



JOURNÉE D'ÉTUDES SCIENTIFIQUES

UN BAIN D'ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES ?



S. Habraken

*De la lumière pour tous :
de la luminothérapie à l'égyptologie*

Liège – 18 novembre 2015



Yvon RENOTTE



AIL 2015
année internationale de la lumière et des techniques utilisant la lumière



Université de Liège
Faculté des Sciences
Département AGO (*Astrophysique, Géophysique et Océanographie*)
Sart-Tilman, Bât.B5a, B-4000 Liège
directeur: shabraken@ulg.ac.be / co-fondateur: y.renotte@ulg.ac.be – senior project manager / consultant
(tél. 04.366.3772 – fax. 04.366.4516)
<http://www.hololab.ulg.ac.be>

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La lumière, une question simple ?

Qu'est-ce que la lumière ?

La lumière

De l'énergie en mouvement susceptible de transporter de l'information même dans le vide

la vision : 60 à 90% des informations sensorielles échangées avec notre environnement

4 modèles

une question (fort) complexe

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La lumière, une question simple ?

Qu'est-ce que la lumière ?

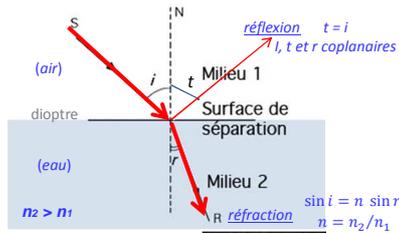
une question (fort) complexe

La lumière

De l'énergie en mouvement

4 modèles

→ un modèle géométrique – de l'antiquité à nos jours



Democrite (-460 - 370)



René Descartes (1596-1650)



Willebrord Snell (1580-1626)



Isaac Newton (1643-1727)



télescope de 6 pouces (réplique)

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La lumière, une question simple ?

Qu'est-ce que la lumière ?

une question (fort) complexe

La lumière

De l'énergie en mouvement

4 modèles

→ un modèle géométrique – de l'antiquité à nos jours

→ un modèle ondulatoire / électromagnétique – au 19^{es}



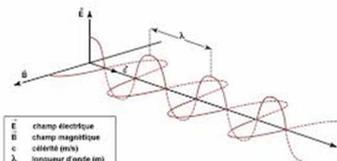
Christiaan Huygens (1629-1695)



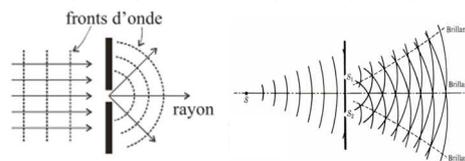
Augustin Fresnel (1788-1827)



Joseph Fourier (1768-1830)



E : champ électrique
 B : champ magnétique
 c : célérité (m/s)
 λ : longueur d'onde (m)
 T : période = 1/c (s)
 f : fréquence = 1/T (Hz)



James Clerk Maxwell (1831-1879)

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Onde : phénomène spatio-temporel
 développement
 - en un point donné: en fonction du temps $y = f(t)$
 - à un moment donné: en fonction de l'espace $y = \varphi(x)$

Onde progressive sinusoïdale (simple)

$\vec{E} = \vec{E}_0 \sin(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{x} + \varphi_0)$

indice de réfraction du milieu $n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda_0}{\lambda}$
 c : vitesse de la lumière dans le vide
 v : vitesse de la lumière dans le milieu
 x : chemin géométrique ; nx : chemin optique $\lambda = vT$ $\lambda_0 = cT$

$c \approx 300\,000 \text{ km/s} = 3.10^8 \text{ m/s}$ (dans le vide)
 lumière visible : $400 \leq \lambda \leq 700 \text{ nm}$ (10^{-9} m) $430 \leq \nu \leq 750 \text{ THz}$ (10^{12} Hz)

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La lumière, une question simple ?

Qu'est-ce que la lumière ? une question (fort) complexe

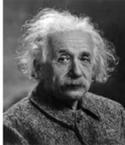
La lumière
 De l'énergie en mouvement

4 modèles

- un modèle géométrique – de l'antiquité à nos jours
- un modèle ondulatoire / électromagnétique – au 19^{es}
- un modèle corpusculaire (photon) / quantique – au 20^{es}



Max Planck
(1858-1947)



Albert Einstein
(1879 -1955)



Louis de Broglie
(1892-1987)

Absorption – Emission

$\tau \approx 10^{-8} \text{ s}$

E2

E1

niveau microscopique

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La lumière, une question simple ?

Qu'est-ce que la lumière ?

une question (fort) complexe

La lumière

De l'énergie en mouvement

4 modèles

- un modèle *géométrique* – de l'antiquité à nos jours
- un modèle *ondulatoire / électromagnétique* – au 19^{es}
- un modèle *corpusculaire (photon) / quantique* – au 20^{es}
- un modèle 'complet' : l'*électrodynamique quantique*



Richard Ph. Feynman
(1918–1988)

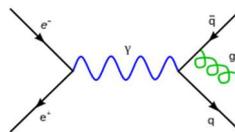


Diagramme de Feynman



Julian Schwinger
(1918 – 1994)



Sin-itiro Tomonaga
(1906–1979)

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La lumière, une question simple ?

Qu'est-ce que la lumière ?

une question (fort) complexe

La lumière

De l'énergie en mouvement susceptible de transporter de l'information même dans le vide

4 modèles

- un modèle *géométrique* – de l'antiquité à nos jours
- un modèle *ondulatoire / électromagnétique* – au 19^{es}
- un modèle *corpusculaire / quantique* – au 20^{es}
- un modèle 'complet' : l'*électrodynamique quantique*

en pratique: on utilise le modèle le mieux adapté au traitement du problème considéré

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La lumière, une question simple ?

Qu'est-ce que la lumière ?

une question (fort) complexe

La lumière

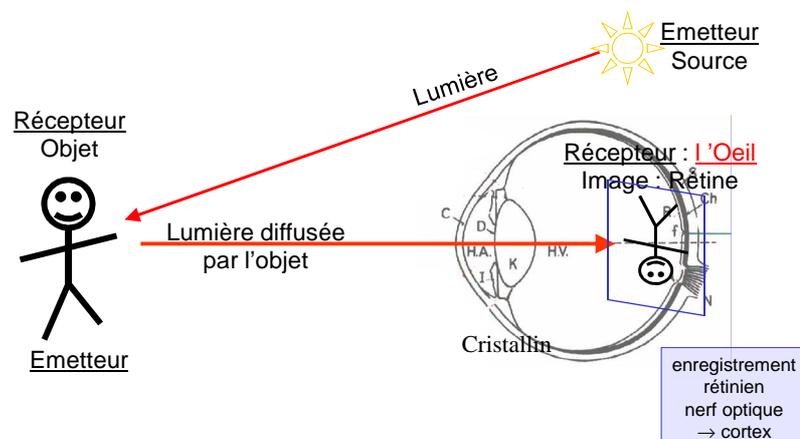
De l'énergie en mouvement susceptible de transporter de l'information même dans le vide

la vision : 60 à 90% des informations sensorielles échangées avec notre environnement

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Les systèmes optiques imageants

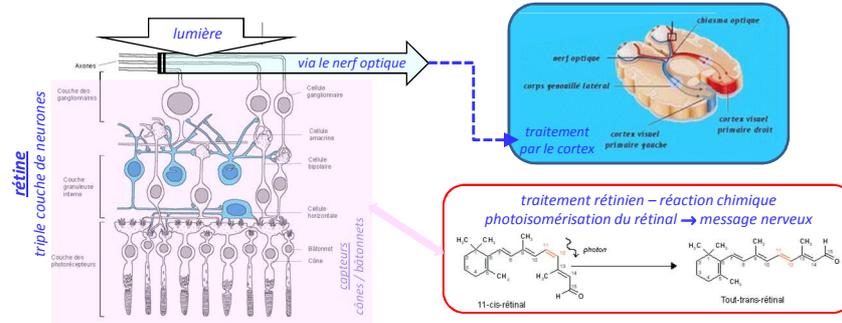
- exemple : l'œil



© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Les systèmes optiques imageants

exemple : le mécanisme de la vision



- pixellisation
- réactions photo-chimiques dans la rétine
 - signaux nerveux transmis au cerveau via le nerf optique
 - traités par le cortex

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Impressions visuelles

- **Reproduction**
 - **Impression visuelle : ensemble d'informations**
 - **Formes / Volumes** → **Géométrie**
 - optique géométrique : instruments
 - **Luminances / Eclaircissements**
 - photométrie / radiométrie
 - **Couleurs**
 - colorimétrie

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Impressions visuelles

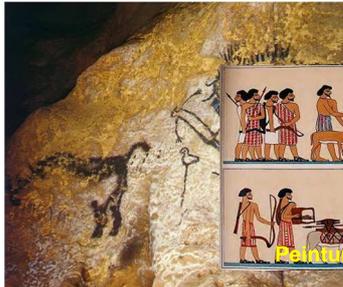
- **Reproduction**
- **Dessins et peintures**
 - les peintures rupestres
 - la peinture à l'huile

Peintures à l'huile

Le Déluge
Voûte de la Chapelle Sixtine
(Michelangelo 1475-1564)



Peintures pariétales et rupestres



Peintures murales égyptiennes
(-1250)

Grottes de Lascaux (-17 / -18000 ans) et Chauvet (-30000 ans)

© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Impressions visuelles

- **Reproduction**
- **Dessins et peintures**
 - les peintures rupestres
 - la peinture à l'huile
- **Sculptures**
 - les bas-reliefs



Fonds baptismaux

12^{es}
attribué à *Renier de Huy* (?-1150)

Le baptême du Christ
Collégiale Saint-Barthélemy
Liège



Bas-relief égyptien
Ptolémée VIII
Temple d'Edfou
(1^{er} s ac)



Bas-relief votif
de
Guillaume de Wavre
15^e s
Eglise Saint-Jean-
l'Évangéliste
Liège

© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Impressions visuelles

- **Reproduction**

- **Dessins et peintures**

- les peintures rupestres
 - la peinture à l'huile

Le dompteur de taureau
(Li Tore)



Léon Mignon (1847-1898)

- **Sculptures**

- les bas-reliefs
 - les statues



Auguste Prima
Porta

Musée du Vatican

*copie faite en 14 ap.
JC. d'un original en
bronze réalisé en 20
av. JC*



Fontaine de la Vierge

Jean Del Cour (1627-1707)

© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Impressions visuelles

- **Reproduction**

- **Dessins et peintures**

- les peintures rupestres
 - la peinture à l'huile
 - **la photographie**

- **Sculptures**

- les bas-reliefs
 - les statues
 - **la stéréoscopie**
 - **l'holographie**

! Affaires de spécialistes ! => Techniques conviviales

Reproduction fidèle des images = Maîtrise de la reproduction des couleurs et du relief

© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Impressions visuelles

• Reproduction



Nicéphore Niépce
(1765-1833)

des pionniers



Louis Daguerre
(1787-1851)

- Dessins et peintures
 - les peintures rupestres
 - la peinture à l'huile
 - **la photographie**
- Sculptures
 - les bas-reliefs
 - les statues
 - **la stéréoscopie**
 - **l'holographie**



Nicéphore Niépce (1765-1833)

photographie réalisée en 1827 - la seule qui nous soit parvenue
(Saint-Loup de Varennes - bitume de Judée)

! Affaires de spécialistes ! => Techniques conviviales

Reproduction fidèle des images = Maîtrise de la reproduction des couleurs et du relief

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La Photographie

- *Technique d'enregistrement et de reproduction d'images en 2D*
- **Reproduction en 2D** de l'image d'un volume déterminé par la 'profondeur de champ' de l'instrument, fonction des caractéristiques de l'instrument d'optique (objectif) formant l'image et de la taille du capteur
- Relation entre un point objet O_i et un point image J_i
- Chaque point J_i a une position (x, y) déterminée par celle du point O_i correspondant un éclairement E_{J_i} déterminé par celui E_{O_i} du point O_i correspondant : $E_{J_i} < \propto E_{O_i}$ une couleur ω_i déterminée par celle du point objet correspondant

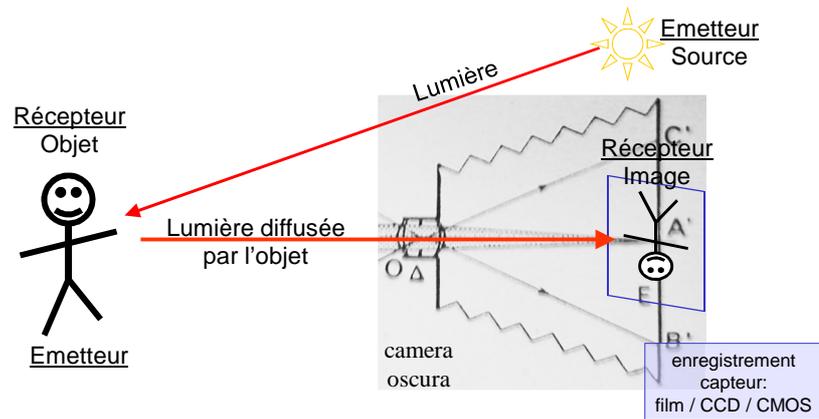
→ **photographie** = distribution de pixels d'éclairements E_{J_i} et de couleurs ω_i dans un plan image (x, y)

$$I = f(x, y, E_{J_i}, \omega_i)$$

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Les systèmes optiques imageants

- exemple : [les caméras](#)



© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Exemple de traitement

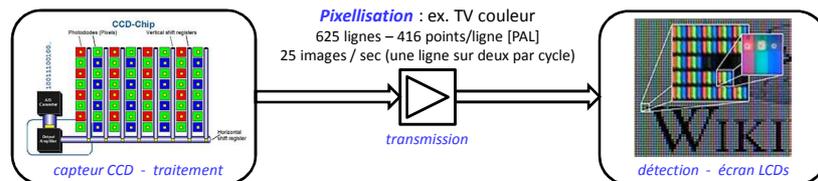
Capture / traitement de l'information : matrice CCD ou CMOS

- pixellisation → collecte des informations → traitement
- signaux R – G – B
- compression

Transfert / décompression

décodage de l'information : adressage à l'écran LCD, LEDs, ...

Affichage



© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)



La 3D

- Qui a inventé la 3D ?

- **La Nature**

- et elle a doté les êtres vivants (du moins le règne animal) de multiples moyens de la percevoir
 - dont la vision binoculaire



comparaison de deux techniques d'imagerie 3D
la stéréoscopie et l'holographie

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Impressions visuelles

• Reproduction



David Brewster
(1781-1868)

des pionniers



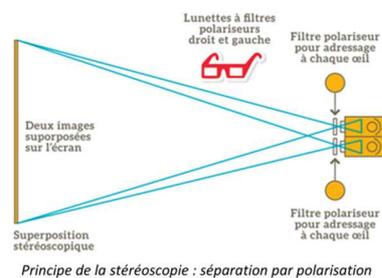
Charles Wheatstone
(1802-1875)

• Dessins et peintures

- les peintures rupestres
- la peinture à l'huile
- **la photographie**

• Sculptures

- les bas-reliefs
- les statues
- **la stéréoscopie**
- **l'holographie**



! Affaires de spécialistes ! => Techniques conviviales

Reproduction fidèle des images = Maîtrise de la reproduction des couleurs et du relief

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Impressions visuelles

- **Reproduction**

- **Dessins et peintures**

- les peintures rupestres
- la peinture à l'huile
- la **photographie**



des pionniers

Dennis Gabor
(1900-1979)
Prix Nobel de
Physique 1971

- **Sculptures**

- les bas-reliefs
- les statues
- la **stéréoscopie**
- **l'holographie**



Hologramme de transmission effectué à l'ENSAT - Lanion
Yoann Atlas : HeNe (633 nm) - plaque Ultimate Holography



Hologramme de réflexion en exposition
à la Maison de la Science de Liège (lu en lumière blanche)

! Affaires de spécialistes ! => Techniques conviviales

Reproduction fidèle des images = Maîtrise de la reproduction des couleurs et du relief

© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Comparaison de deux techniques de reproduction du relief

- **La stéréoscopie**
- **L'holographie**

- **avantages**
- **inconvénients**

© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La perception des volumes

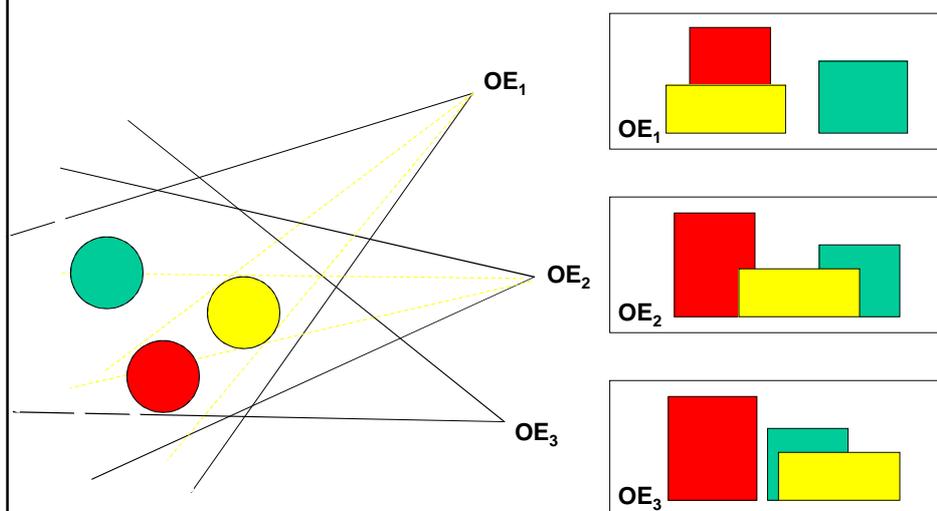
Préalables

- La perspective
- La vision binoculaire

! La vision binoculaire n'est pas indispensable pour la perception de la 3D !

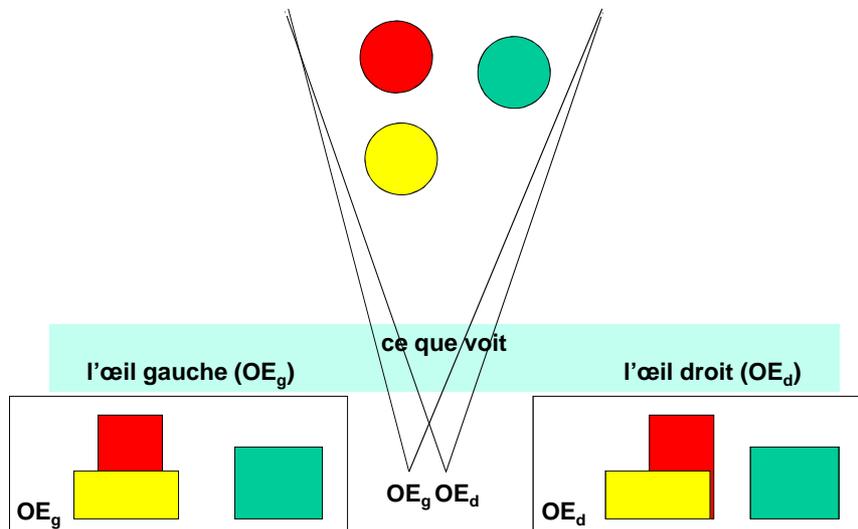
© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Le Relief : Perspective



© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Le Relief : Vision binoculaire



© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

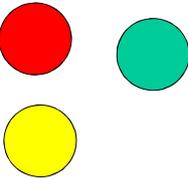
La Stéréoscopie

- **Technique d'enregistrement et de reproduction d'images en 3D**
Elle est quasiment née en même temps que la photographie, au 19^{es}
- **Principe**
Elle consiste à adresser séparément, à chacun des yeux d'un ou de plusieurs spectateurs, des images plus ou moins décalées d'une scène enregistrée. Le cerveau fait le reste [➤](#)
La technique simule en quelque sorte la vision binoculaire
De nombreuses méthodes d'adressage ont été inventées
- **Séparation des images** [➤](#)
- **Avantages**
Projection possible et lecture simultanées par plusieurs spectateurs
Reproduction du mouvement et des couleurs → cinéma 3D [➤](#)
- dès les années '50 (anaglyphes et essais de polarisation) – tombé en désuétude
- réapparaît dans les années '80 : de plus en plus de succès
Nombreux champs d'application : de l'imagerie à l'industrie via le bio-médical et l'art
Techniques d'enregistrement et de lecture similaires à la photographie et/ou la vidéo
Techniques numériques (plus récemment) – Photogrammétrie – Impression 3D (LASER - CAO)
→ *technique extrêmement populaire*
- **Inconvénients**
Lecture par lunettes à verres colorés ou polarisantes (excepté l'auto-stéréoscopie)
Perspective figée de la scène imagée

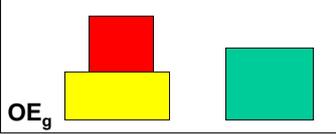
© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La Stéréoscopie

Enregistrement



l'œil gauche (OE_g)

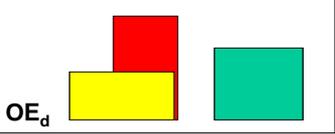


OE_g

ce que voit

OE_gOE_d

l'œil droit (OE_d)



OE_d

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La Stéréoscopie

Enregistrement

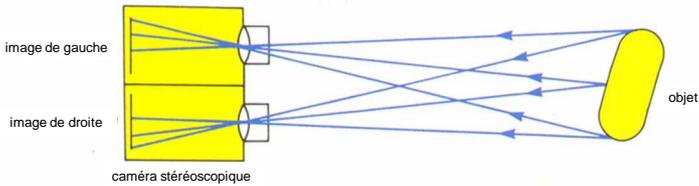


image de gauche image de droite objet

caméra stéréoscopique



Appareil stéréo réflex, double 24 × 36,

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

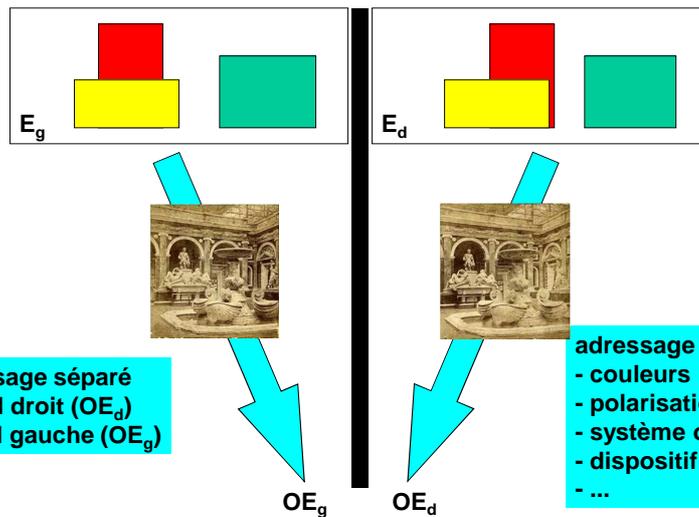
Photographie stéréoscopique



© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La Stéréoscopie

Lecture



adressage séparé
à l'œil droit (OE_d)
et à l'œil gauche (OE_g)

adressage par
- couleurs
- polarisation
- système optique
- dispositif mécanique
- ...

© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La Stéréoscopie

- *Technique d'enregistrement et de reproduction d'images en 3D*

Elle est quasiment née en même temps que la photographie, au 19^{es}

- **Principe**

Elle consiste à adresser séparément, à chacun des yeux d'un ou de plusieurs spectateurs, des images plus ou moins décalées d'une scène enregistrée. Le cerveau fait le reste

La technique simule en quelque sorte la vision binoculaire

De nombreuses méthodes d'adressage ont été inventées

- **Séparation des images**

- **Avantages**

Projection possible et lecture simultanées par plusieurs spectateurs

Reproduction du mouvement et des couleurs → cinéma 3D

- *dès les années '50 (anaglyphes et essais de polarisation) – tombé en désuétude*

- *réapparaît dans les années '80 : de plus en plus de succès*

Nombreux champs d'application : de l'imagerie à l'industrie via le bio-médical et l'art

Techniques d'enregistrement et de lecture similaires à la photographie et/ou la vidéo

Techniques numériques (plus récemment) – Photogrammétrie – Impression 3D (LASER - CAO)

→ *technique extrêmement populaire*

- **Inconvénients**

Lecture par lunettes à verres colorés ou polarisants (excepté l'auto-stéréoscopie)

Perspective figée de la scène imagée

© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La Stéréoscopie

- **Séparation des images**

- *images / photographies juxtaposées*

→ **stéréoscopes** réfractifs, à prismes ou à miroirs:

Wheatstone et Brewster (1838-1840), Holmes (1850-1900)

→ plus récemment : les **visionneuses individuelles à oculaires**

système View-Master® à disques (depuis 1940) ou Lestrade® à bandes

- *couleurs*

→ **anaglyphes** : Rollmann (1853), D'Almeida (1858) et Ducos du Hauron (1891)

abandonné dans les '50 : lecture par lunettes à verres de couleurs différentes peu confortable, voire fatigante

- *images imbriquées / réseaux lenticulaires*

→ **photographie intégrale** de Lippmann (début du 20^{es})

→ **auto-stéréoscopie** de Bonnet (années 1940 à 1960)

- **polarisations croisées** des faisceaux droit et gauche

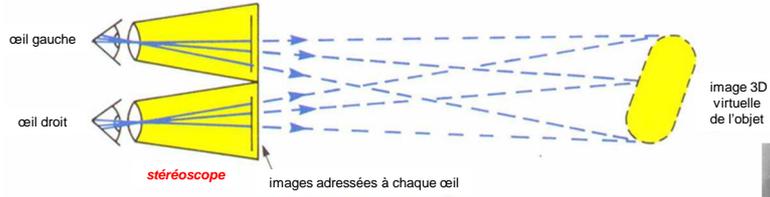
→ lecture via des lunettes à verres polarisants

→ lecture successive alternée par séparation temporelle synchronisée des images via pilotage infra-rouge

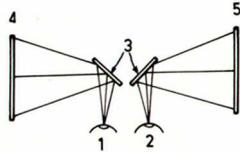
© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La Stéréoscopie

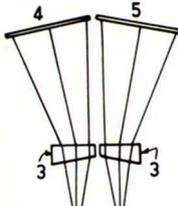
Lecture



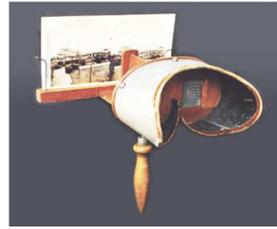
Oliver Wendell Holmes (1809-1894)



stéréoscope de Wheatstone
1 et 2 œils gauche et droit
3 miroirs
4 et 5 images gauche et droite



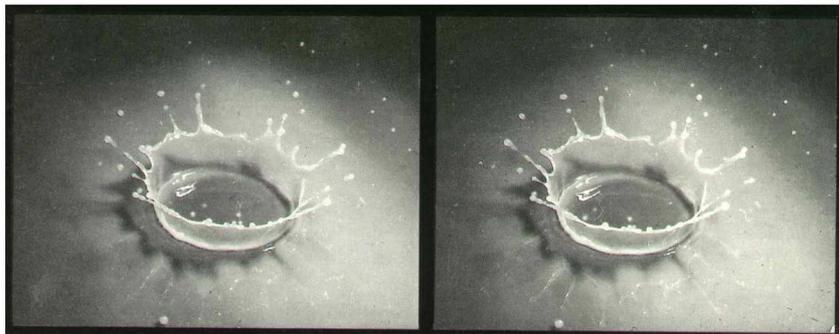
stéréoscope de Brewster
1 et 2 œils gauche et droit, 3 prismes
4 et 5 images gauche et droite



stéréoscope de Holmes

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Photographies juxtaposées



© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Photographies juxtaposées



© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La Stéréoscopie



Lecture



Stéréoscope View-Master



Stéréoscope Lestrade

© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La Stéréoscopie



Le ViewMaster® de Mattel et Google est disponible à la vente depuis le 5 octobre 2015



© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La Stéréoscopie

- Séparation des images

- images / photographies juxtaposées

- **stéréoscopes** réfractifs, à prismes ou à miroirs:
Wheatstone et Brewster (1838-1840), Holmes (1850-1900)
- plus récemment : les **visionneuses individuelles à oculaires**
système View-Master® à disques (depuis 1940) ou Lestrade® à bandes



- couleurs

- **anaglyphes** : Rollmann (1853), D'Almeida (1858) et Ducos du Hauron (1891)
abandonné dans les '50 : lecture par lunettes à verres de couleurs différentes peu confortable, voire fatigante



- images imbriquées / réseaux lenticulaires

- **photographie intégrale** de Lippmann (début du 20^{es})
- **auto-stéréoscopie** de Bonnet (années 1940 à 1960)



- polarisations croisées des faisceaux droit et gauche

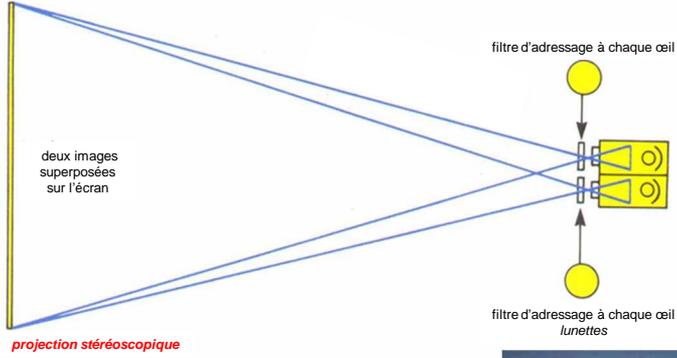
- lecture via des lunettes à verres polarisants
- lecture successive alternée par séparation temporelle synchronisée des images via pilotage infra-rouge



© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La Stéréoscopie

Lecture



Lunettes pour anaglyphes



Lunettes polarisantes



Lunettes alternantes à cristaux liquides

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Anaglyphes



Joseph Charles d'Almeida (1822- 1880)



Louis Ducos du Hauron (1837- 1920)

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La Stéréoscopie

- Séparation des images

- images / photographies juxtaposées

- **stéréoscopes** réfractifs, à prismes ou à miroirs:
Wheatstone et Brewster (1838-1840), Holmes (1850-1900)
- plus récemment : les **visionneuses individuelles à oculaires**
système View-Master® à disques (depuis 1940) ou Lestrade® à bandes

- couleurs

- **anaglyphes** : Rollmann (1853), D'Almeida (1858) et Ducos du Hauron (1891)
abandonné dans les '50 : lecture par lunettes à verres de couleurs différentes peu confortable, voire fatigante

- images imbriquées / réseaux lenticulaires

- **photographie intégrale** de Lippmann (début du 20^{es})
- **auto-stéréoscopie** de Bonnet (années 1940 à 1960)

- polarisations croisées des faisceaux droit et gauche

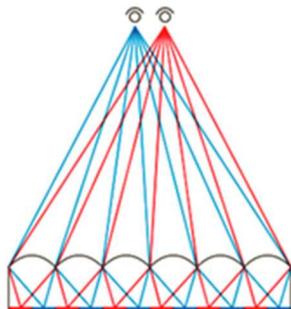
- lecture via des lunettes à verres polarisants
- lecture successive alternée par séparation temporelle synchronisée des images via pilotage infra-rouge

© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Images imbriquées - Réseaux lenticulaires



Gabriel Lippmann
(1845-1921)
Prix Nobel de
Physique 1908



Images multivues / imbriquées
disposées en ligne horizontale derrière
réseau lenticulaire
photographie intégrale de Lippmann



Maurice Bonnet
(1907-1994)



Maurice Bonnet derrière son filtre réseaux lenticulaires,
surfaces gaufrées



© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La Stéréoscopie

- Séparation des images

- images / photographies juxtaposées

- **stéréoscopes** réfractifs, à prismes ou à miroirs:
Wheatstone et Brewster (1838-1840), Holmes (1850-1900)
- plus récemment : les **visionneuses individuelles à oculaires**
système View-Master® à disques (depuis 1940) ou Lestrade® à bandes

- couleurs

- **anaglyphes** : Rollmann (1853), D'Almeida (1858) et Ducos du Hauron (1891)
abandonné dans les '50 : lecture par Lunettes à verres de couleurs différentes peu confortable, voire fatigante

- images imbriquées / réseaux lenticulaires

- **photographie intégrale** de Lippmann (début du 20^{es})
- **auto-stéréoscopie** de Bonnet (années 1940 à 1960)

- polarisations croisées des faisceaux droit et gauche

- lecture via des lunettes à verres polarisants
- lecture successive alternée par séparation temporelle synchronisée des images via pilotage infra-rouge

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Cinéma 3D



film américain réalisé en relief (3D)
par **Alfred Hitchcock**
sorti en **1954**



L'Étrange Créature du Lac Noir
(*Creature from the Black Lagoon*)
film fantastique américain (1954) tourné pour être
visionné 3D par procédé de lunettes polarisantes
version anaglyphe à la télévision française le 19 octobre **1982**



Les lunettes «3D Video» fournies par le magazine de
télévision partenaire de l'opération



film américain de science-
fiction pouvant être regardé en 3D
2009
lunettes alternantes à cristaux liquides

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La Stéréoscopie

- *Technique d'enregistrement et de reproduction d'images en 3D*

Elle est quasiment née en même temps que la photographie, au 19^es

- *Principe*

Elle consiste à adresser séparément, à chacun des yeux d'un ou de plusieurs spectateurs, des images plus ou moins décalées d'une scène enregistrée. Le cerveau fait le reste

La technique simule en quelque sorte la vision binoculaire

De nombreuses méthodes d'adressage ont été inventées

- *Séparation des images*

- *Avantages*

Projection possible et lecture simultanées par plusieurs spectateurs

Reproduction du mouvement et des couleurs → cinéma 3D

- *dès les années '50 (anaglyphes et essais de polarisation) – tombé en désuétude*

- *réapparaît dans les années '80 : de plus en plus de succès*

Nombreux champs d'application : de l'imagerie à l'industrie via le bio-médical et l'art

Techniques d'enregistrement et de lecture similaires à la photographie et/ou la vidéo

Techniques numériques (plus récemment) – Photogrammétrie – Impression 3D (LASER - CAO)

→ *technique extrêmement populaire*

- *Inconvénients*

Lecture par lunettes à verres colorés ou polarisantes (excepté l'auto-stéréoscopie)

Perspective figée de la scène imagée

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)



- *Stéréogramme - réseau lenticulaire : type Bonnet* → perspective figée

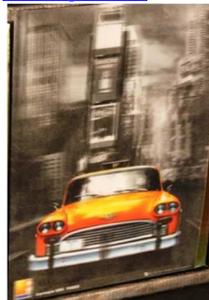


Photo par la droite

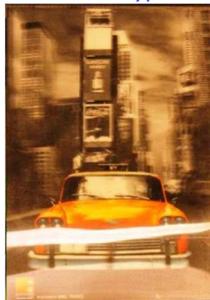


Photo de face

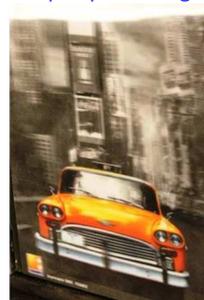


Photo par la gauche

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

L'Holographie

- **Technique d'enregistrement et de reproduction d'images en 3D**

Souvent appelée 'photographie en relief', elle en diffère fondamentalement

Seul point commun: certains matériaux d'enregistrement (*émulsions argentiques*)

Elle est née au milieu du 20^{es}, après l'avènement du **LASER** (1960): *éclairage cohérent* ➤

- **Principe**

Enregistrement de *la totalité de l'information* provenant de chacun des points de la scène imagée *dans l'épaisseur du matériau photosensible*, sous forme de franges d'interférences

→ codage interférométrique / décodage de l'information → éclairage cohérent (LASER) ➤

Plusieurs méthodes d'enregistrement / lecture ont été inventées → *types d'hologrammes* ➤

- **Avantages**

Lecture visuelle sans lunettes ni instrument

Matériaux variés: AgHal, DCG, photopolymères (DCPVA, Dupont, ...), cristaux photoréfractifs, semi-conducteurs, mixtes LC-photopolymères, ...

Nombreux champs d'application : de l'imagerie à l'industrie via le bio-médical et l'art ➤

Techniques numériques (*Hologrammes générés par ordinateur*) → protections diverses ➤

Difficilement copiable → protections diverses

Maîtrise de la perspective de la scène imagée

- **Inconvénients**

Pas de projection → lecture simultanées par plusieurs spectateurs souvent difficile

Reproduction des couleurs de mieux en mieux maîtrisée ➤

Reproduction du mouvement non maîtrisée → cinéma holographique quasi inexistant ➤

Techniques d'enregistrement et de lecture par codage / décodage interférométrique

→ *technique relativement confidentielle même si de nombreuses applications industrielles et médicales*

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Holographie

• Historique

- **1948 : Dennis GABOR prix Nobel de physique**



THE PROCEEDINGS OF THE PHYSICAL SOCIETY

Section B

VOL. 64, PART 6

1 June 1951

No. 378 B

Microscopy by Reconstructed Wave Fronts: II

By D. GABOR

Department of Electrical Engineering, Imperial College, London

MS. received 11th September 1950, and in amended form 12th December 1950

ABSTRACT. The theory of diffraction microscopy is completed and extended in different directions. In this two-step method of image formation the object is reconstructed by optical means from a diffraction diagram, taken in coherent illumination with light or with electrons. The 'projection method', originally described, and the 'transmission method', recently proposed by Haine and Dyson, are two variants which can be treated by one theory. The process of image formation, the coherence requirements, and the conditions for a good reconstruction are discussed in detail. It is shown that the reconstructed image of extended objects suffers from some spurious detail, but this can be largely suppressed in the 'dark-field' method of reconstruction, in which the illuminating wave is cut out after it has passed through the diffraction diagram.

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Holographie



• Historique

- 1948 : Dennis GABOR – principes
prix Nobel de physique 1971
- 1960 : Lasers



Dennis Gabor (1900-1979)
il a inventé l'holographie



Emmet Leith (1927-2005)



Juris Upatnieks (1936)



Yuri Denisyuk (1927-2006)
Ils ont inventé l'imagerie holographique



Stephen Benton (1941-2003)

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

L'Holographie

- **Technique d'enregistrement et de reproduction d'images en 3D**
Souvent appelée 'photographie en relief', elle en diffère fondamentalement
Seul point commun: certains matériaux d'enregistrement (*émulsions argentiques*)
Elle est née au milieu du 20^s, après l'avènement du **LASER** (1960): *éclairage cohérent* >
- **Principe**
Enregistrement de *la totalité de l'information* provenant de chacun des points de la scène imagée *dans l'épaisseur du matériau photosensible*, sous forme de franges d'interférences
→ **codage interférométrique / décodage** de l'information → éclairage cohérent (LASER) >
Plusieurs méthodes d'enregistrement / lecture ont été inventées → **types d'hologrammes** >
- **Avantages**
Lecture visuelle sans lunettes ni instrument
Matériaux variés: AgHal, DCG, photopolymères (DCPVA, Dupont, ...), cristaux photoréfractifs, semi-conducteurs, mixtes LC-photopolymères, ...
Nombreux champs d'application : de l'imagerie à l'industrie via le bio-médical et l'art >
Techniques numériques (*Hologrammes générés par ordinateur*) → protections diverses >
Difficilement copiable → protections diverses
Maîtrise de la perspective de la scène imagée
- **Inconvénients**
Pas de projection → lecture simultanées par plusieurs spectateurs souvent difficile >
Reproduction des couleurs de mieux en mieux maîtrisée >
Reproduction du mouvement non maîtrisée → cinéma holographique quasi inexistant >
Techniques d'enregistrement et de lecture par codage / décodage interférométrique
→ *technique relativement confidentielle même si de nombreuses applications industrielles et médicales*

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Perception - Reproduction du Relief

- **Perception / Détection / Enregistrement**

- d'où vient la sensation de relief ?
 - vision binoculaire
 - vision monoculaire
- **récepteurs quadratiques** : œil, films, CCD, CMOS, ...

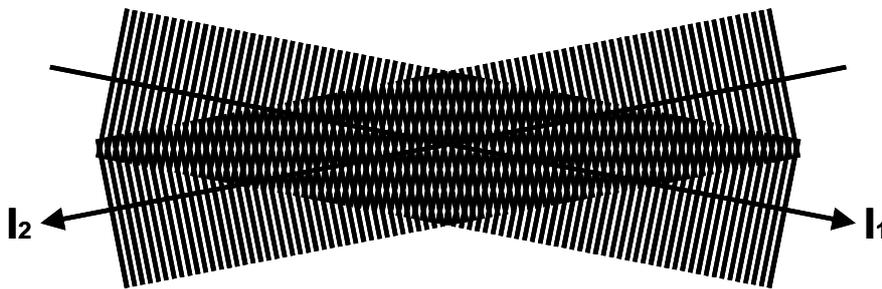
- **Lumière – Onde électromagnétique / Information**

$$\vec{E} = E_0 \vec{e} \sin(\omega t + \varphi) = E_0 \vec{e} \sin(\omega t + \underbrace{\vec{k} \cdot \vec{r}}_{\text{Relief}} + \varphi_0)$$

→ codage interférentiel : $\varphi \rightarrow I$

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Interférences

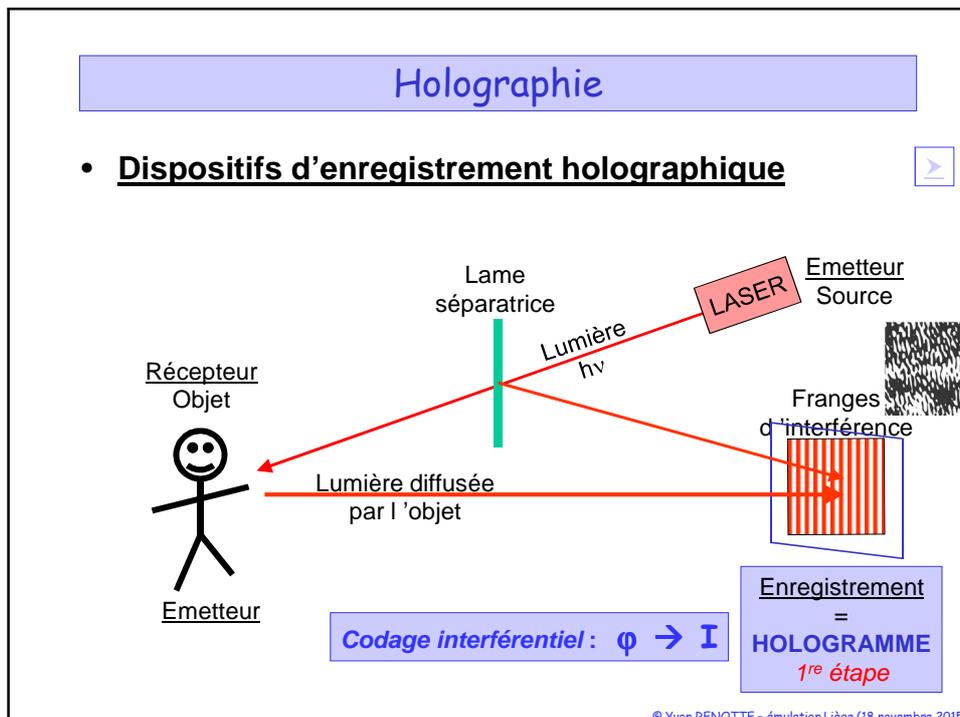
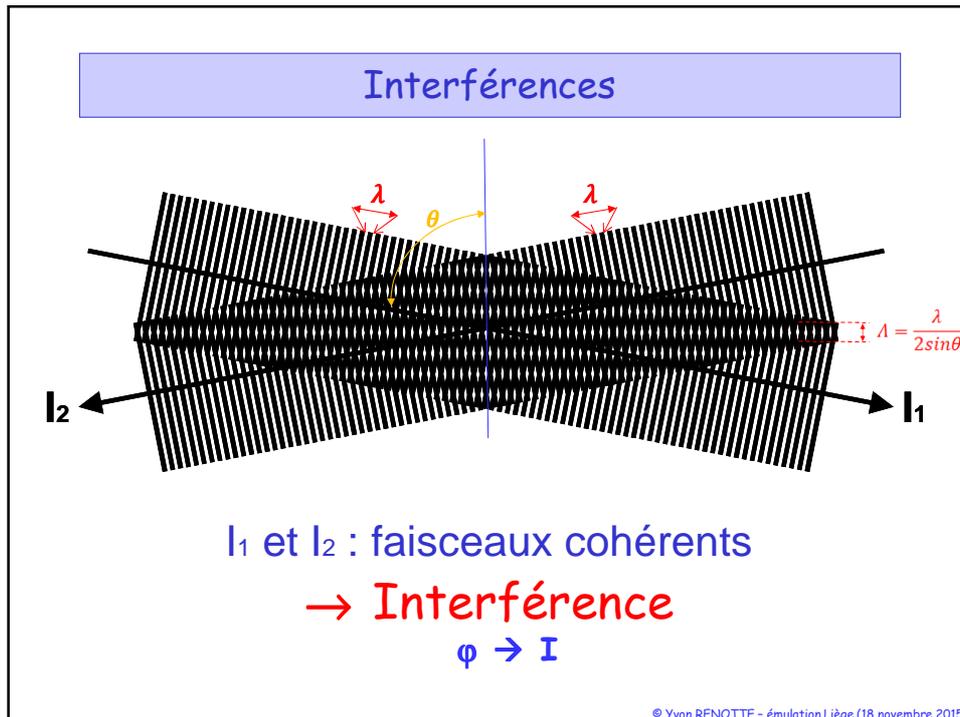


I_1 et I_2 : faisceaux cohérents

→ Interférence

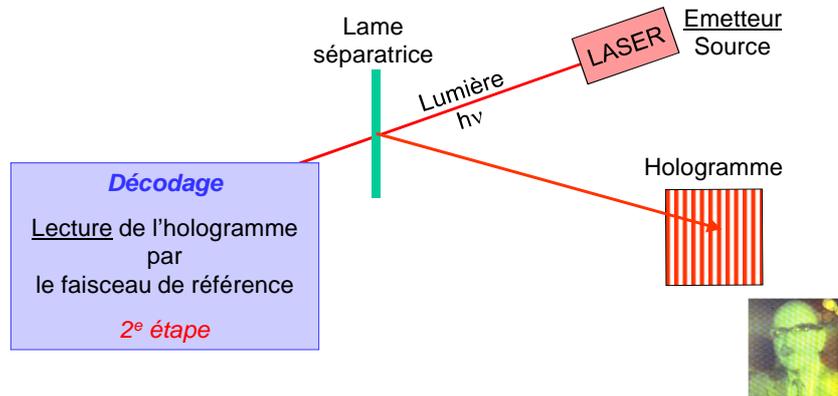
$\varphi \rightarrow I$

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)



Holographie

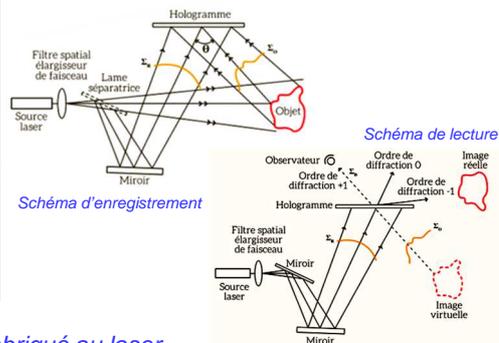
- Dispositifs de lecture de l'hologramme**



© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Types d'Hologrammes

Transmission Réflexion



"Train and Bird" le premier hologramme fabriqué au laser.
 Cette image pionnière a été produite en 1964 par Emmeth Leith et Juris Upatnieks
 à l'université du Michigan seulement quatre ans après l'invention du laser.

© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Types d'Hologrammes

Transmission Réflexion



Leith et Upatnieks se préparent à enregistrer un hologramme de transmission en utilisant la technique "hors-axe"



Hologramme de transmission correspondant reconstruit avec un LASER

HeNe : $\lambda = 632,8 \text{ nm}$

© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Types d'Hologrammes

Transmission Réflexion



Schéma d'enregistrement

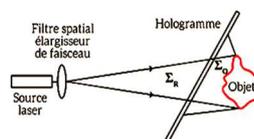
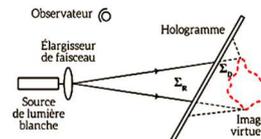


Schéma de lecture



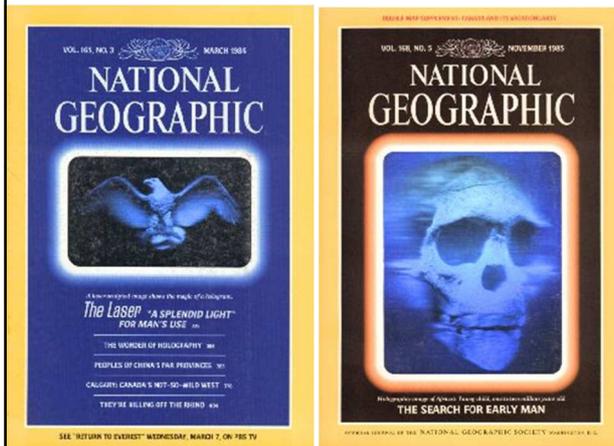
Lisibles en lumière « blanche »
 →
 Hologramme = Filtre interférentiel
 sélectionne λ_L de lecture
 →
 Rétreint du matériau → $\lambda_L < \lambda_E$

Hologramme de réflexion type Denisjuk «in-axis» enregistré au HOLOLAB sur émulsion argentique (H. Thiry)

© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Types d'Hologrammes

Transmission Réflexion



« embossés »

*mars 1984 (à gauche) - 11 millions d'hologrammes à travers le monde.
le même magazine réitéra l'expérience en novembre 1985 (à droite)*

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Types d'Hologrammes

Réflexion



*Spécimen de passeport
français réalisé par la société
Hologram Industries® (F)*

« embossés »

Les hologrammes sont abondamment utilisés dans le système monétaire actuel pour la lutte anti-contrefaçon

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Types d'Hologrammes

2ème
génération

Hologramme H₂ de
l'image réelle d'un
hologramme H₁
(Master)

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Types d'Hologrammes

Technique complexe → pseudo-couleurs

Rainbow

(Arc en Ciel)

Lecture

(S. Benton)

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

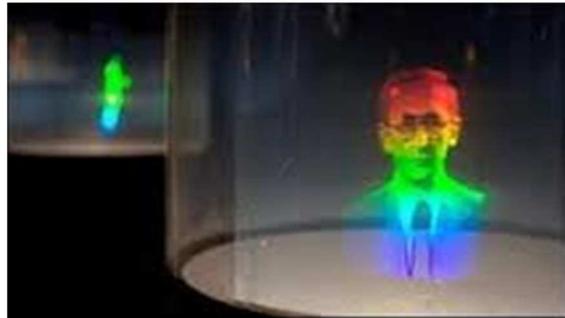
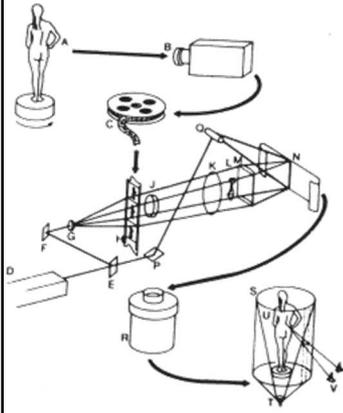
Types d'Hologrammes



Rainbow

Multiplex

Schéma d'enregistrement



Hologramme 'multiplex' arc en ciel

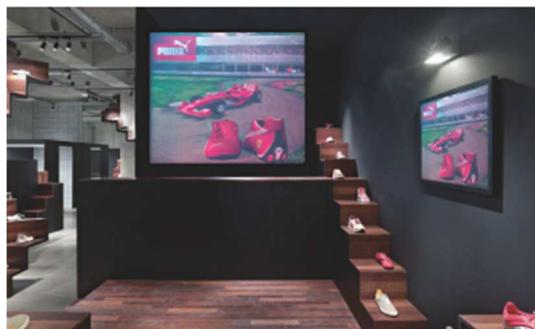
© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Types d'Hologrammes



CoHOEs

Hologrammes générés par ordinateur



Stanislovas Zacharovas

Hologrammes digitaux en couleurs: système i-Lumogram™
Panneau publicitaire pour la marque Puma © Geola UAB - Vilnius, Lituanie

© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

L'Holographie

- Technique d'enregistrement et de reproduction d'images en 3D

Souvent appelée 'photographie en relief', elle en diffère fondamentalement

Seul point commun: certains matériaux d'enregistrement (*émulsions argentiques*)

Elle est née au milieu du 20^{es}, après l'avènement du **LASER** (1960): *éclairage cohérent* ➤

- Principe

Enregistrement de *la totalité de l'information* provenant de chacun des points de la scène imagée *dans l'épaisseur du matériau photosensible*, sous forme de franges d'interférences

→ codage interférométrique / décodage de l'information → éclairage cohérent (LASER) ➤

Plusieurs méthodes d'enregistrement / lecture ont été inventées → *types d'hologrammes* ➤

- Avantages

Lecture visuelle sans lunettes ni instrument

Matériaux variés: AgHal, DCG, photopolymères (DCPVA, Dupont, ...), cristaux photoréfractifs, semi-conducteurs, mixtes LC-photopolymères, ...

Nombreux champs d'application : de l'imagerie à l'industrie via le bio-médical et l'art ➤

Techniques numériques (*Hologrammes générés par ordinateur*) → protections diverses ➤

Difficilement copiable → protections diverses

Maîtrise de la perspective de la scène imagée

- Inconvénients

Pas de projection → lecture simultanées par plusieurs spectateurs souvent difficile

Reproduction des couleurs de mieux en mieux maîtrisée ➤

Reproduction du mouvement non maîtrisée → cinéma holographique quasi inexistant ➤

Techniques d'enregistrement et de lecture par codage / décodage interférométrique

→ *technique relativement confidentielle même si de nombreuses applications industrielles et médicales*

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

- Stéreogramme - réseau lenticulaire : *type Bonnet* → perspective figée ➤

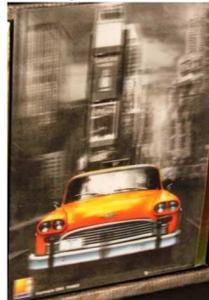


Photo par la droite

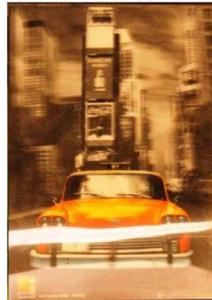


Photo de face



Photo par la gauche

- Hologramme en réflexion : *type Denisyuk* → perspective parfaitement reproduite



Photo par la droite



Photo de face



Photo par la gauche



id. plus à gauche

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

L'Holographie

- *Technique d'enregistrement et de reproduction d'images en 3D*

Souvent appelée 'photographie en relief', elle en diffère fondamentalement

Seul point commun: certains matériaux d'enregistrement (*émulsions argentiques*)

Elle est née au milieu du 20^{es}, après l'avènement du **LASER** (1960): *éclairage cohérent* ➤

- *Principe*

Enregistrement de *la totalité de l'information* provenant de chacun des points de la scène imagée *dans l'épaisseur du matériau photosensible*, sous forme de franges d'interférences

→ codage interférométrique / décodage de l'information → éclairage cohérent (LASER) ➤

Plusieurs méthodes d'enregistrement / lecture ont été inventées → *types d'hologrammes* ➤

- *Avantages*

Lecture visuelle sans lunettes ni instrument

Matériaux variés: AgHal, DCG, photopolymères (DCPVA, Dupont, ...), cristaux photoréactifs, semi-conducteurs, mixtes LC-photopolymères, ...

Nombreux champs d'application : de l'imagerie à l'industrie via le bio-médical et l'art ➤

Techniques numériques (*Hologrammes générés par ordinateur*) → protections diverses ➤

Difficilement copiable → protections diverses

Maîtrise de la perspective de la scène imagée

- *Inconvénients*

Pas de projection → lecture simultanées par plusieurs spectateurs souvent difficile

Reproduction des couleurs de mieux en mieux maîtrisée ➤

Reproduction du mouvement non maîtrisée → cinéma holographique quasi inexistant ➤

Techniques d'enregistrement et de lecture par codage / décodage interférométrique

→ *technique relativement confidentielle même si de nombreuses applications industrielles et médicales*

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Types d'Hologrammes



Couleur

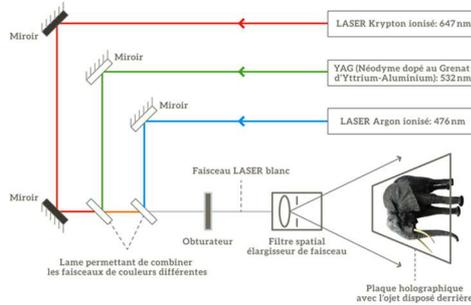


Yves Gentet

Hologrammes couleurs haute résolution réalisés par Yves Gentet © The Ultimate Holography (F)

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Types d'Hologrammes



Hans Bjelkhagen

Couleur

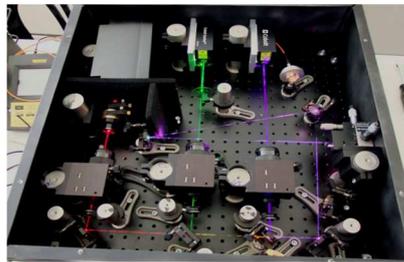


Statuette en ivoire



Artefact d'une cruche hibou époque Tudor

Hologrammes couleurs haute résolution
Ultra-Realistic Imaging[®]
Hans Bjelkhagen (UK)



© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Holographie Couleur

HOLOLAB



Yvon Renotte

Mise au point d'une installation d'holographie en couleurs haute résolution - SilverCross Project

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Cinéma holographique

Principe : réalisation d'une succession d'hologrammes sur un film à l'aide d'un LASER fonctionnant avec une cadence de répétition déterminée – ex. 25 Hz

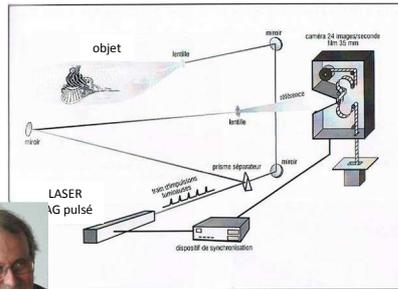
1976: V.G. Komar (URSS) a réalisé un film 70 mm – 8Hz

1982: A.J. Decker (NASA – USA) a réalisé un film 70 mm – 20Hz

1983: I.S.L. (*Institut Franco-Allemand de Recherche – St Louis - F*): 1^{er} film 35 mm – 24 Hz

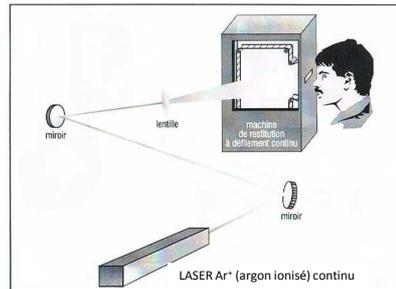
1985: I.S.L.: 1^{er} film holographique d'un personnage vivant: film 126 mm – 25 Hz :

« *Christiane et les Holobulles* » [P. Smigielski, H. Fagot, F. Albe]



Montage d'enregistrement du premier film holographique à la fréquence cinéma

Paul Smigielski
RHENAPHOTONICS ALSACE
Parc d'Innovation – ILLKIRCH (Strasbourg) - France



Montage de restitution : format permettant une vision stéréoscopique confortable sans lunette
Lecture à travers une fente de 10 mm de hauteur

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Cinéma holographique



Séquence de six vues extraites du film holographique « *Christiane et les Holobulles* » (doc. I.S.L. 1985)

1^{er} film holographique d'un personnage vivant: film 126 mm – 25 Hz :

« *Christiane et les Holobulles* » [P. Smigielski, H. Fagot, F. Albe]



Paul Smigielski
RHENAPHOTONICS ALSACE
Parc d'Innovation – ILLKIRCH (Strasbourg) - France

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Holographie - Applications

au HOLOLAB : deux exemples 

- **La 'luminette'®** : de l'holographie à la luminothérapie 
- **Les projets OSIRIS, DEIOS et MINT** :
- de l'archéométrie à la sidérurgie 

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

- **La 'luminette'®** : de l'holographie à la luminothérapie 

But : conception, mise au point et réalisation d'un *dispositif pour la luminothérapie* 
traitement de la dépression saisonnière et autres troubles du sommeil

cahier des charges

Commanditaires : Pr Robert Poirrier, CHU – ULg et Schreider s.a. – Ans

Projets

- **Projet ECLAT** (Emission Ciblée de Lumière Ana-Thymique) : *projet Initiative de la Région Wallonne* accordé par la DGTRE en collaboration à la Société de Constructions Electriques **Schröder s.a.** (4430 Ans) / au **HOLOLAB**, Bât. B5a, ULg (Prs **Yves Lion, Directeur et Yvon Renotte**, co-fondateur) / au Centre d'Etude des Troubles de l'Eveil et du Sommeil – CHU, Bât. B 35 (Pr **Robert Poirrier**, directeur)
- **Le projet UBIQUO**: trois parties: (2) : étude des éclairagements rétinien – modèle physique de l'œil
- durée : 2 ans (2001-03), 1 chercheur: **Dr Vincent Moreau**

Délivrables

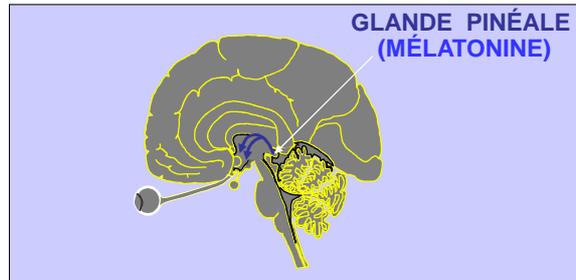
- la «**luminette**»® : design: **INOV sprl** (Jacques Tilman, 4530 Villers-le-Bouillet)
- un brevet '**Procédé et Dispositif de Photothérapie**', inventeurs: Robert Poirrier et Vincent Moreau; demandeur: Constructions Electriques Schreider (2005)

Distribution : **Lucimed s.a.** – Eric Delloye, Managing Director
Rue le Marais 12a, Z.I. 4530 Villers-le-Bouillet – Belgique, www.lucimed.com

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La luminothérapie

Le manque de lumière agit sur l'équilibre chimique du cerveau en entraînant une augmentation du taux de mélatonine (hormone du sommeil)



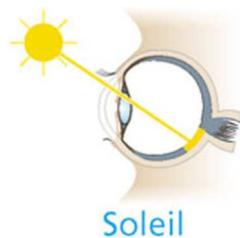
entre 2000 et 10000 lx sur la cornée

Le traitement consiste à exposer le patient à un « **fort éclairage lumineux** » pendant un certain temps, dans un environnement contrôlé

→ *Régulation de la production de mélatonine*

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Le manque d'éclairage Le traitement : conditions d'éclairage idéales



Eté (extérieur) : > 10000 lx
Hiver (extérieur) : < 600 lx
Intérieur éclairé : < 400 lx

Symptômes

- Dépression saisonnière (Blues de l'hiver)
 - 10 à 15% population du Benelux
- Dérèglement des cycles circadiens (veille-sommeil)
- Prise de poids
- Baisse d'énergie ,...

→ *Régulation de la production de mélatonine*



- **traitement** : exposer le patient à un « **fort éclairage lumineux** » pendant un certain temps, dans un environnement contrôlé

Études antérieures

- exposition « optimale » : 30 min / 10000 lx
- lumière bleue ~ 470 nm

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La Luminette®

Etat de l'art

essentiellement

- les bancs lumineux (TL - PHILIPS s.a.)
(plus récemment : LEDs)
- les casques (TL - Schröder s.a.)



Banc de lumière



Casque « lumina »

→ problèmes

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)



Yvon Renotte

Vincent Moreau

Robert Poirrier

La Luminette®



problème(s) posé(s) par le Pr Robert Poirrier

(CHU de Liège / Centre d' Etude des Troubles de l'Eveil et du Sommeil)

Cahier des charges ...

- Un dispositif efficace

- éclairage correct, comparable à celui des dispositifs antérieurs
- peu encombrant, évitant les défauts et inconvénients des autres
 - léger / toujours efficace
 - orientable / toujours bien orienté
 - si possible « portable »

(on peut réellement « faire quelque chose » en cours de traitement)

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

La Luminette®

problème(s) posé(s) par le Pr Robert Poirrier

(CHU de Liège / Centre d' Etude des Troubles de l'Eveil et du Sommeil)

Réponse du HOLOLAB ...

- Un dispositif très efficace (si prescriptions respectées)

- éclairement,

→ id. aux dispositifs concurrents : 10000 lx / 30 min sur la cornée

→ sources: spectre adapté à la courbe de blocage de la mélatonine

→ orientation du regard : > 15° possible en-dessous de l'axe optique

→ adressé : pas de compétition avec la zone de formation des images sur la rétine → vision nette de l'environnement / contraste élevé

- peu encombrant,

→ léger / portable : format lunettes thérapeutiques

→ toujours bien orienté (si prescriptions respectées)

on peut réellement « faire quelque chose » en cours de traitement

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Conception – Réalisation de la « luminette® »

Verre de lunette



Lentille diffractive hors-axe (DOE)
= visière holographique

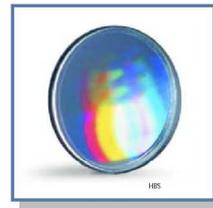


Schéma de fonctionnement

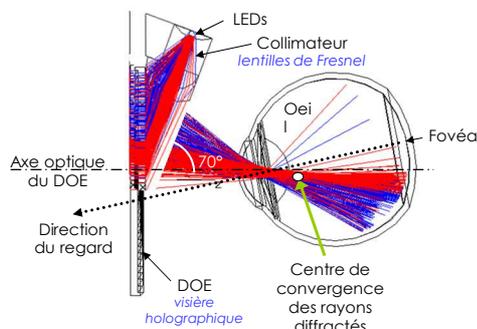
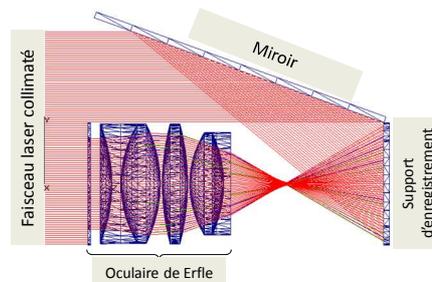


Schéma d'enregistrement du DOE



© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Éclairiments rétiens
Image vs éclairiment rétien produit par la « luminette® »
Principe de fonctionnement

Il n'y a pas compétition (ou très faible) entre les éclairiments rétiens produits par les images et l'éclairiment fourni par la 'luminette'
→ intérêt du système 'luminette' qui produit l'effet thérapeutique escompté sans éblouissement et sous faible encombrement

*Les couleurs attribuées aux faisceaux sont arbitraires
Les échelles ne sont pas respectées*

© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

LUCmed
Light therapy in complete freedom

La Luminette®

un peu de design

...

au début

© INOV - J. Tilman

et la « Luminette® » fut

Yves Lion (1946-2008) co-fondateur de HOLLILAB

© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

- **Les projets OSIRIS, DEIOS et MINT :**
- **de l'archéométrie à la sidérurgie**

But : conception, mise au point et réalisation d'un *scanner 3D* pour le relevé des œuvres d'art anciennes, des monuments et des objets archéologiques

technique : interférométrie par projection de lumière structurée : moiré optique

Commanditaires : **Dr Dimitri Laboury**, Égyptologie – ULg et Centre Européen d'Archéométrie

au commencement était Karnak



© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

- **Les projets OSIRIS, DEIOS et MINT :**
- **de l'archéométrie à la sidérurgie**

But : conception, mise au point et réalisation d'un *scanner 3D* pour le relevé des œuvres d'art anciennes, des monuments et des objets archéologiques

technique : interférométrie par projection de lumière structurée : moiré optique

Commanditaires : **Dr Dimitri Laboury**, Égyptologie – ULg et Centre Européen d'Archéométrie

Projets

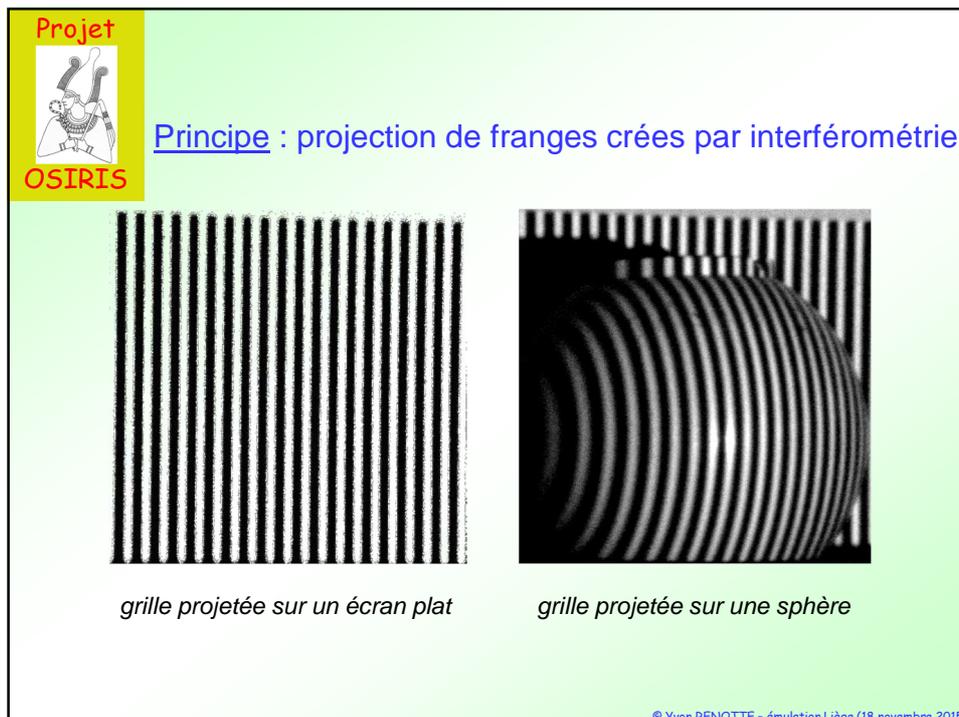
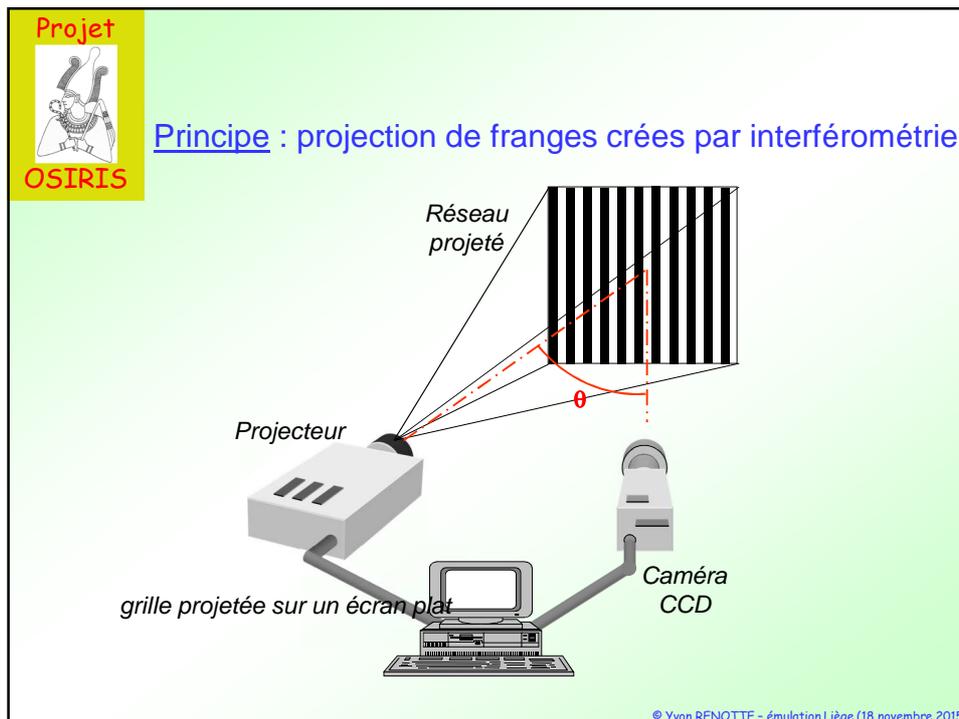
- **Projet OSIRIS** (Optical Systems for Interferometric Relief Investigation and Scanning) : projet First Spin-Off de la Région Wallonne accordé par la DGTRE en collaboration au CEA – ULg (**Dr Dimitri Laboury**) / au **HOLOLAB**, Bât. B5a, ULg (**Pr Yvon Renotte**)
- durée : 4 ans (2001-05), 2 chercheurs: Ing Marie Dominique (2 ans) **Dr Vincent Moreau** (2ans)
- **Spin-Off DEIOS s.a.** (Development and Enhancement of Interferometric Optical Systems): Drs Bernard Tilkens, Vincent Moreau et Pr Yvon Renotte (2004-07)

Délivrables

- un scanner pour la saisie et la restitution 3D
- un brevet '*Process and apparatus for measuring 3D shape of an object*', inventeurs: Bernard Tilkens, Yvon Renotte et Vincent Moreau; demandeur: Interface Entreprise - ULg (2005)

Distribution : **DEIOS s.a.** – Bernard Tilkens, Managing Director
a cessé ses activités en novembre 2007

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

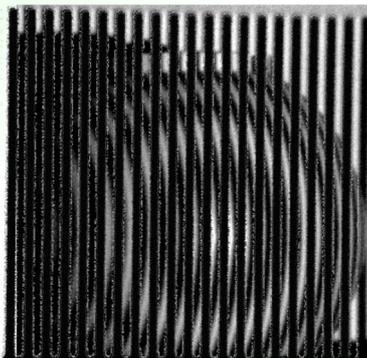


Projet



OSIRIS

Principe : projection de franges créées par interférométrie



superposition des grilles → moirure
→ extraction de l'information 'relief'

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Projet



OSIRIS



DEIOS

L'outil de base : le scanner DEIOS

Dispositif DEIOS s.a. pour la projection et la lecture de franges structurées
Interférence par séparation des états de polarisation via un coHOE®



le résultat

coHOE séparation faisceaux

la reconstitution

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Projet



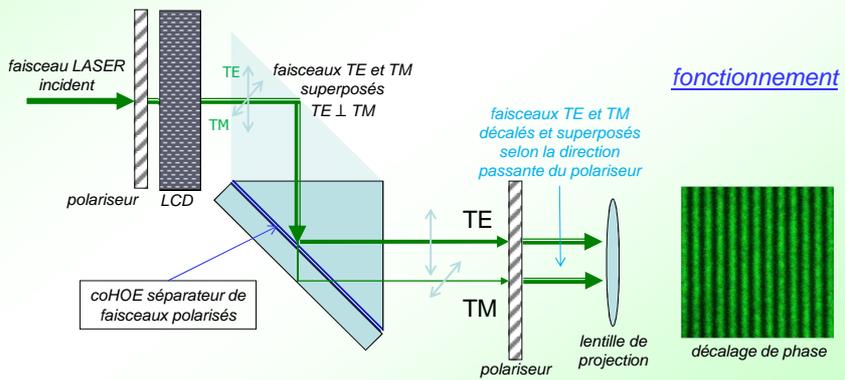
OSIRIS



DEIOS

L'outil de base : le scanner DEIOS

Dispositif DEIOS s.a. pour la projection et la lecture de franges structurées
Interférence par séparation des états de polarisation via un coHOE®



faisceau LASER incident

polariseur

LCD

coHOE séparateur de faisceaux polarisés

faisceaux TE et TM superposés
TE ⊥ TM

faisceaux TE et TM décalés et superposés selon la direction passante du polariseur

TE

TM

polariseur

lentille de projection

décalage de phase

fonctionnement

© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Projet



OSIRIS



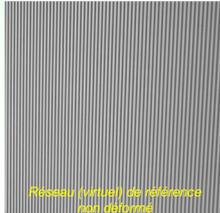
DEIOS

L'outil de base : le scanner DEIOS

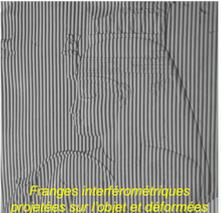
Séquence des opérations de saisie, de numérisation et de restitution du relief



Objet - bas-relief égyptien



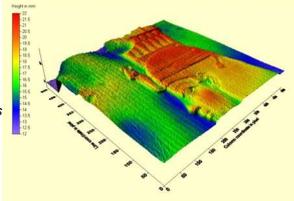
Plaque virtuelle de référence
sans déformée



Franges interférométriques
projetées sur l'objet et déformées
par son relief



Interférogramme (franges de
lignes) résultant de la
combinaison des deux figures
précédentes



Reconstitution numérique du
bas-relief en fausses couleurs



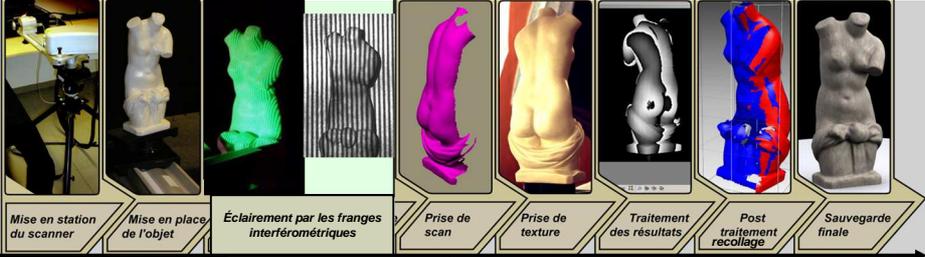
Copie 3D du bas-relief par usinage
LASER (dans un matériau
polymère) obtenue à partir de la
reconstitution numérique (principe
de l'imprimante 3D)

© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Projet   **OSIRIS** **DEIOS**

L'outil de base : le scanner DEIOS

Séquence des opérations de saisie, de numérisation et de restitution du relief
Cas d'un objet complet en 3D



Mise en station du scanner / Mise en place de l'objet / Éclairage par les franges interférométriques / Prise de scan / Prise de texture / Traitement des résultats / Post traitement recollage / Sauvegarde finale

Dimitri Laboury / Vincent Moreau
British Museum

© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

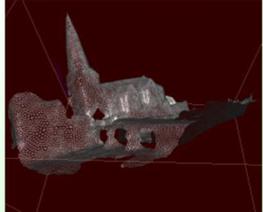
Projet   **OSIRIS** **DEIOS**

Exemple : digitalisation sur site

"VIRTUAL LEODIUM" - modèle virtuel de la ville de Liège au 18^e siècle
Maquette Rulh

R. Billen, P. Blain, O. Donneau, S. Habracken,
Y. Renotte, V. Silva, M. Van Ruymbeke
3D Stereo-Media, 3 Dec. 2009





Grégory Martin / Pascal Blain

Église Saint Nicolas – reproduction 3D
disparue : ± hôtel Passerelle / Simenon - Chaussée des Prés

© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

- Les projets OSIRIS, DEIOS et MINT : 
- de l'archéométrie à la sidérurgie

But : conception, mise au point et réalisation d'un *dispositif intégré scanner 3D / shearographie* pour la maintenance intelligente en sidérurgie 
reconnaissance de formes et détection de défauts (cachés)

Commanditaires : **CMI Group** (Cockerill Maintenance et Ingénierie), 4100 Seraing
10 partenaires

Projets

- **Projet MINT** (Maintenance **INT**elligente en sidérurgie): *plan Marshall de la Région Wallonne* : Développement d'un ensemble d'outils permettant "de rendre intelligente la maintenance des chaînes/outils de production de la sidérurgie wallonne" / au **HOLOLAB**, Bât. B5a, ULg (**Pr Yvon Renotte**)
- durée : 5 ans (2007-12), 2 chercheurs: **Dr Pascal Blain** et **Grégory Martin**, informaticien (4 ans) + 2 doctorants HOLOLAB: **Drs Vanessa Rosso et Fabrice Michel**

Délivrables

- un dispositif intégré scanner 3D / shearographie pour la saisie, la restitution 3D et la détection de défauts cachés 
- un brevet '*Low coherence interferometric system for phase stepping shearography combined with 3D profilometry*', inventeurs: Pascal Blain, Serge Habraken, Yvon Renotte (HOLOLAB) et Pascal Waroux (CMI) ; demandeur: Cockerill Maintenance & Ingénierie S.A. (2012)

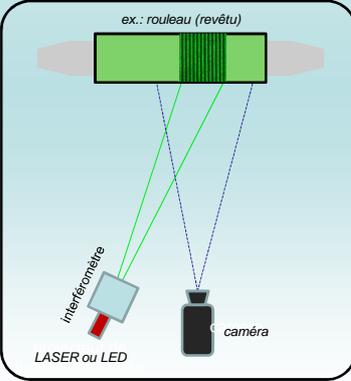
© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)



Rouleaux de four et rouleaux revêtus

Mesures de forme

- Projection de lumière structurée



ex.: rouleau (revêtu)

LASER ou LED

caméra

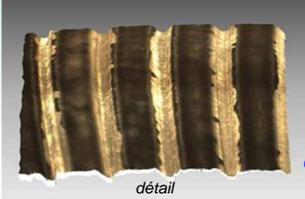
- Précision : de 0,1 à 0,3 mm sur 5x5 à 20x20 cm² (*
(* adaptable en fonction de l'optique utilisée)
- Profondeur de champ : 2 à 20 cm (*)
- Temps d'acquisition : 2s
- Temps de traitement : 2 à 120 min (si recollage)
- Zone contrôlée : bande latérale de rouleau par morceaux
- Avantages : interféromètre peu sensible aux vibrations extérieures, travail sous éclairage ambiant (jusque 10⁴ lux)
- Inconvénients : granularité speckle, vitesse d'acquisition et post-traitement des données

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Mind

Rouleaux de four et rouleaux revêtus Mesures de forme

Mesure de forme off line sur un rouleau de fond *Défauts d'origine mécanique sur des rouleaux enducteurs*

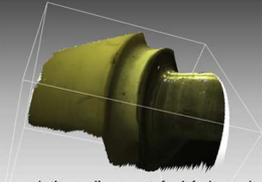
détail



Pascal Blain



Grégory Martin



Reconstruction analytique d'une extrémité de rouleau enducteur

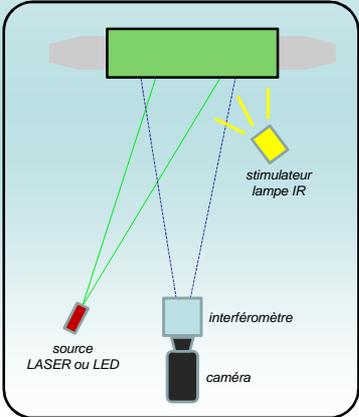
© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Mind

Rouleaux de four et rouleaux revêtus Détection de défauts du revêtement

y compris défauts « cachés »

- Shearographie

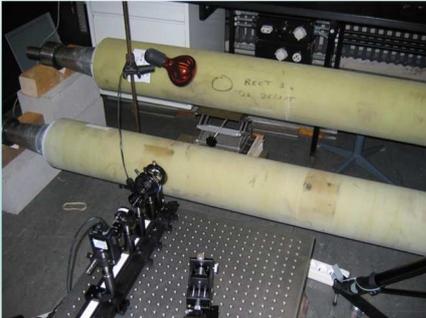
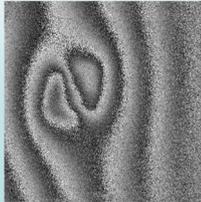
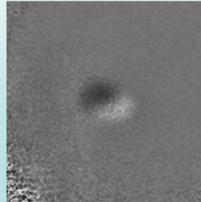


- Précision : de 10 à 50 μm sur 5x5 à 20x20 cm^2 (*
(* adaptable en fonction de l'optique utilisée)
- Profondeur de champ : 2 à 20 cm (*)
- Temps d'acquisition : 5s à 15 min (suivant sollicitation et durée de relaxation)
- Temps de traitement : 10s à 15 min (selon niveau d'information choisi)
- Zone contrôlée : bande latérale de rouleau par morceaux
- Avantages : interféromètre peu sensible aux vibrations extérieures, travail sous éclairage ambiant (jusque 10^4 lux)
- Inconvénients : vitesse d'acquisition et post-traitement des données

© Yven RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

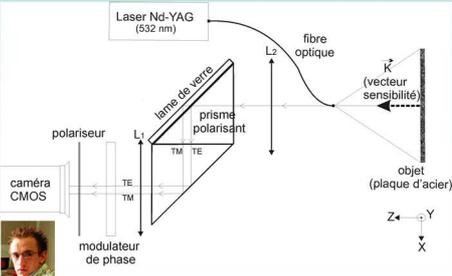
Mind Adjonction de la Shearographie
 → détection de défauts cachés

Détection de défauts cachés sur rouleau enducteur

Signature (différentielle) interférométrique d'un défaut caché : décollement

Reconstitution d'un défaut caché : décollement après déroulage de phase



Dispositif de Shearographie « in-line »

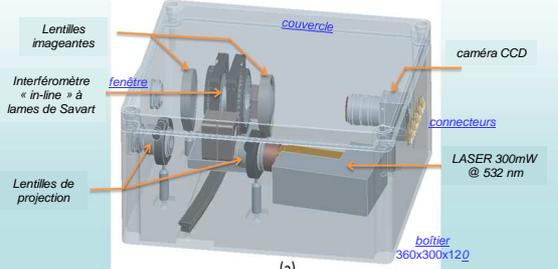
Fabrice Michel – 2011
 Vanessa Rosso – 2007

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

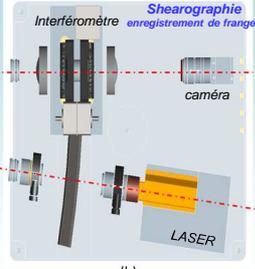
Mind Sous projet 6 : Les délivrables

- Détection de formes et de défauts de surface en lumière rasante
- Projection de franges avec une lame de Savart
- Shearographie avec une lame de Savart
- Brevet
- Combinaison de deux techniques intégrées dans un seul appareil
 - scanner 3D – détection de formes
 - shearographie – détection de (micro-)défauts (cachés)

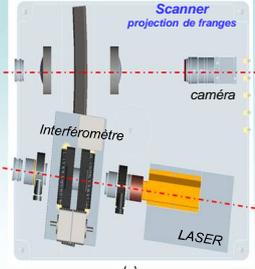
conditionnement des composants optiques – boîtier



(a)



(b)



(c)

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

Les applications évoquées ont donné lieu

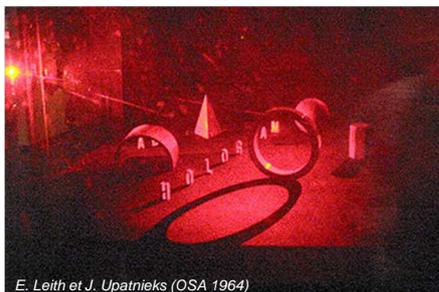
- 3 brevets
- 3 délivrables
- plusieurs publications scientifiques et techniques
- plusieurs présentations dans des congrès internationaux
- de nombreux travaux de fin d'études (sci. phys. et ingénieurs)

ont permis de subventionner

- 5 doctorants sur une période de 12 ans
- 5 ingénieurs R&D
- 4 informaticiens et techniciens (optique, électronique, ...)
- 5 projets de recherche(s)

De la lumière pour tous

Hologramme de transmission



HeNe : $\lambda = 632,8 \text{ nm}$

Hologramme de réflexion



Lumière blanche: AgBr

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

De la lumière pour tous

Hologramme de transmission

La présentation est largement inspirée de l'article

'Holographie, Hologrammes et (quelques) Applications'

Yvon Renotte

paru in "Lumière, réflexion, application, émotion" (ouvrage collectif) pp. 64-77
éd. Embarcadère du Savoir, Maison de la Science – Liège, juin 2015

22, quai van Beneden – 4020 Liège

Merci pour votre attention

Isabelle Surdej et Y. Renotte (HOLOLAB 2202)

Ar⁺ : $\lambda = 514,5 \text{ nm}$

Hologramme de réflexion



collection HOLOLAB 1979)

Lumière blanche: DCG

© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)

merci aux

- **Dr Martine Jaminon**, directrice, et **Mme Carole Spitz**, infographiste, Musée de la Science de Liège
- **Pr Hans I. Bjelkhagen**, Dyserth, North Wales, UK
- **Dr Christiane Carré**, chargée de recherche au CNRS - laboratoire Foton, Université de Rennes 1-Lannion, France
- **M. Eric Delloye**, General Manager Lucimed s.a., Villers-le-Bouillet, Belgique
- **M. Yves Gentet**, ingénieur physicien, The Ultimate Holography, France
- **Dr Jean Sauvage-Vincent**, Ing. R&D Hologram Industries, Bussy St Georges, France
- **Pr Paul Smigielski**, Président du club CMOI/SFO, Mulhouse, France
- **Dr Stanislovas Zacharovas**, executive director Geola Digital UAB, Vilnius, Lithuania



© Yvon RENOTTE - émulation Liège (18 novembre 2015)