

**IAEA**

Agence internationale de l'énergie atomique

*L'atome pour la paix et le développement*



La technologie nucléaire au service de  
la lutte contre la pollution par le plastique

# La technologie nucléaire au service de la lutte contre la pollution par le plastique (NUTEC Plastics)

## Table des matières

Résumé.....	1
1. Contexte stratégique .....	5
1.1. Un problème de développement.....	5
1.2. Résultats de l'action internationale à ce jour.....	7
2. L'avantage comparatif des technologies nucléaires .....	10
2.1. La technologie nucléaire au service d'une économie circulaire du plastique.....	10
2.2. La pollution plastique marine .....	12
2.3. Le rôle et l'approche de l'AIEA.....	13
3. L'approche axée sur les résultats de NUTEC Plastics.....	17
3.1. Comment NUTEC Plastics contribuera au passage à une économie circulaire : la théorie du changement .....	17
3.2. Objectif et effets.....	19
3.3. Modélisation économique .....	21
3.4. Durabilité, risques et atténuation .....	23
3.5. Ressources nécessaires et financement.....	23
4. Partenariats.....	23
5. Mise en œuvre .....	25
5.1. Approche de mise en œuvre.....	25
5.2. Surveillance et évaluation.....	26
ANNEXE : Références .....	27

## Résumé

Les plastiques sont indispensables à la vie moderne. Les plastiques présentent de nombreux avantages pratiques mais les grandes quantités produites finissent en déchets qui nuisent aux écosystèmes, avec de lourdes conséquences pour la biodiversité, la sécurité sanitaire des aliments et finalement la santé humaine. Quelque 70 % des plastiques produits à ce jour sont devenus des déchets et 9 % seulement ont été recyclés.

En de nombreux endroits du monde, les déchets plastiques, mal gérés, s'accumulent dans des décharges sauvages ou à ciel ouvert et finissent par arriver dans les océans, transportés par les cours d'eau ou par les vents et marées. La pollution par les déchets plastiques ne se limite pas aux océans, elle touche aussi les sols et les eaux souterraines. Les plastiques sont conçus pour être durables et même à l'état de déchet, ils ne se décomposent pas. Lorsqu'ils arrivent dans les océans, ils peuvent y rester des siècles et au fil du temps ils se fragmentent en microplastiques et nanoplastiques, si petits qu'ils s'insinuent aisément dans la chaîne alimentaire. Le plastique ne disparaît pas, il finit par s'accumuler dans les océans au fil du temps. Si la tendance actuelle se maintient, les océans contiendront une tonne de plastique pour trois tonnes de poisson en 2025 et plus de plastique que de poisson en 2050.

Pour plusieurs raisons, seuls 9 % de tous les plastiques sont recyclés. La principale est le coût élevé du recyclage. En outre, certains plastiques sont composés de plusieurs couches de divers types ou entremêlés avec d'autres matériaux, ce qui rend le recyclage particulièrement complexe et d'autant plus coûteux. Le problème de la pollution par le plastique reçoit de plus en plus d'attention dans le monde mais jusqu'à présent la communauté internationale a agi en ordre dispersé et au cas par cas. Les lacunes dans la lutte contre la pollution par le plastique tiennent à un manque de conscience, de connaissances, de politiques, de technologies et de financement.

Le **modèle linéaire production-utilisation-rebut n'est pas viable**. Il faut une approche globale établissant une économie circulaire fondée sur les 4R : réduire, réutiliser, recycler et renouveler. L'analyse et les faits montrent que les applications nucléaires peuvent compléter les technologies existantes et accélérer la transition vers une **économie circulaire des plastiques**. Cependant, hors des cercles de spécialistes, la contribution que la science et la technologie nucléaires peut apporter à la lutte contre les déchets plastiques est méconnue et donc rarement intégrée aux propositions de solutions viables et applicables à grande échelle. Il faut donc mieux faire connaître le potentiel des techniques et technologies nucléaires et surtout les appliquer plus largement dans la pratique pour les

---

***Qu'est-ce que NUTEC Plastics ? L'objectif de NUTEC Plastics est d'aider les États Membres de l'AIEA à intégrer les techniques nucléaires dans l'action qu'ils mènent pour faire face à la pollution par le plastique. NUTEC Plastics fait fond sur un ensemble de projets de recherche et de coopération technique de l'AIEA sur le recyclage du plastique à l'aide de la technologie des rayonnements et sur la surveillance des microplastiques en milieu marin à l'aide du traçage isotopique. L'AIEA agit ainsi face à une importante préoccupation mondiale : la pollution par le plastique. On trouvera dans le présent document un récapitulatif de ce que l'AIEA peut proposer et de la valeur ajoutée que peuvent apporter les techniques nucléaires, ainsi que la description d'un ensemble d'activités complétant l'action nationale et internationale déjà en cours. NUTEC Plastics se fonde sur les dernières connaissances techniques, scientifiques et économiques concernant la chaîne de valeur des plastiques et la transition vers une économie circulaire du plastique. NUTEC Plastics vise à nouer et intensifier le dialogue avec les États Membres, les partenaires, l'industrie et la société civile. Il apporte une vision des solutions que l'AIEA peut offrir pour mieux gérer les déchets plastiques. La mise en œuvre d'activités spécifiques se fera selon les modalités établies de l'AIEA telles que les projets de coopération technique, les projets de recherche coordonnée et d'autres activités programmatiques.***

---

utiliser pleinement afin de réduire la charge mondiale des déchets plastiques. Se fondant sur ses travaux passés et en cours sur la question, l'AIEA a fondé NUTEC Plastics pour aider ses États Membres à intégrer les techniques nucléaires dans l'action qu'ils mènent face à la pollution par le plastique, et pour rendre plus visible sa contribution à la lutte contre ce problème mondial.

L'AIEA a soutenu et continue de soutenir la recherche et l'intégration des techniques nucléaires dans deux domaines principaux : la surveillance et l'évaluation des plastiques marins, et le recyclage et le surcyclage des déchets plastiques et polymères.

Les **technologies des rayonnements, en particulier les rayons gamma et les faisceaux d'électrons**, présentent des propriétés et des avantages uniques pour ce qui est de réduire les déchets plastiques et polymères et donc de combler les lacunes technologiques du traitement des déchets. L'irradiation peut résoudre les problèmes de tri que connaissent les méthodes courantes de recyclage mécanique, en séparant efficacement les déchets plastiques pour alimenter différentes chaînes de recyclage, améliorant ainsi la qualité et la valeur des plastiques recyclés. Les technologies des rayonnements peuvent servir à transformer ou recycler les déchets plastiques en d'autres produits, notamment des matériaux de remplissage et des liants pour les matériaux de construction. Elles peuvent servir à réduire les polymères des déchets plastiques en composants plus petits pour produire des matières premières chimiques destinées à des produits de consommation, avec ou sans ajout de polymères vierges (non recyclés). La réduction des déchets plastiques peut aussi se faire en remplaçant les plastiques à base de pétrole par des biopolymères biodégradables produits au moyen de la polymérisation par irradiation. En outre, la technologie des rayonnements utilise des processus de production et de recyclage plus propres, ce qui réduit l'utilisation d'additifs et de solvants pouvant être néfastes et permet des économies d'énergie.

Les océans sont la destination finale de la plupart des plastiques non recyclés d'origine terrestre et il manque une connaissance et une compréhension suffisantes de la quantité et de l'incidence des **microplastiques dans les océans**. Il faut des données plus précises pour évaluer l'effet des microplastiques et des contaminants associés sur les organismes marins de la chaîne alimentaire mondiale, notamment l'alimentation des personnes, et donc sur les exportations de produits de la mer, la sécurité sanitaire des aliments et la santé humaine. Les **techniques isotopiques** sont d'une précision inégalée et complètent les techniques traditionnelles pour l'évaluation de la quantité et de la distribution des nanoplastiques et des microplastiques dans le milieu marin. Les traceurs isotopiques, les techniques d'imagerie et les compteurs gamma et beta ont des capacités uniques d'évaluation des effets des microplastiques et des nanoplastiques sur le biote marin. Ces techniques fournissent d'importants marqueurs permettant d'étudier la toxicité des plastiques pour les organismes vivants, de révéler en détail les organes et systèmes touchés et de déterminer le stress toxicologique et la propagation possible dans les chaînes alimentaires, qui peut finalement toucher les humains par la consommation de produits de la mer.

L'AIEA dispose de ses propres **laboratoires de l'environnement** en Autriche et à Monaco. Ceux-ci ont démontré leur capacité de mener de la recherche-développement appliquée, de fournir des formations et des services d'analyse et de transférer aux États Membres des techniques nucléaires éprouvées dans le domaine du contrôle radiologique de l'environnement. L'AIEA mène ces activités de recherche-développement dans ses propres laboratoires — ce qui la rend unique au sein du système des Nations Unies — mais aussi au moyen de ses vastes réseaux de recherche, composés d'établissements de recherche, d'universités et de laboratoires de référence du monde entier. Ces activités sont menées au titre de son programme de recherche coordonnée et de son programme de centres collaborateurs.

Par son **programme de coopération technique**, l'AIEA aide les pays à renforcer leurs capacités et à transférer des technologies et des connaissances, notamment en matière de rayonnements et de surveillance du milieu marin. Il y a actuellement plus de 40 projets nationaux et régionaux de coopération

technique en cours ou en préparation concernant les technologies des rayonnements et la surveillance de l'environnement océanique.

La **modélisation économique et financière** est utilisée pour estimer la contribution que les technologies, notamment celles fondées sur des solutions nucléaires, peuvent apporter afin d'accélérer la transition vers une économie circulaire du plastique. Cette méthode est appliquée à deux niveaux : premièrement, une analyse comparative des flux de trésorerie est effectuée pour estimer les gains d'efficacité de l'utilisation des technologies d'irradiation complétant les processus de recyclage existants (chimiques ou mécaniques) ; deuxièmement, en utilisant le modèle *Plastics to Ocean (P2O)* [1], élaboré pour analyser les quantités et les flux de plastiques et les déchets plastiques au niveau mondial, une analyse sectorielle est effectuée pour évaluer les avantages que pourrait générer l'introduction de nouvelles technologies. Elle permet d'estimer la « valeur ajoutée » qu'apportent les technologies nucléaires et montre l'intérêt d'établir le lien entre les laboratoires menant des initiatives d'essai et de validation des technologies de recyclage du plastique et les programmes de coopération technique, ce qui réduit le délai des transferts de technologie et accroît l'efficacité et l'efficacité des efforts de l'AIEA.

NUTEC Plastics va renforcer et intensifier l'élaboration de techniques fiables et économiques pour l'évaluation géographique et chronologique des quantités et caractéristiques des **plastiques marins** visant à mieux comprendre leurs origines, leurs déplacements, leur devenir et leur incidence. Il s'agira notamment d'établir des protocoles harmonisés et normalisés d'identification des microplastiques dans des échantillons de l'environnement, des techniques d'analyse conformes aux meilleures pratiques et à la science de pointe, et des formations à leur utilisation pour les scientifiques et les techniciens.

NUTEC Plastics intégrera les **technologies des rayonnements** en matière de recyclage des déchets plastiques dans les initiatives nationales, régionales et mondiales. Des activités menées en laboratoire visent la mise en place d'usines expérimentales de recyclage du plastique afin de déterminer les volumes, l'énergie et le financement liés à l'utilisation des technologies des rayonnements pour recycler divers déchets plastiques. Sur la base des essais de validation et des enseignements de cette expérience, la technologie sera élargie à de vastes usines de démonstration de recyclage des déchets plastiques.

Une solution globale et durable au problème mondial du plastique nécessite une approche intégrée et exhaustive qui ne peut être réalisée qu'en **partenariat** avec des organisations ayant des rôles et des compétences complémentaires. Il est essentiel de travailler avec les initiatives nationales, régionales et internationales existantes, notamment les partenariats public-privé, au niveau mondial et au niveau des pays. Il faut donc collaborer avec les entités des Nations Unies, les banques multilatérales de développement, les associations philanthropiques, les partenariats à grande échelle, notamment les plateformes multipartites, le secteur privé et les établissements scientifiques et de recherche. Le secteur privé sera un partenaire crucial de la transition vers une économie circulaire du plastique, soutenue par une forte action gouvernementale et une prise en main des pays au moyen de politiques habilitantes et d'un environnement juridique propice. Il est donc essentiel que l'AIEA collabore avec des **partenariats public-privé** de haut niveau, des fondations, des associations du secteur privé, ainsi que des entreprises qui produisent des plastiques, les recyclent ou les utilisent, afin d'éprouver la faisabilité et l'efficacité des rayonnements aux fins du recyclage des plastiques et de mettre en œuvre à grande échelle les solutions proposées.

Les deux principales composantes de NUTEC Plastics — contrôle et évaluation ; recyclage du plastique — sont intimement liées car toutes deux concourent au règlement du problème de la pollution par le plastique. Cependant, la **mise en œuvre** de ces deux composantes se fait de manière indépendante. Compte tenu de ce lien et de cette indépendance, NUTEC Plastics suit une **approche modulaire**. Celle-ci présente l'avantage de faciliter la mise en œuvre de certaines activités en fonction de la disponibilité des ressources tout en permettant aux donateurs et aux partenaires de s'engager dans des activités spécifiques correspondant à leurs profils, à leurs préférences et à leurs priorités. Plusieurs activités liées au plastique sont actuellement mises en œuvre.

NUTEC Plastics suit et suivra à cette fin diverses **modalités de mise en œuvre bien établies de l'AIEA**, telles que les projets de coopération technique, les projets de recherche coordonnée et d'autres activités programmatiques.

# 1. Contexte stratégique

## 1.1. Un problème de développement

### Description du problème du plastique

Le plastique est un élément indispensable de la vie moderne. En fait, c'est probablement le matériau le plus utilisé au monde. Conçus pour être durables, peu onéreux à produire, les plastiques ont transformé notre monde depuis que les polymères synthétiques ont été inventés il y a 150 ans et depuis que la production à grande échelle a commencé il y a 70 ans. Les plastiques ont assurément de nombreuses utilités : ils protègent les produits fragiles pendant leur transport contre la contamination ou d'autres dégradations provoquées par l'humidité, les micro-organismes et la lumière, améliorant ainsi la sécurité sanitaire des aliments ; ils protègent les produits pendant plus longtemps, réduisant ainsi les déchets ; leur légèreté permet d'économiser du carburant lors de transports au long cours, améliorant ainsi leur efficacité. Cependant, cette omniprésence même est la cause de ce problème mondial de plus en plus grave. Il est établi scientifiquement que les grandes quantités de plastiques produits et jetés nuisent aux écosystèmes et aux ressources naturelles, avec de lourdes conséquences pour la biodiversité, la sécurité sanitaire des aliments et la santé humaine [2].

### Économie linéaire : l'ampleur et l'incidence de la pollution par le plastique

En 2017, la première analyse mondiale sur la production, l'utilisation et le devenir de tous les plastiques a abouti à l'estimation que plus de 70 % de tous les plastiques jamais produits — 6.3 milliards de tonnes sur 8.3 milliards de tonnes — étaient maintenant des déchets et que 9 % seulement avaient été recyclés [3]. Si la tendance actuelle se maintient, les océans contiendront une tonne de plastique pour trois tonnes de poisson en 2025, et en 2050, il y aura plus de plastique que de poisson dans le milieu marin [4]. En de nombreux endroits de par le monde, les déchets plastiques, mal gérés, s'accumulent dans des décharges sauvages ou à ciel ouvert puis finissent par arriver dans les océans, transportés par les cours d'eau ou par les vents. Les déchets plastiques affectent aussi la terre, polluant les sols et les eaux souterraines.

Le plastique est conçu pour être durable et cette longévité signifie qu'une fois arrivé dans l'océan, il peut y rester des siècles. Au fil du temps, il se fragmente en microplastiques et nanoplastiques si petits qu'ils s'insinuent dans les organismes vivants et dans la chaîne alimentaire. Le plastique ne disparaît pas mais s'accumule, notamment dans les océans. On estime que depuis 1950, plus de 150 millions de tonnes de plastique ont abouti dans les océans [5].

La pollution par le plastique est connue pour affecter particulièrement les écosystèmes marins et leur faune [6]. L'incidence possible des plastiques sur la santé humaine fait l'objet de toute une série d'études. Nombre d'entre elles portent sur l'ingestion de microplastiques par la chaîne alimentaire et les effets probablement nuisibles du plastique dus à l'accumulation d'additifs toxiques. À ce jour, aucune étude scientifique n'indique clairement que les microplastiques sont directement néfastes à la santé humaine. La pollution par le plastique est cependant un problème d'environnement et de santé humaine mais aussi un problème majeur de développement socioéconomique qui peut affecter la biodiversité, l'infrastructure, le tourisme et les moyens de subsistance dans le secteur de la pêche.

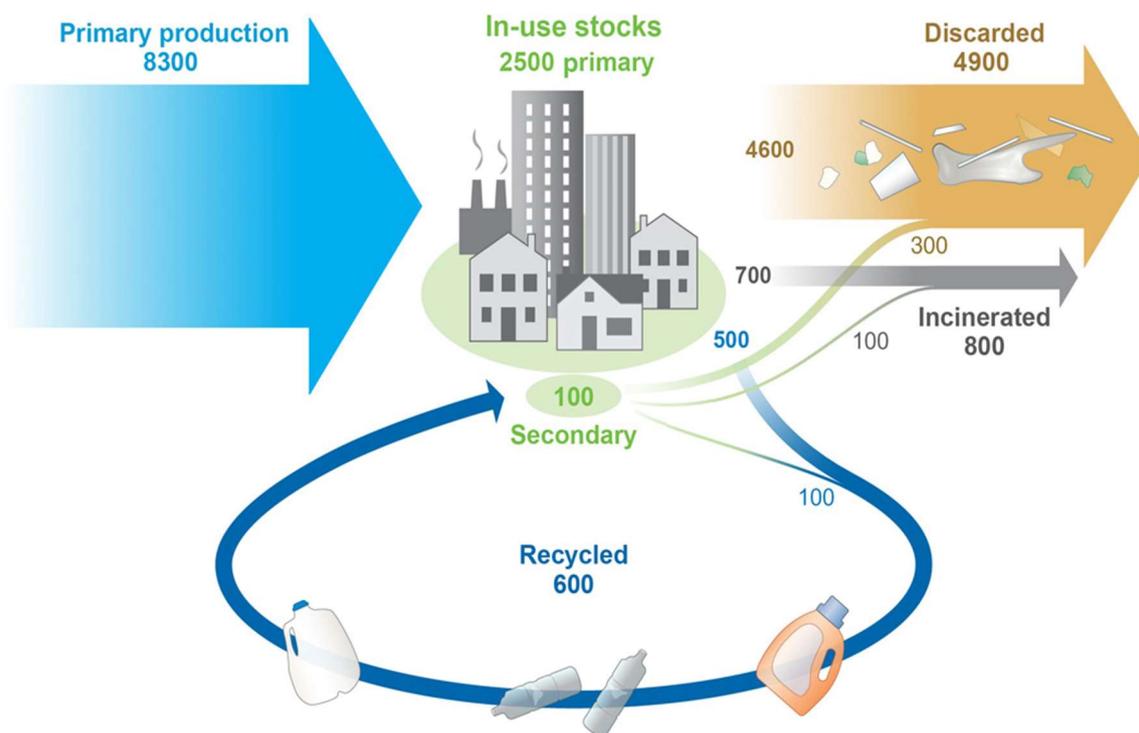


FIG. 1. L'équation mondiale des déchets plastiques : où le plastique finit-il ?  
(Source : GEYER, R., JAMBECK, J.R., LAW, K.L., Réf. [3])

Jusqu'à présent, l'économie du plastique a suivi largement un modèle linéaire « prendre, fabriquer et jeter », où le plastique est mis au rebut dès qu'il ne sert plus sa finalité initiale. Malgré l'importance énorme des plastiques dans l'économie mondiale, il est clair que leurs nombreux avantages sont de plus en plus assombrés par les effets néfastes et les externalités négatives liées aux déchets. Plusieurs pays ont donc déjà interdit certains types de plastiques à usage unique. La pandémie de COVID-19 ajoutera encore à la charge mondiale des déchets plastiques, à cause de la forte augmentation de la demande de produits plastiques à usage unique, notamment les équipements de protection individuels, utilisés par souci d'hygiène et de santé.

### Effets distincts sur les femmes et les hommes

Les effets de la pollution par les déchets plastiques, comme ceux des autres sortes de pollution de l'environnement, varient selon des facteurs tels que la situation géographique, le niveau de vie, l'âge et le sexe. Lorsqu'on étudie l'économie du plastique et ses incidences, il importe de tenir compte des effets distincts que la pollution par le plastique peut avoir sur les femmes et les hommes. La transition vers une économie circulaire du plastique est un processus complexe nécessitant la participation de toutes les parties prenantes le long de la chaîne de valeur du plastique. Il est donc crucial de tenir compte des besoins spécifiques des femmes mais aussi des autres groupes vulnérables ou marginalisés de la société touchés par la pollution due aux déchets plastiques.

### Mauvaise gestion de l'utilisation du plastique et des déchets plastiques

La forte augmentation de la production de plastique est due à plusieurs facteurs, dont la croissance démographique et l'augmentation des revenus, mais principalement aux emballages en plastique. Quarante-deux pour cent des plastiques non fibreux sont utilisés comme matériaux d'emballage, qui servent en moyenne un an ou moins avant d'être mis au rebut. De tous les plastiques produits de 1950 à 2015, seuls 9 % ont été recyclés ; 12 % ont été incinérés, 60 % jetés dans des décharges ou dans l'environnement et le reste est encore en stock ou en utilisation [3]. (Voir fig. 1.)

Ces chiffres constituent une vue d'ensemble mondiale sur une période de 65 ans. Cependant, il est clair que la gestion des déchets plastiques et en particulier le recyclage du plastique varie selon les régions et les époques. Par exemple, le taux de recyclage du plastique a continué d'augmenter dans de nombreux pays à revenu élevé depuis le début des années 2000, dépassant parfois les 30 %, mais dans de nombreux pays pauvres, il a à peine atteint les 10 % [7]. Pour les pays à revenu faible et intermédiaire, les taux de recyclage du plastique sont mal connus mais on peut supposer qu'ils sont importants là où existe un système informel efficace de gestion des déchets plastiques [8].

Pour les sources terrestres de pollution plastique, la solution passe par une amélioration des systèmes de gestion des déchets solides aux stades de l'enlèvement, du traitement et du recyclage, en particulier dans les pays à revenu faible et intermédiaire. Selon le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), le taux de ramassage n'est que de 36 % dans les pays à revenu faible. Il atteint 64 % dans les pays à revenu intermédiaire inférieur, 82 % dans les pays à revenu intermédiaire supérieur et presque 100 % dans les pays à revenu élevé [9]. Pour atteindre des taux élevés de recyclage du plastique, il est essentiel de disposer de systèmes et d'infrastructures fiables et complets de gestion des déchets et d'une réglementation qui encourage le recyclage du plastique.

Le sort du plastique après son utilisation varie grandement d'un pays à l'autre, selon le système de gestion des déchets en place. S'ils ne sont pas correctement traités, que ce soit par recyclage, incinération ou enfouissement, une grande partie des déchets plastiques finissent par arriver dans l'environnement. Si aucune mesure n'est prise, la quantité de déchets plastiques arrivant dans les océans pourrait presque tripler d'ici à 2040. Même si les engagements actuels des gouvernements et de l'industrie concernant la réduction de la pollution par le plastique étaient pleinement honorés, la réduction annuelle des déversements de plastique dans les océans ne serait que de 7 % environ [10].

Il y a plusieurs raisons pour lesquelles seuls 9 % de tous les plastiques produits à ce jour ont été recyclés ; l'une des plus cruciales tient au coût de la transition d'une économie linéaire à une économie circulaire du plastique, où le plastique jeté n'est plus considéré comme un déchet mais comme une ressource et une matière première précieuse. Ce changement nécessite un investissement initial élevé et un cadre plus propice [11]. Par exemple, le recyclage des déchets plastiques est beaucoup plus complexe que la gestion et le traitement des autres déchets car il nécessite un ramassage et un tri distincts, ce qui le rend plus coûteux que celui d'autres matériaux tels que le verre ou le papier. D'autres freins au recyclage du plastique tiennent aux caractéristiques de certains types de plastiques. Certains peuvent être particulièrement fins, comme les sacs ou les pellicules, ou constitués de plusieurs couches de divers types de polymères, ce qui rend leur recyclage particulièrement difficile ou onéreux. Le faible taux de recyclage des emballages plastiques engendre une énorme perte économique : on estime que 80 à 120 milliards de dollars de matériaux sont perdus chaque année [12].

## 1.2. Résultats de l'action internationale à ce jour

Il est clair que le modèle linéaire de production, utilisation et mise au rebut du plastique n'est pas viable. Il faut une autre approche, comme l'ont souligné les initiatives de diverses organisations, et dans cette optique, NUTEC Plastics vise la mise en place d'une économie circulaire du plastique fondée sur les 4R : réduire, réutiliser, recycler et renouveler. Le concept des 4R comprend des incitations économiques pour la réutilisation et le recyclage des plastiques, la diminution du déversement de déchets plastiques mal gérés dans l'environnement et le passage des matières premières fossiles à d'autres matières premières, renouvelables, dans la production du plastique. Il faut pour cela que de nombreux acteurs fassent de sérieux efforts pour utiliser au mieux toutes les technologies disponibles.

La pollution par le plastique est devenue une préoccupation environnementale mondiale qui mobilise la communauté scientifique mais aussi les gouvernements [13]. Des pays du monde entier ont déjà commencé à agir en adoptant des politiques et des programmes nationaux pour réduire les déchets plastiques et accroître le recyclage du plastique. Ces efforts ont été accompagnés par de nombreuses

initiatives régionales et mondiales concernant les déchets plastiques. Comme d'autres problèmes environnementaux mondiaux, la pollution due aux déchets plastiques appelle la collaboration d'un vaste ensemble d'acteurs internationaux, régionaux, nationaux et locaux. En fin de compte, ce sont cependant les gouvernements qui sont les principaux concernés par la solution à ce problème, puisqu'il leur incombe de réglementer les questions politiques, sociales et économiques au plan national et vis-à-vis des autres États.

Le cadre politique et réglementaire est un facteur déterminant du succès de l'action visant à réduire la pollution par les déchets plastiques en stimulant une réduction de l'utilisation de plastique vierge, en augmentant les quotas de recyclage et en accroissant la demande de plastique recyclé. Même si les gouvernements et l'industrie tenaient pleinement leurs engagements, les déversements annuels de plastiques dans les océans ne diminueraient que de 7 % (+/- 1 %) d'ici 2040, par rapport à des conditions inchangées [10]. Il faut un changement systémique vers une économie circulaire du plastique, où la quantité de plastique mal gérée ou mise au rebut est réduite de manière drastique et où la demande de plastique diminue sous l'effet du remplacement par d'autres matériaux et d'un recyclage accru. Il faut pour cela de bonnes incitations, davantage d'innovations et des investissements d'infrastructure.

### Points forts et lacunes des cadres politiques et réglementaires

Selon l'inventaire des politiques en matière de plastiques *Plastics Policy Inventory*<sup>1</sup>, quelque 322 instruments de politique ont été adoptés entre l'an 2000 et la mi-2019 expressément pour faire face à la pollution par le plastique, dont 29 instruments internationaux, 43 régionaux, 151 nationaux et 99 infranationaux [14]. Ces instruments de politique, réglementaires, économiques ou informatifs, prévoient divers moyens de faire face à la pollution par le plastique : élaboration de plans de réduction du plastique, mise au point de nouveaux processus de production ou amélioration de ceux existants, limitation de l'utilisation du plastique, interdiction de produits, quotas de recyclage, subventions, systèmes de consigne, taxes, etc.

### Instruments et initiatives au niveau international

La plupart des instruments adoptés au niveau international ne sont pas juridiquement contraignants. Avec le temps, ils sont devenus plus complexes et plus spécifiques, visant spécifiquement la pollution par le plastique. Ils prévoient surtout un contrôle volontaire et demandent aux États d'élaborer et de mettre en œuvre des plans d'action nationaux. Les recommandations internationales concernent principalement des mesures réglementaires positives sur la gestion des déchets plastiques et l'assainissement ; des campagnes d'éducation et de sensibilisation ; des incitations économiques à l'amélioration de la gestion des déchets plastiques et des pénalités frappant les plastiques à usage unique.

L'action internationale contre la pollution par les déchets plastiques dépasse cependant l'adoption d'instruments. Quelques exemples d'initiatives sont l'Alliance to End Plastic Waste, le New Plastics Economy Global Commitment de la Fondation Ellen MacArthur, en collaboration avec le PNUE, le Global Plastic Action Partnership (GPAP) du Forum économique mondial, la Charte sur les plastiques dans les océans, du G7, et le Cadre de mise en œuvre du G20 pour les actions sur les déchets plastiques dans le milieu marin. L'Organisation des Nations Unies a proclamé la Décennie pour les sciences océaniques au service du développement durable (2021-2030) afin de soutenir les efforts faits pour inverser le déclin de la santé océanique et rassembler les parties prenantes du monde entier autour d'un cadre commun [15].

La plupart de ces initiatives concernent plusieurs pays et sont menées par des organisations intergouvernementales telles que des organismes des Nations Unies, des secrétariats de conventions, des centres régionaux et de coordination (p. ex. PNUE, Banque mondiale ou OCDE), mais aussi par des organisations non gouvernementales, les milieux d'affaires et l'industrie. Près de la moitié sont

---

<sup>1</sup> Voir Duke University, *Plastics Policy Inventory* (2020), <https://nicholasinstitute.duke.edu/plastics-policy-inventory>.

multipartites, avec des entreprises et des organisations à but non lucratif travaillant ensemble à la transition vers une économie circulaire du plastique<sup>2</sup>.

### **Instruments et initiatives au niveau régional**

De plus en plus de politiques et d'instruments sont adoptés au niveau régional. Comme les politiques internationales, les politiques régionales concernant la pollution par le plastique sont devenues plus ciblées avec le temps, visant des types précis de pollution par le plastique [14].

En 2018, l'Union européenne a adopté sa Stratégie sur les matières plastiques dans une économie circulaire, qui vise à transformer la façon dont les produits en plastique sont conçus, utilisés, produits et recyclés [16]. Cette stratégie prévoit qu'à l'horizon 2030, tous les emballages plastiques arrivant sur le marché de l'Union doivent être réutilisables ou recyclables, plus de la moitié des déchets plastiques produits dans l'Union doivent être recyclés, et la capacité de tri et de recyclage doit avoir quadruplé par rapport à 2015. En Asie, l'Association des nations de l'Asie du Sud-Est a adopté en 2019 la Déclaration de Bangkok sur la lutte contre les débris marins dans la région, dans laquelle les membres de l'Association ont déclaré leur intention d'intensifier les efforts pour prévenir et réduire la pollution plastique marine dans le cadre d'une approche intégrée terre-mer, de renforcer les lois et règlements, de promouvoir les solutions innovantes en faveur d'une économie circulaire du plastique et de renforcer la coopération et l'échange d'informations au niveau régional et international [17]. Une autre initiative est le projet Closing the Loop de la Commission économique et sociale de l'ONU pour l'Asie et le Pacifique (CESAP), qui vise à détecter et contrôler les sources des déchets plastiques arrivant dans les cours d'eau et leur parcours [18]. En Afrique, le Réseau africain des déchets marins est un projet qui vise à générer des connaissances sur la pollution par le plastique, à sensibiliser et à former [19]. En Amérique latine et Caraïbes, l'Initiative régionale pour le recyclage inclusif, initiative multisectorielle menée par la Banque interaméricaine de développement, porte sur les secteurs formels et informels du recyclage [20].

### **Instruments et initiatives aux niveaux national et infranational**

La plupart des instruments ont été adoptés à ce jour aux niveaux national et infranational, principalement dans les pays à revenu élevé et intermédiaire supérieur [14]. Les mesures réglementaires positives portent sur l'élaboration de projets, l'amélioration de processus ou de produits existants ou des incitations au traitement responsable du plastique. Les mesures d'interdiction portent sur la limitation ou l'interdiction du plastique ou du traitement irresponsable du plastique. On recourt également à des éléments d'incitation (subventions, exemptions fiscales, systèmes de consigne) ou de dissuasion économique (redevances, droits et taxes). Enfin, les États mènent des campagnes d'information par l'enseignement et la sensibilisation, d'étiquetage du plastique, de recherche, de collecte d'informations et de signalement.

---

<sup>2</sup> La Fondation Ellen MacArthur, en collaboration avec le PNUE, a lancé en 2018 le New Plastics Economy Global Commitment, dans le cadre duquel plus de 500 organismes ont fixé des objectifs pour faire face au problème des déchets plastiques et de la pollution par le plastique à la source, d'ici 2025. Voir <https://www.newplasticseconomy.org/assets/doc/npec-vision.pdf>.

## 2. L'avantage comparatif des technologies nucléaires

### 2.1. La technologie nucléaire au service d'une économie circulaire du plastique

Dans le monde entier, on considère que la pollution par le plastique nécessite une solution durable et économiquement viable à long terme se démarquant du modèle linéaire « prendre, faire et jeter »<sup>3</sup>. Il faut donc passer rapidement à une économie circulaire du plastique, en tenant compte de la faisabilité technique et économique, fondée sur les 4R : réduire, réutiliser, recycler et renouveler.

Le problème de la pollution par le plastique reçoit une attention suffisante dans le monde mais jusqu'à présent l'action mondiale a été principalement au cas par cas. Les lacunes dans la lutte contre la pollution par le plastique — manque de conscience, de connaissance, de technologies, de financement et de politiques — demeurent un frein important [21]. Les techniques nucléaires ciblées peuvent apporter une solution scientifique unique pour surveiller la pollution microplastique marine et ses incidences sur les écosystèmes et pour améliorer le recyclage des déchets plastiques.



FIG. 2. L'économie circulaire du plastique. (Source : Fondation Ellen MacArthur<sup>4</sup>)

### Technologies conventionnelles de recyclage

La seule option de gestion durable des plastiques en fin de durée de vie utile est le recyclage intégral, ou transformation des déchets plastiques en nouveaux produits. Deux techniques de recyclage principales sont utilisées actuellement : le recyclage mécanique et le recyclage chimique. Les déchets plastiques incompatibles avec les principales technologies actuelles de recyclage peuvent être incinérés comme

<sup>3</sup> Les résolutions pertinentes de la quatrième Assemblée des Nations Unies pour l'environnement sont notamment la résolution 4/6 sur les déchets plastiques et microplastiques dans le milieu marin (UNEP/EA.4/RES.6), la résolution 4/9 sur la lutte contre la pollution par les produits en plastique à usage unique (UNEP/EA.4/RES.9), la résolution 4/11 sur la protection du milieu marin contre la pollution due aux activités terrestres (UNEP/EA.4/RES.11) et la résolution 4/1 sur les moyens novateurs de parvenir à une consommation et une production durables (UNEP/EA.4/RES.1) sont disponibles à l'adresse : <https://web.unep.org/environmentassembly/proceedings-report-ministerial-declaration-resolutions-and-decisions>.

<sup>4</sup> Voir : Fondation Ellen MacArthur, A Circular Economy for Plastic (l'économie circulaire du plastique) (2016), [www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/images/Deep-Dives/m4\\_circular\\_economy\\_for\\_plastics\\_big\\_image\\_2000px.jpg](http://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/images/Deep-Dives/m4_circular_economy_for_plastics_big_image_2000px.jpg).

combustible, un processus connu sous le nom de récupération d'énergie, reconditionnés ou surcyclés en produits acquérant une valeur nouvelle.

À ce jour, le recyclage mécanique est la méthode la plus courante de recyclage des déchets plastiques [22]. Il permet de récupérer ces déchets et de produire des matières premières qui peuvent être recyclées dans la production de plastique en remplacement des plastiques vierges. Il suppose de collecter le plastique, de le trier, de le laver et de le mouler en granulés qui peuvent être fondus et traités à nouveau pour obtenir de nouveaux produits en plastique [23]. Seuls les thermoplastiques (matériaux pouvant être refondus et retraités) peuvent être ainsi récupérés. Ils représentent quelque 12 % de la production mondiale de plastique [24].

Le recyclage mécanique du plastique est un procédé industriel relativement bon marché mais il a ses limites. Il nécessite de trier divers polymères, ce qui présente des difficultés particulières s'agissant des plastiques à plusieurs couches. En outre, la qualité du matériau recyclé se dégrade à chaque cycle et ce traitement mécanique ne peut donc être effectué qu'une ou deux fois.

Le recyclage chimique, lui, permet de traiter des mélanges de déchets plastiques. Il comprend diverses technologies telles que la gazéification, la pyrolyse, le craquage à catalyseur fluide et l'hydrocraquage, qui permettent de réduire le plastique en molécules et de transformer les déchets plastiques en matières premières secondaires.

L'avantage du recyclage chimique par rapport au recyclage mécanique est qu'il peut être utilisé pour traiter de plus larges chaînes de plastiques, notamment des plastiques mélangés, contaminés ou de piètre qualité. Malheureusement, le recyclage chimique provoque le rejet d'additifs et de contaminants toxiques, dont certains sont déjà interdits par la réglementation de plusieurs pays. Cet inconvénient et le coût du recyclage chimique font que son utilisation commerciale est rare.

### **Les technologies nucléaires dans la chaîne de valeur circulaire des plastiques**

Les technologies des rayonnements, en particulier les rayons gamma et les faisceaux d'électrons, présentent des atouts uniques pour ce qui est de combler les lacunes technologiques du recyclage du plastique. Elles peuvent compléter les technologies conventionnelles, résoudre leurs inconvénients et dans certains cas les remplacer. Les dernières recherches montrent que les rayonnements permettent d'améliorer le contrôle du recyclage, la qualité des plastiques recyclés et la capacité d'adaptation aux caractéristiques des produits, mais aussi de réduire considérablement le coût et l'énergie nécessaire. L'avantage de cette technique est qu'elle permet de contrôler comment les liaisons chimiques des polymères se forment et se brisent et donc d'en modifier les propriétés, de les réduire ou de créer de nouvelles compositions chimiques.

Les technologies des rayonnements peuvent réduire les polymères plastiques en fragments de chaînes moléculaires qui peuvent être utilisés comme matières premières pour de nouveaux produits de consommation, avec ou sans ajout de polymères vierges. En fonction de la radiorésistance du polymère utilisé dans le plastique à recycler, cette opération peut se faire avec ou sans traitement thermique. Les rayonnements peuvent aussi être utilisés pour modifier les propriétés des déchets de polymères, par exemple pour obtenir de nouveaux matériaux pouvant servir à fabriquer de nouveaux produits. L'irradiation permet de séparer plus efficacement les déchets plastiques et de les réintroduire dans les chaînes du recyclage mécanique, améliorant ainsi la qualité et la valeur des plastiques recyclés.

Les technologies des rayonnements peuvent être utilisées pour irradier même de grandes quantités de déchets de polymères, ce qui renforce leur utilité et leur application commerciale. En outre, elles peuvent être utilisées pour recycler les déchets plastiques en nouveaux produits lorsque les autres méthodes ne sont plus viables. On peut ainsi réduire la quantité de plastiques fossiles vierges entrant dans la chaîne de valeur des plastiques, ce qui constitue un avantage écologique supplémentaire.

## L'irradiation pour améliorer les processus de recyclage chimique

Combinée à la pyrolyse — modification de la composition chimique des matériaux par la chaleur — l'irradiation peut produire de nouvelles matières premières plastiques et donner lieu à des processus de recyclage chimique plus propres, exempts de solvants et d'additifs catalyseurs. Elle peut aussi améliorer l'efficacité énergétique du processus et renforcer la qualité et le rendement du produit final.

Des faisceaux d'électrons peuvent aussi être utilisés pour améliorer le recyclage et en particulier le tri des plastiques mélangés au moyen de la séparation électrostatique. Le traitement par irradiation permet aussi d'ajuster les propriétés des déchets de polymères, et donc de créer de nouveaux composés et de donner de nouvelles utilités aux matériaux issus des déchets. Le plastique peut ainsi être réutilisé à de multiples reprises, ce qui réduit d'autant les déchets.

### 2.2. La pollution plastique marine

C'est dans l'océan que finit une grande partie de la pollution plastique terrestre [25]. Des millions de tonnes de déchets plastiques se déversent chaque année dans le milieu marin et cette quantité risque de s'accroître dans les années à venir [26]. La taille des particules de plastique fait qu'elles peuvent être ingérées activement ou passivement par de nombreuses espèces marines, notamment par celles des pêcheries. L'ampleur des déchets plastiques marins n'a pas encore été pleinement ni systématiquement évaluée [27].

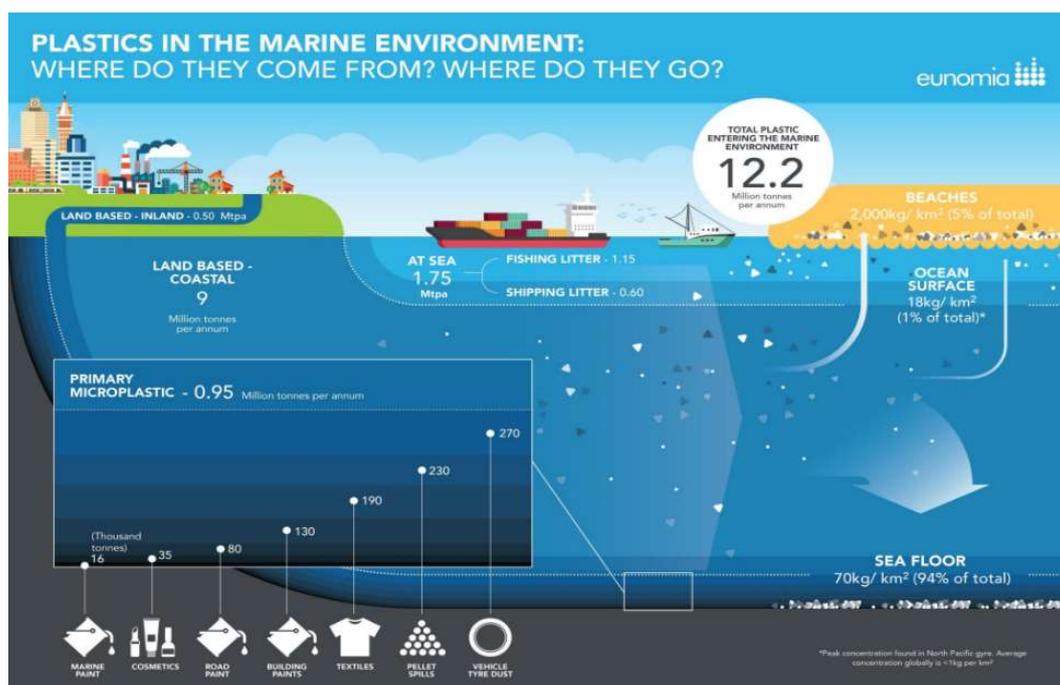


FIG. 3. Plastiques dans le milieu marin : d'où viennent-ils ? Où vont-ils ? (Source : ECOWATCH<sup>5</sup>)

Les incidences de la pollution par le plastique sur la vie marine et plus généralement sur les écosystèmes côtiers et océaniques restent mal connues et nécessitent un suivi et une évaluation attentives [28, 29]. Les études récentes présentent des conclusions initiales préoccupantes concernant l'accumulation de microplastiques même dans le système digestif humain, ce qui pourrait avoir des effets néfastes [30, 31].

<sup>5</sup> Voir : ECOWATCH, 80% of Ocean Plastic Comes From Land-Based Sources, New Report Finds (un nouveau rapport révèle que 80 % du plastique des océans provient de sources terrestres) (2016), [www.ecowatch.com/80-of-ocean-plastic-comes-from-land-based-sources-new-report-finds-1891173457.html](http://www.ecowatch.com/80-of-ocean-plastic-comes-from-land-based-sources-new-report-finds-1891173457.html).

Compte tenu des nombreuses incertitudes entourant les déchets plastiques marins, il est crucial de mieux comprendre l'ampleur et les incidences de la pollution plastique marine sur les écosystèmes et organismes côtiers et marins [3]. Ces dix dernières années, la communauté scientifique mondiale a consenti un effort considérable pour mieux connaître l'abondance et l'incidence de certaines particules de plastique sur les organismes aquatiques [27]. On a aussi constaté que les plastiques présents dans l'océan étaient dispersés par les courants et marées et subissaient une dégradation physique et chimique constante aboutissant à des particules de plus en plus petites. Cette dégradation peut aussi produire des co-contaminants inhérents à la composition de la particule de plastique ou piégés par des surfaces de particules réactives [29]. Il faut davantage de données pour mieux comprendre les effets de ces co-contaminants sur les organismes marins et renforcer la sécurité sanitaire des aliments et la sécurité alimentaire, notamment les exportations de produits de la mer dont dépendent les populations côtières de nombreux pays.

### Avantages des techniques nucléaires

Par leur précision inégalée, les techniques isotopiques spécialisées peuvent très utilement compléter d'autres techniques pour suivre les déplacements des particules de plastique au fil du temps et déterminer leurs caractéristiques et leurs incidences sur le milieu marin. Elles contribuent ainsi au suivi et à la surveillance des déchets marins, à l'élaboration de stratégies d'évaluation au niveau politique et à l'évaluation de l'efficacité des mesures prises.

Les techniques de traceurs isotopiques et d'imagerie nucléaire présentent plusieurs avantages pour ce qui est d'évaluer l'incidence et les contraintes des plastiques dans le milieu marin : i) elles permettent une analyse sensible et donc des projections plus précises et plus fiables ; ii) la contamination croisée des échantillons pose généralement moins de problèmes qu'avec les contaminants organiques ou inorganiques, ce qui permet d'élargir les échanges entre laboratoires ; iii) elles permettent des analyses non destructives, ce qui permet d'étudier des organismes vivants, et iv) elles fournissent une vue d'ensemble des effets des contaminants sur l'organisme entier et de leurs déplacements dans celui-ci. Elles fournissent donc d'importants indicateurs de la toxicité potentielle des plastiques pour les organismes vivants et révèlent en détail les organes et systèmes touchés, ce qui permet de déterminer le stress toxicologique et la propagation possible dans les chaînes alimentaires qui peuvent finalement toucher les humains par la consommation de produits de la mer.

En outre, les techniques nucléaires peuvent aider à identifier l'incidence accrue des plastiques sur l'environnement à mesure qu'ils se dégradent et libèrent ou piègent des co-contaminants tels que les polychlorobiphényles et les produits ignifuges halogénés ainsi que des éléments traces tels que le mercure et le plomb. Il est d'autant plus important d'étudier les voies et les incidences de ces processus que la quantité de plastiques dans les océans augmente et que les océans se réchauffent sous l'action du changement climatique.

### 2.3. Le rôle et l'approche de l'AIEA

D'après son Statut<sup>6</sup>, l'AIEA a pour mission d'accélérer et d'accroître la contribution de la science et la technologie nucléaires à des applications pacifiques. À ce titre, elle est un centre de développement et de transfert des technologies et des applications nucléaires. Les technologies nucléaires font l'objet de travaux rigoureux et d'une validation dans le cadre des activités de recherche de l'AIEA. Lorsque les technologies nucléaires concernées sont suffisamment abouties, elles peuvent être transférées à tous les

---

<sup>6</sup> L'article III A du [Statut](#) énonce que l'AIEA a pour attribution « d'encourager et de faciliter, dans le monde entier, le développement et l'utilisation pratique de l'énergie atomique à des fins pacifiques et la recherche dans ce domaine ; si elle y est invitée, d'agir comme intermédiaire pour obtenir d'un de ses membres qu'il fournisse à un autre membre des services, des produits, de l'équipement ou des installations ; et d'accomplir toutes opérations ou de rendre tous services de nature à contribuer au développement ou à l'utilisation pratique de l'énergie atomique à des fins pacifiques ou à la recherche dans ce domaine ».

pays, notamment aux États Membres en développement dans le cadre du programme de coopération technique de l'AIEA.

Depuis longtemps, l'AIEA appuie avec succès la recherche-développement relative aux applications des technologies nucléaires. Par l'intermédiaire du Département des sciences et des applications nucléaires (NA), elle gère et exploite des laboratoires de l'environnement en Autriche et à Monaco<sup>7</sup>. Ces laboratoires appuient et mettent en place des activités répondant aux besoins de développement des États Membres dans un éventail de domaines. Depuis longtemps, ils mènent des activités de recherche-développement appliquée, offrent une formation et des services d'analyse, et transfèrent des technologies et des techniques nucléaires éprouvées aux États Membres.

L'AIEA mène des activités de recherche-développement dans ses propres laboratoires, mais aussi dans le cadre de ses réseaux de recherche étendus, composés d'établissements de recherche, d'universités et de laboratoires de référence. Ces activités sont menées au titre de son programme de recherche coordonnée et de son programme de centres collaborateurs<sup>8</sup>.

Les travaux effectués dans plusieurs centres collaborateurs sont en lien direct avec NUTEC Plastics. Certains établissements partenaires sont spécialisés dans le traitement par irradiation des polymères, des déchets de polymères et des biocomposites, tandis que d'autres axent leurs travaux de recherche sur les études marines et océanographiques, notamment sur la pollution de l'environnement marin. Les régions et les pays qui ont des centres collaborateurs de l'AIEA peuvent tirer de NUTEC Plastics des avantages accrus.



*Des expériences sont menées quotidiennement dans les Laboratoires de l'environnement de l'AIEA.*

---

<sup>7</sup> Le Laboratoire des sciences et de l'instrumentation nucléaires met au point et adapte des instruments nucléaires, ainsi que des applications des accélérateurs, et les transfère aux États Membres pour un large éventail d'opérations allant du contrôle radiologique de l'environnement aux activités relatives à la science des matériaux. Les trois laboratoires de l'environnement marin de l'AIEA, à Monaco, s'emploient à comprendre et à préserver un environnement marin sain, ainsi qu'à assurer le développement durable des ressources environnementales.

<sup>8</sup> Pour plus d'informations sur les centres collaborateurs, consultez l'adresse [https://www.iaea.org/sites/default/files/16/07/iaea\\_collaborating\\_centres\\_scheme\\_external\\_guide\\_v1.1\\_april\\_2016.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/16/07/iaea_collaborating_centres_scheme_external_guide_v1.1_april_2016.pdf) (en anglais).

Outre les travaux qu'elle mène au titre du programme des centres collaborateurs et dans ses laboratoires, l'AIEA encourage la recherche-développement et l'utilisation des technologies et applications nucléaires dans les États Membres du monde entier, et fournit une assistance dans ces domaines. Elle incite les établissements de recherche des pays en développement et des pays développés, parmi ses États Membres, à collaborer dans des projets de recherche d'intérêt commun, appelés « projets de recherche coordonnée » (PRC). Dans le cadre de ces projets, l'AIEA, en tant qu'organe de coordination, passe des contrats de recherche, des contrats techniques et doctoraux ainsi que des accords de recherche avec des établissements dans les États Membres.

L'AIEA a fait ses preuves en matière d'appui de la recherche-développement et de l'application de certaines techniques nucléaires dans le cadre de la chaîne de valeur du plastique. Elle applique la science et la technologie nucléaires en vue de compléter les techniques classiques et apporte des solutions nouvelles pour aider les États Membres.

Dans le cadre de NUTEC Plastics, les Laboratoires de l'environnement de l'AIEA vont renforcer encore et intensifier l'élaboration de techniques fiables et économiques pour l'évaluation géographique et chronologique des quantités et caractéristiques des plastiques marins afin de mieux comprendre leur origine, leur déplacement, leur devenir et leur incidence. Pour ce faire, ils vont élaborer des protocoles harmonisés et standardisés pour l'identification des microplastiques dans les échantillons de l'environnement, former des scientifiques et des techniciens, et élaborer des techniques d'analyse tenant compte des meilleures pratiques et des dernières avancées de la science. En outre, une surveillance comparative des microplastiques peut aider à déterminer et à quantifier l'impact environnemental de l'usine de démonstration.

### **Surveillance du milieu marin**

À l'aide des techniques nucléaires, et au titre de la Décennie des Nations Unies pour les sciences océaniques au service du développement durable, l'AIEA aide les États Membres à réaliser leurs objectifs de développement durable (ODD), établis par l'ONU, et à atteindre leurs cibles. Cette tâche porte notamment sur les effets du changement climatique et des activités anthropiques sur les océans, comme la pollution marine ou la pollution d'origine tellurique, et le réchauffement, l'acidification et la désoxygénation des océans. Depuis 2016, les Laboratoires de l'environnement de l'AIEA étudient les incidences des plastiques sur les organismes marins. Les conclusions de leurs études constituent des informations scientifiques sur lesquelles les gouvernements se fondent pour prendre des décisions de politique générale.

L'AIEA utilise les techniques des radiotraceurs pour étudier le devenir des contaminants ou des biotoxines dans les environnements côtiers, ainsi que l'influence de facteurs de perturbation à l'échelle mondiale, comme le changement climatique sur les organismes marins. Ces techniques sont importantes pour étudier l'effet du plastique sur la vie aquatique.

Grâce au programme de coopération technique de l'AIEA, de nombreux pays renforcent leurs connaissances en matière de surveillance et d'atténuation de différents polluants, par exemple en évaluant les radionucléides et les contaminants non radioactifs ainsi que leurs effets sur l'environnement et les écosystèmes. L'AIEA est le premier fournisseur mondial de matières de référence pour les radionucléides dans différentes matrices (poissons, plantes, sol et eau, entre autres), dont certaines font office de normes internationales de mesure. Elle approvisionne des laboratoires dans le monde entier pour les aider à s'assurer qu'ils appliquent de bonnes techniques d'analyse nucléaires et non nucléaires pour obtenir des résultats précis, exacts et fiables.



*Gros plan sur une crevette de saumure du genre Artemia ayant consommé des particules de microplastique, aux Laboratoires de l'environnement de l'AIEA. (Photo : F. Oberhaensli/AIEA)*

Les capacités déjà créées dans le cadre du programme de CT en matière d'échantillonnage de la pollution marine, de lutte contre les proliférations d'algues, d'analyse des contaminants (notamment métaux lourds, composés organiques, radioactivité et toxines), de sécurité sanitaire des produits de la mer et d'expérimentation en laboratoire faisant appel à des radiotraceurs constituent une base solide pour la mise en œuvre de la surveillance des microplastiques et d'activités d'évaluation. Les capacités existantes dans ces domaines pourraient être étendues à la caractérisation et à l'évaluation de la pollution par le plastique grâce à une technologie de pointe supplémentaire (p. ex. micro-spectroscopie IRTF, spectroscopie Raman, CPG/SM) et à des formations spécialisées.

### Irradiation des polymères

Dans les années 1980 et 1990, des travaux de recherche fondamentale sur l'irradiation des polymères étaient déjà menés dans le cadre de PRC<sup>9</sup>. L'accent était mis sur les polymères destinés à des applications biomédicales et biochimiques ou à un usage industriel ou médical, et sur le traitement par irradiation de polymères naturels locaux. Dans les années 2000, la recherche-développement consacrée à la technologie des rayonnements appliquée aux polymères s'est poursuivie<sup>10</sup>, et a également porté sur le greffage par irradiation aux fins de la mise au point de nouveaux adsorbants et de nouvelles membranes<sup>11</sup>. Un autre PRC visait à mettre au point des produits traités par irradiation en utilisant des polymères naturels pour fabriquer des produits à valeur ajoutée commercialisables devant servir en agriculture ou dans les soins de santé, l'industrie ou l'environnement<sup>12</sup>. D'autres PRC faisant appel à la technologie des rayonnements ont porté sur : la fabrication de nanocomposites, la fabrication de nouveaux revêtements résistant aux rayures et à l'abrasion à l'aide de rayonnements, la polymérisation amorcée par irradiation pour des revêtements ayant une finition de surface améliorée<sup>13</sup>, et la mise au point de nouveaux matériaux

<sup>9</sup> Il s'agit des projets suivants : PRC385, Polymères modifiés par irradiation destinés à des applications biomédicales et biochimiques (1980-1983) ; PRC927, Modification par irradiation de polymères destinés à un usage industriel ou médical (1984-1989) ; PRC1018, Stabilité et stabilisation de polymères soumis à l'irradiation (1993-1997) ; et PRC931, Traitement par irradiation de polymères naturels locaux (1997-2000).

<sup>10</sup> PRC565, Contrôle des effets de dégradation lors du radiotraitement de polymères (2003-2006).

<sup>11</sup> PRC1434, [Mise au point de nouveaux adsorbants et de nouvelles membranes au moyen du greffage par irradiation aux fins de la séparation sélective](#) (2007-2011).

<sup>12</sup> PRC1467, [Mise au point par radiotraitement, à partir de polymères naturels, de produits utilisables en agriculture, en soins de santé, dans l'industrie et dans l'environnement](#) (2007-2013).

<sup>13</sup> PRC1783, [Durcissement par irradiation de composites aux fins de l'amélioration de leurs caractéristiques et de leur utilité dans les soins de santé et l'industrie](#) (2011-2015).

d'emballage à base de polymères naturels et synthétiques à l'aide des techniques d'irradiation et l'évaluation des effets des rayonnements sur les matériaux d'emballage alimentaire<sup>14</sup>. Beaucoup de PRC ont concerné d'autres applications industrielles des technologies des rayonnements<sup>15</sup>, et nombre d'entre eux ont abouti à un transfert de technologie et à la mise en place d'activités industrielles durables, ce qui montre que l'AIEA et ses partenaires ont de l'expérience dans la conduite de travaux de ce type.

Un nouveau PRC (approuvé en 2020) intitulé « Recyclage de déchets de polymères en matériaux structurels et non structurels obtenu par irradiation » pourrait bien constituer le pilier de la recherche-développement dans le volet de NUTEC Plastics consacré au recyclage. À la fin de 2020, une réunion de consultation, à laquelle ont participé des experts du domaine ainsi que des contreparties du monde entier, a permis d'avoir une vue d'ensemble claire des technologies actuellement testées et des recommandations sur la meilleure voie à suivre. De nombreuses technologies sont à différents stades de la recherche et des essais.

Les recommandations à l'intention de l'AIEA résultant de la réunion de consultation soulignent l'importance du volet de NUTEC Plastics consacré au recyclage. Il est établi que la technologie des rayonnements permet de transformer les déchets de polymères en matières premières et en nouveaux matériaux en vue d'applications structurales et non structurales à haute performance et, à ce titre, des États Membres ont demandé à l'AIEA d'accroître l'adoption, la promotion et le transfert de technologies. En particulier, il est recommandé à l'AIEA d'analyser et de promouvoir l'utilisation des techniques de traitement par irradiation linéaires et modulaires en complément des processus mécaniques et chimiques existants. Ces techniques sont un exemple de méthodes de fabrication susceptibles d'être appliquées à plus grande échelle pour des solutions durables, économiques et écologiques concernant la production et le recyclage du plastique. À cet effet, l'AIEA s'efforce de contribuer à la mise en place d'une coopération internationale aux niveaux gouvernemental, industriel et scientifique, ainsi que d'accroître la visibilité et la disponibilité des applications sûres et sécurisées des technologies des rayonnements pour le recyclage des déchets de polymères et de sensibiliser, à l'échelle mondiale, à leur utilité.

Les résultats des activités de recherche-développement de l'AIEA sont transférés aux États Membres sous la forme de connaissances et d'une technologie éprouvées. Le programme de coopération technique de l'AIEA a déjà permis de créer des capacités nationales et d'améliorer les compétences techniques d'États Membres relatives à l'utilisation de la technologie des rayonnements aux fins du recyclage des polymères. Nombre d'États Membres ont déjà bénéficié du transfert de technologies telles que les faisceaux d'électrons et les irradiateurs gamma pour le traitement de matières et la création de matériaux avancés.

### **3. L'approche axée sur les résultats de NUTEC Plastics**

#### **3.1. Comment NUTEC Plastics contribuera au passage à une économie circulaire : la théorie du changement**

##### **D'une économie linéaire à une économie circulaire**

Dans le Programme 2030, l'engagement est pris d'éliminer la pauvreté multidimensionnelle et de parvenir à un développement durable et équitable pour tous. Le Programme 2030 contribue intrinsèquement à

---

<sup>14</sup> PRC1947, [Application de la technologie des rayonnements dans l'élaboration de matériaux d'emballage avancés pour les produits alimentaires](#) (2013-2017).

<sup>15</sup> PRC1539, [Traitement radiologique des eaux usées en vue de leur réutilisation, notamment des eaux usées contenant des polluants organiques](#) (2010-2016) ; PRC2220, [Inactivation des dangers biologiques à l'aide d'accélérateurs de faisceaux d'électrons de haute intensité](#) (2018-2022) ; PRC2216, [Technologies des rayonnements pour le traitement des polluants organiques émergents](#) (2019-2023).

l'utilisation des technologies nucléaires à l'appui du passage d'une économie linéaire à une économie circulaire des plastiques. L'objectif 12 engage la communauté internationale à établir des modes de consommation et de production durables et l'ODD 12.5 appelle en particulier les pays à « réduire nettement la production de déchets par la prévention, la réduction, le recyclage et la réutilisation » d'ici 2030.

Pour agir sur les causes profondes de la pollution par le plastique, il faut des solutions systémiques qui réduisent la demande de combustibles fossiles, en quantité finie, ainsi que les externalités négatives liées à la chaîne de valeur actuelle du plastique. Plus simplement, la communauté mondiale doit réduire la quantité de plastique qui entre dans l'économie en tant que matière première vierge et en sort sans valeur ajoutée. En d'autres termes, le monde doit passer d'une approche de gestion des déchets à une approche de gestion des ressources. On peut y parvenir en opérant une transition d'un modèle linéaire consistant à « prendre, faire et jeter » à une économie circulaire. À partir de ce modèle, des mesures peuvent être prises à diverses étapes de la chaîne de valeur, comme le montre la figure ci-après.

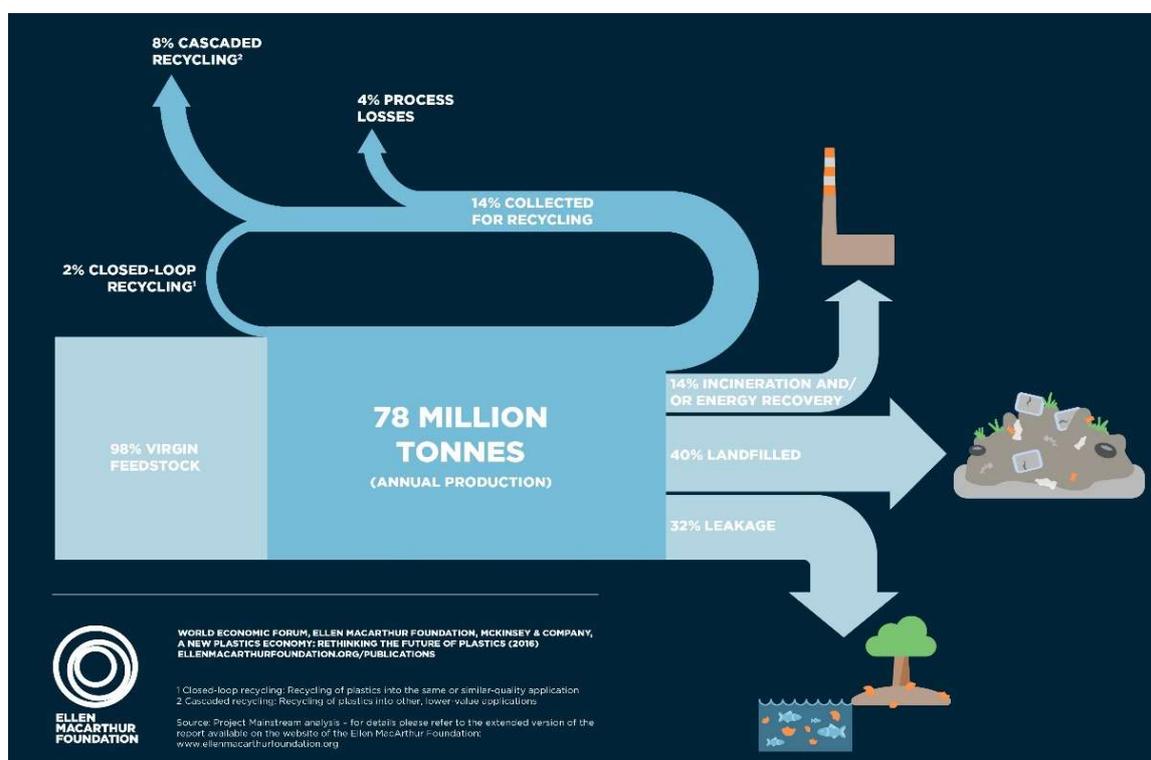
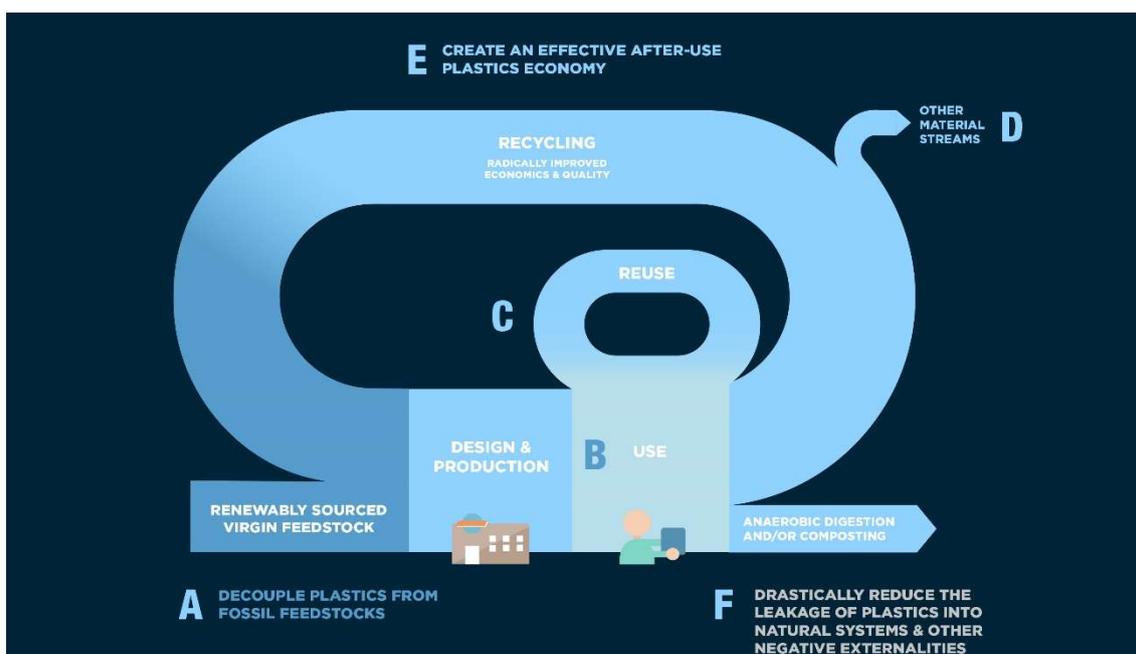


FIG. 4. Flux mondiaux des emballages en plastique (2013). (Source : Fondation Ellen MacArthur)

Le modèle *Plastic to Ocean* (P2O) [1], est un modèle inédit qui a été élaboré pour analyser les stocks et les flux de plastiques et de déchets plastiques au sein de la société au niveau mondial. Il permet de faire des prévisions et des analyses à l'échelle mondiale concernant toutes les composantes du système de gestion des déchets plastiques. NUTEC Plastics utilise ce modèle pour évaluer les répercussions économiques des technologies nucléaires sur l'économie des déchets plastiques. Actuellement, les paramètres d'entrée du modèle sont fondés sur des prédictions et des estimations. Une fois que les installations pilotes seront en service et fourniront des données essentielles sur la performance, les prévisions établies à l'aide du modèle P2O devraient être plus fiables.



- A. Réduire la production de plastique
- B. Réduire l'utilisation du plastique
- C. Accroître la réutilisation des produits plastiques (pour éviter l'usage unique, les plastiques usagés et l'augmentation exponentielle des déchets plastiques)
- D. Accroître le recyclage des déchets plastiques en d'autres produits
- E. Accroître la qualité de déchets recyclés devant servir d'intrants pour la production de plastique/remplacer les intrants à base de pétrole
- F. Débarrasser les océans et les terres des déchets plastiques existants

FIG. 5. Objectifs de la nouvelle économie des plastiques. (Source : Forum économique mondial, Fondation Ellen MacArthur, Centre McKinsey pour les affaires et l'environnement, réf. [4])

### 3.2. Objectif et effets

L'objectif général de NUTEC Plastics est **d'aider les États Membres de l'AIEA à intégrer les techniques nucléaires dans leurs activités visant à répondre aux défis que représente de la pollution par le plastique.**

Les deux principaux effets sont :

1. une meilleure compréhension à l'échelle mondiale de l'ampleur et de l'impact de la pollution plastique marine ;
2. de meilleures méthodes de recyclage et de production grâce à l'application de techniques faisant appel aux rayonnements en complément des pratiques classiques.

#### Meilleure compréhension à l'échelle mondiale de l'ampleur et de l'impact de la pollution plastique marine

Cette composante vise à permettre aux États Membres de mieux gérer les plastiques dans le milieu marin grâce à l'évaluation de leur situation de référence et à des scénarios hypothétiques concernant la pollution par le plastique dans leurs eaux territoriales et à proximité de celles-ci. NUTEC Plastics renforcera la capacité de laboratoires dans le monde entier à mettre en œuvre des techniques isotopiques, en plus d'autres techniques, pour surveiller et évaluer l'impact de la pollution plastique marine, et pour permettre l'échange de données, de connaissances et de meilleures pratiques dans ce domaine. Plusieurs États Membres de toutes les zones géographiques ont déjà mis en place de solides capacités de surveillance de l'environnement marin avec l'aide de l'AIEA et pourraient également tirer parti de NUTEC Plastics.

Produit 1.1 : Meilleure information à l'échelle mondiale concernant l'application des techniques isotopiques pour la surveillance des plastiques dans le milieu marin et l'évaluation de leur impact.

L'objectif est de mieux faire connaître, au niveau mondial, les avantages que présentent les techniques isotopiques en ce qui concerne l'exactitude et la précision, afin de combler le manque au niveau mondial de connaissances relatives à la surveillance des microplastiques et nanoplastiques marins et à l'évaluation de leur impact.

Produit 1.2 : Recensement des partenaires publics et privés pouvant appuyer l'amélioration des capacités de surveillance des laboratoires marins.

L'objectif est de tirer parti des partenariats qu'il est nécessaire d'établir avec plusieurs parties prenantes afin de favoriser l'utilisation accrue des techniques isotopiques aux fins d'une surveillance et d'une évaluation d'impact fiables des microplastiques et des nanoplastiques dans l'environnement marin.

Produit 1.3 : Création de laboratoires opérationnels dotés du matériel adéquat et du personnel formé, et adoption de protocoles appropriés.

Ce produit concerne principalement le transfert de matériel, les services consultatifs techniques et les formations, ainsi que l'aide fournie aux pays en matière d'élaboration de protocoles pour la collecte, la cartographie et le suivi des microplastiques dans les océans, et l'évaluation de leur impact sur les écosystèmes marins.

Produit 1.4 : Réseau de surveillance de NUTEC Plastics.

Ce produit consiste à mettre en place un réseau mondial de laboratoires capables de surveiller et d'évaluer l'impact des plastiques en milieu marin afin de permettre l'échange de données, de connaissances et de meilleures pratiques. Ces laboratoires feront office de centres de ressources régionaux pour la fourniture continue de services et l'apprentissage.

Produit 1.5 : Connaissances sur les sources, la distribution, le transport, les effets et le devenir des nanoplastiques et des microplastiques.

Ce produit fera avancer la recherche et les connaissances sur les nanoplastiques et les microplastiques.

## **Meilleures méthodes de recyclage et de production grâce à l'application de techniques faisant appel aux rayonnements**

Le traitement par rayonnements, technique qui a été éprouvée dans des laboratoires scientifiques, pourrait être utilisé en complément du recyclage mécanique et chimique. Cependant, il n'est pas bien connu des spécialistes mondiaux des plastiques, et n'est pas souvent envisagé comme autre solution possible. Cette composante vise à prouver aux parties prenantes que les techniques faisant appel aux rayonnements permettent d'améliorer les méthodes de recyclage existantes de manière efficace et efficiente. Elle accélérera aussi le transfert des technologies des laboratoires à une utilisation commerciale en faisant participer des acteurs privés au processus de validation et en établissant des partenariats pour favoriser l'adoption rapide de ces technologies.

La technologie des rayonnements est complémentaire au processus de recyclage chimique et mécanique existant et, par conséquent, les pays qui souhaitent entreprendre des activités au titre de cette composante doivent remplir une série de conditions préalables relatives à la chaîne de valeur du plastique et permettre la mise en place de cadres réglementaires.

Produit 2.1 : Sensibilisation, à l'échelle mondiale, à l'avantage comparatif qu'offrent les techniques d'irradiation dans le traitement et le recyclage du plastique.

L'objectif est de mieux informer sur le fait que les techniques d'irradiation font partie de la solution au problème de la pollution par le plastique en sensibilisant les spécialistes mondiaux des plastiques.

Produit 2.2 : Recensement des partenaires publics et privés pouvant appuyer le transfert des techniques d'irradiation des laboratoires à l'usine.

L'objectif est de tirer parti des partenariats qu'il est nécessaire d'établir avec plusieurs parties prenantes pour favoriser l'utilisation accrue des techniques d'irradiation en complément des processus de production et de recyclage du plastique existants.

Produit 2.3 : Phase 1 : installation d'appareils d'irradiation pilotes dans des usines de recyclage.

Ce produit consiste à s'assurer que les capacités institutionnelles en place sont appropriées pour l'élaboration de programmes pilotes sur les technologies d'irradiation aux fins de la gestion des déchets plastiques. Il appuie le transfert de matériel, la formation et les conseils d'experts concernant la mise en place de protocoles nécessaires complétant les plans d'action relatifs à la mise au point de l'usine pilote. Il prévoit également le processus d'évaluation et de validation de la technologie transférée, qui comprend une analyse coûts-avantages et des modèles de faisabilité pour les candidats/pays.

Produit 2.4 : Phase 2 : mise en service d'une usine de démonstration avec des partenaires publics/privés pour faire passer cette technologie à l'échelle commerciale.

Ce produit consiste à appuyer le processus de création d'une usine de démonstration, ainsi qu'à fournir des conseils d'experts et à assurer la supervision de l'appareil d'irradiation installé et mis en service dans l'usine.

### 3.3. Modélisation économique

Les déchets marins engendrent un coût de 13 milliards de dollars É.-U. par an, principalement en raison de leurs effets néfastes sur la pêche, le tourisme et la biodiversité [32]. Le coût social et environnemental global de la pollution par le plastique est estimé à 139 milliards de dollars É.-U. par an [33]. La moitié de ce coût est liée aux incidences qu'ont sur le climat les émissions de gaz à effet de serre liées à la production et au transport du plastique. Un tiers résulte des effets de la pollution connexe de l'air, de l'eau et des terres sur la santé, les cultures et l'environnement, et comprend aussi le coût de l'élimination des déchets. Tout effort fait pour réduire cette charge sociale serait une démarche positive, et l'AIEA agit en ce sens.

#### Valeur ajoutée des technologies nucléaires sur la chaîne de valeur globale du plastique

Cette section présente la méthode utilisée pour estimer dans quelle mesure les technologies fondées sur le nucléaire pourraient contribuer à accélérer la transition vers une économie circulaire des plastiques. Cette méthode aidera à mieux estimer la valeur ajoutée que les technologies nucléaires peuvent apporter à la chaîne de valeur du plastique. En définissant précisément la valeur ajoutée attendue de ces technologies expérimentales, on contribue à une meilleure connexion des laboratoires avec les usines de recyclage commerciales, les autres entités du secteur privé et les initiatives de validation techniques appuyées par des programmes de coopération technique, ce qui permet de réduire le délai des transferts de technologie et renforce l'efficacité des activités de l'AIEA.

La méthode est appliquée à deux niveaux et repose sur des systèmes de modélisation économique et financière avancés.

Premièrement, on a effectué une analyse coûts-avantages préliminaire pour différentes échelles d'usines afin d'évaluer les avantages que ces usines pourraient offrir par rapport aux installations existantes. On est parti du principe que la technologie d'irradiation pouvait améliorer les processus de recyclage existants et permettre de produire des granulés plastiques de meilleure qualité grâce à un processus plus économe en énergie et pour un coût global des intrants moindre<sup>16</sup>. Cette approche sera appliquée lors de

---

<sup>16</sup> Hypothèses fondées sur les conclusions de la réunion de consultation d'experts en ligne organisée par l'AIEA du 27 au 30 octobre 2020, qui confirment que la radiolyse permet de réduire les températures de pyrolyse de 150 degrés, ce qui correspond à une économie d'énergie pouvant aller jusqu'à 700 kJ/kg, et corroborent les conclusions énoncées dans l'article suivant : Ponomarev, A. V. (2020). Radiolysis as a Powerful Tool for Polymer Waste Recycling, *High Energy Chemistry*, 54, 194-204.

la mise en œuvre afin de garantir une validation solide de la technologie, avec la mise à jour des données essentielles pertinentes relatives au marché et au secteur une fois qu'elles seront disponibles, et de replacer dans son contexte chaque proposition, s'il y a lieu.

Deuxièmement, on a recensé les avantages escomptés des actions coordonnées de NUTEC Plastics, la situation actuelle ayant été comparée à la situation attendue après l'introduction de ces nouvelles technologies. Cela a été fait au moyen d'une analyse de sensibilité du modèle P2O décrit plus haut. Les paramètres spécifiques du modèle P2O ont été déterminés et modifiés compte tenu des améliorations technologiques supposées liées aux modèles au niveau micro. Des travaux supplémentaires seront menés au sujet des avantages attendus de l'augmentation des capacités de surveillance des microplastiques marins et de la prise de décisions connexes scientifiquement étayées lorsque des informations détaillées seront disponibles.

Dans le cadre du modèle P2O, on a examiné dans quelle mesure la technologie des rayonnements pouvait permettre de réduire le déversement de plastiques dans l'océan. L'exercice de modélisation a montré que si elle est utilisée en plus du tri ou du recyclage mécanique ou chimique, la technologie des rayonnements permet de réduire les déchets marins. Comme le montre la figure 6, la technologie des rayonnements permet de réduire les déchets de 1,83 kg/Mt lorsqu'elle est associée au tri officiel, et de 2,3 kg/Mt lorsqu'elle est associée au recyclage mécanique. La plus grande réduction des déchets marins est obtenue lorsque la technologie des rayonnements est utilisée en plus de la conversion chimique en monomères et en hydrocarbures (4,41 kg/Mt). L'analyse a permis de conclure que lorsqu'elle est utilisée en complément de la conversion chimique, la technologie des rayonnements permet une **réduction des déchets océaniques plus de deux fois supérieure** à celle obtenue lorsque cette technologie est utilisée en complément du tri ou du recyclage mécanique.

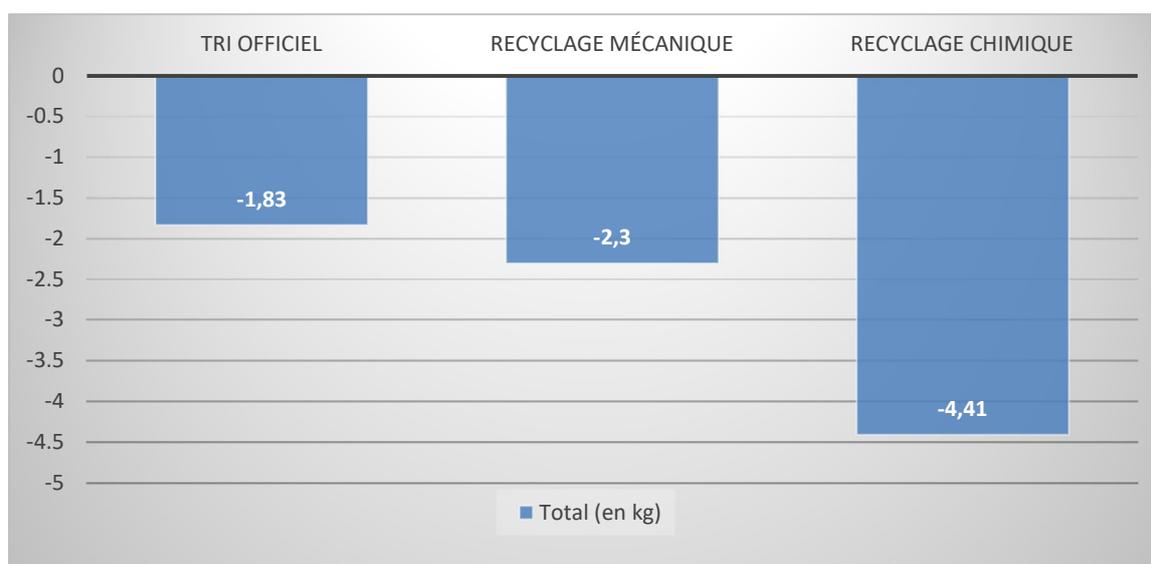


FIG. 6. Réduction possible de la quantité de plastique se retrouvant dans les océans grâce à l'utilisation de la technologie des rayonnements en plus des technologies classiques, par mégatonne (Mt). Estimation faite à partir des outils du modèle P2O.

Ces résultats, fondés sur des hypothèses relatives aux technologies de recyclage améliorées, sont préliminaires. Ils ont été établis suivant une approche prudente, car le plastique recyclé représente seulement 9 % dans l'équation de la gestion des déchets plastiques globaux ; cependant, un modèle dynamique tenant compte de l'augmentation attendue des volumes à recycler (pouvant atteindre 60 %) est en cours d'élaboration, le but étant d'examiner l'effet que les nouvelles technologies introduites par NUTEC Plastics pourraient avoir dans le cadre d'une transition globale vers une économie circulaire [34].

### 3.4. Durabilité, risques et atténuation

Pour qu'une transition globale vers une économie circulaire du plastique soit possible, il faut que le plastique réutilisé et recyclé offre une efficacité et un rapport coût-efficacité meilleurs que ceux du plastique nouveau d'origine fossile. L'avantage compétitif qu'offrent les technologies des rayonnements est un élément essentiel au succès.

Un outil complet de surveillance des résultats de la gestion permettra de suivre l'avancement de la mise en œuvre et les dépenses liées aux activités menées dans le cadre de NUTEC Plastics, et le modèle P2O mentionné plus haut sera utilisé pour évaluer et extrapoler les résultats obtenus. Ce modèle permettra également d'identifier les principaux freins aux interventions attendues, et de mener des interventions ciblées pour remédier à des insuffisances concernant la durabilité de la transition vers une économie circulaire du plastique. On préparera ainsi à considérer le plastique non pas comme un déchet mais comme une matière première précieuse.

De nombreuses incertitudes accompagnent les différents scénarios possibles pour atteindre les objectifs de NUTEC Plastics et dépendent d'une série de facteurs et d'acteurs sur lesquels NUTEC Plastics n'a aucun contrôle. Lors de l'élaboration de la théorie du changement, on a recensé un ensemble de conditions préalables essentielles et émis des hypothèses concernant les mesures à prendre pour que les résultats visés par NUTEC Plastics soient atteints. Si l'une de ces conditions n'est pas remplie ou l'une de ces mesures n'est pas prise, cela pourrait compromettre NUTEC Plastics.

### 3.5. Ressources nécessaires et financement

Le coût du renforcement des capacités d'un laboratoire marin s'élève à environ 1,1 million d'euros (ce qui comprend l'évaluation des besoins, le renforcement des capacités et le matériel) et le coût d'une installation d'irradiation pilote est d'environ 2,1 millions d'euros (ce qui comprend le renforcement des capacités, les études de faisabilité et le matériel/la construction). Ces chiffres sont donnés à titre indicatif. Les projets et les budgets relatifs à NUTEC Plastics seront élaborés en consultation avec les États Membres demandeurs concernés. Les besoins financiers de chaque projet seront déterminés.

## 4. Partenariats

Le problème mondial des plastiques ne connaît pas de frontières et concerne tous les pays du monde, les pays développés étant les plus touchés. Des problèmes persistent le long de la chaîne de valeur du plastique et divers acteurs s'emploient à les résoudre. Le mandat de l'AIEA couvre une partie seulement de la chaîne de valeur du plastique et a trait à l'application de la science et de la technologie nucléaires en complément des méthodes existantes. Une solution globale et durable au problème mondial du plastique requiert une approche intégrée et globale qui ne peut être réalisée qu'en partenariat avec des acteurs complémentaires. Il sera essentiel de travailler avec les initiatives nationales, régionales et internationales existantes, au niveau mondial et au niveau des pays. Il faut donc collaborer avec les entités des Nations Unies, les banques multilatérales de développement, les associations philanthropiques, les partenariats à grande échelle, notamment les plateformes multipartites, le secteur privé ainsi que les initiatives de partenariats public-privé en place, et les établissements scientifiques et de recherche.

L'AIEA entend apporter une valeur ajoutée aux partenariats existants relevant le défi mondial des plastiques, et procèdera de la façon suivante :

- elle fournira aux partenaires une évaluation précise des caractéristiques, de la quantité, de la distribution et de l'impact des plastiques, afin d'éclairer la prise des décisions de politique environnementale et les décisions relatives à la gestion ;

- elle proposera de nouvelles options de recyclage du plastique faisant appel aux technologies des rayonnements en complément des méthodes classiques afin de combler les lacunes existantes auxquelles aucune initiative relative aux déchets plastiques n'a répondu jusqu'à présent.

À cet effet, l'AIEA renforcera sa collaboration avec les partenaires concernés afin de sensibiliser aux avantages uniques qu'offrent les technologies nucléaires en complément des technologies existantes, et de nouer des partenariats pour accélérer la transition vers une économie circulaire des plastiques.

L'AIEA entend renforcer sa collaboration avec des organismes apparentés du système des Nations Unies qui travaillent sur des aspects complémentaires du défi mondial que posent les plastiques. Ces organismes sont notamment la COI-UNESCO, la FAO, le PNUD, le PNUE et l'ONUDI, qui participent également à la Décennie des Nations Unies pour les sciences océaniques au service du développement durable, dont l'AIEA est aussi un partenaire officiel. L'AIEA a déjà établi des partenariats avec bon nombre de ces organismes, dont le travail porte directement ou indirectement sur les déchets plastiques mondiaux et leurs divers effets sur les terres, les océans et l'atmosphère.

Le secteur privé sera un partenaire crucial de la transition vers une économie circulaire du plastique, soutenue par une action gouvernementale forte et une prise en main des pays au moyen de politiques habilitantes et d'un environnement juridique propice. Par conséquent, l'AIEA collaborera avec des partenariats public-privé de haut niveau existants (p. ex. GPAP), des fondations, des associations du secteur privé, ainsi que des sociétés du secteur privé fabriquant des produits plastiques afin d'éprouver la faisabilité et l'efficacité de l'utilisation des rayonnements aux fins du recyclage des plastiques. En tirant parti des partenariats avec les entreprises, des partenariats public-privé bien établis, des fondations, des associations concernant le plastique et d'autres parties prenantes pertinentes, on pourra faire mieux connaître les avantages qu'offrent la science et la technologie nucléaires dans la gestion des déchets plastiques, lorsque les innovations technologiques et les solutions innovantes sont appliquées et permettent d'atteindre des réseaux d'autres partenaires potentiels.

Consciente des investissements à grande échelle que requiert la transition vers des pratiques de gestion du plastique plus durables, l'AIEA collaborera étroitement avec des institutions financières internationales et des institutions de financement du développement, qui seront les principaux investisseurs dans les initiatives des secteurs public et privé visant à fermer la boucle de l'économie circulaire du plastique.

Afin d'échanger des informations et de favoriser les contributions, on cherchera à coopérer avec d'autres établissements techniques et scientifiques, comme :

- des établissements de recherche étudiant la pollution par le plastique dans des carottes de neige et de glace de l'Arctique, comme l'Institut allemand Alfred Wegener pour la recherche polaire et marine, l'Institut suisse pour l'étude de la neige et des avalanches, le Conseil de recherche de la Norvège, le Centre danois de recherche marine, l'Enquête antarctique britannique, l'Institut polaire norvégien, et ArcticNet, entre autres ;
- des parties prenantes capables de modéliser des systèmes complexes, comme l'Organisation météorologique mondiale (OMM), le Service géologique des États-Unis (USGS) et le Centre international de physique théorique.

## 5. Mise en œuvre

### 5.1. Approche de mise en œuvre

Les activités décrites dans le présent document seront mises en œuvre à l'aide de divers mécanismes éprouvés de l'AIEA, comme les projets de CT, les PRC et d'autres activités programmatiques. Les deux composantes principales de NUTEC Plastics, à savoir la surveillance marine et le recyclage/la réutilisation, sont bien évidemment liées, car toutes deux contribuent à résoudre le problème mondial de la pollution par le plastique. Cependant, elles sont indépendantes, la mise en œuvre des activités de l'une n'étant pas subordonnée à la mise en œuvre de celles de l'autre. NUTEC Plastics tient compte du lien entre ces deux composantes, et de leur indépendance, en suivant une **approche modulaire de la mise en œuvre**. L'avantage de cette approche est double.

Premièrement, une approche modulaire convient mieux pour tenir compte des différents besoins, préférences et capacités propres à chaque pays qui s'emploie à résoudre le problème lié aux plastiques. Dans certains cas, une surveillance et une évaluation plus précises de la pollution plastique marine peuvent être nécessaires ; dans d'autres cas, il pourra falloir mettre à niveau les installations de recyclage du plastique en y introduisant la technologie des rayonnements ; et dans d'autres cas encore, les pays opteront peut-être pour les deux composantes. Une approche modulaire garantit la mise en œuvre la plus souple possible, axée dans une large mesure sur les besoins et les priorités des États Membres.

Deuxièmement, une approche modulaire offre une flexibilité dans la mobilisation et l'obtention des ressources financières (et non financières) nécessaires, ce qui permet de commencer rapidement la mise en œuvre. La mise en œuvre des activités spécifiques de NUTEC Plastics pourra commencer dès que les ressources d'amorçage seront disponibles, et que les autres ressources seront assurées. En outre, cette approche permet aux donateurs et aux partenaires de participer à des activités spécifiques, en fonction de leurs préférences et de leurs priorités.

Plus de 40 projets de CT, PRC et autres activités programmatiques, en cours ou prévus, portent sur les technologies des rayonnements et la surveillance de l'environnement. Plus de 25 de ces projets concernent directement les plastiques. Leur champ d'application pourrait être étendu pour inclure des activités de NUTEC Plastics, si nécessaire.

Les pays qui souhaiteraient participer aux activités de NUTEC Plastics, de la composante recyclage ou de la composante surveillance (ou des deux), devront se pencher sur les critères suivants :

- l'étendue du problème national/régional du plastique ;
- une volonté politique forte de faire face à la pollution par les déchets plastiques, se traduisant par des politiques, des plans, des cibles dans ce domaine, ainsi que des liens forts et stratégiques entre les établissements nationaux concernés, les réseaux régionaux pertinents et les plateformes de coopération ;
- la collecte et la séparation des déchets plastiques dans le cadre d'une gestion officielle ou informelle des déchets plastiques ;
- la participation actuelle à des initiatives concernant les déchets plastiques, afin d'assurer la prise en compte de l'ensemble de la chaîne de valeur du plastique et de faire en sorte que la contribution de l'AIEA et son effet soient plus grands qu'avec une intervention indépendante ;
- la volonté de faire mieux comprendre les effets marins de la pollution par les microplastiques ;
- les capacités existantes en matière de techniques d'irradiation et/ou d'analyse de l'environnement marin ;
- l'expérience de collaboration avec l'AIEA dans le domaine des techniques et des applications nucléaires, comme dans le cadre des centres collaborateurs de l'AIEA ;

- l'existence de l'environnement réglementaire nécessaire à l'utilisation de techniques faisant appel aux rayonnements ou la volonté de le mettre en place ;
- un secteur privé (du plastique) approprié qui collabore, a une expérience de la collaboration ou est prêt à collaborer dans le cadre de partenariats public-privé (PPP).

ACTIVITÉS	PÉRIODES				
	2021	2022	2023	2024	2025
<b>RECYCLAGE</b>					
Sensibilisation					
Campagne d'information active					
Installation pilote					
Faisabilité					
Construction					
Exploitation					
Usine de démonstration					
Faisabilité					
Construction					
Exploitation					
Partenariats					
Partenariats					
<b>SURVEILLANCE</b>					
Sensibilisation					
Campagne d'information active					
Partenariats public-privé					
Partenariats					
Capacité des laboratoires					
Achat de matériel					
Formation					
Réseau					
Réseau de surveillance					
Connaissances					
Connaissances					

FIG. 7. Calendrier de mise en œuvre de NUTEC Plastics.

## 5.2. Surveillance et évaluation

Chacune des modalités de mise en œuvre (projets de CT, PRC, autres activités programmatiques) fera usage de ses procédures et mécanismes respectifs standard de surveillance, d'évaluation et d'établissement de rapports. Le système de surveillance et d'évaluation de l'AIEA est fondé sur l'approche axée sur les résultats, et repose sur le cadre logique, des indicateurs, des moyens de vérification et des hypothèses. NUTEC Plastics comprend des indicateurs de résultats pour chaque composante. Un outil de surveillance et de gestion complet a été mis au point. Les indicateurs seront surveillés au cours de la mise en œuvre et les progrès seront consignés dans des rapports semestriels. Étant donné que NUTEC Plastics intervient dans un environnement qui évolue, dans lequel les autres parties prenantes jouent un rôle important, certaines hypothèses adoptées dans la théorie du changement sont des facteurs clés du succès. Elles seront suivies de près au cours de la mise en œuvre au titre du cadre de gestion des risques, et des mesures correctives seront prises si ces hypothèses ne se concrétisent pas et compromettent la réalisation de l'une ou l'autre composante de NUTEC Plastics.

## ANNEXE : Références

- [1] BAILEY, R.M. richardmbailey/P2O: P2O v1.0.0. Zenodo (2020)  
<https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.3929470>
- [2] BARRA, R., LEONARD, S.A., Plastics and the Circular Economy, Scientific and Technical Advisory Panel to the Global Environment Facility, Washington, DC (2018).
- [3] GEYER, R., JAMBECK, J.R., LAW, K.L., Production, use, and fate of all plastics ever made, *Sci. Adv.*, **3** 7 (2017).
- [4] WORLD ECONOMIC FORUM, ELLEN MacARTHUR FOUNDATION, MCKINSEY CENTER FOR BUSINESS AND ENVIRONMENT, The New Plastics Economy – Rethinking the Future of Plastics, WEF, Cologny (2016).
- [5] OCEAN CONSERVANCY, MCKINSEY CENTER FOR BUSINESS AND ENVIRONMENT, Stemming the Tide: Land-based strategies for a plastic free ocean (2015)  
<https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/2017/04/full-report-stemming-the.pdf>
- [6] INTERGOVERNMENTAL SCIENCE-POLICY PLATFORM ON BIODIVERSITY AND ECOSYSTEM SERVICES, Summary for Policymakers of the Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES, Bonn (2019).
- [7] PLASTICSEUROPE, Plastics: The Facts (2019),  
[www.plasticseurope.org/application/files/9715/7129/9584/FINAL\\_web\\_version\\_Plastics\\_the\\_facts2019\\_14102019.pdf](http://www.plasticseurope.org/application/files/9715/7129/9584/FINAL_web_version_Plastics_the_facts2019_14102019.pdf)
- [8] ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, Improving Plastics Management: Trends, Policy Responses, and the Role of International Co-operation and Trade Background Report, OECD Environment Policy Paper No. 12, OECD, Paris (2018).
- [9] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, Global Waste Management Outlook, UNEP, Nairobi (2015).
- [10] LAU, W.W., et al., Evaluating scenarios toward zero plastic pollution, *Sci.* **369** 6510 (2020), 1455–1461.
- [11] BOURGUIGNON, D., Plastics in a Circular Economy: Opportunities and Challenges, PE 603.940, European Parliament, Brussels (2017).
- [12] ELLEN MacARTHUR FOUNDATION, The New Plastics Economy: Rethinking the Future & Catalysing Action, Ellen MacArthur Foundation, Cowes (2017).
- [13] NIELSEN, T.D., HASSELBALCH, J., HOLMBERG, K., STRIPPLE, J., Politics and the plastic crisis: A review throughout the plastic life cycle, *Wiley Interdiscip. Rev. Energy Environ.* **9** 1 (2020) e360.
- [14] KARASIK, R., 20 Years of Government Responses to the Global Plastic Pollution Problem: The Plastics Policy Inventory, Publication NI X 20-05, Duke University, Durham, NC (2020).
- [15] UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION, INTERGOVERNMENTAL OCEANOGRAPHIC COMMISSION, The Science We Need for the Ocean We Want: The United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021–2030), IOC/BRO/2018/7 Rev, UNESCO, Paris (2019).
- [16] EUROPEAN COMMISSION, A Circular Economy for Plastics, EC, Brussels (2019).
- [17] ASSOCIATION OF SOUTHEAST ASIAN NATIONS, Bangkok Declaration on Combating Marine Debris in ASEAN Region (2019), <https://asean.org/storage/2019/06/2.-Bangkok-Declaration-on-Combating-Marine-Debris-in-ASEAN-Region-FINAL.pdf>
- [18] UNITED NATIONS ECONOMIC AND SOCIAL COMMISSION FOR ASIA AND THE PACIFIC, Closing the Loop (2020), [www.unescap.org/projects/closing-the-loop](http://www.unescap.org/projects/closing-the-loop)

- [19] SUSTAINABLE SEAS TRUST, African Marine Waste Network (2020), <https://sst.org.za/projects/african-marine-waste-network/>
- [20] RECICLAJE INCLUSIVO HACIA UNA ECONOMIA CIRCULAR, Latitud (2020), <https://latitudr.org/>
- [21] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, Addressing Marine Plastics: A Systematic Approach — Recommendations for Action, UNEP, Nairobi (2019)
- [22] AL-SALEM, S., LETTIERI, P., BAEYENS, J., Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review, *Waste Manage.* **29** 10 (2009) 2625–2643.
- [23] RAGAERT, K. DELVAA, L., VAN GEEMB, K., Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste, *Waste Manage.* **69** (2017) 24–58.
- [24] VOLLMER, I., et al., Beyond mechanical recycling: Giving new life to plastic waste, *Angew. Chem. Int. Ed.* **59** 36 (2015) 15402–15423.
- [25] COLE, M., LINDEQUE, P., HALSBAND, C., GALLOWAY, T.S., Microplastics as contaminants in the marine environment: A review, *Mar. Pollut. Bull.* **62** 12 (2011) 2588–2597.
- [26] KANE, I.A., et al. Seafloor microplastic hotspots controlled by deep-sea circulation, *Sci.* **368** 6495 (2020) 1140–1145.
- [27] BANK, M.S., HANSSON, S.V. The plastic cycle: A novel and holistic paradigm for the Anthropocene, *Environ. Sci. Technol.* **53** 13 (2019) 7177–7179.
- [28] ROCHMAN, C.M., HOH, E., KUROBE, T., TEH, S.J. Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress, *Sci. RÉP.* **3** (2013) 3263.
- [29] ROCHMAN, C.M., et al. Rethinking microplastics as a diverse contaminant suite, *Environ. Toxicol. Chem.* **38** 4 (2019) 703–711.
- [30] LIEBMANN, B., et al., Assessment of Microplastic Concentrations in Human Stool: Final Results of a Prospective Study, Environment Agency Austria, Vienna (2018).
- [31] INTERNATIONAL MOLDED FIBER ASSOCIATION, Study Finds Microplastics Harm Immune Cells (2019), [www.imfa.org/study-finds-microplastics-harm-immune-cells/](http://www.imfa.org/study-finds-microplastics-harm-immune-cells/)
- [32] RAYNAUD, J., Valuing Plastics: The Business Case for Measuring, Managing and Disclosing Plastic Use in the Consumer Goods Industry, United Nations Environment Programme, Nairobi (2014).
- [33] ECONOMIST, The known unknowns of plastic pollution (2018), [www.economist.com/international/2018/03/03/the-known-unknowns-of-plastic-pollution](http://www.economist.com/international/2018/03/03/the-known-unknowns-of-plastic-pollution)
- [34] THE PEW CHARITABLE TRUSTS, SYSTEMIQ, Breaking the Plastic Wave: A Comprehensive Assessment of Pathways Towards Stopping Ocean Plastic Pollution, The Pew Charitable Trusts, London (2020).





**IAEA**

Élaboré par l'AIEA

[www.iaea.org](http://www.iaea.org)

[nutecplastics@iaea.org](mailto:nutecplastics@iaea.org)

Mai 2021