

Technologies de rupture pour le traitement des cartes électroniques



LES ENJEUX

La mine urbaine des DEEE

En 2013, 51,1 Mt d'équipements électrique et électronique ont été fabriqués et vendus dans le monde.

C'est la taille d'un grand gisement de cuivre (que l'on mettrait en exploitation chaque année)

On doit distinguer trois étapes dans le traitement en fin de vie

- **La collecte des DEEE à atteint 10,8 Mt. Soit 20% de la mise en marché**
- **Le démantèlement qui les sépare en diverses fractions**
- **L'extraction métallurgique**

Les équipements électroniques



consomment
60% du tantale
60% de l'indium
35% de l'étain et du cobalt
20% du lithium
20% de l'antimoine
10% du palladium
10% des terres rares
7% du cuivre
produit dans le monde...

**A ce jour,
le Tantale, l'Indium, l'Etain, le Lithium, l'antimoine, les terres rares
ne sont pas récupérés...**

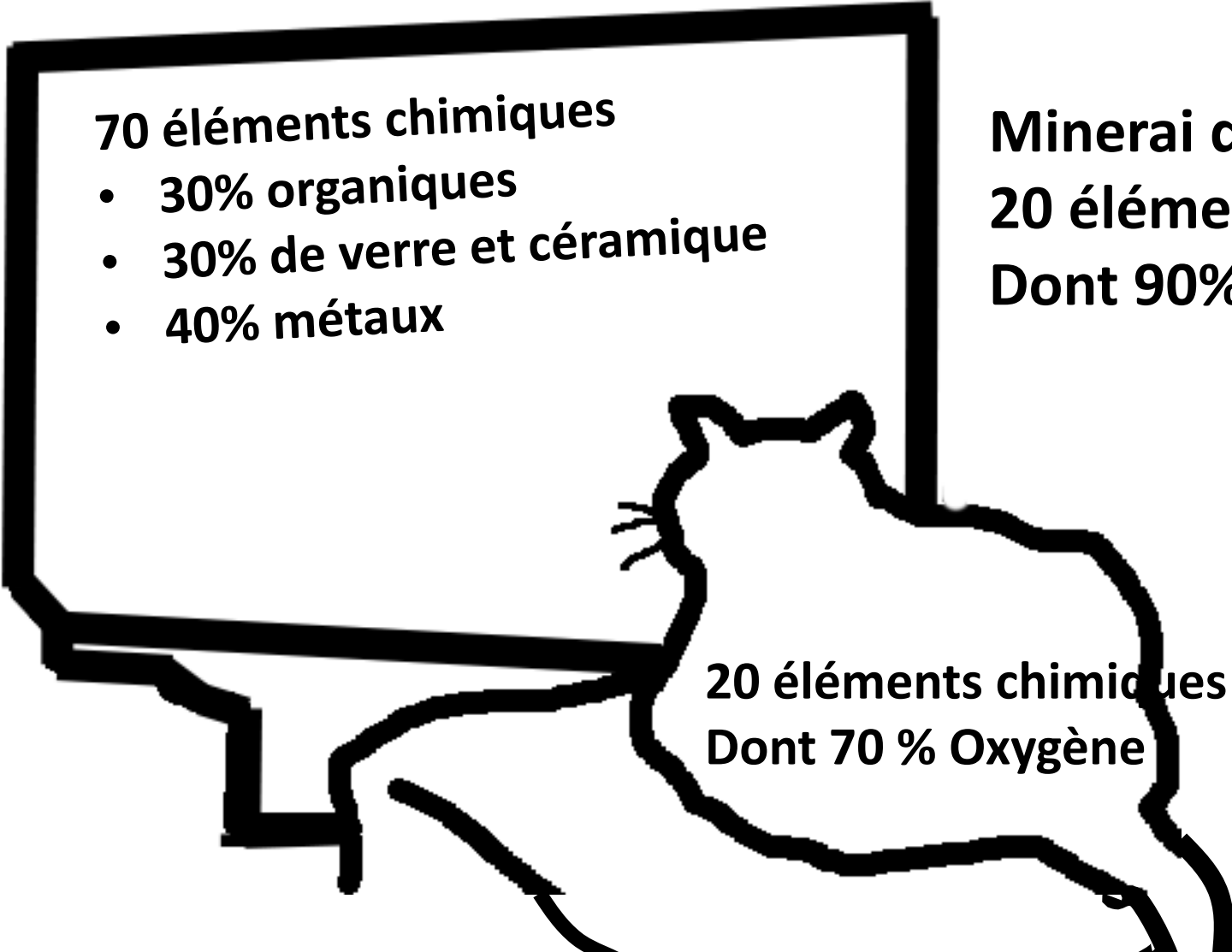
Pourquoi est ce difficile?

70 éléments chimiques

- 30% organiques
- 30% de verre et céramique
- 40% métaux

Minerai de cuivre

20 éléments chimiques
Dont 90% Fe + Cu + S



20 éléments chimiques
Dont 70 % Oxygène

Pourquoi est ce difficile?

- L'extraction des métaux critiques présents dans les déchets est technologiquement difficile
 - Présence de plastique
 - De métaux antagonistes
 - D'halogènes etc.
 - De céramique et de verre
- Les outils de métallurgie des métaux de base n'ont pas été construits pour traiter ces matières. Ils peuvent être partiellement utilisés au prix d'un effort et d'un coût d'adaptation élevé que peu d'acteurs peuvent entreprendre.
- Ces outils ont des limites intrinsèques.



TND

La recherche des métaux rares

Qu'est qu'une carte?

Le substrat

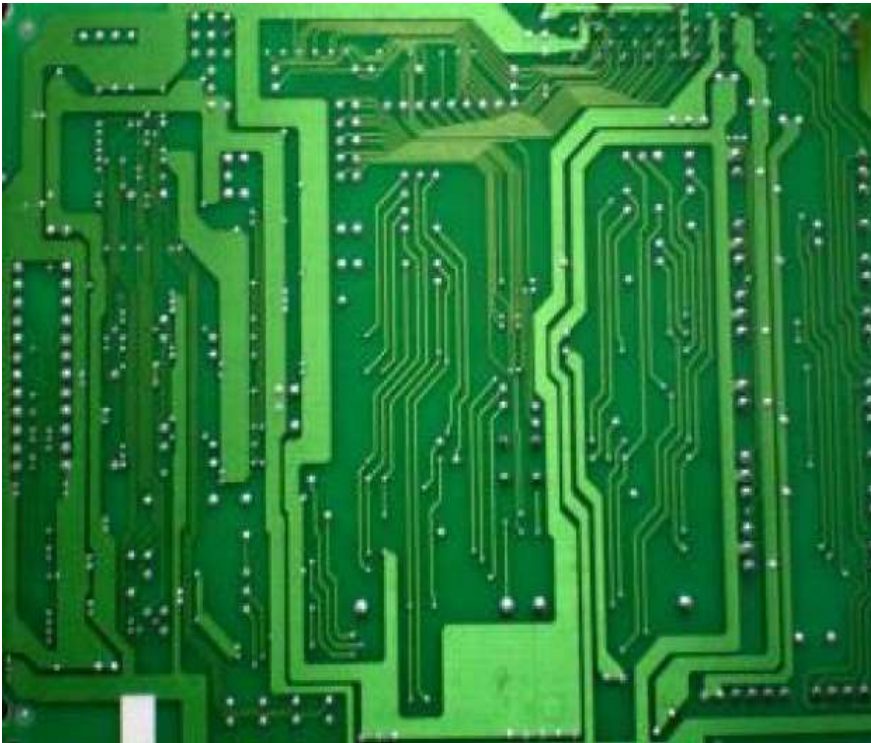
Il s'agit d'un sandwich composé de couches de :

- Fibre de verre imprégnée de résine epoxy stabilisée avec des ignifugeants bromés Et de l'oxyde d'antimoine
- Des feuilles de cuivre attaquée à l'acide pour former le circuit électrique
- Le sandwich est percé pour préparer les connections entre les couches de cuivre
- De l'or et du Palladium sont déposés pour préparer les futures connections

A ce stade la composition chimique est

Cu	30%
C	21%
O ₂	5%
H ₂	2%
Br ₂	1%
Sb	1%
SiO ₂	23%
Al ₂ O ₃	7%
CaO	8%
B ₂ O ₃	2%

Traces de Palladium et d'or



Le substrat passe à travers diverses machines qui placent les composants électroniques dans les trous.

Ces composants sont alors soudés avec une soudure à base d'étain.

Les composants électroniques ont une composition chimique extrêmement variée.

Leur masse est sensiblement égale à celle du substrat

L'aluminium, le fer, le nickel, le zinc, l'étain, Le plomb, le tantale, l'argent, le Palladium, l'or, d'autres matières plastiques sont ainsi ajoutées augmentant encore la complexité de la composition chimique.



La carte électronique est alors fixée mécaniquement à l'appareil et connectée électriquement avec des câbles électriques.

Dans un écran plat, plusieurs centaines de vis sont employées à cet effet.

Comme les appareils électroniques ne sont pas conçus pour être réparés, leur démantèlement est difficile

Le poids des cartes électroniques dans un équipement varie considérablement d'un appareil à l'autre. 10% dans un écran LCD, Moins de 0,1% dans un réfrigérateur

Démantèlement

Le démantèlement comprend des opérations manuelles, du broyage et des séparations physiques. Les fractions suivantes sont ainsi extraites :

- Ferraille
- Aluminium et cuivre
- Plastiques
- Verre et céramiques
- Cartes électroniques



Une partie des cartes est perdue et les cartes récupérées sont contaminées

Pourquoi est ce difficile?

- La composition des cartes électroniques est donc complexe et variable
- Les organiques varient de 30 à 60%
Les fibres de verre et les céramique de 20 à 40%
Les métaux de 25 à 35%
- Les organiques sont difficiles à traiter en pyrométallurgie du fait des grandes quantités de gaz et de chaleur qu'ils engendrent.
- Les céramiques, le verre ainsi que l'aluminium augmentent la viscosité des scories,
- Les halogènes (Brome et Chlore) créent de sérieux problèmes dans le traitement de gaz
- Enfin certains métaux sont antagonistes du point de vue métallurgique (Cu et Al par ex)



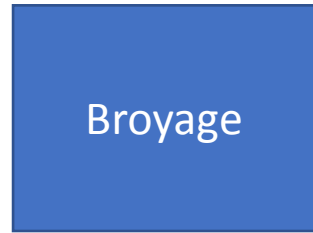
TND

La recherche des métaux rares

Les briques technologiques

Principe

Carte



Métaux

Fibres et organiques

Plus and cons

- La technologie rend la métallurgie beaucoup plus facile
- MAIS...
- La perte de métaux atteint 20%
- Le déchet ultime (organiques et fibres) est dangereux et ne peut pas être incinéré en EU

Acteurs

Bigarren Bizzi France, URT et Hamos Allemagne, ainsi que des chinois offrent des équipements
 ADAMEC en Allemagne a monté une usine qui a fonctionné deux ans avant de fermer
 Singapore utilise cette technologie parce que l'incinération est interdite
 Enfin, des artisans chinois et indiens séparent à la main des composants pour les réutiliser.

Principe

Les organiques sont éliminés par Cracking à 500°C

Les métaux sont concentrés Et plus faciles à traiter dans une usine à cuivre

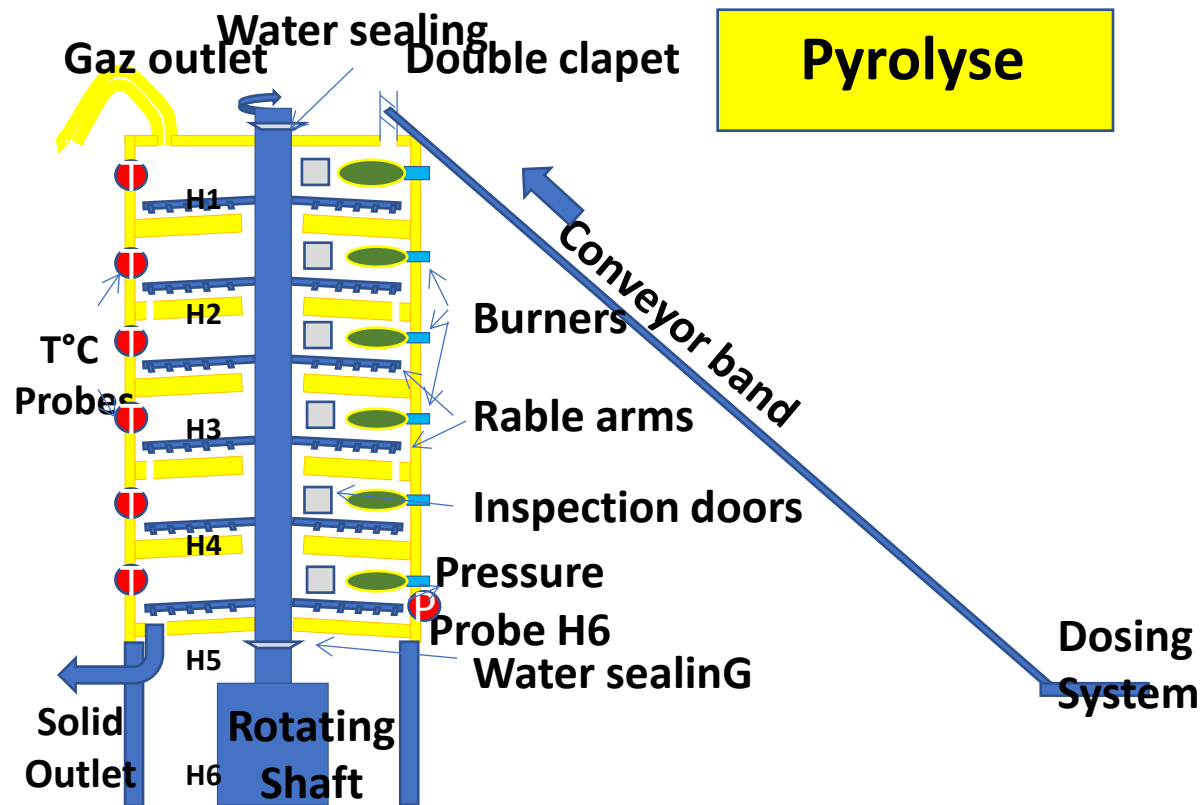
Pas de perte de métaux et pas de déchet ultime

Acteurs

En 2010 Terra Nova développe la première usine avec une capacité de 20 kt/an
GEM usine chinoise est construite en 2015 avec une capacité de 30 kt/an
LS en Corée construit une usine similaire. Les japonais utilisent cette technologie

Boliden a développé une pyrolyse à haute température en 2012 (procédé Kaldo)

D'autres concepts sont au stade R&D (REMETOX, Panasonic TiO₂, Soude fondue)



Principe

Comme le métal principal dans les cartes est le cuivre, la plupart des cartes sont traitées dans des fonderies de cuivre

Ces fonderies ont été conçues à l'origine pour traiter des minerais.

- Une étape de fusion (1100°C) donnant un cuivre impur, une scorie et des fumées
- Puis un raffinage du cuivre par électrolyse donnant des cathodes et une boue de MP

La technologie est très efficace pour récupérer le cuivre, l'or, l'argent et le Palladium

Les limites du procédé lorsque l'on veut traiter des cartes sont:

- La limite thermique du four liée aux organiques
- La viscosité de la scorie
- Les halogènes dans les gaz et notamment le brome

Seule une quantité limitée de carte peut être enfournée (la limite est de 10% du l'alim

Des métaux de valeurs comme le tantale, l'étain et l'antimoine sont perdus.

Acteurs

9 usines dans le monde (CAPEX d'adaptation d'une usine 2 à 5k€ /t a de carte)

L' « acid process » est largement utilisé dans « l' informal sector » en Inde et en Chine
La récupération des métaux est limitée à 60% au mieux; l'environnement totalement oublié

En France, Morphosis, Falaise utilise la même famille de procédé pour récupérer l'or. Le reste des cartes est vendu aux fonderies de cuivre

La R&D est très active dans ce domaine pour essayer de trouver un procédé capable de récupérer la totalité des métaux mais malgré ces efforts sur une durée de plus de 20 ans
Aucune application commerciale n'a vu le jour. Citons:

- Cambridge and London Imperial college.
- Engitec
- Managem
- Itrimex
- ATMI
- ...

Les challenges

- L'extraction des métaux critiques présents dans les déchets est technologiquement difficile
 - Présence de plastique
 - De métaux antagonistes
 - D'halogènes etc.
 - De céramique et de verre
- Les outils de métallurgie des métaux de base n'ont pas été construits pour traiter ces matières. Ils peuvent être partiellement utilisés au prix d'un effort et d'un coût d'adaptation élevé que peu d'acteurs peuvent entreprendre.
- Ces outils ont des limites intrinsèques et certains métaux ne sont pas récupérables

L'extraction de tous les métaux et notamment les métaux aujourd'hui perdus

- **Tantale**
- **Etain**
- **Antimoine**

Sur le plan environnemental;

- **Résoudre le problème du brome**
- **Récupérer l'énergie contenue dans les organiques**

Le recyclage doit prendre en compte :

- Durée de vie technologique variable et prix volatiles
- Nécessité d'aller vite et intense en matière grise
- Heureusement il s'agit souvent de matières riches
- Utilisation d'usines existantes vs techno de rupture
- Le recyclage ne remplace pas les mines (ex plomb) mais les technologies innovantes peuvent éventuellement s'appliquer au primaire.
- Nous n'avons pas d'outils financiers pour investir en capital sur de longues durées (time to market 5 ans)

- Il y a de la place pour des technologies de rupture capable d'extraire les métaux aujourd'hui perdus
- La taille des installations de production est par nature petite reflétant le statut de niche des marchés de matières stratégiques. Ce sont des unités coûtant entre 10 et 50 M€, employant quelques dizaines de personnes et visant un chiffre d'affaire de quelques dizaines de millions d'euros. Elles sont structurantes sur le plan industriel et sociétal.
- Elles nécessitent un investissement en matière grise élevé et par conséquent des projets de développement coopératifs
- Elles permettent d'attirer des matières premières du monde entier.

Du laboratoire à l'usine





Mon chat et moi-même

Vous remercions