



Les métaux dans les smartphones

Warning

Attention, cette fiche est en cours de rédaction

Un smartphone est principalement constitué de métaux, de matières plastiques et de matériaux céramiques (en particulier du verre). En 1950, on dénombrait une douzaine de métaux dans nos bons vieux téléphones fixes. Le smartphone d'aujourd'hui, beaucoup plus petit et fin, contient plus de 50 métaux : une condition pour avoir toutes les fonctionnalités de nos équipements !

NB : usages dispersifs

Généralités

Qu'est-ce qu'un métal ?

Élément du système périodique versus notion physique

Notions géologiques et physiques * minéral * métal * élément

Classifications des métaux

réalité industrielle (métaux de base et métaux précieux) et en partie à une réalité physico-chimique (terres rares)

- métaux rares
- métaux précieux
- terres rares
- métaux lourds

Métaux de base

Il n'existe pas de classification absolue des métaux cependant on peut distinguer quatre grandes familles industrielles qui peuvent être utilisées pour définir les champs d'analyse ou de description lorsqu'il n'est pas fait recours à des listes précises :

Les métaux de base : Fe, Al, Ti, Mn, Mg, Cu, Zn, Pb, Co, Ni, Cr

- Les métaux de base : Fe, Al, Ti, Mg, Mn, Cr, Zn, Pb, Cu, Ni, Sn
- Les métaux précieux : Au, Ag, Pt, Pd, Ir, Os, Rh, Ru
- Les métaux de l'énergie nucléaire que sont les actinides : U, Th, Pu
- Les métaux de spécialité : tous les autres

Source : [Fiche technique de ADEME : l'épuisement des métaux et minéraux : faut-il s'en inquiéter ?](#), juin 2017

Métaux précieux

Voir ci-dessus. Voir également :

Les éléments du groupe du platine, ou platinoïdes, sont six métaux voisins dans le tableau de Mendeleïev, le ruthénium (Ru), le rhodium (Rh), le palladium (Pd), l'osmium (Os), l'iridium (Ir) et le platine (Pt). [...] Les platinoïdes sont considérés comme des métaux précieux, avec l'or et l'argent.

Source : [Rapport Platinoïdes : le BRGM publie un nouveau panorama sur les métaux du groupe du platine](#), février 2014

Terres rares

Les terres rares sont les métaux de la famille des lanthanides auxquels on ajoute communément le scandium et l'yttrium, formant ainsi un ensemble aux propriétés voisines : scandium (Sc), yttrium (Y), lanthane (La), cérium (Ce), praséodyme (Pr), néodyme (Nd), prométhium (Pm), samarium (Sm), europium (Eu), gadolinium (Gd), terbium (Tb), dysprosium (Dy), holmium (Ho), erbium (Er), thulium (Tm), ytterbium (Yb), lutécium (Lu).

Précisions et source

Les terres rares représentent le groupe des lanthanides (éléments de numéros atomiques compris entre 57 et 71, du lanthane au lutécium) auquel on ajoute, du fait de propriétés chimiques voisines (même colonne de la classification périodique), l'yttrium (Y) et le scandium (Sc).

Source : [L'élémentarium \(Société chimique de France, Education nationale\)](#), 2024

Autres métaux

Parmi les autres métaux présents dans un smartphone, on compte par exemple : lithium (Li), cobalt (Co), tantale (Ta), indium (In), antimoine (Sb), tungstène (W), gallium (Ga), germanium (Ge), silicium (Si)... comme détaillé ci-dessous.

Quels métaux dans les smartphones ?

Le plateau Smartphone indique que les différentes ressources sont toutes nécessaires à la fabrication de chaque composant, à l'exception des terres rares et des métaux précieux pour la batterie et la coque.

Source principale

Systext a fourni en 2017 une [infographie détaillée](#) des éléments chimiques généralement présents dans un smartphone.

Si l'on distingue les différents types de métaux et les autres éléments chimiques présents dans chaque composant, on obtient ainsi :

Carte mère (carte et composants)

- Métaux communs : Cu, Fe, Ni, Pb, Sn
- Métaux précieux : Ag, Au, Pd, Pt, Rh
- Terres rares : Dy, Nd, Pr, Sm
- Autres métaux : As, B, Be, Bi, Co, Ga, Ge, Nb, Ru, Ta, Si, W, Zr
- Autres éléments chimiques : Cl, P

Batterie

- Métaux communs : Al, Mn
- *Pas de métaux précieux*
- *Pas de terres rares*
- Autres métaux : Co, Li, V
- Autres éléments chimiques : C, F, P

Coque (boîtier)

- Métaux communs : Ni, Mg, Zn
- *Pas de métaux précieux*
- *Pas de terres rares*
- Autres métaux : Sb
- Autres éléments chimiques : Br, C

Écran tactile (dalle tactile + vitre + écran)

- Métaux communs : Al, Mg, Sn

- *Pas de métaux précieux*
- Terres rares : Eu, Ce, Gd, La, Tb, Tm, Y
- Autres métaux : Ba, Hg, In, Mo, Si
- Autres éléments chimiques : B, K, S

On constatera une différence avec le plateau smartphone : l'absence de métaux précieux dans l'écran tactile. Nous avons fait le choix de mettre en évidence la présence croissante d'électronique (riche en métaux précieux) directement associée aux écrans, comme par exemple dans les iPhones récents qui intègrent à l'écran une puce de reconnaissance faciale (source : [ifixit. Apple's New Screen Repair Trap Could Change the Repair Industry Forever](#), novembre 2021).

Complément

Une [étude de l'ADEME d'octobre 2024](#) considère une liste de 25 métaux critiques nécessaires à l'industrie du numérique et fournit un état de l'art sur les impacts environnementaux et besoins associés.

Les métaux indiqués présents dans un smartphone (pages 186-188 du fichier Recueil-fiches-Equipement.pdf) diffèrent en partie de ceux de l'étude Systext sans qu'il soit aisé d'expliquer ces différences car la composition précise des smartphones n'est que rarement et partiellement connue, et les sources utilisées dans les deux études ne sont donc pas comparables. L'information importante à retenir est la grande diversité des métaux présents dans un smartphone, et la grande variété de leurs usages.

Quels usages de ces métaux ?

Des métaux communs

Aussi appelés "métaux de base", ces métaux sont utilisés communément dans l'industrie. Certains peuvent demander une grande quantité d'énergie pour être extraits et raffinés. Les métaux communs composent la majorité des métaux d'un smartphone.

Parmi les métaux considérés dans la préparation de ce jeu, voici la liste des métaux communs pris en compte :

- Fer (Fe)
- Aluminium (Al)

Métal léger et durable, offrant une protection efficace aux composants internes des appareils, même en cas de chocs. Sa capacité à contrôler la chaleur est essentielle pour maintenir les appareils électroniques au frais lors d'une utilisation prolongée.

- Cuivre (Cu)

Le cuivre est le second meilleur conducteur électrique après l'argent. Il est utilisé dans la production de circuits électriques à haut rendement énergétique. Également résistant à la corrosion, ductile et malléable, il trouve sa principale application dans tous les types de câblage

- Etain (Sn)

L'étain étant trop malléable à l'état pur, il est souvent utilisé sous forme d'alliage. La moitié de l'étain raffiné est utilisé dans les alliages de brasures, à destination à 80% des composants électroniques. La deuxième application principale de l'étain est l'industrie de la chimie, notamment comme catalyseurs pour la production de polyuréthane et de silicone. L'étain est également présent dans les batteries au plomb utilisées dans la production automobile, les moteurs, et les équipements fixes pour les télécommunications.

- Magnésium (Mg)

Le magnésium est utilisé majoritairement dans le secteur de l'automobile car il permet de réduire le poids total des véhicules. De nombreuses grandes entreprises automobiles ont déjà remplacé l'acier et l'aluminium par du magnésium dans diverses parties de leurs produits (boîte de vitesses, colonne de direction, boîtiers des airbags du conducteur, etc.)

- Manganèse (Mn)

Le manganèse est principalement utilisé dans les processus métallurgiques, comme additif désoxydant et désulfurant et comme constituant d'alliage. Dans le secteur du bâtiment et de la construction, le manganèse est principalement utilisé pour la production d'acier. Il s'agit d'un élément d'alliage qui confère résistance, dureté et formabilité aux aciers à haute résistance et aux aciers spéciaux. Il est également utilisé dans la production de batteries, dans la fabrication de produits chimiques, dans la fabrication de verre, dans les industries du cuir et du textile, et comme engrais.

- Nickel (Ni)

Le nickel est souvent allié à d'autres métaux, dont le chrome, pour composer des aciers spéciaux tels que l'acier inoxydable. En 2022, celui-ci représente le premier secteur de consommation du nickel avec $\frac{2}{3}$ de la consommation totale. Le nickel est également utilisé à 15% dans les batteries rechargeables à destination notamment des véhicules électriques. Il est très apprécié dans la fabrication des équipements numériques, notamment pour sa résistance à la corrosion et l'usure, son point de fusion élevé, sa ductilité, sa malléabilité et pour ses propriétés magnétiques.

- Zinc (Zn)

Le zinc est apprécié dans le secteur de l'électronique pour sa résistance à la corrosion et à l'usure. On le retrouve dans les réseaux de transmission et de stockage de données.

A noter que l'IFPEN liste également dans cette catégorie :

- Titane (Ti)

- Chrome (Cr)
- Plomb (Pb)

Des métaux précieux

La notion de préciosité n'est pas une notion chimique, c'est une notion stratégique qui a vocation à évoluer au cours du temps. Il ne faut pas confondre préciosité et rareté. La rareté d'un métal peut impliquer sa préciosité, mais c'est surtout son prix, et donc la demande et les stocks disponibles, qui détermine sa préciosité.

La notion de métal précieux a varié au cours de l'histoire, essentiellement en fonction de l'offre et de la demande. Certains métaux précieux sont aujourd'hui essentiels au fonctionnement des smartphones, mais sont présents en très petite quantité : environ 0,5 % (en poids) de la totalité des métaux.

Dans le monde de l'électronique, l'or est utilisé principalement pour les propriétés anti-oxydantes (ne rouille pas), de conductibilité de l'électricité sur les cartes électroniques et parce qu'il est très facile à travailler (on dit qu'il est ductile). Le palladium protège les circuits électroniques contre la corrosion.

Aujourd'hui, il y a plus d'or dans une tonne de déchets de cartes électroniques que dans une tonne de minerai d'or ! Une tonne de minerais d'or contient entre 1 g et 10 g d'or selon la mine. Comme les métaux communs, les métaux précieux ont pour la plupart un bon taux de recyclage : environ 50%.

Parmi les métaux considérés dans la préparation de ce jeu, voici la liste des métaux précieux pris en compte :

- Or (Au)

L'or est apprécié dans le secteur du numérique pour sa conductivité et sa résistance à la corrosion qui en font un matériau de choix pour de nombreux composants de haute spécification et de haute qualité.

- Argent (Ag)

L'argent est le métal possédant les meilleures conductivités thermique et électrique. Il est également apprécié dans le secteur du numérique pour sa résistance à la corrosion et à l'usure.

- Palladium (Pd)

Le palladium est apprécié dans le secteur de l'électronique pour son point de fusion élevé, sa résistance à l'oxydation dans l'air et à la corrosion chimique et ses propriétés catalytiques exceptionnelles.

- Platine (Pt)

Le platine est apprécié dans le secteur de l'électronique pour sa résistance à la corrosion et son point de fusion élevé.

- Ruthenium (Ru)

Le ruthénium est apprécié dans le secteur de l'électronique pour son point de fusion élevé, sa résistance à l'oxydation à l'air et à la corrosion chimique et ses propriétés catalytiques exceptionnelles.

A noter que l'IFPEN liste également dans cette catégorie :

- Iridium (Ir)
- Osmium (Os)
- Rhodium (Rh)

Des terres rares

Malgré leur nom, les terres rares sont assez abondantes dans la croûte terrestre mais difficiles à extraire. Leur extraction génère des déchets radioactifs. Les extraire nécessite des procédés complexes et très polluants.

Il s'agit en fait principalement de la famille des lanthanides à laquelle on ajoute communément le scandium et l'yttrium. Ces 17 métaux forment ainsi un [ensemble aux propriétés voisines](#).

Ce sont des métaux chimiquement assez réactifs et disposant de propriétés électromagnétiques, électroniques, magnétiques, optiques ou encore catalytiques les rendant indispensables pour des fabrications de haute technologie. Ils servent à fabriquer des aimants, nécessaires à la production de la vibration de nos smartphone; à donner des couleurs plus belles et plus variées aux LED de nos écrans. Moins de 0,1 % (en poids) des métaux constituant mon smartphone sont des terres rares.

Parmi les métaux considérés dans la préparation de ce jeu, voici la liste des terres rares prises en compte :

- Dysprosium (Dy)

Les propriétés magnétiques du dysprosium sont recherchées dans la fabrication des aimants permanents Nd-Fe-B car son ajout augmente la résistance à la démagnétisation aux hautes températures (températures d'utilisation passant de 80°C à 200°C). Cette application constitue 98% des usages du dysprosium.

- Néodyme (Nd)

Une grande majorité du néodyme est utilisée dans la fabrication d'aimants permanents. Il est également apprécié pour ses propriétés chimiques et optiques dans d'autres

applications telles que les alliages métallurgiques, les céramiques ou comme dopant laser.

- Yttrium (Y)

L'yttrium est fréquemment utilisé dans les luminophores, notamment dans les écrans à cristaux liquides (LCD) et les lampes à LED. Les éléments utilisés dans le luminophore affectent directement la lumière émise par celui-ci. En raison de l'émission rouge stable, étroite et efficace de l'yttrium, le Y2O3 (oxyde d'yttrium) est utilisé dans les luminophores pour les télévisions couleur, les écrans d'ordinateur, les diodes électroluminescentes (LED) et les écrans intensifiés aux rayons X.

- Praséodyme (Pr)

Le praséodyme est utilisé pour créer des alliages avec le néodyme pour former des aimants NdFeB, qui sont parmi les plus puissants aimants permanents disponibles. Ces aimants sont utilisés dans de nombreux dispositifs, y compris les moteurs électriques, les générateurs d'éoliennes et les disques durs d'ordinateurs. Le praséodyme est apprécié dans le secteur numérique pour ses propriétés optiques, magnétiques, électriques et chimiques. C'est un métal ductile et malléable qui, en raison de sa réactivité, développe une couche d'oxyde verte lorsqu'il est exposé à l'air. On le retrouve dans les composants électroniques et les dispositifs de stockage de données.

Le cas du silicium

A noter que le Silicium se retrouve dans cette catégorie bien qu'il soit très abondant dans la croûte terrestre, sachant qu'il n'est de toute façon pas extrait en mine.

D'autres métaux

Un smartphone contient également de nombreux autres métaux qui ne sont ni communs, ni précieux ni des terres rares. Ils sont les plus nombreux.

Ce sont des métaux spéciaux dont les propriétés physico-chimiques permettent l'implémentation de nombreuses fonctionnalités d'un smartphone. Le tantale, par exemple est extrêmement résistant et permet la miniaturisation. On les retrouve en seconde position dans la composition du smartphone (autour de 16% en poids des métaux).

Parmi les métaux considéré dans la préparation de ce jeu, voici la liste des métaux rares pris en compte :

- Antimoine (Sb)

C'est la forme trioxyde de l'antimoine (ATO) qui est la plus utilisée dans le numérique. En effet, elle améliore et fiabilise les propriétés ignifugeantes des composés halogénés retardateurs de flamme en entrant dans la composition des cartes de circuits imprimés

(PCB) notamment dans les serveurs, les réseaux de transmission de données. Cette propriété de l'antimoine induit également son utilisation dans les plastiques d'équipements électroniques (par exemple les boîtiers), et dans les gaines de câbles électriques et optiques. De plus, le trioxyde d'antimoine est de plus en plus employé dans les semi-conducteurs comme dopant dans les plaquettes de silicium de type n.

- Cobalt (Co)

Le cobalt est apprécié dans la fabrication des équipements numériques pour son point de fusion élevé (1495°C) et ses propriétés magnétiques se conservant jusqu'à des températures élevées.

- Lithium (Li)

Le lithium est très apprécié dans la fabrication des batteries des équipements numériques car de tous les métaux, c'est celui qui possède le potentiel électrochimique le plus élevé et qui est le moins dense à l'état solide.

- Tantale (Ta)

Le tantale est apprécié dans le secteur du numérique pour son point de fusion élevé, sa résistance à la corrosion et sa grande permittivité. Le tantale peut être utilisé dans les condensateurs de certains équipements électroniques tels que les smartphones ou disques durs. Une partie du tantale est également utilisée dans les cibles de pulvérisation pour la production de supports de stockage, de circuits électroniques et d'écrans plats.

- Tungstène (W)

Le tungstène est apprécié dans la fabrication des équipements numériques pour sa robustesse et son point de fusion qui est le plus élevé de tous les éléments. C'est le seul matériau utilisé pour les émetteurs d'électrons car il est un bon conducteur d'électricité mais surtout car il possède une pression de vapeur très faible même à haute température. Cette propriété est très importante pour les matériaux de contact électrique, il est ainsi également utilisé dans les circuits intégrés et les dissipateurs thermiques tungstène-cuivre pour évacuer la chaleur des appareils microélectroniques. Le tungstène est aussi utilisé dans le vibreur des smartphones.

- Gallium (Ga)

Le gallium utilisé dans la fabrication des équipements numériques se présente notamment sous la forme d'arséniure de gallium (GaAs), apprécié pour sa vitesse de circulation des électrons élevée, et sous forme de nitrure de gallium (GaN). Le gallium est un semi-conducteur.

- Germanium (Ge)

Le germanium est apprécié dans les équipements numériques pour ses propriétés semi-conductrices et optiques.

- Indium (In)

La principale application de l'indium est la production de films minces d'oxyde d'indium-étain (ITO). Lorsqu'il est déposé sous forme de film mince sur du verre ou du plastique transparent, il fonctionne comme une électrode transparente. Doté d'un point de fusion bas, il est utilisé dans les soudures, en tant que matériau d'interface thermique ou encore dans des alliages.

- Silicium (Si)

Le silicium métal utilisé dans les équipements numériques est du polysilicium affiné à un niveau de pureté extrême de 10N à 13N . Il est apprécié dans la microélectronique pour ses propriétés semi-conductrices utiles au fonctionnement des circuits intégrés, au stockage et à la transmission d'information.

Ressources

- [ADEME Etude numérique et métaux : Impacts environnementaux du numérique et besoins en métaux](#)
- [Ifp énergies nouvelles : métaux transition énergétique](#)
- [Fiche concept 2.2.1, chapitre "La production des métaux"](#)
- [Fiche concept 2.3.1 Quels métaux dans les smartphones ?](#)
- [Activité Mooc mesurer](#)
- [Wikipedia matières premières critiques](#)
- [UNEP : recycling rates of metal](#)
- [Géoscience](#)
- [Le grand continent : métaux stratégiques](#)

Usages des métaux mais pas que

- Antimoine → dopant pour les IC
- Argent → conducteur électrique
- Arsenic → LED, dopant pour les IC
- Bore → dopant pour les IC
- Cobalt → batteries lithium-ion, conducteur électrique (à la place du cuivre)
- Cuivre → conducteur électrique
- Epoxy → circuits imprimés
- Étain → écrans tactiles
- Gallium (extrait du minerai d'aluminium) → LED, dopant pour les IC, wafer

- Hafnium → isolation des transistors
- Indium → écrans tactiles, dopant pour les IC
- Lithium → batteries lithium-ion
- Néodyme, praséodyme, terbium et dysprosium → production des vibrations dans les aimants
- Or → conducteur électrique
- Palladium → conducteur électrique
- Phosphore → LED, dopant pour les IC
- Ruthénium → conducteur électrique (à la place du cuivre)
- Silicium → wafer
- Tantale → condensateurs
- Titane → connexion entre transistors
- Tungstène → amplification des vibration dans les aimants, connexion entre transistors
- Yttrium, cérium, europium ou terbium, mais aussi lanthane et gadolinium → LED
- Germanium → wafer
- La grande diversité de métaux dans un smartphone Refs : EuChems, Orange dans le rapport du Sénat, aller chercher du côté du Fraunhofer
<https://www.youtube.com/watch?v=9-2b-Xrmzgc&list=PLWMNQf5APHgKSwbX6RYvqHpKRzn2T3LvU&index=16>
 - Question subsidiaire : usage diffus ou pas ? cf usage ci-dessous