

**ALS** La Couleur et son éclat  
session organisée par la 1<sup>ère</sup> section  
le 30 mars 2017 à 15h 30 – Métropole du Grand Nancy

Pigments d'hier et d'aujourd'hui

**ou**

Pigments dans l'art de la joaillerie et de la  
cosmétique antiques  
et nano pigments actuels pour l'art de  
l'image.

par Jean-François Muller, Professeur émérite de l'UL

1<sup>ère</sup> partie  
Pigments de l'Égypte antique

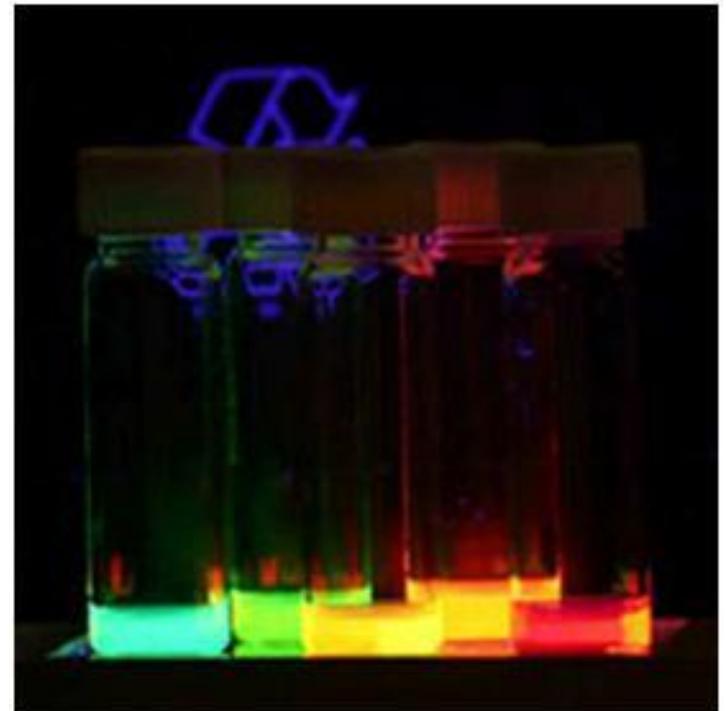
cristaux  
de  
sulfure de cadmium (CdS)  
ou greenockite



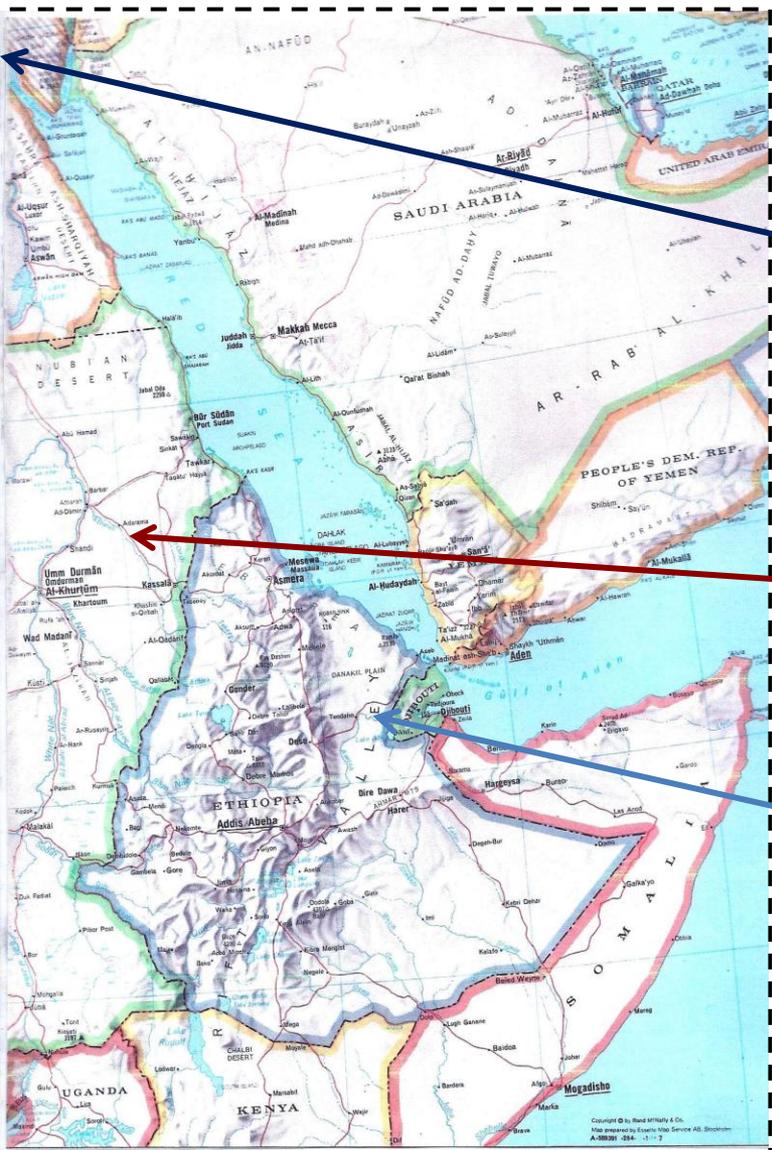
Greenockite on Calcite with Sphalerite  
from Lead-Zinc Jasper County, Missouri

2<sup>ème</sup> partie  
Pigments d'aujourd'hui

Suspension de nano  
cristaux de CdS / CdSe  
de tailles variables  
irradiés par UV



# 1<sup>ère</sup> partie : Les minerais de L'Antiquité égyptienne.



Gypse et natron à l'ouest du delta du Nil

Quartzite à l'est du delta du Nil

Calcaire blanc de Tourah à l'est du delta du Nil

Minerais de **cuivre** dans le Sinaï

Diorite en Nubie

Granit près d'Assouan

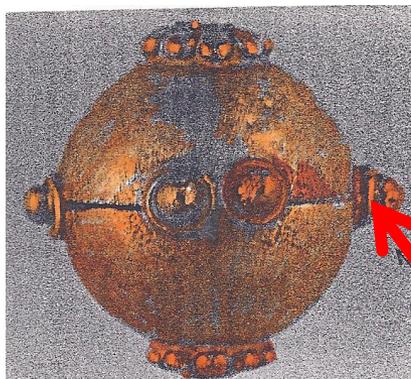
**Or** en Nubie, Soudan et Erythrée

Différents sulfures au sud de l'Erythrée  
(territoires volcaniques)

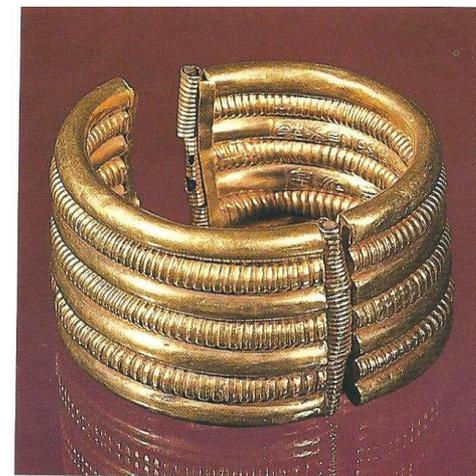
# I- Et maintenant la chimie!

## Principe d'association par la couleur

- 



Alliage Or/Cu



Or/Ag

Bombardement de  
protons ( $H^+$ ) accélérés  
(12 MeV)

- Sulfure de
- Cadmium

- CdS

Jaune de Cadmium  
(greenockite)

# I - Et ça marche!

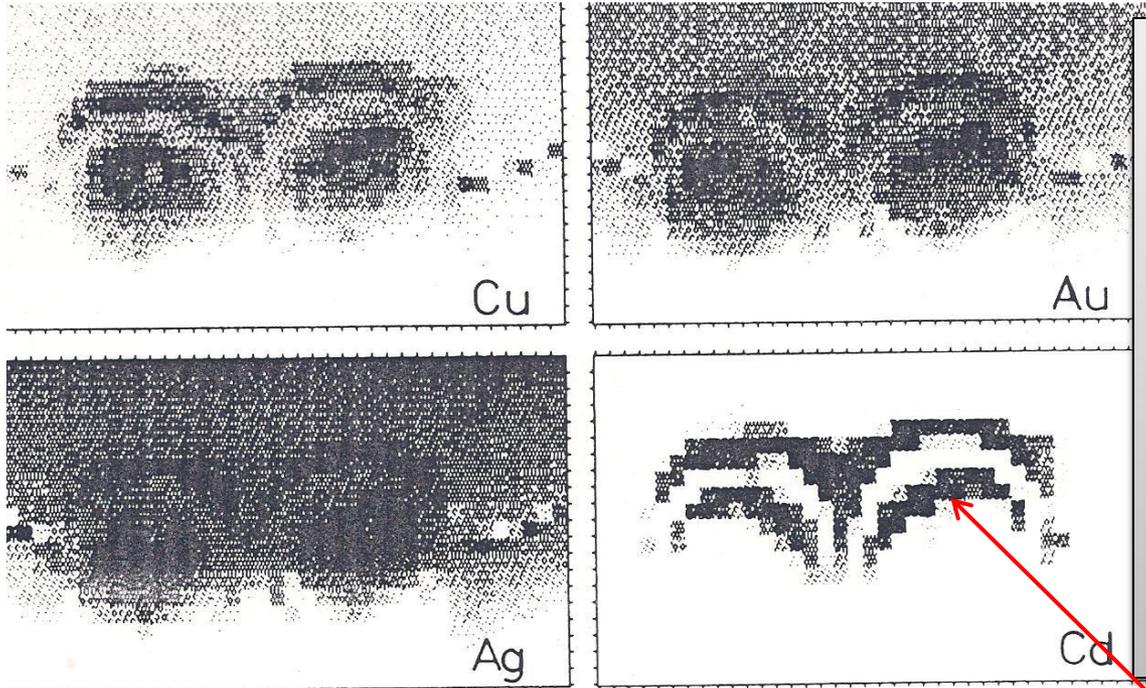


Image de la répartition des raies de fluorescence X de chaque élément (**Cu**, **Au**, **Ag**, et **Cd**) induites par le bombardement des protons accélérés

Δ

CdS/Au/Cu → alliage [Cd/ Au/Cu] qui fond à plus basse température (impureté : le S est également détecté)

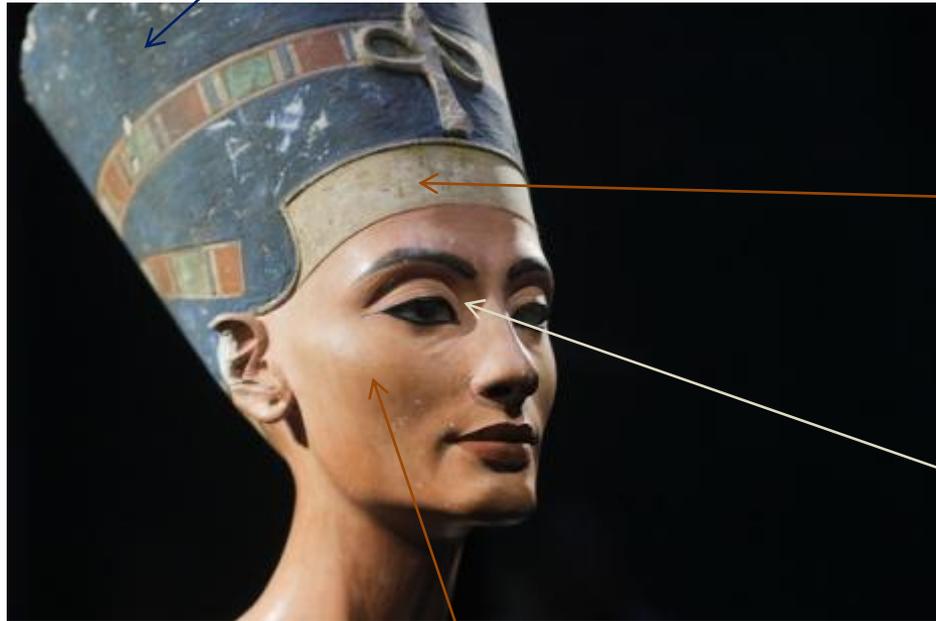
**Le Cadmium se situe exclusivement au niveau des soudures**

# I- Buste de Néfertiti (Musée de Berlin)

(travaux pluridisciplinaires réalisés sous strict contrôle du musée de Berlin)

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Buste\\_de\\_Néfertiti](http://fr.wikipedia.org/wiki/Buste_de_Néfertiti)

- Bleu inaltérable (bleu égyptien) contient par Microsonde Electronique couplée à la Fluorescence X : [Ca, Si, Cu, Na] .



Jaune perlé.

Fluo X: S, As.

Orpiment?

Noir: « khôl »?

(Fluo X : ~~Sb, Pb~~, mais

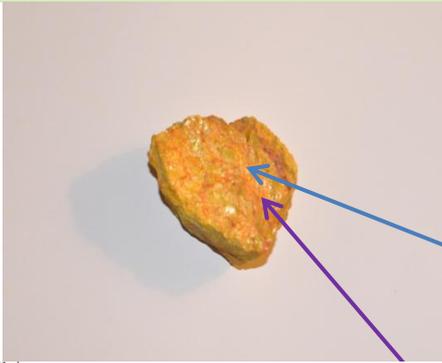
Carbone + liant

Ocre:  $Fe_2O_3$  + liant organique? (fluo X : Fe)

Œuvre supposée du sculpteur [Thoutmôsis](#), ce buste polychrome a été découvert le 6 décembre 1912 à [Tell el-Amarna](#) par une équipe archéologique allemande dirigée par [Ludwig Borchardt](#)

# I- Bandeau jaune d'or du buste de Néfertiti : orpiment?

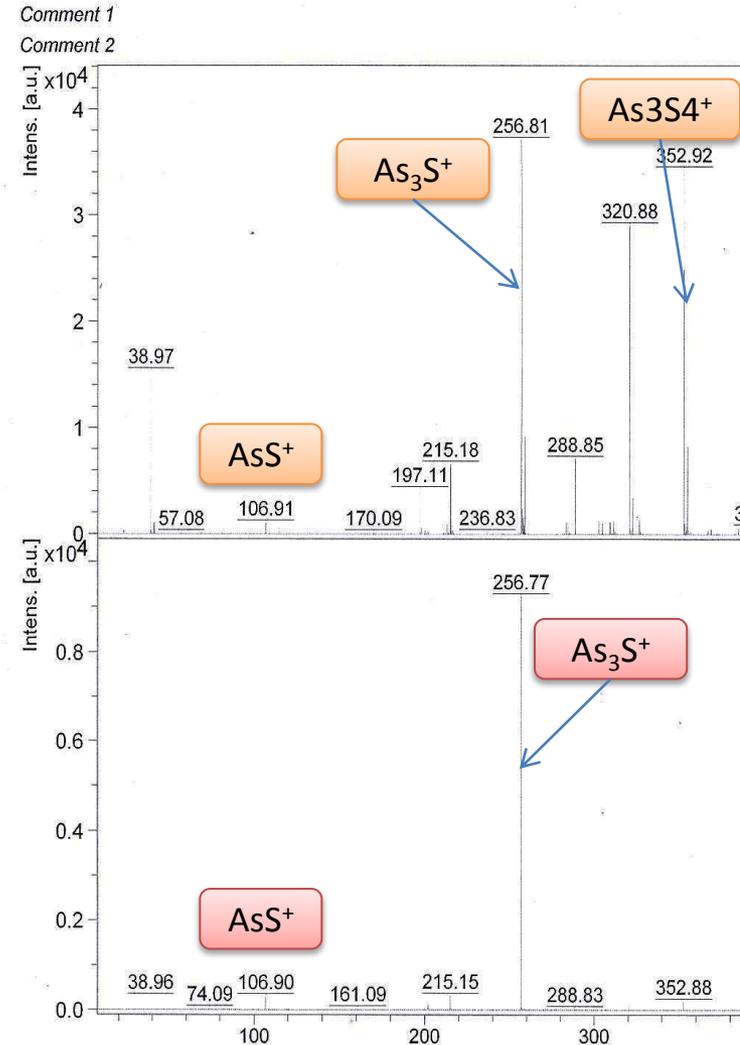
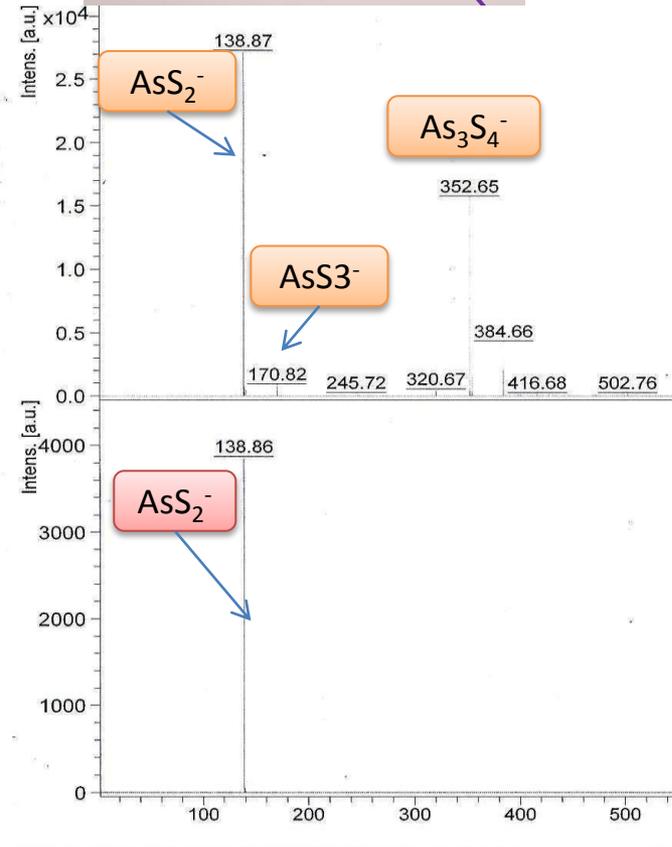
Spectres réalisés avec la microsonde LAMMA (Laser Microprobe Mass Analysis)



mélange de microcristaux d'orpiment et de réalgar

d'orpiment (jaune  $\text{As}_2\text{S}_3$ )

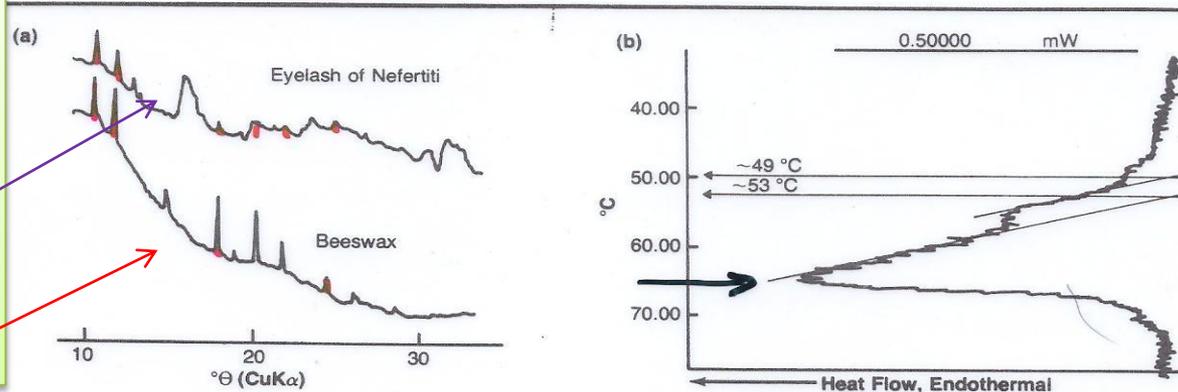
de réalgar (orange  $\text{AsS}$ )



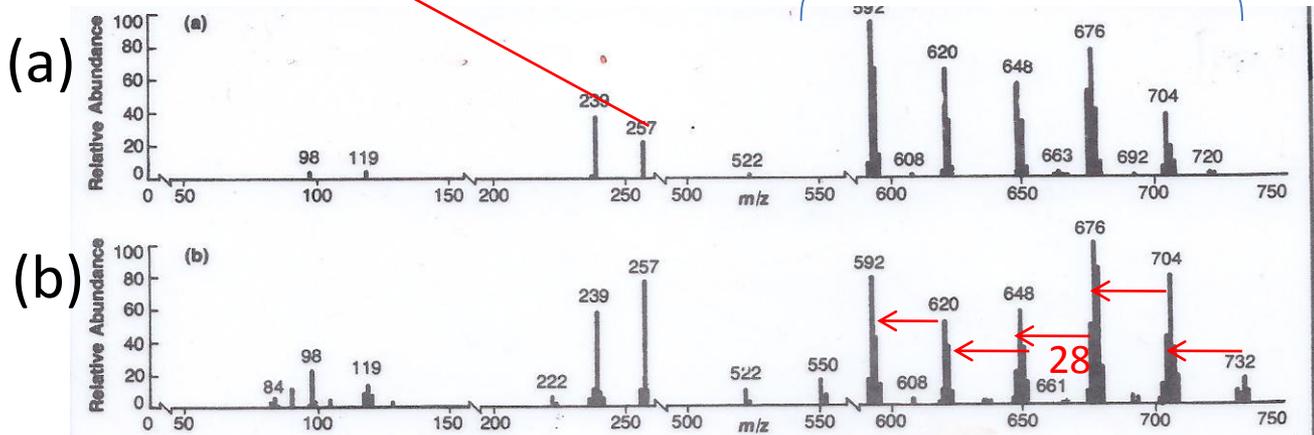
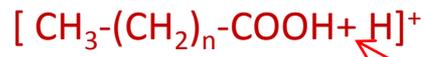
# I- Analyses du fond de teint et de l'eye-liner du buste de Néfertiti (musée de Berlin)

(travaux pluridisciplinaires réalisés sous strict contrôle du musée de Berlin)

Spectre de diffraction des rayons X de l'eye-liner de Néfertiti et de cire d'abeille

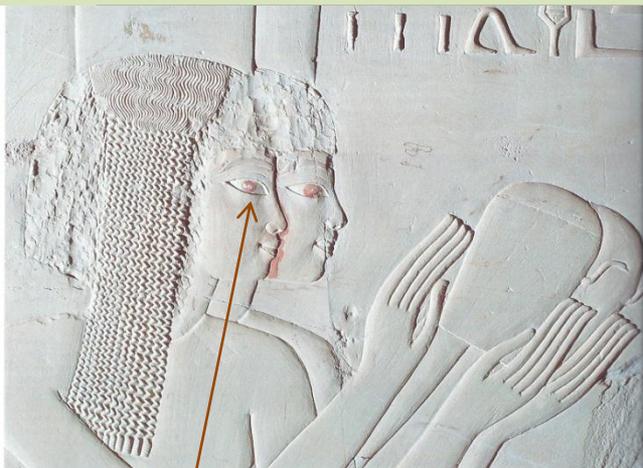


Micro-calorimétrie différentielle:  
 - 64°,4 pour le liant de Néfertiti,  
 - 63°,4 pour la cire d'abeille actuelle

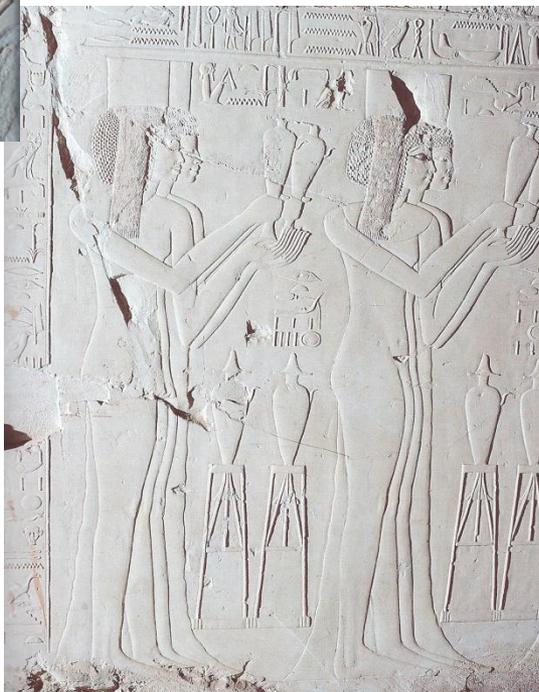
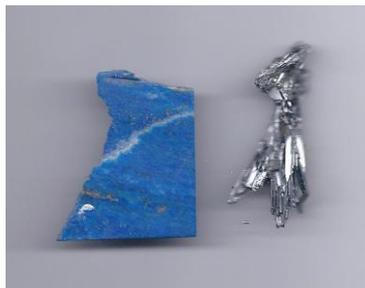


Spectre de masse (désorption de champ et désorption laser du fond de teint (a) et de cire d'abeille récente (b) : Détection d'acide gras (rouge) et d'esters d'acides gras (bleu)

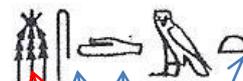
# I- Détails de la Fête « *Sed* » - Jubilé du Pharaon d'Aménophis III - Tombe de Khérouef ( Thèbes-Ouest)



$\text{Fe}_2\text{O}_3$  + Cire abeille



$\text{Sb}_2\text{S}_3$  + PbS  
khôl (sulfure d'antimoine + sulfure de plomb)

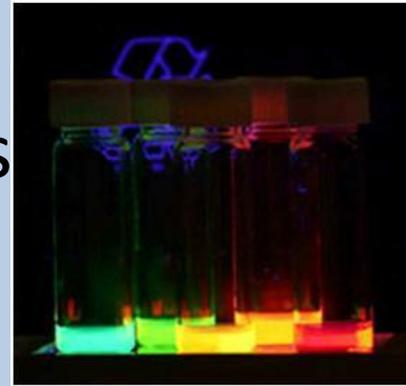


ms'dmt

« mesdemet »

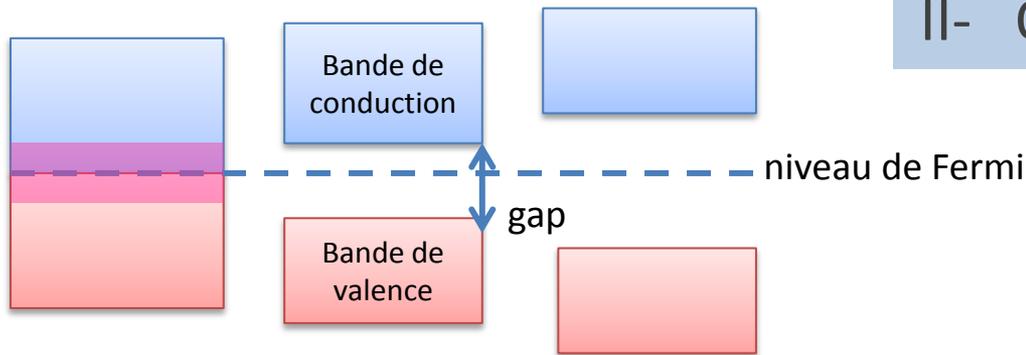
« *Vivre en Egypte  
au temps de Pharaon* »  
Aude Gros de Beler,  
Ed. Errances.

## II<sup>ème</sup> partie – les nano pigments semi-conducteurs

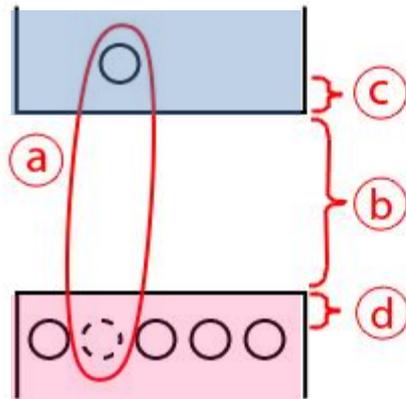


- Le sulfure de Cadmium est un pigment jaune d'or connu depuis la plus haute antiquité. Comme le séléniure de Cadmium (jaune orangé) c'est un **semi-conducteur**.
- Leur mélange produit, dans des conditions bien particulières, des nano grains qui ont la propriété de convertir **la lumière bleue** ou **ultraviolette** en une multitude de nuances colorées en **fonction de leur taille** .
- Cette propriété est appliquée dans les écrans TV de Haute définition.
- **Comment ça marche?**

## II- Qu'est qu'un semi-conducteur?



En haut la bande de conduction du semi-conducteur



a) Exciton (paire électron – trou) (cerclé en rouge)

b) **gap** d'énergie  $h\nu = x \text{ eV}$

c) Point zéro de l'énergie vibrationnelle de l'électron excité

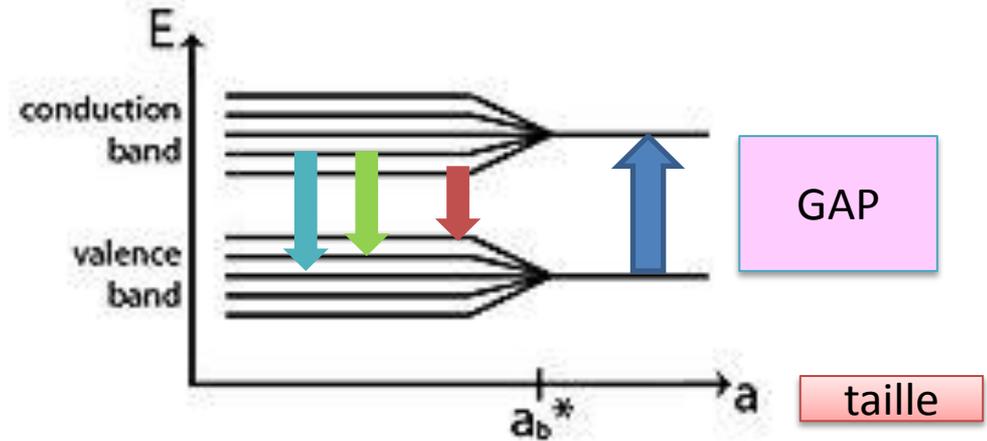
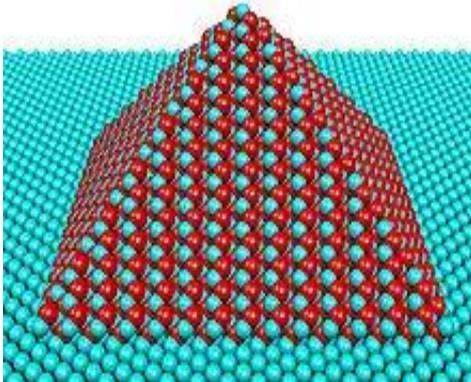
d) Point zéro de l'énergie vibrationnelle du trou

En bas la bande des électrons de valence du semi-conducteur

Par exemple CdS (sulfure de cadmium) (gap = 2,5 eV) ou CdTe (tellurure de cadmium) (gap = 1,45 eV)

## II- Effet du confinement structural par imbrication de deux structures voisines de semi conducteurs :InAs et GaAs.

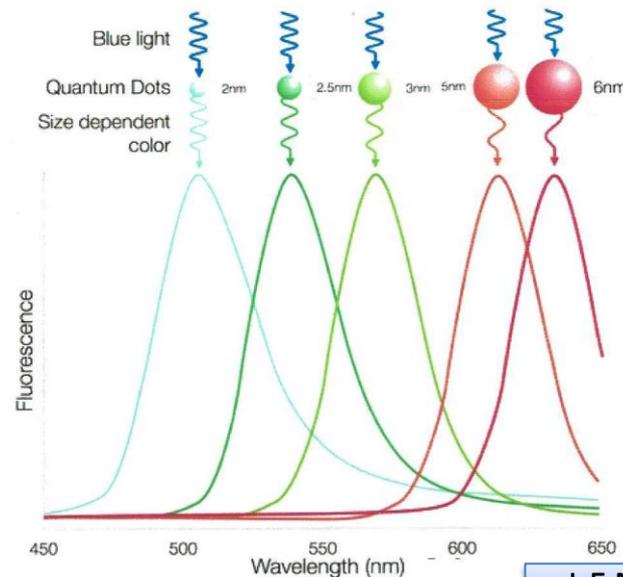
Référence: [https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum\\_dot](https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_dot)



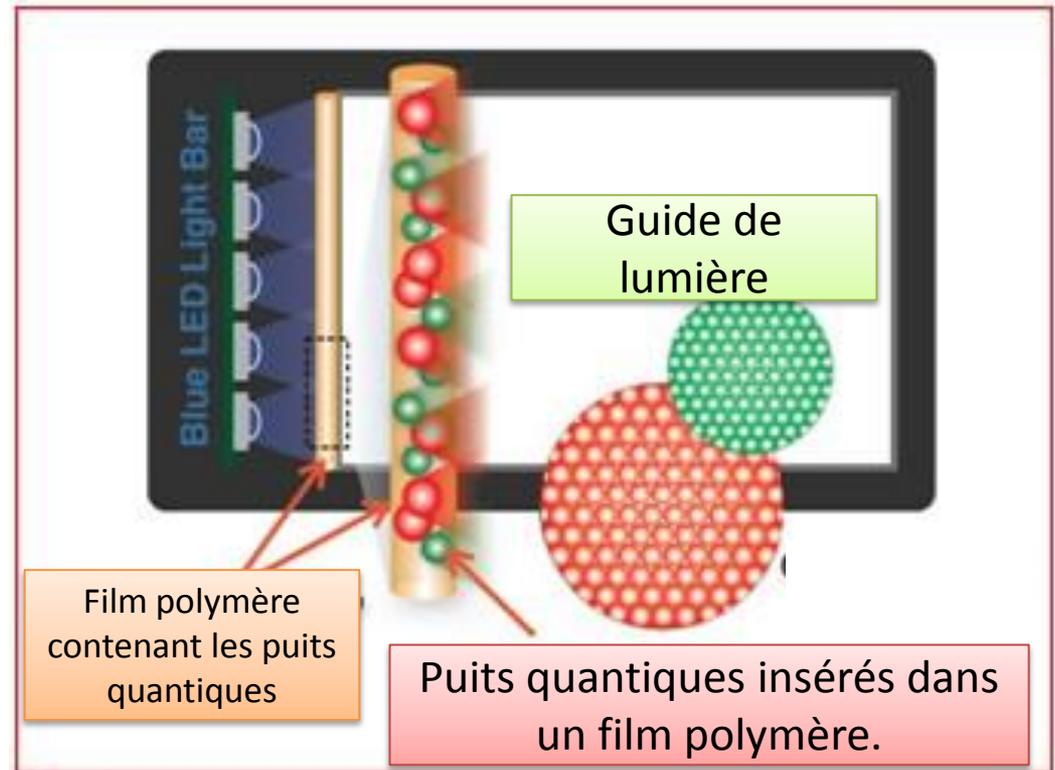
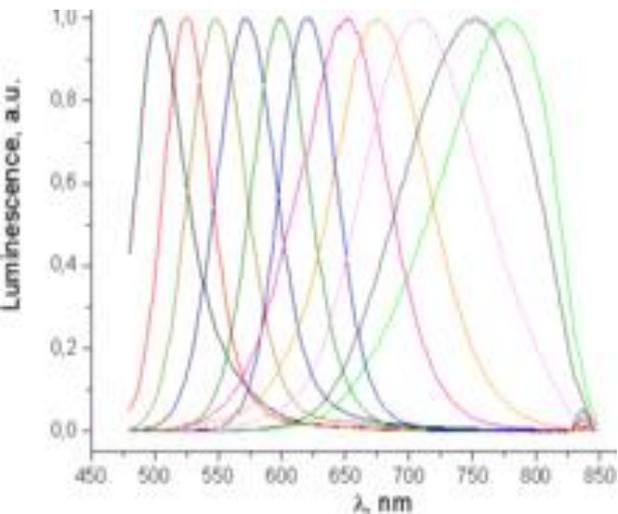
boîte quantique pyramidale d'[arséniure d'indium](#) (InAs)  
sur de l'[arséniure de gallium](#) (GaAs)

Rayon de l'exciton de Bohr  
 $a_b = 0,052917 \text{ nm } (10^{-9} \text{ m})$

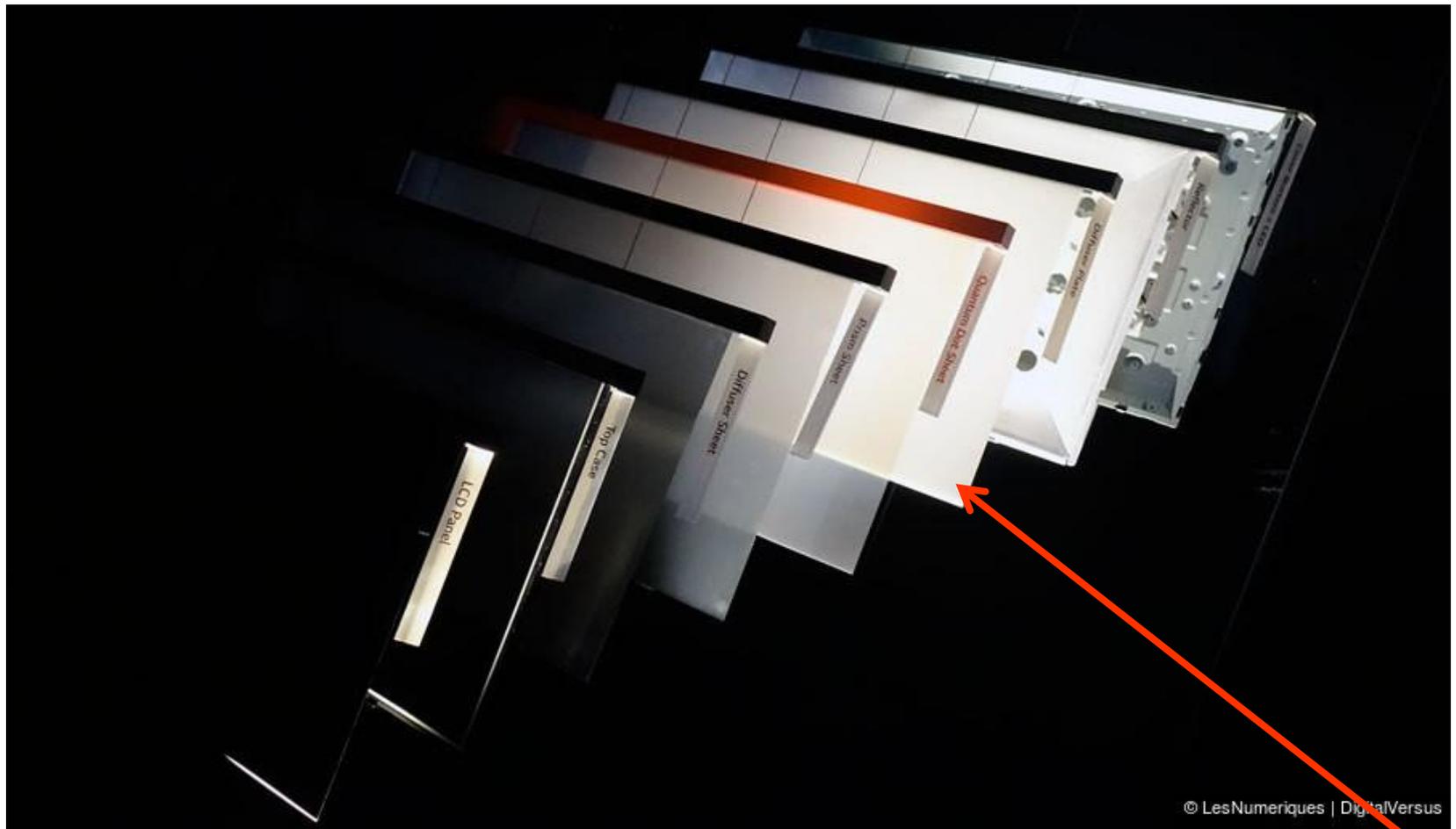
$a_b^* = 2 \text{ à } 6 \text{ nm}$  pour le rayon de  
l'exciton de Bohr  
(Cf. transparent n° 11)



## II- Films polymères contenant des puits quantiques rétro éclairés par LED à lumière bleue (www .les numériques.com>téléviseurs)



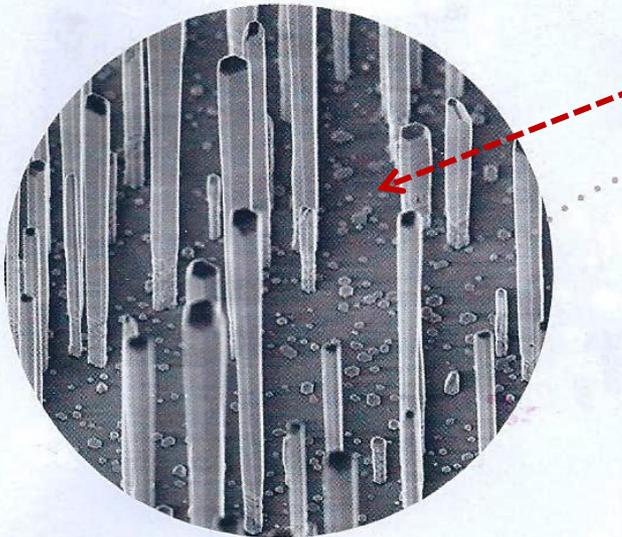
## II- Structure multicouches d'un téléviseur haute définition ([www.lesnumeriques.com](http://www.lesnumeriques.com)>téléviseurs)



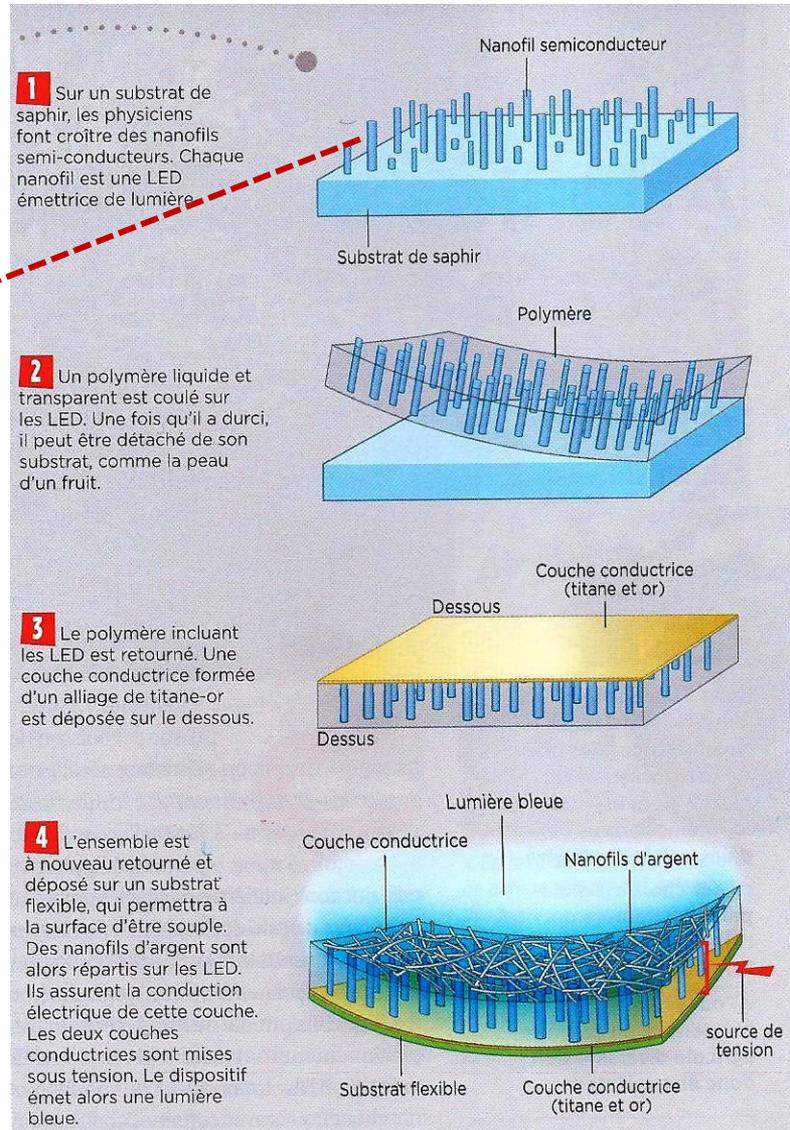
Le film polymère contenant les puits quantiques est marqué en rouge.

# Comment obtenir des LED bleues flexibles

Référence: La Recherche n° 520 – Février 2017, page 67



▲ Image prise au microscope électronique à balayage de la structure complète de nanofils d'une LED bleue. Leur hauteur ne dépasse pas 3 centièmes de millimètres.



## II- La nature l'avait déjà inventé!

le caméléon panthère de Madagascar utilise deux couches de nano cristaux de guanine à géométrie variable. Ces cellules iridescentes — **baptisées iridophores** — permettent au caméléon de changer de couleur. Il passe ainsi du bleu, vert et rouge au repos à des couleurs plus vives (jaune/orange, blanc et rouge vermillon) lorsqu'il **est excité**



Image prise sur téléviseur UHD à écran Quantum dots (puits quantiques)

# En guise de conclusion

Vive l'éclat des couleurs!

**A** noir, **E** blanc, **I** rouge, **U** vert, **O** bleu :voyelles,  
Je dirai quelque jour vos naissances latentes :

A. Rimbaud