



Plastiques utilisés en agriculture et pour l'alimentation : usages, propriétés et impacts

INRAE



Résumé du rapport de l'expertise scientifique collective - 23 mai 2025

Pourquoi une expertise scientifique collective sur les plastiques utilisés en agriculture et pour l'alimentation ?

Les plastiques utilisés en agriculture et pour l'alimentation représentent environ un cinquième des plastiques utilisés. Puisqu'ils sont en contact étroit avec les sols, les aliments pour animaux, les aliments en devenir (cultures et animaux d'élevage) et les aliments ingérés par les êtres humains, leur soutenabilité et leur régulation (au sens large, incluant les réglementations) soulèvent des préoccupations particulières. Les connaissances scientifiques relatives à l'impact des plastiques sur les dimensions environnementales, sociales et économiques du développement durable tel que défini par les Nations Unies, y compris sur la santé humaine, augmentent. Ces connaissances pourraient fournir des informations sur l'adéquation de l'utilisation des plastiques avec un développement qui réponde aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins. Jusqu'à présent, les réglementations internationales, européennes et françaises n'ont pas réussi à infléchir les courbes de la production, de la génération des déchets et de la pollution plastiques (Figure 1).

L'Agence de la transition écologique (ADEME) et les ministères en charge de l'agriculture et de l'alimentation et de la transition écologique ont sollicité INRAE et le CNRS pour conduire une expertise scientifique collective (ESCO). Une telle ESCo est menée selon les principes de compétence, de pluralité des disciplines et des approches, d'impartialité et de transparence.

Dans le cadre de cette ESCo en particulier, un collectif pluridisciplinaire d'une trentaine de scientifiques français et européens a examiné et rassemblé les connaissances scientifiques disponibles sur la soutenabilité des plastiques utilisés en agriculture et pour l'alimentation, dans toutes ses dimensions, et en considérant l'ensemble des étapes de la vie des plastiques, de leur production à leur devenir dans l'environnement, en passant par leurs usages et la gestion de leurs déchets.

Plus de 4 500 publications ont été analysées, dont plus de 90 % de publications académiques et une centaine de textes législatifs et réglementaires. Les experts se sont concentrés sur les usages des plastiques en France métropolitaine et en Europe. Toutefois, un périmètre géographique plus large a été pris en compte en ce qui concerne la production, la gestion des déchets et les impacts.

Plastiques, plastiques utilisés en agriculture et pour l'alimentation, de quoi parle-t-on ?

Qu'il s'agisse de matériaux, d'objets ou de particules (Figure 2), les plastiques sont essentiellement constitués de **polymères** (des composés formés par des répétitions d'unités à base de carbone - appelées monomères - qui sont reliées les unes aux autres pour former une structure en forme de chaîne) auxquels des **additifs** peuvent être ajoutés pour obtenir les propriétés désirées.

En plus des additifs et des substances résiduelles issues des différentes étapes de préparation des polymères que sont la polymérisation et/ou la transformation, désignés sous le nom de **substances ajoutées intentionnellement (intentionally added substances, IAS)**, les plastiques contiennent des **substances non intentionnellement ajoutées (non-intentionally added substances en anglais, NIAS)** qui peuvent être des impuretés, des sous-produits de réaction et des produits de dégradation, ainsi que des contaminants chimiques (métaux lourds, pesticides, produits pharmaceutiques notamment) et/ou microbiens (agents pathogènes par ex.). Ces NIAS sont accumulés lors de la production, pendant et après usage.

Comme les plastiques se dégradent et se fragmentent sous l'effet de processus mécaniques ou physico-chimiques (déclenchés par les rayons ultraviolets (UV) et l'oxygène en particulier), des **particules de**

plastique sont retrouvées dans l'environnement : les macroplastiques (MaPL), dont la taille est supérieure à 5 mm, les microplastiques (MPL), dont la taille varie entre 1 µm et 5 mm, et les nanoplastiques (NPL), dont la taille est inférieure à 1 µm.

Les matières premières fossiles (pétrole et gaz naturel) sont les principales matières premières utilisées pour la production de plastiques. Le polyéthylène (PE), y compris le polyéthylène haute densité, le polyéthylène basse densité linéaire et le polyéthylène basse densité (PE-HD, PE-BDL et PE-BD, respectivement), le polypropylène (PP), le polychlorure de vinyle (PVC), le polyéthylène téréphtalate (PET) et le polystyrène (PS) sont les cinq plastiques les plus produits dans le monde et également les plus utilisés en agriculture et pour l'alimentation. Les plastiques biosourcés sont entièrement ou partiellement fabriqués à partir de ressources biologiques, plutôt que de matières premières fossiles. Ils ne représentent que 1,5 %, 1,5 % et 0,7 % des plastiques produits en France, en Europe et dans le monde, respectivement. Il est important de noter que les plastiques biosourcés ne sont pas nécessairement biodégradables et que les plastiques pétrosourcés ne sont pas nécessairement non biodégradables. Les termes « biopolymère » ou « bioplastique », qui peuvent désigner des produits biosourcés ou biodégradables, ou les deux, portent à confusion et sont donc considérés comme inappropriés, bien qu'ils soient souvent utilisés.

Les **plastiques utilisés en agriculture** sont destinés à la culture des plantes et à l'élevage dans les exploitations agricoles, en amont des chaînes de valeur alimentaires (Figures 2 et 3). Ils comprennent, de manière non exhaustive : (i) les plastiques contribuant à la conservation des fourrages tels que les films étirables pour l'enrubannage, les bâches pour couvrir l'ensilage, les ficelles et filets pour maintenir les balles de foin ; (ii) les plastiques contribuant à la protection des cultures, tels que les serres, les petits tunnels, les bâches de culture sans arceaux, les films de paillage, les tuyaux et gaines pour l'irrigation ; (iii) les plastiques d'enrobage des semences, des engrais et des produits phytopharmaceutiques pour une libération contrôlée des molécules d'intérêt, considérés comme contenant des MPL ajoutés intentionnellement ; (iv) les emballages de vente pour engrais, semences, produits phytopharmaceutiques et produits d'hygiène et vétérinaires ; et (v) les plastiques dans les bâtiments d'élevage, tels que les revêtements de sol ou les enveloppes des bâtiments.

Les **plastiques utilisés pour l'alimentation** visent à protéger, gérer et/ou promouvoir les aliments, aliments étant entendu ici au sens réglementaire, c'est-à-dire incluant les boissons mais excluant les produits végétaux à récolter et les animaux avant abattage (règlement (CE) n° 178/2002). Ils sont utilisés dans les activités logistiques de stockage et transport, de transformation et de distribution et de vente au détail (Figures 2 et 3). Ils comprennent : (i) les plastiques destinés à entrer au contact des aliments, incluant les emballages de vente (ou emballages primaires) et tout autre plastique entrant en contact avec des aliments au cours de leur production, transformation, stockage, préparation et service, par ex., les plastiques présents dans les machines de transformation des aliments, les ustensiles de cuisine et la vaisselle ; et (ii) les emballages groupés et de transport, également appelés emballages secondaires et tertiaires (directive 94/62/CE). Les plastiques destinés à entrer en contact avec des aliments doivent présenter des propriétés spécifiques pour garantir leur conservation et leur sécurité sanitaire (règlement (UE) n°10/2011).

Les plastiques utilisés en agriculture et pour l'alimentation comprennent des plastiques à usage unique et des plastiques réemployables ou réutilisables. Tels que définis dans le Code de l'environnement français, les plastiques réemployés sont des plastiques utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus. Les plastiques réutilisés sont des déchets plastiques qui sont contrôlés, nettoyés ou réparés pour être utilisés de nouveau.

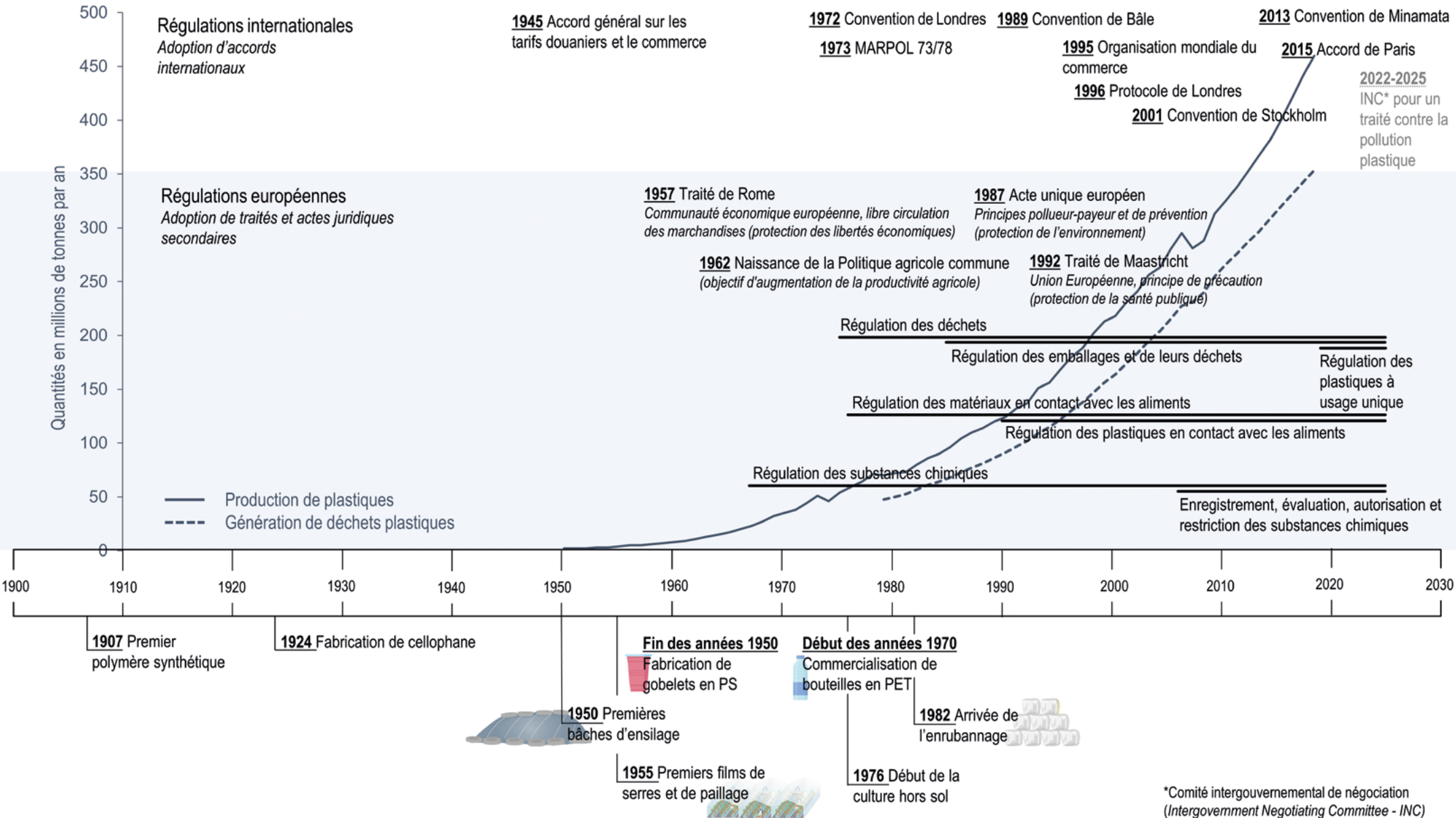


Figure 1. Innovations emblématiques des plastiques utilisés en agriculture et pour l'alimentation, production mondiale annuelle de plastiques entre 1950 et 2019, production mondiale annuelle de déchets plastiques entre 1980 et 2019, et principales réglementations internationales et européennes (fond bleu)

1. « L'âge du plastique » ou comment les plastiques se sont répandus dans les chaînes de valeur alimentaires

1.1. Les plastiques ont co-évolué avec les chaînes de valeur alimentaires, générant un verrou socio-technique

Au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, la production pétrolière a connu une croissance rapide, et le développement des produits dérivés du pétrole et de ses sous-produits, tels que les plastiques, s'est accéléré afin de remplacer les ressources rares. Les matières premières fossiles étant les principales matières premières utilisées pour la production de monomères et d'additifs, l'essor des plastiques était et reste directement lié aux stratégies et à la croissance de l'industrie pétrochimique. Les laboratoires de recherche et développement industriels ont joué un rôle central dans la synthèse et le développement des plastiques, motivés par la recherche du profit et la concurrence commerciale. Des directions marketing ont été créées pour promouvoir les propriétés des plastiques, avec des discours mettant en avant leur caractère innovant, polyvalent et indispensable à la vie moderne. Au cours des années 1950 et 1960, les plastiques ont encouragé la consommation de masse de produits à usage unique, façonnant une culture du jetable. Les plastiques ont été délibérément « conçus pour être jetés ». Ils sont devenus les icônes d'un mode de vie « moderne » basé sur la consommation, combiné à la production et l'accumulation de déchets.

Les plastiques ont d'abord été largement adoptés en aval des chaînes de valeur alimentaires, principalement pour emballer les aliments, puis en amont, dans les exploitations agricoles, pour conserver les fourrages et protéger les cultures horticoles (Figure 3). L'urbanisation, le déclin de la population rurale et l'augmentation connexe de la dispersion géographique et du nombre d'intermédiaires entre la production et la consommation alimentaires ont créé un environnement propice à l'adoption généralisée des plastiques, et en particulier des emballages alimentaires, dans la logistique (stockage, transport), la transformation et la distribution. Les emballages alimentaires en plastique sont devenus un exemple parfait de dispositif de mise en marché (*market device*), capable d'intervenir dans la structuration des chaînes de valeur alimentaires contemporaines mondiales et longues. Ils ont contribué à la marchandisation des aliments, les rendant plus faciles à gérer, modifiant leur nature même (en termes d'ingrédients, d'additifs, et de transformation) et transformant profondément tant les pratiques alimentaires que le rapport des individus à l'alimentation. Les bouteilles et gobelets en plastique, ou les films alimentaires en cellophane sont emblématiques de la façon dont les emballages en plastique ont participé à l'émergence de nouvelles normes sociales. L'eau, le café, la viande (plutôt que la carcasse) et, plus généralement, tous les aliments emballés devenant des objets facilement transportables, les consommateurs ont adopté de nouvelles normes en matière de pratiques de consommation privilégiant le libre-service, la restauration rapide, les plats à emporter ou la livraison à domicile de produits alimentaires prêts à consommer. De plus, l'appréciation de la qualité de ces produits est devenue visuelle plutôt que tactile et olfactive. Ces changements ont aussi participé à creuser le fossé entre les agriculteurs, les aliments que les agriculteurs produisent et les consommateurs urbains. Ils ont également permis à l'industrie agroalimentaire, aux distributeurs et aux entreprises de restauration de réduire leurs coûts de main-d'œuvre et de transférer les coûts de traitement des déchets vers les consommateurs et le secteur public.

Dans les exploitations agricoles, la politique agricole commune de 1962 de l'Union européenne a contribué à l'adoption des plastiques en promouvant les moyens technologiques permettant d'accroître la productivité agricole. Les plastiques ont ainsi été associés à l'industrialisation de l'agriculture, à l'amélioration des rendements et de la productivité du travail, et donc à l'augmentation de la production alimentaire et fourragère. Les plastiques ont remplacé d'autres matériaux et pratiques dans les exploitations agricoles. Ils ont profondément transformé la conservation des fourrages grâce à l'usage de films d'enrubannage et de bâches d'ensilage. Les plastiques permettent le contrôle des conditions environnementales des plantes cultivées grâce à l'usage de serres, de tunnels, de films de paillage et de matériels d'irrigation goutte à goutte, rendant possible la culture hors sol.

Les plastiques ont donc transformé les chaînes de valeur alimentaires et ont co-évolué avec elles, contribuant au développement de la consommation et de la production de masse dans des chaînes de valeur alimentaires globales et longues. Le système socio-technique dominant qui en résulte maintient les chaînes de valeur alimentaires dans un système verrouillé, favorable aux plastiques et à leurs usages.

1.2. Aujourd'hui, les chaînes de valeur alimentaires dominantes dépendent des plastiques

Les emballages plastiques facilitent la gestion et le marketing des aliments en aval des chaînes de valeur

Les emballages plastiques facilitent la gestion des aliments et permettent leur distribution et leur commercialisation à grande échelle sur les marchés mondiaux. Les emballages plastiques sont décrits comme étant une « peau du commerce » : ils enveloppent, protègent, préservent la sécurité sanitaire des produits, les conservent et jouent un rôle clé dans le transport et le stockage des produits agricoles et alimentaires, garantissant ainsi leur distribution, leur vente et, finalement, leur consommation, quelle que soit la distance par rapport aux sites de production. Les produits alimentaires ayant des durées de conservation différentes, cela est particulièrement vrai pour les denrées hautement périssables telles que les fruits et légumes à chair tendre, les produits laitiers, le poisson et la viande. C'est encore plus vrai lorsque ceux-ci sont tranchés ou coupés, mais moins vrai pour les denrées non périssables telles que le sel, le sucre et le vinaigre.

En plus d'être des dispositifs de mise en marché, les plastiques sont des outils de marketing qui permettent de promouvoir les aliments. Les emballages alimentaires en plastique offrent aux concepteurs une liberté infinie dans l'usage des formes, des textures, des couleurs et des textes à des fins de communication, qu'elle soit marketing, pratique ou réglementaire, comme la liste des ingrédients ou la date de péremption. Ils ont un rôle de captation de l'attention et d'évaluation indirecte et scripturale, permettant de créer différents produits commerciaux à partir d'un même produit de base.

Les raisons qui motivent le choix du plastique plutôt que d'autres types d'emballages alimentaires ne sont pas claires dans la littérature, car la protection, la conservation, l'information et la promotion ne sont pas spécifiques aux plastiques. Néanmoins, la littérature souligne leurs qualités combinées : légèreté, résistance mécanique, faible coût et praticité. Les emballages en plastique sont très polyvalents et peuvent être facilement adaptés à de nombreuses applications en aval des chaînes de valeur alimentaires.

A l'instar de son essor historique, la prévalence actuelle des emballages alimentaires en plastique est une évolution délibérée, motivée par les stratégies des entreprises qui promeuvent un mode de vie basé sur les usages du plastique. Elle répond aux objectifs, aux contraintes et aux pratiques que se sont fixés les entreprises de la pétrochimie, de la plasturgie, de l'agroalimentaire, de la distribution et de la restauration, qui visent à optimiser l'efficacité logistique et à réduire les coûts tout en respectant les exigences réglementaires. Contrairement aux aliments, les emballages alimentaires en plastique font en effet rarement l'objet d'un achat intentionnel de la part des consommateurs finaux.

Les infrastructures et intrants plastiques permettent de contrôler les conditions environnementales dans les exploitations bovines et horticoles

Bien qu'ils soient grands consommateurs de plastique (55 % des plastiques agricoles sont utilisés dans les exploitations bovines en Europe et 73 % en France), les raisons qui motivent l'usage des plastiques dans les systèmes de production animale ont été peu étudiées par rapport aux systèmes de production végétale. Les considérations relatives à leur soutenabilité, qu'elle soit économique, sociale ou environnementale, sont négligées. Les plastiques sont toutefois reliés aux systèmes d'élevage bovin dominants qui dépendent fortement du maïs et de l'herbe conservés, et en particulier aux systèmes laitiers et mixtes qui dépendent fortement de l'ensilage de maïs. Les rares publications se concentrent sur la comparaison de la qualité nutritionnelle du maïs ou de l'herbe ensilés, ou de l'herbe enrubbannée pour différents types de films plastiques, montrant des gains pour ceux qui sont moins perméables à l'oxygène, c'est à dire qui maintiennent le fourrage dans des conditions anaérobies plus appropriées que les films en PE standard.

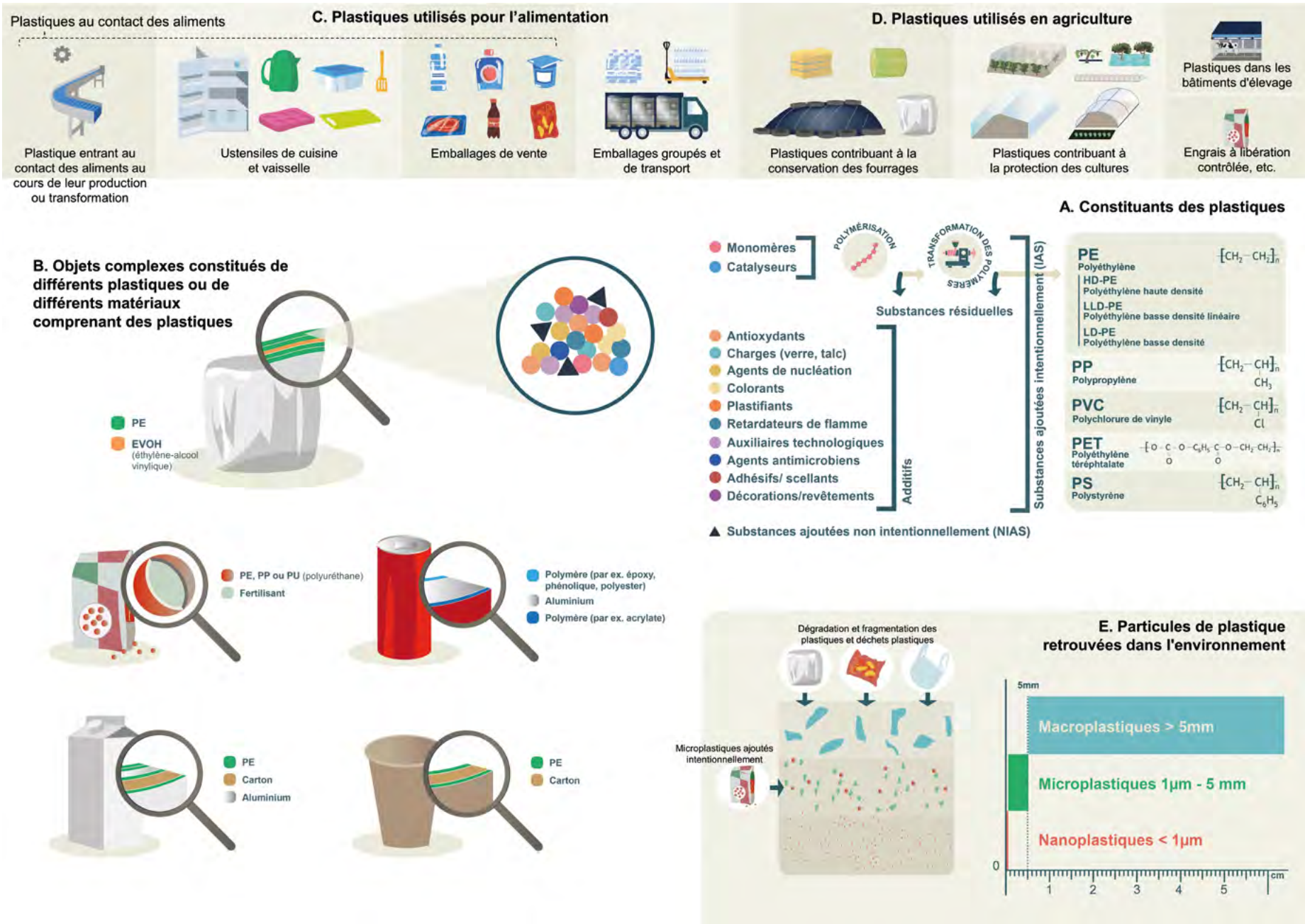


Figure 2. Les plastiques dans leur diversité : des constituants (A.) et matériaux aux objets (B., C., D.) et particules (E.).

Les publications portant sur les plastiques dans les systèmes de production végétale se concentrent sur les cultures horticoles et en particulier sur les cultures de tomates, dont les surfaces (principalement en Italie et en Espagne) et la valeur marchande sont les plus élevées parmi les légumes frais dans l'Union européenne. Les considérations relatives à la soutenabilité sont limitées aux objectifs agronomiques classiques, le plus étudié étant l'amélioration du rendement. Une gamme de technologies - intrants agrochimiques et infrastructures, parmi lesquelles les films de paillage ou de couverture des tunnels (75 % et 19 % des publications, respectivement, ces usages correspondant à la plupart des plastiques quantifiés comme étant commercialisés en agriculture) - appliquées à une seule culture, sont comparées, généralement à l'échelle de la parcelle expérimentale ou du champ et dans le cadre d'expérimentations à court terme en station expérimentale. Selon ces expérimentations, l'usage de plastiques augmente souvent les rendements, en contrôlant les conditions environnementales au niveau des cultures, en particulier la température, la disponibilité de l'eau et les adventices. Quantifier précisément cet effet des plastiques sur les rendements en Europe ou en France nécessiterait de conduire une méta-analyse, c'est-à-dire de mettre en œuvre une méthode bibliométrique et statistique permettant de combiner les résultats d'études indépendantes, en tenant compte

de différents facteurs de variation, notamment la température, les précipitations, les types de sols, les espèces cultivées et les pratiques culturales (usage de l'eau, d'engrais, de pesticides, etc.).

A ce stade, les pratiques des agriculteurs, leurs objectifs et leurs contraintes socio-économiques restent peu abordées dans la littérature sur les plastiques utilisés en agriculture ; il semble néanmoins que la forte intensité en main-d'œuvre des productions bovine et horticole ait favorisé son remplacement par des solutions techniques utilisant des plastiques. Les solutions alternatives à un niveau plus large et systémique (paysage, exploitation agricole, systèmes d'élevage et de culture) qui pourraient éviter ou limiter le recours aux plastiques (par ex., des rotations diversifiées pour lutter contre les ravageurs et maladies du sol comme alternative aux films de solarisation) ne sont pas étudiées. Il n'est donc pas possible de tirer des conclusions sur les performances des systèmes utilisant des plastiques par rapport à ces alternatives sans ou avec moins de plastiques. Bien qu'il s'agisse d'une question préoccupante, la soutenabilité des plastiques combinée avec des pesticides ou pour limiter le recours à ceux-ci reste peu étudiée. Les compromis entre les gains de rendement et les impacts environnementaux de la production, de l'usage et de l'élimination des plastiques, par ex., sur la qualité des sols et de l'eau, n'ont pas encore été analysés.

2. La plasticité des plastiques encourage la complexité dans la formulation et la conception, focalisant l'attention sur les propriétés des matériaux plutôt que sur les objectifs des utilisateurs

2.1. La recherche d'un équilibre entre les propriétés souhaitées rend la formulation et la conception complexes

Les voies de simplification des formulations plastiques n'ont pas été étudiées dans la littérature. Au contraire, celle-ci révèle que la recherche pour trouver un équilibre entre différentes propriétés souhaitées tend à complexifier les formulations et leur conception. Les plastiques sont essentiellement constitués de polymères. La structure des polymères influence leurs propriétés fonctionnelles. Cela implique que, pour une fonction donnée, un polymère ne peut pas être facilement substitué à un autre. Pour améliorer leurs propriétés, une multitude d'additifs sont donc ajoutés aux polymères, auxquels s'ajoutent encore les résidus issus de la préparation des polymères, ce qui engendre des matériaux contenant un très grand nombre d'ingrédients (IAS) (Figure 2). La complexité

chimique résultant de la formulation des plastiques devient encore plus complexe, difficile à tracer et moins transparente, à mesure que des étapes sont ajoutées et que de nouveaux acteurs interviennent dans le cycle de vie des plastiques. En outre, les plastiques accumulent des NIAS lors de leur fabrication, de leur usage ou encore lorsqu'ils sont exposés à l'environnement, et dans le cas des plastiques recyclés, ils accumulent de nouveau des IAS et NIAS au cours de leurs cycles de vie successifs. Bien que la littérature fasse état d'additifs testés pour améliorer les propriétés des plastiques, les plastiques sont en réalité commercialisés sans que la liste de leurs ingrédients soit divulguée, car cette information n'est pas requise.

Plastiques utilisés en agriculture

L'étude des propriétés des plastiques utilisés dans les systèmes de production végétale se concentre sur les films plastiques (79 % des publications), en particulier les films de serre et les films de paillage (37 % et 21 % des publications), ainsi que sur les propriétés radiométriques et antibuée recherchées pour ces objets.

Les propriétés radiométriques désignent la capacité des plastiques à transmettre, réfléchir et absorber le rayonnement solaire de différentes longueurs d'onde, y compris les rayons UV et infrarouges, ainsi que le rayonnement photosynthétiquement actif (PAR) qui permet la photosynthèse des plantes. La transmissivité souhaitée pour différentes longueurs d'onde varie en fonction des objets en plastique et des fonctions à remplir. Par ex., une transmissivité maximale du PAR est souhaitée pour les films de serre, alors qu'elle doit être minimale pour les films de paillage. Les propriétés radiométriques des plastiques diffèrent considérablement d'un polymère à l'autre et sont équilibrées en ajustant les formulations, par ex. en ajoutant de la lignine, du chitosane ou des

additifs réfléchissant les UV, ce qui peut toutefois affecter les propriétés mécaniques.

Les propriétés antibuée sont importantes pour les films de serre. Elles désignent la capacité des plastiques à empêcher la formation de buée, qui résulte de la condensation et du dépôt de gouttelettes d'eau à la surface des films à l'intérieur des serres. La buée réduit la transmissivité du PAR. Des propriétés antibuée peuvent être obtenues en modifiant les propriétés de surface des films grâce à une formulation ou des films plus complexes, c'est-à-dire en ajoutant des additifs tensioactifs ou bien une couche de surface contenant elle-même des additifs tensioactifs. Néanmoins, la littérature souligne que les additifs tensioactifs migrent vers la surface du film et se dissolvent partiellement mais continuellement dans l'eau condensée, ce qui affaiblit l'effet antibuée au fil des semaines ou des mois. En dehors de ces aspects de migration, le devenir des additifs n'est pas traité dans les publications ayant trait aux propriétés des plastiques, malgré leurs conséquences potentielles sur les cultures et l'environnement.

Compte tenu des quantités de plastiques utilisées dans les systèmes de production animale, il est frappant de constater que leurs propriétés n'ont fait l'objet que de très peu d'attention, tout comme les raisons de leur usage. Les quelques publications identifiées font l'hypothèse d'une diminution de la perméabilité à l'oxygène pour les films plus complexes (Figure 2), par ex. constitués de deux couches extérieures de PE et d'une couche centrale de polyamide. Néanmoins, les relations entre la structure, la formulation et les propriétés des plastiques, y compris les propriétés de barrière à l'oxygène, ne sont pas étudiées.

Outre les propriétés recherchées à des fins d'usage, la littérature examine la stabilité des plastiques dans le temps sous l'influence de différents facteurs environnementaux, en particulier les rayons UV. Cet intérêt se limite aux plastiques utilisés en agriculture, avec une attention particulière pour les films de serre, probablement parce qu'ils ont une durée de vie plus longue et sont exposés à des conditions environnementales plus sévères. L'intérêt de retarder le vieillissement des plastiques et la dégradation associée se traduit à nouveau par la recherche d'additifs, par des essais avec des concentrations plus élevées de stabilisants ou par la conception de films multicouches complexes afin de combiner de manière synergique les propriétés de polymères distincts.

L'étude des propriétés est généralement effectuée en conditions de laboratoire, sans tenir compte des conditions qui règnent dans les exploitations agricoles, et en particulier des pratiques et des contraintes des agriculteurs. Des publications sur le sujet montrent des interactions, parfois des réactions, entre les produits agrochimiques ou leurs produits de dégradation et les additifs. Par ex., les pesticides peuvent inhiber l'effet des stabilisateurs UV ajoutés pour prolonger la durée de vie des films en PE, accélérant ainsi leur vieillissement. Les films agricoles peuvent alors avoir une durée de vie limitée, même lorsque des additifs ont été ajoutés pour la prolonger. D'autres auteurs mentionnent des difficultés dans la mise en œuvre sur le terrain de la norme européenne EN13206, selon laquelle l'intégrité des films agricoles est considérée comme compromise lorsqu'une perte de 50 % de l'allongement initial à la rupture est atteinte. Par conséquent, dans la pratique, les propriétés mécaniques des films peuvent devenir si médiocres que leur récupération et leur recyclage peuvent s'avérer impossibles.

Plastiques utilisés pour l'alimentation

Les études portant sur les propriétés des plastiques utilisés pour l'alimentation se concentrent sur les plastiques destinés à entrer en contact avec les aliments et en particulier sur les emballages de vente. Concernant ces plastiques, la réglementation a établi une liste positive d'IAS autorisées pour leur fabrication, limitant ainsi la complexité des formulations, sans toutefois l'empêcher, d'autant que les plastiques destinés à entrer en contact avec les aliments sont aussi des outils de marketing, en plus d'être des dispositifs de mise en marché.

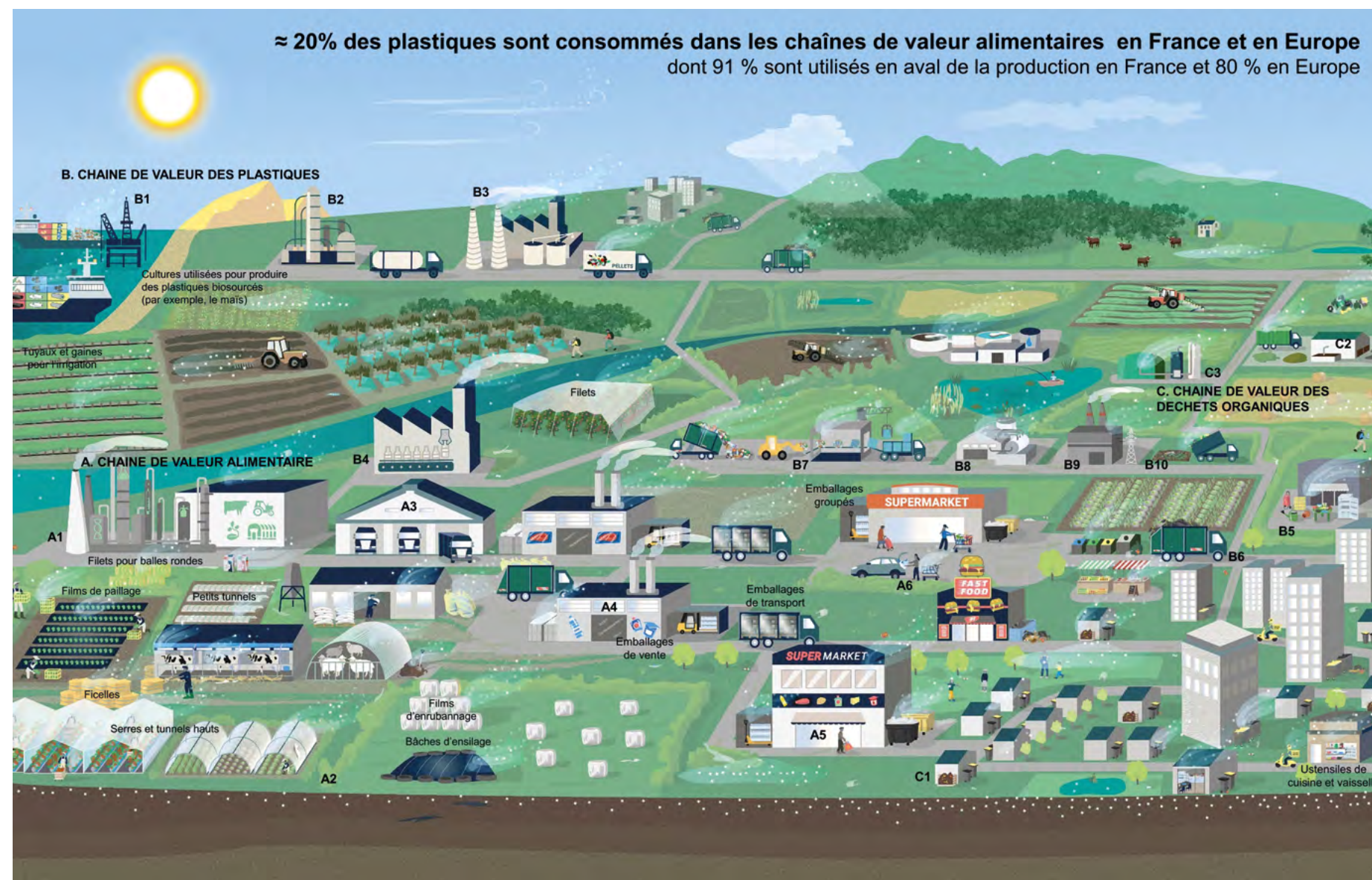


Figure 3. Représentation schématique du système des plastiques utilisés en agriculture et pour l'alimentation considéré dans l'ESCo. Les macroplastiques visibles, les sources et la dispersion des micro- et nanoplastiques invisibles sont représentés. **A. Chaîne de valeur alimentaire.** A1. Intrants agrochimiques et infrastructures. A2. Productions végétales et animales. A3. Stockage et transport des aliments. A4. Transformation. A5. Distribution. A6. Consommation. **B. Chaîne de valeur des plastiques.** B1. Extraction des matières premières. B2. Raffinage. B3. Polymérisation et transformation. B4. Fabrication de produits en plastique. A1 à A6. Usages en agriculture et pour l'alimentation. B5. Réemploi et/ou réutilisation. B6. Collecte. B7. Tri. B8. Recyclage. B9. Incinération avec récupération d'énergie. B10. Enfouissement. **C. Chaîne de valeur des déchets organiques.** C1. Compostage domestique. C2. Compostage industriel. C3. Digestion anaérobie

Les propriétés des emballages alimentaires qui ont fait l'objet d'études approfondies comprennent notamment les propriétés de barrière à la vapeur d'eau, à l'oxygène et au dioxyde de carbone. Ces propriétés sont recherchées car elles contribuent à protéger les aliments périssables et hautement périssables de l'environnement extérieur et à contrôler l'environnement intérieur de l'emballage. La littérature montre que les propriétés de barrière des plastiques varient considérablement d'un polymère à l'autre. La littérature souligne également qu'outre les divers mélanges de polymères et d'additifs, les emballages alimentaires en plastique sont rendus plus complexes afin d'améliorer leurs propriétés de barrière. C'est le cas des films multicouches composés de copolymère d'éthylène-alcool vinylique (EVOH) et de PE présentant de bonnes propriétés de barrière (Figure 2). C'est également le cas des emballages alimentaires fabriqués à partir de plastiques recyclés. A ces derniers sont ajoutées des barrières fonctionnelles, c'est-à-dire une ou plusieurs couches de matériau qui garantissent que les contaminants ne sont pas transférés depuis les plastiques recyclés vers les aliments en quantités susceptibles de nuire à la santé humaine ou d'altérer les aliments. C'est encore le cas, par ex., des gobelets en papier recouverts d'une fine couche de plastique. Pourtant, cette complexité affecte la recyclabilité des emballages alimentaires.

Plastiques biosourcés et/ou biodégradables

Bien que les plastiques biosourcés et/ou dits biodégradables soient rarement utilisés dans la pratique, ils ont fait l'objet d'un nombre important de publications entre 2000 et 2023. Ces publications montrent que les formulations des plastiques biosourcés et/ou biodégradables ne sont pas nécessairement moins complexes que celles des plastiques pétrosourcés. Dans certains cas, des additifs qui ne sont pas ajoutés aux plastiques pétrosourcés sont ajoutés aux plastiques biosourcés et/ou biodégradables, car leurs propriétés ne sont pas aussi bonnes. Par exemple, le PE pétrosourcé, qui est le polymère le plus utilisé pour fabriquer les films agricoles, possède intrinsèquement des qualités mécaniques adaptées à cette application, contrairement à d'autres polymères biosourcés et/ou biodégradables étudiés et pour lesquels des additifs spécifiques doivent être ajoutés. De même, la littérature montre comment l'ajout d'additifs aux polymères biosourcés et biodégradables contribue à améliorer les propriétés de barrière à la vapeur d'eau des films de paillage, ce qui n'est pas nécessaire lorsque le PE est utilisé. Il est important de noter que la littérature illustre parfois un manque de cohérence dans l'atteinte de certaines propriétés. A titre d'exemple, le mélange de polymères biodégradables avec des polymères pétrosourcés et/ou des additifs pour améliorer leurs propriétés de barrière ou mécaniques affecte en fin de compte leur biodégradabilité.

Nanocomposites

Bien que les nanocomposites, qui sont constitués de polymères auxquels des nanoparticules ont été ajoutées (notamment des nanoparticules d'argent, de dioxyde de titane, d'oxyde de zinc, de silice ou d'argile), soient rarement utilisés dans la pratique, ils sont l'objet de nombreuses études portant sur les plastiques utilisés dans les systèmes de production végétale et sur les emballages actifs en plastique (c'est-à-dire, des emballages conçus pour libérer ou absorber des substances dans les aliments ou dans l'environnement des aliments emballés pour prolonger leur durée de conservation - règlement (CE) n°450/2009). En ce qui concerne les films de serre, ces additifs nanoparticulaires sont ajoutés aux polymères afin d'améliorer leurs propriétés radiométriques (souvent au détriment des propriétés mécaniques) ou leurs propriétés antibuée. Dans les emballages alimentaires en plastique, ils sont ajoutés pour améliorer les propriétés antimicrobiennes et de barrière. Cependant, les risques potentiels pour les êtres humains et l'environnement ne sont pas considérés dans la littérature traitant des propriétés des plastiques.

Enfin, il est important de noter un manque de publications traitant d'analyses transversales, qui combindraient l'étude des propriétés d'usage (propriétés radiométriques, antibuée, de barrière, etc.) des plastiques utilisés en agriculture et pour l'alimentation, à leurs propriétés après usage (par ex., leur recyclabilité) et enfin à certaines propriétés à l'état de particules dans l'environnement (par ex., leur biodégradabilité). Cela limite les possibilités de conception durable.

2.2. Les relations entre formulations et bénéfices d'usage attendus par les utilisateurs sont omises, limitant les possibilités de simplification ou la recherche d'alternatives

La littérature examine les relations entre les formulations ou la conception et les propriétés, mais ne traite pas des relations entre les formulations ou la conception et les besoins réels et bénéfices attendus par les utilisateurs, qu'il s'agisse d'agriculteurs, d'entreprises agro-alimentaires, de distributeurs ou de consommateurs finaux. Ces lacunes dans l'analyse limitent davantage les possibilités de simplification des formulations ou même la recherche d'alternatives aux plastiques. Le champ des possibilités de reconception serait plus vaste si des solutions et objectifs à une échelle plus large et systémique étaient envisagés plutôt que de se focaliser sur les seuls matériaux plastiques. Concernant ces solutions plastiques, il serait nécessaire de lier les analyses réalisées au stade de la production aux quelques études portant sur les relations entre les propriétés et les bénéfices attendus par les utilisateurs. Toutefois, ces approches se heurtent à des obstacles, notamment le manque de traçabilité et de transparence concernant la formulation des plastiques mis sur le marché.

3. La gestion des déchets plastiques est difficile à contrôler et à mettre en œuvre dans la pratique

3.1. Les flux de déchets plastiques sont difficiles à suivre et à quantifier

Bien que la production de déchets plastiques ne cesse d'augmenter, les publications académiques restent rares en matière de cartographie des déchets plastiques, y compris celles visant à suivre et à quantifier les flux depuis leur collecte jusqu'à leur traitement en termes de réutilisation, de recyclage en boucle fermée et en boucle ouverte, d'incinération avec récupération d'énergie et d'enfouissement (Figure 3). Il existe donc un manque de données scientifiques et de méthodes pour générer ces données, encore plus à l'échelle sectorielle.

Tant au niveau français qu'europpéen, les acteurs du secteur privé – les éco-organismes, les associations professionnelles telles que Plastics Europe, ainsi que les recycleurs de plastiques tels que le Syndicat des Régénérateurs de matières Plastiques (SRP) – produisent des estimations sur les flux de déchets et les transmettent à des institutions publiques. Ces données estimées et les bases de données qui en résultent présentent un certain nombre de limites.

Tout d'abord, les données ne sont pas exhaustives, ni spécifiques des plastiques utilisés en agriculture et pour l'alimentation. En Europe, les différences dans la disponibilité des données sur les déchets plastiques par secteur s'expliquent en grande partie par l'existence ou non d'une filière à responsabilité élargie des producteurs (REP) dans ce secteur particulier, et donc par la mise en place ou non d'un éco-organisme pour gérer les déchets du secteur. En effet, les filières REP sont fondées sur le principe du pollueur-payeur et étendent la responsabilité des producteurs pour leurs produits au-delà de l'usage par les consommateurs. Ces filières demandent aux producteurs de

financer la gestion des déchets liés à leurs activités économiques (la littérature montre toutefois que ces coûts sont répercutés sur les consommateurs). Les éco-organismes sont mandatés par les producteurs pour gérer les déchets et doivent en rendre compte aux autorités, aux consommateurs et aux producteurs, et ainsi communiquer les données relatives à certains déchets plastiques. En France, les éco-organismes opérationnels impliqués dans la gestion des déchets plastiques utilisés en agriculture et pour l'alimentation sont ADIVALOR pour les déchets plastiques agricoles et CITEO et LEKO pour les déchets ménagers. De ce fait, davantage de données sont disponibles sur les flux de déchets plastiques agricoles et ménagers que sur les flux de déchets plastiques industriels et commerciaux, ces derniers restant largement méconnus. En France, la mise en œuvre récente de la filière REP Restauration et la mise en œuvre prévue de la filière REP Emballages industriels et commerciaux pourraient améliorer la disponibilité de ces données. À l'heure actuelle toutefois, les quantités de déchets plastiques générés puis collectés ne sont pas estimées pour tous les plastiques utilisés en agriculture et pour l'alimentation. De plus, les données sur les déchets d'emballages alimentaires en plastique ne peuvent pas être facilement distinguées de celles des déchets d'emballages en général, et des déchets ménagers. En France, la mise en place de l'extension de la consigne de tri (tous les emballages en plastique, en papier et en métal à jeter dans la même poubelle de tri) pourrait permettre de mieux distinguer ces données.

Ensuite, les données ne sont pas transparentes, reproductibles et validées. Les fournisseurs de données ne détaillent pas suffisamment les méthodes utilisées pour les estimer, ce qui rend celles-ci non reproductibles, leur évaluation qualitative impossible et leur interprétation plus que délicate. Pourtant, la littérature suggère qu'un suivi plus approfondi et plus de transparence limiteraient la sous-déclaration et le commerce illégal des déchets plastiques.

Enfin, les données dépendent des zones géographiques considérées (d'autant que les déchets plastiques sont des marchandises qui peuvent être exportées et importées), des réglementations, des secteurs, des catégories (groupes de produits et de matériaux plastiques) et de leur définition (par ex., les plastiques recyclés peuvent désigner des plastiques envoyés au recyclage mais pas nécessairement recyclés). Il y a aussi une dépendance au temps, ce qui rend les comparaisons difficiles et l'analyse des données assez fastidieuse.

3.2. La collecte et le tri des déchets plastiques sont des étapes clés qui influencent leur traitement ultérieur, y compris le recyclage

Il existe une grande diversité dans les systèmes de collecte et de tri des déchets plastiques. La manière dont les étapes de collecte et de tri sont organisées et institutionnalisées mérite une attention particulière, car on estime que 3,6 millions de tonnes (Mt) de déchets plastiques ont été collectées en 2018 en France, 32,3 Mt en 2022 en Europe et 179,5 Mt en 2016 dans le monde. Parmi ces déchets plastiques, en France, 2,43 Mt ont été estimées comme étant des déchets d'emballages plastiques, 0,98 Mt des déchets plastiques agricoles, et en Europe, ils représentent respectivement 18,5 et 1,5 Mt. Pourtant, il existe encore très peu de littérature sur le sujet.

Certaines publications se sont intéressées aux facteurs influençant le taux de collecte des déchets plastiques ménagers, c'est-à-dire le rapport entre les déchets plastiques ménagers collectés et produits. Elles montrent une augmentation de ce taux avec l'augmentation du niveau d'éducation et du produit intérieur brut par habitant, avec la diminution de la densité de population (taux plus élevés dans les zones rurales que dans les zones urbaines), et lorsque la collecte des plastiques est étendue à tous les emballages plastiques, qu'il existe une combinaison de systèmes de collecte ou qu'une tarification

incitative en fonction de la quantité de déchets produits (volume, poids ou nombre d'enlèvements) soit appliquée (associée à des campagnes de prévention visant à limiter les dépôts sauvages de déchets et les décharges illégales).

Toutefois, des taux de collecte plus élevés ne se traduisent pas nécessairement par des taux de tri plus élevés, c'est-à-dire par des rapports plus élevés entre déchets plastiques correctement triés et envoyés au tri, ou par une meilleure qualité des déchets plastiques triés. Cette qualité influence quant à elle les options de traitement ultérieur, à savoir, par ordre décroissant de qualité, la réutilisation, le recyclage, l'incinération avec récupération d'énergie ou l'enfouissement. Les rares publications traitant de ces aspects soulignent que la qualité des plastiques triés est décrite en termes de composition en plastique (homogène dans le cas d'un plastique unique, ou hétérogène dans le cas de plastiques mélangés et/ou assemblés) et de contamination (par d'autres déchets plastiques ou d'autres déchets et des NIAS). Ces critères varient en fonction du type de déchets plastiques, de leur origine, c'est-à-dire s'ils sont éliminés par les industries (déchets industriels) ou par les consommateurs finaux (déchets ménagers et assimilés), du système de collecte et du système de tri associé. Dans le cas d'une collecte élargie des déchets plastiques ménagers, les quantités de déchets plastiques collectés et triés augmentent, mais la qualité des déchets triés, par ex. du PET transparent utilisé pour fabriquer des bouteilles, diminue en raison d'une contamination plus importante par d'autres déchets plastiques.

Dans l'ensemble, quels que soient les systèmes de collecte et de tri actuels, les plastiques triés envoyés au recyclage sont principalement des bouteilles en PET transparent, du PE-HD et, dans certains cas, du PP. Les systèmes de tri actuels ne permettent pas encore de trier les plastiques composites (matériaux composés de plastique et d'un ou plusieurs matériaux distincts), multicouches, revêtus, souples et étiquetés.

Enfin, dernier point mais non des moindres, compte tenu de l'abondante littérature sur le sujet, les systèmes de collecte et de tri ne sont pas adaptés ou rendus spécifiques aux plastiques biodégradables, en conséquence de quoi ils contaminent et affectent la qualité des déchets plastiques triés ou des déchets organiques triés.

3.3. Les plastiques sont recyclables, mais la plupart ne sont pas recyclés

Pour les raisons expliquées ci-dessus, il n'existe pas de données exhaustives ou spécifiques sur le recyclage des déchets plastiques utilisés en agriculture et pour l'alimentation. Les chiffres disponibles indiquent que : (i) au niveau mondial, les plastiques sont encore principalement enfouis (64 %) ; (ii) au niveau européen, ils sont principalement incinérés (42 %) ; et (iii) en France, ils sont collectés en vue du recyclage (35 %), envoyés à l'incinération (33 %) ou à l'enfouissement (32 %) dans des proportions équivalentes. Au niveau européen, les quantités de déchets plastiques envoyés au recyclage tendent à augmenter et ont doublé en 15 ans, pour atteindre 35 % des déchets plastiques, comme en France. Cela s'explique probablement par l'amélioration des systèmes de collecte et de tri des déchets, l'augmentation des quantités de déchets d'emballages plastiques collectés séparément et le développement des initiatives de recyclage des déchets plastiques agricoles. En France, selon ADIVALOR, 56 % des déchets plastiques agricoles que l'éco-organisme est chargé de gérer sont recyclés, contre 20 % en Europe. On estime que 25 % des déchets d'emballages plastiques sont recyclés en France et 38 % en Europe. Les estimations suggèrent que, au moins en Europe, les plastiques utilisés pour l'alimentation et, au moins en France, les plastiques utilisés en agriculture sont mieux recyclés que les plastiques en général.

Le recyclage mécanique, c'est-à-dire le retraitement des déchets plastiques sans modification de la structure chimique des polymères, est la méthode de recyclage la plus couramment utilisée dans la pratique. Cependant, son développement est entravé par un certain nombre de défis, notamment organisationnels, économiques et technologiques. Le recyclage est influencé par les étapes de collecte et de tri et implique lui-même différentes étapes successives, telles que le broyage, la séparation, le lavage et l'extrusion, au cours desquelles des pertes de matière sont inévitables. Sa rentabilité, voire sa viabilité économique, font l'objet de débats. La littérature souligne la nécessité d'un soutien public en raison des investissements et des coûts élevés des étapes de collecte, de tri et de recyclage, ainsi que de la vulnérabilité face aux prix du pétrole et aux prix associés des plastiques vierges par rapport aux plastiques recyclés.

Dans le cas du recyclage mécanique, la recyclabilité des plastiques, c'est-à-dire leur capacité à être recyclés, est limitée par leur dégradation au cours de leur vie, lors du recyclage et, encore davantage après plusieurs cycles de recyclage successifs. La composition hétérogène des plastiques triés, due à la complexité des objets fabriqués à partir de différents plastiques (composites plastiques, plastiques multicouches et matériaux multicouches comprenant des plastiques, plastiques avec revêtement et matériaux avec revêtement plastique, mélanges de plastiques et plastiques étiquetés), constitue également une limitation. La contamination par d'autres déchets plastiques ou d'autres déchets et les NIAS constitue une limitation supplémentaire. Par ailleurs, les NIAS peuvent accélérer la dégradation des plastiques destinés à être recyclés et présenter des risques pour la santé ou altérer les aliments lors de l'usage de plastiques recyclés en contact avec les aliments. C'est pourquoi pour cette application, une attention particulière est accordée dans la littérature aux effets de la contamination des plastiques sur leur recyclabilité et leur capacité à entrer à nouveau en contact avec les aliments. En revanche, très peu d'attention est accordée aux effets de la contamination des plastiques agricoles sur leur recyclabilité et leur capacité à entrer à nouveau en contact avec l'environnement.

Lorsque les plastiques sont trop dégradés ou contaminés d'une manière qui ne respecte pas les réglementations en vigueur en matière de contact alimentaire, le plastique recyclé ne peut plus être recyclé en boucle fermée, c'est-à-dire utilisé pour créer une nouvelle version du même produit, ni même être recyclé du tout. Dans la pratique, la plupart des plastiques, et des plastiques utilisés en agriculture et pour l'alimentation en particulier, ne sont pas recyclés et, s'ils le sont, ils sont recyclés en boucle ouverte, par ex. lorsque les films d'enrubannage sont recyclés en sacs poubelles ou que les déchets d'emballages plastiques ménagers sont recyclés en matériaux de construction. Dans les cas où les plastiques en contact avec les aliments passent entre les mains du consommateur, la réglementation européenne et l'état des connaissances ne permettent le recyclage en boucle fermée que pour les bouteilles en PET transparent. Toutefois, cela ne signifie pas que toutes sont recyclées. En France, près de la moitié du PET transparent ménager n'est toujours pas recyclé. Dans l'industrie, la réglementation est beaucoup plus souple, puisque des chaînes contrôlées et fermées sont supposées prévenir la contamination. L'ajout d'additifs et/ou de polymères vierges est souvent proposé pour répondre notamment à la problématique de dégradation des plastiques observée dans le recyclage mécanique.

La recherche de solutions technologiques pour surmonter les limites du recyclage mécanique est très active, mais peu sont actuellement développées à échelle industrielle. Parmi les autres méthodes de recyclage, le recyclage chimique, notamment la pyrolyse, la solvolyse, et le recyclage enzymatique sont envisagés. Le recyclage chimique est présenté comme un moyen d'éviter les problèmes de dégradation et de contamination, car il décompose les déchets plastiques en monomères

pouvant être réutilisés pour fabriquer de nouveaux polymères. Cependant, le recyclage chimique devient difficile lorsque les déchets plastiques ont une composition hétérogène et/ou sont contaminés. Il est suggéré de le combiner avec le recyclage mécanique, car il nécessite des investissements et des coûts plus élevés. Dans la pratique, les quantités de plastiques produites par recyclage chimique sont infimes (0,07 % et 0,19 % au niveau mondial et européen, respectivement), plus encore que les quantités de plastiques biosourcés.

3.4. La plupart des plastiques ne sont ni biodégradables ni biodégradés

La recherche sur les plastiques biodégradables s'est développée dans le but de limiter les quantités de déchets plastiques à gérer et de veiller à ce qu'ils ne s'accumulent pas sous forme de particules de plastique dans l'environnement. Ainsi, les déchets plastiques biodégradables pourraient être biodégradés *in situ* dans les sols ou avec les déchets organiques dans le compost domestique ou dans des installations de compostage industriel ou de digestion anaérobie (Figure 3).

La biodégradation des plastiques est un processus différent de la dégradation des plastiques et de leur fragmentation en particules, même si ces processus ne sont pas toujours bien distingués dans la littérature. La biodégradation des déchets plastiques est la décomposition des déchets plastiques par des organismes vivants, en particulier des micro-organismes. Dans les sols et dans le cas du compostage, qu'il soit effectué dans des conditions plus (à l'échelle industrielle) ou moins (à domicile) contrôlées, l'oxygène est disponible et les déchets plastiques se décomposent principalement en eau, en dioxyde de carbone et en compost. Dans le cas de la digestion anaérobie, qu'elle soit effectuée à basse (mésophile) ou haute (thermophile) température, l'oxygène n'est pas disponible et les déchets plastiques se décomposent en méthane, en dioxyde de carbone et en digestat. Le compost et le digestat sont ensuite épandus pour fertiliser les sols.

En ce qui concerne les polymères, la littérature montre que les polymères pétrosourcés non biodégradables, notamment le PE, le PP, le PVC, le PET et le PS, ne sont pas biodégradés, quelles que soient les conditions, mais se dégradent et se fragmentent jusqu'à devenir invisibles. En ce qui concerne les plastiques dits biodégradables, qu'ils soient pétro- ou biosourcés, les résultats sont contrastés et varient en fonction des polymères, de la formulation des plastiques, du prétraitement des déchets plastiques avant le compostage ou la digestion anaérobie, des facteurs abiotiques et biotiques pendant le traitement (comme la température et les micro- et macro-organismes présents) et de la durée du traitement. Dans l'ensemble, parmi les polymères mentionnés dans la littérature qui ont des applications possibles mais qui sont actuellement peu utilisés en agriculture et pour l'alimentation, les polymères pétrosourcés et biosourcés dits biodégradables sont tous biodégradés en compostage industriel. Il s'agit du polybutylène succinate (PBS), du polybutylène adipate téréphtalate (PBAT) et du polycaprolactone (PCL) pour les pétrosourcés, et pour les biosourcés de l'acide polylactique (PLA ; produit à partir de monomères issus de la biomasse) et des polyhydroxyalcanoates (PHA ; produits par des micro-organismes), et les polymères à base de cellulose et d'amidon (tous deux extraits de la biomasse). Cela s'explique par une température élevée (70°C pendant plusieurs jours) pendant la phase active du compostage industriel, la présence de champignons à forte capacité enzymatique pendant la phase de maturation et des conditions plus contrôlées. Le PBS et le PBAT ne sont pas ou peu biodégradables dans les sols, respectivement, peu biodégradables en compostage domestique et pas du tout en digestion anaérobie. Le PLA n'est biodégradé qu'à haute température, c'est-à-dire qu'il ne l'est pas

dans les sols, ni en compostage domestique ou en digestion anaérobie mésophile. Le PCL n'est pas biodégradé en digestion anaérobie mésophile. Enfin, à ce jour, seuls les PHA et les polymères à base de cellulose et d'amidon ont montré des niveaux moyens ou bons à élevés de biodégradation dans tous les environnements testés. Cependant, ces résultats dépendent fortement de la formulation des plastiques, car les polymères dits biodégradables sont souvent modifiés ou mélangés à d'autres polymères plastiques pour améliorer leurs propriétés.

Par conséquent, la littérature souligne la nécessité d'adapter le traitement des déchets plastiques dits biodégradables à leur capacité réelle à être biodégradés et la manière dont ils sont étiquetés, collectés et triés avant traitement. En outre, la littérature souligne la nécessité de prendre en compte les additifs et les NIAS lors de l'évaluation de la biodégradation, car celle-ci se concentre actuellement sur la biodégradation des polymères et des mélanges de polymères.

4. Les plastiques sont omniprésents, dangereux et ont des effets néfastes à plusieurs échelles

4.1 Les plastiques se fragmentent, se dispersent et contaminent l'environnement, les organismes vivants et les chaînes alimentaires

Malgré les efforts déployés, il subsiste de grandes quantités de déchets plastiques ni collectés, ni traités de manière adaptée. De plus, la pollution plastique ne se limite pas à une pollution visible sous forme de MaPL. Elle est aussi une pollution invisible (Figure 3), qui résulte de la dégradation, de la fragmentation, de la dispersion sous forme de MPL et de NPL, du transfert de constituants des plastiques (IAS et NIAS) et de l'adsorption puis de la désorption de contaminants (NIAS). Ces processus interviennent depuis la production, pendant et après l'usage des plastiques.

Sols agricoles

La littérature sur la contamination des sols par les plastiques est récente, faisant suite aux travaux sur l'environnement marin, les milieux d'eau douce ainsi que l'atmosphère, et se concentre essentiellement sur la contamination par les MPL. Elle montre que tous les sols, qu'ils soient urbains, agricoles ou même situés dans les régions les plus reculées, comme les déserts, sont contaminés par des MPL, avec des ordres de grandeur atteignant approximativement 10 000, 1 000 et 100 MPL par kg (poids sec) de sol, respectivement. Les sols agricoles sont ainsi fortement contaminés. La contamination à l'échelle mondiale de la surface des sols agricoles est soulignée comme étant supérieure à celle des océans et constitue donc un sujet majeur de préoccupation.

Le PE, suivi du PP, deux des polymères les plus utilisés dans les chaînes de valeur alimentaires, sont les plus abondants dans les sols agricoles. En outre, ces derniers sont contaminés par des constituants des plastiques tels que les phtalates (principalement ajoutés comme plastifiants) et le bisphénol A (BPA ; les bisphénols étant principalement utilisés comme monomères dans la formulation du polycarbonate pour la vaisselle et les bouteilles et des résines époxy pour recouvrir l'intérieur des boîtes de conserve et des canalisations), qui sont déjà connus pour présenter des risques pour la santé humaine.

L'usage d'intrants agrochimiques et d'infrastructures en plastique, de déchets organiques (y compris de compost, de digestat, de boues, de fumier) et de l'irrigation pour les productions végétales et animales sont sources de MPL dans les sols agricoles. D'une part, l'usage de plastiques dans les exploitations agricoles entraîne une contamination par les MaPL qui se fragmentent ensuite en MPL et NPL, auxquels s'ajoutent les plastiques d'enrobage des engrais et des semences pour la libération contrôlée des engrais et des produits

phytopharmaceutiques qui sont des sources directes de MPL. D'autre part, l'usage de déchets organiques et des eaux d'irrigation, contaminés en amont des exploitations agricoles par le biais d'autres activités humaines, entraîne une contamination supplémentaire par les MPL. Le dépôt atmosphérique de MPL accentue encore le phénomène et entraîne des niveaux élevés de contamination. À ce jour, les données disponibles et les limites méthodologiques rendent encore difficiles la hiérarchisation des sources de MPL ainsi que la prise en compte des différents contextes et de la diversité des sols agricoles.

Organismes vivants

Une fois exposés à un environnement contaminé, les organismes vivants sont eux-mêmes contaminés et contribuent à la dispersion des particules de plastique. De plus, à mesure que les plastiques se fragmentent en particules de plus en plus petites, ils deviennent disponibles pour un plus grand nombre d'organismes vivants par ingestion, inhalation et contact externe. Le potentiel de transfert d'un organisme à l'autre le long des chaînes alimentaires, et dans le milieu environnant, augmente également. Les NPL sont de taille suffisamment petite pour pénétrer dans les cellules de différentes espèces. La contamination affecte les (micro-)organismes du sol (la littérature concernant surtout les vers de terre et les nématodes), les plantes sauvages et les cultures (alimentaires et fourragères), les vertébrés sauvages et les animaux d'élevage. En ce qui concerne les végétaux, la littérature rapporte que les NPL peuvent pénétrer dans l'enveloppe des graines ou les racines, et atteindre différentes parties de la plante. Les MPL et les NPL contaminent les animaux d'élevage par le biais de l'alimentation, de l'eau et de l'air. Cette contamination est influencée par les pratiques agricoles, y compris l'usage de plastiques et d'intrants contaminés. Les MPL sont retrouvés dans le lait, les matières fécales et différents organes, y compris les muscles. Les phtalates et les bisphénols contaminent également les animaux d'élevage par le biais de l'alimentation et de l'eau. Le BPA est retrouvé dans l'urine et les muscles.

Aliments, y compris les boissons

La littérature souligne que plus de 1 000 constituants des plastiques ont été identifiés comme ayant une capacité de migration des plastiques vers les aliments avec lesquels ils sont en contact. La migration à partir de plastiques pétrosourcés (la littérature est rare sur les plastiques biosourcés) et la migration d'emballages alimentaires en plastique à usage unique en particulier vers des modèles d'aliments (utilisés plutôt que de vrais aliments) sont le plus souvent étudiées. Les constituants les plus étudiés sont dans le cas : (i) des emballages alimentaires en plastique, des additifs tels que les phtalates et les antioxydants, des monomères tels que les bisphénols et des NIAS tels que les oligomères et (ii) de la vaisselle et des ustensiles de cuisine, des dérivés de la mélamine et du formaldéhyde. Il a été démontré que la migration est influencée par des facteurs externes liés à différentes conditions de stockage (par ex., le rayonnement UV) et de cuisson (par ex., la température), ainsi que par les caractéristiques des aliments (acidité et teneur en matières grasses).

Les MPL et les NPL sont d'autres contaminants alimentaires, avec des données récentes complémentaires sur les oligomères de taille submicrométrique. La littérature sur les MPL se concentre sur la contamination des produits de la mer et des eaux destinées à la consommation humaine. Les sources de contamination, présentes tout au long des chaînes de valeur alimentaires, peuvent inclure : l'environnement (le sol, l'air et l'eau), les pratiques agricoles, de pêche et d'aquaculture, les modalités de transport, les pratiques de stockage et de transformation, les pratiques des consommateurs finaux, et les plastiques au contact des aliments eux-mêmes, sous l'influence de contraintes mécaniques et thermiques.

Êtres humains

À l'instar des autres organismes vivants, en raison des aliments qu'ils ingèrent et de l'air qu'ils respirent (l'exposition cutanée reste peu documentée), les êtres humains sont exposés aux plastiques et contaminés par ces derniers. Une grande diversité de constituants des plastiques au contact des aliments et de polymères pétrosourcés (la littérature sur les polymères biosourcés est peu abondante) est retrouvée lors de l'analyse de différents échantillons humains. Des MPL (la littérature sur les NPL est émergente) sont détectés dans les fluides corporels (par ex., les expectorations, le sang et l'urine), les matières fécales, différents organes (par ex., les poumons et le côlon), systèmes biologiques (par ex. le système reproducteur masculin), ou encore dans le lait maternel, le méconium et le placenta. Les populations à risque sont également concernées, comme les enfants qui sont potentiellement plus sensibles en raison d'une exposition plus importante par rapport à leur poids corporel. Certains éléments de la littérature suggèrent l'influence des modes de vie sur les niveaux de contamination par les MPL. Les quantités réelles de particules de plastique ingérées par les êtres humains sont encore incertaines et susceptibles de varier considérablement. Des recherches supplémentaires sont ainsi nécessaires pour quantifier l'exposition humaine et, à partir des dangers identifiés, pouvoir évaluer les risques sanitaires liés aux plastiques.

4.2 Les plastiques constituent un danger pour la santé des organismes vivants et affectent le fonctionnement des écosystèmes continentaux

Les plastiques ont des effets multi-échelles au sein des écosystèmes continentaux, et des écosystèmes terrestres et d'eau douce qui les composent. Les effets d'un nombre limité d'IAS parmi les 10 000 à 16 000 constituants des plastiques sont connus à ce jour. Il s'agit des perturbateurs endocriniens en particulier, parmi lesquels les phtalates et les bisphénols. Ceux-ci peuvent perturber le système hormonal et avoir des effets néfastes, par ex. sur la reproduction comme démontré chez les lombrics, les amphibiens, le campagnol, le lapin, mais aussi les ruminants d'élevage, le porc et les volailles. L'effet « cheval de Troie » des particules de plastique, à savoir leur capacité d'adsorber puis de désorber d'autres contaminants, a été démontré au niveau moléculaire et sur certains organismes de la faune sauvage et les animaux d'élevage (cadmium chez le bétail, antibiotiques chez les volailles et les collemboles, hydrocarbures aromatiques polycycliques chez les poissons et les moules d'eau douce, glyphosate chez la carpe commune ou encore pesticides dans les sols).

En ce qui concerne les effets des particules de plastique sur les organismes du sol, les connaissances sont limitées à quelques espèces modèles, mais convergent, dans le cas des MPL, vers des effets néfastes sur les vers de terre et les nématodes. Par ailleurs, les particules de plastique constituent une source supplémentaire de carbone servant alors de nouvel habitat écologique aux (micro-) organismes du sol (la « plastisphère »), modulant leur composition et leurs fonctions à différents niveaux trophiques. Les études actuelles sur les plantes non cultivées et les cultures convergent vers des effets négatifs des MPL sur la germination, la photosynthèse, la croissance et la biomasse, bien que des effets négligeables ou positifs puissent être observés en fonction des variables étudiées et de différents facteurs (facteurs environnementaux, espèce, polymère, taille et concentration des particules de plastique, produits de dégradation des plastiques). Les pertes de production pour le blé, le maïs et le riz ont été estimées

et cartographiées, notamment en France et en Europe. Les effets sur les vertébrés sauvages sont largement méconnus. Ceux observés sur les animaux d'élevage comprennent une baisse du rendement en lait et une perte de poids chez le bétail, ainsi qu'une baisse de la qualité de la viande et de la croissance chez les volailles.

En définitive, l'accumulation de MaPL et de MPL (les NPL sont encore peu étudiés) dans l'air, l'eau et le sol affecte les propriétés du sol, les organismes vivants, la biodiversité associée, les processus écologiques et le fonctionnement des écosystèmes. La formation et le maintien des sols, la rétention de l'eau dans les sols, la production et l'apport de matière organique sont à ce jour les aspects les mieux documentés. Une telle accumulation est finalement susceptible d'affecter la fourniture de services écosystémiques, y compris à long terme la disponibilité alimentaire.

4.3 Les plastiques ont un impact sur la santé humaine

Comme pour les autres organismes vivants, les effets des constituants des plastiques sont connus pour un nombre limité de molécules et n'ont été pleinement élucidés que pour les phtalates et le BPA. Sur la base d'approches précliniques, c'est-à-dire sur des rongeurs de laboratoire, et cliniques, c'est-à-dire chez les êtres humains, il a été établi, avec un niveau de preuves élevé, que les phtalates et le BPA ont un impact sur la santé humaine. Ils induisent le développement de l'asthme/des allergies, de cancers, de maladies cardiovasculaires, métaboliques (diabète et obésité), neurologiques, rénales et thyroïdiennes. Les phtalates induisent également le développement de maladies hépatiques et le BPA de maladies gastro-intestinales et immunitaires. Enfin, le rôle des phtalates et du BPA est avéré dans les troubles du développement et de la reproduction masculine et féminine. Ils ont donc été officiellement reconnus comme perturbateurs endocriniens, et l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) a fixé des seuils réglementaires (dose journalière tolérable - DJT) pour ces constituants. Cependant, l'EFSA a également signalé que, dans le cas du BPA, ce seuil était dépassé en moyenne pour l'ensemble de la population européenne. Il est à noter que les coûts liés à l'impact des constituants des plastiques sur les pathologies humaines ne sont que très partiellement estimés, mais s'élèveraient déjà à 33,23 milliards d'euros dans l'Union européenne. Cette estimation ne prend pas en compte toutes les pathologies, ni tous les constituants connus pour être dangereux (plus de 4 000 sur 16 000 constituants des plastiques) ou ceux (plus de 10 000 sur 16 000 constituants des plastiques) qui, s'ils étaient évalués, pourraient révéler une dangerosité pour la santé.

Les études convergent vers un impact des particules de plastique sur la santé humaine, même si des recherches supplémentaires sont nécessaires, pour aller au-delà des seules approches précliniques et pour renforcer le niveau de preuves. Sur la base des données existantes (niveau de preuves moyen ou faible), les MPL et les NPL présentent une toxicité pour le développement et la reproduction, et contribuent à la promotion de maladies neurologiques, pulmonaires et gastro-intestinales. Il a également été montré, toujours en préclinique, que les MPL contribuent à la promotion de maladies hépatiques et rénales, telles que des fibroses. La toxicité est le plus souvent observée à partir d'une dose d'exposition de 20 µg de MPL ou NPL par kg de poids corporel et par jour. Cependant, les MPL induisent une toxicité neurologique à des doses beaucoup plus faibles, soit à partir de 6,5 ng par kg de poids corporel et par jour.

En complément des études *in vivo* sur les animaux de laboratoire, des études *in vitro* sont menées sur des cellules intestinales, des microbiotes intestinaux ou des cellules pulmonaires afin de comprendre les conséquences de l'ingestion ou de l'inhalation de particules de plastique à l'échelle moléculaire, cellulaire ou encore de l'organe. Ces études révèlent que les MPL de moins de 10 µm et les NPL sont capables de traverser les membranes cellulaires au niveau des poumons et de l'intestin, de pénétrer au sein des cellules et d'atteindre d'autres organes. Au-delà de l'utilisation de lignées cellulaires ou d'autres modèles simplifiés, la littérature préconise la mise en œuvre de systèmes dotés d'une plus grande pertinence physiologique (par ex., modèles de digestion dynamiques qui reproduisent l'écosystème des parties hautes et/ou basses du tractus gastro-intestinal humain) ainsi que la prise en compte des effets combinés des particules et des constituants des plastiques afin de mieux évaluer les risques cumulés pour la santé humaine.

Il est à noter, chez tous les organismes vivants, y compris les humains, des mécanismes d'action moléculaires communs. En particulier, les particules de plastique engendrent un stress oxydatif, qui cause des dommages aux échelles cellulaire et tissulaire. En outre, des similitudes inter-organismes sont retrouvées, comme par ex. le ciblage du microbiote intestinal chez le collembole, les ruminants d'élevage et l'être humain.

Les limites recensées dans l'analyse des effets des particules de plastique sur les organismes vivants au sens large comprennent la surreprésentation dans les tests réalisés de particules de PS vierges, sphériques, de taille uniforme, et principalement obtenues à partir de sources commerciales (avec des inconnues dans la composition exacte de ces particules). La diversité de taille, de forme, de polymère, ainsi que le vieillissement des particules observé dans l'environnement, ne sont pas encore suffisamment pris en compte.

4.4 La standardisation et le perfectionnement des méthodes disponibles pour analyser les plastiques sont nécessaires

La littérature montre qu'il existe une large gamme de méthodes analytiques complémentaires pour détecter, quantifier et caractériser les particules de plastique (en particulier les MPL) et les constituants des plastiques dans des échantillons de déchets organiques, de sol, d'eau, d'air, d'aliments et d'organismes vivants, y compris les êtres humains. Toutefois, les différences mises en évidence en matière d'échantillonnage, de préparation des échantillons, de techniques d'analyse, d'unités et de seuils de taille considérés pour les particules rendent difficile la comparaison des résultats et soulignent la nécessité d'une standardisation des méthodes.

Dans cette optique, des précautions doivent être prises pour éviter de contaminer les échantillons et il reste difficile d'isoler les MPL et les NPL des échantillons organiques tels que les déchets organiques, les sols, les aliments et les organismes vivants, du fait qu'ils sont tous essentiellement composés de carbone. De plus, les méthodes ciblent le plus souvent dans leurs analyses les substances chimiques déjà connues et négligent celles qui ne le sont pas.

5. Un système soutenable des plastiques utilisés en agriculture et pour l'alimentation est-il possible ?

Que ce soit en termes de production, d'usage, de gestion des déchets ou de devenir dans l'environnement, les plastiques utilisés en agriculture et pour l'alimentation ne peuvent en réalité être isolés du système plus large des plastiques. Cette interdépendance rend difficile leur régulation, l'évaluation de leur soutenabilité et l'identification d'alternatives matérielles et pratiques.

5.1 Régulation du système des plastiques : un chemin difficile vers la soutenabilité

La régulation du système des plastiques est principalement européenne, d'abord motivée par la protection des libertés économiques à travers la libre circulation des marchandises, puis, à partir de la fin des années 1980, par des préoccupations sanitaires et environnementales (Figure 1). Le cadre juridique applicable aux plastiques utilisés en agriculture et pour l'alimentation s'articule désormais autour de trois régimes juridiques : les matériaux destinés à entrer en contact avec des aliments (MCDA), les déchets (y compris les emballages et leurs déchets) et les substances chimiques. Il tend à couvrir différentes étapes de la chaîne de valeur des plastiques, reflétant une meilleure reconnaissance de la complexité des plastiques et des enjeux qu'ils soulèvent, non seulement en tant que déchets, mais aussi en tant que matériaux et objets complexes.

Dans ce cadre, les plastiques n'ont été l'objet de réglementations spécifiques que tardivement. Selon le régime juridique considéré, les plastiques sont considérés comme un matériau, un objet ou un mélange de substances chimiques. Le champ d'application de la définition des plastiques varie d'un régime juridique à l'autre et a évolué au fil du temps, avec des modifications notables. Ces différences contribuent à entretenir une confusion autour de ce qui est considéré comme du plastique ou non et peuvent générer de l'incertitude lorsqu'il s'agit de distinguer les plastiques des matériaux alternatifs.

La perception de la pollution plastique est un facteur de changement dans les régulations, et les régulations des plastiques ne traitent que des aspects les plus visibles des défis posés par les plastiques. Parmi ces défis figurent la libération et la dispersion de constituants des plastiques et de particules de plastique dans les aliments et l'environnement. En raison de la définition légale des aliments, la réglementation des MCDA ne s'applique pas aux plastiques en contact avec les cultures avant leur récolte ou les animaux avant l'abattage, pourtant de futurs aliments qui sont alors exposés aux constituants des plastiques libérés et aux particules de plastique. En ce qui concerne le régime juridique des substances chimiques, parmi les 10 000 à 16 000 constituants des plastiques, seule une petite partie des constituants bien connus est réglementée (par ex., les phtalates et le BPA). D'autres constituants déjà reconnus comme dangereux ne sont pas réglementés et d'autres encore, qui n'ont pas encore été évalués, pourraient s'avérer dangereux pour la santé. Enfin, les réglementations sur les déchets se concentrent sur quelques objets MaPL courants, négligeant les autres particules MaPL, MPL et NPL.

La littérature documente clairement l'influence des entreprises sur l'orientation et donc l'état actuel des régulations. L'industrie pétrochimique, en particulier, utilise des stratégies pour promouvoir des régulations moins contraignantes. L'une des stratégies les plus courantes consiste à déplacer la responsabilité vers le consommateur final et en mettant davantage l'accent sur la gestion des déchets (par le biais, par ex., d'objectifs de recyclage et de recyclabilité) plutôt que

sur leur prévention. Par conséquent, l'usage des plastiques n'est pas remis en question et les problèmes liés à leur production ne sont pas abordés.

5.2. Les évaluations de la soutenabilité des plastiques sont trop réductrices pour éclairer convenablement les décisions et les politiques publiques, ce qui conduit à la mise en œuvre de stratégies d'atténuation inappropriées

Donner la priorité à la stratégie de recyclage des plastiques plutôt qu'à la réduction est contre-productif

Les acteurs économiques et des régulations ont tendance à restreindre le concept de soutenabilité, lorsqu'il est appliqué aux plastiques, à la circularité de l'économie, en mettant davantage l'accent sur la prospérité économique que sur la protection de l'environnement et de la santé humaine. Cela se traduit par la mise en œuvre de stratégies qui privilégient le recyclage des plastiques plutôt que leur réduction, voire leur réutilisation. Cette priorité est incompatible avec le principe des 4R de l'économie circulaire (*reduce, reuse, recycle, recover*) et la hiérarchie des modes de gestion des déchets qui en découle, telle que définie par la directive-cadre sur les déchets. Réduire la consommation et la production de plastiques doit être une priorité absolue avant le réemploi et la réutilisation, et plus encore avant le recyclage. Dans cette perspective, et d'un point de vue tant environnemental qu'économique, la littérature montre que les systèmes de consigne sont orientés vers le recyclage alors que le réemploi serait pertinent.

Le recyclage des plastiques n'empêche pas la production de plastiques vierges et constitue donc une mesure curative de gestion des déchets plutôt qu'une mesure préventive. Les plastiques sont recyclables, mais la plupart ne sont pas recyclés et, lorsqu'ils le sont, ils le sont en boucle ouverte, c'est-à-dire qu'ils ne peuvent pas être utilisés pour créer les mêmes produits et ne contribuent donc pas à la réduction. Dans le cas du seul processus en boucle fermée de recyclage des bouteilles en PET, le recyclage concerne un produit plastique à usage unique alors qu'il existe des pratiques alternatives ou des matériaux réutilisables et durables. Dans la grande majorité des cas, le recyclage nécessite l'ajout de polymères vierges et d'additifs aux plastiques recyclés afin de conserver leurs propriétés. De plus, en raison de l'effet rebond bien connu, l'amélioration du recyclage des plastiques peut encourager l'usage et la consommation continus de davantage de plastiques en renforçant l'idée que l'achat de plastiques est acceptable tant qu'ils sont recyclés. Malgré les efforts déployés pour recycler les déchets plastiques, de grandes quantités de plastiques sont encore utilisées et produites, ce qui entraîne la production de grandes quantités de déchets plastiques, dont une grande partie est encore mal gérée.

L'analyse du cycle de vie est un outil limité, qui entrave la promesse d'une conception soutenable

L'analyse du cycle de vie (ACV) est apparue comme un outil de premier plan pour évaluer l'impact environnemental des plastiques en tenant compte des étapes de production, d'usage et de gestion après usage. L'ACV se donne également pour objectif d'évaluer leur soutenabilité. Cependant, il existe un déséquilibre dans les critères réellement pris en compte dans la littérature. L'ACV des plastiques utilisés en agriculture et pour l'alimentation ne fournit pas une évaluation satisfaisante de leur impact environnemental en termes d'ampleur, ni de leur soutenabilité dans toutes ses dimensions.

Si les méthodes d'ACV et les résultats associés tiennent compte du potentiel de réchauffement global et du potentiel d'épuisement

des ressources fossiles, ils ne prennent pas suffisamment en considération les impacts sur la qualité des écosystèmes - notamment les changements d'affectation des sols, y compris pour la production de plastiques biosourcés, la perte de biodiversité et les conséquences sur les fonctions et les services écosystémiques - ni les impacts sur la santé humaine. Ils ne prennent pas non plus en compte l'accumulation de particules de plastique dans l'environnement. L'analyse du coût du cycle de vie (ACCV) et l'analyse sociale du cycle de vie (ASCV) étant au stade de développement, les impacts sociaux et économiques sont difficilement évalués. Des questions connexes telles que la disponibilité et la qualité des données, ainsi que l'intégration des impacts spatiaux et temporels restent en suspens. En outre, la définition des limites des systèmes à étudier reste un problème pour comparer et généraliser les résultats (par ex., toutes les ACV ne couvrent pas la production, l'usage et la fin de vie, et toutes les ACV ne tiennent pas compte des impacts indirects qui peuvent résulter des changements induits par l'adoption des produits en plastique).

Dans l'ensemble, la soutenabilité des produits en plastique ne peut être évaluée uniquement à l'aune de l'ACV. Une vision claire des compromis entre les impacts et une vision claire de la répartition des coûts et des risques entre les acteurs publics et privés sont nécessaires pour éclairer les décisions. Une connaissance éclairée et une transparence totale sur les limites de l'ACV sont essentielles pour évaluer la pertinence des changements proposés sur la base des résultats de l'ACV, y compris des changements proposés dans la conception des plastiques selon des approches d'écoconception ou de conception durable.

5.3. Stratégies de réduction : des options fiables restent à construire

La littérature soulignant la nécessité de combiner des stratégies visant à atténuer les impacts des plastiques avec des stratégies visant à prévenir ces impacts, et donc à prévenir la production de plastiques vierges est abondante.

La littérature axée sur la recherche de substituts aux plastiques notamment de plastiques biosourcés et/ou biodégradables comme alternatives aux plastiques pétrosourcés non biodégradables est encore plus abondante. Elle traite de matériaux présentant des propriétés similaires à celles des plastiques, sans toutefois remettre en question leurs usages et les raisons de ces usages, ni même la supposée biodégradabilité lorsque cela est applicable, ni la complexité chimique, ni enfin les impacts associés sur l'environnement et la santé humaine.

Au-delà de la recherche de matériaux de substitution aux plastiques, la littérature souligne les rôles clé de l'éducation aux questions environnementales, des politiques de lutte contre la corruption et de contrôle des lobbies, des taxes et des bonus (selon le contexte) et d'autres politiques publiques adaptées pour contribuer à réduire l'usage et la production de plastiques et à limiter la pollution plastique. Des recherches en économie écologique sur les instruments et stratégies post-croissance visant à réduire la consommation sont également en cours, tels que les modèles d'économie de la fonctionnalité, y compris les systèmes de consigne axés sur le réemploi, ou la réorientation financière par la suppression des subventions aux industries pétrochimiques, permettant de financer de nouveaux modèles économiques.

Toutefois, bien que la nécessité de réduire la consommation et la production de plastiques soit unanimement reconnue dans la littérature, les moyens et les voies pour parvenir à une réduction effective de la production et de la consommation de plastiques restent mal documentés.

Conclusion

En raison de leurs multiples usages, les plastiques structurent désormais les chaînes de valeur alimentaires tant sur le plan technique que culturel, en particulier en aval. Leur polyvalence a favorisé une plus grande complexité dans leur formulation et leur conception, rendant leur gestion très difficile. Leur omniprésence dans les écosystèmes continentaux, les organismes vivants et les êtres humains, ainsi que leurs impacts avérés à toutes les échelles, remettent donc en question la possibilité même de rendre soutenable l'usage des plastiques en agriculture et pour l'alimentation.

Lacunes dans les connaissances et besoins de recherche

Renforcer la recherche sur le terrain permettrait de comprendre l'usage des plastiques dans les chaînes de valeur alimentaires, notamment en menant des enquêtes auprès des acteurs impliqués dans la consommation et la production de plastiques.

Il est aussi essentiel de suivre les flux de plastiques depuis leur production et leur usage jusqu'à leur devenir en tant que déchets et particules afin d'évaluer leur impact sur les dimensions environnementales, sociales et économiques du développement durable, y compris les risques pour la santé humaine. Cela implique la collecte de données transparentes et traçables.

Les premières données disponibles suggèrent fortement que la nature dangereuse des plastiques, leur caractère ubiquitaire et l'unicité de certains mécanismes toxicologiques implique de mobiliser des approches dans l'esprit « Une seule santé » (*One Health*), qui reconnaît les similitudes, les liens et l'interdépendance entre la santé humaine et celle des autres organismes vivants et des écosystèmes.

Au regard de ces manques, des recherches interdisciplinaires sont également nécessaires.

Du point de vue de l'amont, les efforts devraient se concentrer sur la simplification des formulations plastiques, en abordant à la fois les aspects techniques et réglementaires.

De manière concomitante, il est essentiel d'élaborer des scénarios de réduction de la production et de la consommation de plastiques (systèmes et pratiques alternatifs aux plastiques), tout en tenant compte des implications pour les utilisateurs finaux et les acteurs économiques. En particulier, la recherche doit clarifier les implications de l'augmentation ou de la diminution de l'usage des plastiques dans les chaînes de valeur alimentaires sur la disponibilité des aliments, en mettant en évidence les liens avec les caractéristiques des chaînes de valeur alimentaires (répartition géographique, nombre d'intermédiaires) qui influencent également les pertes et le gaspillage alimentaires.

En définitive, ces priorités de recherche contribueront aux efforts scientifiques visant à une transformation systémique des chaînes de valeur alimentaires.

Pour en savoir plus

Sophie Duquesne (coord.), Muriel Mercier-Bonin (coord.), Baptiste Monsaingeon (coord.), Lise Paresys (coord.), Fleurine Akoueson, Mathieu Baudrin, Bernadette Bensaude-Vincent, Nicolas Beriot, Mathilde Body-Malapel, Pierre-Etienne Bouillot, Mauricio Camargo-Pardo, Mateo Cordier, Hervé Corvellec, João Da Costa, Patrick Dabert, Regina Dashkina, Frédéric Debeaufort, François Dedieu, Pierre Desvaux, Guillaume Duflos, Hélène Duval, Anne Ferlay, Bruno Grassl, Eugenia Lampi, Véronique Le Tilly, Sophie Le Perchec, Christian Mougin, Davi Munhoz, Cristina Nerin, Delphine Notelet, Pierre Ovlaque, Pietro Picuno, Francis Rayns, Valentina Siracusa, Jérémie Soulestin, Bruno Tassin (2025). *Plastiques utilisés en agriculture et pour l'alimentation : usages, propriétés et impacts*. Synthèse du rapport d'ESCO, INRAE - CNRS (France).

Sophie Duquesne (coord.), Muriel Mercier-Bonin (coord.), Baptiste Monsaingeon (coord.), Lise Paresys (coord.), Fleurine Akoueson, Mathieu Baudrin, Bernadette Bensaude-Vincent, Nicolas Beriot, Mathilde Body-Malapel, Pierre-Etienne Bouillot, Mauricio Camargo-Pardo, Mateo Cordier, Hervé Corvellec, João Da Costa, Patrick Dabert, Regina Dashkina, Frédéric Debeaufort, François Dedieu, Pierre Desvaux, Guillaume Duflos, Hélène Duval, Anne Ferlay, Nathalie Gontard, Bruno Grassl, Eugenia Lampi, Véronique Le Tilly, Sophie Le Perchec, Christian Mougin, Davi Munhoz, Cristina Nerin, Delphine Notelet, Pierre Ovlaque, Pietro Picuno, Francis Rayns, Valentina Siracusa, Jérémie Soulestin, Bruno Tassin (2025). *Plastiques utilisés en agriculture et pour l'alimentation : usages, propriétés et impacts*. Rapport d'ESCO, INRAE - CNRS (France)

Illustrations : © Lucile Wargniez - lucilew.com - 2025

Illustrations de couverture : ©SAYPE photographies des œuvres d'art éphémères La grande vague (2024) et Trash (2023), peinture éco-responsable sur herbe

© INRAE - Sacha Desbordes designer graphique - 2025

Couverture : © INRAE - Pascale Inzerillo graphiste studio graphique-Direction de la communication - 2025.

Le rapport et cette synthèse sont disponibles en ligne sur les sites du CNRS et d'INRAE. Droits réservés : INRAE s'engage à retirer toute image litigieuse sur simple demande.

**Institut national de recherche pour l'agriculture,
l'alimentation et l'environnement
INRAE**

Direction de l'Expertise scientifique collective,
de la Prospective et des Études - DEPE
147 rue de l'Université - 75338 Paris Cedex 07
Tél. : +33 (0)1 42 75 94 90

Rejoignez-nous sur :



[inrae.fr](https://www.inrae.fr)

**Centre national
de la recherche scientifique
CNRS**

Mission Pour l'Expertise Scientifique - MPES
3 rue Michel Ange - 75794 Paris Cedex 16
Tél. +33 (0)1 44 96 40 00

Rejoignez-nous sur :



[cnrs.fr](https://www.cnrs.fr)