

Quelques solutions alternatives et leur évaluation

Yannick Deshayes

Laboratoire IMS, Université Bordeaux, IPB, UMR 5218 (CNRS)

351 Cours de la libération 33405 Talence Cedex

email : yannick.deshayes@ims-bordeaux.fr

Plan de l'exposé

- **Contexte**
- **Mémoire magnétique et électronique**
- **Mémoire optique d'avenir - Quelques solutions utilisant le Laser pour écrire ?**
- **Lecture optique - Comment lire les informations inscrites par Laser ?**
- **Fiabilité - Le verre : un bon candidat ?**
- **Investissement - Combien coûte ces nouveaux dispositifs ?**

Contexte

- © Aujourd'hui : on propose la mémoire de grande capacité (qq Go), dont la dimension est la plus faible (qq cm³ - carte SSD) et le temps d'accès le plus court (qq millièmes de secondes)
- © Mais les informations seront gardées combien de temps ? en moyenne 5 ans sur un dispositif magnétique, 100000 cycles sur les mémoires électroniques et 20 ans sur un disque optique (CD, DVD, ...)
- © La durée de vie n'est jamais donnée comme argument de vente

Mémoire magnétique

● Avantages :

- ✓ mémoire de masse : typiquement 1 Téra octets = 1900 h = 80 jours de musique en format CD = 19000 h = 800 jours de musique sur MP3
- ✓ Vitesse de transfert : 6 Go/s - moins de 3 minutes pour le transfert d'1 To
- ✓ Coût faible : 50 € pour 1To → 0,5 € / Go

● Désavantages

- ✓ Consommation électrique : 5,4 W en fonctionnement (série green) - 12 W (série black) - sur 1 an 47 kW à 105 kW = 5 à 10 € / an (faible)
- ✓ Sensibilité : champ magnétique, rayonnements, chocs électriques, chocs mécaniques (espace entre tête de lecture et disque 10 nm = 500 fois plus petit qu'un cheveu) - Température extérieure max 35°C - régulation thermique (refroidissement).
- ✓ Garantie 3 ans - les premiers instants de défaillance > 3 ans. Garantie technique et non des données
- ✓ Bruit acoustique : 25 dBA (conversation à voix basse à 1,5 m)

Exemple : Baie de stockage



Calcul de la consommation du module (seulement !)

- ✓ Pour 1 ménage français / 4-16 To : 1 kW - 8,8 MW/an - 700 € / an
- ✓ La France (20 M de ménages) - 20 GW (environ 20 réacteurs nucléaires / 100 Eoliennes (200kW) / 100 km² de panneaux photovoltaïque \approx superficie de Paris) 176 TW/an - 14 Milliards € / an
- ✓ Bruit acoustique : 5,8 dB (quasi silencieux)

Mémoire électronique

● Avantages :

- ✓ mémoire ultra-portable : 4 -180 Go dans un volume faible (qq cm³)
- ✓ Accès rapide : 250 Mo/s - autour de 10 minutes pour une centaine de Go
- ✓ Pas d'usure mécanique, pas de bruit mesurable et consommation inférieure à 1W

● Désavantages

- ✓ Sensible aux chocs électriques, rayonnements,...
- ✓ Nombre de cycles limité - 100000 à qq millions
- ✓ pertes des informations si non utilisé : fuite électrique
- ✓ Coût : 2 € /Go

Mémoire optique d'avenir

- © Interactions entre la lumière et la matière :
quel type de laser utiliser ?
- © Procédé d'écriture, de gravure et lecture :
quelles méthodes utiliser ?
- © Quel est le meilleur matériau ?
- © Quelques pistes pour des solutions pérennes -
durée de vie grande (> 100 ans)

Hologramme sur billet de 200 €

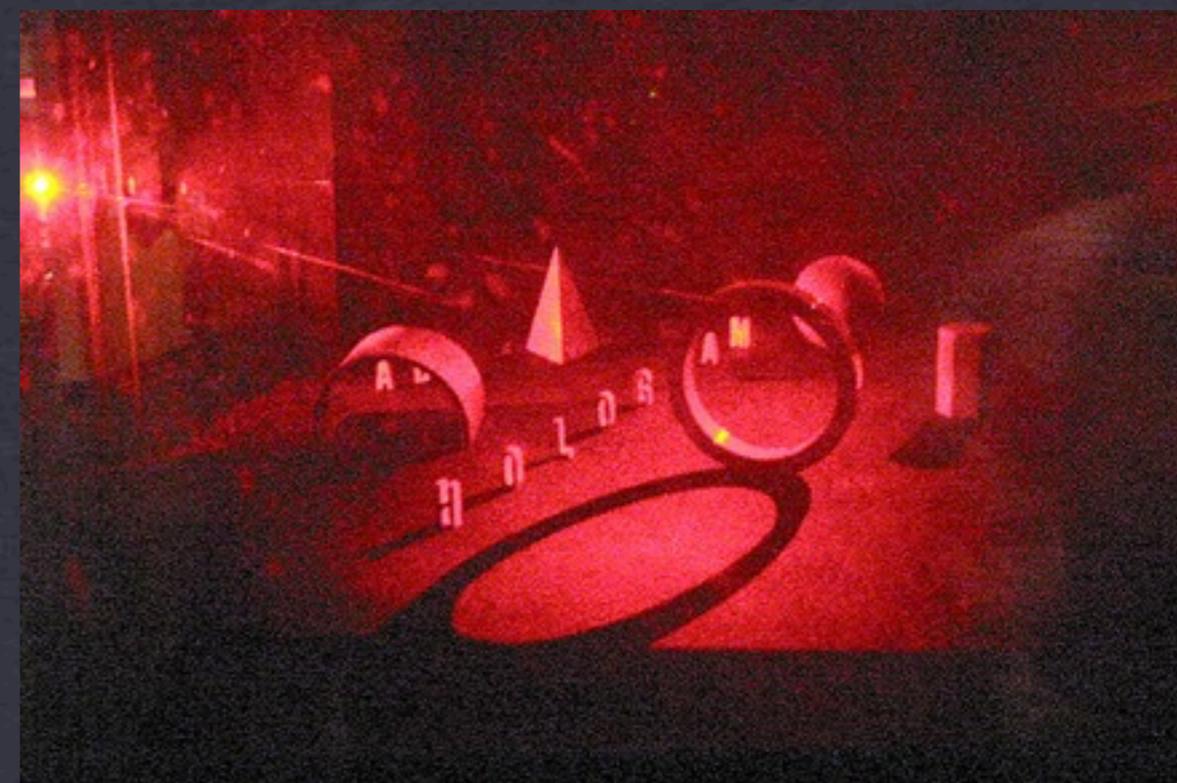
L'holographie

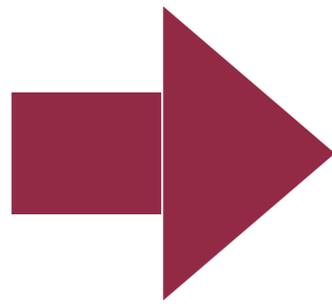
Du Grec : Holos (entier) et graphein (écrire)

Holographie = tout représenter

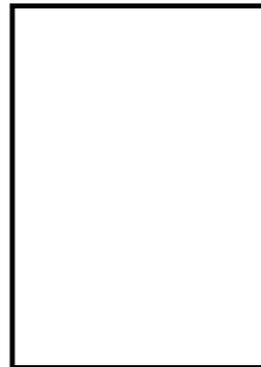
1948 : Découverte de l'holographie par D. Gabor (prix Nobel 1971)

1960 : holographie par laser
Laser classique : interaction linéaire avec la matière

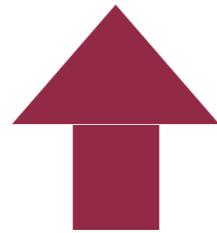




Faisceau objet

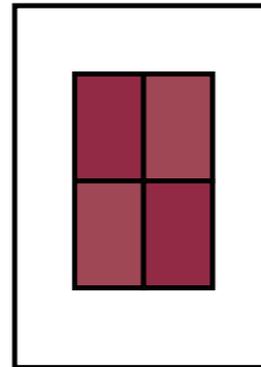


Cristal



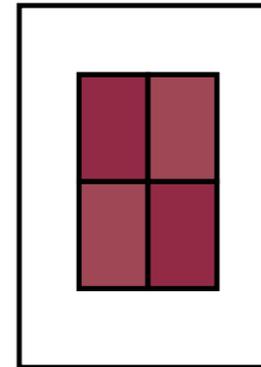
Faisceau référence

a



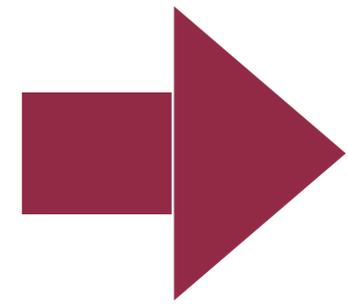
Interférence enregistrée

b



Faisceau référence

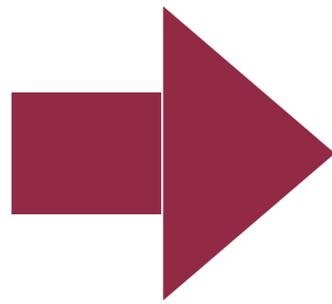
c



Faisceau objet reconstitué

HOLOGRAPHIE : INSCRIPTION DE DONNÉES

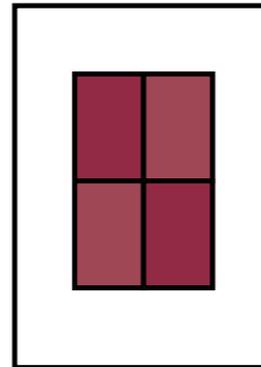
Yannick Deshayes - Quelques solutions alternatives et leur évaluation - GIS DON - 08/02/11



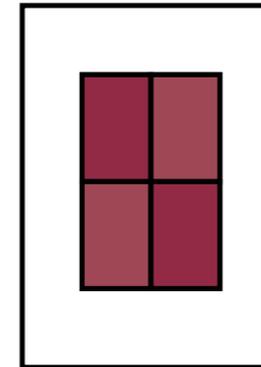
Faisceau
objet



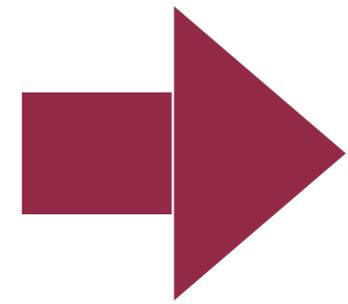
Cristal



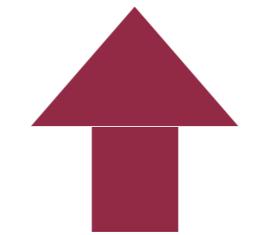
Interférence
enregistrée



Faisceau
référence



Faisceau
objet
reconstitué



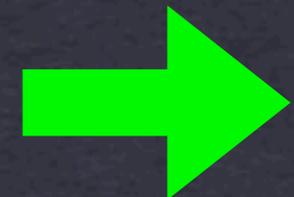
Faisceau
référence

a

b

c

On doit utiliser un Laser pour écrire et pour lire



HOLOGRAPHIE : INSCRIPTION DE DONNÉES

Yannick Deshayes - Quelques solutions alternatives et leur évaluation - GIS DON - 08/02/11

Laser

Laser : Lumière monochromatique (une couleur) cohérente (les paquets de photons quittent le système en même temps) et directive

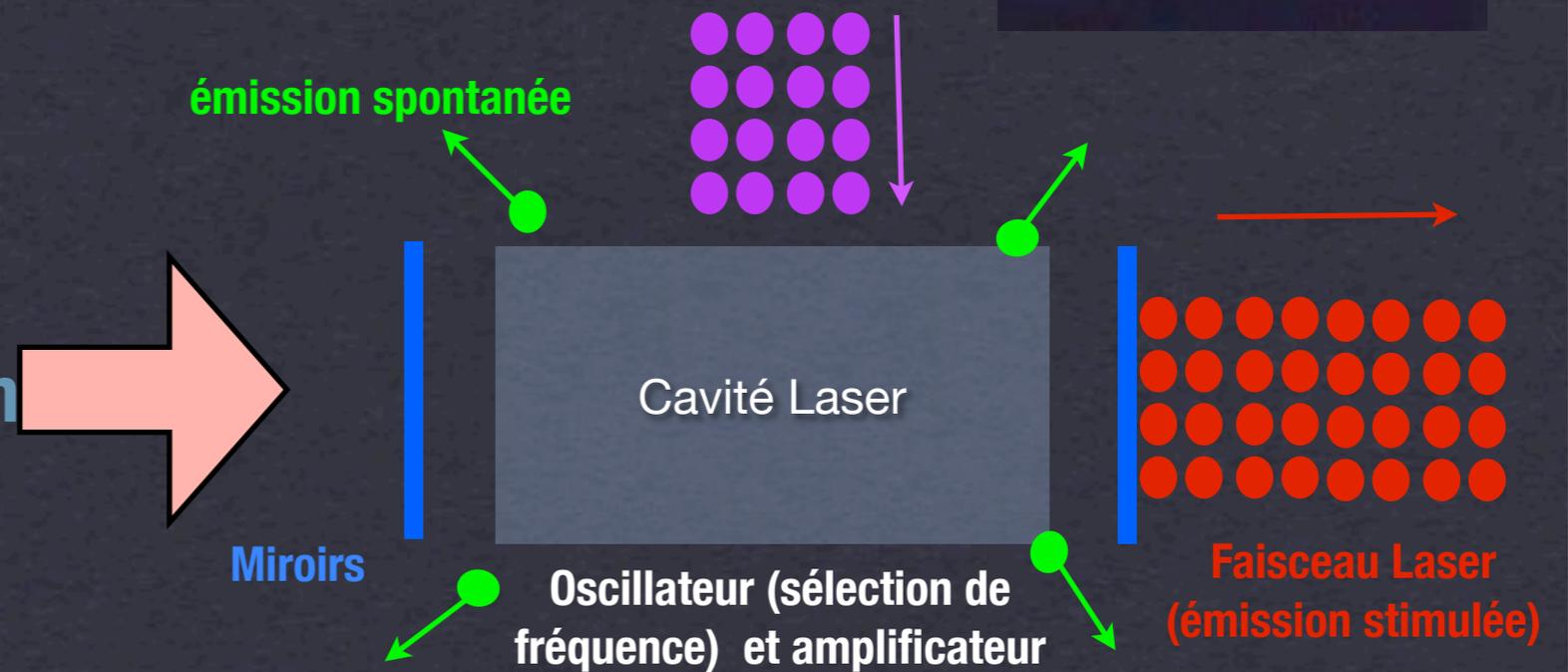
1917 : émission stimulée (cohérence temps) - A. Einstein (Prix Nobel 1921)

1950 : A. Kastler - procédé de pompage optique (Prix Nobel 1966).

Faisceaux laser (directivité)



Pompage optique (diode Lasers)



Pour réaliser un Laser bleu, vert, rouge,... on utilise un cristal doubleur ou tripleur de fréquence (non-linéaire)
La lumière entrante est souvent un Laser à semiconducteur (laser de pompe)

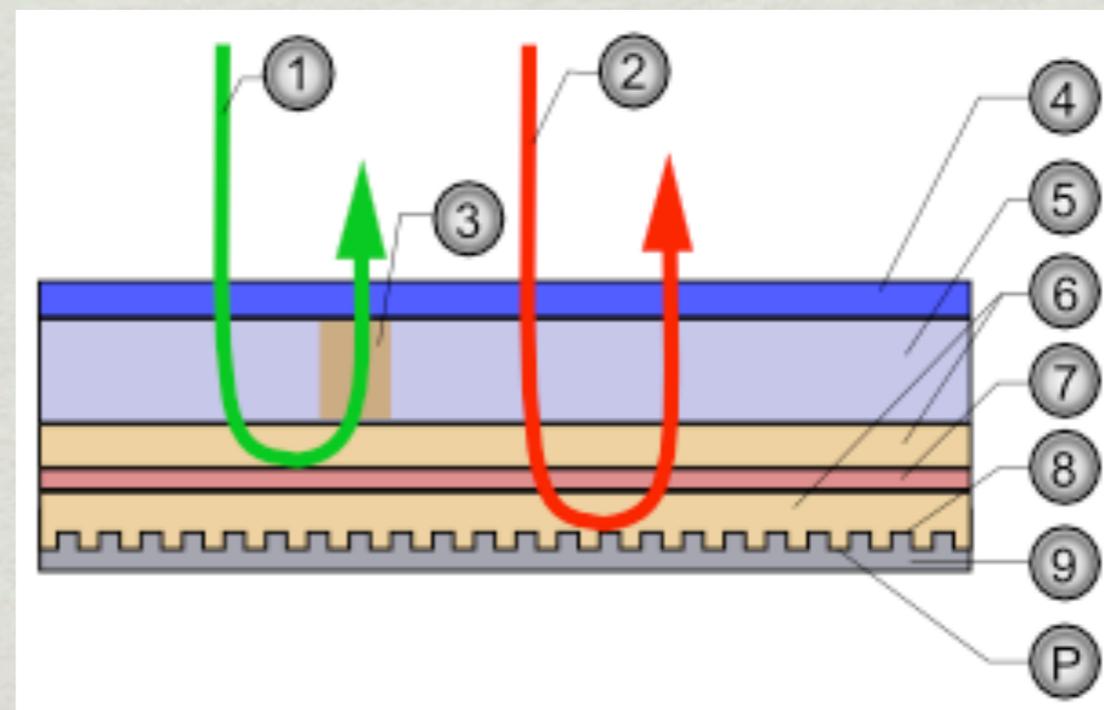
L'holographie en chiffre

© Technologie - holographie

- ✓ Graveur holographique : environ 20-30 k€
- ✓ Lecteur holographique : même type que le graveur (18 k€)
- ✓ Support : Holographic Versatile Disc = Disque Holographique polyvalent - environ 180 € - stockage 0,3 à 1 To - 100 Go/s

Structure du disque versatile holographique

1. Écriture/Lecture au laser vert (532 nm)
2. Positionnement/Adressage au laser rouge (650 nm)
3. Hologramme (données)
4. Couche polycarbonate
5. Couche photopolymère (couches contenant les données)
6. Couche de distance
7. Miroir dichroïque (réfléchissant la lumière verte)
8. Couche aluminium réfléchissante (réfléchissant la lumière rouge)
9. Base transparente



Mémoire holographique

© **Avantage :**

- ✓ mémoire grande capacité : 1 To
- ✓ Consommation faible : uniquement en mode lecture et écriture
- ✓ Coût : 0,1 € /Go (disque seul)
- ✓ Temps lecture : 100 Go/s

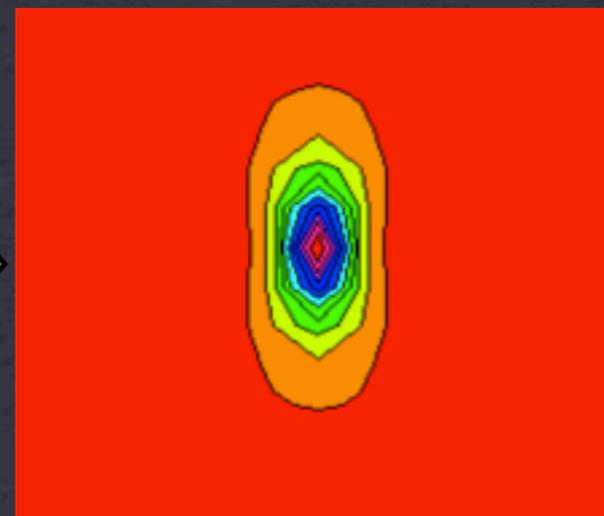
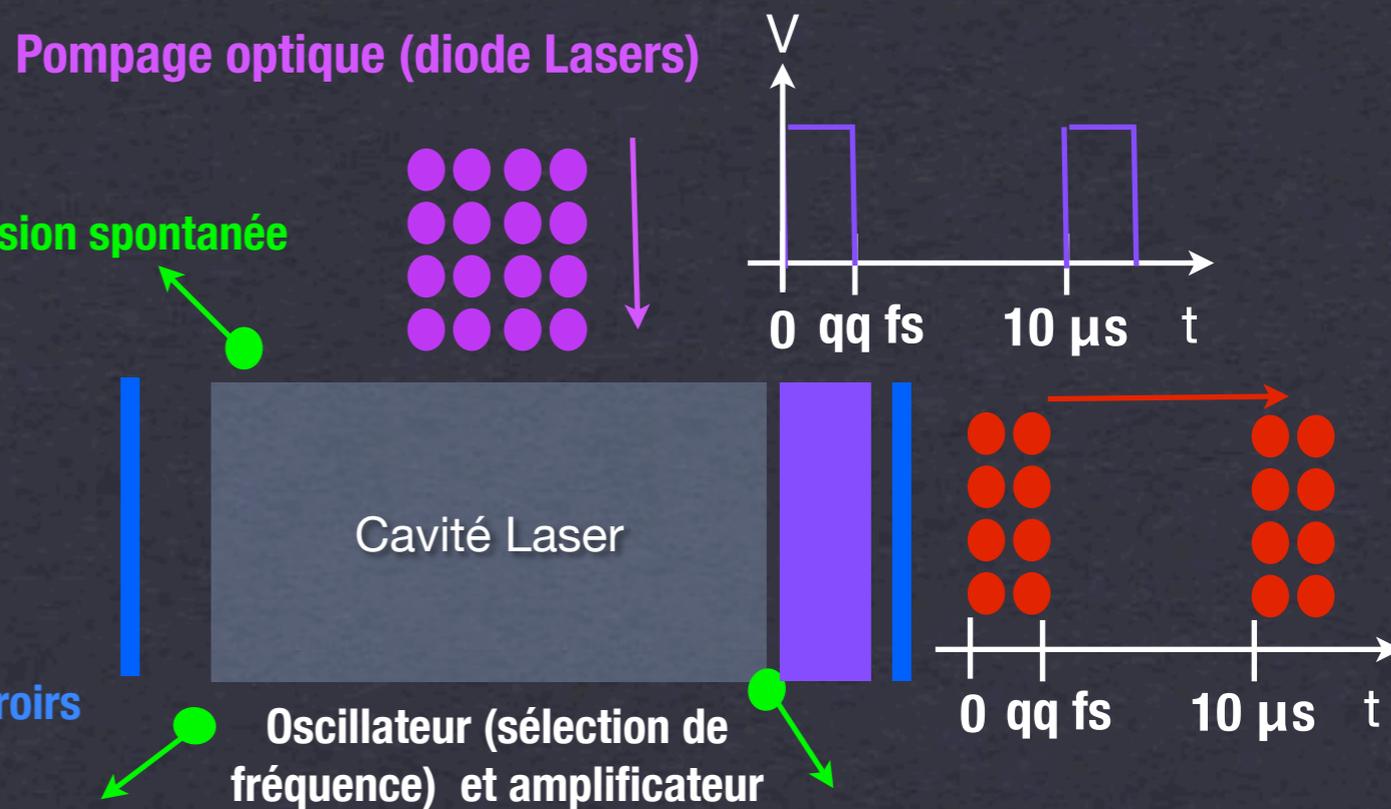
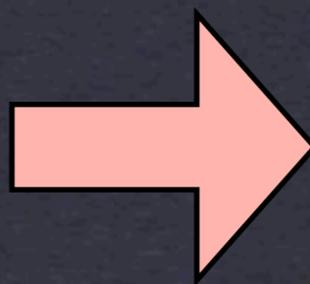
© **Désavantages**

- ✓ Sensibilité identique aux CD, DVD,... → polycarbonate
- ✓ Une durée de vie de l'ordre de 20 ans
- ✓ Un lecteur et un graveur à 20 000 €

Laser Femtoseconde

Laser femto- seconde

- ✓ femto - seconde = 1 millionième de milliardième de seconde
- ✓ Interaction non linéaire
- ✓ Zone d'interaction très localisée - écriture en volume et de faible dimension (qq 10 nm)



**Interaction localisée au
coeur du matériau**

Représentation d'1 fs

- La lumière parcourt en 1 s la distance Terre - Lune
- En 1 fs la lumière parcourt la distance \approx l'épaisseur d'un cheveu

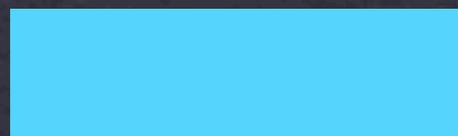
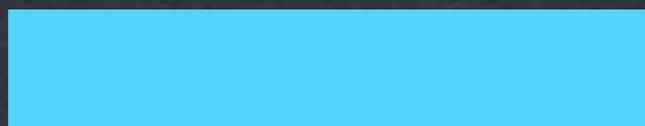


Photo-ionisation : absorption multiple de photons et/ou ionisation par effet tunnel (après 1 fs)



Ionisation par avalanche : (après 50 fs)

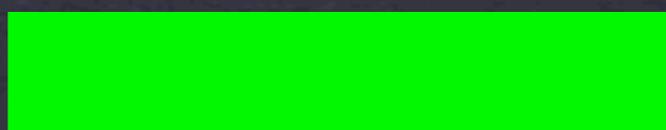


Thermalisation des électrons : (après 100 fs)



Transfert d'énergie : électron \rightarrow réseau (matière) / après 1 ps

Procédé thermodynamique : diffusion thermique, fusion et/ou explosion du matériau / après 10 ps



Procédé photochimique : changement de phase chimique et/ou structurelle / après 1 ns

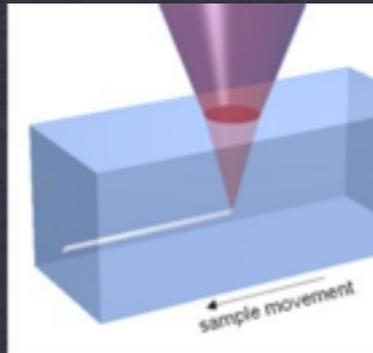
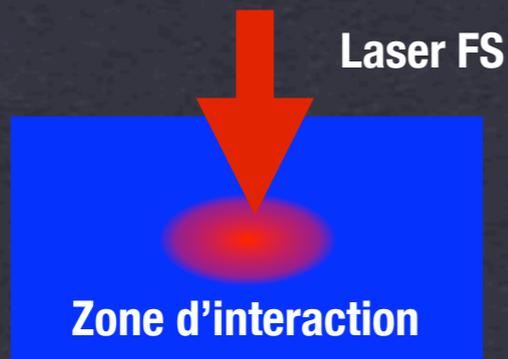


LASER FEMTOSECONDE - ECRITURE

Yannick Deshayes - Quelques solutions alternatives et leur évaluation - GIS DON - 08/02/11

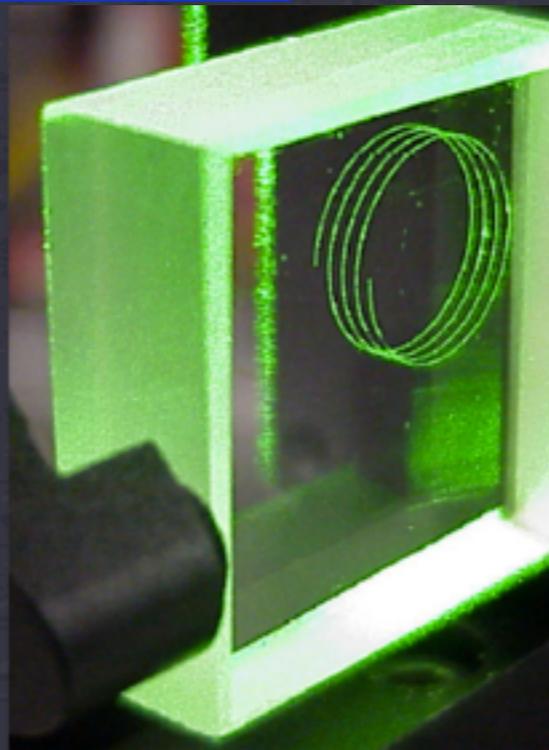
qq 100 pJ

Faible énergie Laser : variation d'indice optique positif et isotrope, fusion et solidification non uniforme, formation de cluster (verres dopés), absorption optique et fluorescence

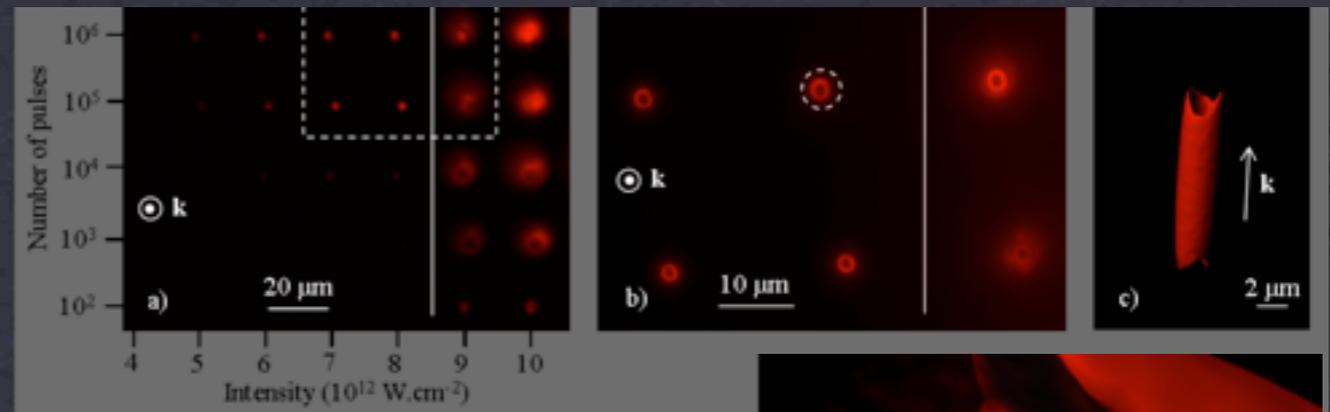


Ecriture au coeur d'un bloc de verre par structuration de cluster d'argent

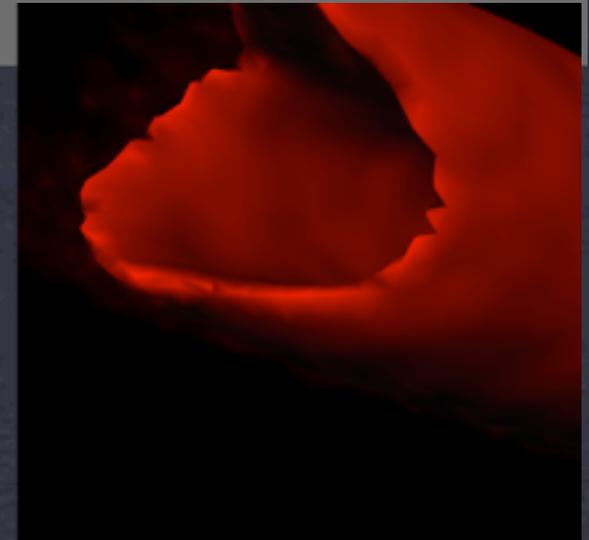
qq nJ



Ecriture au coeur d'un bloc de verre (réalisation d'un guide de lumière)



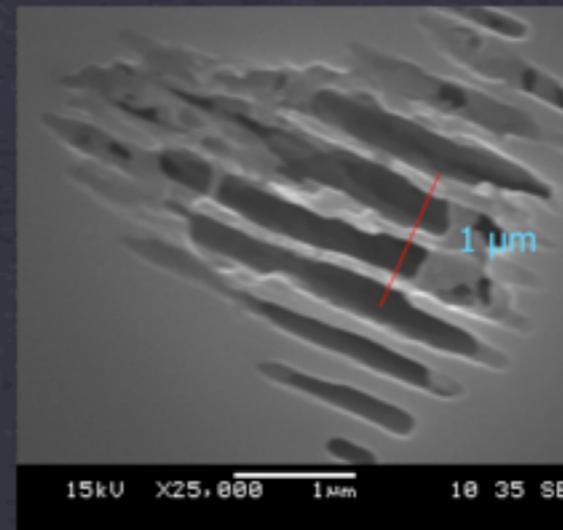
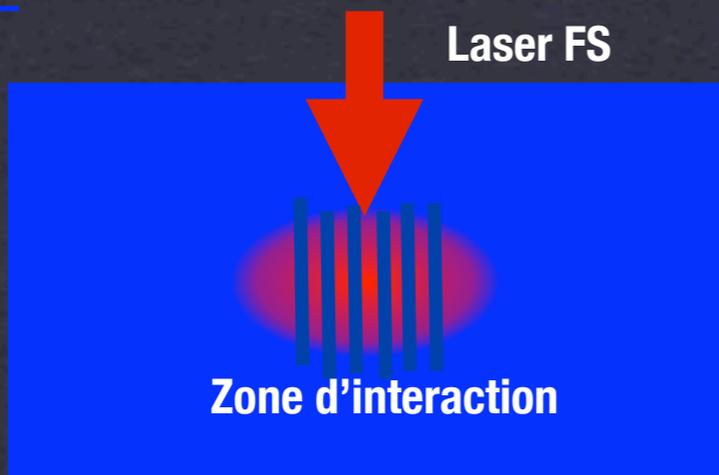
qq 100 nJ



LASER FEMTOSECONDE - ECRITURE

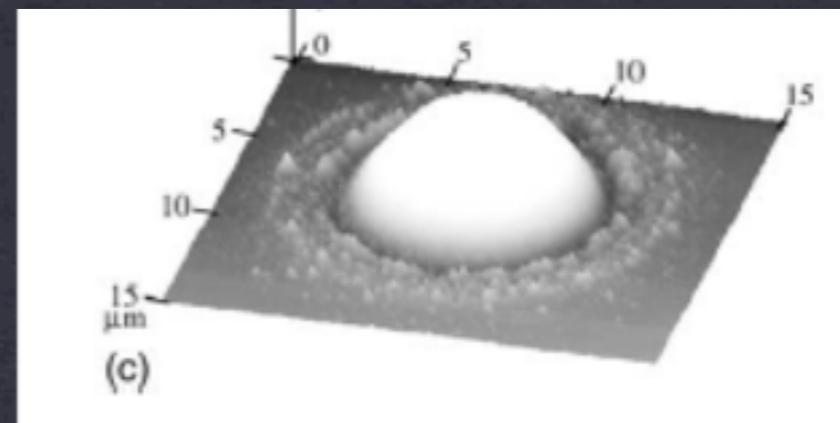
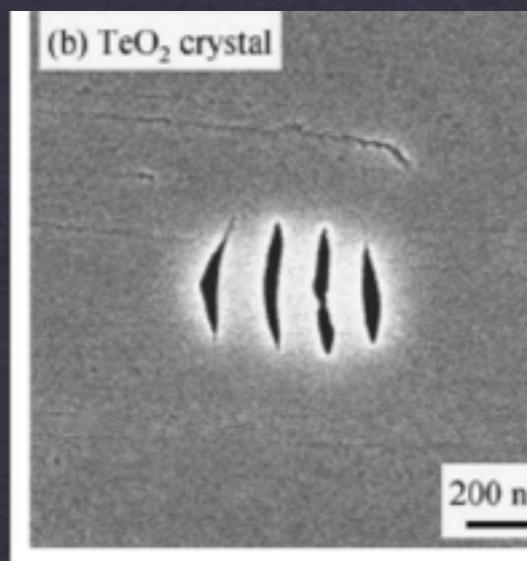
Yannick Deshayes - Quelques solutions alternatives et leur évaluation - GIS DON - 08/02/11

Nanogratings in fused silica



Secondary electron image

Moyenne énergie Laser : variation d'indice optique positif négative de manière alternative et anisotrope. Création de réseaux nanométriques

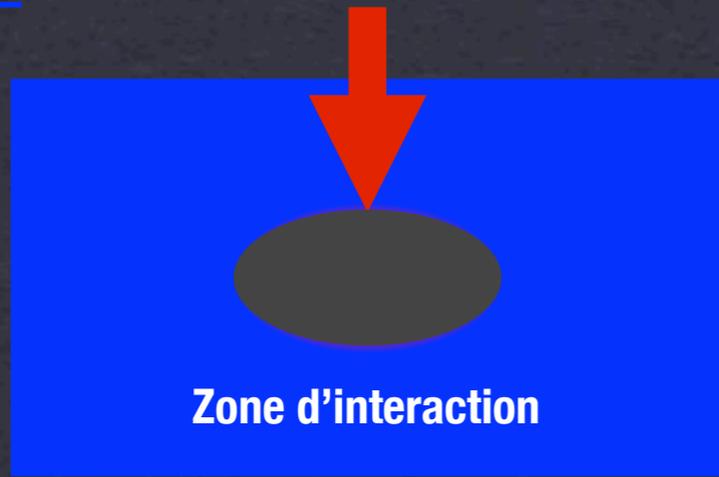


Réseau nanométrique et cristaux photoniques

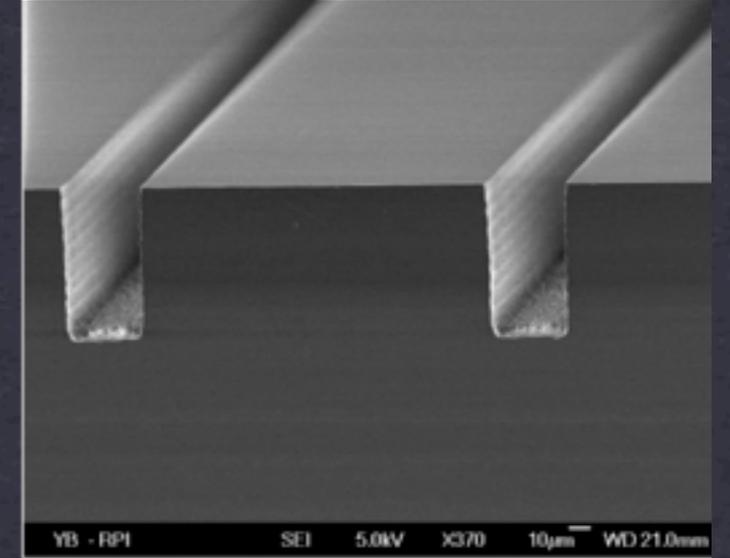
LASER FEMTOSECONDE - ECRITURE

Yannick Deshayes - Quelques solutions alternatives et leur évaluation - GIS DON - 08/02/11

qq 100 pJ



qq nJ



Guide de lumière, gravure de données (surface ou volume)

qq 100 nJ

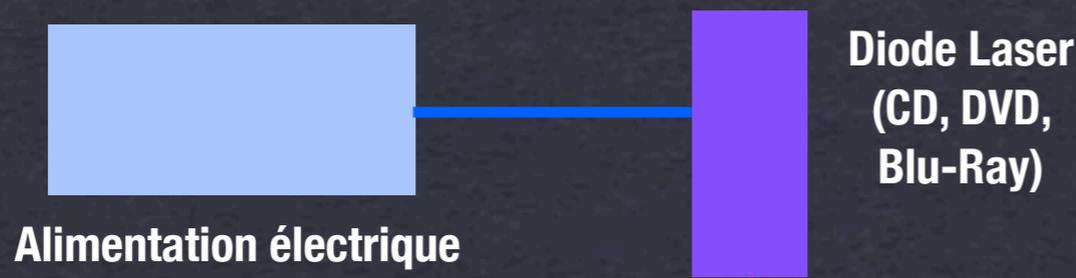
Haute énergie Laser : formation de cratère, expulsion de la matière. Variation d'indice négatif.

qq 10 fs à qq 100 fs

LASER FEMTOSECONDE - ECRITURE

Yannick Deshayes - Quelques solutions alternatives et leur évaluation - GIS DON - 08/02/11

Nous venons de voir les différentes méthodes d'écriture. Comment allons nous lire ces informations ?

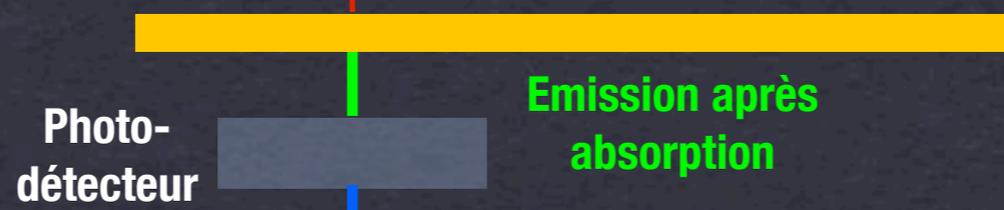


La lecture se fait avec une diode laser utilisée dans un Blu-ray

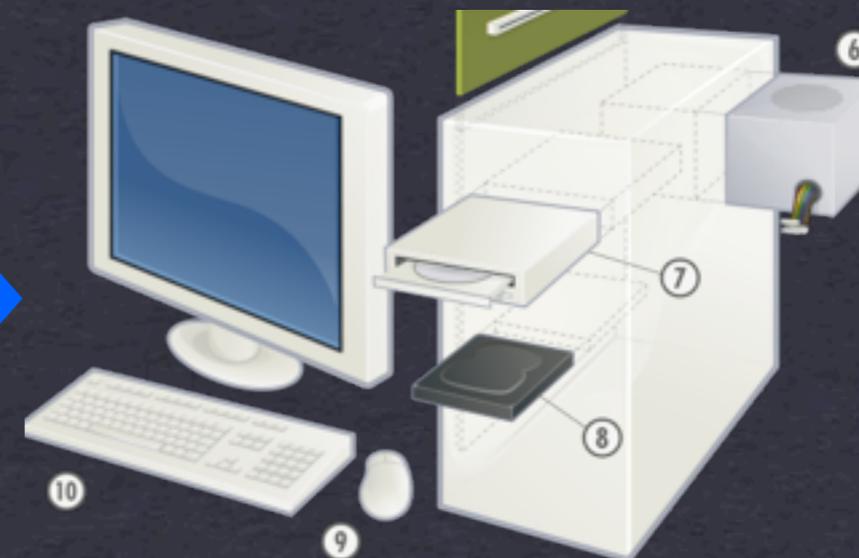
Faisceau Laser

Effet photoélectrique

- 1839 : 1ère expérience par A. Becquerel
- 1887 : compris et présenté par H.R. Hertz
- 1905 : mise en évidence des grains de lumière (photons) par A. Einstein (Prix Nobel 1921)



Information optique transcrite en information électronique (photodiode)



LASER FEMTOSECONDE - LECTURE

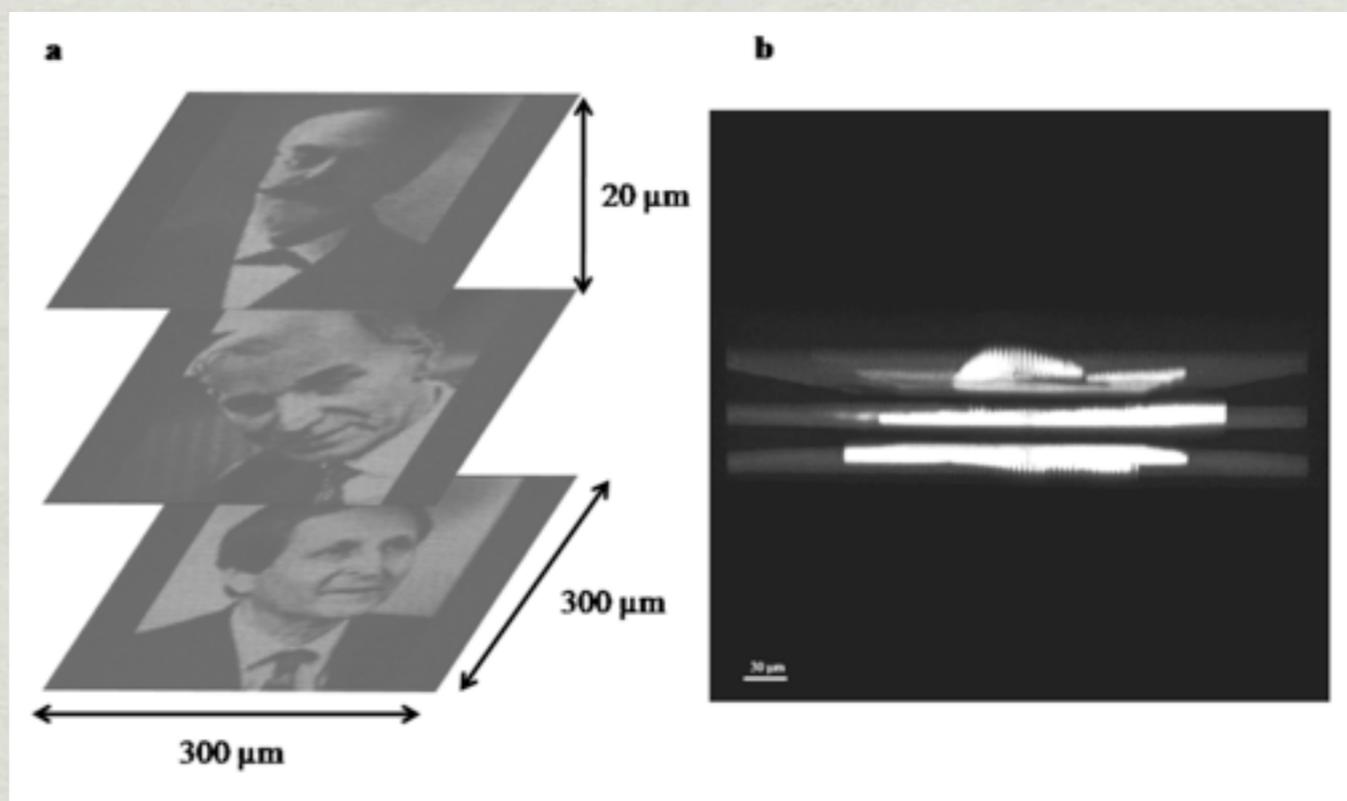
Yannick Deshayes - Quelques solutions alternatives et leur évaluation - GIS DON - 08/02/11

La techno FS en chiffre

© Technologie Laser femto-seconde

- ✓ Graveur : Environ 100 k€
- ✓ Lecteur : proche d'un Blu-Ray player soit environ 100 €
- ✓ Support disque en verre de 12 cm : environ 100 à 200 €

Écriture de données numériques et analogiques au coeur du matériau (verre)



Mémoire optique FS

● **Avantage :**

- ✓ mémoire grande capacité : 100 couches équivalent Blu-Ray Disc = 2,5 To
- ✓ Consommation faible : uniquement en mode lecture et écriture
- ✓ Coût : 0,01 € /Go
- ✓ Information au coeur du matériau (verre) et protégée du temps (durée de vie supérieure à 100 voire 1000 ans) → encore à l'étude
- ✓ Lecteur équivalent à un lecteur Blu-ray

● **Désavantages**

- ✓ Temps d'accès 250 Mo/s
- ✓ Un graveur à 100 000 €

Le verre : un bon candidat

Propriétés importantes :

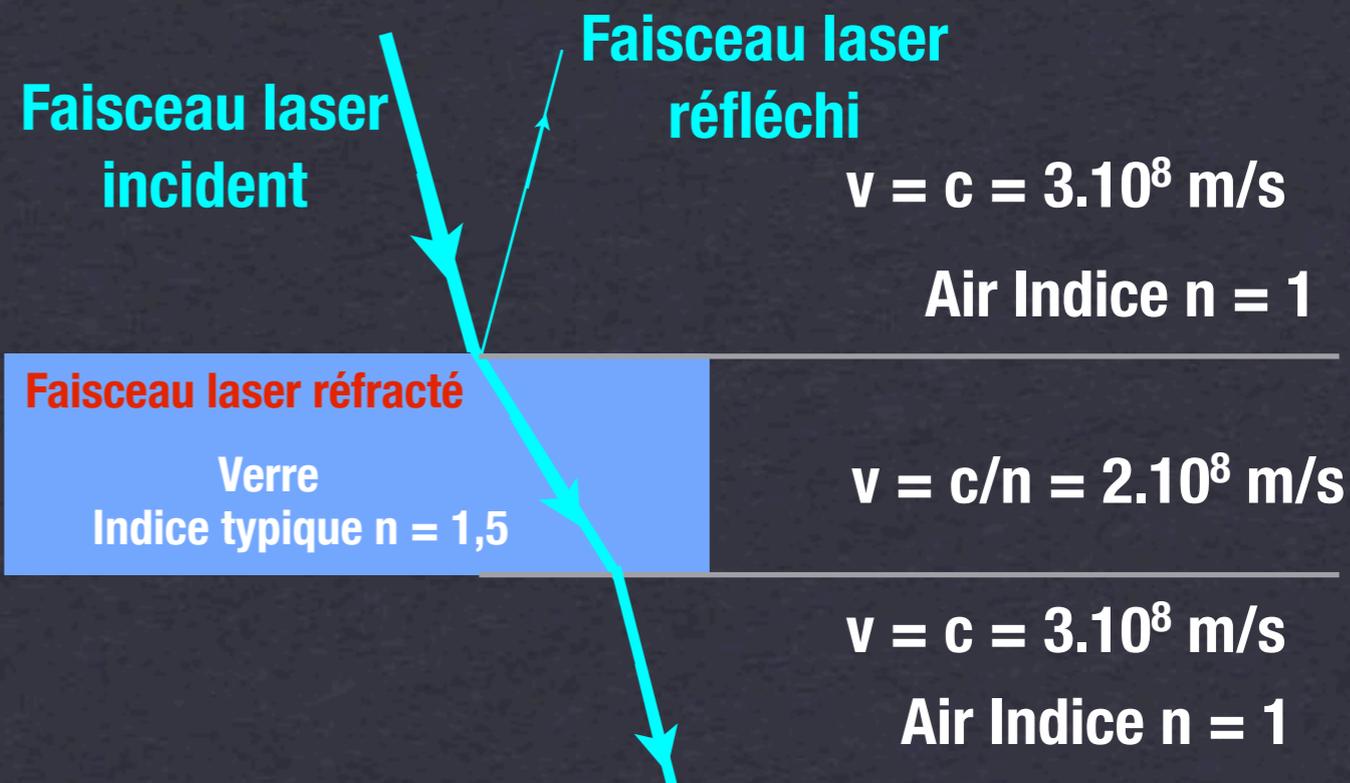
indice de réfraction,

absorption optique et fluorescence

Durée dans le temps :

vitraux et verres égyptiens - des exemples à retenir

Loi de Snell-Descartes (1621 & 1637)



Jardins de Versailles

Eau : Indice $n = 1,33$



Fibres optiques

Un matériau à fort indice guide la lumière

Le verre : un bon candidat

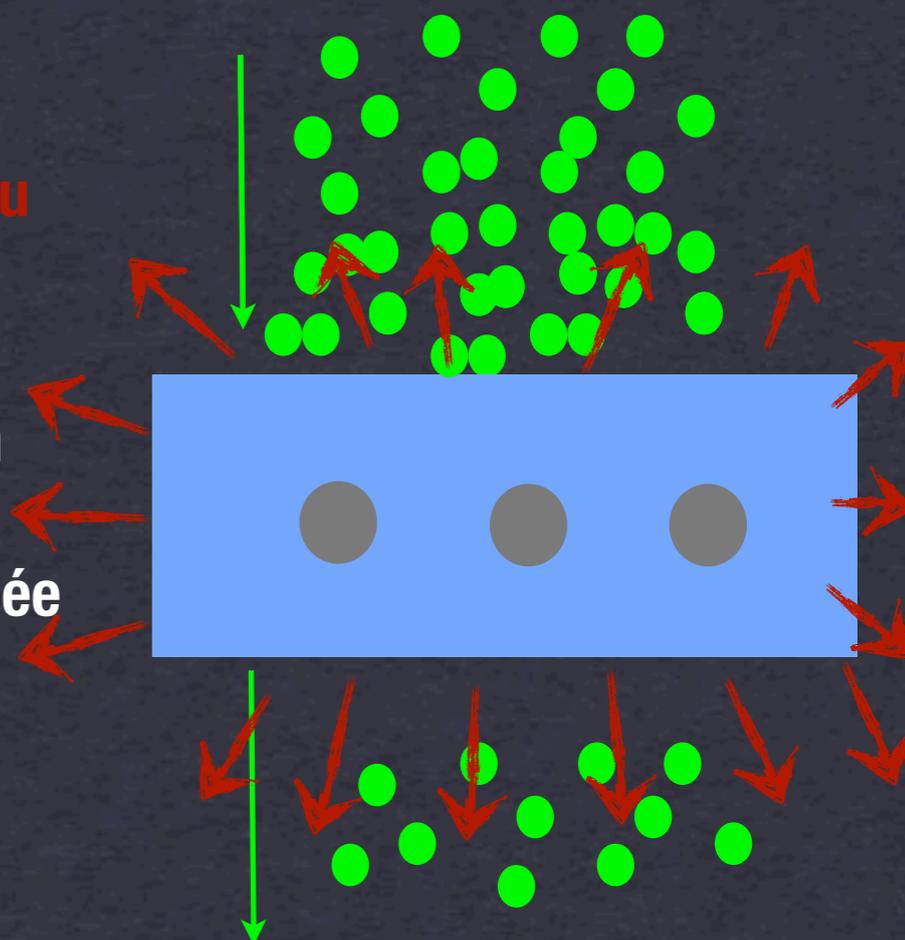
Propriétés importantes :

Indice de réfraction,
absorption optique et
fluorescence

Durée dans le temps :
vitraux et verres égyptiens -
des exemples à retenir

Echauffement du
matériau

Une quantité non
négligeable de
photons est absorbée

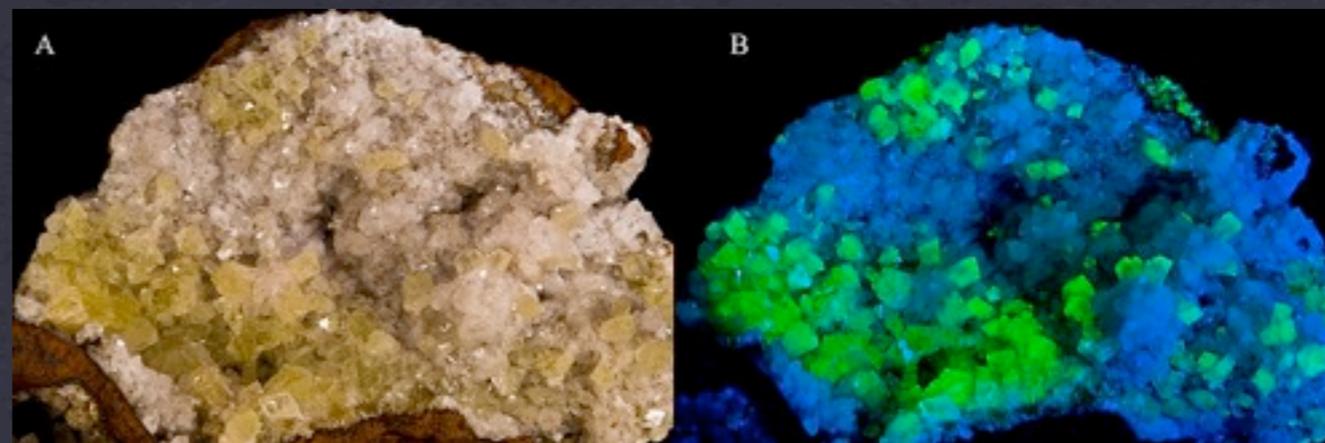
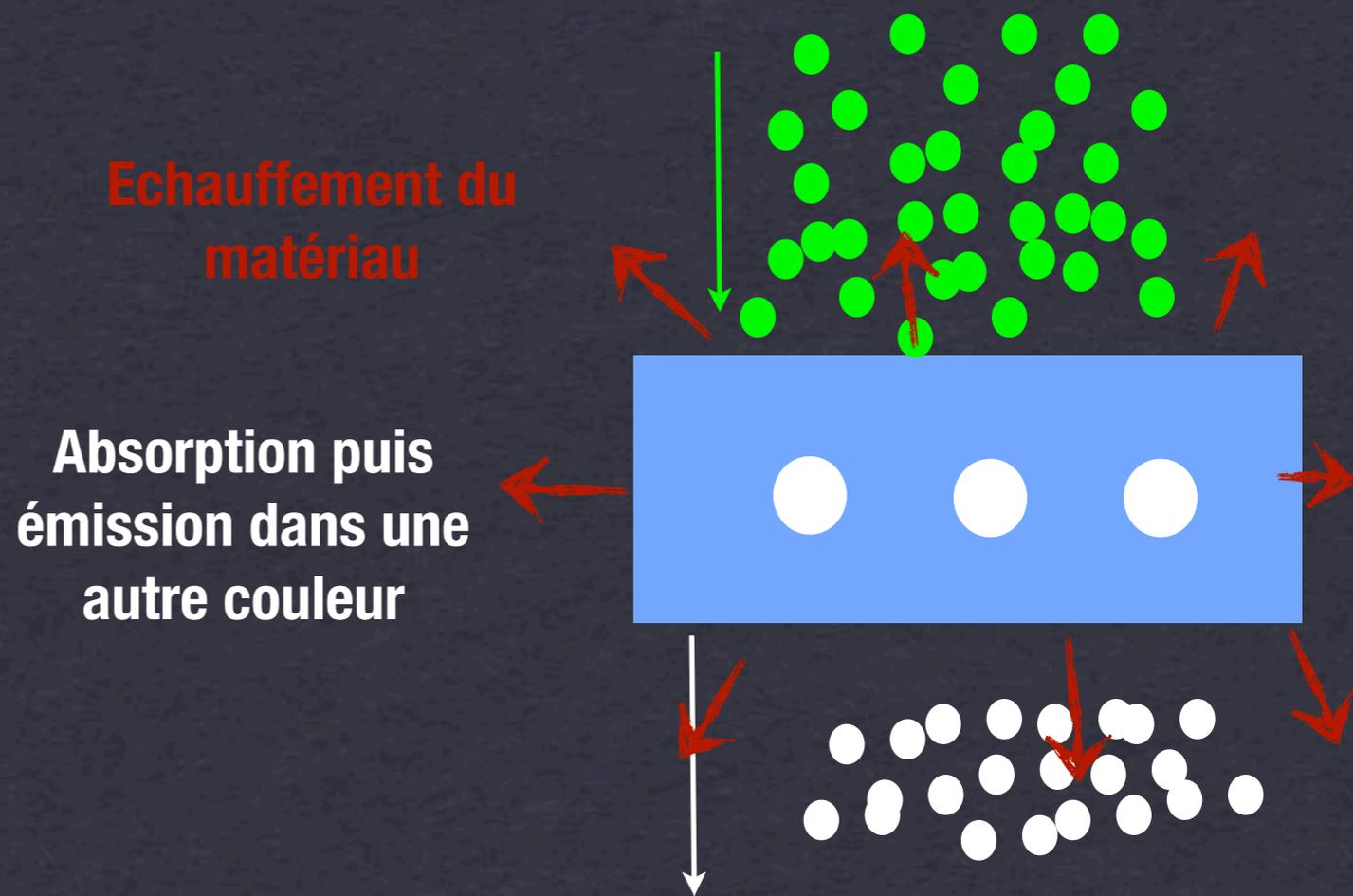


Le verre : un bon candidat

Propriétés importantes :

Indice de réfraction,
absorption optique et
fluorescence

Durée dans le temps :
vitraux et géologie - des
exemples à retenir



Première mise en évidence il y a 1000 ans chez l'empereur de chine : un tableau "magique" dans lequel apparaissait un boeuf chaque soir.

L'histoire du verre débute il y'a 100000 ans :
Obsidienne (roche volcanique) – première utilisation

Le verre : un bon candidat

Propriétés importantes :
indice de réfraction,
absorption optique et
fluorescence

Durée dans le temps :
vitraux et verres égyptiens -
des exemples à retenir



Objet égyptiens en verre - 1500 av JC



Verrière
Cathédrale de Chartres
XII et XIII^{ème} siècles

Possibilité de garder l'information
sur plusieurs siècles

Conclusion

- ◎ Un support verre massif à la place du plastique multicouches
- ◎ Une mémoire peu gourmande en énergie pour la préservation des données
- ◎ La technologie femtoseconde : une bonne piste pour l'avenir :
 - ✓ écriture au coeur du matériau
 - ✓ sur plusieurs couches
 - ✓ une lecture avec un Blu-ray player avec adaptation (un accès pour tous)
 - ✓ plusieurs options : gravure par bulle, formation de cluster de dopants, formation de cristaux, ...