



MINISTÈRES
ÉDUCATION
JEUNESSE
SPORTS
ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR
RECHERCHE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Académie de Grenoble

LYCEE DES METIERS LA PLÉIADE Pont de Cheruy



Le Développement Durable

Analyse Approfondie du Cycle de Vie (ACV) d'un Matériau/Produit

Première technologique

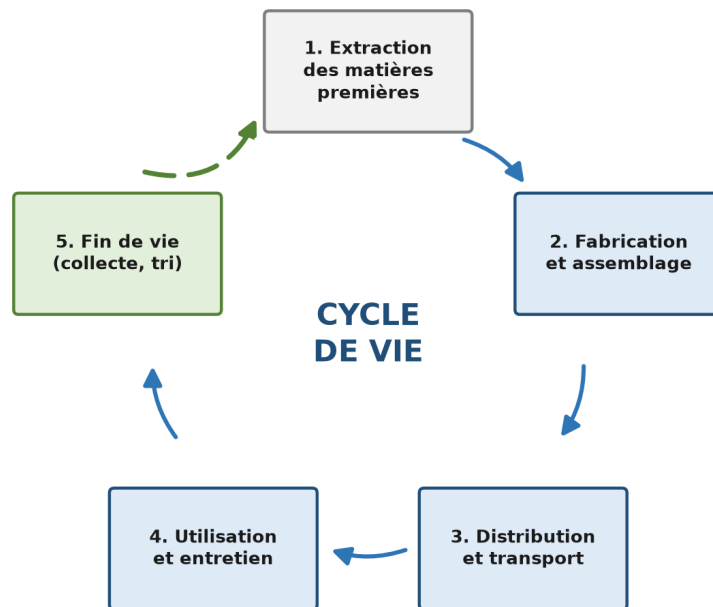


1 ^{ère} STI2D	Analyse Approfondie du Cycle de Vie	TP/EV I2D
TP n°01	Objectifs : Ce travail pratique a pour double objectif de maîtriser les fondements théoriques et pratiques de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) pour la partie I2D vue en cours. D'une part, vous devrez analyser en profondeur le texte de référence pour en extraire les définitions, mécanismes et enjeux ; d'autre part, vous appliquerez ces connaissances pour planifier les étapes concrètes de la mise en œuvre d'une ACV, des objectifs initiaux jusqu'à la restitution des résultats pour la partie I2D	
Durée : 180 mn		

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV)

Évaluer l'impact environnemental d'un produit industriel

Recyclage : les matières reviennent dans la boucle



Exemple fil rouge : le smartphone

Ce que vous devez savoir faire à la fin du cours

- Définir l'ACV et expliquer l'intérêt du raisonnement « du berceau à la tombe ».
- Citer et ordonner les 5 phases du cycle de vie d'un produit.
- Décrire les 4 étapes de la méthode ACV (norme ISO 14040) et le rôle de l'unité fonctionnelle.
- Lire et interpréter un profil d'impacts (où est le « point chaud » ?).
- Expliquer la hiérarchie des déchets et le fonctionnement de la filière DEEE.
- Justifier, chiffres à l'appui, pourquoi allonger la durée de vie d'un appareil réduit son impact.

1. Introduction : pourquoi analyser un cycle de vie ?

1.1 De l'objet à son histoire

Un smartphone, un ordinateur ou une simple clé USB ne naissent pas dans le magasin. Avant d'arriver dans nos mains, il a fallu ouvrir des mines, raffiner des métaux, graver des puces électroniques, assembler l'appareil, l'emballer, le transporter sur des milliers de kilomètres. Après l'achat, on l'utilise quelques années en le rechargeant tous les jours. Enfin, on le remplace : il devient un déchet, ou une source de matières à recycler.

À chaque étape, on consomme de l'énergie et des ressources naturelles, et on rejette des polluants dans l'air, l'eau et les sols. Regarder une seule étape conduit souvent à une conclusion fausse.

Le piège du raisonnement partiel

- Une trottinette électrique ne rejette rien quand elle roule : elle semble « propre ».
- Mais sa fabrication (batterie, aluminium, électronique) et sa courte durée de vie font que, ramenée au kilomètre parcouru, elle peut être plus impactante qu'un bus bien rempli.
- Conclusion : pour comparer honnêtement deux solutions, il faut tout compter, du début à la fin.

1.2 Définition

Analyse du Cycle de Vie (ACV) – LCA en anglais

- Méthode normalisée qui évalue les impacts environnementaux d'un produit ou d'un service sur l'ensemble de sa vie, de l'extraction des matières premières jusqu'au traitement des déchets : on dit « du berceau à la tombe » (cradle to grave).
- L'ACV est multi-étapes (toutes les phases) et multi-critères (plusieurs types d'impacts, pas seulement le CO₂).

1.3 À quoi sert l'ACV dans l'industrie ?

- Éco-conception : améliorer un produit dès le bureau d'études – alléger, choisir des matériaux moins impactants, faciliter le démontage et la réparation.
- Comparer objectivement deux solutions techniques (emballage carton contre plastique, pièce métallique contre pièce composite).
- Communiquer avec des chiffres vérifiables : fiche de déclaration environnementale (FDES / EPD), affichage environnemental, étiquette carbone.
- Répondre à la réglementation et aux appels d'offres qui exigent de plus en plus un bilan environnemental.
- Éviter le « greenwashing » (écoblanchiment) : une affirmation écologique non chiffrée n'a aucune valeur.

1.4 Le cadre normatif et réglementaire

Texte	Rôle
ISO 14040	Principes et cadre général de l'ACV
ISO 14044	Exigences détaillées : comment mener l'étude, comment la faire vérifier
ISO 14025	Règles des déclarations environnementales (étiquettes dites « de type III »)
EN 15804	Règles communes pour les produits de construction (base de données INIES)
Directive 2012/19/UE (DEEE)	Collecte et traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques
Réglementation française	RE2020 (ACV obligatoire des bâtiments neufs), indice de réparabilité puis indice de durabilité des appareils électroniques

2. Les phases du cycle de vie d'un produit

On découpe la vie d'un produit industriel en cinq grandes phases. Le cycle se « referme » lorsque les matières récupérées en fin de vie remplacent des matières vierges dans un nouveau produit.

Recyclage : les matières reviennent dans la boucle

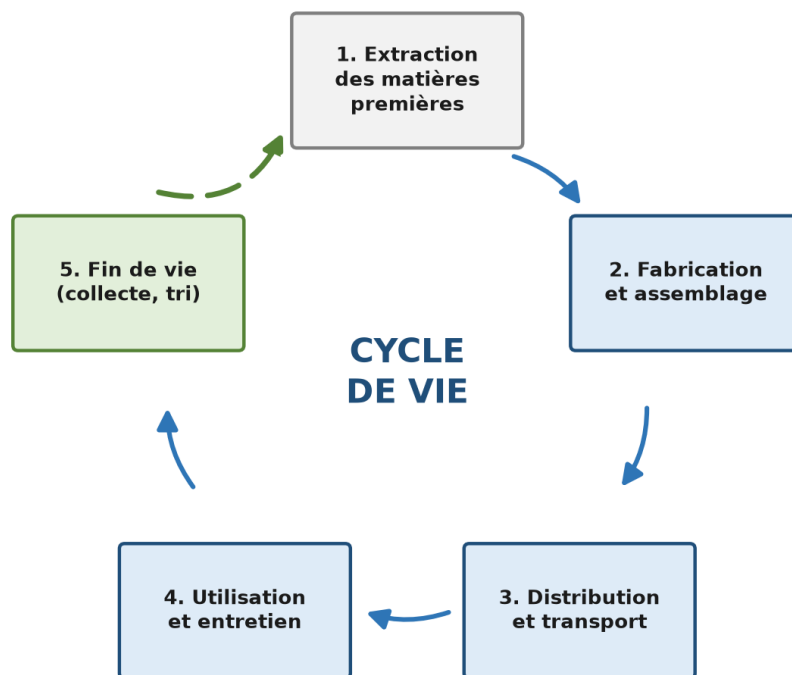


Figure 1 — Les 5 phases du cycle de vie d'un produit. La flèche verte représente le recyclage, qui réinjecte des matières dans la boucle.

Phase	Ce qui s'y passe	Exemples d'impacts
1. Extraction des matières premières	Mines, carrières, forages, cultures. Raffinage et purification des métaux.	Destruction de sols et d'habitats, déchets miniers, forte consommation d'eau et d'énergie.
2. Fabrication et assemblage	Transformation des matières, fabrication des composants, montage du produit.	Électricité, chaleur, solvants, salles blanches pour l'électronique, chutes de production.
3. Distribution et transport	Emballage, stockage, transport usine → entrepôt → magasin → client.	Carburants (porte-conteneurs, camion, avion), production des emballages.
4. Utilisation et entretien	Fonctionnement chez l'utilisateur pendant plusieurs années, entretien, réparations.	Consommation d'électricité ou de carburant, consommables, pièces de rechange.
5. Fin de vie	Collecte, tri, réemploi, recyclage, incinération, enfouissement.	Déchets, émissions de l'incinération – mais aussi matières récupérées (bénéfice).

2.1 Le système étudié et ses frontières

Pour chaque phase, l'ACV comptabilise ce qui entre (matières, énergie, eau) et ce qui sort (produit, émissions, déchets). L'ensemble des phases retenues forme le « système » ; on doit dire clairement ce que l'on inclut ou non.

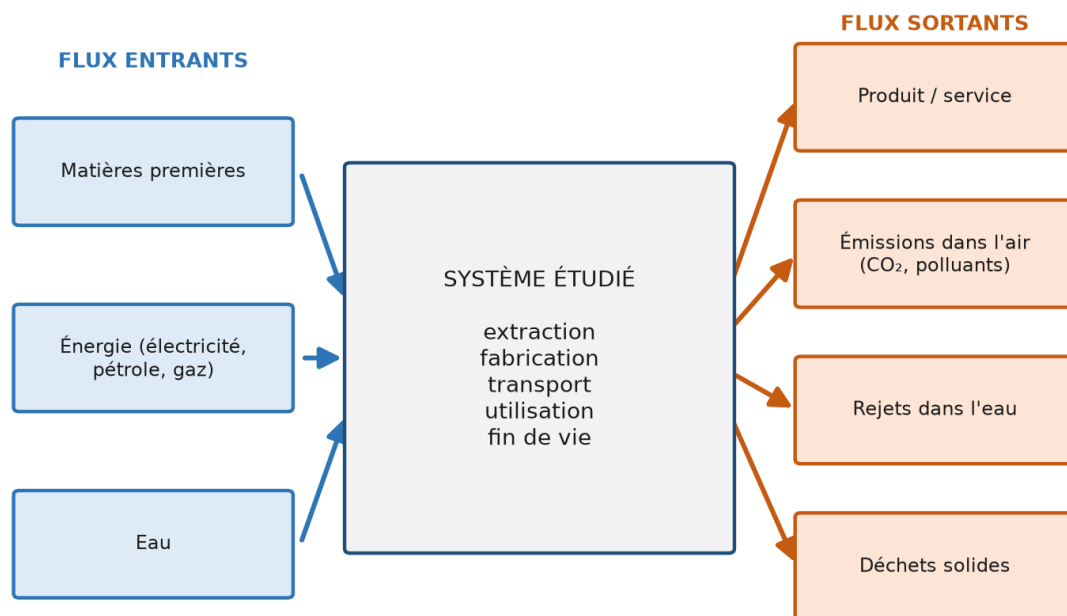


Figure 2 — Le système étudié : flux entrants à gauche, flux sortants à droite. L'ACV établit le bilan de tous ces flux.

2.2 Quelle phase pèse le plus ?

La réponse dépend du produit. On distingue deux grandes familles :

- Produits qui consomment de l'énergie pendant des années (réfrigérateur, voiture, chauffe-eau, ampoule) : c'est la phase d'UTILISATION qui domine, souvent 60 à 80 % de l'impact.

- Produits peu gourmands en usage mais bourrés de matières transformées (smartphone, ordinateur portable, vêtement technique) : c'est la phase de FABRICATION qui domine.

Conséquence pratique

- Pour un lave-linge : le progrès vient d'un moteur plus efficace et d'un programme éco.
- Pour un smartphone : le progrès vient d'une durée de vie plus longue et du réemploi.
- Une bonne décision environnementale commence toujours par identifier la phase dominante.

3. La méthode ACV en 4 étapes (norme ISO 14040)

La norme impose une démarche en quatre étapes. Elle est itérative : au fur et à mesure que l'on recueille des données, on revient préciser les objectifs ou les frontières.

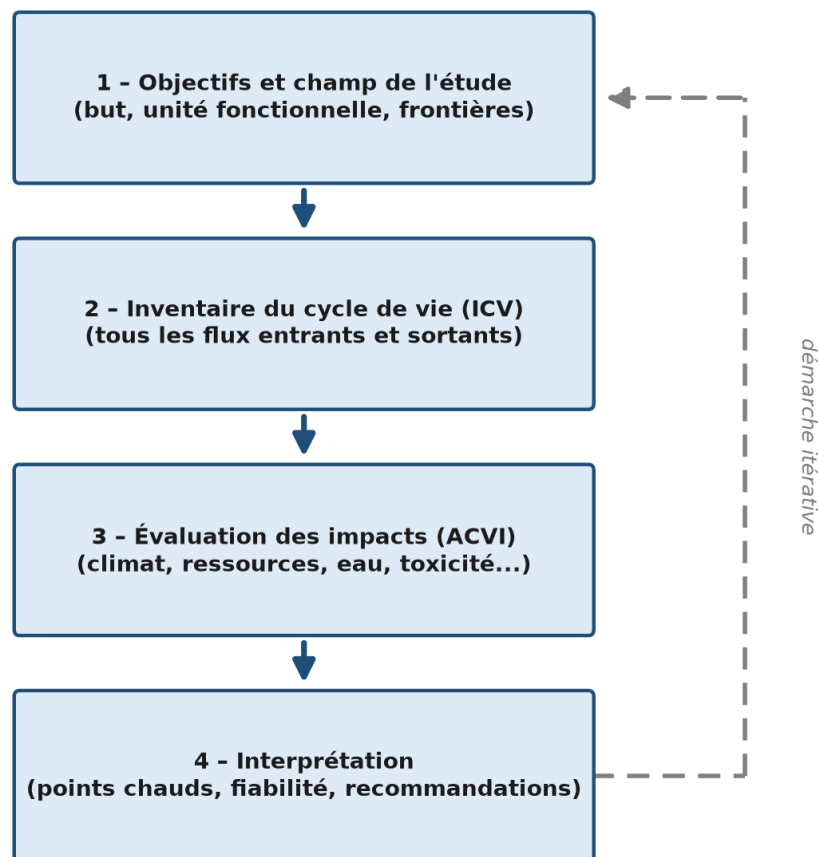


Figure 3 — Les 4 étapes de l'ACV. La flèche en pointillés rappelle que la démarche est itérative (on revient en arrière).

3.1 Étape 1 – Objectifs et champ de l'étude

- Objectif : pourquoi mène-t-on l'étude, et pour qui (bureau d'études, client, autorités) ?
- Unité fonctionnelle (UF) : le service rendu, quantifié. C'est LA notion clé : elle sert de base commune pour comparer deux produits différents.
- Frontières du système : quelles phases sont incluses (« berceau à la tombe », ou seulement « berceau à la porte de l'usine ») ?

Bien choisir l'unité fonctionnelle

- Incorrect : « un smartphone » (c'est un objet, pas un service).
- Correct : « permettre de téléphoner, naviguer et photographier pendant 3 ans, pour un usage quotidien moyen ».
- Grâce à l'UF, un téléphone qui dure 2 ans et un autre qui dure 5 ans sont ramenés à la même base : « 1 an de service rendu ».

3.2 Étape 2 – Inventaire du cycle de vie (ICV)

On dresse la liste, la plus complète possible, de tous les flux entrants et sortants de chaque phase. C'est l'étape la plus longue et la plus coûteuse : elle mobilise des données des fournisseurs et des bases de données spécialisées (ecoinvent, Base Empreinte de l'ADEME).

- Flux entrants : minerais, métaux, plastiques, eau, électricité, gaz, pétrole.
- Flux sortants : le produit, les émissions dans l'air (CO₂, méthane, poussières), les rejets dans l'eau, les déchets solides.

3.3 Étape 3 – Évaluation des impacts

Les centaines de flux de l'inventaire sont regroupés en quelques indicateurs compréhensibles. Chaque flux est multiplié par un « facteur de caractérisation » qui traduit sa nocivité.

Indicateur d'impact	Ce qu'il traduit	Unité
Changement climatique	Effet de serre dû à tous les gaz émis	kg CO ₂ équivalent
Épuisement des ressources	Consommation de métaux et minéraux peu abondants	kg Sb éq (antimoine)
Acidification	Pluies acides (dioxyde de soufre, oxydes d'azote)	mol H ⁺ éq
Eutrophisation	Excès de nutriments dans l'eau, prolifération d'algues	kg P ou N éq
Consommation d'eau	Eau douce prélevée et non restituée	m ³
Toxicité humaine	Substances dangereuses pour la santé	CTUh
Énergie primaire totale	Toute l'énergie mobilisée, y compris pertes	MJ (mégajoules)

Comprendre le « CO₂ équivalent »

- Les gaz à effet de serre n'ont pas tous le même pouvoir de réchauffement.
- 1 kg de méthane (CH₄) réchauffe l'atmosphère autant qu'environ 28 kg de CO₂ sur 100 ans ; 1 kg de protoxyde d'azote (N₂O) autant qu'environ 265 kg de CO₂.
- On convertit donc chaque gaz en « kg CO₂ équivalent » pour pouvoir les additionner : le total est l'empreinte carbone.

3.4 Étape 4 – Interprétation

- Identifier les points chauds (hotspots) : quelles phases et quels flux concentrent l'essentiel des impacts ?
- Tester la fiabilité : analyse de sensibilité (et si telle donnée variait de 20 % ?), qualité des sources.
- Formuler des recommandations concrètes d'amélioration du produit.
- Vérifier la cohérence avec l'objectif de départ; si besoin, recommencer une boucle.

4. Étude de cas : l'ACV d'un smartphone (cycle 1)

On suit un smartphone de gamme moyenne (environ 180 g, écran 6 pouces), conservé 3 ans par son propriétaire. Les valeurs qui suivent sont des ordres de grandeur issus des études de l'ADEME et des rapports environnementaux des fabricants ; elles varient d'un modèle et d'une étude à l'autre, mais les proportions sont stables.

4.1 Anatomie : que contient un smartphone ?

- 50 à 70 matériaux différents : métaux (aluminium, fer, cuivre, étain, or, argent), plastiques techniques, verre, céramiques.
- Une quinzaine de métaux dits « critiques » : cobalt et lithium (batterie), terres rares (vibreurs, aimants, couleurs de l'écran), indium (dalle tactile), tantale (condensateurs). Leur extraction est concentrée dans quelques pays et très impactante.

Composition massique moyenne d'un smartphone

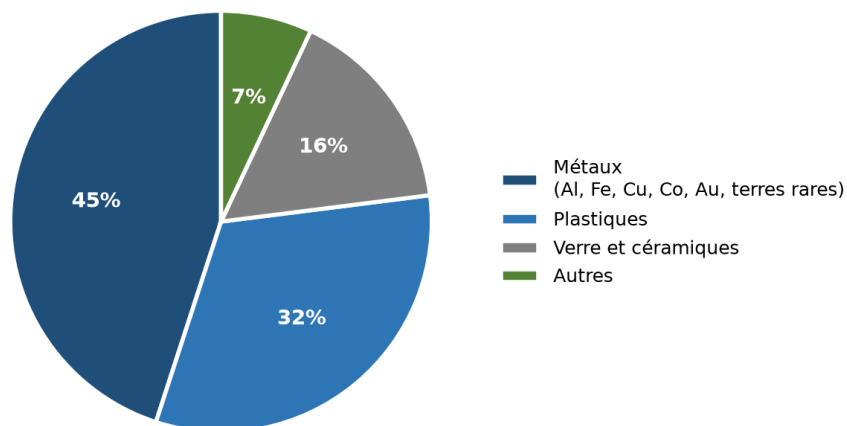


Figure 4 — Composition massique moyenne d'un smartphone. Les métaux dominent en masse, et ce sont eux qui portent l'essentiel des impacts d'extraction.

4.2 Le « sac à dos écologique »

Pour fabriquer un objet, on déplace et on transforme beaucoup plus de matière que ce que l'objet pèse au final : roches stériles des mines, réactifs chimiques, eau de procédé. C'est le « sac à dos écologique » (ou MIPS : matière mobilisée par unité de service).

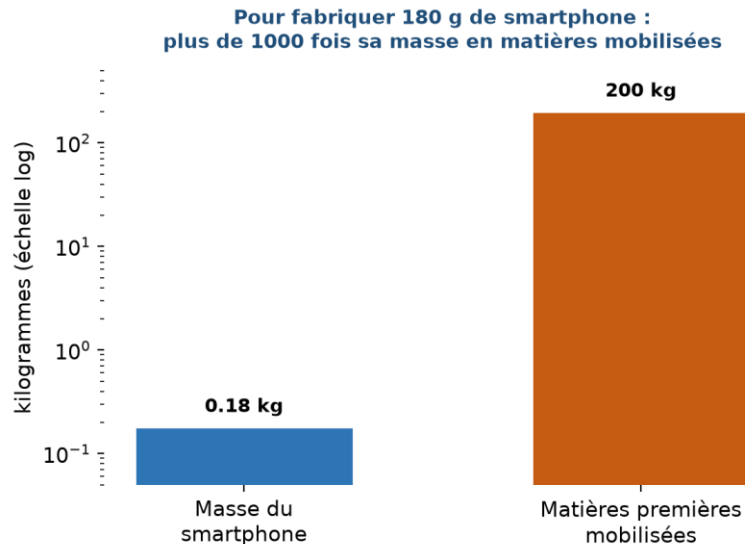


Figure 5 — Un smartphone de 180 g mobilise de l'ordre de 200 kg de matières premières sur l'ensemble de sa production : un rapport supérieur à 1000.

4.3 Phase par phase

Étape 1 – Extraction

Les métaux précieux et les terres rares sont présents en très faible teneur dans le minerai : il faut extraire et broyer des tonnes de roche pour obtenir quelques grammes de métal. Les procédés miniers consomment énormément d'eau et d'énergie et produisent des boues et des résidus parfois toxiques.

Étape 2 – Fabrication

La fabrication des puces (processeur, mémoire) se fait en salle blanche : air ultra-filtré, température et humidité contrôlées en permanence, nombreuses étapes de gravure à haute température, gaz spéciaux. C'est l'opération la plus énergivore de tout le cycle. L'assemblage final a lieu majoritairement en Asie, avec une électricité encore très carbonée (charbon).

Étape 3 – Transport

Les nouveaux modèles voyagent souvent par avion pour arriver vite en rayon ; le reste passe par porte-conteneurs. Le transport pèse peu dans le bilan carbone total (quelques pour cent) car la masse d'un téléphone est faible.

Étape 4 – Utilisation (3 ans)

L'utilisateur recharge sa batterie presque tous les jours. La consommation électrique du téléphone lui-même est modeste ; l'impact de l'usage vient surtout du fonctionnement permanent du réseau mobile et des centres de données qui hébergent les applications et les vidéos. Selon les études, cette part du réseau est comptée dans l'usage du téléphone ou à part.

4.4 Résultat : la répartition de l'empreinte carbone

Empreinte carbone totale estimée : environ 55 à 90 kg CO₂ éq sur 3 ans ; on retient 70 kg CO₂ éq pour l'exemple.

Empreinte carbone d'un smartphone sur 3 ans ($\approx 70 \text{ kg CO}_2 \text{ éq}$)

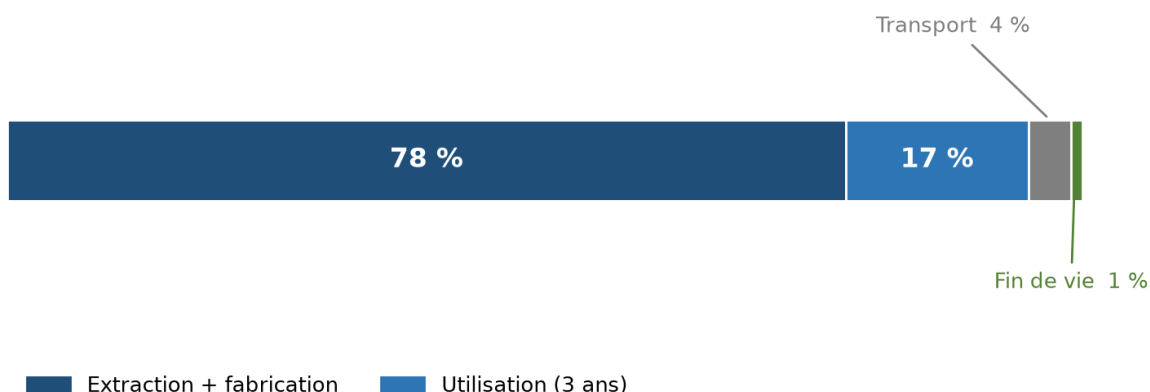


Figure 6 — Répartition de l'empreinte carbone d'un smartphone. La fabrication (extraction + production) représente à elle seule environ 78 %.

Le point chaud : la fabrication

- Environ 80 % de l'empreinte carbone est « déjà émise » le jour où l'on achète le téléphone : c'est de l'impact « incorporé ».
- Le levier le plus efficace n'est donc pas de mieux recharger, mais de garder l'appareil plus longtemps, de le faire réparer, ou d'acheter un modèle reconditionné.
- Passer de 2 à 4 ans d'usage divise presque par deux l'impact annuel du téléphone (voir figure 9).

4.5 Les autres impacts, au-delà du carbone

- Épuisement des ressources : l'or et les terres rares sont extraits en teneur infime ; leurs réserves accessibles sont limitées.
- Toxicité et pollution locale : produits chimiques des mines et de la microélectronique, pollution de l'eau et des sols autour des sites.
- Enjeux sociaux associés (hors ACV environnementale stricte) : conditions de travail dans certaines mines de cobalt, « minerais de conflit ».

4.6 Inventaire simplifié (extrait)

Phase	Entrants principaux	Sortants principaux
Extraction	Minerais, eau, gazole, électricité	Stériles miniers, CO_2 , rejets aqueux
Fabrication	Métaux raffinés, silicium, gaz spéciaux, électricité	CO_2 , solvants usés, chutes, chaleur
Transport	Kérosène, fioul lourd, cartons	CO_2 , NO_x , particules, emballages
Utilisation	Électricité (recharges + réseau)	CO_2 indirect (production d'électricité)
Fin de vie	Énergie de collecte et de traitement	Déchets ultimes / matières secondaires (bénéfice)

5. Cycle 2 : le recyclage et l'économie circulaire

Le « cycle 1 » suit le produit jusqu'à sa fin de vie. Le « cycle 2 » commence là : que deviennent les matières une fois l'appareil jeté ? L'objectif de l'économie circulaire est que la fin de vie d'un produit devienne le point de départ d'un autre produit, au lieu de finir en déchet.

5.1 Modèle linéaire contre modèle circulaire

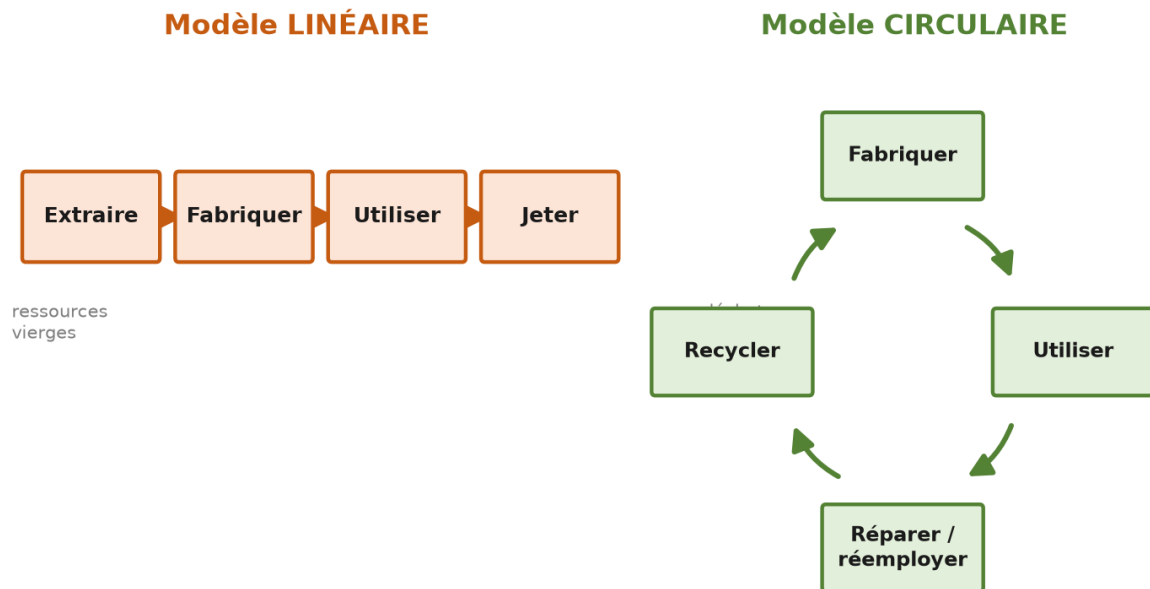


Figure 7 — À gauche, le modèle linéaire : on extrait, on jette. À droite, le modèle circulaire : on prolonge, on répare, on recycle pour réduire les prélèvements et les déchets.

5.2 La hiérarchie des déchets

La réglementation européenne classe les solutions de fin de vie par ordre de priorité. Le recyclage n'arrive qu'en 4e position : éviter, réutiliser et réparer valent toujours mieux.

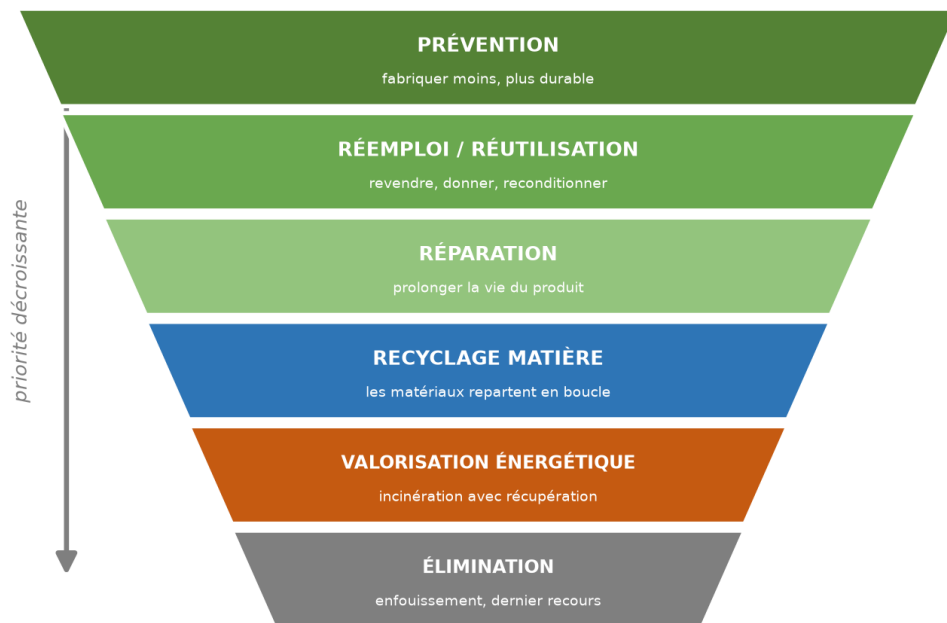


Figure 8 — La hiérarchie des déchets : de la prévention (à privilégier) à l'élimination (dernier recours).

Pourquoi le réemploi bat le recyclage

- Réemployer un smartphone (le revendre, le reconditionner) évite de fabriquer un appareil neuf : on économise les ~80 % d'impact liés à la fabrication.
- Recycler, c'est détruire le produit pour n'en garder que la matière : on économise l'extraction, mais pas la fabrication du prochain appareil.

5.3 La filière DEEE et la responsabilité du producteur

- Cadre : directive européenne 2012/19/UE sur les Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques, transposée dans le droit français.
- Principe de Responsabilité Élargie du Producteur (REP) : le fabricant finance la collecte et le traitement de ses produits en fin de vie. Il verse pour cela une éco-contribution (payée à l'achat) à un éco-organisme agréé.
- Points de collecte : reprise en magasin (« 1 pour 1 » à l'achat d'un appareil équivalent, « 1 pour 0 » pour les petits appareils), déchèteries, bornes, associations et recycleries.
- En France, environ la moitié seulement des petits appareils électroniques rejoint la filière officielle : beaucoup de téléphones restent stockés dans les tiroirs.

5.4 Comment recycle-t-on concrètement un smartphone ?

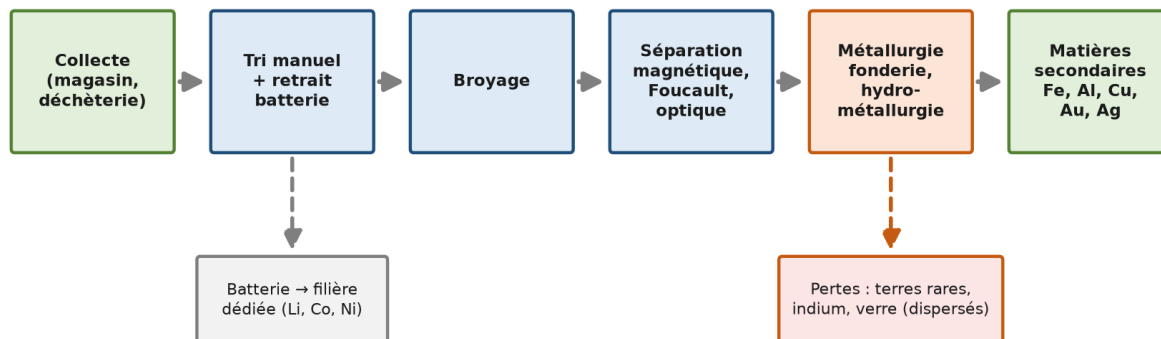


Figure 9 — Chaîne de traitement d'un smartphone en fin de vie. La batterie part vers une filière dédiée ; certaines matières (terres rares, indium, verre) sont perdues.

1. Collecte et regroupement des appareils.
2. Tri manuel : on retire la batterie (risque d'incendie, et récupération du cobalt, du lithium et du nickel dans une filière spécifique).
3. Broyage de l'appareil en petits fragments.
4. Séparation physique : aimants pour le fer, courants de Foucault pour l'aluminium, tri optique et flottation pour les plastiques.
5. Métallurgie : les cartes électroniques broyées passent en fonderie et en traitement chimique (hydrométallurgie) pour extraire cuivre, or, argent, palladium, étain.
6. Les matières obtenues (« matières secondaires ») sont revendues et remplacent de la matière vierge.

5.5 Ce que l'on récupère... et ce que l'on perd

Matériaux	Situation en recyclage
Fer, aluminium, cuivre	Bien recyclés : filières matures et rentables.
Or, argent, palladium	Récupérés en fonderie spécialisée (forte valeur malgré de faibles quantités).
Cobalt, nickel, lithium (batteries)	Recyclage en forte progression, tiré par la demande de batteries.
Terres rares, indium, tantale	Très peu recyclés : quantités minuscules, dispersées, procédés coûteux.
Plastiques techniques	Partiellement recyclés, sinon valorisés en énergie (incinération).
Verre de l'écran	Collé et traité : difficile à récupérer, souvent perdu.

5.6 Le recyclage économise de l'énergie

Produire un métal à partir de matière recyclée demande beaucoup moins d'énergie que de l'extraire d'une mine et de le raffiner. C'est le principal bénéfice environnemental du recyclage.

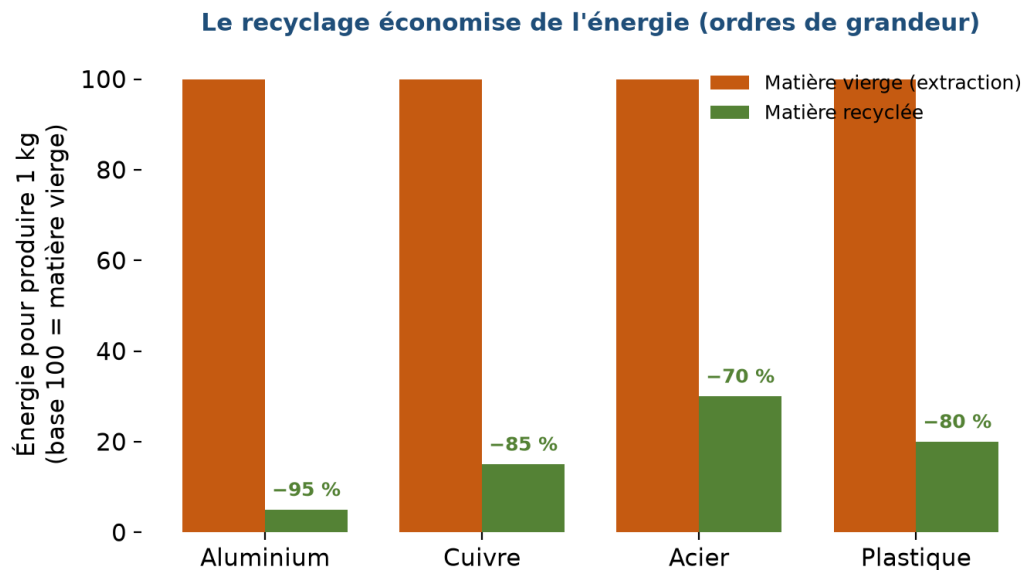


Figure 10 — Énergie nécessaire pour produire 1 kg de matière : matière vierge (base 100) contre matière recyclée. Ordres de grandeur.

5.7 Le recyclage n'est jamais total

Trois limites à retenir

- À chaque boucle, une partie de la matière est perdue (dispersion, mélanges, impuretés). Quand la qualité baisse d'un tour à l'autre, on parle de décyclage (downcycling).
- Certaines matières ne sont pratiquement pas récupérables aujourd'hui (terres rares).
- On ne peut donc pas se passer complètement d'extraction minière : le recyclage ralentit l'épuisement des ressources, il ne l'annule pas.

C'est pourquoi les étapes en amont restent décisives : utiliser moins de matière, concevoir des produits durables et faciles à démonter, allonger la durée d'usage.

5.8 Comment l'ACV prend en compte le recyclage

Dans le bilan, la fin de vie peut apporter un « bénéfice », c'est-à-dire un impact évité : la matière recyclée remplace de la matière vierge que l'on n'a pas eu besoin d'extraire. Ce bénéfice est calculé à part (souvent appelé « module D » dans les normes de la construction). L'ACV utilise le taux de collecte réel et le taux de recyclage réel, et non un idéal de 100 %.

6. De l'analyse à l'action : l'éco-conception

Une ACV ne sert à rien si elle ne débouche pas sur des décisions. Une fois le point chaud identifié (ici : la fabrication), on agit en priorité dessus.

6.1 Les leviers pour un smartphone

Levier d'éco-conception	Effet attendu
Assurer des mises à jour logicielles pendant 5 ans ou plus	Allonge la durée de vie réelle
Rendre batterie et écran remplaçables avec des outils courants	Évite de jeter tout l'appareil pour une seule panne
Afficher un indice de réparabilité puis de durabilité	Informe l'acheteur, pousse les fabricants à progresser
Intégrer des métaux et plastiques recyclés	Réduit l'extraction minière
Réduire l'emballage, éviter le fret aérien	Baisse le transport et les déchets d'emballage
Organiser la reprise et le reconditionnement	Prolonge l'usage et alimente le recyclage

6.2 L'effet le plus puissant : la durée de vie

L'impact de fabrication est « fixe » : environ 70 kg CO₂ éq, quel que soit le temps de garde. Plus on étale cet impact sur des années d'usage, plus l'impact par an diminue.

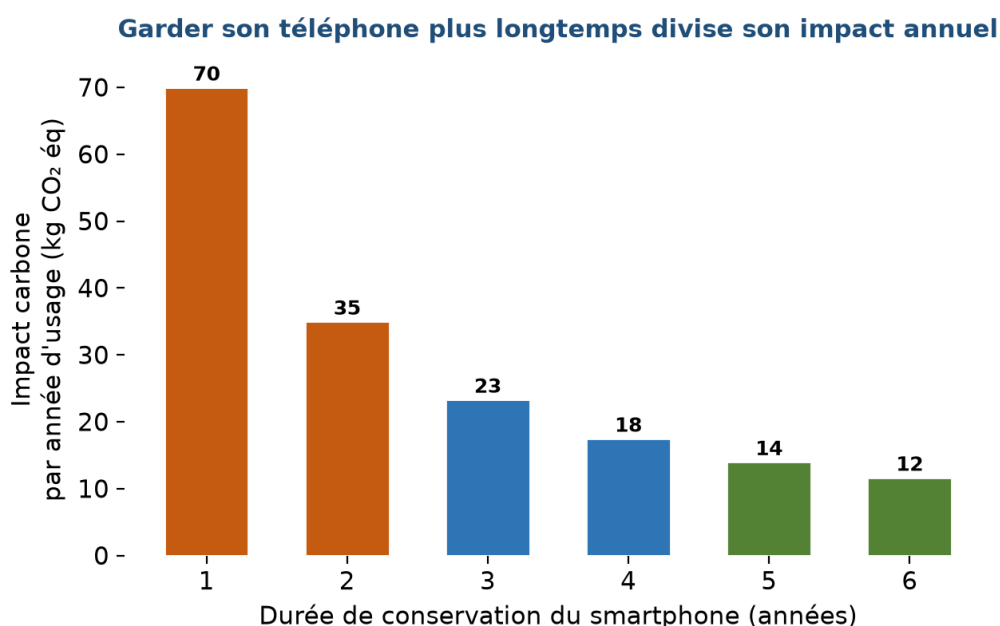


Figure 11 — Impact carbone ramené à une année d'usage, selon la durée de conservation du téléphone. Doubler la durée de vie divise l'impact annuel par deux.

6.3 Ce que peut faire le citoyen

- Garder ses appareils plus longtemps ; résister au renouvellement « par envie ».
- Acheter reconditionné quand c'est possible.
- Faire réparer (bonus réparation, ateliers, tutoriels).

- Rapporter systématiquement les appareils hors d'usage dans la filière DEEE, y compris ceux qui « dorment » dans un tiroir.

7. Synthèse

- L'ACV évalue les impacts environnementaux d'un produit sur tout son cycle de vie, selon une méthode normalisée (ISO 14040) en 4 étapes.
- On compare deux produits grâce à l'unité fonctionnelle : le service rendu, quantifié.
- L'ACV est multi-critères : climat, ressources, eau, toxicité... pas seulement le CO₂.
- Pour l'électronique grand public, la fabrication est le point chaud (~80 % de l'empreinte carbone d'un smartphone).
- Ordre de priorité des solutions de fin de vie : prévenir, réutiliser, réparer, recycler, valoriser en énergie, éliminer.
- Le recyclage (cycle 2) économise de l'énergie et des ressources, mais reste incomplet : il complète l'éco-conception, il ne la remplace pas.

Vocabulaire à connaître

Terme	Définition courte
ACV / LCA	Analyse du Cycle de Vie / Life Cycle Assessment.
Du berceau à la tombe	Périmètre couvrant toutes les phases, de l'extraction aux déchets.
Unité fonctionnelle	Service rendu quantifié, base de comparaison entre produits.
Inventaire (ICV)	Liste de tous les flux entrants et sortants du système.
Indicateur d'impact	Grandeur qui traduit un effet sur l'environnement (ex. kg CO ₂ éq).
CO ₂ équivalent	Unité commune pour additionner tous les gaz à effet de serre.
Point chaud (hotspot)	Étape ou flux qui concentre l'essentiel des impacts.
Éco-conception	Concevoir un produit en réduisant ses impacts dès le départ.
Économie circulaire	Modèle où les déchets d'un produit deviennent les ressources d'un autre.
Hiérarchie des déchets	Classement des solutions de fin de vie par ordre de priorité.
REP	Responsabilité Élargie du Producteur : le fabricant finance la fin de vie.
DEEE	Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques.
Matière secondaire	Matière première issue du recyclage.
Sac à dos écologique	Masse totale de matières mobilisées pour obtenir un produit.

8. Exercices

7. Citer les 5 phases du cycle de vie d'un produit et donner un impact pour chacune.
8. Un smartphone a une empreinte de 70 kg CO₂ éq. L'élève A le garde 2 ans, l'élève B le garde 5 ans. Calculer l'impact « par année d'usage » pour chacun, puis conclure.
9. Expliquer pourquoi on ne peut pas comparer directement « un vélo » et « une voiture » sans définir d'unité fonctionnelle. Proposer une UF commune.
10. La phase d'utilisation représente environ 80 % de l'impact d'un réfrigérateur mais seulement 15 à 20 % de celui d'un smartphone. Expliquer cette différence.

11. Classer dans le bon ordre de priorité : recycler, réparer, jeter en décharge, réemployer, prévenir, incinérer avec récupération d'énergie.
12. Donner deux raisons pour lesquelles les terres rares d'un smartphone sont très peu recyclées.
13. D'après la figure 7, de combien (en pourcentage) le recyclage de l'aluminium réduit-il la consommation d'énergie par rapport à l'aluminium de première fusion ?
14. Recherche : relever l'indice de réparabilité (ou de durabilité) d'un smartphone de votre choix et commenter les critères qui le pénalisent.

9. Sources et avertissement

Ordres de grandeur : ADEME (Base Empreinte, guides sur les impacts du numérique), rapports environnementaux de constructeurs, normes ISO 14040 et 14044, directive DEEE 2012/19/UE. Les valeurs chiffrées sont des ordres de grandeur pédagogiques : elles peuvent varier selon les modèles, les années et les hypothèses d'étude. L'objectif du cours est la compréhension de la méthode et des proportions, non la précision au kilo de CO₂ près.