

DES METAUX, PAS QUE DANS LES SMARTPHONES... · PHASE 1 : Composition d'un smartphone · Description de l'utilisation de chaque métal

Éléments du téléphone	Composant spécifique	Élément / substance	Utilité	Compléments d'informations	Sources
ECRAN	Dalle tactile - dite "ITO" pour localiser le signal par induction	Indium Etain	L'oxyde d'indium est un semi-conducteur . Lorsqu'il est dopé à l'étain, il offre une bonne transmission dans le domaine spectral du visible (lumière "classique"). La combinaison de ces deux propriétés permet la fabrication de dalles tactiles.	Les films en oxyde d'indium et d'étain (ITO) contiennent 90% d'oxyde d'indium (In2O3) et 10% d'oxyde d'étain (SnO2). L'ITO présente l'avantage d'avoir une excellente conductivité électrique tout en restant un transparent optique sous faible épaisseur. De plus, l'oxyde d'indium adhère fortement au verre. Les films d'ITO sont inertes chimiquement et généralement caractérisés par une bonne adhérence au substrat ainsi que par une dureté élevée. L'ITO est donc un matériau idéal pour réaliser les fines électrodes transparentes recouvrant un écran LCD, c'est-à-dire un affichage à cristaux liquides, éventuellement à propriétés tactiles. Les écrans à cristaux liquides sont ainsi la principale application de l'indium, représentant 80 % de ses utilisations.	Sur l'indium dans les écrans tactiles : https://fr.wikipedia.org/wiki/Écran_à_cristaux_liquides Sur les films en oxyde d'indium et d'étain : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00103297/document
ECRAN	Couche de verre	Silicium Aluminium	La silice (oxyde de silicium de formule SiO2) est la matrice vitreuse par excellence. L'alumine (oxyde d'aluminium de composition Al2O3) est très résistante à la corrosion et à l'oxydation ; tout en étant légère. L'alumine accroît la dureté superficielle de la matrice vitreuse.	Les verres utilisés dans les téléphones sont majoritairement composés de verres aluminosilicatés, mélangeant de l'alumine, un oxyde d'aluminium (Al2O3) et de la silice (SiO2).	Sur les principaux métaux contenus dans un téléphone portable : http://www.compoundchem.com/2014/02/19/the-chemical-elements-of-a-smartphone/
ECRAN	Couche de verre	Potassium	L'introduction d'ions potassium dans la matrice aluminosilicatée permet d'améliorer la résistance mécanique des verres mais aussi de bloquer les fissures superficielles du verre et de réduire ainsi la casse du matériau.	La technique de fabrication consiste en la "trempe chimique" : Il s'agit de placer le verre dans un bain chaud (400 °C) de sels fondus de potassium. Sous l'effet de la chaleur, les ions sodium de la surface du verre migrent dans le bain, et sont remplacés par des ions potassium. Les ions potassium étant plus gros que les ions sodium, lors du refroidissement, des tensions en compression vont se créer en surface du verre, améliorant ses propriétés mécaniques, en terme de résistance aux chocs. La trempe chimique reste un traitement de surface, toute rayure de la surface du verre réduit considérablement sa résistance mécanique.	Sur la technique de trempage chimique des verres : https://fr.wikipedia.org/wiki/Verre_tremp%C3%A9 Sur la caractérisation des verres aluminosilicatés soumis à un échange ionique au potassium : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01341605
ECRAN	Affichage	Europium Terbium Yttrium Gadolinium Cérium Thulium Lanthane	Composants de la couche de cristaux liquides des écrans LCD où sont reproduites les trois couleurs fondamentales : le rouge, par introduction d' europium dans une matrice d'oxyde ou oxydure d' yttrium (Y2O2S) ou de borate d'yttrium et de gadolinium (YGdBO3) ; le bleu, par l'introduction d'europium dans une matrice dans une matrice à aluminium, magnésium et baryum (BaMgAl10O17) ; le vert, par l'introduction de terbium dans une matrice de borate d'yttrium et gadolinium (YGdBO3). On peut également utiliser, en moindre proportion, du thulium pour le vert, du cérium pour le jaune et du lanthane pour le rouge (par introduction de cérium et de terbium dans une matrice du phosphate de lanthane (LaPO4)).	(a) Fonctionnement d'un écran LCD : La formation d'image sur un écran LCD se fait par la lumière provenant d'une source lumineuse passant à travers l'écran en étant plus ou moins occultée. Les écrans LCD sont constitués d'au moins 5 couches de composants: - Des filtres polarisants (entrée et sortie) - Des couches de verre (dans le cas général) - Une couche de cristaux liquides (à luminophores rouge, bleu et vert) Toutes ces couches contribuent aux différentes variations lumineuses, les filtres étant là pour assurer le passage de la lumière suivant un certain axe. Les cristaux liquides, selon leur position, vont modifier l'axe de la lumière entrante qui les traverse, pour qu'elle soit ensuite plus ou moins filtrée par le filtre de sortie. La position des cristaux liquides est contrôlée en soumettant ces derniers à des champs électriques, produits via des électrodes déposées sur les couches de verre (et un circuit de transistors). (b) Luminophores : Les éléments des terres rares ont surtout des propriétés spectrales remarquables, tant en absorption (coloration) qu'en émission (luminescence), en grande partie liées aux électrons de la sous-couche interne 4f. Ce sont ces propriétés qui sont utilisées dans les applications de luminophores (écrans d'affichage, ampoules fluorescentes) et de lasers. Le degré de mobilité des électrons dans les niveaux d'énergies des atomes est à la base de cette propriété. Ainsi, lorsqu'un lanthanide entouré de ligands (oxyde ou molécule) est excité par des rayons puissants (ultra-violetes par exemple), il peut y avoir transfert de l'excitation du ligand vers un état excité de l'ion lanthanide qui se désexcite en émettant de la lumière, avec des pics d'émission de longueurs d'onde dans le domaine du visible, très fins et spécifiques en fonction de l'élément. Les plus utilisés sont les ions de l'yttrium, de l'europium (rouge et bleu), du terbium et du thulium (vert), ainsi que du cérium (jaune). (c) Evolutions technologiques : Les écrans à cristaux liquides (LCD) deviennent largement majoritaires, avec un basculement progressif entre 2010 et 2014 des éclairages par tubes fluorescents (CCFL) vers les éclairages par LED. Les écrans plasma (PDP) voient leur part de marché diminuer, et la technologie OLED se développe surtout pour les écrans de petite taille (téléphones portables).	Sur les propriétés, les utilisations et le marché des terres rares : Panorama 2014 du marché des terres rares - Rapport BRGM RP-65330-FR, disponible au lien suivant : http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/documents/Panoramas_Metaux_Strateg/rp-65330-fr-terresrarespublic.pdf Sur les utilisations des terres rares et leur recyclage : http://pubs.usgs.gov/sir/2011/5094/pdf/sir2011-5094.pdf Sur les écrans LCD et les autres technologies d'écran : https://www.supinfo.com/articles/single/2382-principales-technologies-affichage-ecrans Sur les dispositifs d'affichage émissifs : Présentation de JM. FRIGERIO - 2005 (Institut des NanoSciences de Paris - Université Paris VI - CNRS) disponible sur le net.
ECRAN	Affichage	Bore Baryum Magnésium Soufre	Composants des matrices accueillant les terres rares dans l'écran . Différentes propriétés sont ici utilisées pour la stabilisation ou la catalyse des effets de ces substances luminophores.	-	
ECRAN	Affichage	Molybdène	Utilisé comme revêtement de composants des écrans LCD , en particulier les transistors. Est valorisée ici sa bonne résistivité et le maintien de ses propriétés lors de sa mise en contact avec d'autres matrices (siliceuses notamment).	Les revêtements en molybdène sont des composants vitaux des transistors à couche mince utilisés sur les écrans TFT-LCD. Ils offrent un contrôle instantané des points individuels de l'image (pixels) et garantissent par conséquent une qualité d'image particulièrement nette.	Sur les propriétés, les utilisations et le marché du molybdène : Panorama 2010 du marché du molybdène - Rapport BRGM RP-60204-FR disponible au lien suivant : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-60204-FR.pdf Sur les revêtements au molybdène : https://www.plansee.com/fr/produits/materiaux-couches-
ECRAN	Affichage	Mercur	Utilisé en petite quantités (0,005% au plus) dans les poudres fluorescentes des écran LCD (en particulier les écrans rétroéclairés)	Les autres utilisations historiques du mercure dans les téléphones portables (piles à mercure-zinc et commutateurs de cartes pour circuits imprimés) ont peu à peu été substituées du fait des réglementations de plus en plus contraignantes. En 2004, 22% de la production annuelle de mercure était utilisée dans les appareils électriques et électroniques, comme par exemple les capteurs, les tubes aux néons, les relais, les commutateurs de cartes pour circuits imprimés ou encore les écrans d'ordinateurs ultra plat.	Sur le traitement des écrans LCD : http://eco3e.eu/flux/ecrans/ Sur les usages directs ou indirects du chlore dans l'industrie : http://docplayer.fr/4658776-Livre-blanc-du-chlore.html Sur les écrans LCD (ou à cristaux liquides) : https://fr.wikipedia.org/wiki/Écran_à_cristaux_liquides
BOITIER	Matrice	Magnésium	Le magnésium présente un excellent rapport résistance/poids. Il est utilisé en alliage dans la coque de certains téléphones. 4 propriétés sont valorisées : sa légèreté pour la portabilité de l'appareil, sa capacité d'absorption des chocs et des vibrations pour la protection des éléments électroniques, sa résistance aux chocs (utile pour un appareil mobile) et ses fonctionnalités de dissipateur de chaleur qui permet aux composants internes et à la coque externe de rester froids.	La principale raison du choix du magnésium repose sur sa légèreté et son excellent rapport résistance/poids. Le magnésium dispose également d'une bonne stabilité dimensionnelle, se soude facilement, possède une excellente capacité d'amortissement et résiste très bien aux chocs, aux déformations ponctuelles et à la corrosion. Légèreté = Comme c'est l'un des métaux les plus légers à travailler, il convient parfaitement à l'informatique mobile. Les utilisateurs ne sont désormais plus limités par leur capacité à transporter un ordinateur lourd et encombrant. Absorption des chocs et des vibrations = Le magnésium dispose d'un atout unique : l'absorption des chocs et des vibrations sonores. Les utilisateurs apprécient une informatique mobile plus sereine grâce à la sécurité d'une protection accrue contre les chocs, au cas où l'ordinateur portable tomberait ou subirait un autre type de choc. Résistance aux chocs = Métal léger mais néanmoins très solide, le magnésium résiste parfaitement aux chocs et déformations ponctuelles. Les utilisateurs profitent d'une informatique mobile sans souci, sachant que leur ordinateur portable survivra aisément à des accidents et chocs mineurs. Dissipateur de chaleur = Le magnésium est un métal qui permet la dissipation rapide de la chaleur et le refroidissement des éléments internes de l'ordinateur portable ; ainsi, la coque externe reste froide au toucher, offrant une manipulation des plus confortables.	Sur les principaux métaux contenus dans un téléphone portable : http://www.compoundchem.com/2014/02/19/the-chemical-elements-of-a-smartphone/ Sur l'utilisation du magnésium dans les appareils électroniques portatifs : http://www.toshiba.fr/Contents/Toshiba_fr/FR/Others/EasyGuard/EG_OCTOBER/EXP-2005-04-Magnesium-casework-FR.pdf
BOITIER	Matrice	Carbone	Les fibres de carbone associées à des polymères plastiques rendent la coque résistante , en la protégeant des chocs et des rayures. Le carbone rend également la coque plus légère et plus fine que n'importe quelle autre coque en silicone ou en polyuréthane.	La fibre de carbone est obtenue à partir de l'oxydation de particules d'un polymère de la famille des acryliques : le polyacrylonitrile ou PAN. Autrement dit, il s'agit littéralement de « carboniser » ces particules à des températures élevées pendant plusieurs heures. Une fois cette étape terminée, on obtient des fibres de carbone pures à 99%. A ce stade, les fibres de carbone restent encore souples et plutôt fragiles. Pour obtenir un matériau résistant, elles sont travaillées en tressage diagonal serré et moulées dans de la résine Epoxy. Cette résine translucide et ultra résistante renforce les fibres de carbone. Elle permet d'obtenir la forme désirée et donne au carbone un superbe aspect brillant.	Sur les coques de téléphone et l'utilisation du carbone : http://www.amahousse.com/blog/coque-carbone-le-secret-des-coques-de-telephone-en-veritables-fibres-de-carbone/
BOITIER	Matrice	Brome Antimoine	Le trioxyde d'antimoine couplé à un composant halogéné comme le brome est ignifugeant ou " retardateur de flammes " pour les boîtiers en plastique, c'est-à-dire qu'il améliore la tenue au feu de ce matériau.	Le secteur de l'ignifugation reste le principal consommateur d'antimoine primaire sur le plan mondial (65 % de la consommation en 2006). Utilisé sous forme de trioxyde d'antimoine (Sb2O3) ou, rarement, de pentaoxyde d'antimoine (Sb2O5), il est ajouté principalement dans les plastiques. L'antimoine agit comme capteur de radicaux libres et permet la formation d'une couche protectrice sur le substrat qui, en diminuant ainsi la quantité d'oxygène disponible localement, empêche sa combustion. Son mécanisme d'action nécessite, cependant, la présence de composés halogénés (chlore, brome, etc.).	Sur les propriétés, les utilisations et le marché de l'antimoine : Panorama 2011 du marché de l'antimoine Rapport BRGM RP-61342-FR disponible au lien suivant : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-61342-FR.pdf

Éléments du téléphone	Composant spécifique	Élément / substance	Utilité	Compléments d'informations	Sources
BOITIER	Revêtement	Nickel	Utilisé dans les blindages électromagnétiques sur les boîtiers plastiques en association avec le cuivre.	(a) Les blindages consistent à réduire le champ électromagnétique au voisinage d'un objet en interposant une barrière entre la source du champ et l'objet à protéger. La barrière doit être faite d'un matériau conducteur électrique. Ces blindages sont surtout utilisés dans les appareils électroniques grand public équipés d'un boîtier plastique. (b) Dans la pratique, l'intérieur du boîtier est recouvert avec une encre métallique. Cette encre est usuellement constituée d'une dispersion de particules de nickel ou de cuivre dans une solution liquide. L'encre est dispersée à l'aide d'un atomiseur et, une fois sèche, forme une couche conductrice continue. Lorsqu'elle est reliée à la masse de l'appareil, elle forme un blindage efficace. (c) Le nickel est également utilisé en alliage avec le fer pour les blindages magnétiques, basés sur le même principe que les blindages électromagnétiques mais visant à isoler les appareils des champs magnétostatiques.	<u>Sur les principaux métaux contenus dans un téléphone portable</u> : http://www.compoundchem.com/2014/02/19/the-chemical-elements-of-a-smartphone/ <u>Sur les dépôts de nickel chimique</u> : Dans dépôts de nickel chimique - Applications - Techniques de l'ingénieur ; disponible sur Google Books <u>Sur le blindage électromagnétique</u> : https://fr.wikipedia.org/wiki/Blindage_électromagnétique
BOITIER	Revêtement	Zinc	Utilisé dans les placages métalliques de boîtiers plastiques, dans le but d'augmenter la comptabilité électromagnétique de l'appareil.	Les boîtiers de téléphone doivent présenter de bonnes propriétés en terme de comptabilité électromagnétique. Il s'agit de protéger les composants électroniques contenus et leur environnement, tant vis-à-vis de l'absorption que de l'émission d'ondes électromagnétiques. Le revêtement au zinc est extrêmement robuste et présente des valeurs d'atténuation exceptionnelles.	<u>Sur la comptabilité électromagnétique des boîtiers plastiques</u> : http://www.newark.com/pdfs/techarticles/harting/EMC_protectionForPlasticHousing.pdf
CARTE électronique	Circuit imprimé	Nickel	Utilisé en finition des circuits imprimés pour protéger les connexions en cuivre. Sont valorisées ici ses propriétés de ductilité/malléabilité et de résistance à l'oxydation et à la corrosion.	Sur un circuit imprimé, si les éléments cuivrés ne sont protégés, ils s'oxydent et se détériorent, rendant la carte de circuit imprimé inutilisable. Une finition de surface est donc nécessaire pour protéger les circuits de cuivre exposés et pour fournir une surface soudable lors de l'assemblage des composants à la carte de circuit imprimé. La finition la plus utilisée s'appelle l'immersion en nickel électrolytique (ENIG). L'ENIG est un revêtement métallique à deux couches : 50 à 200 nm d'or reposant sur 3 à 6 µm de nickel. Le nickel consiste en une barrière protectrice au cuivre et est la surface sur laquelle les composants sont réellement soudés. L'or protège le nickel pendant le stockage et fournit également la faible résistance de contact requise.	<u>Sur les différentes techniques de finition des circuits imprimés</u> : http://www.epectec.com/articles/pcb-surface-finish-advantages-and-disadvantages.html <u>Sur les applications du nickel en électronique</u> : Dépôts de nickel chimique - Applications - Techniques de l'ingénieur ; disponible sur Google Books
CARTE électronique	Brasage	Plomb Etain	L'alliage plomb-étain, utilisé pour le brasage (aussi appelé "soudure"), est une substance eutectique (c'est-à-dire qu'elle se comporte comme un corps pur du point de vue de la fusion). Cet alliage fond donc de façon homogène et à une température basse, inférieure à 190°C.	(a) Le brasage n'est pas un procédé de soudage mais d'assemblage de deux pièces métalliques à l'aide d'un métal de nature différente que ceux des pièces assemblées. Ce métal d'apport doit avoir une température de fusion inférieure à celles des pièces à assembler et lui seul participe à la constitution du joint d'assemblage. Le brasage dit "tendre" utilise des métaux dont la température de fusion est inférieure à 450°C. (b) L'alliage le plus couramment utilisé comme métal d'apport est composé d'environ 60% d'étain et 40% de plomb. La réglementation (ROHS) impose de supprimer le plomb et de trouver d'autres alliages, par conséquent les alliages les plus courants sont composés d'étain (Sn), de cuivre (Cu) et d'argent (Ag) mais ils sont onéreux. Des dérogations existent pour pouvoir continuer à utiliser l'alliage de plomb. A noter que certains alliages de brasage sont composés de plomb, antimoine et étain (environ 80 %, 15 % et 5 %).	<u>Sur les principaux métaux contenus dans un téléphone portable</u> : http://www.compoundchem.com/2014/02/19/the-chemical-elements-of-a-smartphone/ <u>Sur le principe du brasage</u> : https://fr.wikipedia.org/wiki/Brasage <u>Sur les risques liés au brasage tendre</u> : www.inrs.fr/dms/inrs/CataloguePapier/ED/TI-ED-122/ed122.pdf
CARTE électronique	Brasage	Bismuth	Le bismuth peut remplacer le plomb dans les alliages de brasage pour ses propriétés remarquables en termes de densité et de fusibilité.	(a) Il s'agit d'un métal presque aussi dense que le plomb avec une température de fusion basse : à 271°C. Le bismuth a également la propriété particulière d'être plus dense en phase liquide qu'en phase solide : lui et un grand nombre de ses alliages se dilatent donc légèrement lorsqu'ils se solidifient les rendent idéaux à cet effet. (b) L'intérêt majeur de cette substitution réside dans la suppression progressive du plomb dans les appareils électroniques, requis par les réglementations (ROHS notamment). Les alliages à base de bismuth-étain ont un point de fusion bas mais des problèmes de fissures apparaissent avec l'augmentation de la concentration en bismuth.	<u>Sur les propriétés du bismuth</u> : https://en.wikipedia.org/wiki/Bismuth <u>Sur les applications du bismuth</u> : http://www.indium.com/solders/bismuth/applications/ <u>Sur les avantages des alliages à base de bismuth dans le brasage et le retraitement métallique</u> : https://www.smtnet.com/library/files/upload/advantages_of_bismuth_based_alloys_for_low_temp_soldering.pdf
CARTE électronique	Contacts et voies électriques	Or	Utilisé dans les contacts électriques et comme couche anticorrosion et anti-oxydation sur les circuits imprimés , pour son inaltérabilité et de sa bonne conductivité électrique et thermique.	L'or est principalement utilisé dans les circuits imprimés, ce qui permet d'éviter l'altération des connexions entre les différents composants. Il est le troisième métal le plus conducteur (après l'argent et le cuivre) mais son caractère inoxydable en condition ambiante fait qu'il est utilisé pour les contacts électroniques inoxydables, se présentant sous forme de plaquage très mince. En raison de cette caractéristique, de son inaltérabilité et de sa grande ductilité, il est utilisé pour réaliser des connexions, notamment dans certains composants électroniques, tels que les microprocesseurs. Accessoirement, l'or peut-être utilisé pour son esthétisme sur les terminaisons des connexions, par exemple celles des chargeurs. Fairphone estime la quantité d'or moyenne utilisée dans un smartphone à 30 mg.	<u>Sur l'or en général</u> : https://fr.wikipedia.org/wiki/Or <u>Sur les contacts électriques</u> : https://fr.wikipedia.org/wiki/Contact_%C3%A9lectrique
CARTE électronique	Contacts et voies électriques	Argent	Utilisé en film ou en encre dans les circuits imprimés pour créer des voies électriques pour son excellente conductivité électrique . Il est également très utilisé dans les commutateurs électriques pour cette propriété et sa résistance à l'usure.	En électronique et électricité, l'argent est très utilisé (42% de la demande industrielle) car il présente une meilleure conductivité électrique que le cuivre, et reste conducteur même en partie oxydé. Il présente des propriétés de résistance à la fatigue et d'anticorrosion. Les commutateurs à membrane en argent, qui ne nécessitent qu'un léger toucher, sont utilisés dans les boutons des téléphones portables. Ces commutateurs sont très fiables et durent pour des millions de cycles on / off.	<u>Sur les utilisations de l'argent dans l'électronique</u> : http://www.silverinstitute.org/site/silver-in-industry/electronic/
CARTE électronique	Contacts et voies électriques	Tungstène	Utilisé en alliage avec du cuivre voire du nickel pour les contacts électriques* . On valorise ici sa résistance à l'abrasion mécanique, à l'érosion électrique et à la soudure grâce au niveau élevé de fusion et d'ébullition de ce métal. De plus, sa faible conductivité et sa résistance de contact élevée sont un atout important dans ces dispositifs.	<i>* Un contact électrique est un système permettant le passage d'un courant électrique à travers deux éléments de circuit mécaniquement dissociables. Le contact électrique est caractérisé par sa résistance de contact, sa résistance à l'érosion, sa résistance à l'oxydation.</i> L'alliage de tungstène-cuivre intègre les avantages de ces deux métaux, dans lequel le point de fusion du tungstène est très élevé (environ 3410 °C) et la densité est plus grande (environ 19.34g/cm3). Le cuivre a une bonne conductivité électrique, de sorte que l'alliage cuivre-tungstène a une microstructure résistante à haute température et à haute intensité. Ses bonnes conductivités électrique et thermique font que cet alliage est largement utilisé dans l'électrode de traitement électronique et le matériel micro-électronique.	<u>Sur les contacts électriques</u> : https://fr.wikipedia.org/wiki/Contact_électrique <u>Sur les propriétés, les utilisations et le marché du tungstène</u> : Panorama 2011 du marché du tungstène - Rapport BRGM RP-61341-FR, disponible au lien suivant : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-61341-FR.pdf <u>Sur les alliages à cuivre-tungstène</u> : http://www.tungsten-copper.com/French/What-Tungsten-Copper-Is.html
CARTE électronique	Contacts et voies électriques	Palladium Platiné Rhodium	La platine et le palladium sont utilisés en alliage avec l'or voire l'argent pour la réalisation des contacts électriques. Les platinoïdes comme le palladium se distinguent par leur inaltérabilité et leur caractère réfractaire (leur point de fusion est très élevé). De plus, la platine et le palladium ont la particularité d'être extrêmement ductiles et malléables.	(a) Le palladium (et dans une moindre mesure le platine) est utilisé, le plus souvent allié à l'or ou à l'argent, pour la réalisation de contacts électriques. Le palladium est ainsi utilisé en plaquage par électrodeposition sur les connecteurs et circuits imprimés, en substitution de l'or, en raison de son moindre coût actuel. (b) Le rhodium sert également aux contacts électriques sous forme métallique (en couche très mince) ou sous forme d'alliage mais cette application est secondaire pour ce métal (en 2012, seuls 0,6% du rhodium produit servait à l'industrie électrique et électronique) ; ses propriétés étant moins remarquables que les autres platinoïdes.	<u>Sur le platine et les platinoïdes en général</u> : http://www.universalis.fr/encyclopedie/platine-et-platinoïdes/ et http://www.encyclo-ecolo.com/Palladium <u>Sur les contacts électriques</u> : https://fr.wikipedia.org/wiki/Contact_électrique <u>Sur la criticité du palladium et du platine</u> : http://www.ifpenergiesnouvelles.fr/content/download/69132/1492226/version/2/file/Panorama2010_09-VF_Metaux-critiques.pdf <u>Sur les propriétés, les utilisations et le marché des platinoïdes</u> : Panorama 2012 du marché des platinoïdes - Rapport BRGM RP-63169-FR, disponible au lien suivant : http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/documents/panorama_2012_du_marche_des_platinoïdes_1.pdf
CARTE électronique	Contacts et voies électriques	Béryllium	Utilisé en alliage avec le cuivre, le béryllium est utilisé pour sa faible résistance électrique et sa haute conductivité thermique dans les contacts de la batterie et les connecteurs électroniques dans les téléphones .	(a) L'alliage cuivre-béryllium est en effet durable et léger tout en disposant d'une très bonne conductivité électrique et une bonne résistance à la corrosion. Il a une dureté 6 fois plus importante que celle du cuivre et une conductibilité thermique plus élevée. (b) Le béryllium est majoritairement utilisé sous forme d'une vaste gamme d'alliages spéciaux : cuivre-béryllium (également appelé bronze au béryllium), cuivre-béryllium-cobalt, cuivre-béryllium-nickel, aluminium-béryllium offrant des propriétés remarquables de légèreté, de stabilité mécanique, de résistance à l'usure par frottement et à la corrosion et de conductivité électrique. Les alliages cuivre-béryllium sont les plus courants. Ils contiennent entre 0,15 et 2,6 % de béryllium. Leurs rapports densité/rigidité et densité/module d'élasticité en font des matériaux de choix dans de très nombreuses applications dans les domaines de haute technologie ; c'est dans les connecteurs électroniques et les circuits intégrés qu'ils trouvent leurs plus larges applications.	<u>Sur les propriétés, les utilisations et le marché du béryllium</u> : Panorama 2010 du marché du béryllium - Rapport BRGM RP-60203-FR disponible au lien suivant : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-60203-FR.pdf <u>Sur les usages du béryllium et de ses alliages</u> : https://beryllium.eu/about-beryllium/critical-applications/ et https://beryllium.com/Uses-and-Applications/Communications.aspx
CARTE électronique	Composants et circuits intégrés	Cuivre	Utilisé dans les circuits imprimés mais aussi dans un grand nombre de composants électroniques pour son excellente conductivité électrique et sa très bonne conductivité thermique.	Du fait de sa très bonne conductivité électrique et thermique, le cuivre est utilisé dans de nombreuses applications en électronique. Il est d'ailleurs le deuxième meilleur métal conducteur d'électricité après l'argent. Les équipements électriques et électroniques contiennent jusqu'à 20 % de leur poids en cuivre. Ses propriétés électriques sont très largement exploitées, et son utilisation en tant que conducteur, dans les électroaimants, les relais, les barres de distribution et les commutateurs. Les circuits intégrés utilisent de plus en plus le cuivre au lieu de l'aluminium du fait de sa conductivité électrique plus élevée, tout comme les circuits imprimés.	<u>Sur le cuivre en général</u> : https://fr.wikipedia.org/wiki/Cuivre

Éléments du téléphone	Composant spécifique	Élément / substance	Utilité	Compléments d'informations	Sources
CARTE électronique	Composants et circuits intégrés	Phosphore	Utilisé en substitution en dopage du silicium dans les transistors *. Ceci améliore la résistance à l'humidité et les caractéristiques de refusion.	<p>* <i>Schématiquement, un transistor est un interrupteur électrique ; il peut être en position ouverte ou fermée (les fameux « bits », 1 ou 0, de l'informatique). Il a pour rôle de contrôler, stabiliser ou amplifier les signaux électriques qui le traversent. Il est composé d'un matériau semi-conducteur, pouvant à la fois être conducteur et isolant en fonction des conditions d'énergie qui lui sont imposées.</i></p> <p>(a) Le phosphore sert au dopage du silicium (on parle de dopage de type N, c'est-à-dire qu'il apporte un électron supplémentaire dans le réseau cristallin à silicium). Il est très utilisé pour la fabrication des transistors constituant les puces électroniques des téléphones portables.</p> <p>(b) Le transistor est généralement composé de silice dopée au phosphore mais on utilise d'autres substrats, comme le germanium ou l'arséniure de gallium. Le substrat silice/phosphore reste privilégié car plus résistant, plus souple d'emploi et moins sensible à la température. Les chercheurs étudient cependant la possibilité de constituer un transistor à l'aide d'une unique couche mono-atomique de phosphore, le phosphorene. Cette découverte est prometteuse pour la flexibilité et la miniaturisation des transistors.</p>	<p>Sur les propriétés des silices dopées au phosphore : http://www.appliedmaterials.com/glossary et https://fr.wikipedia.org/wiki/Dopage_(semi-conducteur)</p> <p>Sur les transistors à phosphorène : http://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/matiere-ordinateur-futur-phosphorene-mieux-graphene-51906/ et http://www.azom.com/news.aspx?newsID=44083 et http://www.news.com.au/technology/scientists-make-perfect-tiny-transistor/story-e6frro0-1226275469705</p> <p>Sur les transistors dans les microprocesseurs : http://www.huffingtonpost.fr/2016/03/28/avec-la-fin-de-la-loi-de-moore-la-puissance-de-vos-smartphones/</p>
CARTE électronique	Composants et circuits intégrés	Arsenic Gallium	L'arséniure de gallium est un semi-conducteur essentiel dans les circuits intégrés*. Ce matériau a plusieurs propriétés électriques supérieures à celles du silicium : il peut fonctionner à très hautes fréquences (> 250 GHz) ; les dispositifs à technologie GaAs génèrent moins de bruit en hautes fréquences et peuvent fonctionner à puissance plus élevée.	<p>* <i>Un circuit intégré est un composant électronique reproduisant une, ou plusieurs, fonctions plus ou moins complexes et intégrant plusieurs types de composant électroniques de base (transistors, diodes, résistances, condensateurs) dans un volume réduit.</i></p> <p>(a) C'est majoritairement sous forme d'arséniure de gallium (GaAs) que le gallium intervient dans les circuits intégrés. Par ailleurs, l'utilisation principale du GaAs, en tant que puce électronique, est son emploi dans les téléphones portables et dans une sous-catégorie de ceux-ci, à savoir les smartphones. En 2010, on estimait que 70% de la production d'arséniure de gallium était utilisée dans l'industrie de la téléphonie mobile.</p> <p>(b) La téléphonie sans fil est toujours, et restera sans doute, un moteur important pour la fabrication des semi-conducteurs à base de gallium à cause de la pénétration du smartphone dans le marché et l'usage plus large des technologies 4G et LTE. Par exemple, pour les smartphones de la quatrième génération, on utilise jusqu'à six fois la quantité de GaAs employée dans un téléphone cellulaire standard. Dans ces appareils, le GaAs intervient dans les modules amplificateurs de puissance, dans les modules amplificateur-filtre de puissance ainsi que dans les modules amplificateur-commutateur de puissance.</p>	<p>Sur la filière du gallium et ses impacts sociaux et environnementaux : http://mem-envi.ulb.ac.be/Memoires_en_pdf/MFE_11_12/MFE_Fameree_11_12.pdf</p> <p>Sur l'arséniure de gallium : https://fr.wikipedia.org/wiki/Arséniure_de_gallium</p>
CARTE électronique	Composants et circuits intégrés	Germanium Silicium	Le germanium est le matériau semi-conducteur par excellence et donc un matériau indispensable aux transistors . Les transistors à silicium et germanium (SiGe) combinent les propriétés de hautes vitesses du germanium (particulièrement adapté au domaine des hautes fréquences) et le moindre coût de production du silicium.	Actuellement, les alliages de silicium-germanium sont de plus en plus employés pour la fabrication de circuits intégrés à grande vitesse : les circuits utilisant les propriétés des jonctions Si-SiGe sont en effet beaucoup plus rapides que ceux utilisant le silicium seul. Les alliages SiGe commencent à remplacer l'arséniure de gallium (GaAs) dans les appareils de communication sans fil.	<p>Sur les propriétés, les utilisations et le marché du germanium : Panorama 2010 du marché des terres rares - Rapport BRGM RP-60584-FR, disponible au lien suivant : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-60584-FR.pdf</p>
CARTE électronique	Composants et circuits intégrés	Chlore	Composant des plastiques PVC (polychlorure de vinyle) permettant d' isoler les connectiques électriques (fils en particulier).	Les plastiques, bromés et non bromés, représentent entre 30 et 50 % de la masse d'un téléphone, parmi lesquels : les PVC, les polycarbonates et les polyuréthanes.	<p>Sur les déchets associés aux téléphones portables : http://www.arehn.asso.fr/dossiers/telephone_portable/telephone_portable.html</p> <p>Sur les usages directs ou indirects du chlore dans l'industrie : http://docplayer.fr/4658776-Livre-blanc-du-chlore.html</p>
CARTE électronique	Composants et circuits intégrés	Zirconium	Composant des puces électroniques sous forme de dioxyde de zirconium (ou zircon), utilisé pour son excellente résistance mécanique et chimique : la zircone ne se raye pas contrairement aux métaux, est trois à cinq fois plus dure que l'acier et est stable (alors que les métaux s'oxydent).	Le dioxyde de zirconium est une céramique à caractère réfractaire tant du point de vue chimique que thermique. Ses propriétés physiques, de conduction électrique et électronique notamment, sont remarquables. Isolant à l'état pur avec une faible semi-conduction de type n, cet oxyde peut devenir conducteur ionique pur s'il est dopé.	<p>Sur l'utilisation des céramiques dans les téléphones portables : https://www.pressreader.com/</p> <p>Sur les propriétés de la zircone : http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/biomedical-pharma-th15/biomateriaux-et-biomecanique-42606210/zirconone-n3210/</p>
CARTE électronique	Composants et circuits intégrés	Ruthénium	Sous forme de dioxyde ou en alliage avec le bismuth ou le plomb, le ruthénium est un composant majeur des puces résistives . Sa dureté est plus importante que l'or et sa conductivité électrique est plus faible que celle de l'or, il présente donc une résistance de contact plus importante.	Les composés constitutifs des puces résistives à base de ruthénium sont : le dioxyde de ruthénium (RuO2), le ruthénate de plomb (Pb2Ru2O6.5) et le ruthénate de bismuth (Bi2Ru2O)7. Le ruthénium compose les contacts entre les deux électrodes du composant électronique.	<p>Sur les microsystèmes ohmiques (comprenant les puces résistives) : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01024488/</p>
CARTE électronique	Condensateurs	Tantale	L'oxyde de tantale est le composant majeur des condensateurs* à tantale . Est valorisée ici sa forte permittivité , c'est-à-dire son comportement diélectrique**.	<p>* <i>Un condensateur est un petit composant essentiel dans l'électronique. Il permet de stabiliser une alimentation électrique (il se décharge lors des chutes de tension et se charge lors des pics de tension). Il peut aussi emmagasiner une charge électrique importante sous un faible volume ; il constitue ainsi un véritable accumulateur d'énergie. Les condensateurs dits « électrolytiques » ou « tantale » sont constitués d'une borne positive et d'une borne négative, dont l'un est composé d'oxyde de tantale.</i></p> <p>** <i>Une substance diélectrique peut emmagasiner de l'énergie électrostatique, c'est-à-dire qu'il s'agit d'une substance à laquelle on peut appliquer un champ électrique élevé et sur laquelle on peut maintenir ce champ sans apport d'énergie extérieure. Par voie de conséquence, un matériau diélectrique doit être isolant.</i></p> <p>(a) Tantale dans le marché des condensateurs : Le tantale est majoritairement utilisé dans la fabrication de condensateurs miniaturisés (48% de la consommation mondiale en 2008). Si la quantité de poudre de tantale nécessaire dans chaque condensateur est très faible (< 0,02g), des milliards de nouveaux condensateurs sont fabriqués chaque année. À titre d'exemple, les téléphones portables récents avec les fonctions vidéo et appareil photo possèdent chacun 22 ou 23 condensateurs au tantale. En 2010, 417 millions de téléphones ont été fabriqués, soit environ 9,3 milliards de condensateurs pour cette seule application.</p> <p>(b) Condensateurs au tantale : Ce sont des condensateurs à électrolyte gélifié ou solide, dont le matériau diélectrique est une très fine couche d'oxyde de tantale (Ta2O5), un matériau réfractaire dont la transformation se fait par frittage à très haute température. L'oxyde de tantale possède une permittivité élevée ce qui permet de réaliser des condensateurs de plus faible volume que ceux à base d'aluminium et de capacité identique, très fiables, robustes et utilisables entre -55 et +125°C. Par sa taille réduite et sa grande capacité, le condensateur au tantale tend donc à remplacer le condensateur électrolytique à aluminium.</p>	<p>Sur les propriétés, les utilisations et le marché du tantale : Panorama 2011 du marché du tantale - Rapport BRGM RP-61343-FR, disponible au lien suivant : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-61343-FR.pdf</p> <p>Sur les matériaux diélectriques : http://www.universalis.fr/encyclopedie/dielectriques/</p>
CARTE électronique	Condensateurs	Niobium	L'oxyde de niobium est une substance diélectrique utilisée dans des condensateurs . Il a une constante diélectrique élevée (de l'ordre de 20 à 25).	Les condensateurs à oxyde de niobium ont des propriétés similaires aux condensateurs tantale mais présentent un prix inférieur. Ils sont de plus en plus courants, bénéficiant d'une baisse du prix de leurs matériaux au cours des dernières années. L'oxyde de niobium (Nb2O5) est incorporé dans la structure diélectrique soit en tant que dopant dans une couche du matériau empêchant les fuites de courant ou en tant que couches de ce matériau.	<p>Sur les différents types de condensateurs : http://fr.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=infozone&file=electroniques/capacitors</p> <p>Sur les propriétés du niobium : http://www.universalis.fr/encyclopedie/dielectriques/</p>
CARTE électronique	Condensateurs	Palladium	Le palladium sert principalement à la fabrication des condensateurs céramiques multicouches ; pour la métallisation des terminaisons en alliage avec de l'argent voire de l'or. Sont valorisées ses propriétés de résistance à la corrosion, son caractère réfractaire ainsi que sa ductilité et sa malléabilité.	<p>(a) 13% du volume de palladium produit servirait pour ce secteur, surtout pour la production de composants électriques. L'usage dominant du palladium reste ici la fabrication des condensateurs céramiques multicouches. Ces condensateurs sont désormais omniprésents dans tous les appareils électroniques. Tous ne contiennent pas du palladium, et l'évolution technologique conduit à une réduction de la quantité de palladium nécessaire pour une capacité donnée. Il est estimé qu'un téléphone portable contient environ 15 mg de palladium.</p> <p>(b) Les condensateurs céramiques multicouches sont extensivement utilisés par les fabricants de téléphone. Grâce à leur très petite taille, ces condensateurs sont la solution idéale pour des applications électroniques compactes. Les dispositifs peuvent être montés en grand nombre sur des circuits imprimés. Le processus multicouche permet de créer des dispositifs extrêmement compacts, certains ne sont guère plus grands qu'un grain de sable. Dans de nombreuses applications, les condensateurs céramiques multicouches ont largement remplacé les condensateurs en tantale qui sont beaucoup plus chers et présentent des risques d'instabilité et d'explosion.</p> <p>(c) Un alliage argent-palladium est utilisé pour la métallisation des terminaisons. L'addition d'un fort pourcentage de palladium renforce la tenue à la corrosion, améliore la liaison avec les électrodes, empêche la diffusion d'argent sous polarisation électrique, diminue la solubilité dans l'étain et les alliages d'étain. Ce dépôt présente typiquement une épaisseur maximale de 60 µm. Plus spécifique de la micro-électronique, l'alliage or-platine présente des propriétés voisines avec une meilleure résistance à la corrosion</p>	<p>Sur le platine et les platinoïdes en général : http://www.universalis.fr/encyclopedie/platine-et-platinoïdes/ et http://www.encyclo-ecolo.com/Palladium</p> <p>Sur les condensateurs céramiques multicouches : http://fr.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=infozone&file=electroniques/ceramic-multilayer-capacitors et http://www.eurofarad.com/files/catalogues/pdf_designation1/02_Ceram_General_info.pdf</p>

Éléments du téléphone	Composant spécifique	Élément / substance	Utilité	Compléments d'informations	Sources
CARTE électronique	Condensateurs	Strontium Baryum Titane	Substances en association pour la réalisation de condensateurs améliorés .	(a) Les condensateurs réalisés en titanate de baryum-strontium sont ajustables électriquement, ce qui permet d'assurer un meilleur transfert de l'énergie entre l'amplificateur de puissance et l'antenne d'un téléphone mobile. Ces fonctionnalités sont particulièrement utiles pour les mobiles équipés de 4G. (b) Ces condensateurs permettent d'améliorer la qualité des appels, ou d'éviter certaines problématiques de fonctionnement liées au fait que l'utilisateur porte le combiné à proximité de son oreille et qu'il l'en éloigne. En outre, la baisse de la consommation énergétique de l'amplificateur permet d'allonger l'autonomie de la batterie.	Sur l'adaptation des condensateurs pour l'amélioration des performances des téléphones portables : http://www.electroniques.biz/index.php/component/k2/item/418259/st-adapte-de-facon-dynamique-1%E2%80%99antenne-des-telephones-sans-fil et http://www.electronique-mag.com/article6239.html
CARTE électronique	Composants et circuits intégrés	Néodyme Samarium Fer Cobalt Praséodyme	Le néodyme est utilisé dans les aimants permanents pour ses propriétés magnétiques , en alliage avec du fer et du bore. Ses dispositifs servent notamment aux microphones et aux haut-parleurs.	(a) La fabrication d'aimants permanents est l'application la plus consommatrice de terres rares à l'échelle mondiale, représentant 20 à 23% en tonnage des usages et près de 53 % de la valeur totale du marché des terres rares. Ce secteur représente 89% de l'utilisation du néodyme. La principale application des aimants permanents est la transformation d'énergie mécanique en énergie électrique (générateurs) ou inversement (moteurs électriques). Ils sont aussi utilisés pour les haut-parleurs et écouteurs d'un grand nombre d'appareils électroniques. (b) L'intérêt des aimants permanents à terres rares est que le volume et le poids nécessaires pour une performance magnétique équivalente est bien inférieur à celui des aimants de technologies plus anciennes. Certaines terres rares ont en effet des propriétés magnétiques remarquables. Leurs courbes d'aimantation montrent souvent de fortes hystérésis (lorsque l'on applique un champ magnétique sur le matériau, celui reste aimanté). Cette propriété est combinée à la propriété d'interaction avec des éléments de transition (principalement le fer et le cobalt) pour produire les aimants : samarium-cobalt (SmCo5 et Sm2Co17), et surtout néodyme-fer-bore (Nd2Fe14B), les plus coercitifs (c'est-à-dire qu'il est difficile d'annuler l'aimantation du matériau) connus à ce jour et produits à l'échelle industrielle. Cet alliage permet d'obtenir une structure exceptionnelle, à la fois capable de garder ses propriétés magnétiques de manière permanente, grâce au métal de transition, et de concentrer une force d'aimantation extrêmement puissante dans un très faible volume, grâce à la terre rare. (c) Les aimants samarium-cobalt ont été développés à partir des années 1970. Ils possèdent la meilleure résistance connue à la démagnétisation. Ils sont aujourd'hui de plus en plus concurrencés par les aimants néodyme-fer-bore, produits à un coût moindre. (d) Le praséodyme peut se substituer au néodyme ou au samarium, du fait de propriétés similaires. Il est donc utilisé en substitution partielle dans les deux types d'aimants, sans en réduire les performances magnétiques. Ce secteur représente 73% de l'utilisation du praséodyme	Sur les propriétés, les utilisations et le marché des terres rares : Panorama 2014 du marché des terres rares - Rapport BRGM RP-65330-FR, disponible au lien suivant : http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/documents/Panoramas_Metaux_Strateg/rp-65330-fr-terresrarespublic.pdf
CARTE électronique	Composants et circuits intégrés	Dysprosium	Utilisé en substitution partielle du néodyme dans les aimants permanents néodyme-fer-bore et du samarium dans les aimants permanents samarium-cobalt pour augmenter leur résistance à la démagnétisation.	La fabrication d'aimants permanents représente la principale utilisation du dysprosium (à 98 %). L'ajout de dysprosium ou éventuellement de terbium permet de renforcer la résistance à la démagnétisation de l'aimant aux hautes températures. On passe ainsi de températures d'utilisations maximales de 80 °C à plus de 200 °C. Cette caractéristique est très recherchée en particulier pour leur usage dans les moteurs des voitures ainsi que dans les génératrices des éoliennes, où les températures montent très vite dans ces ordres de grandeur. La masse de dysprosium ajoutée peut aller de 2 à 11 % de la masse totale de l'aimant. Compte tenu du prix élevé de ce métal, le prix de l'aimant peut être multiplié par deux, facteur influençant le choix de son utilisation par les consommateurs finaux.	Sur les propriétés, les utilisations et le marché des terres rares : Panorama 2014 du marché des terres rares - Rapport BRGM RP-65330-FR, disponible au lien suivant : http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/documents/Panoramas_Metaux_Strateg/rp-65330-fr-terresrarespublic.pdf
CARTE électronique	Cellule	Lithium	Principal composant des batteries lithium-ion ou lithium-ion-polymère . Son valorisée ici deux propriétés majeures du lithium : sa " légèreté " avec une faible masse volumique (0,534 g/cm3 pour le métal) et son potentiel électrochimique fortement négatif (le potentiel standard du couple Li+/Li est de -3,04 V).	(a) Les batteries lithium-ion sont constituées d'une cathode, en général formée d'un oxyde mixte de lithium, principalement LiCoO2 mais aussi LiMn2O4, LiNiO2, LiFePO4..., d'un électrolyte constitué de fluorophosphate de lithium (LiPF6), fluoroborate ou chlorate de lithium, dissous dans un solvant organique (carbonate d'éthylène, diméthyl ou diéthyl carbonate), d'un séparateur perméable aux ions Li+ et d'une anode généralement en graphite. Lors de la charge, les ions Li+ de la cathode viennent s'intercaler entre les feuillets du graphite. Lors de la décharge, ils circulent en sens inverse. (b) La consommation des piles lithium-ion est en plein développement avec des applications dans les téléphones mobiles, les ordinateurs portables et surtout les véhicules électriques ou hybrides. C'est dans ce secteur que le lithium est utilisé avec le plus de profit du fait de la puissance électrique élevée délivrée par unité de masse. (c) Les batteries lithium-métal-polymère, sont constituées d'une anode en lithium métallique, d'un électrolyte solide de polyoxyéthylène renfermant des sels de lithium et d'une cathode en oxyde de vanadium ou phosphate de fer, carbone et polymère. Elles présentent l'avantage d'être solides et de ne pas risquer d'exploser mais l'inconvénient d'avoir un fonctionnement optimal à 85°C. (d) D'autres types de batteries sont utilisées dans les téléphones portables, comme LaNi5 ou MmNi4-x(Al,Co,Mn)x (avec Mm = mischmétal = un mélange de terres rares cériques = cérium (45-50%), lanthane (env. 25%), néodyme (15-20%), praséodyme (env. 5%). Ce mélange permet de profiter au mieux des propriétés oxydantes du cérium.)	Sur les propriétés, les utilisations et le marché du lithium : Panorama 2011 du marché du lithium - Rapport BRGM RP-61340-FR disponible au lien suivant : https://hal-brgm.archives-ouvertes.fr/halshs-00809298/document Sur leur fonctionnement et leurs caractéristiques des batteries lithium-ion : http://www.androidpit.fr/guide-batterie-android Sur les risques d'explosions des batteries lithium-ion : http://cen.acs.org/articles/94/i45/Periodic-graphics-Li-ion-batteries.html
BATTERIE	Cellule	Cobalt	Composant majeur des batteries lithium-ion ou lithium-ion-polymère. Les cathodes LiCoO2 ont une structure lamellaire qui est particulièrement bien adaptée au fonctionnement des accumulateurs.	(a) Fonctionnement électrochimique : en charge, la cathode de cobaltate de lithium (LiCoO2) est reliée à la borne positive d'un générateur, permettant de libérer des cations Li+ dans l'électrolyte en direction de l'anode qui est reliée à la borne négative du générateur : l'anode « s'épaissit » d'un dépôt de lithium venu de la cathode à travers l'électrolyte, tandis que la cathode se « vide » de son lithium entre les couches d'octaèdres CoO6. En décharge, la cathode se « reconstitue » en fixant des cations Li+ de l'électrolyte qui viennent s'insérer entre les couches d'octaèdres CoO6 en absorbant un électron tandis que des cations Li+ passent en solution dans l'électrolyte du côté de l'anode en libérant un électron : ces réactions sont à l'origine de la force électromotrice de ce type d'accumulateurs. (b) Cobalt dans les batteries au lithium : Le principal secteur de consommation du cobalt est désormais celui des batteries rechargeables. Le cobalt est employé dans les cathodes des batteries nickel-cadmium (Ni-Cd), des batteries nickel-hydrures de métal (NiMH) et lithium-ion (Li-ion). Dans ces dernières, le matériau de la cathode peut contenir 60 % en masse de cobalt sous différentes formes chimiques, la principale étant encore l'oxyde mixte de lithium et de cobalt, ou cobaltate de lithium (LiCoO2). Les batteries lithium-ion au cobalt sont pour l'instant celles qui ont la plus grande capacité d'accumulation d'énergie par unité de masse. (c) Risques et substitution : Dans les batteries Li-ion de type LCO (avec cathodes de cobalt), la température ne doit en aucun cas excéder 130 °C, car à 150 °C les cellules deviennent très instables avec inflammation des gaz et propagation rapide aux autres cellules, avec une réaction en chaîne provoquant la destruction en quelques secondes du pack complet. Compte tenu de leur avantage sur la durabilité de la charge, les LCO sont maintenant réservées à l'électronique portable (téléphones, ordinateurs, tablettes, caméras, etc.). Des batteries lithium-métal-polymère (LMP), sans cobalt, ont été développées plus récemment pour les secteurs du véhicule électrique, mais aussi dans les secteurs des satellites et des télécommunications.	Sur les propriétés, les utilisations et le marché du cobalt : Panorama 2013 du marché du cobalt - Rapport BRGM RP-62626-FR disponible au lien suivant : http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/documents/Plaquettes/rp-63626-fr-cobalt.pdf Sur le cobalt et les risques de pénurie : http://www.consoglobe.com/la-disparition-previsible-du-cobalt-cg Sur le secteur du cobalt : http://national.udppc.asso.fr/index.php/40-aic-2011/classification-periodique/381-cobalt-presentation
BATTERIE	Cellule	Carbone	Le graphite est le seul "non-métal" à être un bon conducteur. Dans les batteries, il est le principal composant des anodes. On valorise ici son inertie chimique, sa résistance à l'oxydation et sa conductivité électrique .	On utilise du graphite naturel traité sous forme de graphite "sphérique". Ce graphite a été développé pour optimiser l'usage du graphite dans les anodes (pôle négatif) des batteries lithium-ion. La structure tridimensionnelle des particules permet d'augmenter leur densité et la compacité de l'anode. Une faible surface active par unité de poids est également recherchée.	Sur les propriétés, les utilisations et le marché du graphite : Panorama 2011 du marché du graphite - Rapport BRGM RP-61339-FR disponible au lien suivant : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-61339-FR.pdf
BATTERIE	Cellule	Fluor	Composant de l' électrolyte des batteries lithium-ion , pour ses propriétés physico-chimiques et électroniques remarquables.	Le fluor est l'élément le plus électronégatif et le plus oxydant. Le diamètre de l'atome de fluor, proche de celui de l'atome d'hydrogène ainsi que sa capacité à former des liaisons covalentes fortes (faiblement polarisables mais fortement polarisées) avec presque tous les éléments, sont à l'origine de ses multiples applications.	

Éléments du téléphone	Composant spécifique	Élément / substance	Utilité	Compléments d'informations	Sources
BATTERIE	Cellule	Manganèse	Utilisé en variante de la cathode au cobalt dans les batteries lithium-ion . C'est son fort potentiel électrochimique qui est valorisé ici.	Dans les piles alcalines ou salines où il est très utilisé, il joue un rôle de dépolarisant car, étant plus oxydant que H3O+, il évite la formation, par électrolyse, de H2 qui formerait autour de l'électrode une couche isolante et arrêterait ainsi la pile.	Sur les principaux métaux contenus dans un téléphone portable : http://www.compoundchem.com/2014/02/19/the-chemical-elements-of-a-smartphone/ Sur les différentes technologies de batteries : http://www.masolise.com/comparatif-technologie-batterie
BATTERIE	Cellule	Vanadium Phosphore	Utilisé dans les cathodes des batteries-lithium-métal-polymère pour ses propriétés structurales et sa forte capacité.	Entre dans la composition des nouvelles batteries lithium-métal-polymère (destinées aux appareils portable mais aussi aux voitures électroniques) sous forme de deux types d'électrodes : (a) Cathodes en phosphate de lithium-vanadium : La technologie lithium-ions utilise des cathodes en oxyde de lithium-cobalt, LiCoO2 qui peuvent être remplacées par des cathodes en phosphate de lithium-vanadium, Li3V2(PO4)3, associé ou non à du phosphate de lithium-fer, LiFePO4. Ces batteries sont plus sûres vis-à-vis des risques d'explosion et ont une puissance supérieure aux technologies utilisées jusqu'alors. (b) Cathodes à dioxyde de vanadium et graphène : La structure unique VO2-graphène permet de rassembler toutes les propriétés recherchées pour l'électrode d'une batterie lithium-ion puissante. En effet, l'oxyde de vanadium est connu pour être un matériau prometteur pour la fabrication des électrodes des batteries lithium-ion grâce à sa structure et sa forte capacité.	Sur les batteries lithium-métal-polymère : http://www.americanvanadium.com/lithium-vanadium-batteries.php et https://www.france-science.org/spip.php?page=imprimer_articulo&id_article=3205
BATTERIE	Enveloppe	Aluminium	Utilisé dans le boîtier de la batterie, substance classiquement utilisée pour les enveloppes et les emballages pour sa malléabilité et sa faible densité .	On peut ainsi fabriquer des feuilles minces en aluminium présentant une épaisseur pouvant atteindre 5,5 µm et l'utiliser dans la métallisation sous vide.	
GENERAL	Tous	Cuivre	Un des éléments majoritaires (en masse) avec 10g de ce métal dans un téléphone classique. On le retrouve dans à peu près tous les composants électronique (dont circuits imprimés) d'un téléphone.	Sur le cuivre dans les téléphones portables : Rapport d'information au Sénat sur l'inventaire et le devenir des matériaux et composants des téléphones mobiles (MC. BLANDIN, 2016), disponible au lien suivant : http://www.senat.fr/rap/r15-850/r15-8501.pdf	
GENERAL	Tous	Fer	Un des éléments majoritaire (en masse) avec 4 à 5g de ce métal dans un téléphone classique. On peut le retrouver tant dans la carte électronique et ses composants mais aussi dans les éléments accessoires.		
GENERAL	Tous	Zinc	Un des éléments majoritaires (en masse) avec 1 à 2g de ce métal dans un téléphone classique. On peut le retrouver dans la carte électronique (les blindages ou revêtements de composants par exemple) et dans certains composants accessoires comme les connecteurs.	Sur certaines applications du zinc dans les composants électroniques : http://www.eazall.com/PublicDoc/Designing_for_Electronic_Applications.pdf Sur le zinc dans les téléphones portables : Rapport d'information au Sénat sur l'inventaire et le devenir des matériaux et composants des téléphones mobiles (MC. BLANDIN, 2016), disponible au lien suivant : http://www.senat.fr/rap/r15-850/r15-8501.pdf	
AUTRES	-	Chrome	-	Rare mais deux utilisations connues dans les téléphones portables : (1) Le chrome hexavalent (forme 6+ de l'élément chrome) est utilisé pour le placage métallique de la surface des téléphones portables, provoquant d'ailleurs des allergies parfois. (2) Le chrome est également utilisé pour la métallisation de certaines diodes Schottky*, très utilisées dans les appareils ultra-portables, comme les smartphones et les tablettes. <i>* Les diodes Schottky sont utiles en limitation de tension et en prévention de saturation des transistors. Elles sont également très appréciées comme diodes de commutation (électronique de puissance).</i>	Sur les risques dermatologiques liés à la présence de chrome dans les téléphones portables : Progrès en dermato-allergologie - Tome XIII (GERDA, 2007) disponible sur Google Books.
	-	Sodium	-	Rare mais parfois présent dans les polymères organiques utilisés dans l'électronique comme le Polystyrène sulfonate de sodium Source : http://www.mediachimie.org/sites/default/files/chimie-tic-junior_chapitre3.pdf	
	-	Calcium	-	Rare mais parfois utilisés dans l'industrie électronique sous forme de zirconate de calcium par exemple Source : http://www.slideshare.net/BENOUAHMANEMehdi/cazro3-zirconate-de-calcium-60461042	
	-	Thallium	-	Rare mais utilisé dans les dispositifs électriques et électroniques comme semi-conducteur et dans les alliages avec le plomb, le zinc, l'argent et l'antimoine pour augmenter la résistance à la corrosion Source : http://www.csst.qc.ca/prevention/reptox/Pages/fiche-complete.aspx?no_produit=8490	
	-	Sélénium	-	Rare mais parfois utilisé dans certains redresseurs de courant alternatif (qui convertissent le courant alternatif en courant continu, type de courant qui peut alimenter la batterie d'un téléphone portable par exemple). Les propriétés électriques du sélénium, notamment l'accroissement de sa conductivité quand il est exposé à la lumière, sont mises à profit dans les redresseurs de courant alternatif (redresseur fer-sélénium) Source : http://www.universalis.fr/encyclopedie/selenium/3-sources-et-utilisations-toxicite/ Ce type de redresseurs est aujourd'hui substitué par ceux au silicium Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Redresseur_au_sélénium	