



Synthèse d'étude : les bénéfices environnementaux liés à l'intégration de plastiques recyclés issus de DEEE

SYNTHESE ECOSYSTEM

28 janvier 2022



Version 1.0



Sommaire

Introduction	4
1. Principes méthodologiques	5
1.1 Unité fonctionnelle et frontières du système	5
1.2 Cas étudiés pour les comparaisons	5
1.3 Sources des données	6
1.3.1 Données pour évaluer l'impact de la production des plastiques recyclés issus de DEEE	6
1.3.2 Choix des inventaires utilisés dans la modélisation et robustesse	7
1.4 Choix des catégories d'impacts et méthodes de caractérisation	8
2 Résultats d'impacts	9
2.1 Résultats d'impacts pour le PP	10
2.2 Résultats d'impacts pour le PS	12
2.3 Résultats d'impacts pour l'ABS	14
2.4 Comparaison entre les plastiques étudiés – exemple du changement climatique	16
2.5 Sources des impacts	17
2.6 Analyses de sensibilité	18
3 Conclusion	19

Note :

Cette synthèse s'appuie sur les résultats de l'étude réalisée par Deloitte Développement Durable pour **ecosystem** en date du 26 mars 2021 sur les bénéfices des plastiques recyclés issus des DEEE. Cette synthèse a été rédigée par **ecosystem** et est publiée sous sa seule responsabilité.



Introduction

ecosystem est un éco-organisme agréé par les Pouvoir publics pour la gestion des déchets d'équipements électriques et électroniques ménagers et professionnels (DEEE), des lampes et des petits appareils extincteurs (PAE) en fin de vie. A ce titre, **ecosystem** organise et coordonne la collecte de ces équipements, leur dépollution et leur recyclage. En 2021, ce sont plus de 700 000 tonnes de DEEE, lampes usagées et PAE qui ont été collectés par **ecosystem** et ses partenaires.

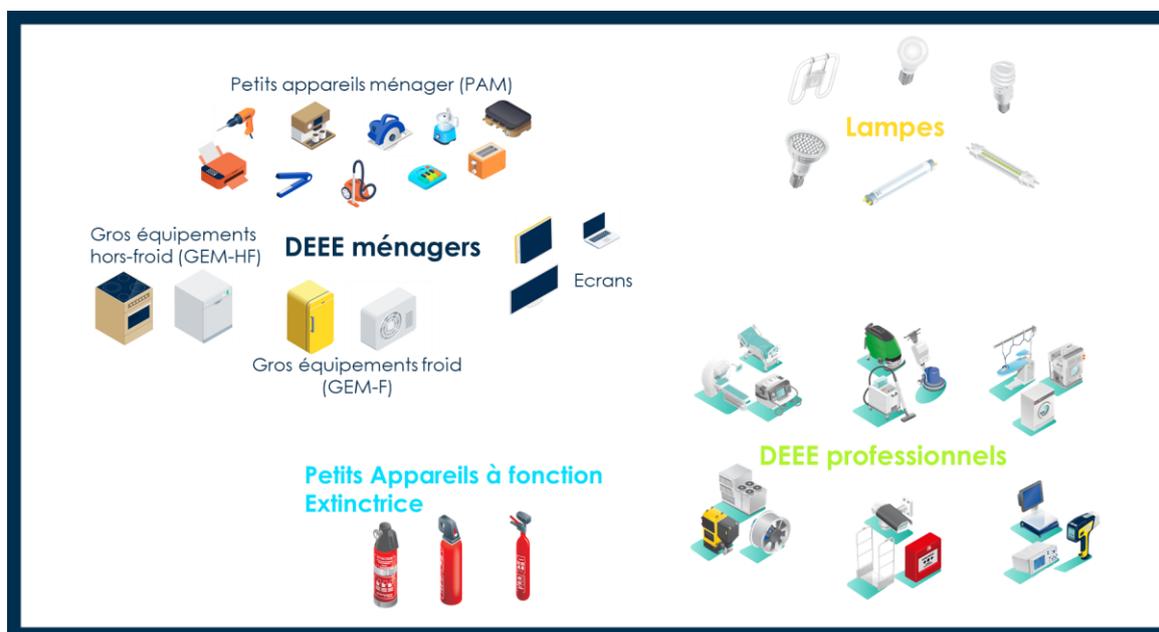


Figure 1 - Illustration des flux de DEEE pris en charge par **ecosystem**

Les équipements électriques et électroniques (EEE) sont par nature des équipements complexes constitués de multiples matériaux, parmi lesquels différents plastiques (ex : ABS, PS, PP, ABS-PC, PC, PMMA, PET, POM, PA...). Lors de leur fin de vie, ces EEE subissent différentes étapes permettant de séparer et trier leurs matériaux constitutifs. Tout au long de cette chaîne allant de la collecte des équipements à la régénération des plastiques, les arbitrages techniques, réglementaires et économiques (liés par exemple à la proportion des différents plastiques dans le flux de déchets), réalisés par les opérateurs de tri et les régénérateurs de plastiques, conduisent à orienter vers le recyclage seulement une partie des plastiques présents à l'origine dans les produits arrivés en fin de vie. Les plastiques massivement régénérés dans la filière DEEE sont ainsi :

- les polyoléfines, et plus particulièrement le **polypropylène** (PP), qui ne contient pas de charge ou qui est faiblement chargé ;
- les styréniques et plus particulièrement le **polystyrène** (PS) et l'**acrylonitrile butadiène styrène** (ABS), qui ne contiennent pas de charge ou qui sont faiblement chargés.

L'ensemble de ces étapes de collecte, tri, dépollution et régénération représente un coût environnemental lié aux émissions (de gaz à effet de serre, de particules, etc.) et aux consommations (de ressources fossiles, de ressources minérales, etc.). Toutefois, ce coût environnemental reste inférieur à celui qui est lié à la production de plastique équivalent vierge.

Pour quantifier les impacts réels, et objectiver cette affirmation, **ecosystem** a conduit une **étude comparative des impacts environnementaux des plastiques recyclés issus de DEEE et des plastiques vierges équivalents**. L'objectif de cette étude est de **produire des données de référence, fiables, qui permettront d'accompagner les projets d'intégration de plastiques recyclés dans des produits neufs**.

Cette synthèse précise la méthodologie suivie et présente les principaux résultats obtenus. Pour toute question sur cette étude, vous pouvez contacter **ecosystem** : weee-lci@ecosystem.eco

1. Principes méthodologiques

1.1 Unité fonctionnelle et frontières du système

L'unité fonctionnelle considérée dans cette étude est : « **Production, transport et injection de granulés pour obtenir une tonne de plastique recyclé issue de DEEE /ou/ de plastique vierge** ». Cette unité fonctionnelle intègre l'étape de transformation du granulé pour l'obtention d'une pièce. Ceci permet la conduite d'analyses de sensibilité, pour vérifier l'effet de diverses hypothèses :

- Cas théorique où il serait nécessaire d'utiliser une quantité plus importante de plastique recyclé (ex : ajout de nervures sur la pièce en cas de résistance moindre de la matière) ;
- Cas théorique où l'injection du plastique recyclé induirait des consommations d'énergie plus importantes (ex : séchage à la suite d'une reprise d'humidité des granulés recyclés).

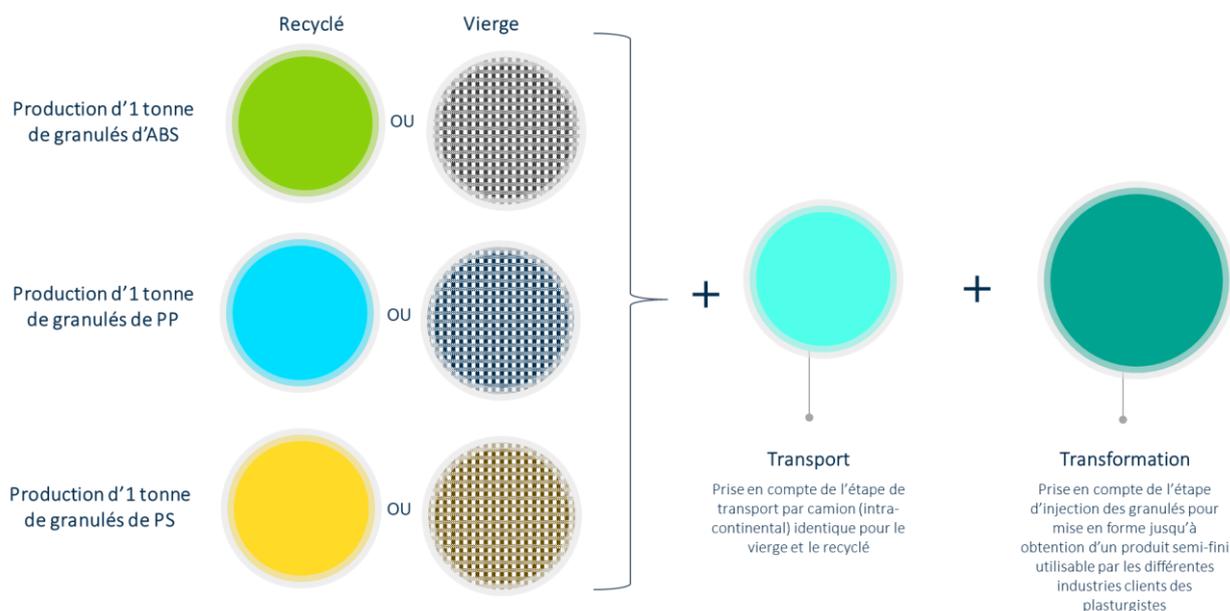


Figure 2 - Unité fonctionnelle et frontières du système étudié

Cette étude se focalise sur des plastiques recyclés exclusivement issus du recyclage de DEEE.

1.2 Cas étudiés pour les comparaisons

La fabrication de matières plastiques puis la transformation de ces matières en pièces plastiques fait partie d'une chaîne d'acteurs complexe et pouvant se situer dans diverses zones géographiques. Pour cette étude, plusieurs scénarios ont été étudiés :

- Cas 1 : Production de granulés recyclés en Europe et injection en France ;
- Cas 2 : Production de granulés recyclés en Europe et injection en Europe ;
- Cas 3 : Production de granulés recyclés en Europe et injection en Asie ;
- Cas 4 : Production de granulés recyclés en Asie et injection en Asie ;
- Cas 5 : Production de granulés recyclés en Asie et injection en Europe.

L'ensemble de ces scénarios a été étudié ; toutefois les données utilisées pour modéliser les scénarios 3, 4 et 5 étant de robustesse moyenne, cette synthèse ne présente que les résultats finaux des cas 1 et 2. Pour toute question sur les autres scénarios, vous pouvez contacter **ecosystem** : weee-lci@ecosystem.eco

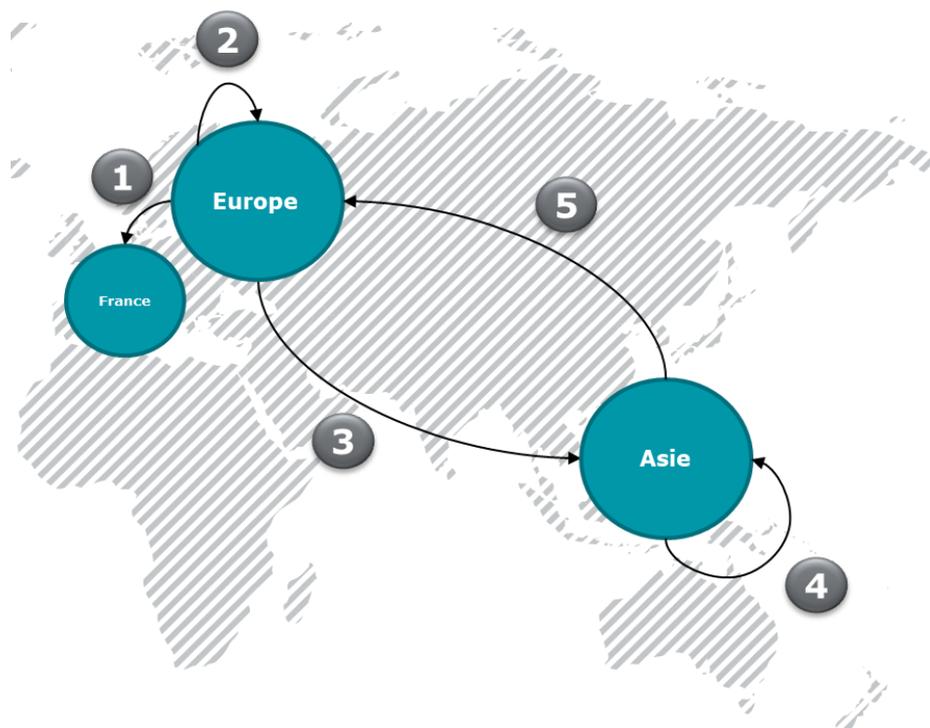


Figure 3 – Cas étudiés pour les comparaisons, suivant les lieux de production des granulés et d'injection.

1.3 Sources des données

1.3.1 Données pour évaluer l'impact de la production des plastiques recyclés issus de DEEE

Pour accompagner l'éco-conception des équipements et les projets d'intégration de plastiques recyclés, **ecosystem** a construit une base de données d'Inventaires de Cycle de Vie (ICV) sur les plastiques recyclés issus de DEEE. Ces données permettent de quantifier les impacts sur l'environnement de la production de plastiques à partir de DEEE.

Trois types de plastiques recyclés y sont modélisés : le **PP**, le **PS** et l'**ABS**. Ce sont les principaux plastiques recyclés produits à partir de DEEE.

Pour garantir une bonne représentativité de ces données, **ecosystem** a modélisé, avec la contribution de différents acteurs de la chaîne, l'ensemble du processus de production de ces plastiques recyclés, qui couvre toutes les étapes du point de collecte des DEEE jusqu'à la régénération finale de ces plastiques.

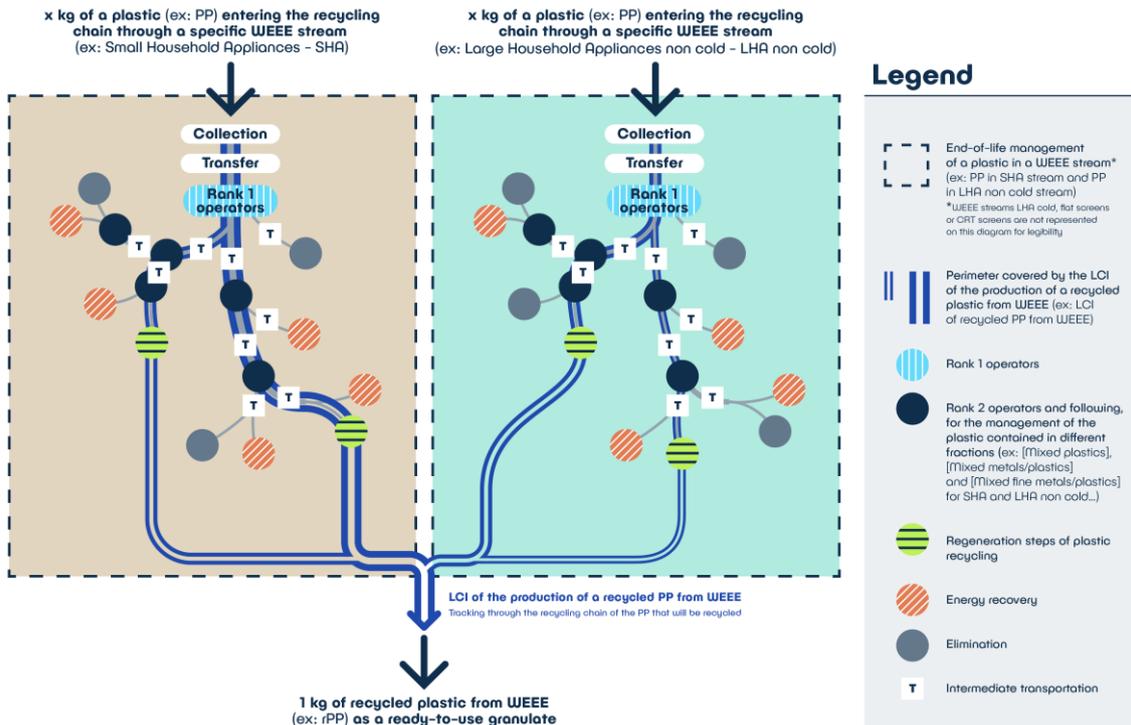


Figure 4 – Schématisation des différentes étapes de la chaîne de recyclage modélisée dans ces ICV

Cette base de données est **en accès libre et gratuit**. Elle peut être exploitée par les fabricants d'équipements par exemple, dans leurs évaluations ACV, pour modéliser des produits intégrant des plastiques recyclés issus de DEEE. Cette base est également exploitée dans le cadre de cette étude pour calculer les impacts environnementaux de la production de pièces en plastiques recyclés issus de DEEE.

Pour télécharger ces données ou en savoir plus sur la méthodologie : <https://www.ecosystem.eco/fr/article/empreinte-plastique-recycle>

1.3.2 Choix des inventaires utilisés dans la modélisation et robustesse

Pour chacune des étapes du périmètre (production des granulés plastiques recyclés ou vierges, transport, transformation), le tableau ci-dessous récapitule le choix des inventaires utilisés et les sources des données.

Étape	Zone géographique	Base de données - Inventaire	Raison de la sélection	Robustesse
Production des granulés – recyclé	Europe	ecosystem (voir § 1.3.1) ABS: NO [Plastiques recycles]_Production a ABS system PP: NO [Plastiques recycles]_Production a PP system PS: NO [Plastiques recycles]_Production a PS system	Inventaires représentatifs de la production de plastiques recyclés issus de DEEE spécifiquement. Ces inventaires représentent les impacts liés à toutes les étapes par lesquelles passent les plastiques, de la collecte des DEEE en France, jusqu'à leur régénération en Europe.	Très bonne

Production des granulés – vierge	Europe	PlasticsEurope ABS : Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)/EU-27 PP : Polypropylène, PP, granulate, at plant/RER PS : Polystyrene granulate (PS)/EU-27	Deux types d'inventaires sont disponibles pour modéliser la production des granulés vierges et sont largement utilisés : les ICV de Plastics Europe et les ICV d'Ecoinvent. Le choix s'est porté sur les inventaires de Plastics Europe (ICV plus récents, similitudes de modélisation avec les ICV plastiques recyclés, etc.).	Bonne
Transport – camion	Europe	ecoinvent – Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Cut-off, U Hypothèse : Distance de transport = 500 km forfaitaire par camion	Inventaire représentatif du mix géographique européen. La norme EURO 5 correspond à une 1 ^{ère} immatriculation entre 2011 et 2015, on l'estime donc représentative des technologies européennes.	Bonne
Injection	France	ecoinvent (adapté mix électrique France) - Injection moulding {RER} processing Cut-off, U	Inventaires représentatifs d'une injection en Europe. (Les autres inventaires disponibles agrègent les étapes de production de matière vierge avec l'étape d'injection et il n'est pas possible de les désagréger).	Bonne
	Europe	ecoinvent - Injection moulding {RER} processing Cut-off, U		Très bonne

Tableau 1 - Synthèse des inventaires utilisés pour la modélisation des cas 1 et 2

Additifs pris en compte : des additifs peuvent être ajoutés au cours du process, pour conférer certaines propriétés aux plastiques. De petites quantités de certains additifs sont prises en compte dans la modélisation de ces plastiques « moyens » :

- **Pour les plastiques recyclés** : afin de satisfaire aux propriétés attendues par leurs clients, les régénérateurs de plastiques recyclés recourent fréquemment à une formulation par ajout de divers additifs, en particulier mélange maître couleur et modificateurs d'impacts. Les plastiques recyclés étudiés intègrent un mélange maître de type noir de carbone (couleur noire - pour le PP et l'ABS) ou dioxyde de titane (couleur blanche - pour le PS). Dans le cas du PS, un modificateur d'impact de type SBS est également modélisé.
- **Pour les plastiques vierges** : Les modélisations des plastiques vierges contiennent quelques additifs mais ni la quantité ni la nature de ces additifs ne sont précisées dans les descriptifs des données, pour des raisons de confidentialité. Les inventaires des plastiques vierges précisent toutefois que ces additifs sont en quantité suffisante pour utiliser le plastique, mais que d'autres pourraient être rajoutés pour des cahiers des charges précis.

L'étude se concentre sur ces « plastiques moyens », et ne modélise pas de cas spécifique de plastiques fortement additivés (pour ignifugation par exemple).

1.4 Choix des catégories d'impacts et méthodes de caractérisation

La sélection des catégories d'impacts étudiée s'est faite sur la base des catégories recommandées par le JRC (European Joint Research Centre) et de l'évaluation des enjeux environnementaux pour la filière DEEE (pour plus de détails, se référer à : <https://www.ecosystem.eco/fr/article/bilan-environnemental>) Pour chacune de ces catégories, les modèles d'impacts utilisés s'appuient sur les recommandations de la méthode européenne PEF (Product Environmental Footprint).

Catégorie d'impact	Unité	Méthode de caractérisation
Changement climatique	kg éq. CO ₂	Baseline model of 100 years of the IPCC (based on IPCC 2013)
Epuisement des ressources fossiles	MJ	ADP for energy carriers, based on van Oers et al. 2002 as implemented in CML, v. 4.8 (2016)
Epuisement des ressources minérales	kg éq. Sb	ADP for mineral and metal resources, based on van Oers et al. 2002 as implemented in CML, v. 4.8 (2016)
Destruction de la couche d'ozone	kg éq. CFC-11	Steady-state ODPs as in (WMO 2014 + integrations)
Pollution à l'ozone	kg éq. NMVOC	LOTOS-EUROS model (Van Zelm et al, 2008) as implemented in ReCiPe 2008
Acidification des sols et des eaux	mol éq. H+	Accumulated Exceedance (Seppälä et al. 2006, Posch et al, 2008)
Toxicité humaine (cancer + non-cancer)	CTUh	USEtox model 2.1 (Fankte et al, 2017)
Formation de particules	Disease incidence	PM method recommended by UNEP (UNEP 2016)

Tableau 2 - Synthèse des catégories et modèles d'impacts étudiés

Deux limites importantes sont à noter :

Toxicité humaine : pour cet indicateur, on note de fortes limites. Elles découlent à la fois des incertitudes relatives à certaines données primaires des inventaires, impactant la toxicité (ex : connaissance ou modélisation imparfaite des émissions directes [canalisées ou diffuses] de polluants pouvant avoir lieu lors des étapes successives de la chaîne de recyclage) et des incertitudes inhérentes à la méthodologie.

Formation de particules : Les limites pour cet indicateur découlent des données primaires des inventaires (ex : dans le cas des plastiques recyclés, connaissance imparfaite des émissions de poussières pouvant avoir lieu lors des étapes successives de la chaîne de recyclage, tant sur leur quantification, leur granulométrie, que les compartiments d'émissions – air, eau, sol).

Les résultats concernant ces deux catégories d'impacts sont donc à considérer avec précaution. Ils sont grisés dans la suite de ce document.

2 Résultats d'impacts

Cette section présente les résultats d'impacts obtenus pour chacun des trois types de plastiques étudiés : PP, PS et ABS, selon les deux cas « Production en Europe puis injection en France » (Cas 1) et « Production en Europe puis injection en Europe » (Cas 2).

2.1 Résultats d'impacts pour le PP

Les tableaux ci-dessous présentent pour les deux cas étudiés (Cas 1 et 2) les résultats d'impacts détaillés pour le PP.

		Cas 1 – Production en Europe puis injection en France d'une tonne de PP recyclé ou vierge							
		Impacts avec le PP recyclé				Impacts avec le PP vierge			
Catégorie d'impact	Unité FR	Production	Transport	Transformation	Total	Production	Transport	Transformation	Total ¹
Changement climatique	kg éq. CO2	439	46	487	971	1 660	46	487	2 200
Epuisement des ressources fossiles	MJ	9 520	711	25 500	35 700	71 100	711	25 500	97 300
Epuisement des ressources minérales	kg éq. Sb	0,0003	0,0008	0,0074	0,0085	0,0001	0,0008	0,0074	0,0083
Destruction de la couche d'ozone	kg éq. CFC-11	0,00007	0,00001	0,00016	0,00024	0,00004	0,00001	0,00016	0,00022
Pollution à l'ozone	kg éq. NMVOC	1,33	0,21	1,32	2,86	5,54	0,21	1,32	7,06
Acidification des sols et des eaux	mol éq. H+	2,06	0,19	1,78	4,03	5,15	0,19	1,78	7,12
Toxicité humaine	CTUh	0,000004	0,000001	0,000004	0,000009	0,000008	0,000001	0,000004	0,000013
Formation de particules	Incidence maladie	0,000024	0,000004	0,000014	0,000042	0,000065	0,000004	0,000014	0,000083

Tableau 3 - Détails et comparaison des impacts de la production en Europe, du transport et de la transformation en France de PP recyclé ou vierge

		Cas 2 – Production puis injection en Europe d'une tonne de PP recyclé ou vierge							
		Impacts avec le PP recyclé				Impacts avec le PP vierge			
Catégorie d'impact	Unité FR	Production	Transport	Transformation	Total	Production	Transport	Transformation	Total
Changement climatique	kg éq. CO2	439	46	983	1 470	1 660	46	983	2 690
Epuisement des ressources fossiles	MJ	9 520	711	20 700	31 000	71 100	711	20 700	92 600
Epuisement des ressources minérales	kg éq. Sb	0,0003	0,0008	0,0082	0,0093	0,0001	0,0008	0,0082	0,0091
Destruction de la couche d'ozone	kg éq. CFC-11	0,00007	0,00001	0,00014	0,00022	0,00004	0,00001	0,00014	0,00019
Pollution à l'ozone	kg éq. NMVOC	1,33	0,21	2,41	3,95	5,54	0,21	2,41	8,16
Acidification des sols et des eaux	mol éq. H+	2,06	0,19	4,70	6,95	5,15	0,19	4,70	10,00
Toxicité humaine	CTUh	0,000004	0,000001	0,000009	0,000014	0,000008	0,000001	0,000009	0,000017
Formation de particules	Incidence maladie	0,000024	0,000004	0,000019	0,000047	0,000065	0,000004	0,000019	0,000088

Tableau 4 - Détails et comparaison des impacts de la production en Europe, du transport et de la transformation en Europe de PP recyclé ou vierge

¹ Les valeurs notées en rouge sont celles pour lesquelles les impacts obtenus avec le plastique vierge dépassent de plus de 50% les impacts obtenus avec le plastique recyclé.

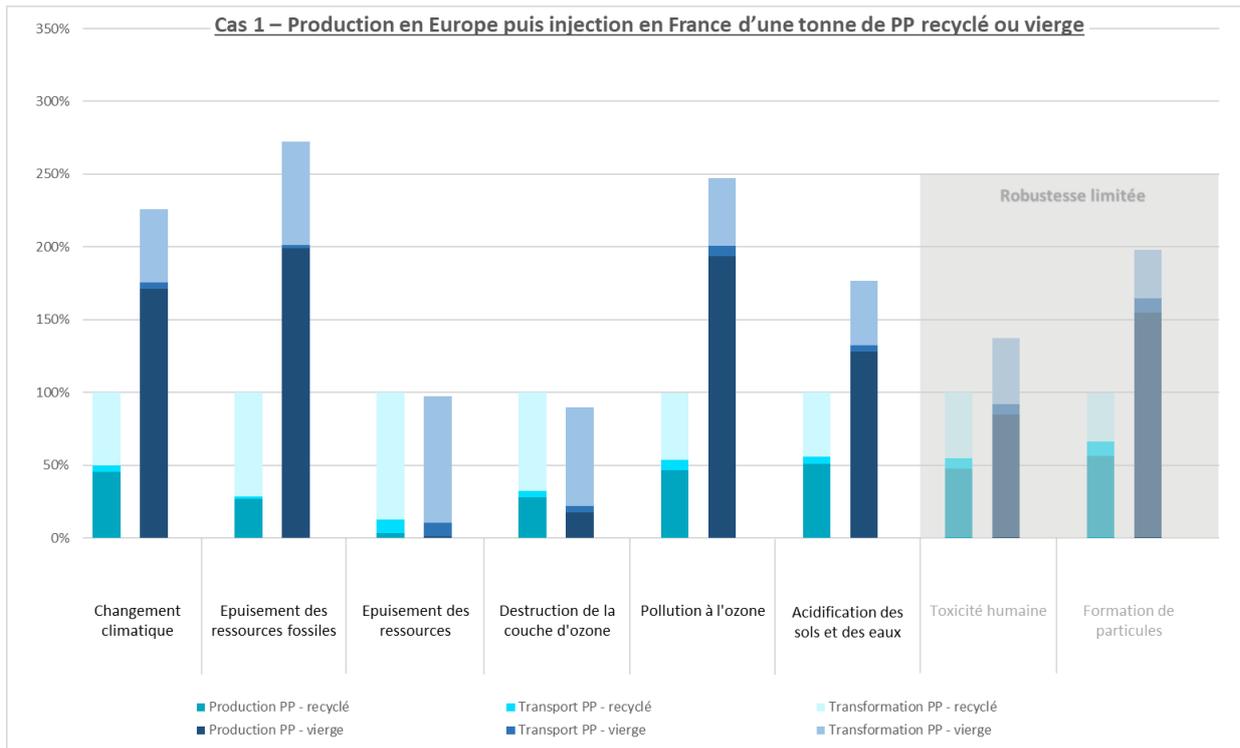


Figure 3 - Détails et comparaison des impacts de la production en Europe, du transport et de la transformation en France (Cas 1) de PP recyclé ou vierge, en base 100%

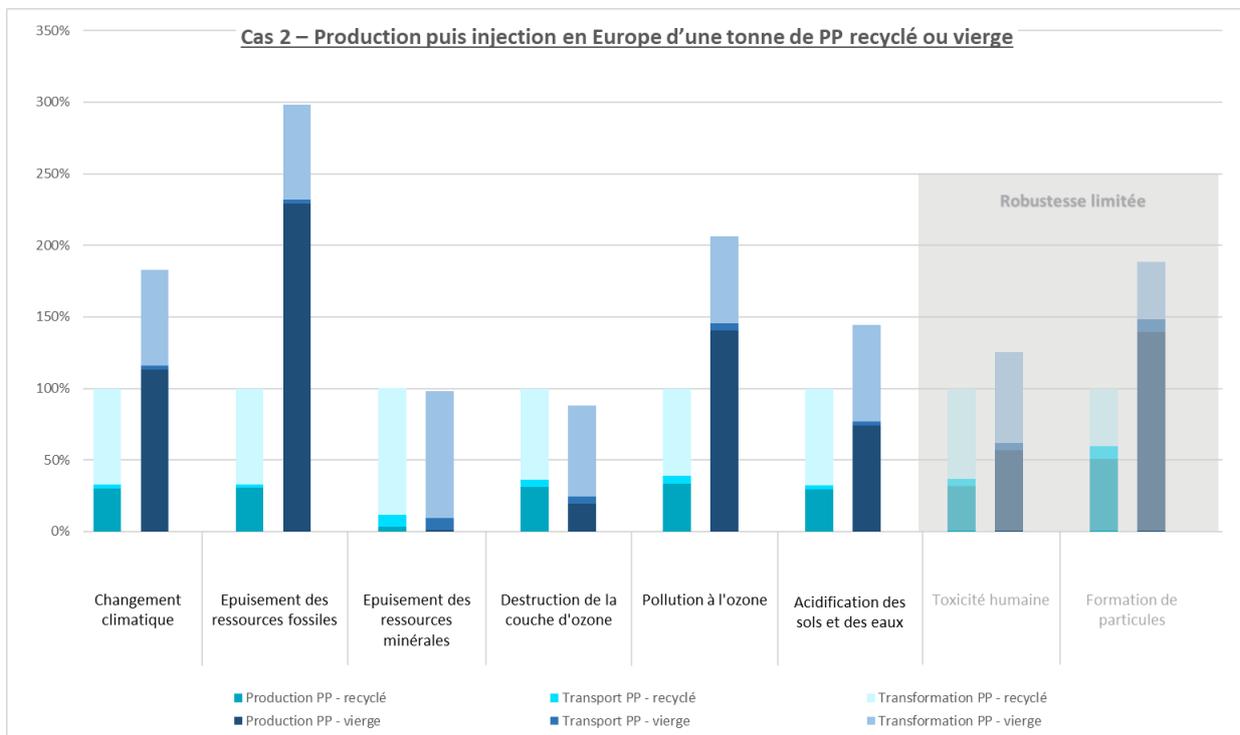


Figure 4 - Détails et comparaison des impacts de la production en Europe, du transport et de la transformation en Europe (Cas 2) de PP recyclé ou vierge, en base 100%

2.2 Résultats d'impacts pour le PS

Les tableaux ci-dessous présentent pour les deux cas étudiés (Cas 1 et 2) les résultats d'impacts détaillés pour le PS.

		Cas 1 – Production en Europe puis injection en France d'une tonne de PS recyclé ou vierge							
		Impacts avec le PS recyclé				Impacts avec le PS vierge			
Catégorie d'impact	Unité FR	Production	Transport	Transformation	Total	Production	Transport	Transformation	Total
Changement climatique	kg éq. CO2	621	46	487	1 150	2 340	46	487	2 880
Epuisement des ressources fossiles	MJ	12 400	711	25 500	38 600	76 500	711	25 500	103 000
Epuisement des ressources minérales	kg éq. Sb	0,0003	0,0008	0,0074	0,0085	0,0004	0,0008	0,0074	0,0086
Destruction de la couche d'ozone	kg éq. CFC-11	0,00007	0,00001	0,00016	0,00024	0,00001	0,00001	0,00016	0,00018
Pollution à l'ozone	kg éq. NMVOC	1,69	0,21	1,32	3,21	4,75	0,21	1,32	6,27
Acidification des sols et des eaux	mol éq. H+	3,14	0,19	1,78	5,11	6,52	0,19	1,78	8,49
Toxicité humaine	CTUh	0,000005	0,000001	0,000004	0,000010	0,000009	0,000001	0,000004	0,000014
Formation de particules	Incidence maladie	0,000025	0,000004	0,000014	0,000043	0,000044	0,000004	0,000014	0,000062

Tableau 5 - Détails et comparaison des impacts de la production en Europe, transport et transformation en France de PS recyclé ou vierge

		Cas 2 – Production puis injection en Europe d'une tonne de PS recyclé ou vierge							
		Impacts avec le PS recyclé				Impacts avec le PS vierge			
Catégorie d'impact	Unité FR	Production	Transport	Transformation	Total	Production	Transport	Transformation	Total
Changement climatique	kg éq. CO2	621	46	983	1 650	2 340	46	983	3 370
Epuisement des ressources fossiles	MJ	12 400	711	20 700	33 800	76 500	711	20 700	97 900
Epuisement des ressources minérales	kg éq. Sb	0,0003	0,0008	0,0082	0,0093	0,0004	0,0008	0,0082	0,0094
Destruction de la couche d'ozone	kg éq. CFC-11	0,00007	0,00001	0,00014	0,00022	0,00001	0,00001	0,00014	0,00016
Pollution à l'ozone	kg éq. NMVOC	1,69	0,21	2,41	4,30	4,75	0,21	2,41	7,36
Acidification des sols et des eaux	mol éq. H+	3,14	0,19	4,70	8,03	6,52	0,19	4,70	11,40
Toxicité humaine	CTUh	0,000005	0,000001	0,000009	0,000015	0,000009	0,000001	0,000009	0,000019
Formation de particules	Incidence maladie	0,000025	0,000004	0,000019	0,000047	0,000044	0,000004	0,000019	0,000067

Tableau 6 - Détails et comparaison des impacts de la production en Europe, transport et transformation en Europe de PS recyclé ou vierge

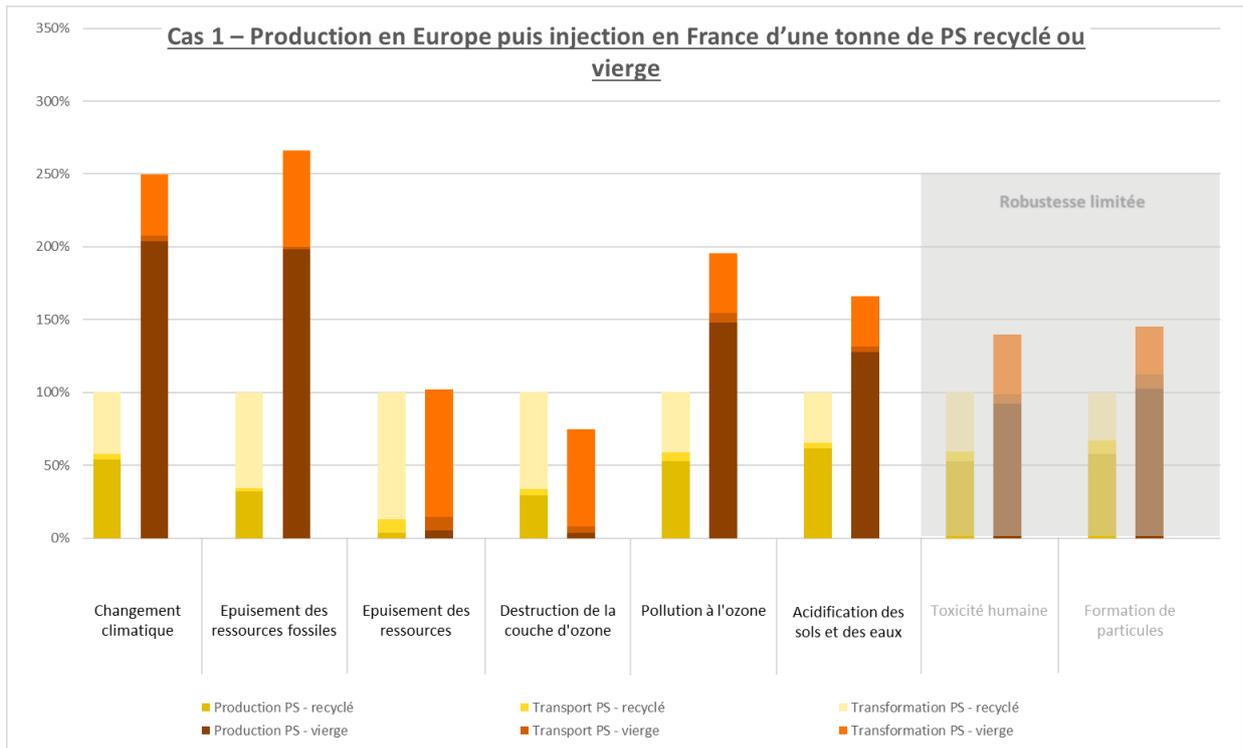


Figure 5 - Détails et comparaison des impacts de la production en Europe, du transport et de la transformation en France (Cas 1) de PS recyclé ou vierge, en base 100%

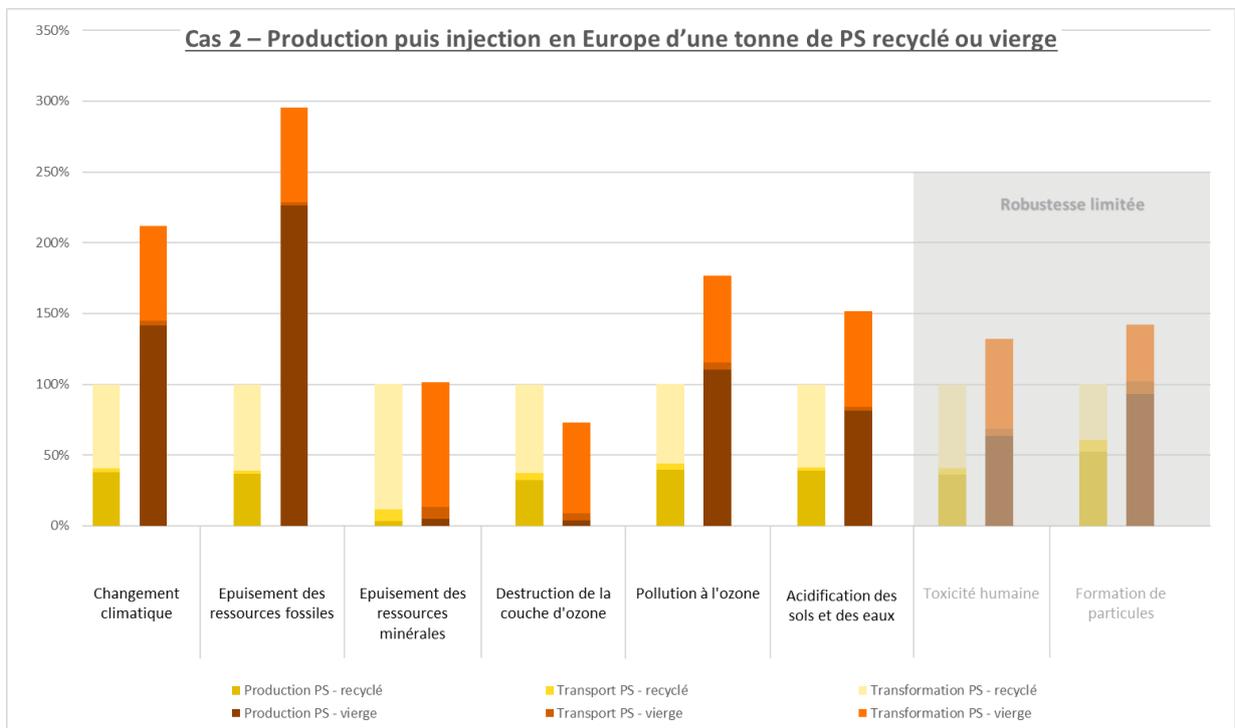


Figure 6 - Détails et comparaison des impacts de la production en Europe, du transport et de la transformation en Europe (Cas 2) de PS recyclé ou vierge, en base 100%

2.3 Résultats d'impacts pour l'ABS

Les tableaux ci-dessous présentent pour les deux cas étudiés (Cas 1 et 2) les résultats d'impacts détaillés pour l'ABS.

		Cas 1 – Production en Europe puis injection en France d'une tonne d'ABS recyclé ou vierge							
		Impacts avec l'ABS Recyclé				Impacts avec l'ABS Vierge			
Catégorie d'impact	Unité FR	Production	Transport	Transformation	Total	Production	Transport	Transformation	Total
Changement climatique	kg éq. CO2	564	46	487	1 100	3 230	46	487	3 770
Epuisement des ressources fossiles	MJ	11 100	711	25 500	37 300	84 000	711	25 500	110 000
Epuisement des ressources minérales	kg éq. Sb	0,0003	0,0008	0,0074	0,0085	0,0004	0,0008	0,0074	0,0086
Destruction de la couche d'ozone	kg éq. CFC-11	0,00008	0,00001	0,00016	0,00025	0,00000	0,00001	0,00016	0,00017
Pollution à l'ozone	kg éq. NMVOC	1,61	0,21	1,32	3,13	7,41	0,21	1,32	8,94
Acidification des sols et des eaux	mol éq. H+	2,82	0,19	1,78	4,79	9,36	0,19	1,78	11,30
Toxicité humaine	CTUh	0,000005	0,000001	0,000004	0,000010	0,000022	0,000001	0,000004	0,000026
Formation de particules	Incidence maladie	0,000027	0,000004	0,000014	0,000045	0,000058	0,000004	0,000014	0,000077

Tableau 7 - Détails et comparaison des impacts de la production en Europe, transport et transformation en France d'ABS recyclé ou vierge

		Cas 2 – Production puis injection en Europe d'une tonne d'ABS recyclé ou vierge							
		Impacts avec l'ABS Recyclé				Impacts avec l'ABS Vierge			
Catégorie d'impact	Unité FR	Production	Transport	Transformation	Total	Production	Transport	Transformation	Total
Changement climatique	kg éq. CO2	564	46	983	1 590	3 230	46	983	4 260
Epuisement des ressources fossiles	MJ	11 100	711	20 700	32 500	84 000	711	20 700	105 000
Epuisement des ressources minérales	kg éq. Sb	0,0003	0,0008	0,0082	0,0093	0,0004	0,0008	0,0082	0,0094
Destruction de la couche d'ozone	kg éq. CFC-11	0,00008	0,00001	0,00014	0,00022	0,00000	0,00001	0,00014	0,00015
Pollution à l'ozone	kg éq. NMVOC	1,61	0,21	2,41	4,23	7,41	0,21	2,41	10,00
Acidification des sols et des eaux	mol éq. H+	2,82	0,19	4,70	7,71	9,36	0,19	4,70	14,30
Toxicité humaine	CTUh	0,000005	0,000001	0,000009	0,000015	0,000022	0,000001	0,000009	0,000031
Formation de particules	Incidence maladie	0,000027	0,000004	0,000019	0,000050	0,000058	0,000004	0,000019	0,000081

Tableau 8 - Détails et comparaison des impacts de la production en Europe, transport et transformation en Europe d'ABS recyclé ou vierge

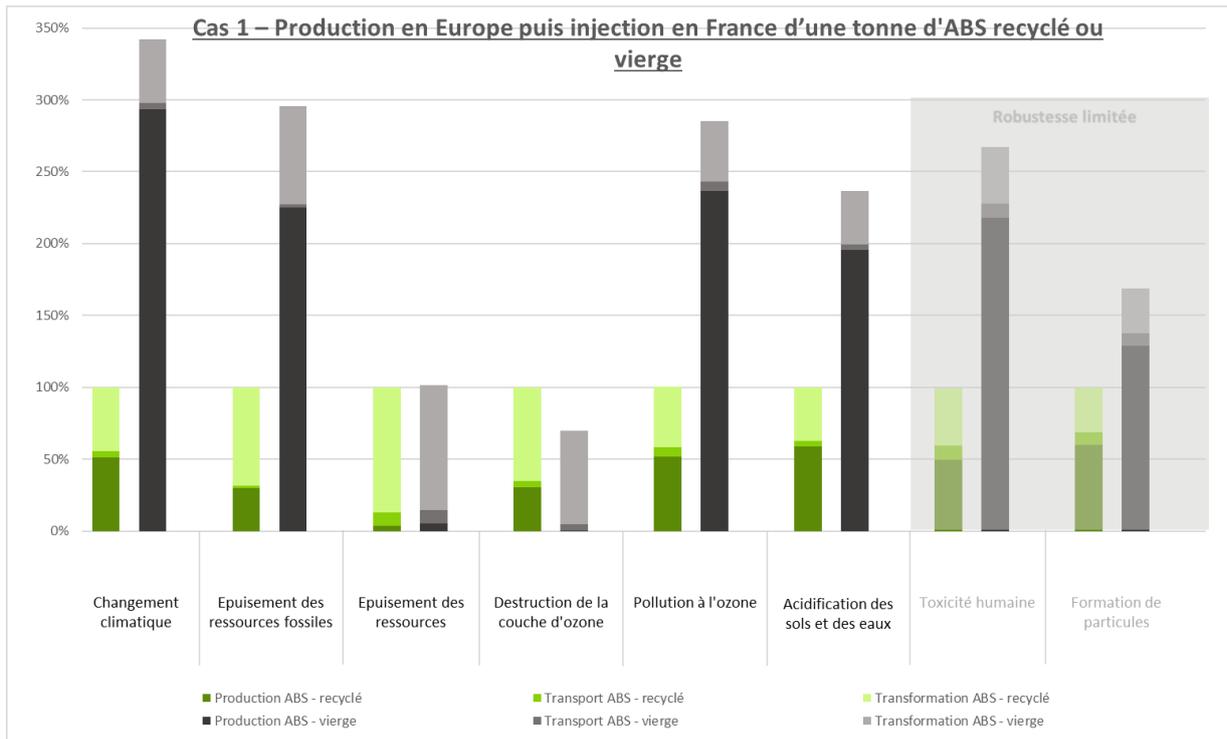


Figure 7 - Détails et comparaison des impacts de la production en Europe, du transport et de la transformation en France (Cas 1) d'ABS recyclé ou vierge, en base 100%

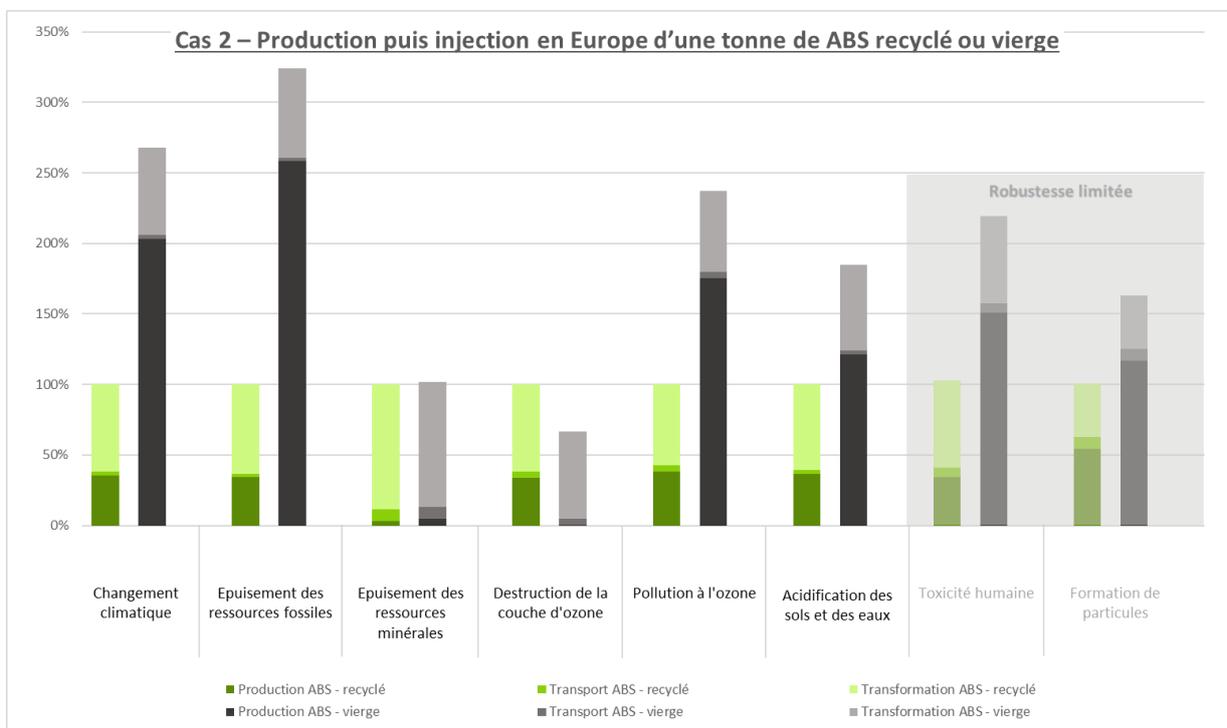


Figure 8 - Détails et comparaison des impacts de la production en Europe, du transport et de la transformation en Europe (Cas 2) d'ABS recyclé ou vierge, en base 100%

2.4 Comparaison entre les plastiques étudiés – exemple du changement climatique

Le graphique ci-dessous permet de comparer plus facilement les résultats entre les différents plastiques, pour l'indicateur changement climatique.

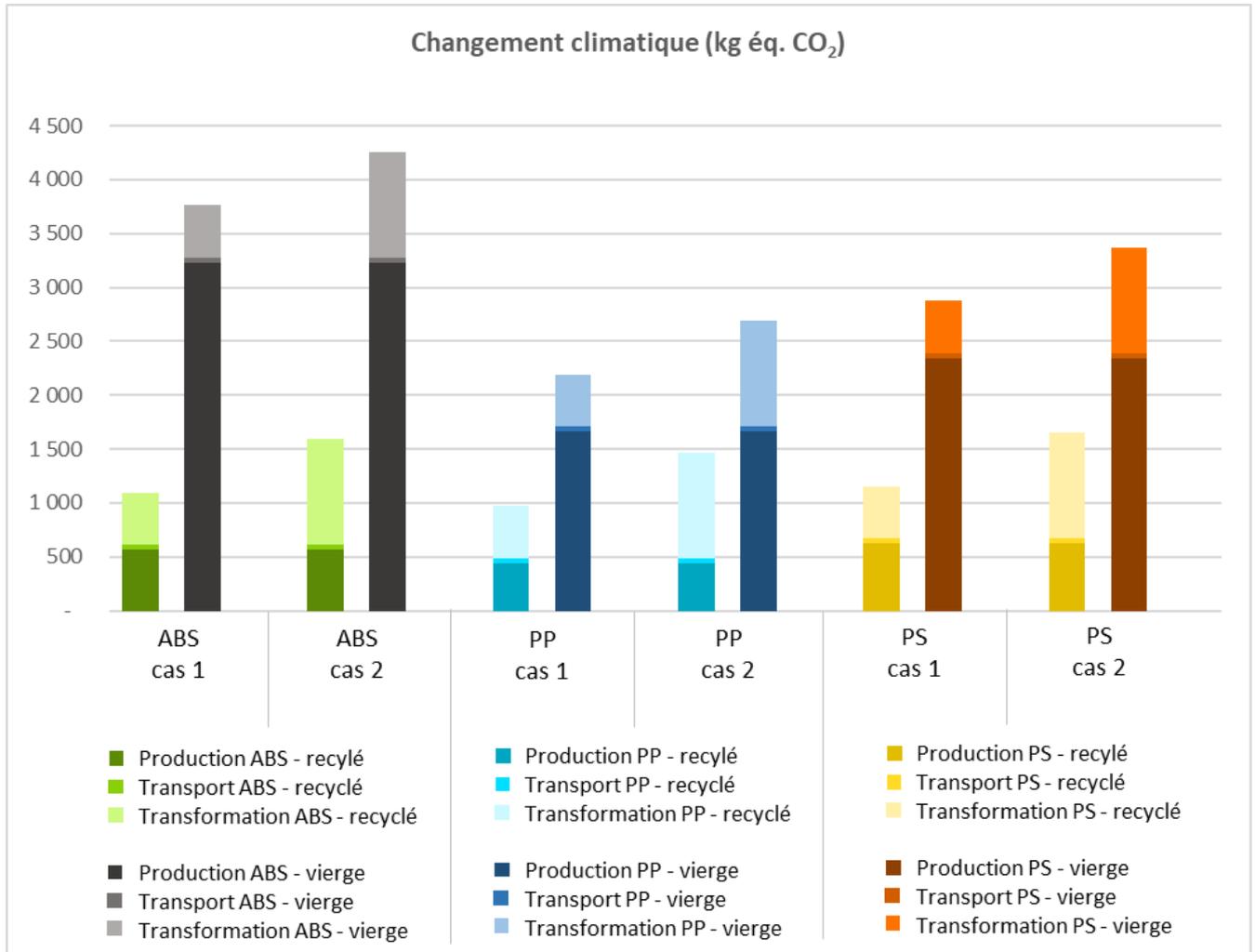


Figure 9 - Impacts sur le changement climatique selon les scénarios et les plastiques étudiés.

Avec l'ABS, on constate que l'écart entre les impacts du recyclé et du vierge est plus important que pour le PP et le PS. Cette différence est surtout liée à l'impact plus élevé de la production de l'ABS vierge par rapport aux autres plastiques vierges. Les impacts des plastiques recyclés quant à eux sont du même ordre de grandeur.

Par ailleurs, la comparaison entre cas 1 et 2 pour un même plastique montre des impacts systématiquement plus importants pour le cas 2 (production en Europe, transport, puis injection en Europe) que pour le cas 1 (production en Europe, transport, puis injection en France). Ceci est lié aux spécificités du mix électrique français, relativement décarboné au regard du mix électrique européen.

2.5 Sources des impacts

On observe des profils relativement similaires entre les cas 1 et 2 et selon les différents plastiques étudiés. Pour les 6 indicateurs les plus robustes, le tableau ci-dessous résume les principales sources d'impacts relevées.

Catégorie d'impact	Sources des impacts – recyclé	Sources des impacts – vierge *
Changement climatique	<ul style="list-style-type: none"> • Electricité et chaleur pour l'injection • Electricité pour la régénération • Étapes amont du recyclage 	<ul style="list-style-type: none"> • Electricité et chaleur pour l'injection • Production des précurseurs (styrène, alpha-méthyl styrène, acrylonitrile, butadiène...)
Epuisement des ressources fossiles	<ul style="list-style-type: none"> • Electricité et chaleur pour l'injection • Electricité pour la régénération • Étapes amont du recyclage 	<ul style="list-style-type: none"> • Electricité et chaleur pour l'injection • Matières premières (hydrocarbures) utilisées pour produire les plastiques
Epuisement des ressources minérales	<ul style="list-style-type: none"> • Additifs (Carbonate de calcium et chlorure de sodium pour la flottation, mélange maître...) • Des effets indirects liés à l'utilisation, dans notre modélisation, de certaines données primaires (ex : infrastructure de certains bâtiments) 	<ul style="list-style-type: none"> • Production des précurseurs et consommation d'énergie pour les procédés de transformation • Additifs • Des effets indirects liés à l'utilisation, dans notre modélisation, de certaines données primaires (ex : infrastructure de certains bâtiments)
Destruction de la couche d'ozone	<ul style="list-style-type: none"> • Etapes amont du recyclage (du fait notamment de l'impact indirect de l'extraction de pétrole pour la production d'énergie) • Extraction de l'uranium pour l'électricité de la phase d'injection 	<ul style="list-style-type: none"> • Extraction de l'uranium pour l'électricité de la phase d'injection <p>NB: Les plastiques vierges étant issus d'hydrocarbures fossiles, il est surprenant de ne pas observer dans les inventaires utilisés une contribution plus importante des dérivés halogénés émis lors de l'extraction de pétrole.</p>
Pollution à l'ozone (formation d'ozone photochimique)	<ul style="list-style-type: none"> • Étapes amont du recyclage (notamment les oxydes d'azote) • Solvant et électricité utilisés pour l'injection 	<ul style="list-style-type: none"> • **
Acidification des sols et des eaux	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation d'électricité pour la régénération • Electricité utilisée pour l'injection 	<ul style="list-style-type: none"> • Production des précurseurs (styrène, alpha-méthyl styrène, acrylonitrile et butadiène) • Consommation d'énergie pour les procédés de transformation

*Sur la base des informations figurant dans les ecoprofils de PlasticsEurope et les données ecoinvent

**Non spécifié dans les ecoprofils de PlasticsEurope

Tableau 9 - Principales sources d'impacts identifiées dans les cas 1 et 2 et pour l'ensemble des plastiques étudiés.

2.6 Analyses de sensibilité

Deux paramètres ont été étudiés dans le cadre d'analyses de sensibilité menées sur les modélisations précédentes.

Source d'incertitude	Enjeu	Approche
Quantité de matière recyclée consommée par rapport à la matière vierge	<ul style="list-style-type: none"> Une matière recyclée n'est jamais la copie exacte d'une matière vierge. Elle peut être équivalente pour certaines propriétés techniques et esthétiques et présenter de légères différences sur d'autres. En particulier, la question se pose de savoir s'il faut parfois considérer un surplus de matière pour le recyclé par rapport au vierge (ex : surépaisseur, introduction de nervures pour rigidifier). 	<p>Deux analyses de sensibilité ont été menées :</p> <ul style="list-style-type: none"> 5% de matière supplémentaire pour les plastiques recyclés sur le cas 2 (production des granulés et injection en Europe). Pour chaque plastique, détermination de la quantité supplémentaire de matière recyclée à partir de laquelle les émissions de gaz à effet de serre sont équivalentes à celles du vierge, appliqué au cas 2.
Surconsommation d'énergie pour l'injection du plastique recyclé	<ul style="list-style-type: none"> La transformation d'une matière recyclée n'est pas toujours rigoureusement identique à celle d'une matière vierge qu'elle pourrait substituer. Il est parfois nécessaire de jouer sur les temps de cycle, les températures d'injection, de sécher la matière pour pallier une reprise d'humidité, etc. Ces actions peuvent induire une surconsommation énergétique. 	<p>Deux analyses de sensibilité ont donc été menées :</p> <ul style="list-style-type: none"> 5% d'électricité et 5% de chaleur supplémentaire pour l'injection des plastiques recyclés sur le cas 2. Pour chaque plastique, détermination de la quantité supplémentaire d'énergie pour l'injection à partir de laquelle les émissions de gaz à effet de serre sont équivalents à celles du vierge, appliqué au cas 2.

Conclusions des analyses de sensibilité :

- Cas d'une surconsommation de matière recyclée par rapport à la matière vierge :**

Une surconsommation de matière de l'ordre de 5 % ne modifie pas les tendances et les principales conclusions de l'évaluation environnementale (ex : réduction de quelques pourcents seulement de l'écart entre les impacts des plastiques recyclés et vierges sur les indicateurs changement climatiques et épuisement des ressources fossiles).

Pour l'indicateur changement climatique, le tableau ci-dessous présente les facteurs de surconsommation de matière recyclée qu'il faudrait atteindre pour que les impacts dans le cas du recyclé dépassent ceux du vierge :

Facteur limite de surconsommation de PP recyclé	1,7
Facteur limite de surconsommation de PS recyclé	2,1
Facteur limite de surconsommation d'ABS recyclé	2,2

Tableau 10 - Facteurs de surconsommation de matière recyclée pour atteindre les impacts des scénarios avec matière vierge.

Ces facteurs sont très conséquents et confirment les tendances observées d'une meilleure efficacité environnementale de la matière recyclée, même si son usage nécessitait une surconsommation de matière.

- **Cas d'une surconsommation d'énergie pour l'injection du plastique recyclé par rapport au plastique vierge :**

Une surconsommation d'énergie de l'ordre de 5% ne modifie pas les tendances et les principales conclusions de l'évaluation environnementale (cette surconsommation ajoute moins de 3% d'impacts aux plastiques recyclés, quelle que soit la catégorie d'impacts étudiée). Une telle surconsommation d'énergie a encore moins d'effets sur les impacts environnementaux qu'une surconsommation de matière de 5%.

Pour l'indicateur changement climatique, le tableau ci-dessous présente les facteurs de surconsommation d'énergie imputée à l'utilisation de matière recyclée qu'il faudrait atteindre pour que les impacts dans le cas du recyclé dépassent ceux du vierge :

Facteur limite de surconsommation d'énergie pour une pièce injectée en PP recyclé	2,3
Facteur limite de surconsommation d'énergie pour une pièce injectée en PS recyclé	3,1
Facteur limite de surconsommation d'énergie pour une pièce injectée en ABS recyclé	4,1

Tableau 11 - Facteurs de surconsommation d'énergie liée à la matière recyclée pour atteindre les impacts des scénarios avec matière vierge.

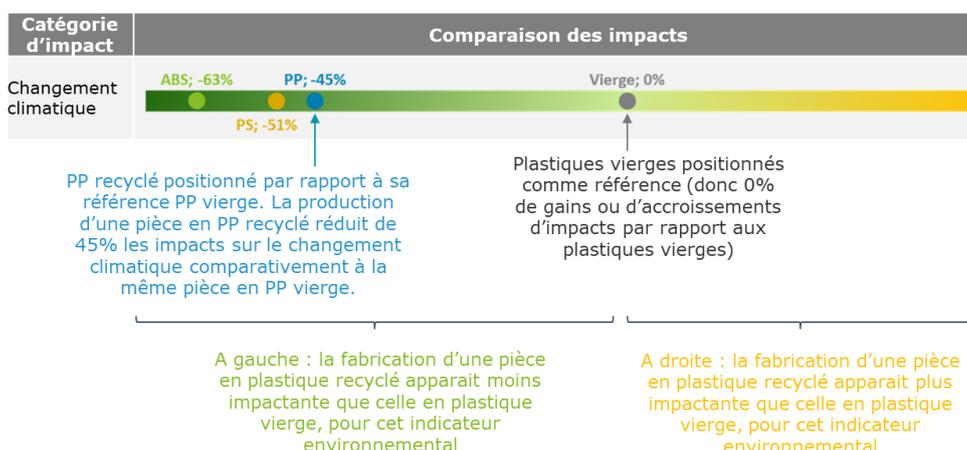
De même que pour les surconsommations de matières, ces facteurs très conséquents confirment une meilleure efficacité environnementale de la matière recyclée, même si sa transformation (dans ce cas, l'injection) nécessitait une surconsommation d'énergie.

3 Conclusion

Cette étude permet d'avoir une vision globale de l'empreinte environnementale liée aux plastiques recyclés issus de DEEE, comparativement aux plastiques équivalents vierges. **En moyenne, on constate des impacts environnementaux réduits grâce à l'utilisation des plastiques recyclés.**

Le graphique ci-après synthétise les gains environnementaux ou les accroissements d'impacts liés à l'utilisation d'un plastique recyclé issu de DEEE en remplacement du plastique équivalent vierge.

Guide de lecture du graphique :



Synthèse sur la comparaison des impacts environnementaux entre utilisation de plastiques issus de DEEE et utilisation de plastiques vierges :

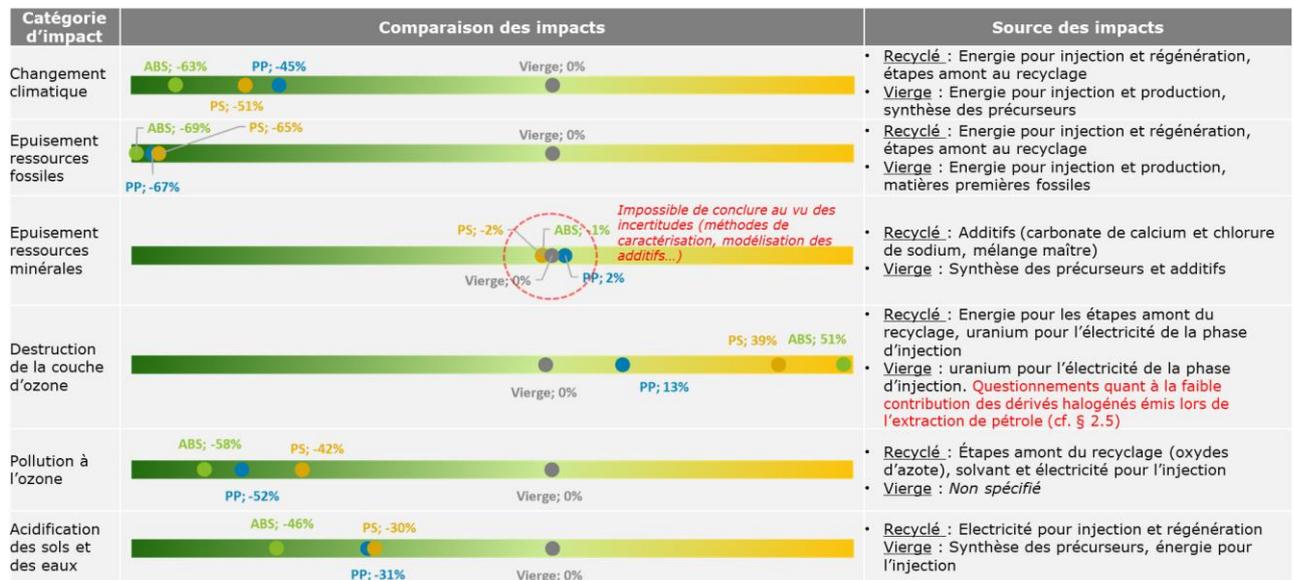


Figure 10 - Impacts environnementaux des plastiques recyclés issus de DEEE comparativement à leur équivalent vierge, appliqué au cas 2 – production, transport et transformation en Europe.

Cette étude est également un exemple d'utilisation des données d'ICV développées par **ecosystem** pour modéliser la production de plastiques recyclés issus de DEEE collectés en France et régénérés en Europe. Ces données sont diffusées en accès libre et peuvent être utilisées par chacun pour ses propres modélisations (cf. §1.3.1).

Pour en savoir plus sur les plastiques recyclés issus de DEEE et leur intégration dans les équipements électriques et électroniques :

- Intégrer des matières recyclées dans de nouveaux produits : **l'accompagnement d'ecosystem**
- **Guide pratique** pour l'intégration des plastiques recyclés dans les équipements électriques et électroniques
- Les **webinars éco-conception** d'**ecosystem**

Contact

weee-lci@ecosystem.eco



ecosystem.eco

