

Dissection d'un téléphone portable et origine des matières premières

Isabelle Duhamel-Achin

*Chercheuse Responsable de l'Unité Géologie & Economie des Ressources Minérales
au Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM Orléans)*

Projet "L'homme augmenté ... par son smartphone ?"

2020-2021



7



Emission radio / Débat
(joute verbale ?)

SVT, Technologie, Français, Latin,
Anglais ...

Activités disciplinaires
liées au thème

Intervention BRGM

6

Dissection d'un
smartphone

Quels matériaux et quelles ressources
mondiales ? (SVT)

**Intervention
Mathieu Exbrayat ?**

5

Comment répondre aux besoins en
énergie liés à l'utilisation du smartphone ?

Recherches de données / Calculs
comparatifs (physique-chimie)

4

Smartphone et
consommation
d'énergie



Retour sur le projet

1

Présentation des nuages de mots

Visionnage des vidéos (démarche)

Thématique de l'année : le smartphone

Sondage : "Les
usages du
smartphone chez
nos élèves"

2

création avec le prof doc

via pronote

Construction de graphiques
pour présenter les résultats
(maths)?

Que se cache-t-il
derrière les usages
du smartphone ?

3

Intervention Stephane Hudec (ATOS)

Appréhension des notions : I.A.,
Algorithmes, Data center,

CESC : effets sur la
santé, l'attention ...



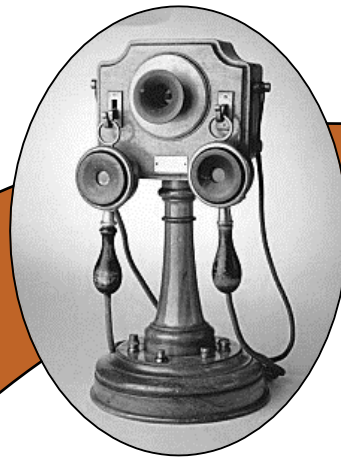
Petite histoire du téléphone

Invention du téléphone :

1871 Antonio Meucci

1876 Alexander Graham Bell

⇒ **Transmission de la voix**



1892 Téléphone Mildé
(bois et métal)

1935

Standardistes dans un
central téléphonique



⇒ **Commutation
manuelle**

1943 Premier téléphone en
bakélite (plastique dur)



⇒ **Commutation
automatique**

1973

Premier test sur un
téléphone mobile

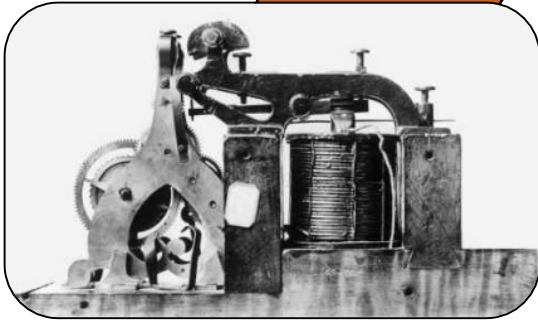


1983 Commercialisation
du DynaTAC8000 par
Motorola premier
téléphone portable
sans fil développé par
Martin Cooper

1835

Premier prototype de
télégraphe électrique
par Samuel Morse

⇒ **Transmission de codes par des
impulsions électriques**



*XIX^{ème} Découverte et
développement de
l'électricité !*

1794

Invention du télégraphe optique par
un ingénieur français Claude Chappe
(mât + bras articulés en acier
transmettant des signaux visuels) ⇒ **Transmission de signaux**

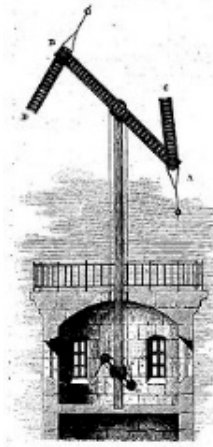


Fig. 10. — Télégraphe de Chappe.

Un téléphone portable... pourquoi ?

Les objectifs du téléphone au départ, lors de son invention :

- Communiquer
- Transmettre une information simple rapidement
- Couvrir une distance sans se déplacer

Design/forme qui change : taille de l'écran maintenant tactile, durée de l'autonomie de la batterie, capacité Bluetooth, résistance à l'usure, l'humidité...

= Quantité de matière et besoins en matériaux pour les fabriquer qui évoluent en fonction de nos applications, de nos attentes et de notre ingéniosité

Quels usages aujourd'hui d'un « smartphone » ?

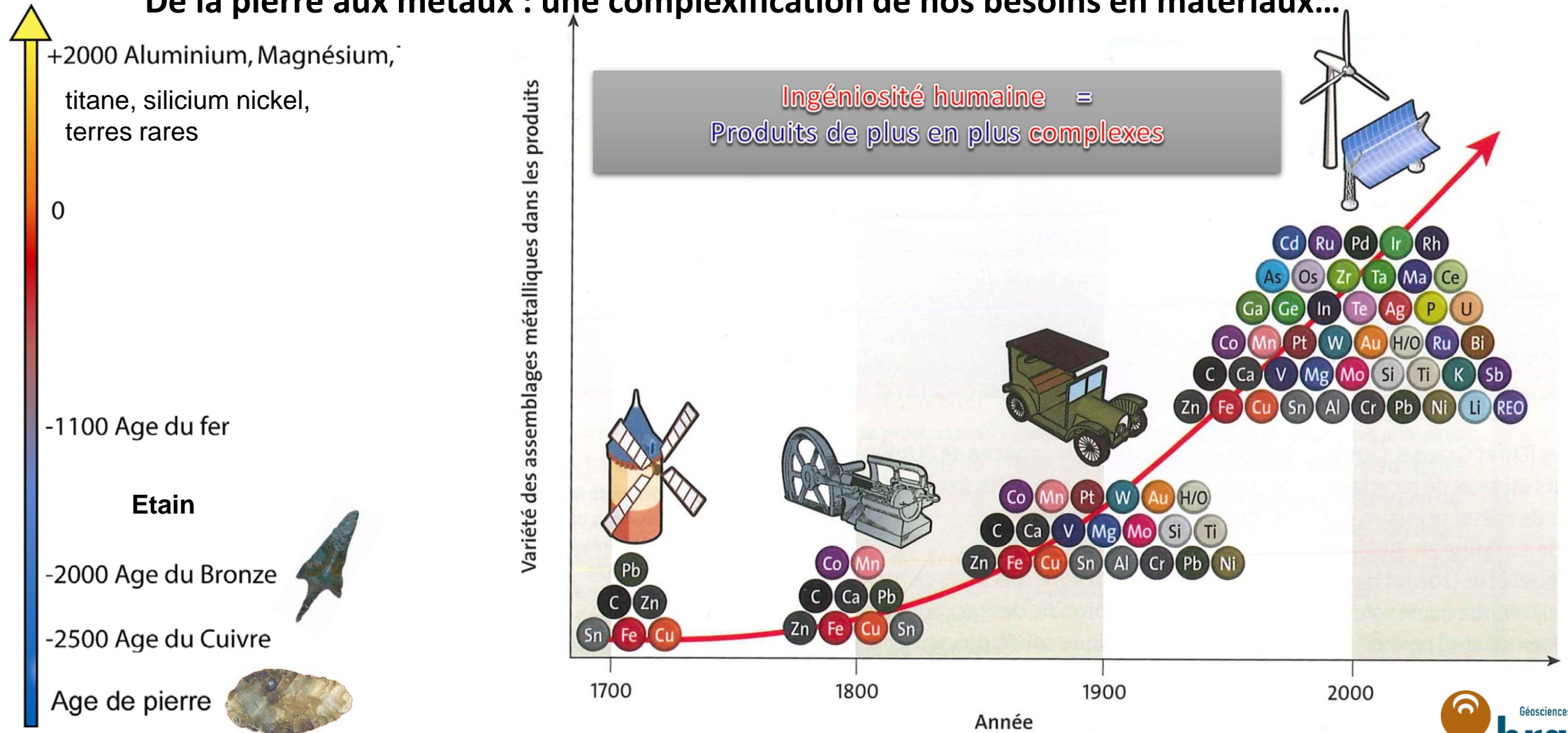
- Communiquer
- Agenda et répertoire numérique
- Naviguer sur internet, rechercher des informations
- Caméra, appareil photo, visionner des vidéos...
- S'orienter, trouver son chemin
- Jouer
- Ecouter de la musique ou la radio
- Audioguide et visites virtuelles...

Evolution du téléphone portable depuis 37 ans !



Toujours plus de ressources nécessaires à l'ingéniosité humaine !

L'Homme exploite les ressources naturelles et notamment minérales depuis la préhistoire. De la pierre aux métaux : une complexification de nos besoins en matériaux...



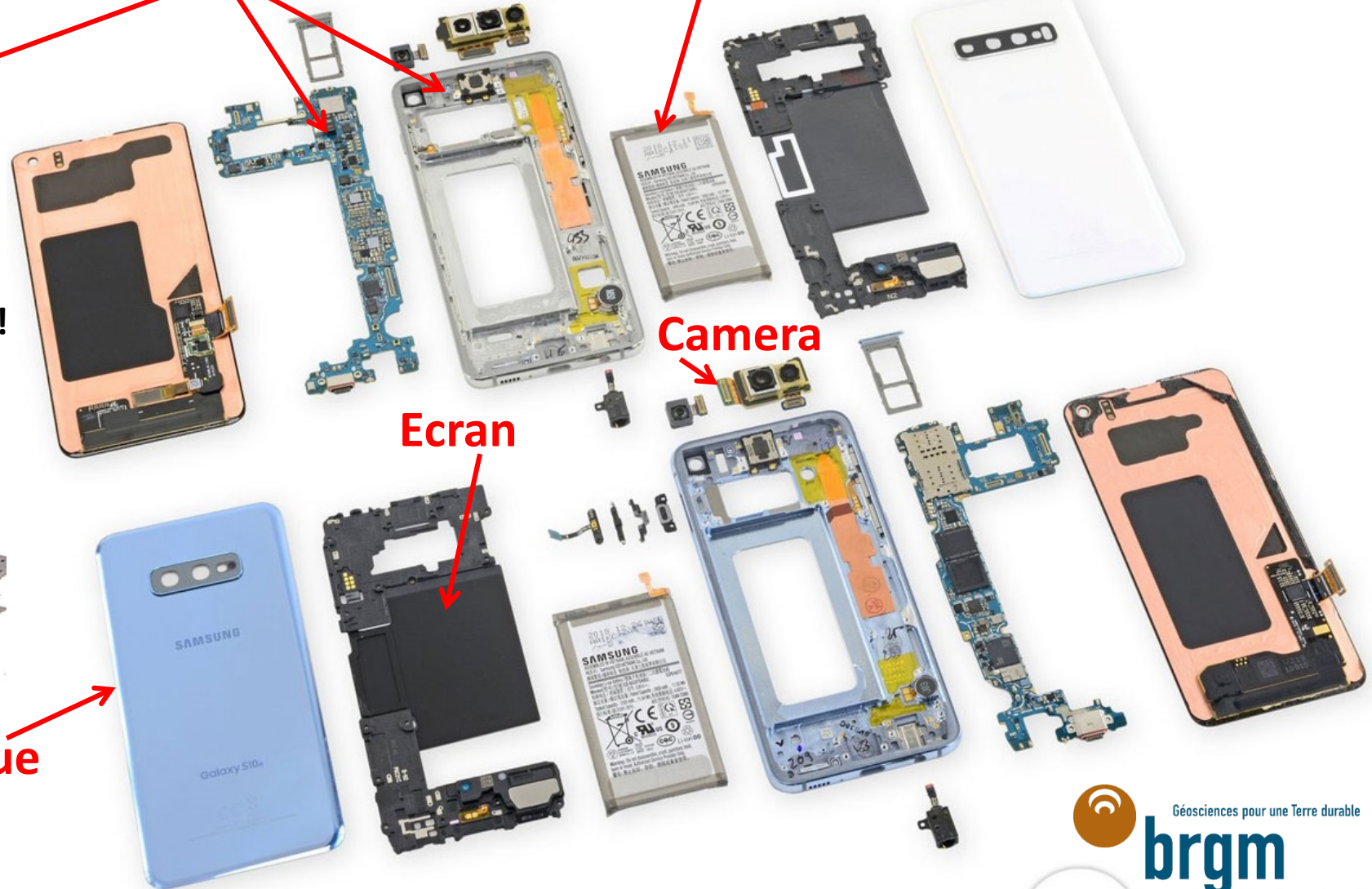
De quoi est fait un smartphone de nos jours ?



Composants électroniques

Batterie

Poids ~120-300g
500 à 1000 composants/pièces !



Les matières premières dans les smartphones

❑ Les **3/4 des Français** possèdent un téléphone portable
(Sourcing Crédoc N°4439, décembre 2018)

❑ Smartphones composés à **70% de matières premières minérales :**

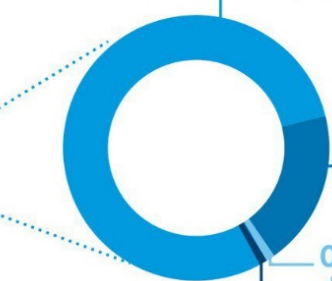
dont

- 40 à 60% de métaux**
- 30%-50% de matières plastiques et synthétiques**
- 10-20% de verre & céramique**

PROPORTION DES MÉTAUX

80 à 85 % de métaux ferreux et non ferreux :
cuivre, aluminium, zinc, étain, chrome, plomb...

15 à 20 % d'autres substances :
magnésium, carbone, cobalt, lithium, arsenic...

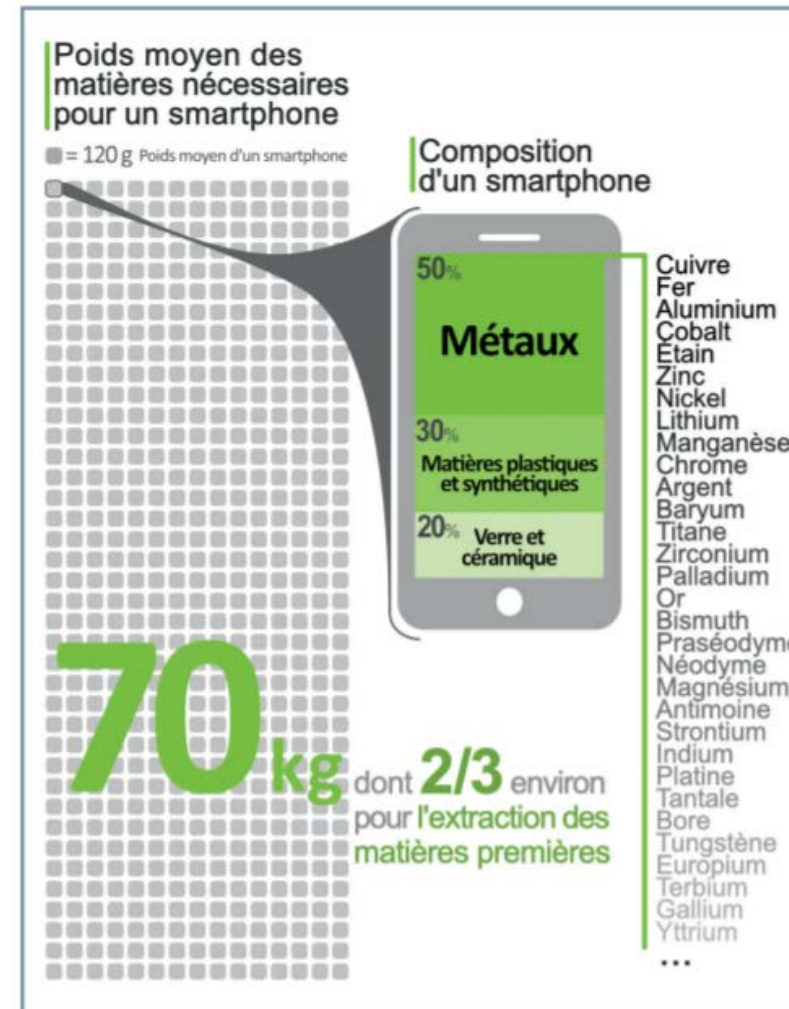


0,1 % de terres rares et métaux spéciaux :
europium, yttrium, terbium, gallium, tungstène, indium, tantale...

0,5 % de métaux précieux :
or, argent, platine, palladium...

Source: <https://www.usinenouvelle.com>

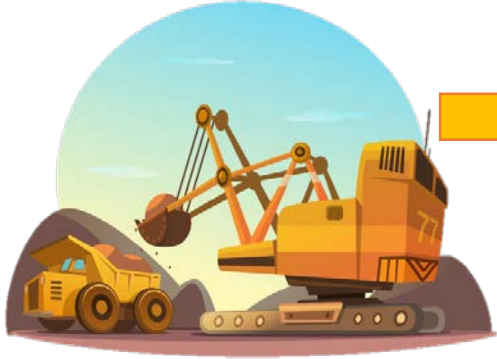
Environ **70 kg** matières premières mobilisées nécessaires à son cycle de vie



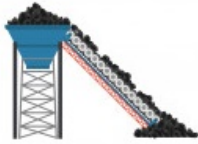
Sources : Ademe ; Sénat (rapport n° 850, 09/2016) ; Wuppertal Institut (2012), évaluation selon l'approche poids-matière de l'écologiste Friedrich Schmidt-Bleek
Infographie : Bertrand Gaillet

Le Cycle de vie d'un téléphone portable

Extraction des matières premières du sous-sol



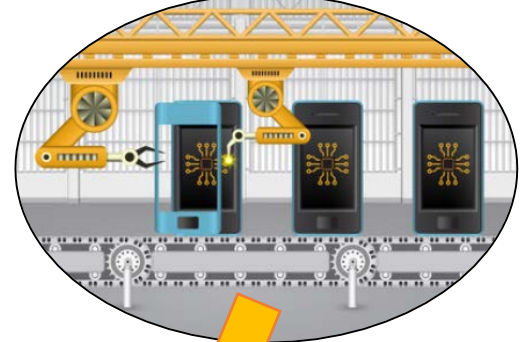
Transformation des minerais en métaux/matériaux



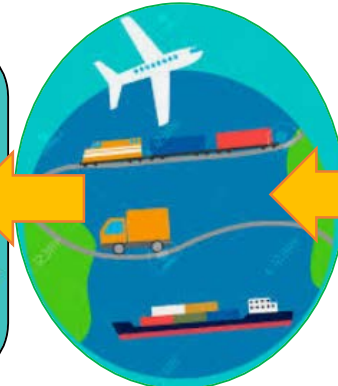
Fabrication de composants



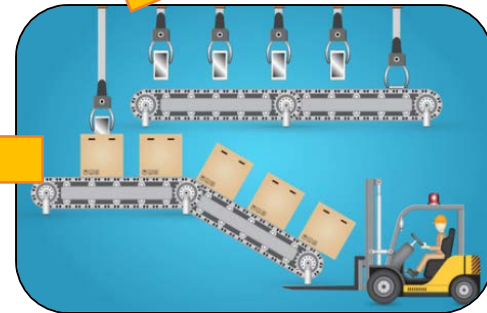
Usinage/Assemblage



Transport Distribution



Emballage



Achat/Vente



Usage



Récupération et tri



Recyclage



Entreposage en décharge

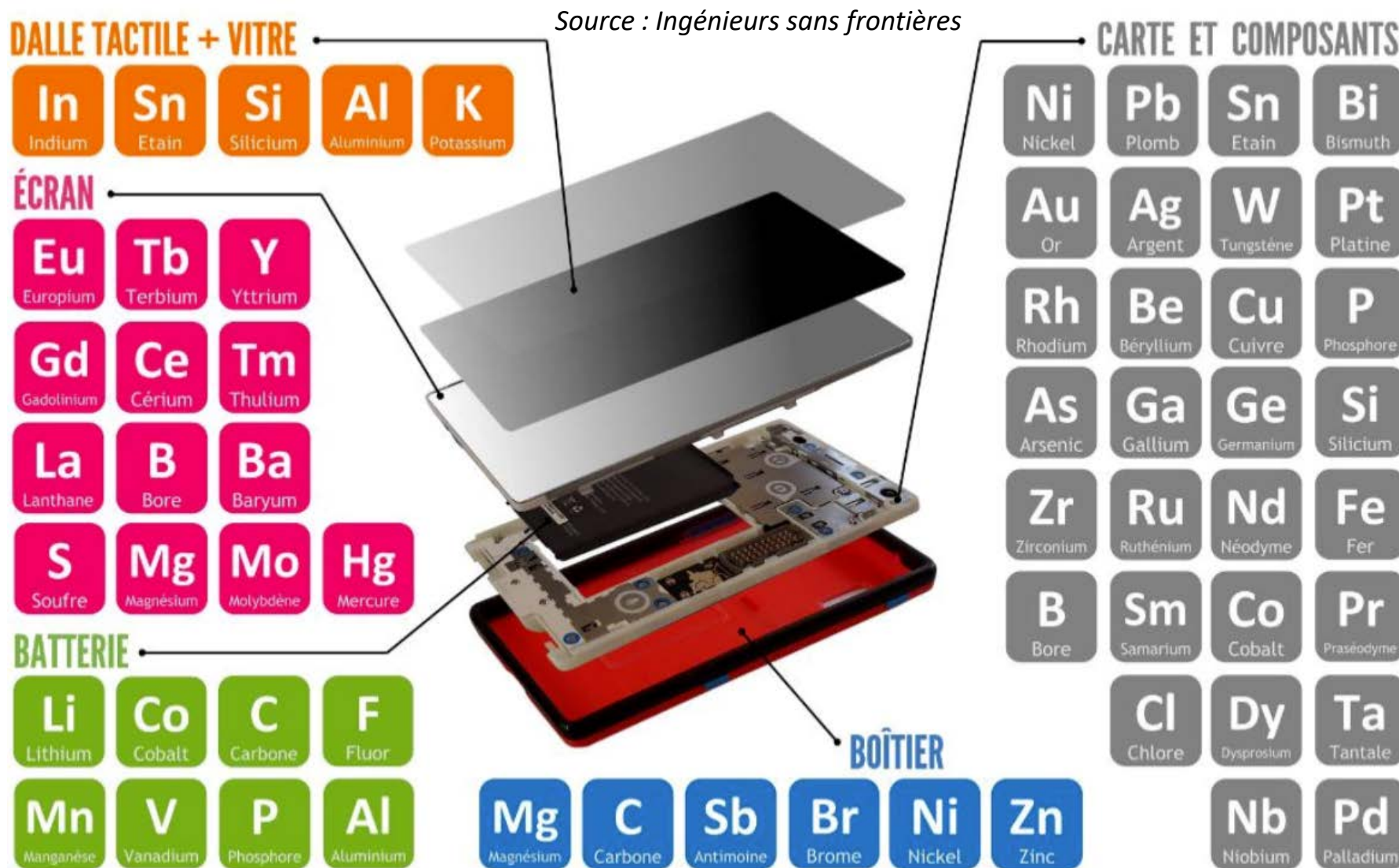


Fin de vie



Liste des éléments présents dans un smartphone

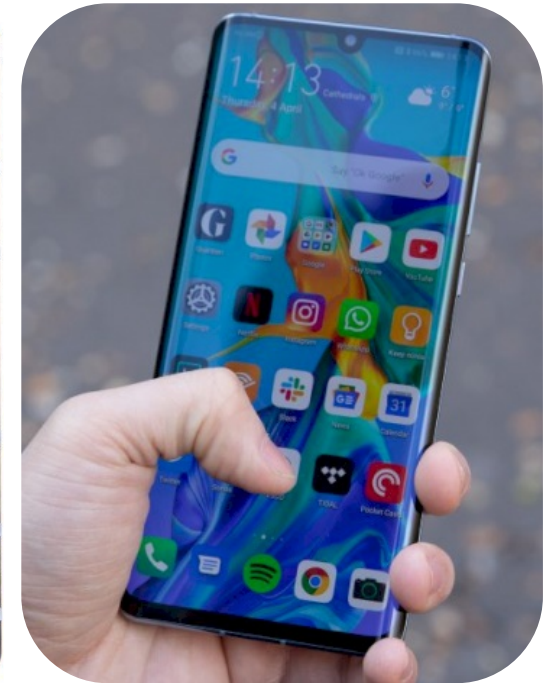
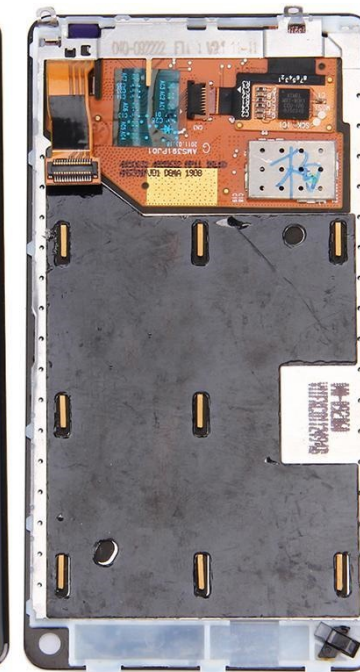
Une très grande variété d'éléments :
pratiquement la moitié du tableau périodique de Mendeleïev !



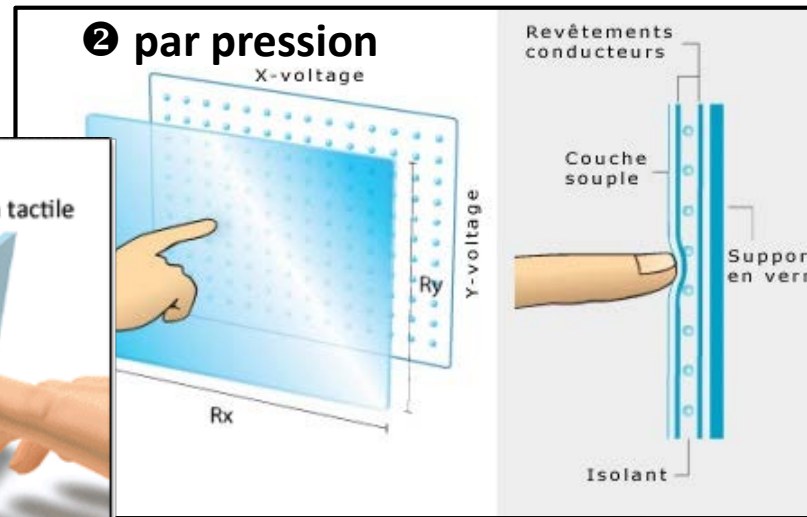
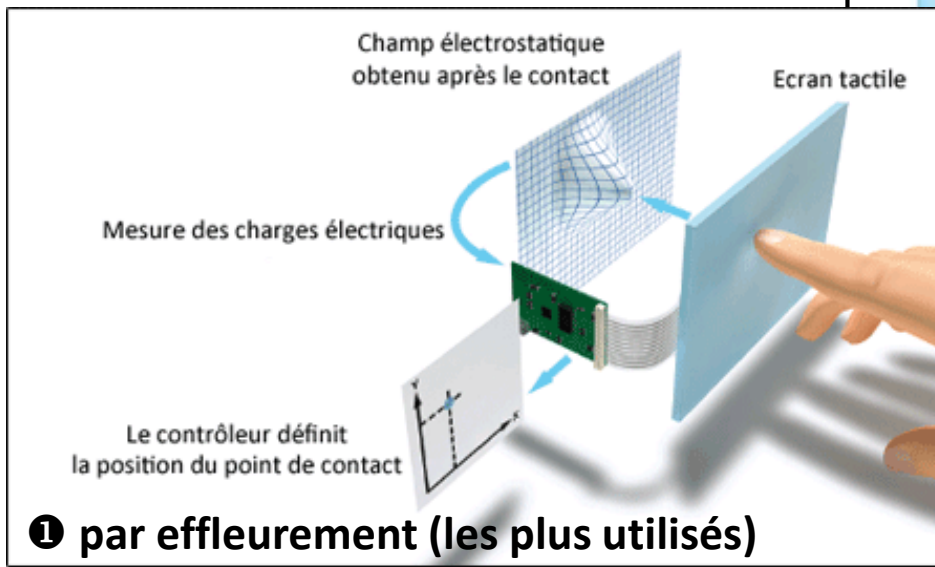
L'écran tactile



- L'écran est composé de plusieurs couches de plastique souple, de verre (oxydes de silicium, d'aluminium et de potassium) et de membranes conductrices qui contiennent divers métaux.
- Les métaux que l'on nomme « terres rares », comme l'euprécium (Eu), le praséodyme (Pr), le terbium (Tb), l'yttrium (Y), le gadolinium (Gd) et le gallium (Ga) aident à produire les couleurs (luminophores) et réduire la pénétration des UV.



Technologie capacitive ① ou résistive ②



Source: <https://wikitge-cmaisonneuve.profweb.ca>

- L'écran est aussi devenu tactile grâce à l'indium (In) et l'étain (Sn) présents dans un film transparent qui sert de conducteur d'électricité.



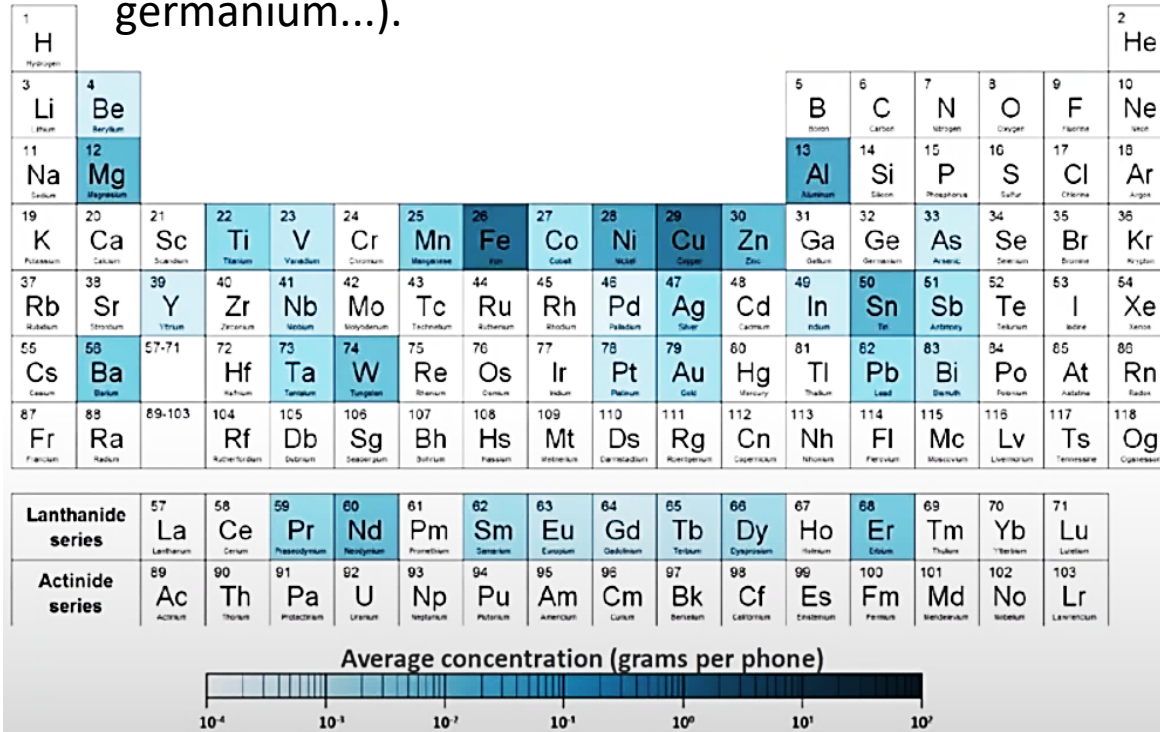
*Minerai d'étain
Cassitérite SnO_2
pouvant contenir d'autres
éléments métalliques comme
l'indium, le germanium, le
gallium...se forme dans des
roches granitiques*

- Des grilles conductrices sous tension permettent de détecter le champ électrique créé par les charges électrostatiques des doigts (point de contact et sens du mouvement).



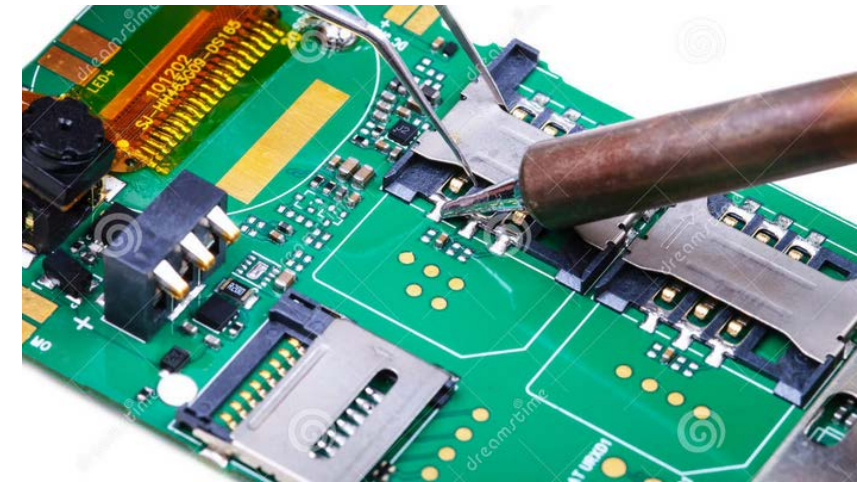
Les composants électroniques

- La carte électronique des téléphones portables concentre le plus les matériaux de valeur.
- Une carte-type = 1/3 de résine organique, 1/3 de fibres de verre et 1/3 de métaux.
- Métaux de base / communs** : surtout du cuivre, du fer et de l'aluminium,
- Métaux spéciaux** pour leurs propriétés spécifiques : l'étain, le plomb, le zinc, le nickel et le tantale
- Métaux précieux** en moindre quantité : argent, or, palladium ;
Chaque smartphone contient environ 300 mg d'argent et 30 mg d'or !
- Terres rares et petits métaux rares** en très faible quantité (néodyme, praséodyme, gallium, germanium...).

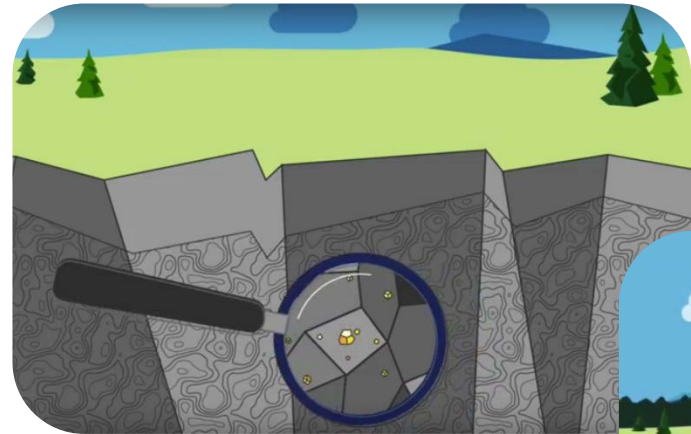


Teneurs moyennes élémentaires dans 85 téléphones portables fabriqués entre 1998 et 2013 (sans la batterie ; en grammes/téléphone)

⇒ Source : Christian B., Romanov A., Romanova I. & Turbini L. (2014) *J. Electron. Mater.* 43, p. 4199-4213.



Les métaux sont extraits des Mines

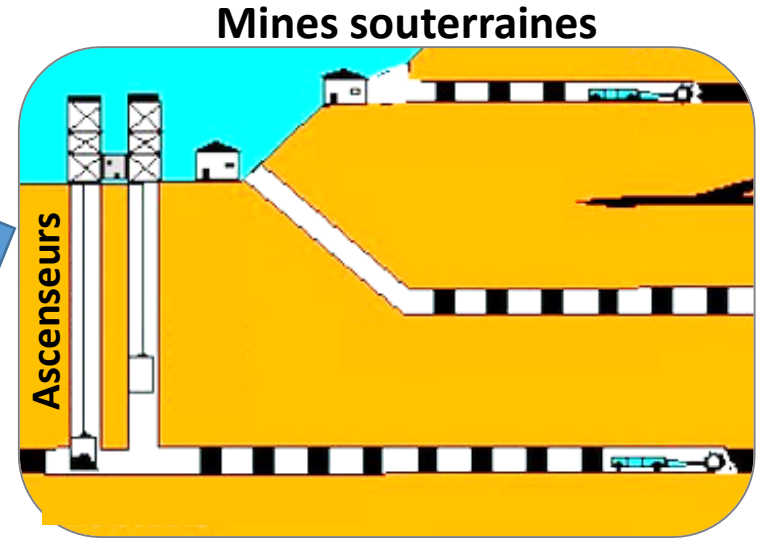
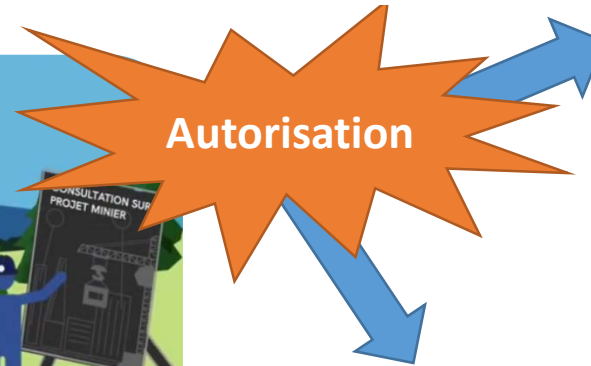


Exploration
= recherche de gisements

Gisement = minerai contenant une substance qui à de la valeur et dont l'extraction du sol est rentable



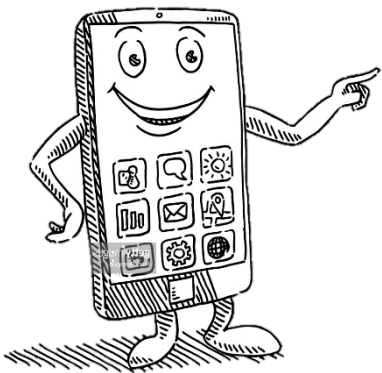
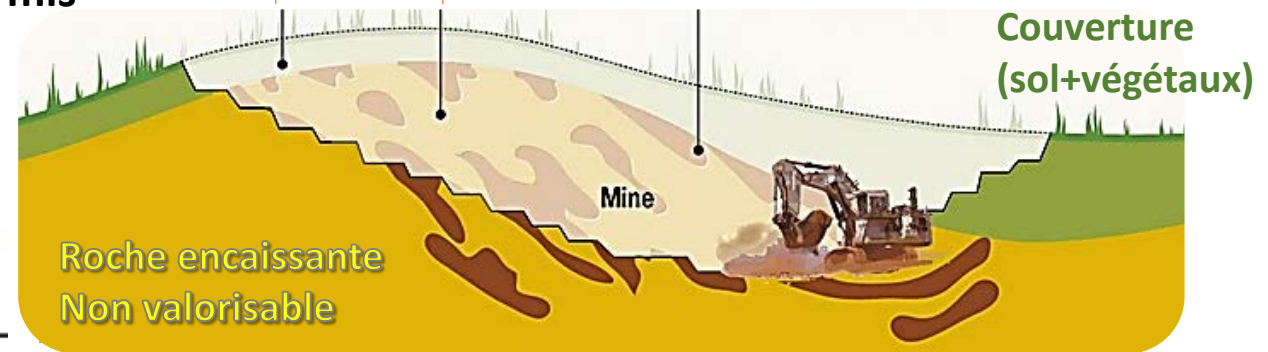
Consultation & demande de permis



Mines souterraines

Mines à ciel ouvert
Résidus/Déchets

Minerai contenant les métaux d'intérêt



Matières premières

Bénéfices partagés

Contrôles réguliers & Réhabilitation pendant et après

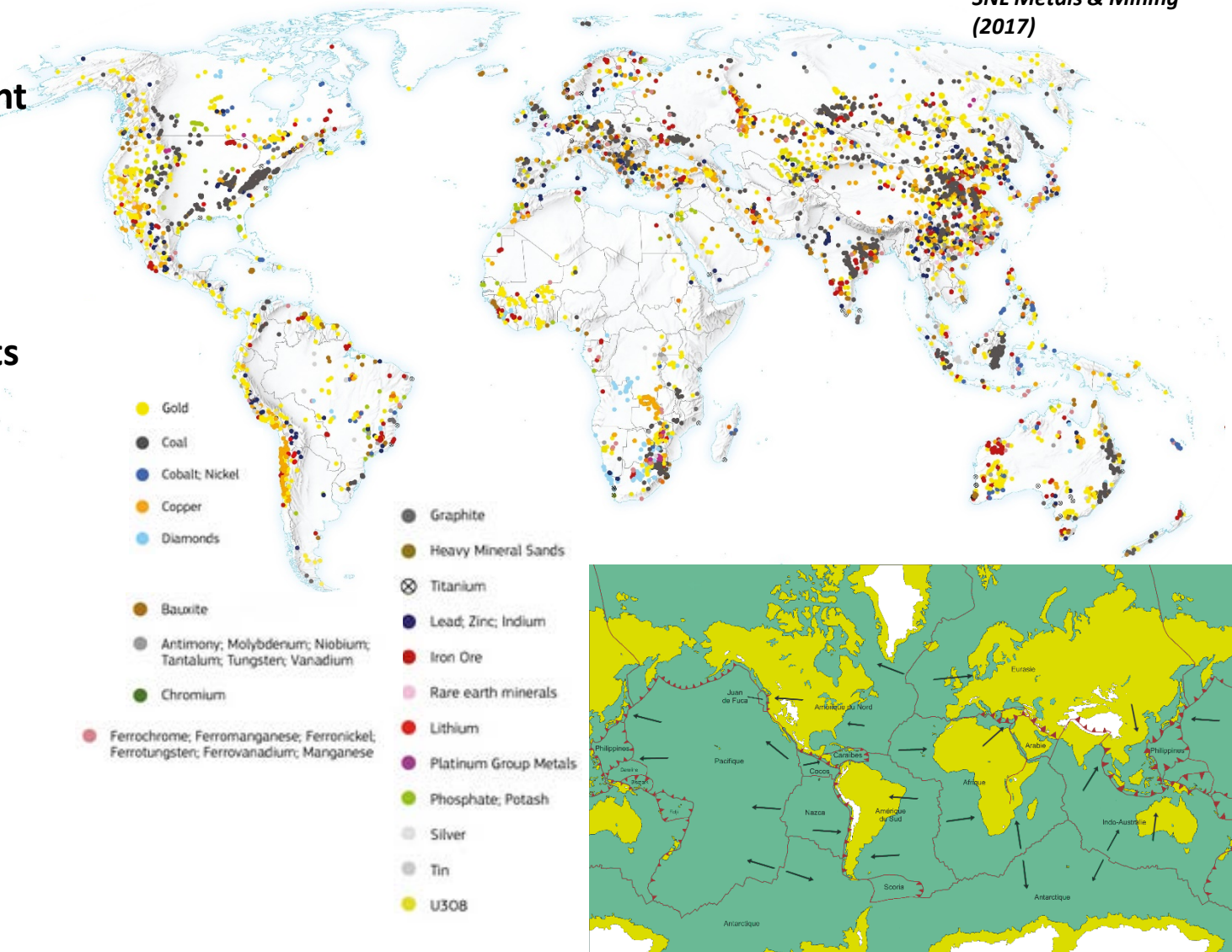
Exploitation = extraction du sous-sol & concentration/transformation par un procédé industriel

Répartition géographique des gisements

- La répartition mondiale des gisements est guidée par **la géologie** !
- Les ressources minérales ne sont **pas uniformément réparties** à la surface de la Terre
- La formation de gisements résulte de **long processus** qui se sont succédés à travers le temps, parfois pendant des **millions d'années**, et **liés à la dynamique** de la croute terrestre : les **mouvements** des plaques tectoniques, les processus de fusion (**volcanisme/magmatisme**), de **circulation de fluides** dans la croute, d'**altération**...
- Les **gisements** les plus **riches**, qui étaient présents en surface, ont été exploités depuis des centaines d'années par l'homme et se sont progressivement **épuisés**.
- On exploite maintenant **plus en profondeur**, à des **concentrations plus faibles en métaux** (les techniques d'exploitation se sont améliorées).

Carte des sites miniers en activité en 2017

Source: Base de données
SNL Metals & Mining
(2017)



Une grande variété de minerais !

Minerais de cuivre



Minerai d'or



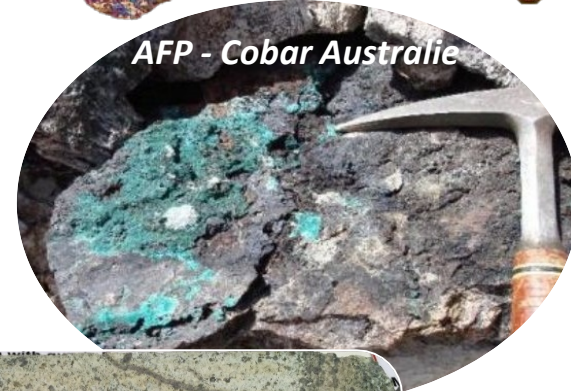
Minerai de graphite



Minerai de plomb-zinc et argent du Pérou

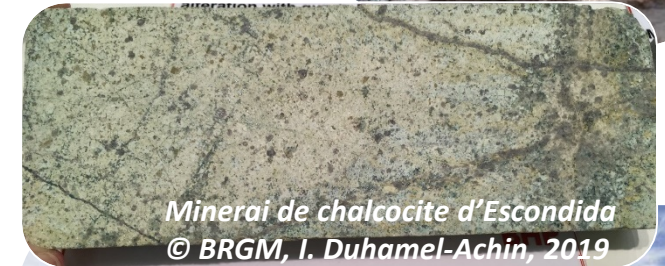


AFP - Cobar Australie



Mine d'or de Zloty Stok en Pologne

Minerai de terres rares au Groenland (pegmatite à eudialyte)
© BRGM, Nicolas Charles 2013



Minerai de chalcocite d'Escondida
© BRGM, I. Duhamel-Achin, 2019

Minerai de Fer rubané (90% des gisements de fer)

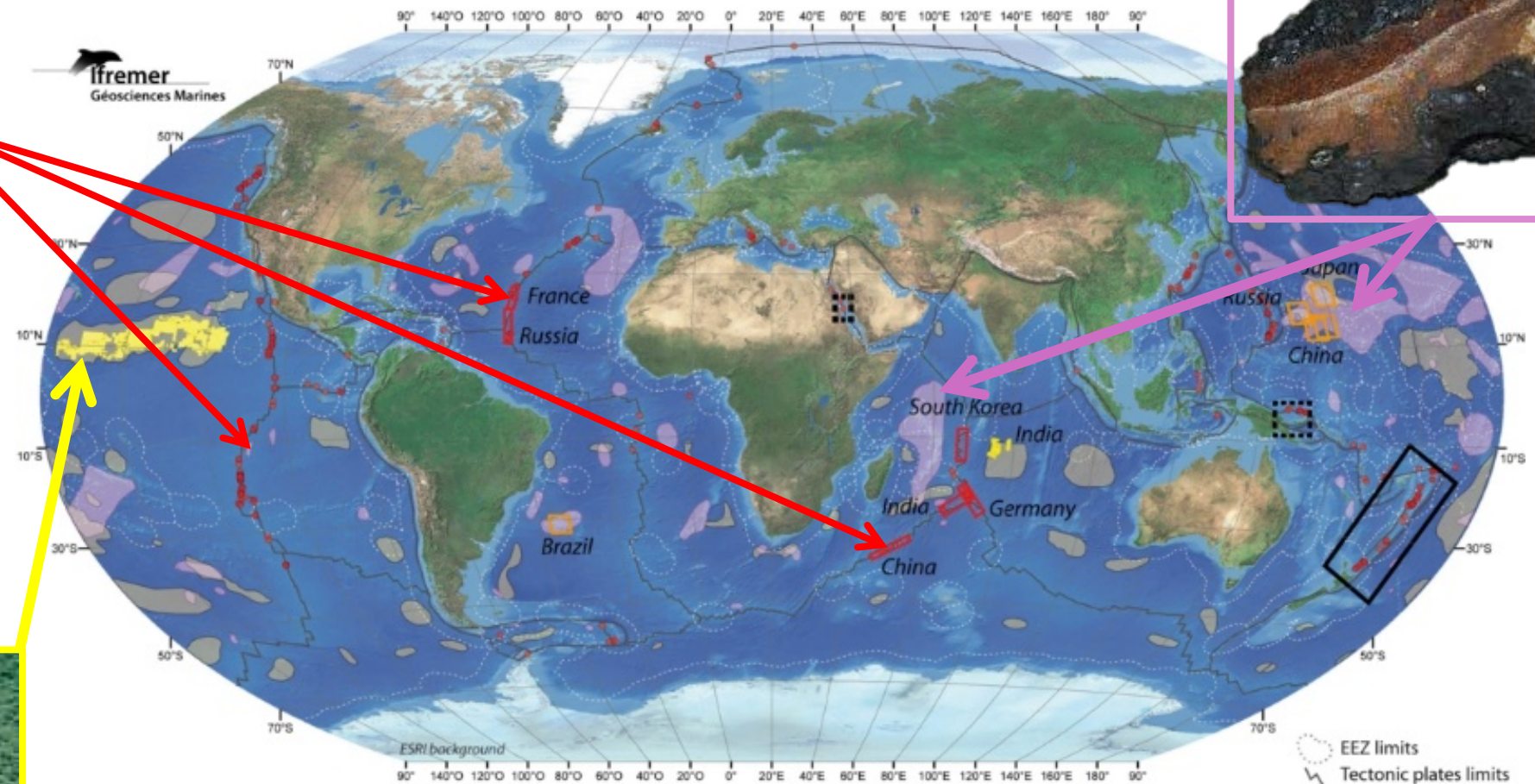
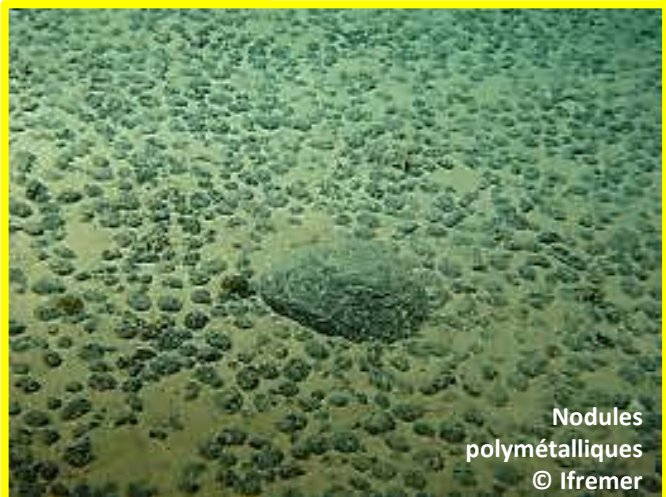
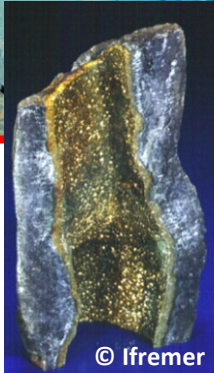
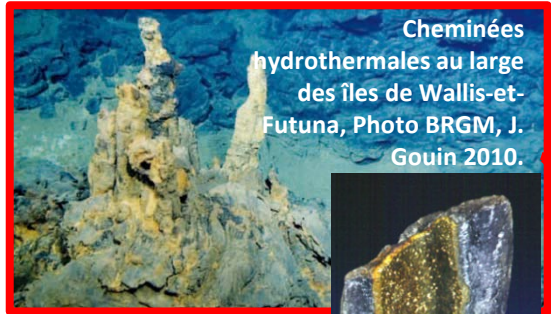


Minerai de Fer dans le port de Zhushan en Chine
© China Stringer Network



Mine du cuivre d'Escondida au Chili

Répartition des ressources métalliques marines profondes



Exploration contrats in International Seas (under ISA control) :

- Polymetallic nodules exploration
- Cobalt-rich ferromanganese crusts exploration
- Hydrothermal polymetallic sulfides exploration

Intra EEZ :

- Areas with polymetallic sulfides exploration licences
- Areas with polymetallic sulfides exploitation licences

- Polymetallic nodules areas
- Cobalt-rich ferromanganese crusts areas
- Hydrothermal polymetallic sulfides areas

EEZ limits
Tectonic plates limits

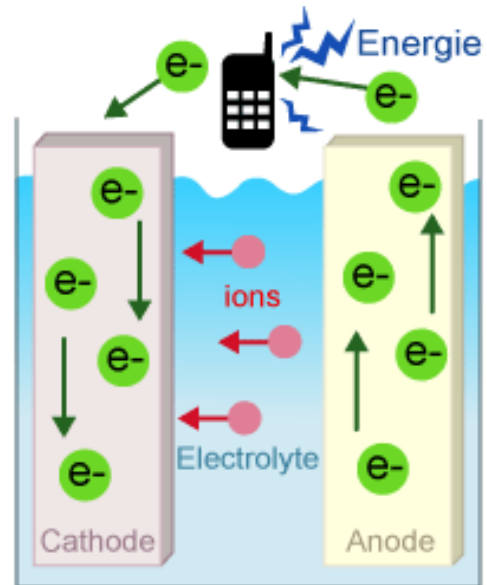
0 5 000 Km

Carte des ressources minérales grands fonds et permis d'exploration
(Source : Ifremer)

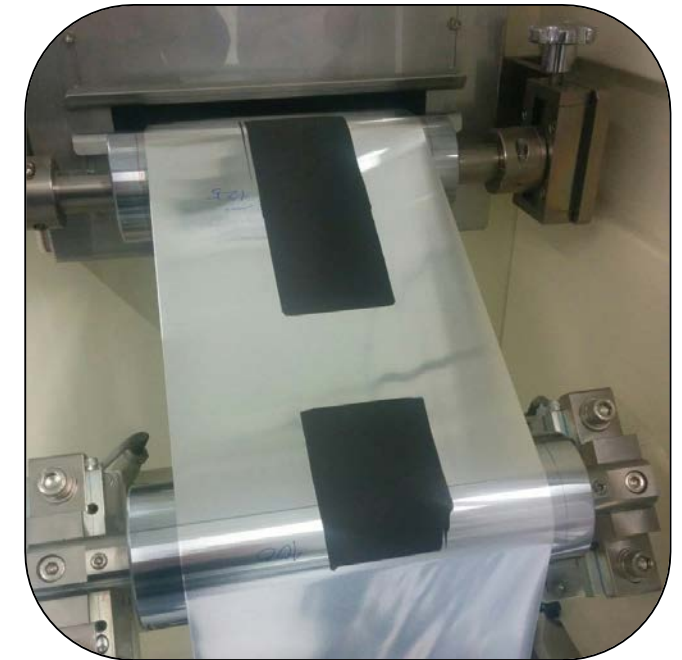
La batterie au lithium



- Comme tout objet électronique, un téléphone nécessite de l'**énergie** pour fonctionner.
- Les batteries en lithium-ion inventées dans les années 1990 (Sony) ont remplacé les vieilles batteries en plomb qui étaient moins performantes et plus nocives pour l'environnement.



- Ces batteries sont composées de **plusieurs substances chimiques** :
 - de l'oxyde de **lithium** et de **cobalt**, formant la **cathode** (électrode positive) ;
 - un **électrolyte fluoré** (film plastique/polymère et gel laissant passer les charges /électrons)
 - du **graphite** pour l'**anode** (électrode négative) ;
 - enfin, elles sont souvent enveloppées de feuilles d'**aluminium** et comprennent également des connexions en **or**.



Fabrication de couche d'électrode (LRCS) au Hub de l'énergie à Amiens

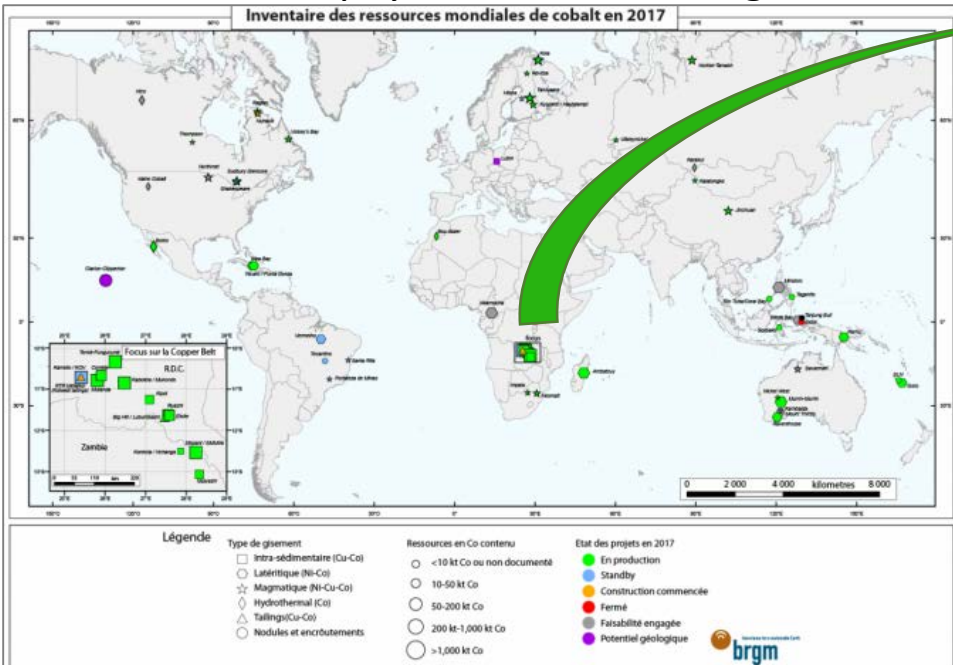
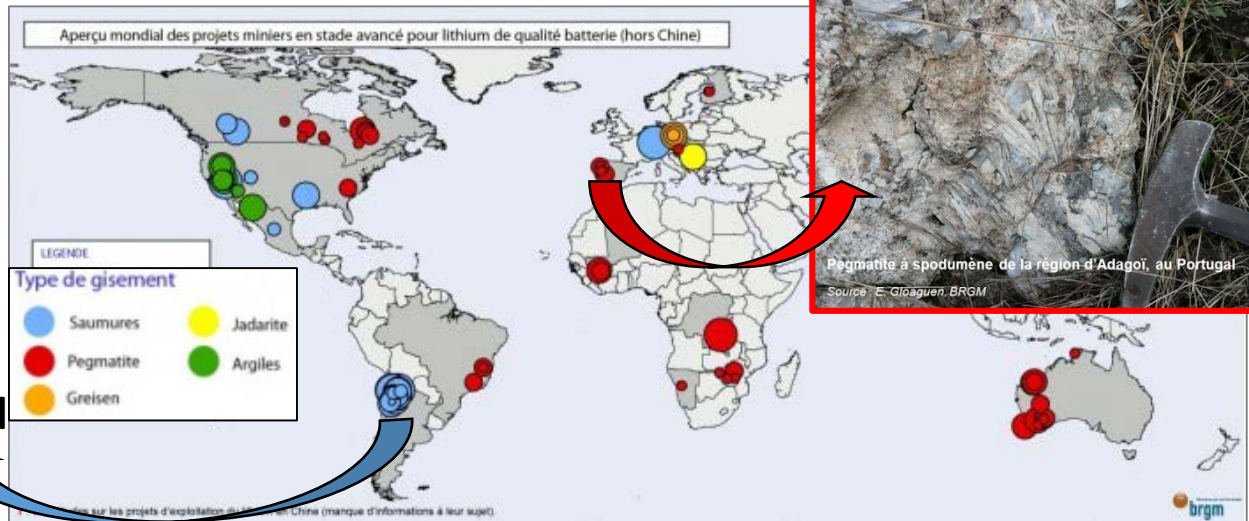
Rappel: pour produire de l'électricité, en fonctionnement, l'anode s'oxyde en perdant des électrons que la cathode récupère. En recharge, c'est l'inverse.

- La **durée de vie** est limitée à **2-3 ans** quelles soient ou non utilisées à cause de l'oxydation des composants.

Exemples de ressources en cobalt et lithium présents dans les batteries



58% Li extrait dans le monde destiné aux batteries-Li
45 % Li produit en 2017 vient des lacs salés d'Amérique du Sud
60% des réserves mondiales (stocks exploitables) dans 3 pays Chili+Bolovie+Argentine



53% du cobalt extrait dans le monde destiné aux batteries Li (voitures électriques, téléphones portables, ordinateurs, tablettes...)

60% du cobalt provient de RDC (République Démocratique du Congo)



Coque et supports en matières plastiques

- La **coque** est plus ou moins dure ou souple, conçue pour résister aux chocs et **contient des additifs** qui permettent d'en **améliorer les capacités** : élasticité, résistance, étanchéité, hydrofuge (« anti-feu » ou retardateurs de flamme bromés RFB), capteurs, etc.
- Les **matières plastiques** dans un téléphone sont des **composés très variés** : résines hydrocarbonées, époxy liquide ou solide, gel de silicone, PVC, fibres en polyester...
- Elles sont principalement fabriquées **à partir de produits dérivés du raffinage d'hydrocarbures** (pétrole brut) transformés par la pétrochimie.



Mise en forme



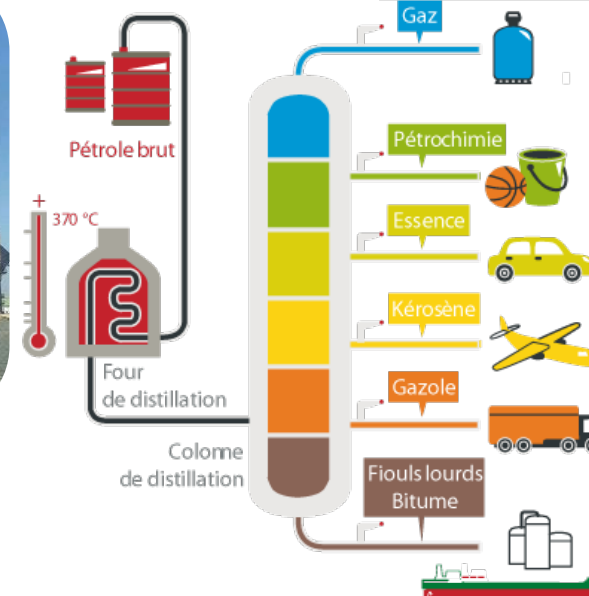
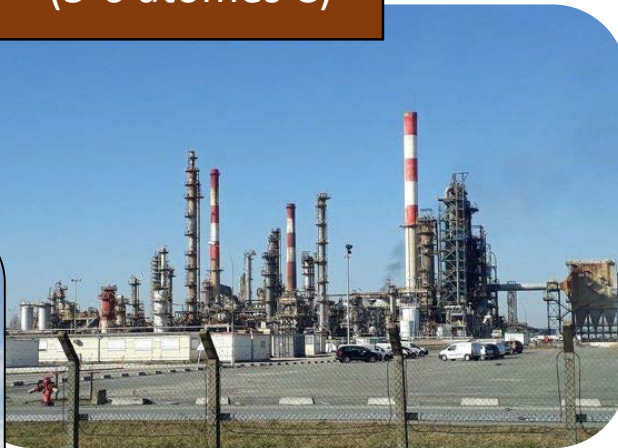
Pétrole brut
85% C 10%H
et impuretés

Distillation

Naphta liquide
(5-6 atomes C)

Craquage & Polymérisation

Matières
Plastiques



D'où proviennent les hydrocarbures ?

- Environ **4%** du pétrole produit dans le monde est utilisé pour la fabrication de matières plastiques.
- Les **hydrocarbures** (pétrole brut, bitumes ou gaz naturel) sont des matériaux liquides ou gazeux à base de carbone, de la matière organique fossile qui s'est accumulée dans des poches (des vides) des **roches sédimentaires souterraines**.

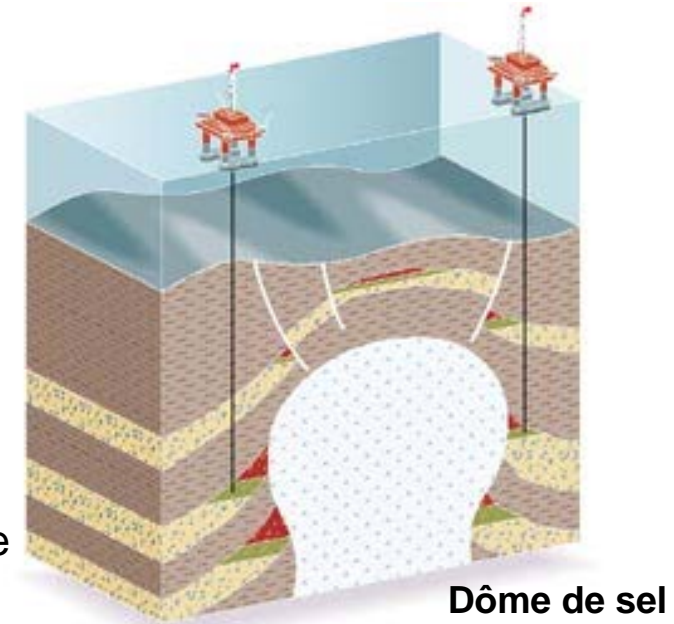
- Les gisements d'hydrocarbures peuvent être trouvés **en mer ou à terre**.
- L'exploitation des hydrocarbures nécessite un **forage** et la mise en place de canalisations, puis ils sont transportés jusqu'aux **raffineries** via de grands *pipelines ou oléoducs* et par des navires pétroliers.

- **Roche mère ou source**
 - Gisements sédimentaires riches en matière organique d'origine continentale (charbon) ou marine (pétrole)

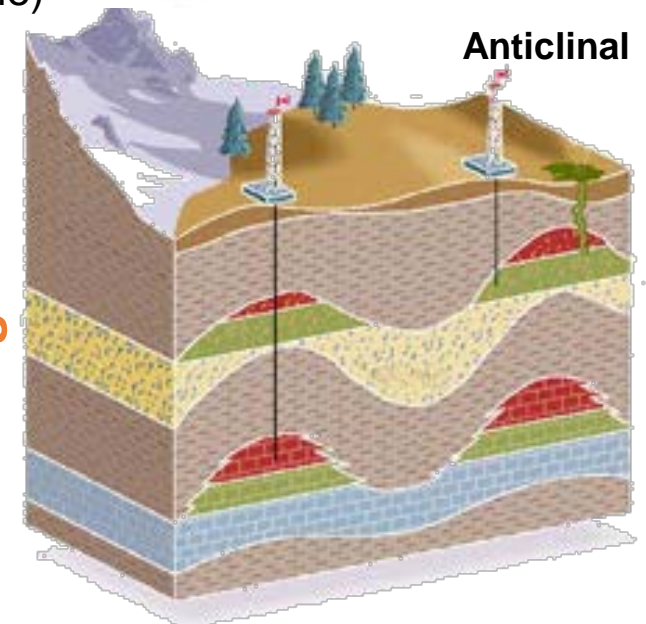


- **Roche réservoir**
 - roche poreuse (sable, calcaire ou dolomie)
- **Roche de couverture**
 - couche de roche imperméable (argile, évaporite)

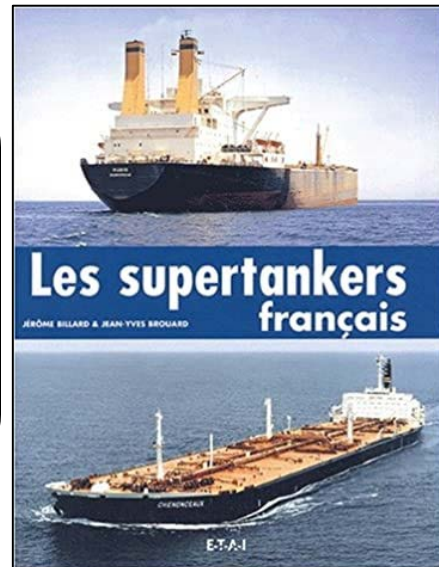
Piège



Dôme de sel

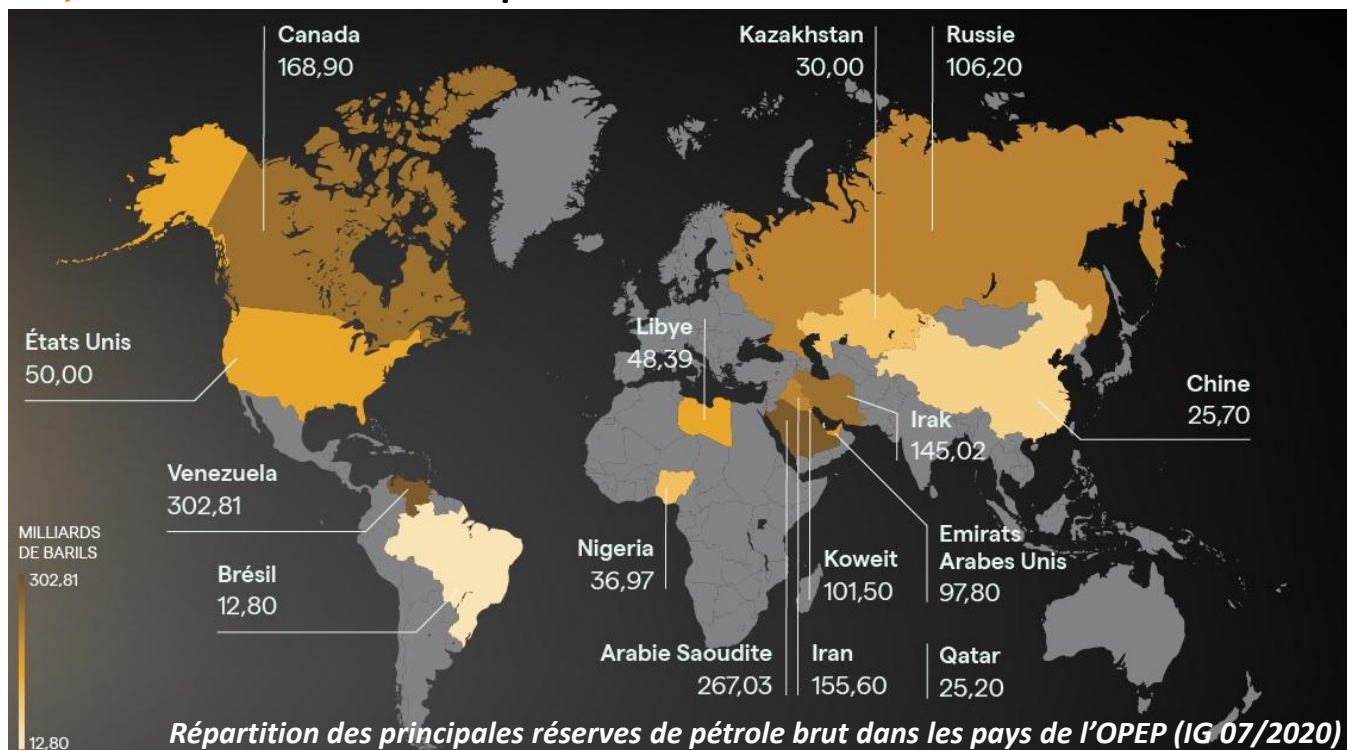


Anticlinal

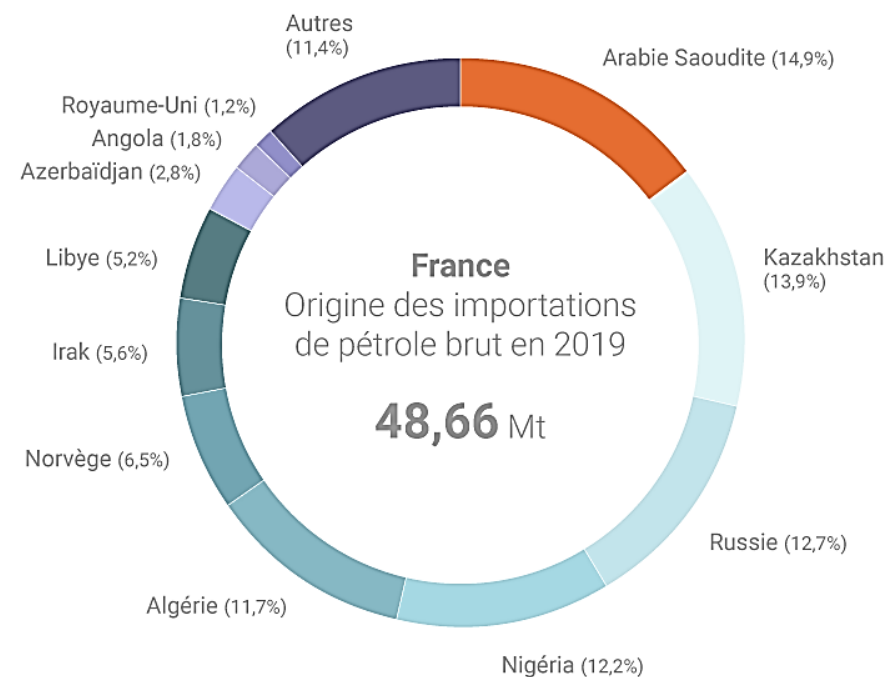


Quels sont les pays producteurs ?

- Le **pétrole brut** est une **ressource énergétique** qui n'est pas utilisée que pour la fabrication des matières plastiques, mais également en produits raffinés pour générer l'énergie nécessaire à l'extraction minière des matières premières, à l'usinage des composants et au carburant utilisé dans les transports pour l'acheminement des téléphones.
- Les deux pays qui possèdent **les plus grandes réserves connues d'or noir** au monde sont le **Venezuela** et l'**Arabie Saoudite**.
- Le **pétrole brut importé en France** a des origines très diversifiées : Arabie Saoudite, Russie, Kazakhstan, Nigéria et Algérie en sont les **5 pays producteurs principaux**.
- 51,1 millions de tonnes de pétrole brut** ont été raffinés en France en 2019 !



Pétrole Croissance de la demande mondiale entre 2017 et 2030



Source : Service des données et études statistiques, Ministère de la Transition écologique.

Origine des matières premières

- Pratiquement aucune des matières premières des téléphones portables n'est produite en Europe.
- L'Europe consomme 20% des métaux extraits dans le monde chaque année mais n'en produit que 3% !

La Chine est le principal producteur des métaux spéciaux!



Origine des métaux et matériaux dans un iPhone 6S
Exposition Estonienne dans le cadre d'un projet Européen H2020 Travelex
(photo de Nicolas Charles, BRGM 2020)

Une chaîne de production mondialisée

Depuis l'extraction des matières premières, la fabrication des composants, leur assemblage et la grande distribution dans le magasin où on l'achète, les différents éléments nécessaires au téléphone auront parcourus **4 fois le tour de la Terre** avant d'arriver dans nos mains !

Pré-production



Production



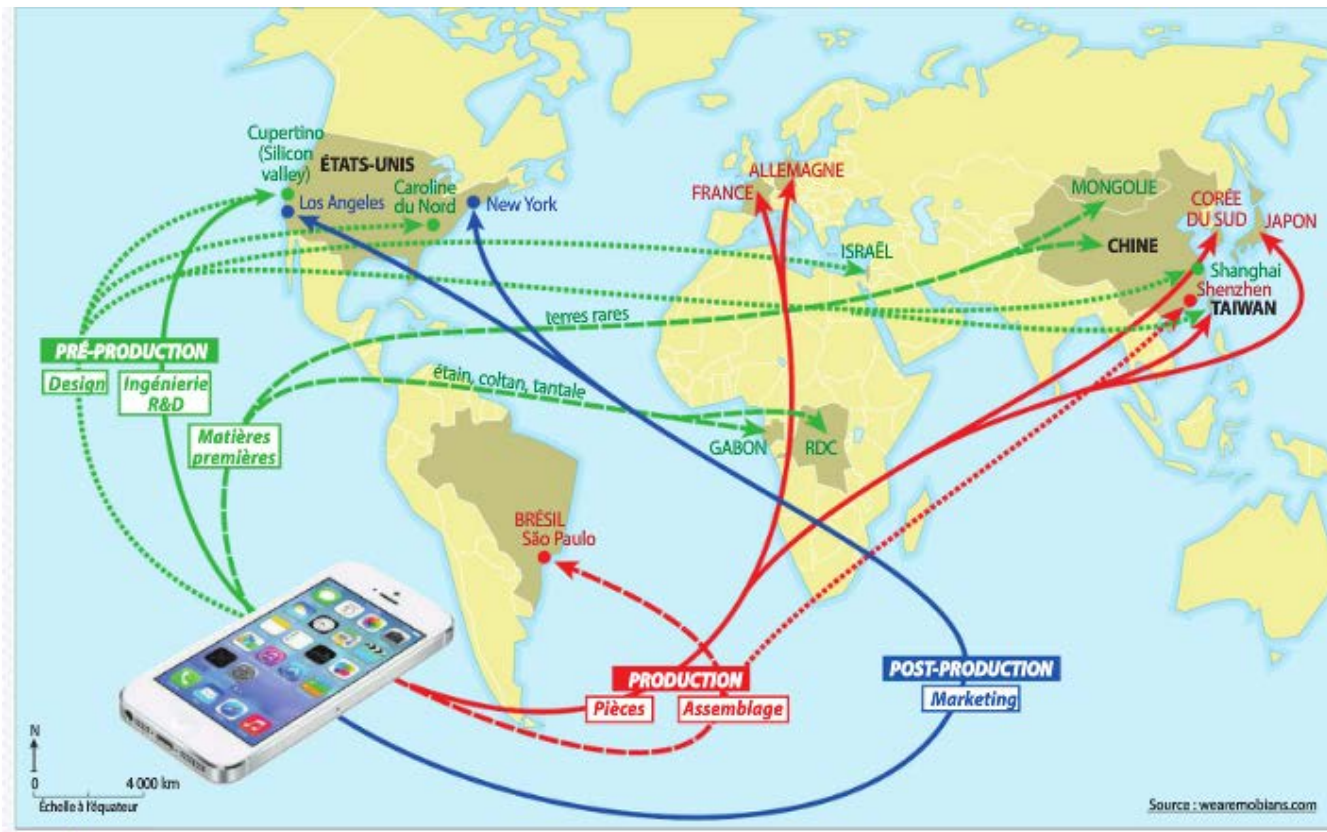
Post-production

Design et ingénierie
Recherche & Développement
du nouveau concept

Extraction des
matières premières
nécessaires

Fabrication
des pièces
Assemblage
du téléphone

Marketing, Publicité/Médiatisation,
Commercialisation, Grande Distribution



Exemple : l'iPhone est aujourd'hui **fabriqué grâce à des opérations ayant lieu sur quatre continents !**

- Les **matières premières** proviennent d'Afrique équatoriale, de Chine et de Mongolie (Asie), d'Amérique et de l'Australie
- Les **pièces** sont produites en Europe (Allemagne, France, Italie), en Asie (Corée, Japon, Taiwan) et aux Etats-Unis.
- Le téléphone est **assemblé dans des usines** en Chine et au Brésil.
- Le siège de la société Apple qui s'occupe de la **commercialisation** et de la **distribution** est américain.

Quels impacts environnementaux, sociaux et sanitaires ?

- **Toutes les opérations de fabrication consomment de l'énergie** (carburant, électricité produite par la combustion du charbon), **de l'eau**, nécessitent l'**utilisation de produits chimiques**, **génèrent des déchets** et **rejetent du CO₂** dans l'atmosphère.
- Dans les **pays producteurs**, la **règlementation** et les **lois pour la protection de l'environnement** et des **droits de l'homme** ne sont pas forcément aussi contraintes, contrôlées et respectées que chez nous.
- Les **matériaux non recyclés** en fin de vie deviennent des déchets envoyés dans des **décharges** à ciel ouvert ou sont ré-enfouis.
- **Les principaux impacts négatifs** sont :
 - les rejets de **substances toxiques nocives** pour la santé et l'environnement (métaux lourds notamment)
 - les **dommages causés à la biodiversité**
 - l'**épuisement des ressources** minérales (non renouvelables à l'échelle humaine)
 - les **émissions de gaz à effet de serre** qui contribuent au réchauffement climatique.

La Chine produit >95% des Terres Rares dans le monde



Exploitation de terres rares dans des argiles en Chine © Le Grand Continent, L'empire des métaux (2018)

20% des mines de RDC sont artisanales (travail manuel + parfois des enfants)



Mine artisanale de cuivre et cobalt en RDC

Ville-Décharge de Guiyu en Chine

© Rosalie Sylvestre (<https://www.thinglink.com>)





Fin de vie & Déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE)

- **88 %** des français changent leur téléphone portable alors qu'il fonctionne encore... (FNE & ADEME 12/2019)
 - Il faut distinguer **Changement/Nouvel Achat ~18 mois** ≠ durée de vie

- **~30 millions** d'appareils resteraient dans les tiroirs de nos maisons
 - Seulement **15 %** des téléphones sont collectés pour être **recyclés en France**

Concentration d'une très bonne mine ~5 g d'or par tonne de minerai, tandis qu'elle est en moyenne de 200 g d'or par tonne de cartes électroniques (40 x plus riche !)

- Les DEEE issus de téléphones portables constituent une véritable « **Mine Urbaine** » :
- Production de **nouvelles matières premières secondaires** grâce au recyclage
- **Concentration en métaux très élevée**, plus que dans les gisements exploités !
- **Avantages économiques** :
 - création d'emplois
 - ressources de proximité
- **Avantages environnementaux** :
 - préserve les réserves en ressources naturelles de la Terre
 - moins d'émission de CO₂, de déchets et d'énergie consommée (en limitant l'extraction profonde, les volumes de roche extraits, et le transport)
 - élimination des substances dangereuses des téléphones usagés (Cd, Hg, Pb, As...)

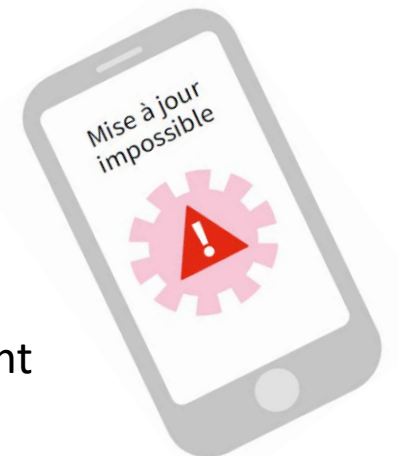
L'obsolescence programmée, c'est quoi ?



Le
saviez-vous ?



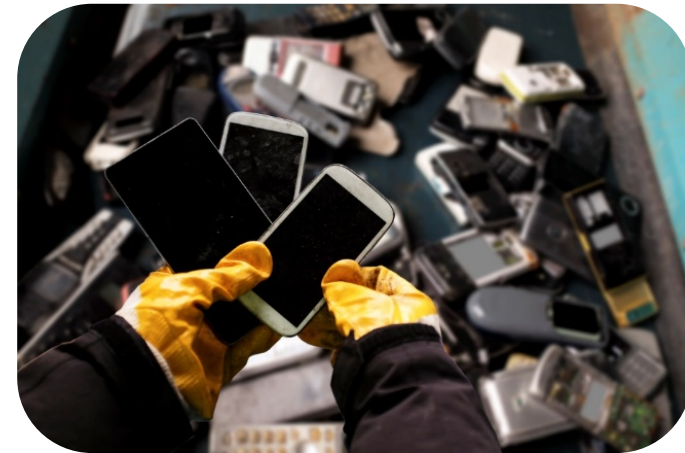
- **L'obsolescence programmée = Constructeur/Fabriquant qui raccourcit délibérément la durée de vie de votre téléphone portable**
 - **Objectif : vous forcer à racheter un nouveau téléphone rapidement !**
 - Dans de nombreux cas, les opérateurs même de grandes marques conçoivent les smartphones de telle sorte à ce qu'ils ne soient pas réparables ou tombent en panne :
 - Composants type résistance qui surchauffe < 2 ans
 - indisponibilité des pièces détachées ou absence de pièces de rechange
 - batteries soudées/collées au téléphone pour empêcher son changement,
 - utilisation de systèmes d'exploitation exclusifs qui deviennent rapidement obsolètes ou sont incompatibles avec les nouvelles applications pour vous forcer à racheter le nouveau modèle.
 - A l'opposé, un téléphone dont la durée de vie n'est pas limitée, sera évolutif dans le temps, modulable et réparable (**développement durable !**)
- ⇒ **Choisir un smartphone réparable** pour qu'il puisse être **utilisable plusieurs années** en questionnant le vendeur et en consultant un comparateur, des guides d'achat ou en lisant les avis des utilisateurs



Recycler au lieu de jeter !

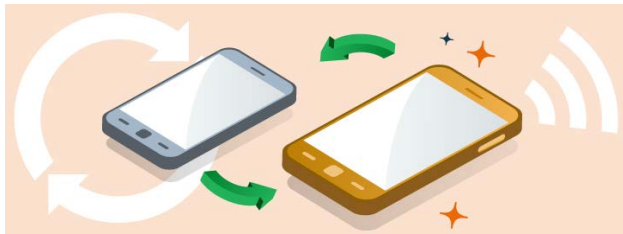
- **>80 %** des réparations effectuées sur des smartphones concernent des **écrans brisés**

- En Europe, seuls **17,4 %** des DEEE (déchets d'équipements électriques et électroniques) de 2019 ont été collectés et recyclés.



Reprise/Echange

Réparation



En 2020, **34%** des Français ont déjà acheté un **smartphone reconditionné** (sondage IFOP)

- **3 principales filières de récupération :**

- **Reprise/Echange** dans certains magasins (écotaxe ou éco-participation)
- En **déchetterie** dans un **électrobac** pour DEEE (collecte des déchets électriques et électroniques)
- Par envoi postal via des entreprises spécialisées dans le recyclage ou la **réparation** pour donner une **seconde vie** à votre téléphone (parfois rémunéré)

Comment se passe le recyclage ?

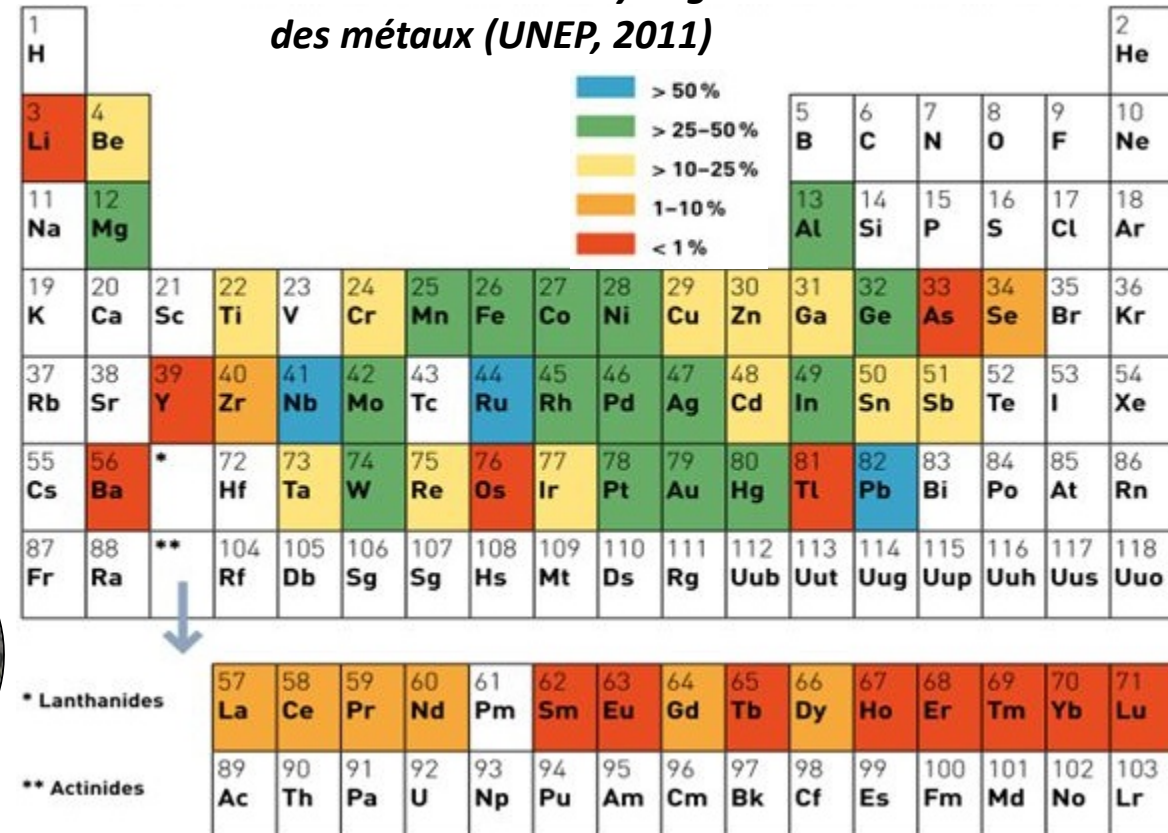
Le recyclage d'un téléphone passe par **différentes étapes successives** :

- **Démontage manuel et tri sélectif** des **composants directement réutilisables** et des **déchets recyclables** par type de matériaux (plastiques, composants électroniques, métaux ferreux)
- **les polluants sont retirés** (batteries déchargées pour éviter les risques, ceux contenant des éléments dangereux nocifs pour l'homme ou l'environnement sont traités spécifiquement)
- **traitement mécanique** des déchets recyclables non séparables par **broyage** (appareils et plaquettes électroniques)
- Tri des fractions ou matières par des **procédés électromagnétiques** (aimantation des métaux ferreux) puis **chimiques** (dissolution des métaux et alliages non ferreux et précieux puis récupération en solution des métaux dissous)
- Orientation des déchets non valorisables vers des décharges adaptées règlementées



- Cependant, le recyclage de certains métaux n'est pas encore économiquement ou techniquement possible : les éléments les plus courants et abondants ou précieux sont recyclables alors que les petits métaux en faibles quantités, disséminés et mélangés à d'autres ont encore un niveau de recyclage faible.

Taux maximal de recyclage des métaux (UNEP, 2011)



Comment pouvons nous agir à notre niveau ?

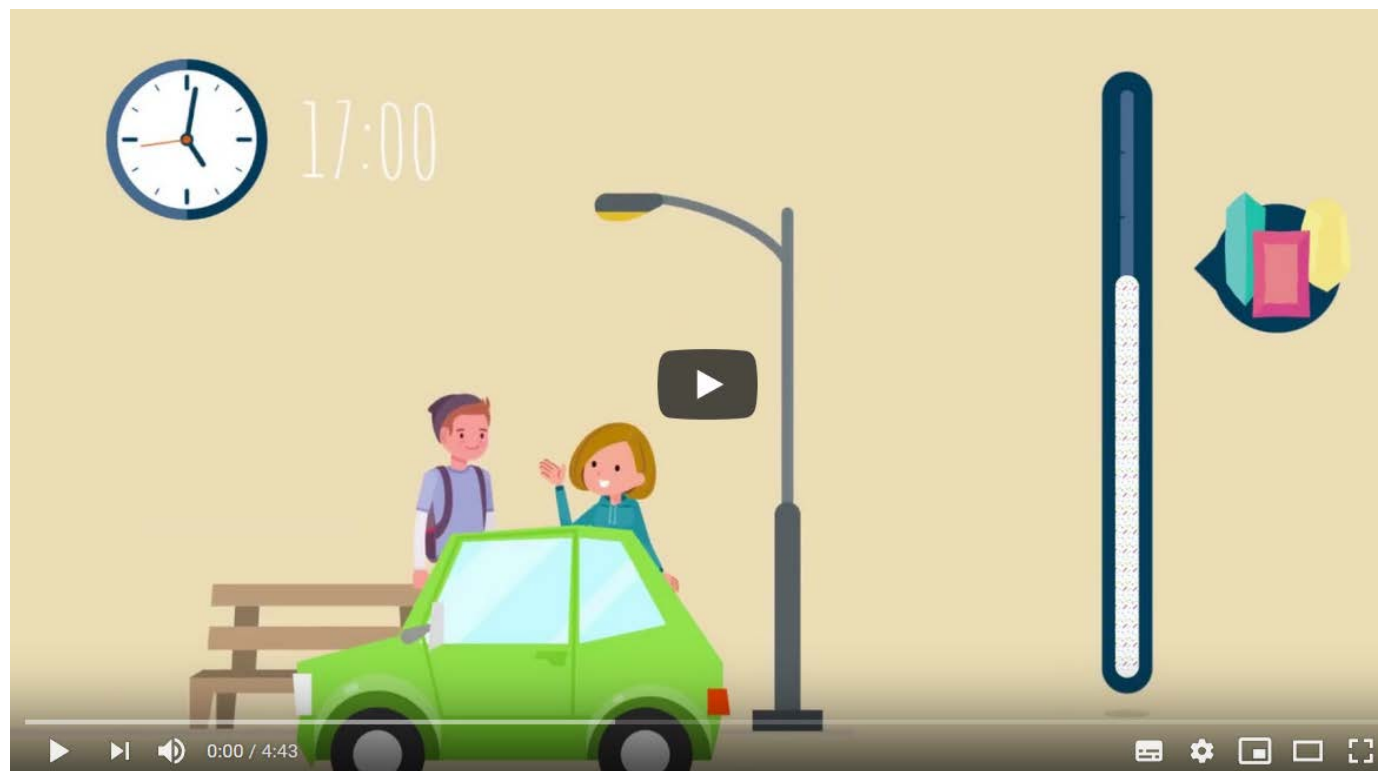
Avoir une **consommation responsable** c'est commencer par :

- s'interroger sur la **provenance des matières premières** utilisées (part des éléments recyclés, reconditionnés) et sur la **durée de vie/capacité de réparation** des pièces
⇒ **comparer les téléphones avant un nouvel achat**
- Partager les questions/réflexions et échanger avec ses frères/sœurs, parents, professeurs et amis
- **Garder son téléphone un maximum de temps :**
 - ne pas suivre les effets de mode pour avoir toujours le dernier téléphone ou se sentir obligé d'acheter en cas de promotions/publicités,
 - ne pas changer son téléphone tant qu'il fonctionne encore,
 - bien protéger son téléphone contre les chocs,
 - faire réparer ou changer uniquement les pièces nécessaires comme la batterie qui peut se commander sur internet,
 - ne pas laisser l'appareil branché quand la charge est terminée (consommation d'énergie inutile et réduction de la durée de vie de la batterie)
- Ne pas acheter plusieurs téléphones (préférer des cartes SIM DUAL)
- Participer à des programmes de **recupération/recyclage** des téléphones en fin de vie, en panne ou à des échanges



Quelle place occupent les ressources minérales dans notre vie quotidienne ?

<https://www.youtube.com/watch?v=5z4p4zGISww>



Et plein d'autres vidéos pédagogique et éducatives encore sur notre chaine U-tube:

<https://www.youtube.com/user/brgmTV>

SUIVEZ LE BRGM :



Des applications smartphones créées par le BRGM !

Le BRGM propose trois applications mobiles gratuites pour accéder à des données géologiques, géoscientifiques ainsi que sur les eaux souterraines :

- **i-InfoTerre**, l'accès cartographique et géolocalisé aux principales données géoscientifiques du sol et du sous-sol français
- **InfoNappe** l'accès aux données sur les niveaux d'eau dans les nappes, qualité des eaux souterraines, etc.
- **InfoGéol** l'accès en tout point du territoire aux informations de la carte géologique de la France issus de la banque de données du sous-sol du BRGM.



[Version intégrale www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)