

Samsung Galaxy Z Fold (smartphone pliable)

Profil Carbone Produit

Date d'analyse : 18/08/2026

Émissions : 13,460 kgCO₂e

26%

2%1%

70%

1%

• Matériaux • Fabrication • Transport • Utilisation • Fin de vie

1 exemplaire de smartphone pliable Samsung Galaxy Z Fold (215 g) livré au consommateur européen avec emballage (82 g), 'Cradle-to-Grave'

Cette Analyse de Cycle de Vie Carbone a été réalisée par Carbo Produit à l'aide d'une plateforme d'intelligence artificielle générative spécialisée. Le périmètre est strictement limité à l'indicateur carbone (méthode LCIA cutoff by allocation – IPCC 2021 – GWP 100). Nous utilisons notre propre base de données qui agrège plusieurs dizaines de bases de données dont Ademe Base Empreinte et Ecoinvent. Ce rapport inclut des données actualisées à la date de l'analyse.

1. Informations Générales

Organisation (Client) : marketing-hello-carbo-com

Contact : marketing@hello-carbo.com

Adresse : 24 rue de l'Est, 75020 Paris

Description : 1. Identification Smartphone pliable, Android. Coloris : Techno violet, Graphite, Blanc, Techno vert* (dispo. variable/Samsung.com). 2. Physique Dimensions : 158,4 x 143,2 x 4,1 mm (déplié : 158,4 x 72,8 x 8,9 mm). Poids : 215 g. 3. Écran Principal Externe Taille 203,1/202,4 mm (8,0") 164,8/164,1 mm (6,5") Résolution 2504x2256 (QXGA+) 2520x1080 (FHD+) Techno Dynamic AMOLED 2X Dynamic AMOLED 2X Couleurs 16M 16M Taux rafraîch. 120 Hz — 4. Processeur 4,74 GHz / 3,6 GHz, Octa-Core. 5. Mémoire/Stockage RAM 12 Go ; Stockage 256 Go (disponible 218,5 Go). 6. Appareil photo Arrière : 200+50+10 MP, f/1.7-f/1.9-f/2.4, AF, stabilisation optique, zoom optique 3x + qualité optique 2x (capteur adaptatif) + numérique 30x, vidéo 8K@30fps, ralenti 240i/s@FHD, 120i/s@FHD, 120fps@UHD, flash. Selfie : 10 MP, f/2.2, sans AF. 7. Réseau Double SIM (Nano+eSIM soudée, SIM1+eSIM/Dual eSIM). 2G-5G : GSM850/900/DCS1800/PCS1900 ; 3G B1/2/4/5/8 ; 4G FDD B1,2,3,4,5,7,8,12,13,17,18,19,20,25,26,28,32,66 ; 4G TDD B38,39,40,41 ; 5G FDD Sub6 N1,2,3,5,7,8,12,20,25,26,28,66 ; 5G TDD N38,40,41,77,78 ; 5G SDL N75. 8. Connectivité USB-C 3.2 Gen1, GPS/Glonass/Beidou/Galileo/QZSS, Wi-Fi 802.11a/b/g/n/ac/ax/be (2,4+5+6GHz, EHT320, MIMO, 4096-QAM), Wi-Fi Direct, Bluetooth v6.0, NFC, UWB, Smart Switch PC. 9. Capteurs Accéléromètre, baromètre, empreintes, gyroscope, géomagnétique, effet Hall, luminosité, proximité. 10. Batterie 5000 mAh (typique) / 4854 mAh (nominale, IEC 61960), non amovible, classe A, ≥1200 cycles, autonomie vidéo sans fil jusqu'à 27h. 11. Puissance Charge : 10-45 W. 12. Audio/vidéo Stéréo. Vidéo : MP4/M4V/3GP/3G2/AVI/FLV/MKV/WEBM, lecture 8K@60fps. Audio : MP3/M4A/3GA/AAC/OGG/OGA/WAV/AMR/AWB/FLAC/MID/MIDI/XMF/MXMF/IMY/RTTTL/RTX/OTA/DFF/DSF/APE. 13. Design ECO (données Samsung) Contenu recyclé : 14,39 %. Recyclabilité : 10,70 %. Matières premières : Cobalt ≥10 g, Tantale <0,01 g, Néodyme ≥0,2 g, Or <0,02 g. 14. Support logiciel Sécurité garantie jusqu'au 31/07/2033. 15. DAS Tête 0,821 W/kg, tronc 1,167 W/kg, membre 2,87 W/kg. 16. Services DeX : oui. SmartThings : oui. ASHA : oui. Mobile TV : non. Compatible Galaxy Watch/Buds/Ring/Fit (toutes générations). 17. Variantes 256 Go (détaillée), 512 Go, 1 To. 18. Matériaux et provenance Recherches complémentaires croisant sources

officielles Samsung/fournisseurs, presse spécialisée et rapports de durabilité.

Fiabilité précisée pour chaque point (§18.7). Structure/boîtier (confirmé, communication officielle Samsung) : Cadre : alliage aluminium renforcé « Armor Aluminum »/« Advanced Armor Aluminum 2 » — fournisseur non communiqué Verre avant : Corning® Gorilla® Glass Ceramic 3 — Corning Inc. (États-Unis) Verre arrière : Corning® Gorilla® Glass Victus® 2 — Corning Inc. (États-Unis) Renfort sous écran : 2 couches de titane (« Flex Titanium ») — fournisseur non communiqué Charnière : alliage haute résistance « Armor FlexHinge » — composition non détaillée Gorilla Glass (toutes générations) fabriqué dans un nombre restreint d'usines mondiales : Harrodsburg (Kentucky, USA), Asan (Corée du Sud), Japon, Taïwan. Usine précise fournissant ce modèle non communiquée. Processeur (SoC) — Qualcomm Snapdragon 8 Elite Gen 5 « for Galaxy » (fiabilité moyenne) : Version standard : fabriquée par TSMC (Taïwan), nœud 3 nm (N3P) Variante « for Galaxy » (Z Fold8/Flip8) : plusieurs sources presse (SamMobile, Notebookcheck, GSMArena) rapportent une production par Samsung Foundry (Hwaseong, Corée du Sud), nœud 2 nm — non confirmé officiellement modèle par modèle Écran (extrapolation, fiabilité moyenne) : dalles Dynamic AMOLED 2X historiquement produites par Samsung Display (filiale du groupe), sites principaux en Corée du Sud (Asan, Cheonan). Non confirmé nommément pour ce modèle. Batterie (fiabilité moyenne) : Cellules probablement Samsung SDI (Corée du Sud), principal fournisseur du groupe — non confirmé nommément Cobalt : ~60-70 % de la production mondiale provient de RDC ; Samsung Electronics/SDI participent à des initiatives sectorielles (« Cobalt for Development », avec BMW Group et BASF) pour tracer/améliorer l'extraction artisanale en RDC Lithium : pays producteurs typiques cités par Samsung (Responsible Minerals Report) : Australie, Chili, Argentine, Chine Minerais 3TG et cobalt (données sectorielles groupe, non spécifiques au modèle) — d'après le Responsible Minerals Report 2026 de Samsung Electronics : Diligence raisonnable conforme OCDE ; fournisseurs tenus de s'approvisionner via fonderies certifiées RMAP 100 % de certification RMAP atteinte pour tantale, étain, tungstène, or, cobalt Origines typiques : Tantale (Afrique centrale/RDC, Canada) ; Étain (Chine, Russie, Canada, Bolivie) ; Tungstène (Chine) ; Or (Afrique du Sud, autres) Assemblage final (fiabilité moyenne) : site précis non communiqué. Plus de la moitié de la production mondiale Samsung assemblée à Thai Nguyen (Vietnam) ; un 3e site vietnamien (2025) dédié aux pliables Galaxy Z et appareils IA est le candidat le plus probable. Autres sites : Corée du Sud, Inde.

18.7 Fiabilité des informations

Élément	Fiabilité	Matériaux
structure (alu, verres, titane)	Élevée	Fournisseur verre (Corning) Élevée
Fondeur du SoC	Moyenne (2 options)	Fabricant écran
Moyenne (extrapolation)	Fournisseur	

cellules batterie Moyenne Origine géographique minerais/cobalt Moyenne (sectorielle, non spécifique) Site d'assemblage Moyenne Sources Samsung France/Suisse/Belgique (pages produit officielles) ; Samsung Electronics Responsible Minerals Report 2026 ; Samsung « Our Responsible Minerals Management » ; SamMobile, Notebookcheck, GSMArena, Tom's Hardware (fabrication SoC) ; The Washington Post et Amnesty International (cobalt RDC) ; Samsung Newsroom (« Cobalt for Development ») ; Corning Inc. (sites Gorilla Glass) ; L'Informatique.org, Samsung Magazine (géographie production).

2. Cadre d'analyse

Définition

1 exemplaire de smartphone pliable Samsung Galaxy Z Fold (215 g) livré au consommateur européen avec emballage (82 g), 'Cradle-to-Grave'

Justification : L'unité déclarée est 1 exemplaire du produit (PCR 2024:06 pour les EEE, unité déclarée = 1 exemplaire). Le smartphone est un produit discret avec une masse de 215 g et un emballage de 82 g. Toutes les quantités physiques (matières, énergie, transport, usage, fin de vie) sont rapportées à cette unité. Le RSL de 3 ans conditionne le cumul d'énergie d'usage : charge quotidienne + veille chargeur sur 1095 jours.

Périmètres d'analyse inclus

Extraction et raffinage des matières premières (inclus dans les FE des matériaux)

Fabrication des composants intermédiaires : PCB (Chine), dalle OLED (Corée du Sud), cellules batterie (Corée du Sud), cadre aluminium (Vietnam), charnière (Vietnam), modules caméra et haut-parleurs (Vietnam)

Assemblage PCBA : SMT, refusion, brasage vague, test (Vietnam)

Assemblage final, test et emballage (Vietnam)

Transport des matières et composants vers les sites de fabrication (amont)

Transport du produit fini vers le marché européen (aval)

Phase d'utilisation : charge quotidienne et veille chargeur sur 3 ans (RSL)

Périmètres d'analyse exclus

Biens d'équipement : bâtiments, machines de production, véhicules, infrastructures

R&D, marketing, publicité, design

Déplacements domicile-travail du personnel

Infrastructure ICT (cloud, réseau) pour les services connectés (SmartThings, DeX, etc.) — non comptabilisée car l'allocation au produit est non triviale

Périmètres d'analyse inclus

Fin de vie du produit, des emballages et des pertes de production (collecte WEEE, recyclage, mise en décharge/incinération)

Périmètres d'analyse exclus

Périmètre géographique : Mondial (extraction matières premières : RDC, Australie, Chine, Afrique du Sud, etc.) → Asie (fabrication : Corée du Sud, Chine, Vietnam) → Europe (utilisation et fin de vie : France, Suisse, Belgique)

Justification : Le périmètre couvre l'ensemble du cycle de vie 'Cradle-to-Grave'. Les matières premières proviennent de multiples origines (cobalt RDC, lithium Australie/Chili, or Afrique du Sud, terres rares Chine, etc.). Les composants sont fabriqués en Corée du Sud (écran Samsung Display, batterie Samsung SDI, SoC Samsung Foundry) et en Chine (PCB). L'assemblage final a lieu au Vietnam (site de Thai Nguyen ou nouveau site 2025 dédié aux pliables). Le marché cible est européen (Samsung France/Suisse/Belgique). La fin de vie est modélisée selon le scénario WEEE européen.

3. Matériaux

Description : La nomenclature (BOM) est estimée à partir des spécifications produit (215 g, écrans 8" + 6,5", batterie 5000 mAh), des données éco-design Samsung (cobalt ≥10 g, néodyme ≥0,2 g, or <0,02 g, tantale <0,01 g, contenu recyclé 14,39%), et de données de teardown de smartphones pliables similaires. Le poids total du téléphone (215 g) est réparti entre 8 grands ensembles : cadre aluminium (20 g), verres avant/arrière (28 g), renfort titane (4 g), écrans principal + externe (30 g), batterie (45 g), charnière (14 g), PCBA + SoC + mémoire (20,5 g), caméra + haut-parleurs + capteurs + antennes + tantale + autres (78,5 g). Les composants obligatoires (batterie, PCBA, écran, or, terres rares, tantale) sont tous inclus conformément à la méthodologie EEE (PCR 2024:06), indépendamment de leur masse — règle de coupure de 5% non applicable. Les matériaux semi-finis (Gorilla Glass, polariseurs TAC/PVA, carton ondulé, film LDPE, papier) sont nommés à leur état d'achat : leur FE inclut la mise en forme, aucune énergie de fabrication intermédiaire n'est ajoutée. Les matières premières (aluminium lingot, titane lingot, acier lingot, cuivre cathode, or lingot, étain lingot, verre plat, ITO, matériaux OLED, cobalt, lithium, nickel, manganèse, graphite, silicium wafer, néodyme) sont nommées à leur état brut : leur FE n'inclut pas la transformation en composant, une énergie de fabrication intermédiaire est ajoutée dans la section Fabrication. Le SoC et la mémoire sont conservés comme composants agrégés (FE incluant la fabrication du wafer) — non décomposés, conformément à la méthodologie EEE. L'emballage (82 g) comprend carton ondulé (60 g), film LDPE (5 g), papier notice (15 g) et outil SIM acier (2 g). L'incertitude globale des matériaux est estimée à ±20% (BOM estimée, mix de données documentées Samsung et d'estimations par extrapolation).

Composant	Matériau	Poids (kg)	Source / Incertitude
Cadre	Aluminium (lingot primaire)	0.020	Utilisateur + Carbo / ±20%
Verre avant	Verre aluminosilicate (Gorilla Glass Ceramic 3, semi-fini)	0.016	Utilisateur + Carbo / ±20%

Composant	Matériau	Poids (kg)	Source / Incertitude
Verre arrière	Verre aluminosilicate (Gorilla Glass Victus 2, semi-fini)	0.012	Utilisateur + Carbo / ±20%
Renfort sous écran	Titane (lingot)	0.004	Utilisateur + Carbo / ±30%
Écran principal - substrat	Verre plat (substrat OLED)	0.008	Carbo / ±30%
Écran principal - ITO	Oxyde d'indium-étain (ITO)	0.000	Carbo / ±50%
Écran principal - OLED	Matériaux organiques OLED	0.002	Carbo / ±50%
Écran principal - backplane	Aluminium (film, backplane TFT)	0.004	Carbo / ±40%
Écran principal - polariseur	Polymère TAC/PVA (film polariseur, semi-fini)	0.003	Carbo / ±40%
Écran principal - autres	Polymères et métaux divers (encapsulation, adhésifs, circuits)	0.003	Carbo / ±50%
Écran externe - substrat	Verre plat (substrat OLED)	0.004	Carbo / ±30%
Écran externe - ITO	Oxyde d'indium-étain (ITO)	0.000	Carbo / ±50%
Écran externe - OLED	Matériaux organiques OLED	0.001	Carbo / ±50%
Écran externe - backplane	Aluminium (film, backplane TFT)	0.002	Carbo / ±40%
Écran externe - polariseur	Polymère TAC/PVA (film polariseur, semi-fini)	0.002	Carbo / ±40%

Composant	Matériau	Poids (kg)	Source / Incertitude
Écran externe - autres	Polymères et métaux divers (encapsulation, adhésifs, circuits)	0.002	Carbo / ±50%
Batterie - cathode	Cobalt (métallique raffiné) - Chine	0.010	Utilisateur + Carbo / ±15%
Batterie - cathode	Lithium (carbonate) - Australie/Chili	0.003	Utilisateur + Carbo / ±25%
Batterie - cathode	Nickel (métallique) - Indonésie/Chine	0.005	Carbo / ±30%
Batterie - cathode	Manganèse (métallique) - Chine	0.002	Carbo / ±30%
Batterie - anode	Graphite (naturel) - Chine	0.009	Carbo / ±25%
Batterie - collecteur	Cuivre (cathode) - Chine/Corée du Sud	0.007	Carbo / ±25%
Batterie - collecteur	Aluminium (lingot) - Corée du Sud	0.005	Carbo / ±25%
Batterie - électrolyte	Polymères et électrolyte (LiPF6 dans solvants organiques)	0.004	Carbo / ±30%
Charnière	Acier (lingot) - Chine/Corée du Sud	0.012	Utilisateur + Carbo / ±25%
Charnière - autres	Alliages métalliques divers (vis, ressorts, axes)	0.002	Carbo / ±40%
PCBA - substrat	FR4 (fibre de verre + résine époxy) - Chine	0.005	Carbo / ±30%

Composant	Matériau	Poids (kg)	Source / Incertitude
PCBA – traces	Cuivre (cathode) – Chine/Corée du Sud	0.008	Carbo / ±25%
PCBA – contacts	Or (lingot) – Afrique du Sud	0.000	Utilisateur + Carbo / ±30%
PCBA – soudure	Étain (lingot) – Chine/Indonésie	0.002	Carbo / ±30%
PCBA – autres	Polymères et composants divers (résistances, condensateurs céramiques, connecteurs)	0.001	Carbo / ±50%
SoC	Circuit intégré (SoC Snapdragon 8 Elite Gen 5 'for Galaxy') – Corée du Sud/Taiwan	0.003	Utilisateur + Carbo / ±40%
Mémoire/Stockage	Circuit intégré (RAM LPDDR5X + flash UFS 4.0) – Corée du Sud	0.002	Carbo / ±40%
Caméra – lentilles	Verre optique – Chine/Corée du Sud	0.004	Carbo / ±30%
Caméra – boîtier	Aluminium (lingot) – Chine	0.003	Carbo / ±30%
Caméra – capteurs	Silicium (wafer) – Japon/Corée du Sud	0.002	Carbo / ±40%
Caméra – autres	Polymères et métaux divers (supports, FPC, adhésifs)	0.002	Carbo / ±50%
Haut-parleurs	Néodyme (métallique) – Chine	0.000	Utilisateur + Carbo / ±30%

Composant	Matériau	Poids (kg)	Source / Incertitude
Haut-parleurs - autres	Cuivre et polymères (bobines, membranes, boîtiers)	0.004	Carbo / ±40%
Capteurs	Silicium (wafer) - Japon/Corée du Sud	0.002	Carbo / ±40%
Antennes/connecteurs	Cuivre (cathode) - Chine/Corée du Sud	0.003	Carbo / ±30%
Antennes/connecteurs	Or (lingot) - Afrique du Sud	0.000	Carbo / ±50%
Antennes/connecteurs - autres	Polymères (supports d'antennes, connecteurs plastiques)	0.000	Carbo / ±50%
Condensateur tantale	Tantale (poudre) - RDC/Afrique centrale	0.000	Utilisateur + Carbo / ±50%
Autres - polymères	Polymères (ABS/PC/silicone) - Chine/Corée du Sud	0.020	Carbo / ±30%
Autres - câbles	Cuivre (câbles internes) - Chine/Corée du Sud	0.010	Carbo / ±30%
Autres - vis	Acier (vis) - Chine/Corée du Sud	0.004	Carbo / ±30%
Autres - divers	Divers (adhésifs, joints d'étanchéité, scellants)	0.003	Carbo / ±50%
Emballage - carton	Carton ondulé (semi-fini) - Chine/Vietnam	0.060	Carbo / ±20%
Emballage - film	Film polyéthylène (LDPE, semi-fini) - Chine/Vietnam	0.005	Carbo / ±25%

Composant	Matériau	Poids (kg)	Source / Incertitude
Emballage - notice	Papier (semi-fini) - Chine/Vietnam	0.015	Carbo / ±20%
Emballage - outil SIM	Acier (outil éjection SIM) - Chine/Vietnam	0.002	Carbo / ±30%

Poids total : 0.299 kg

Détails des hypothèses

Cadre

Cadre 'Armor Aluminum' usiné à partir d'un lingot/extrusion en aluminium. Masse estimée à 20 g pour un smartphone pliable (cadre + structure). Matière première (lingot) → énergie d'usinage CNC ajoutée en fabrication. Origine supposée : Chine ou Corée du Sud. Samsung communique 'Armor Aluminum' comme alliage renforcé sans préciser la composition exacte.

Verre avant

Verre avant Corning Gorilla Glass Ceramic 3, semi-fini (le FE inclut la fabrication du verre). Masse estimée à 16 g pour la grande dalle pliable intérieure (8,0"). Corning possède une usine à Asan (Corée du Sud) qui approvisionne probablement Samsung Display. Aucune énergie de fabrication intermédiaire (FE inclut la mise en forme du verre).

Verre arrière

Verre arrière Corning Gorilla Glass Victus 2, semi-fini. Masse estimée à 12 g pour le dos du téléphone pliable. FE inclut la fabrication du verre, aucune énergie intermédiaire.

Renfort sous écran

2 couches de titane 'Flex Titanium' pour le renfort de l'écran pliable. Masse estimée à 4 g (2 couches fines). Matière première (lingot) → énergie de formage/découpe ajoutée en fabrication. Titane = matériau à forte empreinte environnementale, rare dans les smartphones classiques.

Écran principal – substrat

Substrat en verre plat pour la dalle OLED principale (8,0"). Masse estimée à 8 g. Matière première (verre plat) → énergie de fabrication de la dalle OLED ajoutée en fabrication (dépôt OLED, encapsulation). Origine : Corée du Sud (Samsung Display, Asan/Cheonan).

Écran principal – ITO

Couche ITO (anode transparente) de la dalle OLED principale. Masse estimée à 0,03 g (couche mince ~100 nm sur ~0,012 m², densité ITO ~7,1 g/cm³). Terre rare (indium) obligatoire selon la méthodologie EEE. Origine indium : Chine (producteur majoritaire).

Écran principal – OLED

Matériaux organiques émissifs (petites molécules) déposés par évaporation sous vide. Masse estimée à 1,5 g pour la dalle principale. Origine : Japon/Corée du Sud (fournisseurs de matériaux OLED). Matière première → énergie de dépôt OLED ajoutée en fabrication.

Écran principal – backplane

Backplane aluminium pour les transistors TFT de la dalle OLED principale. Masse estimée à 4 g. Matière première → énergie de fabrication de la dalle ajoutée en fabrication.

Écran principal – polariseur

Film polariseur (triacétate de cellulose + alcool polyvinylique) pour la dalle principale. Semi-fini (FE inclut la fabrication du film). Masse estimée à 3 g. Origine : Japon (fournisseurs principaux : Konica Minolta, Fujifilm).

Écran principal – autres

Solde de la dalle OLED principale : couches d'encapsulation (barrière multi-couches), adhésifs OCA, circuits de connexion, frame metal. Masse estimée à 3,47 g par différence (total écran principal = 20 g).

Écran externe – substrat

Substrat en verre plat pour la dalle OLED externe (6,5"). Masse estimée à 4 g (plus petite dalle). Matière première → énergie de fabrication de la dalle OLED ajoutée en fabrication.

Écran externe – ITO

Couche ITO de la dalle OLED externe. Masse estimée à 0,02 g (dalle plus petite ~0,006 m²). Terre rare (indium) obligatoire.

Écran externe – OLED

Matériaux organiques émissifs de la dalle externe. Masse estimée à 0,8 g (dalle plus petite).

Écran externe – backplane

Backplane aluminium pour les transistors TFT de la dalle externe. Masse estimée à 2 g.

Écran externe – polariseur

Film polariseur semi-fini pour la dalle externe. Masse estimée à 1,5 g.

Écran externe – autres

Solde de la dalle OLED externe : encapsulation, adhésifs, circuits. Masse estimée à 1,68 g par différence (total écran externe = 10 g).

Batterie – cathode

Cobalt de la cathode NMC. Samsung communique ≥10 g de cobalt. Origine : RDC (extraction) → Chine (raffinage). Le FE du cobalt raffiné inclut l'extraction et le raffinage. Le transport Chine → Corée du Sud est modélisé en distribution. Samsung participe à 'Cobalt for Development' (avec BMW, BASF) pour améliorer l'extraction artisanale en RDC.

Batterie – cathode

Lithium de la cathode (sous forme de carbonate de lithium). Masse estimée à 2,5 g pour une batterie 5000 mAh NMC. Origine : Australie ou Chili (extraction) → raffinage. Le FE inclut l'extraction et le raffinage. Transport vers la Corée du Sud modélisé en distribution.

Batterie – cathode

Nickel de la cathode NMC. Masse estimée à 5 g (chimie NMC riche en nickel). Origine : Indonésie (producteur majeur) ou Chine. FE inclut extraction et raffinage.

Batterie – cathode

Manganèse de la cathode NMC. Masse estimée à 2 g. Origine : Chine (producteur majeur). FE inclut extraction et raffinage.

Batterie – anode

Graphite de l'anode. Masse estimée à 9 g pour une batterie 5000 mAh. Origine : Chine (producteur majoritaire de graphite naturel). FE inclut l'extraction et le traitement du graphite.

Batterie – collecteur

Collecteur de courant cuivre (côté anode) de la batterie. Masse estimée à 7 g (feuille de Cu ~10 µm). FE inclut extraction et raffinage.

Batterie – collecteur

Collecteur de courant aluminium (côté cathode) de la batterie. Masse estimée à 5 g (feuille d'Al ~15 µm). FE inclut extraction et raffinage.

Batterie – électrolyte

Électrolyte liquide (sel LiPF₆ dissous dans carbonates organiques) + séparateur polymère (PE/PP). Masse estimée à 4,5 g pour le solde de la batterie (45 g total). Origine : Corée du Sud/Japon (fournisseurs d'électrolyte).

Charnière

Charnière 'Armor FlexHinge' en alliage d'acier haute résistance. Masse estimée à 12 g (mécanisme complexe avec multiples bras et axes). Matière première (lingot) → énergie d'usinage ajoutée en fabrication.

Charnière – autres

Composants métalliques secondaires de la charnière : vis, ressorts, axes, goupilles. Masse estimée à 2 g. Origine : Chine/Corée du Sud.

PCBA – substrat

Substrat FR4 de la carte imprimée (HDI pour smartphone). Masse estimée à 5 g. Matière première → énergie de fabrication du PCB ajoutée en fabrication (gravure, métallisation, pressage). Origine : Chine (principal fabricant mondial de PCB).

PCBA – traces

Traces de cuivre et vias de la carte imprimée. Masse estimée à 8 g (carte HDI multicouches). Matière première → énergie de fabrication du PCB ajoutée en fabrication.

PCBA – contacts

Or des contacts et connecteurs de la carte. Samsung communique <0,02 g d'or. Masse estimée à 0,02 g (contacts dorés sur connecteurs, pads de test, bonding). Or obligatoire selon la méthodologie EEE. Origine : Afrique du Sud (producteur majeur). FE inclut extraction et raffinage.

PCBA – soudure

Soudure à l'étain pour les composants CMS de la carte. Masse estimée à 2 g (pâtes à braser + brasage vague). Matière première → énergie de fabrication du PCB ajoutée en fabrication. Origine : Chine/Indonésie (producteurs majeurs d'étain).

PCBA – autres

Solde de la carte : résistances, condensateurs MLCC, connecteurs, masque de soudure, finition de surface. Masse estimée à 0,98 g par différence (total PCBA = 16 g).

SoC

SoC (System-on-Chip) en nœud 2 nm, fabriqué par Samsung Foundry (Hwaseong, Corée du Sud) selon plusieurs sources presse. Composant agrégé : FE incluant la fabrication du wafer, le packaging et le test — NON décomposé, aucune énergie de fabrication intermédiaire ajoutée (règle anti-double-comptage EEE). Masse estimée à 2,5 g (die + substrate + packaging).

Mémoire/Stockage

Mémoire vive (12 Go LPDDR5X) et stockage flash (256 Go UFS 4.0). Composants agrégés : FE incluant la fabrication du wafer — non décomposés. Masse estimée à 2 g (packaging + dies). Origine : Corée du Sud (Samsung Electronics).

Caméra – lentilles

Lentilles en verre optique pour les 3 caméras arrière (200+50+10 MP) + caméra selfie (10 MP). Masse estimée à 4 g (multiple lentilles par caméra). Semi-fini (FE inclut la fabrication des lentilles).

Caméra – boîtier

Boîtiers aluminium des modules caméra. Masse estimée à 3 g. Matière première → énergie d'assemblage du module ajoutée en fabrication.

Caméra – capteurs

Capteurs CMOS des 4 caméras (200+50+10+10 MP). Masse estimée à 1,5 g (dies + packaging). Origine : Japon (Sony) ou Corée du Sud (Samsung LSI). Matière première → énergie d'assemblage du module ajoutée en fabrication.

Caméra – autres

Solde des modules caméra : supports, flex PCB, adhésifs, stabilisateur optique (OIS). Masse estimée à 1,5 g.

Haut-parleurs

Aimants permanents en néodyme pour les haut-parleurs stéréo. Samsung communique ≥0,2 g de néodyme. Terre rare obligatoire selon la méthodologie EEE. Origine : Chine (producteur majeur de terres rares). FE inclut extraction et raffinage.

Haut-parleurs – autres

Bobines en cuivre, membranes polymères et boîtiers des haut-parleurs. Masse estimée à 3,8 g. Origine : Chine/Corée du Sud.

Capteurs

Capteurs MEMS et circuits intégrés pour les 9 capteurs (accéléromètre, baromètre, empreintes, gyroscope, géomagnétique, effet Hall, luminosité, proximité). Masse estimée à 1,5 g. Origine : Japon/Corée du Sud.

Antennes/connecteurs

Antennes (2G-5G, Wi-Fi, Bluetooth, NFC, UWB) et connecteurs internes en cuivre. Masse estimée à 2,5 g. FE inclut extraction et raffinage.

Antennes/connecteurs

Or des contacts de connecteurs internes (USB-C, antennes). Masse estimée à 0,005 g. Or obligatoire selon la méthodologie EEE.

Antennes/connecteurs – autres

Supports polymères des antennes et connecteurs. Masse estimée à 0,495 g.

Condensateur tantale

Condensateur au tantale sur la carte. Samsung communique <0,01 g de tantale. Tantale obligatoire selon la méthodologie EEE. Origine : RDC/Afrique centrale (coltan). Samsung certifie 100% RMAP pour le tantale. Composant agrégé (FE incluant la fabrication du condensateur).

Autres – polymères

Polymères divers : boutons, joints, caches, supports internes, adhésifs structuraux. Masse estimée à 20 g (important pour un téléphone pliable : adhésifs pour les couches de l'écran, joints d'étanchéité).

Autres – câbles

Câbles et flex PCB internes (connexion écran-batterie-carte, nappe charnière). Masse estimée à 10 g (nombreux flex dans un pliable).

Autres – vis

Vis de fixation internes. Masse estimée à 4 g.

Autres – divers

Adhésifs structuraux, joints d'étanchéité IP, scellants pour le design pliable. Masse estimée à 3 g. Important pour l'étanchéité et la rigidité du pliable.

Emballage – carton

Boîte carton ondulé pour l'emballage du smartphone. Masse estimée à 60 g. Semi-fini (FE inclut la fabrication du carton).

Emballage – film

Film plastique de protection et sachets. Masse estimée à 5 g. Semi-fini (FE inclut l'extrusion du film).

Emballage – notice

Notice, documents et étiquettes. Masse estimée à 15 g. Semi-fini (FE inclut la fabrication du papier).

Emballage – outil SIM

Outil d'éjection de tiroir SIM en acier. Masse estimée à 2 g.

4. Fabrication

Description : Les composants électroniques (SoC, mémoire, capteurs CMOS) sont modélisés comme des composants agrégés (FE incluant la fabrication du wafer) – aucune énergie de fabrication intermédiaire n'est ajoutée pour ces composants (règle anti-double-comptage EEE). En revanche, les composants décomposés en matières premières nécessitent une énergie de fabrication intermédiaire : (1) PCB décomposé en FR4 + Cu + Au + Sn → fabrication PCB (Chine) ; (2) écran décomposé en verre + ITO + organiques + Al + polariseur → fabrication dalle OLED (Corée du Sud) ; (3) batterie décomposée en Co + Li + Ni + Mn + graphite + Cu + Al → fabrication cellules (Corée du Sud) ; (4) cadre aluminium → usinage CNC + anodisation (Vietnam) ; (5) charnière acier → usinage (Vietnam) ; (6) modules caméra et haut-parleurs → assemblage (Vietnam). Les ratios énergétiques (kWh/g) sont estimés par extrapolation de ratios sectoriels avec une incertitude plancher de ±70%. Toutes les énergies sont reportées en énergie finale, frontière site (cas 1 de l'arbre de décision) – aucun rendement n'est appliqué. Un taux de rebut de 10% (rendement 90%) est appliqué aux processus d'assemblage final au Vietnam (PCBA, assemblage, test, emballage) : énergie effective = énergie théorique ÷ 0,90. Les pertes de production (24 g, soit 10% des 215 g du téléphone) sont comptabilisées en fin de vie.

Processus	Énergie	Consommation (kWh)	Source / Incertitude
Fabrication PCB (gravure, métallisation, pressage) – Chine	Électricité – Chine	0.050	Carbo / ±70%
Fabrication dalle OLED (dépôt, encapsulation, liaison) – Corée du Sud	Électricité – Corée du Sud	0.140	Carbo / ±70%
Fabrication cellules batterie (enduction, assemblage, formation, dry room) – Corée du Sud	Électricité – Corée du Sud	0.090	Carbo / ±70%
Usinage CNC cadre aluminium + anodisation – Vietnam	Électricité – Vietnam	0.015	Carbo / ±70%

Processus	Énergie	Consommation (kWh)	Source / Incertitude
Fabrication charnière (usinage, assemblage) – Vietnam	Électricité – Vietnam	0.010	Carbo / ±70%
Assemblage module caméra – Vietnam	Électricité – Vietnam	0.005	Carbo / ±70%
Assemblage haut-parleurs – Vietnam	Électricité – Vietnam	0.002	Carbo / ±70%
Assemblage PCBA (SMT, refusion, brasage vague, test) – Vietnam	Électricité – Vietnam	0.056	Carbo / ±50%
Assemblage final (collage, vissage, intégration) – Vietnam	Électricité – Vietnam	0.033	Carbo / ±50%
Test final (contrôle qualité, étalonnage) – Vietnam	Électricité – Vietnam	0.011	Carbo / ±50%
Emballage (mise en boîte, scellage) – Vietnam	Électricité – Vietnam	0.006	Carbo / ±50%

Consommation totale : 0.418 kWh

Incertitude totale : ±60% – les ratios énergétiques sont estimés par extrapolation de ratios sectoriels (±70% pour les procédés intermédiaires, ±50% pour l'assemblage final). L'incertitude combinée est calculée par propagation quadratique :

$\sqrt{(0,05^2 \times 0,70^2 + 0,14^2 \times 0,70^2 + 0,09^2 \times 0,70^2 + 0,015^2 \times 0,70^2 + 0,01^2 \times 0,70^2 + 0,005^2 \times 0,70^2 + 0,002^2 \times 0,70^2 + 0,056^2 \times 0,50^2 + 0,033^2 \times 0,50^2 + 0,011^2 \times 0,50^2 + 0,006^2 \times 0,50^2)} \approx \pm 0,12 \text{ kWh}$
sur un total de 0,42 kWh, soit ±29%. L'incertitude globale de la phase fabrication est majorée à ±60% pour tenir compte de l'incertitude sur la localisation des sites et la nature exacte des procédés.

Détails des hypothèses

Fabrication PCB (gravure, métallisation, pressage) — Chine

Ratio estimé à 0,003 kWh/g de PCB pour fabrication de carte HDI multicouches (gravure, métallisation, pressage). Masse PCB = 16 g. Énergie = $0,003 \times 16 = 0,048$ kWh, arrondi à 0,05 kWh. Procédé intermédiaire (PCB décomposé en matières premières). Énergie finale, frontière site, cas 1 : reportée telle quelle, aucun rendement. Rendement de production du PCB inclus dans le ratio sectoriel.

Fabrication dalle OLED (dépôt, encapsulation, liaison) — Corée du Sud

Ratio estimé à 0,004 kWh/g de dalle OLED pour fabrication (dépôt OLED sous vide, encapsulation par barrière multi-couches, liaison driver IC, test). Masse totale écrans = 34 g (principal 20 g + externe 10 g + dalles). Énergie = $0,004 \times 34 = 0,136$ kWh, arrondi à 0,14 kWh. Procédé intermédiaire (écran décomposé en matières premières). Énergie finale, frontière site, cas 1.

Fabrication cellules batterie (enduction, assemblage, formation, dry room) — Corée du Sud

Ratio estimé à 0,002 kWh/g de batterie pour fabrication des cellules Li-ion (enduction électrodes, assemblage, formation cyclage, énergie dry room). Masse batterie = 45 g. Énergie = $0,002 \times 45 = 0,09$ kWh. Procédé intermédiaire (batterie décomposée en matières premières). Énergie finale, frontière site, cas 1.

Usinage CNC cadre aluminium + anodisation — Vietnam

Ratio estimé à 0,00075 kWh/g d'aluminium pour usinage CNC et anodisation du cadre. Masse cadre = 20 g. Énergie = $0,00075 \times 20 = 0,015$ kWh. Procédé intermédiaire (aluminium nommé en lingot). Énergie finale, frontière site, cas 1.

Fabrication charnière (usinage, assemblage) — Vietnam

Ratio estimé à 0,0007 kWh/g pour usinage et assemblage de la charnière 'Armor FlexHinge'. Masse charnière = 14 g. Énergie = $0,0007 \times 14 = 0,0098$ kWh, arrondi à 0,01 kWh. Procédé intermédiaire (acier nommé en lingot). Énergie finale, frontière site, cas 1.

Assemblage module caméra — Vietnam

Ratio estimé à 0,0005 kWh/g pour assemblage du module caméra (lentilles, capteur, boîtier, OIS). Masse caméra = 10 g. Énergie = $0,0005 \times 10 = 0,005$ kWh. Procédé intermédiaire. Énergie finale, frontière site, cas 1.

Assemblage haut-parleurs — Vietnam

Ratio estimé à 0,0005 kWh/g pour assemblage des haut-parleurs. Masse = 4 g. Énergie = $0,0005 \times 4 = 0,002$ kWh. Procédé intermédiaire. Énergie finale, frontière site, cas 1.

Assemblage PCBA (SMT, refusion, brasage vague, test) — Vietnam

Énergie estimée à 0,05 kWh par téléphone pour l'assemblage PCBA (pose des composants CMS, refusion, brasage vague, test en circuit). Donnée estimée par extrapolation de ratios d'assemblage électronique. Énergie finale, frontière site, cas 1. Taux de rebut de 10% appliqué (rendement 90%) : $0,05 \div 0,90 = 0,056$ kWh.

Assemblage final (collage, vissage, intégration) — Vietnam

Énergie estimée à 0,03 kWh par téléphone pour l'assemblage final (collage des dalles, vissage de la charnière, intégration des sous-ensembles, scellage). Énergie finale, frontière site, cas 1. Taux de rebut de 10% appliqué : $0,03 \div 0,90 = 0,033$ kWh.

Test final (contrôle qualité, étalonnage) — Vietnam

Énergie estimée à 0,01 kWh par téléphone pour le test final (contrôle qualité fonctionnel, étalonnage caméra, test RF). Énergie finale, frontière site, cas 1. Taux de rebut de 10% appliqué : $0,01 \div 0,90 = 0,011$ kWh.

Emballage (mise en boîte, scellage) — Vietnam

Énergie estimée à 0,005 kWh par téléphone pour l'emballage (mise en boîte, insertion accessoires, scellage, palettisation). Énergie finale, frontière site, cas 1. Taux de rebut de 10% appliqué : $0,005 \div 0,90 = 0,006$ kWh.

5. Transport

 **Lieu de fabrication :** Vietnam (Thai Nguyen ou nouveau site 2025 dédié aux pliables Galaxy Z)

Description : Plus de la moitié de la production mondiale Samsung est assemblée à Thai Nguyen (Vietnam). Un 3e site vietnamien (2025) dédié aux pliables Galaxy Z et appareils IA est le candidat le plus probable pour ce modèle. Autres sites possibles : Corée du Sud, Inde. L'incertitude sur le site précis est moyenne (fiabilité moyenne selon l'utilisateur). Le mix électrique vietnamien est dominé par le gaz et l'hydroélectricité (~50% charbon, ~30% hydro, ~20% gaz).

Type de transport	Distance (km)	Incertitude	Explication
Camion (>32t, EURO 4)	500	±40%	Fournisseurs locaux chinois et coréens → sites Samsung Display et SDI (Asan/Cheonan, Corée du Sud). Poids = matériaux pour écran (34 g) + batterie (33 g hors Co et Li) + PCB (16 g) = 0,083 kg. Distance moyenne estimée à 500 km (intra-Asie, mix de fournisseurs locaux et chinois).
Navire porte-conteneurs transocéanique	1000	±40%	Cobalt raffiné : raffinerie en Chine → port chinois → Busan (Corée du Sud). Distance maritime estimée à 1000 km (Chine → Corée du Sud). Poids = 0,010 kg de cobalt raffiné.
Camion (>32t, EURO 4)	200	±40%	Cobalt raffiné : port de Busan → Samsung SDI (Corée du Sud). Distance camion estimée à 200 km (port → usine). Poids = 0,010 kg.
Navire porte-conteneurs transocéanique	9000	±40%	Lithium : Australie/Chili → Corée du Sud. Distance maritime estimée à 9000 km (Australie → Busan). Poids = 0,0025 kg de carbonate de lithium.
Camion (>32t, EURO 4)	200	±40%	Lithium : port de Busan → Samsung SDI (Corée du Sud). Distance camion estimée à

Type de transport	Distance (km)	Incertitude	Explication
			200 km. Poids = 0,0025 kg.
Camion (>32t, EURO 4)	500	±40%	Fournisseurs locaux chinois et vietnamiens → site d'assemblage au Vietnam. Poids = matériaux pour cadre (20 g) + verre arrière (12 g) + titane (4 g) + charnière (14 g) + caméra (10 g) + haut-parleurs (4 g) + capteurs (1,5 g) + antennes (3 g) + tantale (0,01 g) + autres (37 g) + emballage (82 g) = 0,200 kg. Distance moyenne estimée à 500 km (intra-Asie).
Navire porte-conteneurs transocéanique	5500	±30%	Dalles OLED : Samsung Display (Asan, Corée du Sud) → port de Busan [100 km camion] → port de Hai Phong [5500 km navire] → site d'assemblage [100 km camion]. Segment maritime : 5500 km. Poids = 0,030 kg (écrans principal + externe).
Camion (>32t, EURO 4)	200	±30%	Dalles OLED : port de Hai Phong → site d'assemblage au Vietnam. Distance camion = 200 km (100 km Corée + 100 km Vietnam). Poids = 0,030 kg.
Navire porte-conteneurs transocéanique	5500	±30%	Batterie : Samsung SDI (Corée du Sud) → port de Busan [100 km] → port de Hai Phong [5500 km navire] → site d'assemblage [100 km]. Segment maritime : 5500 km. Poids = 0,045 kg.
Camion (>32t, EURO 4)	200	±30%	Batterie : port de Hai Phong → site d'assemblage au Vietnam. Distance camion = 200 km. Poids = 0,045 kg.
Avion cargo	4000	±40%	SoC : Samsung Foundry (Hwaseong, Corée du Sud) → aéroport d'Incheon [100 km camion] → aéroport de Hanoi [4000 km avion cargo] → site d'assemblage [100 km camion]. Fret aérien fréquent pour

Type de transport	Distance (km)	Incertitude	Explication
			composants électroniques de valeur. Segment aérien : 4000 km. Poids = 0,0025 kg.
Camion (>32t, EURO 4)	200	±40%	SoC : aéroport de Hanoi → site d'assemblage au Vietnam. Distance camion = 200 km (100 km Corée + 100 km Vietnam). Poids = 0,0025 kg.
Avion cargo	4000	±40%	Mémoire RAM + flash : Samsung Electronics (Corée du Sud) → aéroport d'Incheon [100 km] → aéroport de Hanoi [4000 km avion cargo] → site d'assemblage [100 km]. Segment aérien : 4000 km. Poids = 0,002 kg.
Camion (>32t, EURO 4)	200	±40%	Mémoire : aéroport de Hanoi → site d'assemblage au Vietnam. Distance camion = 200 km. Poids = 0,002 kg.
Camion (>32t, EURO 4)	2000	±40%	PCB fabriqué en Chine → site d'assemblage au Vietnam. Distance terrestre estimée à 2000 km (Chine → Vietnam par route). Poids = 0,016 kg.
Navire porte-conteneurs transocéanique	18000	±40%	Produit fini : site d'assemblage (Vietnam) → port de Hai Phong [100 km camion] → port de Rotterdam [18000 km navire] → centre de distribution Europe [1000 km camion]. Segment maritime : 18000 km (PEF default, chaîne internationale). Poids = 0,297 kg (téléphone 215 g + emballage 82 g).
Camion (>32t, EURO 4)	1000	±40%	Produit fini : port de Rotterdam → centre de distribution européen. Distance camion = 1000 km (PEF default, chaîne internationale). Poids = 0,297 kg.
Camionnette (<7.5t, EURO 3,	250	±40%	Centre de distribution → point de vente/client final. PEF default : 100% local, 250 km par

Type de transport	Distance (km)	Incertitude	Explication
taux 20%)			camionnette. Poids = 0,297 kg (100% du flux).
Voiture particulière	5	±40%	Point de vente → domicile consommateur (62% des ventes retail en voiture, 5 km). Poids = $0,297 \times 0,5$ (part retail) $\times 0,62 = 0,092$ kg. PEF default.
Camionnette (<7.5t, EURO 3, taux 20%)	5	±40%	Point de vente → domicile consommateur (5% des ventes retail en camionnette, 5 km). Poids = $0,297 \times 0,5 \times 0,05 = 0,0074$ kg. PEF default.

6. Utilisation

Description : Le smartphone est utilisé sur batterie pendant la journée et rechargé depuis le secteur la nuit. L'énergie d'usage comprend : (1) l'énergie de charge = énergie batterie quotidienne ÷ rendement chargeur, et (2) la veille du chargeur lorsqu'il reste branché sans charger. La TEC (Total Energy Consumption) est calculée sur la RSL de 3 ans (1095 jours). Les puissances sont des puissances appelées à la batterie (énergie utile pour le fonctionnement), converties en énergie finale au secteur via le rendement du chargeur (85%). Aucun rendement supplémentaire n'est appliqué (cas 4 de l'arbre de décision : électricité au compteur = énergie finale). Aucune maintenance n'est requise : la batterie non amovible est certifiée pour ≥1200 cycles (≈3,3 ans à 1 charge/jour), ce qui couvre la RSL de 3 ans sans remplacement. Aucune pièce de rechange n'est prévue (batterie non remplaçable par l'utilisateur, écran non remplaçable). Le marché cible est européen (France, Suisse, Belgique) : le mix électrique est le mix moyen européen. Le smartphone est un objet connecté : la veille réseau (notifications, synchronisation) est incluse dans le mode standby (screen off, connected).

Activité	Consommation (kWh)	Incertitude
Charge et usage quotidien du smartphone (charge + décharge, mix européen)	33.500	±30%
Veille chargeur (chargeur branché non en charge)	0.880	±40%

Détails des hypothèses

Calcul détaillé - Charge et usage quotidien du smartphone (charge + décharge, mix européen)

Énergie batterie quotidienne : $E_{\text{batt}} = (P_{\text{on}} \times T_{\text{on}}) + (P_{\text{standby}} \times T_{\text{standby}}) = (4 \text{ W} \times 4 \text{ h}) + (0,5 \text{ W} \times 20 \text{ h}) = 16 + 10 = 26 \text{ Wh/jour}$. Rendement chargeur estimé à 85% (charge 10-45 W, chargeur USB-C). Énergie finale au secteur : $E_{\text{wall}} = 26 / 0,85 = 30,6 \text{ Wh/jour}$. Annuel : $30,6 \times 365 = 11\,169 \text{ Wh} = 11,17 \text{ kWh}$. RSL (3 ans) : $11,17 \times 3 = 33,5 \text{ kWh}$. $P_{\text{on}} = 4 \text{ W}$ (puissance batterie en usage actif, écran pliable 8" + SoC 2 nm,

estimation basée sur l'autonomie annoncée de 27h en vidéo → $19,25 \text{ Wh} / 27\text{h} = 0,71 \text{ W}$ en vidéo ; usage mixte plus intense $\sim 4 \text{ W}$). $T_{\text{on}} = 4 \text{ h/jour}$ (screen-on time moyen smartphone). $P_{\text{standby}} = 0,5 \text{ W}$ (écran éteint, connecté au réseau). $T_{\text{standby}} = 20 \text{ h/jour}$.

Calcul détaillé - Veille chargeur (chargeur branché non en charge)

Puissance de veille du chargeur USB-C : $P_{\text{charger_standby}} = 0,1 \text{ W}$ (estimation typique pour un chargeur 45 W USB-C). Temps de veille : $T_{\text{idle}} = 8 \text{ h/jour}$ (chargeur laissé branché en moyenne 8h/jour sans charger). Énergie quotidienne : $0,1 \times 8 = 0,8 \text{ Wh/jour}$. Annuel : $0,8 \times 365 = 292 \text{ Wh} = 0,292 \text{ kWh}$. RSL (3 ans) : $0,292 \times 3 = 0,876 \text{ kWh}$, arrondi à 0,88 kWh.

7. Fin de vie

Description : Le taux de collecte WEEE de 40% est la moyenne européenne (Eurostat 2022, catégorie 6 petits EEE). Les taux de recyclage par matériau sont estimés à partir de données sectorielles : métaux (Al 70%, Cu 80%, acier 70%, Au 90%), batterie (Co 50%, Li 10%, Ni 50%, Mn 50%), verre (30%), polymères (10%), terres rares (<5%). Samsung annonce une recyclabilité de 10,70% pour ce produit, ce qui est cohérent avec les taux appliqués (la recyclabilité effective est limitée par la complexité du démontage : adhésifs, charnière, double écran).

Matériau	Taux de recyclage	Source / Incertitude
Aluminium (cadre + backplanes + collecteurs + boîtier caméra)	28% recyclage / 36% décharge / 36% incinération	Carbo / ±20%
Cuivre (PCBA + batterie + antennes + câbles + haut-parleurs)	32% recyclage / 34% décharge / 34% incinération	Carbo / ±15%
Acier (charnière + vis + outil SIM)	28% recyclage / 36% décharge / 36% incinération	Carbo / ±20%
Titane (renfort Flex Titanium)	12% recyclage / 44% décharge / 44% incinération	Carbo / ±30%
Verre (verres avant/arrière + substrats OLED + lentilles caméra)	12% recyclage / 44% décharge / 44% incinération	Carbo / ±25%
Or (contacts PCBA + antennes)	36% recyclage / 32% décharge / 32% incinération	Carbo / ±15%
Cobalt (batterie)	20% recyclage / 40% décharge / 40% incinération	Carbo / ±25%
Lithium (batterie)	4% recyclage / 48% décharge / 48% incinération	Carbo / ±30%

Matériau	Taux de recyclage	Source / Incertitude
Nickel + Manganèse (batterie)	20% recyclage / 40% décharge / 40% incinération	Carbo / ±25%
Graphite (batterie)	0% recyclage / 50% décharge / 50% incinération	Carbo / ±20%
Néodyme (haut-parleurs)	2% recyclage / 49% décharge / 49% incinération	Carbo / ±40%
Tantale (condensateur)	4% recyclage / 48% décharge / 48% incinération	Carbo / ±40%
Polymères (polariseurs + OLED + électrolyte + ABS/PC + adhésifs + divers)	4% recyclage / 48% décharge / 48% incinération	Carbo / ±30%
Silicium et composants intégrés (SoC + mémoire + capteurs)	0% recyclage / 50% décharge / 50% incinération	Carbo / ±20%
Carton ondulé (emballage)	82% recyclage / 12% incinération / 6% décharge	interne / ±10%
Film polyéthylène LDPE (emballage)	22% recyclage / 48% incinération / 30% décharge	interne / ±20%
Papier (notice, documents)	82% recyclage / 12% incinération / 6% décharge	interne / ±10%
Pertes de production (10% du téléphone, même composition)	20% recyclage / 40% décharge / 40% incinération	Carbo / ±40%

Détails des hypothèses

Aluminium (cadre + backplanes + collecteurs + boîtier caméra)

Taux de recyclage de l'aluminium dans les WEEE : 70% (si collecté). Appliqué sur la fraction collectée (40%) : $40\% \times 70\% = 28\%$ recyclé. Le reste (72%) : 36% décharge, 36% incinération.

Cuivre (PCBA + batterie + antennes + câbles + haut-parleurs)

Taux de recyclage du cuivre dans les WEEE : 80% (si collecté). $40\% \times 80\% = 32\%$ recyclé. Cuivre bien récupéré grâce à sa valeur élevée.

Acier (charnière + vis + outil SIM)

Taux de recyclage de l'acier dans les WEEE : 70% (si collecté). $40\% \times 70\% = 28\%$ recyclé.

Titane (renfort Flex Titanium)

Taux de recyclage du titane dans les WEEE : 30% (si collecté). $40\% \times 30\% = 12\%$ recyclé. Titane difficile à récupérer en raison de sa faible masse et de son incorporation dans des structures composites.

Verre (verres avant/arrière + substrats OLED + lentilles caméra)

Taux de recyclage du verre dans les WEEE : 30% (si collecté). $40\% \times 30\% = 12\%$ recyclé. Verre difficile à séparer des couches OLED et des traitements de surface.

Or (contacts PCBA + antennes)

Taux de recyclage de l'or dans les WEEE : 90% (si collecté). $40\% \times 90\% = 36\%$ recyclé. Or bien récupéré grâce à sa valeur très élevée qui justifie des procédés de récupération dédiés.

Cobalt (batterie)

Taux de recyclage du cobalt dans les batteries Li-ion WEEE : 50% (si collecté). $40\% \times 50\% = 20\%$ recyclé. Cobalt récupéré par hydrométallurgie ou pyrométallurgie.

Lithium (batterie)

Taux de recyclage du lithium dans les batteries Li-ion WEEE : 10% (si collecté). $40\% \times 10\% = 4\%$ recyclé. Lithium difficile à récupérer économiquement, souvent perdu dans les scories.

Nickel + Manganèse (batterie)

Taux de recyclage du nickel et manganèse dans les batteries Li-ion WEEE : 50% (si collecté). $40\% \times 50\% = 20\%$ recyclé.

Graphite (batterie)

Taux de recyclage du graphite dans les batteries Li-ion WEEE : 0% (non récupéré). 0% recyclé, 50% décharge, 50% incinération.

Néodyme (haut-parleurs)

Taux de recyclage du néodyme dans les WEEE : 5% (si collecté). $40\% \times 5\% = 2\%$ recyclé. Terres rares très difficilement récupérées dans les installations actuelles.

Tantale (condensateur)

Taux de recyclage du tantale dans les WEEE : 10% (si collecté). $40\% \times 10\% = 4\%$ recyclé. Tantale faiblement récupéré malgré sa valeur.

Polymères (polariseurs + OLED + électrolyte + ABS/PC + adhésifs + divers)

Taux de recyclage des polymères dans les WEEE : 10% (si collecté). $40\% \times 10\% = 4\%$ recyclé. Polymères difficiles à séparer et à recycler en raison de la contamination et des mélanges.

Silicium et composants intégrés (SoC + mémoire + capteurs)

Taux de recyclage du silicium/composants dans les WEEE : 0% (non récupéré comme matériau). 0% recyclé. Les composants sont broyés et les métaux précieux (Au, Cu) sont récupérés, mais le silicium lui-même n'est pas recyclé.

Carton ondulé (emballage)

Taux de recyclage du carton en Europe : 82% (Citeo 2023). 12% incinération, 6% décharge. Filière bien établie.

Film polyéthylène LDPE (emballage)

Taux de recyclage du LDPE en Europe : 22% (Plastics Europe 2022). Films souples difficiles à trier. 48% incinération, 30% décharge.

Papier (notice, documents)

Taux de recyclage du papier en Europe : 82% (Citeo 2023). 12% incinération, 6% décharge.

Pertes de production (10% du téléphone, même composition)

Pertes de production (24 g) traitées dans la même filière WEEE ou recyclées en interne. Taux de recyclage moyen estimé à 20% (moyenne pondérée des matériaux du téléphone). 40% décharge, 40% incinération.

8. Équations de Calcul et Incertitudes

Équation Générale

Formule Principale

$$CF_total = CF_mat + CF_fab + CF_dist + CF_use + CF_EoL$$

Explication : L'empreinte carbone totale du smartphone est la somme des empreintes de chaque phase du cycle de vie : (1) production des matériaux (CF_mat), (2) fabrication des composants et assemblage (CF_fab), (3) transport et distribution (CF_dist), (4) utilisation chez le consommateur (CF_use), et (5) fin de vie (CF_EoL). Chaque phase est calculée en multipliant les quantités physiques (kg, kWh, t.km) par les facteurs d'émission correspondants (EF).

Équation Détaillée

$$CF_total = \sum_i (m_i \times EF_mat_i) + [0,05 \times EF_elec_CN + (0,14 + 0,09) \times EF_elec_KR + (0,015 + 0,01 + 0,005 + 0,002 + 0,056 + 0,033 + 0,011 + 0,006) \times EF_elec_VN] + \sum_k (m_k \times d_k \times EF_transport_k) + (33,5 + 0,88) \times EF_elec_EU + \sum_l (w_l \times EF_waste_l) \text{ Soit : } \\ CF_total = \sum_i (m_i \times EF_mat_i) + [0,05 \times EF_elec_CN + 0,23 \times EF_elec_KR + 0,138 \times EF_elec_VN] + \sum_k (m_k \times d_k \times EF_transport_k) + 34,38 \times EF_elec_EU + \sum_l (w_l \times EF_waste_l)$$

Variables

- m_i : Masse du matériau i (kg)
- EF_mat_i : Facteur d'émission du matériau i (kg CO₂eq/kg)
- E_j : Énergie consommée par le processus de fabrication j (kWh)
- EF_elec_j : Facteur d'émission de l'électricité du pays du processus j (kg CO₂eq/kWh)
- m_k : Masse transportée sur le tronçon k (kg)

- d_k : Distance du tronçon k (km)
- $EF_transport_k$: Facteur d'émission du mode de transport k (kg CO₂eq/t-km)
- E_charge : Énergie de charge du smartphone sur la RSL (33,5 kWh)
- $E_charger_standby$: Énergie de veille du chargeur sur la RSL (0,88 kWh)
- EF_elec_EU : Facteur d'émission du mix électrique européen (kg CO₂eq/kWh)
- w_l : Masse du flux de déchet l (kg)
- EF_waste_l : Facteur d'émission du traitement de fin de vie l (kg CO₂eq/kg)

Incertitudes

Niveau d'incertitude global

±50%

Explication : L'incertitude globale de cette ACV est estimée à ±50%, ce qui correspond à une ACV de niveau screening avec des données majoritairement estimées (BOM par extrapolation, ratios énergétiques non mesurés, routes de transport estimées). Cette incertitude est typique d'une ACV réalisée sans données primaires du fabricant. Les principales sources d'incertitude sont : (1) l'estimation de la BOM (±20%) à partir de spécifications produit et de teardowns similaires ; (2) l'estimation des ratios énergétiques de fabrication (±70% par ratio) ; (3) l'estimation des routes de transport (±40%) ; (4) l'estimation du profil d'usage (±30%) ; (5) l'estimation des taux de recyclage en fin de vie (±20-40% selon les matériaux).

Incertitudes par phase

Phase	Incertitude
Matériaux	±20%
Fabrication	±60%
Distribution	±40%

Phase	Incertitude
Utilisation	±30%
Fin de vie	±40%

Facteurs d'incertitude principaux

Les trois principaux facteurs d'incertitude sont : (1) la BOM estimée (répartition des masses entre composants, composition des alliages 'Armor Aluminum' et 'Armor FlexHinge' non connue) ; (2) les ratios énergétiques de fabrication (estimés par extrapolation de ratios sectoriels, non mesurés sur les lignes de production Samsung) ; (3) les routes de transport (estimées, notamment le fret aérien vs maritime pour le SoC et la mémoire). L'incertitude sur la phase d'utilisation est relativement contenue (±30%) car les puissances sont déduites de l'autonomie annoncée (27h en vidéo) et le profil d'usage est standard.

Comment améliorer la précision

Pour réduire l'incertitude de cette ACV : (1) obtenir la BOM détaillée de Samsung (masses par composant et par matériau) ; (2) mesurer la consommation énergétique réelle des lignes d'assemblage au Vietnam (kWh/téléphone) et des usines Samsung Display/SDI en Corée du Sud ; (3) utiliser les routes de transport réels (modes et distances) fournis par la logistique Samsung ; (4) mesurer les puissances en mode actif/veille selon EN 50564 sur le Galaxy Z Fold ; (5) obtenir les taux de collecte WEEE et de recyclage spécifiques au marché cible (France, Suisse, Belgique) ; (6) confirmer le taux de rebut de production des pliables (rendement réel) et le site d'assemblage précis.

9. Évaluation d'impact

Répartition par étapes

Étape	Changement climatique (kgCO2e)	Répartition
Matériaux	3.451	26%
Fabrication	0.221	2%
Transports	0.153	1%
Utilisation	9.455	70%
Fin de vie	0.181	1%

Émissions totales : 13.460 kgCO2e

Incertitude totale : ±22%

Liste des facteurs d'émission

Facteur d'émission	Origine	Source(s)
Chine	China	Ademe Base Carbone v21.1
Europe (27)	Europe	European Environment Agency 2021
Corée du Sud	South Korea	Ademe Base Carbone v21.1
Viêt Nam	Vietnam	Ademe Base Carbone v21.1

Facteur d'émission	Origine	Source(s)
Voiture (moyenne)	France	Ademe Base Carbone v22.0
Avion cargo (moyenne)	France	Carbo Ademe Base Carbone v21.1
Transport maritime (moyenne)	France	Carbo Ademe Base Carbone v21.1
Camion (moyenne)	France	Carbo Ademe Base Carbone v21.1
Aluminium	France	Carbo Ademe Base Carbone v23.0
Carton	France	Ademe Base Carbone v23.0
Piles et batteries	France	Ademe Base Carbone v23.0
Cuivre	France	Ademe Base Carbone v23.0
Electronique (DEEE)	France	Ademe Base Carbone v23.0
Verre	France	Ademe Base Carbone v23.0
Ordures ménagères résiduelles (moyenne)	France	Ademe Base Carbone v23.4
Métaux ferreux	France	Ademe Base Carbone v23.0
Métal	France	Carbo Ademe Base Carbone v23.0

Facteur d'émission	Origine	Source(s)
Autres plastiques et plastiques complexes	France	Ademe Base Carbone v23.0
Papier	France	Ademe Base Carbone v21.0
Plastique rigide PE emballages	France	Ademe Base Carbone v23.0
Acier	France	Carbo Ademe Base Carbone v23.0
Aluminium	International	Ademe Base Carbone v21.0
Papier moyen	International	Ademe Base Impact v2.01
Sulfate de cobalt - Chine	China	Ecoinvent v3.9.1
Adhésif polymère classique sans plastification	International	R3 Impact Ademe Base Carbone v21.0
Mix cuivre (99,999% issu de l'électrolyse)	International	Ademe Base Impact v2.01
Carton ondulé	International	Doconomy 2030 Calculator
Fibre de verre	International	Ademe Base Carbone v21.0
Verre flotté plat	France	Ademe Base Carbone v21.0
Graphite, qualité batterie	International	Ecoinvent v3.9.1
Verre de sécurité laminé	France	Ademe Base Carbone v21.0
Carbonate de lithium	International	Ecoinvent v3.9.1

Facteur d'émission	Origine	Source(s)
Oxyde de lithium et de manganèse	International	Ecoinvent v3.9.1
Manganèse	International	Ecoinvent v3.9.1
Matériaux d'origine végétale	International	Doconomy 2030 Calculator
Chicorée et café, poudre soluble	France	Ademe Agribalyse v3.1
Oxyde de néodyme	International	Ecoinvent v3.9.1
Verre technique optique et optronique	International	Ademe Base Impact v2.01
Autres matériaux	International	Carbo
Filament de polyéthylène	France	Ademe Base Impact v2.01
Polymère (moyenne)	International	Carbo Joule, january 2021 - "Manufacturing energy and greenhouse gas emissions associated with plastics consumption"
Polystyrène, usage général	International	Ecoinvent v3.9.1
Polyfluorure de vinyle, film	International	Ecoinvent v3.9.1
Aluminium primaire, lingot - Chine	China	Ecoinvent v3.9.1
Circuit imprimé, pour contrôleur LCD, assemblé	France	Carbo ADEME Base Carbone v23.4

Facteur d'émission	Origine	Source(s)
Adhésif PVC	International	Ademe Base Impact v2.01
Cuivre recyclé	International	Ademe Base Carbone v21.0
Nickel recyclé	International	Carbo Ademe Base Carbone v21.0
Plastique PC - ABS recyclé (Polycarbonate - Acrylonitrile Butadiène Styrène) - International	International	Carbo Ademe Base Carbone v23.4
Silicium, qualité électronique	International	Ecoinvent v3.9.1
Acier	France	FEDEREC - Évaluation environnementale du recyclage en France selon la méthodologie de l'analyse de cycle de vie, 2016
Orthosilicate de tétraéthyle	International	Ecoinvent v3.9.1
Dioxyde d'étain	International	Ecoinvent v3.9.1
Titane	International	Ademe Base Impact v2.01
Zamak - alliage de zinc (ZnAlMgCu)	International	Ademe Base Impact v2.01

10. Références

N° référence du document : CARBO-PCP-8d49f841-2548-4c77-9619-b96ff333a5e8-0001-FR

Date d'édition : 18/08/2026

Durée de validité : 3 ans

Vérification : Externe

Règles de rédaction : PCP-PCR-ed3-EN-2015 04 02

Conformité : ISO 14067:2018 « Gaz à effet de serre – Empreinte carbone des produits (ECP) »

Source : hellocarbo.com

Carbo[®] est la solution française leader d'Analyse de Cycle de Vie Carbone automatisée. Nous permettons aux fabricants de mesurer, prouver et améliorer la performance carbone de leurs produits en quelques clics, avec une méthodologie reconnue et une transparence totale. Découvrez nos solutions sur hellocarbo.com ou contactez-nous directement.

Note : Toutes les indications mentionnées sur le présent document sont susceptibles de modifications, et ne peuvent donc constituer un engagement de la part de Carbo.