدامة.

غير أن توظيف هذه التقنيات في هذا المجال في الجزائر يظل محدوداً ذلك لأنه يواجه جملة من العوائق التقنية والتنظيمية وعليه نهدف من خلال هذه الدراسة إلى تسليط الضوء على واقع تطبيق أدوات الذكاء الاصطناعي في إدارة النفايات في الجزائر، مع تحليل أبرز العوائق التي تحد من انتشارها، وتقديم توصيات لتعزيز دورها الفاعل في بناء نظام إدارة نفايات أكثر استدامة وذكاءً.

1.1 الاشكالية:

مما سبق يمكننا طرح الإشكالية التالية: إلى أي مدى تساهم تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة النفايات ضمن إطار الاقتصاد الدائري الجزائري؟

2.1 فرضيات الدراسة:

- ✓ لا يزال استخدام الذكاء الاصطناعي في إدارة النفايات بالجزائر في مراحله الأولية ويقتصر على مبادرات محدودة.
 - ✓ هناك العديد من التحديات التي تشكل عائقاً أمام التوظيف الفعّال لتقنيات الذكاء الاصطناعي في قطاع إدارة النفايات.
- 3.1 أهداف الدراسة: تسعى هذه الدراسة إلى تحقيق مجموعة من الأهداف لعل أهمها:

التعرف على مفهوم الاقتصاد الدائري وأهميته وتبيان أهمية إدارة النفايات ضمن الاقتصاد الدائري؛
إبراز دور الذكاء الاصطناعي في تحسين عملية إدارة النفايات؛
تسليط الضوء على واقع استخدام الذكاء الاصطناعي في إدارة النفايات في الجزائر.

4.1 منهج الدراسة:

من أجل الإجابة على إشكالية الدراسة وتحقيق أهدافها ارتأينا إلى استخدام المنهج الوصفي التحليلي من خلال مراجعة الأدبيات النظرية المتعلقة بمتغيرات الدراسة بالإضافة إلى وصف الوضع الحالي لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة النفايات في الجزائر، ثم تحليل المعطيات المتاحة و إبراز أهم التحديات التي تواجهها في تطبيق مختلف تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة النفايات.

2. ماهية الاقتصاد الدائري

1.2 مفهوم الاقتصاد الدائري:

يرجع ظهور مفهوم الاقتصاد الدائري لسنة 1989 مع نشر كتاب " اقتصاديات الموارد الطبيعية والبيئة " الصادر عن مطبعة جامعة جونز هوبكنز الأميركية، لمؤلفيه ديفيد بيرس وآر كيري تيرمز، يبين هذا الكتاب العلاقة بين الاقتصاد والموارد الطبيعية والبيئة، وطبيعة التكامل بين

النظام البيئي والاقتصادي وأهم ظواهر الانحراف في النظام البيئي وأثارها الاقتصادية، ويميز المؤلفان فيه بين ما يسمى بالاقتصاد الخطي حيث يكون استهلاك الموارد مفتوحا والاقتصاد الدائري (فاتح غلاب، 2021، ص 446)

وفيما بعد، اكتسب مفهوم الاقتصاد الدائري اهتماما متزايدا ضمن مؤتمرات قمة الأمم المتحدة حول التنمية المستدامة منذ سنة 1992 واعتبر كأحد المداخل الرئيسية للحد أساسية لتقليل الضغط على الموارد الطبيعية وتعزيز أنماط إنتاج واستهلاك أكثر استدامة.

وفي هذا السياق عرفت الامم المتحدة الاقتصاد الدائري بأنه: " نظام قائم على التبادل والمشاركة يسمح بالتقدم الاجتماعي والمحافظة على رأس المال الطبيعي و التنمية الاقتصادية. ويتمثل هدفها الجوهرى في فصل النمو الاقتصادي عن استنفاد الموارد الطبيعية من خلال ابتكار منتجات وخدمات ونماذج أعمال وسياسات عامة تأخذ في الاعتبار جميع التدفقات طوال دورة حياة المنتج أو الخدمة (ALLIANCE HQE-GBC France, p5).

في حين عرفته وكالة البيئة والتحكم في الطاقة ADEME بفرنسا بأنه: " نظام اقتصادي للتبادل والإنتاج، والذي يهدف في جميع مراحل دورة حياة المنتجات السلع والخدمات إلى زيادة كفاءة استخدام الموارد والحد من التأثير على البيئة. كما يجب أن يهدف الاقتصاد الدائري على المستوى العالمي إلى تقليل هدر الموارد بشكل كبير من أجل فصل استهلاك الموارد من نمو الناتج المحلي الإجمالي، مع ضمان الحد من التأثيرات البيئية وزيادة الرفاهية، إنه يتعلق بالمزيد من العمل بشكل أفضل وبموارد أقل (Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, p8).

ويعرف الاقتصاد الدائري كذلك بأنه: " الاقتصاد الذي يحد إلى أدنى حد ممكن من توليد النفايات النهائية، ولا يترتب عليه أي آثار سلبية على البيئة، من خلال إعادة تدوير المكونات والمنتجات وإعادة استخدامها وفق معايير الجودة العالية؛ كما أن السلع والمنتجات تكون قابلة للإصلاح والتجديد من بداية تصميمها بما يضمن الاستفادة منها مرات عديدة، وبالتالي ضمان الاستخدام الأمثل والفعال للموارد المتاحة، وبما يحقق التنمية المستدامة" .. (عبد الرزاق حواس، 2019، ص 289)

2.2 مبادئ الاقتصاد الدائري: (Alaeddine Medjdoub, 2020, p363)

بينما يعتمد الاقتصاد الصناعي الخطي على استخراج الموارد ثم تصنيعها واستهلاكها والتخلص منها، وهو نمط يؤدي إلى استنزاف الموارد الطبيعية المحدودة لإنتاج سلع ينتهي مصيرها غالباً في مكبات النفايات أو المحارق، يقوم الاقتصاد الدائري على خمسة مبادئ كما يلي:

1.2.2 تنظيم دورات عكسية: Orgnise reverse cycles

يعد استخدام الموارد ضمن تدفقات دائرية أحد المبادئ الجوهرية للاقتصاد الدائري، فمن أجل استغلال الموارد ضمن حلقة مغلقة، ولتحقيق ذلك، يتم إنشاء أنظمة لجمع المنتجات بعد انتهاء عمرها الاستعمالي ومعالجتها بهدف استرجاع قيمتها. وتشمل هذه الأنظمة عمليات مثل التجديد وإعادة التدوير بما يسمح بإعادة الموارد إلى سلسلة القيمة. فتصبح نفايات عملية معينة مدخلات لعملية أخرى، مما يحد من مفهوم النفايات ويسهم في تحول الاقتصاد الخطي الحالي إلى اقتصاد دائري.

2.2.2 الفعالية من حيث الموارد: Be resource effective

يهدف الاقتصاد الدائري إلى زيادة الكفاءة التي تستخدم بها الموارد في الاقتصاد، فجوهر فعالية الموارد هو استخدام الموارد لإمكاناتها الكاملة لخلق تأثير إيجابي، ويشير هذا إلى التركيز على النتيجة المرجوة بدلاً من متابعة نتائج أقل غير مرغوب فيها، على سبيل المثال: من هذا المنظور يتمثل الهدف الأساسي هو استخدام الموارد بطريقة تؤدي إلى إصلاح الضرر الذي يلحق بالنظام البيئي بدلاً من التسبب في ضرر أقل.

3.2.2 التفكير المنظومي " التفكير على شكل أنظمة: Think in systems "

يتم إنشاء الأنظمة من العديد من الأجزاء المترابطة التي يؤثر تفاعلها على سلوك النظام ككل بما يساعد في فهم كيفية تفاعل أجزاء النظام وكيفية ارتباطه بالنظام ككل، وفي هذا السياق يسعى الاقتصاد الدائري إلى تحسين أداء النظام بأكمله بدل التركيز على عنصر واحد الذي يتطلب الاعتراف بوجود تبعات معقدة واعتماد منظور شامل لتقييم وتحسين تأثير نشاط الشركات

4.2.2 إعطاء الأولوية للمستقبل: Prioritise the future

إذ تسعى المؤسسات، على اختلاف أنشطتها، إلى ضمان الاستمرارية وتحقيق النمو، وهو ما يفرض عليها التكيف مع التغيرات البيئية والاقتصادية، بل والمساهمة أحياناً في صناعتها، ويتطلب ذلك تقييم المخاطر والتنبؤ بها باعتبارها محفزاً أساسياً للانتقال من مشكلات الاقتصاد الخطي إلى حلول الاقتصاد الدائري، الذي يقدم رؤية مختلفة تماماً عن النماذج التقليدية السائدة في الاقتصاد والصناعة . و يركز الاقتصاد الدائري على تصميم المنتجات بما يضمن تعظيم قيمتها في نهاية عمرها ، كما يقوم على تقييم الفرص وعواقب الإجراءات من منظور طويل الأجل. و كذا يشجع على استخدام التكنولوجيا لتطوير خلق منتجات وأنظمة تسمح بإعادة استخدام المواد وإعادة تدويرها أو إعادة تصنيعها وتعزيز التشارك بدلاً من الامتلاك حيث تحتفظ الشركات بملكية المنتج وتقدم للمستهلك خدمة الانتفاع به بدل بيعه بشكل نهائي.

5.2.2 خلق المنفعة المتبادلة: Create mutual benefit

يسعى الاقتصاد الدائري، شأنه شأن الاقتصاد الخطي، إلى تلبية حاجيات المجتمع من السلع بالإضافة إلى تحقيق التنمية، مع بقاء المبادئ الأساسية للعرض والطلب وآليات السوق دون تغيير، إلا أن الاختلاف يكمن في أساليب استخدام الموارد وطرق خلق القيمة. وفي هذا الإطار، يصبح من الضروري تنظيم الأنشطة الاقتصادية بما يحقق منفعة متبادلة لمختلف أصحاب المصلحة. حيث تسهم إطالة العمر الافتراضي للمنتجات في رفع كفاءة استخدام الموارد، إلا أن السعي إلى زيادة الإيرادات من خلال بيع كميات أكبر قد يؤدي إلى تفاقم مشكلات النفايات وزيادة استنزاف الموارد. ومن ثم، يتطلب الانتقال إلى الاقتصاد الدائري إعادة تنظيم عمليات المؤسسة ككل، إلى جانب تطوير عروض قيمة ونماذج إيرادات جديدة تتماشى مع مبادئ الاقتصاد الدائري وتدعم في الوقت نفسه الأهداف الربحية للمؤسسة

3.2. أهمية الاقتصاد الدائري:

يكتسب الاقتصاد الدائري أهميته من الأدوار التي يؤديها، حيث يسعى إلى ترشيد استخدام رأس المال الطبيعي والمادي والبشري بالإضافة إلى الحفاظ على قيمة المنتجات مما يساهم في إطالة عمرها الافتراضي وهذا من خلال تحسين كفاءة استخدام الموارد عبر مختلف مراحل دورة حياة المنتج، ولا تقتصر عمليات التدوير على تفكيك المواد الأصلية، بل تعتمد على استرجاع الموارد بكفاءة من خلال أنظمة جمع ومعالجة المنتجات منتهية الصلاحية ضمن حلقات مغلقة تعيد إدماجها في سلسلة القيمة وتحد من توليد النفايات؛ كم يسعى إلى التقليل من استنزاف الطبيعة والضغط على البيئة للحصول على المدخلات لإنتاج منتجات جديدة؛ و يؤدي هذا النموذج إلى تقديم حلول لإزالة المواد الضارة بالبيئة والمخلفات الناتجة عن استخدام المنتجات، من خلال تشجيع الابتكار والاستعانة بالشركات الناشئة في هذا المجال؛

من جهة أخرى يساهم في رفع كفاءة استخدام الموارد عبر تطوير منتجات جديدة تستهلك طاقة وموارد أقل سواء في مختلف مراحل إنتاجها أو في استخدامها ، وتتميز بنسبة تلوث ونفايات أقل وقابلية لإعادة الاستخدام، وسهولة التصليح والتفكيك؛ (ليليا بن منصور وآخرون، 2019، ص320-328)

فضلا عن ذلك ، يساهم الاقتصاد الدائري في تخفيض التلوث و التخفيف من آثار تغير المناخ من خلال تخفيض انبعاث غازات الاحتباس الحراري، خاصة و أن عدم معالجة النفايات الصلبة والسائلة يعتبر إحدى العوامل الرئيسية المتسببة في تغيير المناخ

3. مدخل لإدارة و تهمين النفايات:

1.3 مفهوم إدارة النفايات وأهميتها:

تشير إدارة النفايات إلى مجموعة الأنشطة والممارسات، التقليدية والحديثة، التي تعنى بالتعامل مع النفايات في مختلف مراحلها، بدءاً من توليدها وصولاً إلى معالجتها أو التخلص النهائي منها. ولا يوجد تعريف واحد جامع لإدارة النفايات، إذ يختلف مفهومها باختلاف السياسات والأنشطة والأساليب المعتمدة من دولة إلى أخرى، فيعرفها المشرع الجزائري حسب المادة 03 من القانون رقم 01-19 المتعلق بتسيير النفايات ومراقبتها وإزالتها بأنها: "كل العمليات المتعلقة بجمع النفايات وفرزها ونقلها وتخزينها وتهمينها وإزالتها بما في ذلك مراقبة هذه العمليات. في حين يضيف المشرع السعودي أنشطة أخرى لإدارة النفايات كاستيراد وتصدير إذ يعتبرها الإدارة المسؤولة عن " تنظيم أنشطة استيراد النفايات وتصديرها وجمعها ونقلها وفرزها وتخزينها ومعالجتها والتخلص النهائي منها، بما في ذلك العناية اللاحقة بمواقع التخلص من النفايات " (فضيلة رحموني، ص 638)

تتمثل أهمية إعادة التدوير وأهدافها فيما يلي: (صدي مدحت مجيد الساهوكي، 2017، ص 33)

- التقليل من كميات النفايات الموجهة إلى مواقع الطمر أو الحرق؛
- المحافظة على الموارد الطبيعية، مثل المياه والأخشاب والمعادن، والحد من استنزافها؛
- المساهمة في خلق فرص عمل ذات مردود اقتصادي مناسب في مجالي إعادة التدوير والتصنيع؛
- ترشيد استهلاك الطاقة مقارنة بعمليات الإنتاج المعتمدة على المواد الأولية الخام؛
- الحد من انبعاثات الغازات الدفيئة المسببة لظاهرة التغير المناخي؛
- المساهمة في حماية البيئة وضمان استدامتها لصالح الأجيال الحالية والمستقبلية

2.3 طرق إدارة و تهمين لنفايات:

التهمين المادي أو التدوير أو الرسكلة : يقصد بإعادة التدوير أو الرسكلة تحويل كل أو جزء من المخلفات الصلبة الناتجة عن الأنشطة الاقتصادية، سواء الإنتاجية أو الاستهلاكية، إلى مواد يعاد استخدامها ضمن العمليات الإنتاجية من جديد. وتساهم هذه العملية في التخفيف من حدة الضغوط المرتبطة بندرة الموارد الطبيعية، سواء في مراحل التصنيع أو عند التخلص النهائي من المنتجات.

التهمين البيولوجي أو التسميد : يُعد التسميد عملية طبيعية ميكرو بيولوجية، تهدف إلى تحليل المواد العضوية المعقدة الموجودة في النفايات وتحويلها إلى مركبات عضوية بسيطة ومواد معدنية ذات خصائص مشابهة للسماد الطبيعي. وتشمل النفايات القابلة للتسميد بقايا الخضار والفواكه من الأسواق، ومخلفات الصناعات الغذائية، والنفايات الخضراء، إضافة إلى النفايات العضوية الناتجة عن المزارع والمطابخ.

التهمين الطاقوي: يُعد استغلال النفايات القابلة للاحتراق في إنتاج الطاقة أحد الخيارات الاقتصادية ذات الأهمية للدول، لما يوفره من مورد إضافي يساهم في دعم الدخل القومي، فضلاً عن دوره في تقليص كميات النفايات المتراكمة.

إعادة الاستخدام: يقصد بإعادة الاستخدام توظيف المنتج مرة أخرى، سواء للغرض نفسه أو لأغراض أخرى، دون إخضاعه لعمليات إعادة التصنيع. وتُعد هذه الآلية أكثر كفاءة مقارنة بإعادة التصنيع، كونها تحافظ على المادة الأصلية وتجنب استهلاك طاقة إضافية مرتبطة بمراحل الإنتاج الجديدة.

ويوضح الشكل التالي المكونات الرئيسية لإدارة النفايات

الشكل 1: (التسلسل الهرمي لإدارة النفايات)



المصدر: جان الأشقر، 2022، صفحة 9

ملاحظة: (الأشكال والمخططات بصيغة صورة Sous forme d'image يجب أن تكون (habillage devant le texte). ويجب أن يكون الشكل متوسط الصفحة (Centrer).

4. استخدام الذكاء الاصطناعي في إدارة النفايات :

1.4. مفهوم الذكاء الاصطناعي:

يشهد العالم في الوقت الراهن تطورًا تكنولوجيًا متسارعًا يُعرف بالثورة الصناعية الرابعة، التي يُعد الذكاء الاصطناعي أحد أبرز مكوناتها. ويُصنّف الذكاء الاصطناعي كأحد فروع علوم الحاسوب، ويُشار إليه بالمصطلح الإنجليزي Artificial Intelligence (AI)، حيث يُستخدم لوصف الأنظمة والتقنيات القادرة على محاكاة القدرات الذهنية البشرية في تنفيذ المهام المختلفة، اعتمادًا على البيانات المتاحة. وفي هذا السياق، تتجه العديد من المؤسسات إلى استثمار موارد كبيرة في مجال علوم البيانات، الذي يجمع بين الإحصاء وعلوم الحاسوب والمعرفة الإدارية، بهدف استخراج القيمة والمعرفة من مصادر البيانات المتنوعة. (أحمد دقعة، أحمد حنيش، 2024، ص231-249)

تعرف هيئة الأمم المتحدة الذكاء الاصطناعي على أنه الحدود الجديدة للإنسانية، بمجرد عبور هذه الحدود، سيؤدي الذكاء الاصطناعي إلى شكل جديد من الحضارة الإنسانية، المبدأ التوجيهي للذكاء الاصطناعي ليس أن يصبح مستقلاً أو يحل محل الذكاء البشري. ولكن يجب علينا أن نتأكد من تطويره من خلال نهج إنساني قائم على القيم وحقوق الإنسان . (هيئة الأمم المتحدة، 2024)

يُعرّف الذكاء الاصطناعي بأنه مجموعة من التقنيات التي تمكن الآلات، ولا سيما أنظمة الحاسوب، من محاكاة بعض القدرات الذهنية للإنسان. وتشمل أبرز تطبيقاته الأنظمة الخبيرة، ومعالجة اللغة الطبيعية، والتعرف على الكلام، ورؤية الحاسوب. ويُعد الذكاء الاصطناعي أحد فروع علوم الحاسوب الذي يهدف إلى تصميم وتطوير أنظمة وبرمجيات قادرة على أداء مهام تتطلب عادةً مستوى من الذكاء البشري. ويتمثل الهدف الأساسي للذكاء الاصطناعي في بناء أنظمة تستطيع التفكير واتخاذ القرارات بصورة قريبة من الإنسان، والتعلم من البيانات المتاحة، والتفاعل بكفاءة مع البيئة المحيطة والمستخدمين (Lev Craig and others , 2024) .

2.4. استخدامات الذكاء الاصطناعي في مجال إدارة النفايات:

1.2.4. أنظمة الحاويات الذكية:

تقتصر وظيفة الحاويات التقليدية على تجميع النفايات، الأمر الذي يفرض على عمال النظافة القيام بعمليات تفقد يدوية لتحديد مستوى امتلائها، وهي طريقة تفتقر إلى الكفاءة في إطار المراقبة الدورية لعمليات جمع النفايات. كما أن الامتلاء المتكرر للحاويات يهيئ بيئة مناسبة لانتشار الحشرات والكائنات الممرضة، بما يشكل خطراً صحياً (Noiki Ayodeji and others, 2021, p6) وفي هذا السياق، يُعد تطوير أنظمة ذكية لمراقبة حاويات النفايات عنصراً أساسياً في دعم توجهات المدن الذكية وقد ركزت العديد من الدراسات الحديثة حول الحاويات الذكية على وظيفتين رئيسيتين، تتمثلان في التصنيف الآلي للنفايات ومراقبة مستويات امتلاء الحاويات

2.2.4. الروبوتات المخصصة لفرز النفايات:

يُعد فرز النفايات من الممارسات الأساسية في إدارة النفايات الصلبة البلدية، ويُساهم توظيف الروبوتات في رفع كفاءة هذه العملية بشكل ملحوظ. غير أن تشغيل الروبوتات في بيئات الفرز الصناعية يواجه تحديات متعددة، نظراً لما تتسم به هذه البيئات من تنوع وتعقيد وعدم قابلية للتنبؤ، مما يستلزم توفر قدرات متقدمة في مجال الرؤية الحاسوبية والأنظمة الميكانيكية، وقد انصبّت الأبحاث الحديثة على تحسين دقة وأداء روبوتات فرز النفايات، من خلال تطوير مستشعرات وكاميرات أكثر كفاءة للتعرف على مختلف أنواع النفايات، إلى جانب اعتماد خوارزميات ذكاء اصطناعي متقدمة لتعزيز عمليات التصنيف. وفي هذا الإطار، يُعد استخدام تقنيات التصوير الطيفي الفائق (Hyperspectral Imaging) من المقاربات الواعدة لتحديد المواد المستهدفة بدقة أعلى.

على الرغم من الدور الكبير الذي يمكن أن تؤديه روبوتات فرز النفايات في تحسين كفاءة إدارة النفايات، وخفض تكاليف اليد العاملة، ورفع دقة عمليات التصنيف، إلا أن بعض الآراء تشير إلى محدودية جدواها العملية نتيجة ارتفاع تكاليف التركيب والصيانة مقارنة بأساليب الفرز التقليدية. وفي هذا السياق، يواصل الباحثون العمل على تطوير حلول أقل تكلفة، من خلال استخدام مواد تصنيع أكثر اقتصادية أو تصميم روبوتات قادرة على العمل في بيئات تشغيل مختلفة. كما تتجه الجهود البحثية إلى تحسين البنية الهيكلية للروبوتات، وتطوير أجهزة الاستشعار، وتعزيز خوارزميات تصنيف النفايات، وتحسين أذرع الروبوت لزيادة فعاليتها وكفاءتها. ومن المتوقع أن تغطي تقنيات فرز النفايات الآلية باهتمام متزايد وأن تلعب دوراً محورياً في التطبيقات العملية مستقبلاً.

(Bingbing Fang1 and others, 2023, p 1963)

3.2.4. المراقبة المعتمدة على المستشعرات للنفايات:

المراقبة المعتمدة على المستشعرات هي تقنية تستخدم أجهزة الاستشعار لتتبع كمية النفايات الناتجة، وتحديد مصادرها، وتقييم كفاءة استراتيجيات إدارة النفايات في نطاق جغرافي معين. تُعرف شبكة المستشعرات اللاسلكية بأنها شبكة مكونة من عدد كبير من المستشعرات اللاسلكية ذاتية التنظيم، تُركب لمراقبة المعايير الفيزيائية أو البيئية للنظام، وهناك أنواع مختلفة من المستشعرات، مثل مستشعرات درجة الحرارة، والرطوبة، والروائح، والأشعة تحت الحمراء، والغاز، والصوت، بهدف زيادة فعالية إدارة النفايات.

يمكن استخدام هذه المستشعرات لمراقبة المعايير في الوقت الفعلي، مما يتيح تحكماً أفضل في عملية معالجة النفايات. فعلى سبيل المثال، يمكن تطوير أنف إلكتروني باستخدام المستشعرات لقياس تركيز الروائح في الوقت الفعلي للمساعدة في معالجة مياه الصرف.

(Ibid, p 1964)

4.2.4. نماذج التنبؤ بتوليد النفايات:

حظي البحث في نماذج التنبؤ بتوليد النفايات في الآونة الأخيرة باهتمام متزايد، حيث تم اقتراح نماذج مختلفة لتحسين القدرة على التنبؤ بكمية النفايات الناتجة. تشمل هذه النماذج النماذج الإحصائية، ونماذج التعلم الآلي، ونماذج التعلم العميق، والنماذج الضبابية. وتُعد

خوارزميات الذكاء الاصطناعي من أكثر النماذج تقدماً وموثوقية في مجال التنبؤ بتوليد النفايات، نظراً لما تتمتع به من قدرات فريدة (مثل إدخال البيانات، والتعلم، والتنبؤ). (Coskuner and others, 2020, p9)

5.2.4. مراقبة وتتبع المواد النفايات:

يمكن استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي لتسهيل عمليات فرز النفايات وإعادة التدوير بشكل أكثر كفاءة وفعالية. حيث يمكن للأنظمة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي مراقبة عملية إعادة التدوير لاكتشاف أي انحرافات، مثل التصنيف الخاطئ للمواد أو تلوثها، وتنبيه الجهات المختصة لاتخاذ الإجراءات التصحيحية اللازمة. علاوة على ذلك، يمكن للذكاء الاصطناعي تحسين عملية إعادة التدوير من خلال تحليل بيانات العملية واقتراح تحسينات

كذلك يمكن للذكاء الاصطناعي تحسين كفاءة الحصول على معلومات التلوث البيئي بشكل كبير، ومع تطور تقنيات البيانات الضخمة، يمكن للذكاء الاصطناعي أن يعزز سرعة وكفاءة جمع المعلومات البيئية، حيث يمتلك قدرات إدراك قوية تتيح له التعرف بفعالية أكبر على مصادر المعلومات البيئية وإصدار أحكام أولية حول الوضع البيئي الحالي. على سبيل المثال، يمكن للذكاء الاصطناعي تحديد موقع وحجم مصادر التلوث الضوضائي من خلال التعرف على الأصوات، وعرض حالة الضوضاء في المنطقة عبر تحليل الطيف الصوتي، مما يمكن صانعي القرار من فهم توزيع الضوضاء بشكل واضح (Bingbing Fang1 and others, op-cit,p 1965)

6.2.4. التحليل الكيميائي للنفايات باستخدام الذكاء الاصطناعي: تتمثل أحدث تطبيقات الذكاء الاصطناعي في الكيمياء المتعلقة بالنفايات في:

التحلل الحراري للنفايات:

إن ربط المدخلات بالاستجابات المقابلة يمكن أن يحسن من أداء التعلم الآلي من خلال فهم العلاقات الرياضية بين العمليات المعقدة والخوارزميات. تتضمن الدراسة متغيرات إدخال مثل سعة التغذية (كغ/ساعة)، ودرجة حرارة التحلل الحراري ($^{\circ}\text{C}$)، وزمن مكوث البخار (ثانية). كما تُؤخذ في الاعتبار خصائص المواد الخام، بما في ذلك تركيب الأنواع المختلفة من البلاستيك، والتحليل النهائي، وحجم الجسيمات (مم) كعوامل إدخال في البحث.

يمكن لهذه النماذج تحديد وتقييم المحفزات التي تحسن من إنتاج الهيدروجين مع تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. بالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام هذه النماذج لتحسين تحميل المحفزات غير المتجانسة أثناء التغويز المائي الحراري، ومحاكاة عملية التغويز المائي الحراري للنفايات الحيوية باستخدام هيدروكسيد الصوديوم لدراسة الأثر البيئي للعملية (Cheng Y and others, 2023, p2)

تقدير انبعاثات الكربون:

إن تركيب مصدر الكربون (الفحم الحيوي، الأحفوري، والخالل) يعد عاملاً أساسياً في تحديد انبعاثات الغازات الدفيئة الناتجة عن حرق النفايات الصلبة. يمكن لتقنيات التعلم الآلي، مثل "الغابات العشوائية" و"آلات الدعم الناقل"، الكشف عن الروابط الخفية والتنبؤ بخصائص مجموعات النفايات الصلبة. يمكن حساب محتوى الكربون في المصادر البيولوجية والأحفورية من حيث الكتلة باستخدام التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء والتعلم الآلي، مما يتيح للباحثين تقييم تأثير حرق النفايات الصلبة على تقليل انبعاثات الكربون وتوفير قدر كبير من الجهد والمواد الكاشفة.

في المعالجة البيولوجية، يمكن استخدام خوارزميات التعلم الآلي لفصل الشوائب عن المواد الخام، والكمبوست، والهضم الصلب. وهذا يمكن أن يساعد في تقليل المخاطر البيئية المحتملة وتحسين ربحية منتجات الكمبوست والهضم اللاهوائي.

5. توجه الجزائر نحو استخدام الذكاء الاصطناعي في إدارة وتثمين النفايات:

1.5. واقع إدارة النفايات في الجزائر:

تعتبر عملية إدارة النفايات في الجزائر من المواضيع البيئية العاجلة حيث تزداد أهميتها مع زيادة النمو السكاني والتوسع وما رافقه من توسع عمراني وصناعي. و تنتج البلاد ملايين الأطنان من النفايات سنوياً، مما يشكل تحدياً كبيراً من حيث معالجتها والتخلص منها بطريقة آمنة. وفيما يلي حجم النفايات المتولدة في الجزائر بين سنتي 2014 و 2020:

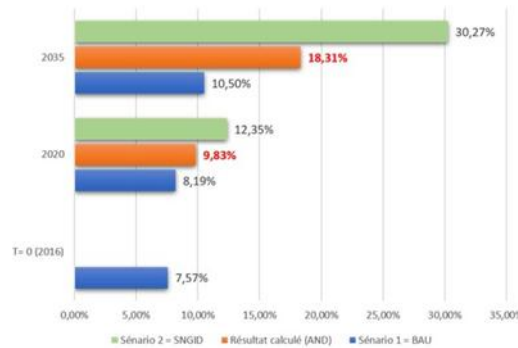
الجدول 1: حجم النفايات 2020-2014

السنة	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
الحجم بالطن	10,7	11,2	11,7	12,1	12,6	13,1	13,5

Source: Système National d'Information sur les Déchets, <https://snid.and.dz/indicateurs.php> Consulté le : 5/8/2025

مما سبق نلاحظ أن حجم النفايات في تزايد مستمر سنوياً، في حين أن نسبة تثمين النفايات المنزلية لجميع القطاعات مجتمعة تبقى منخفضة بالمقارنة مع الانتاج السنوي للنفايات حيث قدرت بـ 9.83% لسنة 2020، في حين من المتوقع أن يصل الانتاج السنوي للنفايات إلى 20 مليون طن في 2035 ، وهذا ما يوضحه الشكل التالي:

الشكل 2: نسبة تثمين النفايات



Source : <https://snid.and.dz/indicateurs.php> (consulté le : 4/8/2025)

إن نشاط تثمين النفايات له أثر مباشر جد إيجابي على النمو الاقتصادي، حيث سجلت الجزائر لسنة 2020 قيمة اقتصادية تقدر بـ 78.4 مليار دينار، كما هو موضح في الشكل التالي:

الشكل 3 : القيمة الاقتصادية لتثمين النفايات



المصدر : الوكالة الوطنية لتسيير النفايات، 2020، صفحة 64

و من أجل الاستفادة من مميزات عملية التثمين فقد تم اعتماد ثلاث مخططات وطنية لإدارة وتثمين النفايات بالإضافة إلى البرامج الولائية والمخططات البلدية كما يلي:

على المستوى البلدي : (الوكالة الوطنية لتسيير النفايات، مرجع سبق ذكره، صفحة 21)

يستهدف المخطط البلدي لتسيير النفايات الاطار التنظيمي والقوانين المعمول بها ، حيث يهدف إلى تقديم حلول فعالة لتسيير النفايات في مختلف مناطق البلدية، و يتم إعداده وتطويره من طرف رئيس المجلس الشعبي البلدي (PAPC) مع ضرورة توافقه مع مخطط تهيئة الولاية (PAW).

يقوم المخطط البلدي لتسيير النفايات بدراسة مفصلة لجميع الجوانب المتعلقة بتسيير النفايات بما في ذلك طريقة الجمع، الكس التثمين التسيير التجاري و الإداري... إلخ، و تتمحور الدراسة على ثلاث مهام رئيسية تتمثل في :

- إجراء تقييم لتطور البيانات الأولية ن خلال تحديد طريقة ما قبل الجمع، الجمع، النقل، طرق المعالجة المتوفرة؛
- اقتراح مخططات تنظيمية جديدة لتسيير النفايات المنزلية وما شابهها والنفايات الهامدة؛
- تقييم التكاليف اللازمة لتنفيذ المخطط البلدي.

على المستوى الولائي : يتم إنجاز المخطط الولائي لتسيير النفايات الخاصة (الطبية والصناعية...) بإشراف المديريات الولائية للبيئة.

على المستوى الوطني: وتتمثل في ثلاث برامج:

✓ البرنامج الوطني للتسيير المندمج للنفايات الصلبة (PROGDEM): اعتمدته الحكومة عام 2002، ويهدف إلى تحقيق

مجموعة من الانجازات كانجاز 122 مركز ردم تقني 146 (CET) مفرغة مراقبة 32 مكب للنفايات 29 مركز فرز 54 مركز ردم صنف 3 (CET III) للنفايات الخاملة) و إعادة تأهيل 40 مفرغة مفتوحة.

✓ المخطط الوطني لإدارة النفايات الخاصة: (PNAGDES)

✓ الاستراتيجية الوطنية للإدارة المدججة وتثمين النفايات 2035 : (SNGID 2035) وتعكس هذه الاستراتيجية اهتمام

الجزائر بالإدارة المستدامة للنفايات وضرورة تثمينها ، وتعتبر عن مدى ادراكها للأهمية البالغة لهذه العملية. (فضيلة رحومي، مرجع سبق ذكره، صفحة 658)

2.5. تطبيقات الذكاء الاصطناعي في إدارة النفايات في الجزائر: تشهد الجزائر تزايد مستمر بتوظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة النفايات، حيث نجد:

1.2.5. النظام الوطني للمعلومات حول النفايات SNID:

النظام الوطني للمعلوماتي للنفايات هو عبارة عن منصة وطنية للمعلومات يتضمن معطيات ومؤشرات دقيقة ومحدثة لكل مرحلة من سلسلة التسيير المدمج للنفايات انطلاقا من مرحلة الإنتاج وصولا إلى مرحلة معالجة النفايات على المستوى المحلي، الولائي أو الوطني ، ومن بين أهم هذه المؤشرات:

كمية النفايات المنزلية المنتجة والمعالجة بمراكز الردم التقني؛

معدل إعادة تدوير النفايات غير الخطرة؛

عدد المتعاملين الاقتصاديين الناشطين في المجال.

تستخدم هذه المؤشرات في اتخاذ القرارات الضرورية لتحسين خدمات تسيير النفايات.

2.2.5. تطبيق نظيف :

قامت الوكالة الوطنية للنفايات بإطلاق تطبيق نظيف يوم 14 جويلية 2019 والذي يمكن تحميله على مختلف الأجهزة الالكترونية

المحمولة عبر تطبيق PLAY STORE

يسمح هذا التطبيق للمواطنين بالاتصال مباشرة بالوكالة الوطنية للنفايات من أجل التبليغ عن كافة المخالفات المتعلقة بالنفايات سواءاً فيما تعلق بالمفارغ العشوائية، النقاط السوداء، أو التأخر في عملية جمع ورفع النفايات أو نقص الحاويات .

وهذا عن طريق ارسال صور لمكان تواجد النفايات عبر التراب الوطني بفضل Géolocalisation التي تكشف عن الموقع الجغرافي للشكوى. ثم تقوم الوكالة الوطنية للنفايات بتحويل هذه الشكاوى بشكل آلي ومباشر الى الجماعات المحلية للتكفل بها وهذا ما يجعلها حلقة وصل فعال بين الطرفين . (<https://and.dz/ndi/>)

3.2.5. بورصة النفايات الصناعية:

قامت الوكالة الوطنية للنفايات في 05 جوان 2015 بإطلاق منصة إلكترونية عبر الموقع الإلكتروني الخاص بها bourse.and.dz تربط بين منتجي ومسترجعي النفايات المعاد تدويرها في الجزائر، وقد تم تطويرها لاحقا عبر إصدار طبعة ثالثة بحلة جديدة متوفرة باللغتين الفرنسية والعربية، كما تتضمن المنصة فضاءا اشهاريا خاصا بالمؤسسات وكذلك بطاقات تقنية للنفايات ومزودة بأسعار النفايات.

تهدف بورصة النفايات الصناعية إلى :

- تنظيم فروع تجميع النفايات القابلة للتدوير ؛
- تشجيع وتطوير شراكات مستدامة مع متعاملين جدد؛
- تكوين رؤية شاملة حول السوق الوطنية في تجميع النفايات ؛
- ترشيد استخدام المواد الأولية والتقليل من فاتورة الاستيراد؛
- إطالة العمر الاستغلالي لمراكز الردم التقني من خلال الحد من تدفق كمية النفايات الموجهة اليها.

4.2.5. منصة MyGeocycle :

قامت الشركة الفرنسية Geocycle المتخصصة في إدارة النفايات في 14 يوليو 2024، بإطلاق منصة MyGeocycle ، تزامنا مع سعي الحكومة الجزائرية إلى تحديث عملية إدارة النفايات عبر توظيف مختلف التقنيات التكنولوجية والحلول الرقمية المتقدمة. وفي هذا السياق أشارت وزارة البيئة والطاقة المتجددة الجزائرية ضمن الاستراتيجية الوطنية للإدارة المدججة واسترجاع النفايات بحلول عام 2035 (SNGID 2035)، إلى أن إدارة النفايات الحالية في الجزائر تواجه العديد من التحديات والعوائق التي تنعكس سلباً على المواطنين والاقتصاد والبيئة". وتهدف هذه الاستراتيجية، من بين أمور أخرى، إلى تقليص النفايات المنزلية وما شابهها بنسبة 10% بحلول 2035، واسترجاع 47% من النفايات المنزلية وما شابهها، و47% من النفايات الخاصة، و60% من النفايات الخاملة (https://www.mc2.gr/el/news/algeria-mygeocycle-platform-launched-digitise-waste-management?utm_source=mc2.gr) .

كما تهدف المنصة إلى تحسين العمليات للشركات من خلال إتاحة المراقبة والإدارة الآنية ، كما تعمل على تحسين الكفاءة التشغيلية، مما يساعد على خفض التكاليف ، إلى جانب تقليل الأثر البيئي لهذه النفايات. ووفقا لما أفادت به شركة Geocycle : "فإن هذه المنصة تساعد الشركات على الامتثال للوائح البيئية و تحسن عملياتها من خلال سهولة الحصول على المعلومات وأتمتة العمليات ، كما أنها تروج للممارسات المستدامة والمبتكرة في إدارة النفايات الصلبة"

وفي الجزائر، ستمكن الشركة الفرنسية من الاستفادة من نتائج دراسة حديثة أجرتها الوكالة الوطنية للنفايات (AND) حول سلوك المواطنين تجاه النفايات ، وذلك لتوظيف منصتها الرقمية في دعم جهود التوعية بأهمية تبني ممارسات مسؤولة بيئياً في تسير النفايات الصلبة.

5.2.5. المركز الرقمي للتوثيق التابع للوكالة الوطنية للنفايات:

قامت الوكالة الوطنية للنفايات بتطوير مركزا رقمي للتوثيق تحت اسم «Waste Doc Center» وهو منصة الكترونية وتطبيق هاتفي متوفر بثلاث لغات (العربية، الإنجليزية والفرنسية) موجه لفائدة الطلبة الجامعيين وكل المهتمين بمجال إدارة النفايات و يمكن الولوج إليهما بكل سهولة من أي مكان وفي أي وقت للحصول على مختلف المراجع، الكتب، المقالات العلمية والصحفية، التقارير، مذكرات التخرج، رزنامة لأهم المواعيد والتظاهرات المتعلقة بالبيئة وبمجال تسيير النفايات بشكل خاص وغيرها ويمكن التسجيل في هذا المركز عن طريق الموقع wastedoccenter.and.dz أو عن طريق التطبيق الهاتفي waste.doc.center مجانا عبر متجر. play store

يُعد هذا المركز الأول من نوعه المخصص لمجال النفايات، وقد أنشئ لتنفيذ توجيهات الوزارة، في إطار توجه الحكومة نحو تعزيز الرقمنة، بهدف تسهيل الوصول إلى المعلومات وضمان متابعة توثيقية مستمرة من أجل إنشاء رصيد وثائقي حول النفايات (<https://wastedoccenter.and.dz/fr#about-section>)

6.2.5 الشركات الناشئة الرقمية في إدارة النفايات:

Nrecycli :

تتخذ شركة Nrecycli من الجزائر العاصمة مقرا لها، وتقدم تطبيقاً رقمياً لفرز النفايات يقوم بإدماج جامعي النفايات غير الرسميين ونقاط التجميع ضمن نظام الاقتصاد الدائري. تأسست الشركة سنة 2019، كمبادرة رقمية مبتكرة تسمح بمشاركة المواطنين في مختلف عمليات إدارة البلاستيك والورق و الورق المقوى.

وقد حظيت Nrecycli باعتراف دولي بفوزها بجائزة رواد الأعمال الاجتماعيين الشباب في الدوحة، قطر، نظير اسهاماتها الاجتماعية والبيئية.

Revadex :

تأسست Revadex سنة 2019 و مقرها الجزائر العاصمة، وهي سوق الكترونية تربط منتجي النفايات (الشركات، المكاتب) مع شركات إعادة التدوير، مما يسهل إعادة ادماج المواد الخام الثانوية في الدورة الانتاجية ، وتوفر حلوًا مبتكرة كصناديق Revabox لجمع البلاستيك والورق وعلب المشروبات أو النفايات العضوية كل على حدى، مما يتيح تحويل النفايات إلى موارد قابلة للاستغلال، وقد تمكنت Revadex من بناء شبكة من الشركاء المحليين لنشر صناديق Revabox وزيادة وعي الشركات بالانتقال نحو الممارسات البيئية المستدامة (<https://leancubator.co/article/startups-de-l-economie-circulaire-a-suivre-en-afrique-du-nord-2>).

5. الخاتمة:

ختاما يمكننا القول أن الجزائر على غرار باقي الدول الساعية إلى التنمية و الحدائة قد دخلت مرحلة متقدمة من التحول الرقمي شملت العديد من القطاعات كالصحة ، التعليم ، النقل و غيرها كلها خطوات تعكس الوعي المتزايد بأهمية التكنولوجيا في تحديث البنية التحتية، تحسين جودة الحياة و تبسيط العلاقة بين المواطن و الدولة.

في هذا الإطار، يُعد تحديث منظومة تسيير النفايات من بين الأولويات الرئيسة لهذه الرؤية عبر استحداث حلول تكنولوجية مبتكرة توازن بين الحفاظ على البيئة وتعزيز الاقتصاد الوطني. ومن هذا المنطلق، صدرت تعليمات رئاسية صارمة من أجل تسريع وتيرة التحول الرقمي في إدارة المدن، مع توفير بيئة حضرية نظيفة ومستدامة بالاعتماد على أحدث التقنيات.

في ضوء ما تم عرضه، توصلنا إلى النتائج التالية:

1.5. النتائج :

- يعد دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة النفايات ضمن إطار الاقتصاد الدائري في الجزائر خطوة استراتيجية نحو تحقيق التنمية المستدامة وتقليل الأثر البيئي؛

• قامت الجزائر بإطلاق مشاريع وأنظمة ذكية لإدارة النفايات ، إلى جانب تطوير البنية التحتية الرقمية التي تدعم هذه الحلول المتقدمة؛

• تُمكن آليات الذكاء الاصطناعي من تحسين جمع النفايات وفرزها ومعالجتها بكفاءة أعلى، مستندة إلى التحليلات التنبؤية والمعالجة الذكية للبيانات؛

• بالرغم من توجه الجزائر نحو تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في مختلف المجالات بصفة عامة و في مجال إدارة النفايات بصفة خاصة إلا أن هذا التطبيق يواجه عدة عقبات، أبرزها نقص الكفاءات التقنية المحلية، وضعف البنية التحتية الرقمية، ومحدودية التمويل، إضافة إلى غياب إطار تشريعي متكامل ينظم هذا المجال.

2.5. وعليه ومن أجل تجاوز هذه المعوقات توصي الدراسة بـ:

• وضع استراتيجية وطنية شاملة للذكاء الاصطناعي في المجال البيئي، تُدرج فيها إدارة النفايات كأولوية أساسية، وتعمل على تحديد الأهداف والتوجهات المستقبلية بوضوح؛

• تطوير بنية تحتية رقمية متكاملة تشمل إنشاء قواعد بيانات بيئية موحدة، وشبكات استشعار ذكية قادرة على رصد النفايات في الزمن الفعلي؛

• تعزيز التنسيق المؤسسي بين مختلف القطاعات، مثل وزارات البيئة و التعليم العالي من أجل توحيد الجهود نحو تحقيق الاستدامة البيئية؛

• تشجيع الابتكار والشراكات مع الشركات الناشئة المتخصصة في الذكاء الاصطناعي ؛

• تأهيل الكفاءات الوطنية من خلال دعم برامج التكوين الجامعي والمهني في الذكاء الاصطناعي التطبيقي وتحليل البيانات البيئية؛

• تشجيع البحث العلمي وتمويل المشاريع البحثية المتعلقة بالذكاء الاصطناعي والنمو الأخضر؛

• تحديث الإطار التشريعي والتنظيمي بما يسمح بإدماج الحلول الذكية في القطاع البيئي؛

• تعزيز الوعي البيئي والتكنولوجي لدى المواطنين، وتشجيع مشاركتهم في المبادرات الذكية عبر التطبيقات التفاعلية، بما

يسهم في ترسيخ ثقافة الاستدامة ويجعل من المجتمع شريكاً فعالاً في إنجاح التحول نحو إدارة ذكية ومستدامة للنفايات في الجزائر.

6. قائمة المراجع:

• الوكالة الوطنية للنفايات، (2020)، تقرير حول حالة تسيير النفايات في الجزائر، <https://and.dz/rapports/> تم الاطلاع عليه يوم 2025/8/6

• ليليا بن منصور ، وآخرون، (2019)، التحول للاقتصاد الدائري الخلق مناصب عمل جديدة - تجربة دول متقدمة، مجلة ميلاف للبحوث والدراسات ، المجلد 5، العدد 2، الصفحات 314-331

• عبد الرزاق حواس ، مجدوب علاء الدين ، (2019)، الاقتصاد الدائري كنظام لحماية البيئة، مجلة آفاق للبحوث والدراسات، المجلد 2، العدد 2، الصفحات 287-295

• الأشقر جان ، (2022)، الإدارة المستدامة للنفايات الصلبة: نحو استراتيجية كاملة وفعالة، المجلة العربية لسياسات العلوم التكنولوجية والابتكار ، العدد 3، الصفحات 9-17

• أحمد دفعة ، حنيش أحمد ، (2024)، استخدام التقنيات الحديثة للذكاء الاصطناعي في الدول العربية (دراسة حالة الجزائر) ، مجلة الدراسات الاقتصادية والمالية -، المجلد 17 ، العدد 1، الصفحات 231-249

- فضيلة رحومي، (2023)، إدارة وتثمين النفايات في الجزائر بين الفرص المهددة والطاقات الكامنة في ضوء التجربة الألمانية، مجلة الأفق للدراسات الاقتصادية، المجلد 8 العدد 1، الصفحات 663-636
- وسيلة سعود ، فرحات عباس،(2019)، إدارة النفايات كمدخل للاقتصاد الدائري- عرض حالة الاتحاد الأوروبي، مجلة البحوث الاقتصادية والمالية، المجلد(6)، العدد(6)، الصفحات 90-67
- صدى مدحت مجيد الساهوكي،(2017)، تدوير النفايات ودورها في تحقيق الكفاءة الانتاجية (بحث تطبيقي في معمل سمنت بازيان شركة لافارج الفرنسية) ، جزء من متطلبات نيل شهادة محاسبة كلف وإدارية، جامعة بغداد.
- فاتح غلاب ، (2021)،الاقتصاد الدائري .. مفاهيم وتجارب مختارة، مجلة أبحاث ودراسات التنمية، المجلد 8، العدد (2)، الصفحات 444-459

- هيئة الأمم المتحدة، (2024)، نحو اخلاقيات الذكاء، الاصطناعي. تم الاسترداد من <http://www.un.org/ar> يوم 28

2025/07/

- ALLIANCE HQE-GBC France, L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE: TREMPLIN DU BATIMENT DURABLE POUR TOUS-15 LEVIERS POUR AGIR».
 - Bingbing Fang1 and others, (2023), Artificial intelligence for waste management in smart cities: a review, Environmental Chemistry Letters 21:1959–1989
<https://doi.org/10.1007/s10311-023-01604-3> p
 - Cheng Y, Ekici E, Yildiz G, Yang Y, Coward B, Wang J, (2023), Applied machine learning for prediction of waste plastic pyrolysis towards valuable fuel and chemicals production. J Anal Appl Pyrol 169:105857. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2023.105857>
 - Lev Craig and others , What is AI (Artificial Intelligence)? Definition, Types, Examples & Use Cases, available at: <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/AI-Artificial-Intelligence>, (Reviewed on 1 /8/2025)
 - Ministère de l'Écologie, (2014), du Développement durable et de l'Énergie. L'économie circulaire : état des lieux et perspectives (Rapport n°009548-06). CGEDD.
 - Medjdoub Alaeddine,(2020), The circular economy: conceptual and theoretical framework , Journal of Economic Integration,vol8/n1.
 - Noiki A, Afolalu SA, Abioye AA, Bolu CA, Emeter ME, (2021), Smart waste bin system: a review. IOP Conf Ser: Earth Environ Science vol 655(2021):012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/655/1/012036>
 - <https://and.dz/ndi/> (consulté le : 2 /8/2025)
 - https://www.e-mc2.gr/el/news/algeria-mygeocycle-platform-launched-digitise-waste-management?utm_source=twitter&utm_medium=social (consulté le : 2/8/2025)
 - <https://wastedoccenter.and.dz/fr#about-section> (consulté le : 4/8/2025)
 - <https://leancubator.co/article/startups-de-l-economie-circulaire-a-suivre-en-afrique-du-nord-2> (consulté le : 4/8/2025)
 - <https://snid.and.dz/indicateurs.php> (consulté le : 4/8/2025)
- Système National d'Information sur les Déchets, <https://snid.and.dz/indicateurs.php>
(Consuté le : 5/8/2025)