HAL
open science

Recherches et expérimentations artistiques en images numériques à base d'interférences : concevoir des personnages tridimensionnels grâce aux illusions visuelles issues des franges d'interférence volontairement perturbées

Owen Kevin Appadoo

To cite this version:

Owen Kevin Appadoo. Recherches et expérimentations artistiques en images numériques à base d'interférences : concevoir des personnages tridimensionnels grâce aux illusions visuelles issues des franges d'interférence volontairement perturbées. Interface homme-machine [cs.HC]. Université Paris VIII Vincennes-Saint Denis, 2006. Français. NNT : . tel-00179930

HAL Id: tel-00179930

https://theses.hal.science/tel-00179930v1

Submitted on 17 Oct 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ PARIS 8 - VINCENNES-SAINT-DENIS
U.F.R. Arts, Philosophie et Esthétique

Année 2006
N° attribué par la bibliothèque :

_____

THÈSE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ PARIS 8

Discipline :
Esthétiques, Sciences et Technologies des Arts
option Images Numériques

présentée et soutenue publiquement
par

Owen Kevin APPADOO

le 05 décembre 2006

TITRE DE LA THÈSE

Recherches et expérimentations artistiques en images numériques à base d'interférences. Concevoir des personnages tridimensionnels grâce aux illusions visuelles issues des franges d'interférence volontairement perturbées.

Directeur de thèse

M. Hervé Huitric

JURY

Mme Marie-Hélène Tramus
M. Guy Chapouillié
M. Hervé Huitric

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la composition de cet ouvrage.

Merci pour votre aide, vos conseils, vos encouragements
et votre patience.

La capacité à concevoir dans l'abstraction fait appel à la faculté qu'a notre cerveau de combler ce qui n'est pas visible par l'image la plus proche. Cela crée alors une illusion visuelle et l'imagination apporte ensuite à l'esprit des images mentales. Mes recherches consistent à présenter un concept artistique à base d'interférences et d'illusions pour créer des personnages tridimensionnels. Aussi cette thèse est-elle composée de deux parties. La première partie, théorique, est une étude globale sur les propriétés de la lumière, l'optique et la méthode de création des interférences. Dans la deuxième partie j'aborde la pratique en expliquant tout le processus mis en œuvre pour concevoir des personnages tridimensionnels grâce aux illusions visuelles issues des franges d'interférence volontairement perturbées.

Research and artistic experiments in digital imagery using interferences. Conceiving three-dimensional characters due to visual illusions obtained through interference rings disturbed on purpose.

The ability to conceive in total abstraction calls upon the faculty that has our brain to fill what is not visible by the nearest image. That creates a visual illusion and then our imagination bring forward mental images. My research consists in presenting an artistic concept using interferences and illusions to create three-dimensional characters. Also this thesis is composed in two sections. The first section is a general study on the properties of light, optical and the method to create interferences. The second section is based on my practical work. I explain, step by step, how to conceive three-dimensional characters due to visual illusions obtained through interference rings disturbed on purpose.

DOCTORAT Esthétiques, Sciences et Technologies des Arts
option Images Numériques

MOTS CLÉS
Holographie - Hologramme - Optique - Images numériques - Perception visuelle - Réflexion - Transmission - Simulation - Art holographique - Interférences - Interférométrie holographique - Laser - Stéréogrammes

KEY WORDS
Holography - Hologram - Light - Digital imagery - Visual perception - Reflection - Transmission - Simulation - Holographic art - Interference - Holographic interferometry - Laser - Stereograms

---

LABORATOIRE
I.N.R.E.V (Images Numériques et Réalité Virtuelle)
Université de Paris 8 - Vincennes - Saint-Denis
Arts et Technologies de l'Image
2, rue de la Liberté
93526 Saint Denis Cedex

TABLE DES MATIÈRES

1/ INTRODUCTION 12

2/ L'HOLOGRAPHIE EN ÉBULLITION
- **2.1.** Entre magie et réalité 18

3/ L'ODYSSÉE DE L'HOLOGRAPHIE
- **3.1.** L'Histoire 22
- **3.2.** Dr. Dennis Gabor – Biographie 25

4/ LES PRINCIPES DE L'HOLOGRAPHIE
- **4.1.** L'envers du décor 28
- **4.2.** La lumière 29
- **4.3.** L'atome 31
- **4.4.** Le photon 33
- **4.5.** La lumière laser 37
- **4.6.** Le laser 39
  - **4.6.1.** Le fonctionnement du laser 40
- **4.7.** Les hologrammes 46
  - **4.7.1.** Hologrammes par transmission 49
  - **4.7.2.** Hologrammes par réflexion 52
  - **4.7.3.** Litiholo 54
  - **4.7.4.** Les paramètres à respecter 56

5/ L'HOLOGRAPHIE, UN RÊVE COÛTEUX
- **5.1.** Un rêve coûteux 58
- **5.2.** Les interviews : un état des lieux entre la 3D et l'holographie 65
  - **5.2.1.** Aldo Texier 70
  - **5.2.2.** François Rezenthel 73
  - **5.2.3.** Anne-Laure G. Morland 76
  - **5.2.4.** Emmanuel Pierrat 80
  - **5.2.5.** Erwann Baudet 83
  - **5.2.6.** Jacquemin Piel 86

6/ LA SIMULATION HOLOGRAPHIQUE :
- **6.1.** Les hologrammes simulés par ordinateurs 90
  - **6.1.1.** L'holographie numérique 92
  - **6.1.2.** La simulation VFX 98
  - **6.1.3.** L'heliodisplay 114
  - **6.1.4.** Le CGH (computer generated hologram) 116

7/ L'ART HOLOGRAPHIQUE
- **7.1.** Quand la lumière devient art 121
  - **7.1.1.** Al Razutis 125
  - **7.1.2.** Rudie Berkhout 128
  - **7.1.3.** Anna Maria Nicholson 132
  - **7.1.4.** Sam Moree 134
  - **7.1.5.** Fred Unterseher 137
  - **7.1.6.** Edouardo Kac 140
- **7.2.** Giphantie (Tiphaigne de la Roche) 144

8/ RECHERCHES ET EXPÉRIMENTATIONS ARTISTIQUES EN IMAGES NUMÉRIQUES
- **8.1.** La capacité à concevoir dans l'abstraction 148
  - **8.1.1.** L'origine de l'idée 152
  - **8.1.2.** Le choix du dispositif holographique 153
  - **8.1.3.** Réalisation du projet 154
  - **8.1.4.** D'autres personnages 174

9/ LE BILAN
- **9.1.** Un bilan matériel et financier 228

10/ CONCLUSION 232

11/ BIBLIOGRAPHIE 237

La plupart des grandes découvertes sont faites par erreur.

Loi de Murphy

1/ INTRODUCTION

L'optique est la branche de la physique qui étudie tout ce qui concerne la lumière et les phénomènes analogues. Cette science a connu un développement continu et un renouveau complet avec l'apparition du laser. Ce dernier est à l'origine d'une évolution dont la rapidité et l'ampleur sont réellement extraordinaires. La cohérence totale et la puissance du laser ont permis, entre autres, de développer l'holographie.

L'holographie est un domaine important de l'optique moderne. Depuis sa découverte, il y a maintenant une soixantaine d'années, elle n'a cessé d'évoluer tout en gardant son mystère et son anonymat. On n'est pas au courant de toutes les applications et implications que peuvent avoir l'holographie dans notre quotidien.

Je me suis lancé dans cette aventure holographique par fascination et curiosité. Dans ce domaine j'ai connu ma première expérience « passive » au cinéma, dans le légendaire film « Star-Wars » et notamment lors de la projection holographique de « la princesse Leia par R2D2 ». Aujourd'hui ma curiosité s'est muée en passion. Une passion qui a commencé il y a quatre ans par le biais de mon mémoire de DEA.

Intitulé « L'évolution de l'image - les images en relief », le mémoire consistait, pour la première partie, en une étude générale sur la stéréoscopie, l'anaglyphe, les stéréogrammes, l'illusion optique, l'alioscopie et bien évidemment l'holographie. Dans le cadre de mon doctorat j'ai choisi d'analyser en profondeur les coulisses de l'holographie et tout son univers. Ce sera la deuxième partie de mon travail sur les images en relief.

L'objectif de la thèse sera :

- de mettre en avant des technologies rendues possibles grâce aux principes de l'holographie ;

- de développer une discussion sur un point important : le coût ! À cet effet j'ai rencontré un certain nombre de professionnels de l'image à qui j'ai soumis un questionnaire pour connaître leurs avis sur la question du coût et sur l'avenir de l'holographie dans le milieu artistique ;

- d'aborder quelques techniques de simulation holographique ;

- de développer un nouvel instrument (fondé sur le processus de création d'hologrammes) afin de générer, au profit de la 3D, des formes et des textures. C'est la partie pratique de ma thèse : *concevoir des personnages tridimensionnels grâce aux illusions visuelles issues des franges d'interférence volontairement perturbées*.

Notre cerveau est informé, en permanence, sur l'ensemble d'une image formée au préalable sur la rétine de notre œil. Si une partie de l'image disparaît, le cerveau peut combler ce qui n'est pas visible par l'image la plus connue, la plus proche ou la plus simple. C'est ce qui crée alors une illusion visuelle. Ensuite, l'imagination apporte à l'esprit des images mentales.

Je mets donc à contribution ces mécanismes cérébraux automatiques, c'est-à-dire, associée aux principes de l'holographie « optique », cette faculté qu'a le cerveau de combler ce qui n'est pas visible non pour créer des hologrammes (car j'estime que des travaux sur cet aspect existent déjà) mais pour créer des personnages en trois dimensions par le biais des interférences obtenues grâce à un processus de perturbations volontaire. Ces perturbations (en principe néfastes pour l'hologramme traditionnel) créent des rides obscures et lumineuses irrégulières. Cela me permet alors d'obtenir une illusion visuelle ; avec le logiciel Maya on peut ensuite modéliser un personnage fondé sur l'illusion obtenue. Ce travail comprend une forte composante expérimentale, mais nécessite aussi une réflexion sur le développement de nouvelles méthodes de perturbations.

Bien que ma thèse soit fondée sur l'holographie, il est très important de rappeler que mon objectif n'est pas de faire des hologrammes, mais bien plutôt de les détruire. Il ne faut donc pas s'attendre à voir des hologrammes dans cette thèse ! Mon but est de faire des recherches et des expérimentations artistiques en images numériques à base d'interférences.

Cependant, pour arriver à cette méthode de création, il m'a fallu d'abord :

- comprendre les principes fondamentaux de l'holographie ;
- explorer les différents types de création d'hologrammes ;
- analyser les différents paramètres affectant l'enregistrement et la restitution d'un hologramme ;
- comprendre l'envers du décor, notamment l'utilisation de la « matière lumière », pour avoir une meilleure approche de mon art.

Voilà autant de points que je développerai tout au long de cette thèse afin de permettre une meilleure compréhension de mon travail.

2/ **L'HOLOGRAPHIE** EN ÉBULLITION

ENTRE MAGIE ET RÉALITÉ

À mi-chemin entre magie et réalité, l'holographie fascine grands et petits. Avec l'hologramme, nous entrons dans le XXIe siècle avec une possible réconciliation de deux mondes jusqu'à présent opposés : celui de la science et celui de l'art.

2.1. ENTRE MAGIE ET RÉALITÉ

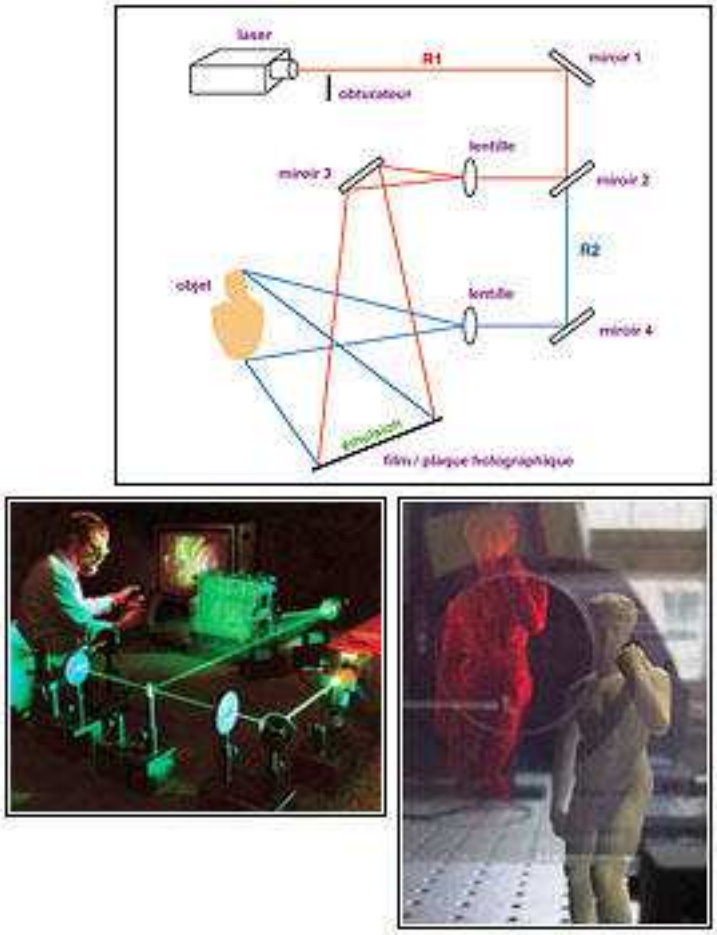
Hologramme : voilà un mot bien étrange, voire déroutant. Est-il porteur de sens pour le grand public ? Oui et non.

Pour les amateurs de science-fiction, la référence sera « Star-Wars » ou encore la reine rouge dans « Résident Evil ». Mais rien de bien réel, penseront-ils sans doute.

Loin d'être de la magie ou de l'illusion d'optique, l'holographie est bel et bien réelle : telle une force tranquille, elle prend sa place, petit à petit, dans notre quotidien.

Véritable procédé d'image tridimensionnelle, l'holographie est un procédé de photographie en relief utilisant les propriétés de la lumière cohérente pour reconstituer le patron de la lumière réfléchie par une scène. Si pour la photographie la lumière du jour est un facteur clé, la lumière laser est indispensable pour réaliser un hologramme, copie parfaite de l'objet enregistré grâce au codage de la lumière.

Une lumière « cohérente » est nécessaire à la réalisation d'interférences et d'hologrammes ; d'où l'utilisation de la lumière laser. Cette dernière possède toutes les caractéristiques nécessaires pour la visualisation des hologrammes. Elle est monochromatique, directive et en phase, c'est-à-dire que tous les photons ont la même fréquence ou couleur, une cohérence spatiale et une cohérence temporelle.

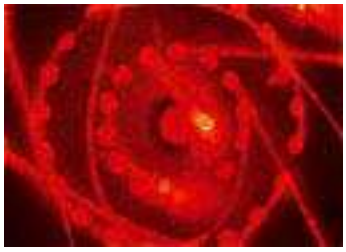


En résumé, l'holographie consiste à faire interférer, sur une plaque holographique, deux faisceaux de lumière cohérente issus du même laser. Le premier est dirigé sur la plaque et le second sur l'objet à holographier, qui diffuse à son tour la lumière qu'il reçoit en direction de la plaque. La rencontre de ces deux faisceaux crée alors des franges d'interférence. Ces franges comportent des informations concernant la forme de l'objet et sa position dans l'espace. Après développement chimique, la plaque est éclairée avec le laser sous le même angle que le rayon de référence. L'objet est alors reconstruit dans l'espace en trois dimensions et en volume de lumière.

À partir d'une onde de référence, l'holographie recrée l'objet. On peut alors regarder un hologramme tout comme on regarde un objet réel dans son quotidien, c'est-à-dire sous n'importe quel angle.

Il y a quelques années, pour apprivoiser la technique et concevoir des images holographiques, il aurait fallu un laboratoire ultra équipé et une qualification élevée en physique et mathématiques. Aujourd'hui on peut dire que l'holographie est à la portée de toute personne prête à s'investir dans cette technique : elle pourra obtenir des résultats satisfaisants. Mais elle devra abandonner l'espoir de réaliser un hologramme géant ou en couleur ou animé comme on peut en voir, par exemple, dans des expositions. Cela demande, en effet, un équipement plus sophistiqué, un emplacement spécialisé pour la conception et surtout un investissement important : c'est onéreux et difficile à réaliser. Mais si l'on veut simplement explorer de nouvelles techniques d'imagerie, un laser, des composants optiques et des films photographiques sont suffisants.

3/ **L'ODYSSÉE** DE L'HOLOGRAPHIE



3.1. L’HISTOIRE

L’odyssée de l’holographie commence en 1947. Le Dr Dennis Gabor (Budapest 1900 - Londres 1979), physicien britannique d’origine hongroise, développe la théorie de l’holographie tout en travaillant sur la qualité des images vues au microscope électronique [1]. Il crée le terme « hologramme » à partir du grec « holo » signifiant « intégral » et « gramma » signifiant « message ». Son premier article sur le sujet a fait réagir des scientifiques dans le monde entier.

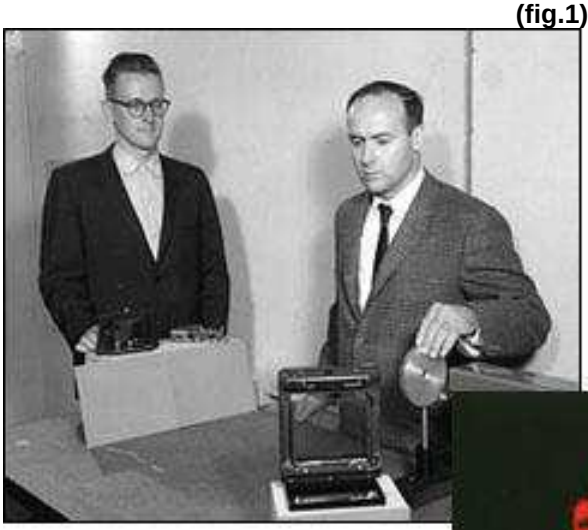
À cette époque, la source de lumière la plus cohérente est la lampe à mercure : mais cette source n’est pas propice à la création d’hologrammes. L’effet de profondeur n’est pas convaincant. Malgré l’absence de technologies avancées, l’holographie est tout de même étudiée de près par des chercheurs.

En 1960, la technologie apporte enfin l’instrument clé : le laser. En effet, le laser produit une lumière pure et totalement cohérente, idéale pour créer des hologrammes.

En 1962, deux Américains de l’Université de Michigan, Juris Upatnieks (cf. fig.1) et Emmett Leith (cf. fig.1), pensent que l’holographie peut être un médium visuel à trois dimensions [2].

Prenant connaissance de l'article de Gabor, ils décident de dupliquer sa technique en utilisant un laser et une technique développée par eux, fondée sur les axes décalés (technique issue de leurs travaux sur le développement d'un radar). En 1964, apparaît le premier hologramme par transmission d'un objet en trois dimensions (cf. fig.2).

(fig.1)



(fig.2)

"Train and Bird", le premier hologramme par transmission de Juris Upatnieks et Emmett Leith

Ces hologrammes par transmission restituent des images d'une très grande clarté et d'un champ de profondeur réaliste, mais ne sont visibles qu'à la lumière laser. La technique mise au point par Leith et Upatnieks a permis de standardiser le matériel nécessaire pour l'holographie.

Toujours en 1962, un Russe, le Dr Yuri Denisyuk, combine l'holographie avec les travaux de Gabriel Lippmann sur la photographie couleur [2]. L'approche de Denisyuk consiste à regarder un hologramme sans allumer le laser. Il invente la technique de l'hologramme par réflexion visible à la lumière blanche, c'est-à-dire avec un spot de lumière ou une torche. Leith et Upatnieks décident alors de combiner leur technique d'axe décalé à celle de Denisyuk. L'holographie en tant que médium devient alors un sérieux atout.

En 1965, Robert Powell et Karl Stetson publient le premier article sur l'interférométrie holographique, une technique qui permet d'effectuer des contrôles de qualité, de tester le matériel, de mesurer le mouvement des liquides grâce à des contours d'un même objet obtenus à deux moments différents [2].

Durant toutes ces années, l'holographie est restée cantonnée aux seuls laboratoires. Sa première intrusion hors de la communauté scientifique date de 1967 à travers des articles et des exemples dans des ouvrages tels que le *Scientific American* ou le *National Geographic* et des expositions dans des galeries.

La particularité d'un hologramme visible à la lumière blanche, c'est qu'il crée un spectre de couleurs autour de l'hologramme. La brillance, la profondeur et le spectre attirent très vite les artistes qui trouvent là un nouveau mode d'expression : l'art holographique. En adaptant cette technique à leur travail, ils contribuent ainsi à faire connaître l'holographie.

En 1968, dans le Michigan, le « Crambrook Academy of Art » organise la première exposition d'art holographique suivie d'une deuxième en 1970 à New York [2]. L'holographie est alors l'objet de toutes les attentions. À ce jour, grâce à leurs recherches permanentes, les artistes holographes ont beaucoup contribué à l'évolution de la technique de l'holographie.

En 1971, le Dr Dennis Gabor reçoit le Prix Nobel de physique pour sa découverte [3].

Depuis son apparition, l'holographie n'a cessé d'évoluer. Les technologies actuelles utilisant cette technique sont impressionnantes. Néanmoins, malgré son parcours hors des laboratoires, l'holographie est restée inconnue du grand public !

3.2. BIOGRAPHIE

Dr. Dennis Gabor : Prix Nobel de physique (1971)

Le Dr Dennis Gabor est né à Budapest, en Hongrie, le 5 juin 1900. Fils aîné d'Adrienne Gabor et de Bertalan Gabor, directeur d'une compagnie de minerais [3].

Son amour pour la physique commence à l'âge de 15 ans. Fasciné par la théorie d'Abbe sur la microscopie et par celle de Gabriel Lippmann sur la photographie couleur, il construit un laboratoire maison et commence à faire des expériences avec des rayons X et la radioactivité.

Diplômé de la « Technische Hochschule » de Berlin en 1924, il décroche, trois ans après, son doctorat en Ingénierie électrique. Sa thèse est fondée sur le développement d'un des premiers oscillographes à grande vitesse à rayon cathodique (high speed cathode ray oscillographs).

Il rejoint Siemens et Halske AG en 1927 où il met au point la lampe à haute pression de mercure de quartz (high pressure quartz mercury lamp) et le « Molybdenum tape seal ». Suite à l'arrivée au pouvoir d'Hitler en 1933, Dennis Gabor quitte l'Allemagne pour l'Angleterre après un bref passage en Hongrie. La société anglaise Thomson-Houston Co. le recrute en tant qu'inventeur. Grâce à son talent, il trouve sa place dans cette société, au sein du laboratoire de recherche de la BT où il restera jusque fin 1948. Il développe, par ailleurs, un système de cinématographie stéréoscopique et commence des expériences basiques sur l'holographie, appelée à l'époque « wavefront reconstruction ».

Le 1er janvier 1949, il rejoint le « Imperial College of Sciences and Technology » de Londres, en tant que lecteur en électronique. Il y reste jusqu'à sa retraite, en 1967, en tant que professeur de physique en électronique appliquée. Il reste cependant en contact avec le collège en tant que « Senior Research fellow » et collabore avec d'autres doctorants. Il se penche sur de nombreux défis tels que le microscope holographique, un nouveau spectroscope, un ordinateur analogique, un téléviseur ultra plat, un convertisseur thermoïonique. Ces travaux théoriques se rattachent à la théorie de la communication, à la théorie du plasma, à la théorie magnétron et au schéma de la fusion.

Il collabore aussi avec le Dr Peter Goldmark, père du téléviseur couleur et président de la CBS laboratories à Stamford, sur bon nombre de schémas de communication et de présentation.

Parallèlement à ses travaux, il se trouve une nouvelle passion : le questionnement sur le futur de la civilisation industrielle. Convaincu que les esprits inventifs devraient considérer les inventions sociales comme leur première priorité, il publie trois ouvrages : « Inventing the future » (1963) [4], « Innovations » [5], « The Mature society » (1972) [6].

4/ **LES PRINCIPES** DE L'HOLOGRAPHIE

LES PRINCIPES DE L'HOLOGRAPHIE

Pour arriver à maîtriser cette technique d'imagerie, il est indispensable de connaître l'envers du décor. Personnellement, je crois qu'une meilleure compréhension passe forcément par une connaissance approfondie : les principes de base, le processus de fonctionnement, l'importance de la lumière, les paramètres à respecter.

4.1. L’ENVERS DU DÉCOR

Il est vrai que n’importe qui, pourvu qu’il soit prêt à y consacrer du temps et à s’armer de patience, peut arriver à faire un montage holographique et ainsi créer des hologrammes. Cependant, il existe des kits holographiques prêts à l’emploi, avec notice pour le montage et explications sommaires pour fabriquer des hologrammes.

Mais qu’en est-il du processus de fonctionnement et quels sont les principes de base ? Il est indispensable de connaître l’envers du décor, c’est-à-dire comprendre tout ce qui constitue l’holographie :

- L’importance de la lumière ;
- Les atomes ;
- Les photons ;
- Pourquoi la lumière laser et non la lumière du jour ;
- Le fonctionnement du laser et son intervention dans les hologrammes.

Nous allons développer ces points dans les chapitres suivants.

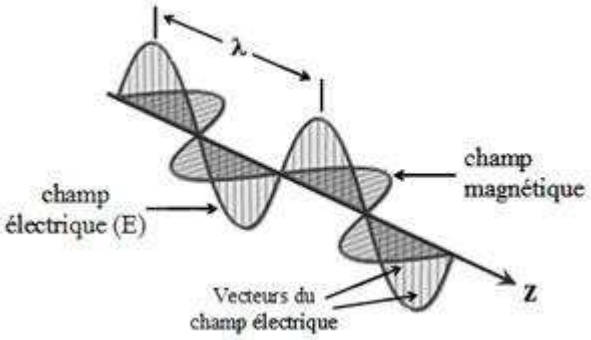
4.2. LA LUMIÈRE

La lumière [7] est un phénomène qui se propage depuis les sources lumineuses. La lumière éclaire, chauffe, elle est source de vie. C'est incontestablement un élément de la nature que l'on côtoie quotidiennement. Sans lumière on ne verrait rien, car ce n'est pas l'œil qui émet des corpuscules (il garde les mêmes facultés de vision de jour comme de nuit) mais plutôt les objets éclairés qui diffusent des rayonnements lumineux autour d'eux. Un objet absorbe certaines couleurs et en réfléchit d'autres, les rayons lumineux réfléchis donnent sa couleur à l'objet.

Notre étoile, le soleil [8], est une source primaire de lumière. Il transforme une partie de son énergie nucléaire en énergie lumineuse. Le soleil émet de la lumière blanche – ou lumière visible – mais il émet aussi d'autres rayonnements appartenant au spectre électromagnétique comme les rayonnements infrarouges ou les ultraviolets. La lune, par contre, est une source secondaire de lumière. Si elle émet de la lumière, c'est parce que le soleil l'éclaire.

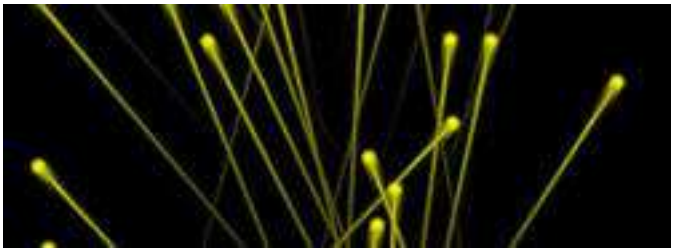
La lumière est une forme d'énergie issue de deux composantes :

- une onde électromagnétique ondulatoire ;



(fig. 3)
Adapté d'après Hecht (2002).
© Collection Mémoires et thèses électroniques – Université Laval.

- un aspect corpusculaire (les photons).



(fig. 4)
© 1994-2006 Jean-François Colonna

La lumière, au sens commun du terme, n'est que la partie visible d'un phénomène plus vaste : les ondes (ou rayonnements) électromagnétiques [9]. Une onde électromagnétique peut se définir par la donnée de sa longueur d'onde. C'est une grandeur qui s'exprime en unité de longueur, et elle peut varier du millionième de millionième de mètre au kilomètre.

Parmi les ondes électromagnétiques que nous ne pouvons pas voir, il y a notamment les rayons X, les ondes radio, les ultraviolets (responsables de notre bronzage), ou encore les infrarouges (que nous ne voyons pas, mais que nous pouvons ressentir sous forme de chaleur): toutes ces ondes sont de même nature.

À une vitesse de 300 000 km/s, le rayonnement lumineux se déplace en ligne droite dans tous les milieux, c'est la vitesse qu'on appelle « vitesse de la lumière ». La lumière du jour, lumière blanche, renferme toutes les couleurs que l'on peut observer lors d'un arc-en-ciel (phénomène naturel résultant de la diffraction (ou « décomposition ») de la lumière du soleil au travers des gouttes de pluie). Mais commençons par le début : comment la lumière est-elle créée?

4.3. L'ATOME

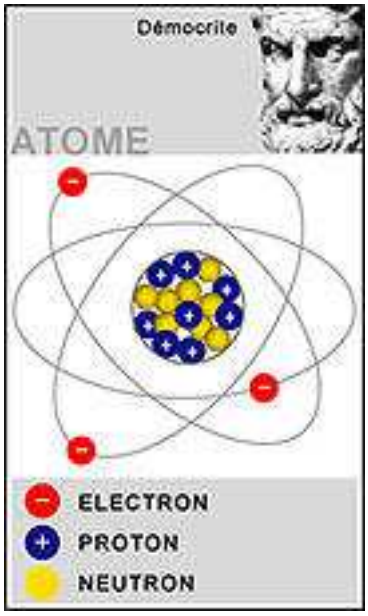
Le monde autour de nous est constitué d'atomes ou d'assemblages d'atomes appelés molécules. La terre, l'eau, l'air, le corps humain… sont des concentrés d'atomes réunis pour donner atmosphère, univers, vie. C'est le cœur de la matière. Le commencement !

Le mot atome vient du grec « *atomos* » qui signifie « indivisible ». Au quatrième siècle, le philosophe grec Démocrite (460-370 avant J. C.) [10] eut l'intuition que la matière était constituée de grains de matière infiniment petits et indivisibles. Maintenant, on sait que les atomes ne sont pas indivisibles (on peut en arracher des électrons ou faire fusionner leur noyau, etc.) cependant leur nom leur est resté !

Un atome est composé [11]:

1. d'un noyau central qui est un assemblage de protons, de charge électrique positive et de neutrons, de charge électrique nulle. Les protons et les neutrons constituent les nucléons (du latin « *nucleus* » signifiant noyau) ;

2. d'un nuage périphérique composé d'électrons, de charge électrique négative, qui gravitent autour du noyau.



La taille d'un atome est de l'ordre de 10^{-10} m, soit un dixième de millionième de millimètre. Le noyau, de l'ordre de 10^{-15} m, est cent mille fois plus petit que l'atome.

Dans l'atome, la masse n'est pas répartie de façon homogène. La masse d'un nucléon est de $1{,}7*10^{-27}$ kg, soit moins de deux millièmes de milliardième de milligramme. Les protons et les neutrons ont quasiment la même masse, mais sont environ 2 000 fois plus lourds qu'un électron : $9{,}1*10^{-31}$ kg. Comme le noyau est très petit, la masse de l'atome est très concentrée.

Un atome est donc une sorte de système solaire miniaturisé. Les planètes représentent les électrons et le soleil représente le noyau.

4.4. LE PHOTON

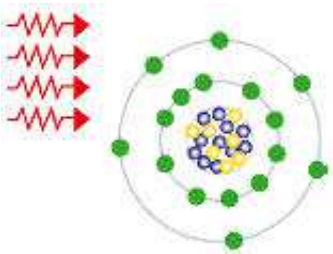
Le photon [12] est un concept utilisé pour représenter les interactions entre les rayonnements électromagnétiques (la lumière, les ultraviolets et les rayons X) et la matière (l'atome). Le photon seul n'émet pas de rayonnement. Au début du XXe siècle, des travaux démontraient que la matière recevait ou émettait de l'énergie électromagnétique (photons) par paquets de valeur déterminée. Le quantum d'énergie lumineuse fut baptisé « photon » quelques années plus tard. Tout rayonnement électromagnétique, notamment la lumière, est constitué de photons. Dans notre quotidien, cela est signalé par les sources de rayonnement : lampes, antennes, lasers, qui produisent de très grandes quantités de photons.

$E=MC^2$, célèbre formule d'Albert Einstein (Ulm 1879 - Princeton 1955, Prix Nobel 1921), démontre que toute forme d'énergie a son équivalent matière. La lumière est composée de particules matérielles appelées « photons », vecteurs de cette énergie lumineuse.

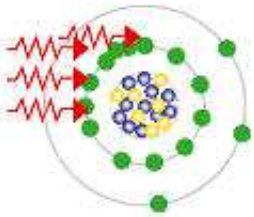
Dans un article qui lui a valu le Prix Nobel « L'Hypothèse du Photon » (1905), Albert Einstein montre, en se fondant sur l'hypothèse de Planck [12], que la lumière n'est pas une onde mais une énergie : E=hv. C'est le premier exemple de la dualité onde-corpuscule. L'énergie 'E' transportée par un photon est liée à la fréquence 'v' de son onde par la relation E=hv, 'h' étant la constante de Planck [13]. En fait, la lumière n'est ni une onde ni un corpuscule, mais bien les deux à la fois.

Einstein soutient aussi que le concept de photon n'est qu'une construction mentale pour expliquer cette interaction rayonnement électromagnétique / matière. On ne peut donc parler de photon qu'au moment de l'interaction. Cela signifie qu'en dehors de toute interaction on ne peut connaître la forme d'un rayonnement et que le photon ne serait qu'une concentration qui ne se formerait qu'au moment de l'interaction, puis s'étalerait.

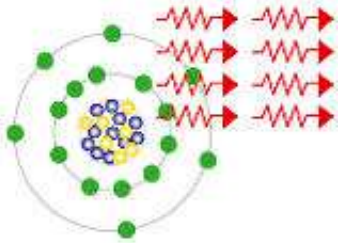
Dans ce monde de l'atome, les photons arrivent donc par paquets d'énergie qui viennent percuter l'atome.

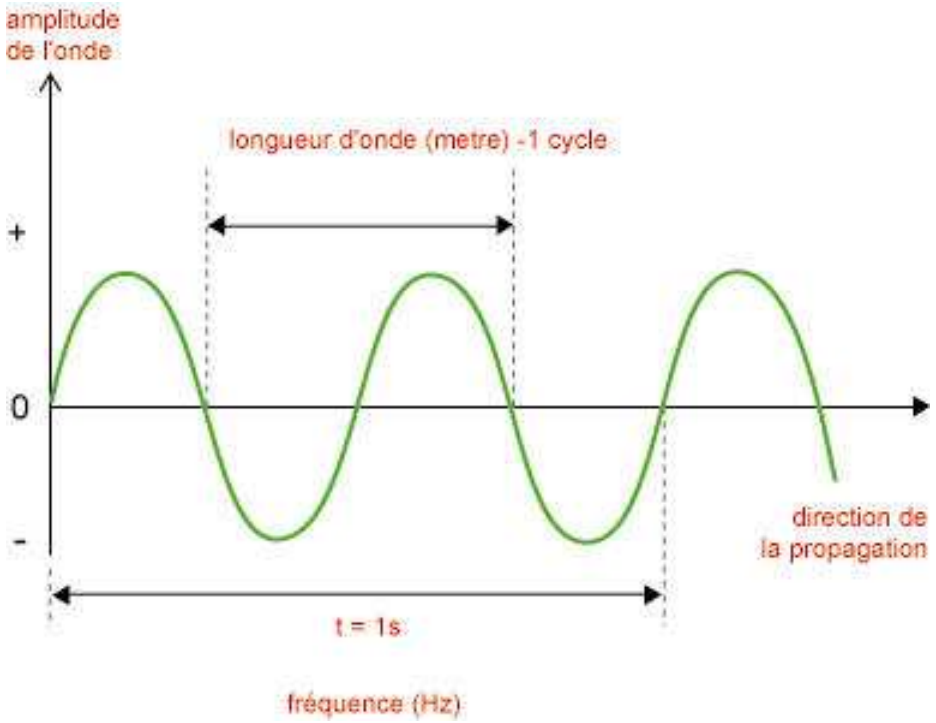


Celui-ci les absorbe et se met alors à vibrer davantage. Sa fréquence augmente, les électrons font un saut vers un état plus excité et le nuage périphérique change d'état et de configuration.



Cette transition est discontinue et discrète. L'atome revient à son état initial lorsqu'il a émis des photons et il laisse échapper une énergie lumineuse.

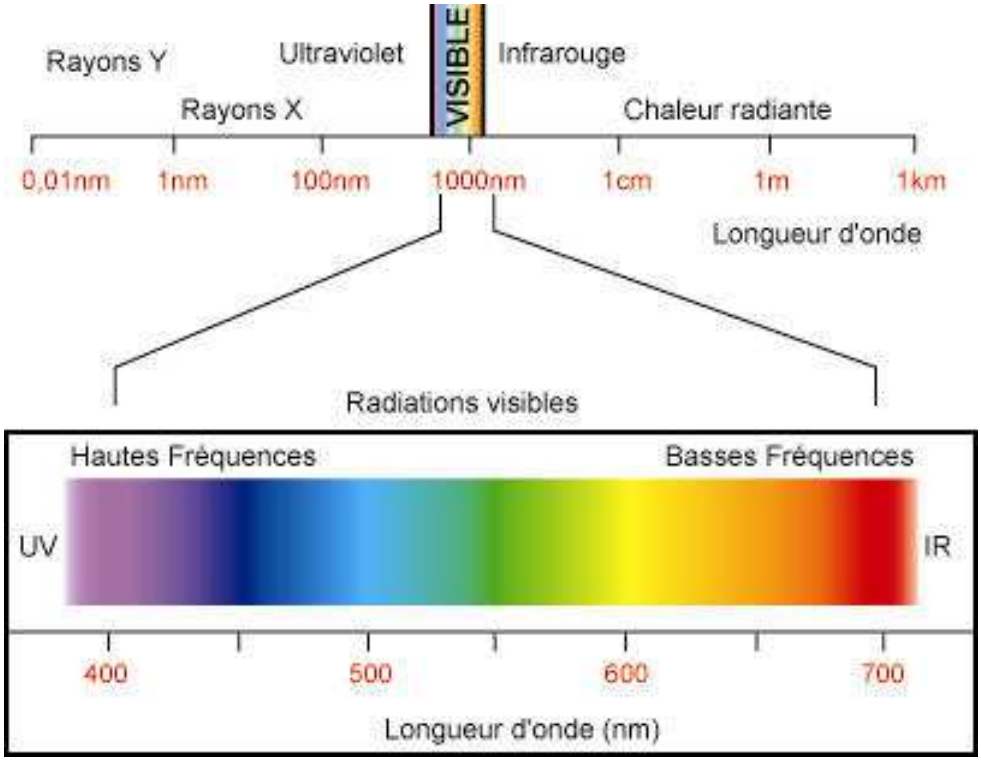




(fig.5)
Adapté d'après W.Pirard, 2001

Le photon transporte donc une énergie dans l'onde lumineuse (la lumière) et l'effet ou la puissance de cette force est lié(e) à la fréquence de cette onde. Une onde ou rayonnement électromagnétique (cf.fig.5) est défini(e) par sa longueur d'onde (longueur de perturbation - en mètres) et par sa fréquence (nombre de perturbations en une seconde). Plus la longueur d'onde est petite, plus la fréquence est grande.

Cette fréquence se traduit par une couleur, du rouge au violet dans le spectre visible. Plus cette fréquence augmente, plus les photons sont énergétiques et dangereux (par exemple les ultraviolets qui ont une couleur invisible).



(fig.6)

La lumière est la forme d'énergie la plus pure et la plus propre de notre univers. Énergie non polluante, elle est aussi très souple et se prête à merveille à toutes sortes de manipulations comme la lumière laser. La lumière est un excellent vecteur d'information, d'où son importance capitale dans la création des hologrammes.

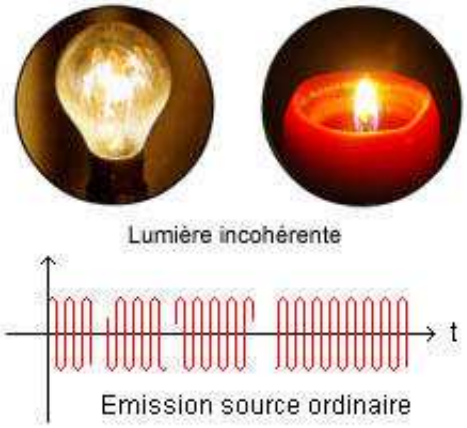
4.5. LA LUMIÈRE LASER

Maintenant qu'on comprend mieux le principe de la lumière – le rôle du photon en interaction avec l'atome pour émettre cette lumière – penchons-nous à présent sur la lumière laser, onde lumineuse entretenue et ingrédient essentiel pour l'holographie [14].

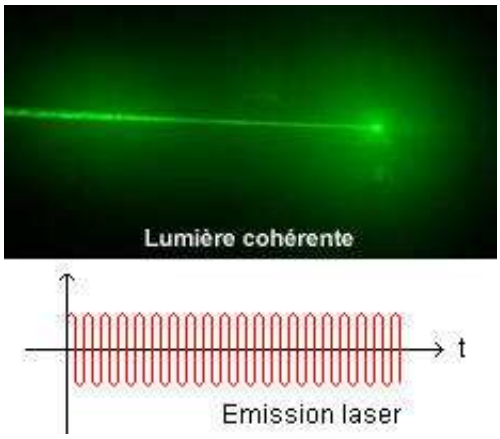
Une lampe ou une bougie, par exemple, sont des lumières dites conventionnelles. Elles émettent de la lumière comme on vient de le décrire précédemment. Elles doivent atteindre une température suffisante pour qu'une partie de leur énergie soit émise sous forme de lumière visible [15]. Pour atteindre ce seuil de visibilité, tous les atomes vibrent au hasard, des photons de toutes fréquences sont émis. L'atome est en ébullition et il émet un flux de lumière, apparemment constant, dans toutes les directions et avec des longueurs d'onde différentes qui s'étalent sur tout le spectre visible ainsi que dans l'infrarouge et l'ultraviolet. Cela s'appelle le spectre continu de rayonnement.

On peut comparer cette lumière à une foule de gens sortant du métro : chacun part dans des directions différentes et à une vitesse différente des autres. Ce type de lumière est appelé « lumière incohérente » (cf.fig.7).

Par contre, quand tous les photons ont les mêmes longueurs d'onde et se déplacent dans la même direction, et qu'ils ont par conséquent la même fréquence et la même phase, alors la lumière est dite « cohérente » (cf.fig.8) et cette organisation des photons s'appelle la cohérence temporelle.



(fig.7)



(fig.8)

C'est le cas de la lumière laser. D'où le terme « onde lumineuse entretenue », car la cohérence n'est pas naturelle et ne peut être obtenue qu'artificiellement. Le laser doit avoir une cohérence totale ; cela implique non seulement une cohérence temporelle (que nous venons de décrire) mais aussi une cohérence spatiale : les photons doivent impérativement provenir d'un seul point, sinon ils ne seront plus en phase car ils auront parcouru des distances différentes provenant de plusieurs sources dispersées.

Réunissant ces deux propriétés, la lumière laser procure une onde d'une grande intensité bien collimatée, c'est-à-dire parallèle. La cohérence est alors totale !

4.6. LE LASER

Comment utiliser cette connaissance de la lumière laser à des fins plus fonctionnelles ? Auparavant, attardons-nous un instant sur le mot « laser ».

En effet, L.A.S.E.R est l'acronyme de l'anglais Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Amplification de la lumière par émission stimulée de rayonnement) [15]. C'est un dispositif qui amplifie la lumière grâce au principe d'émission stimulée de rayonnement.

Son histoire commence avec Einstein en 1905, qui présente une théorie selon laquelle un matériau peut émettre de la lumière s'il est correctement excité. Cependant, à cause des préjugés de nombreux scientifiques de l'époque, il faut attendre près de 35 ans après la publication de la théorie pour qu'on s'intéresse, enfin, à ce phénomène d'émission stimulée.

Le premier brevet de laser est déposé en 1960 par Charles Townes [16], un Américain qui, en 1953, fabriqua l'ancêtre du laser – le Maser (Microwave Amplification by Stimulated of Radiation) (cf.fig.9), dispositif émettant des micro-ondes. Mais le premier laser est fabriqué en 1960 par un autre Américain, Théodore Maiman. Depuis son invention, les modes de production de rayonnement laser se sont multipliés.

(fig.9)
Maser à hydrogène
©NASA/JPL-Caltech

4.6.1. LE FONCTIONNEMENT DU LASER [17]

L'acronyme L.A.S.E.R décrit en lui-même son fonctionnement : amplification de la lumière par émission stimulée de rayonnement. Que signifie « émission stimulée » ? Pour cela décrivons d'abord l'émission spontanée.

L'émission spontanée est un phénomène qui fait partie de notre quotidien. Afin de permettre une meilleure compréhension, référons-nous à une analogie : l'enseigne d'un magasin ou d'une boîte de nuit, en tube néon.

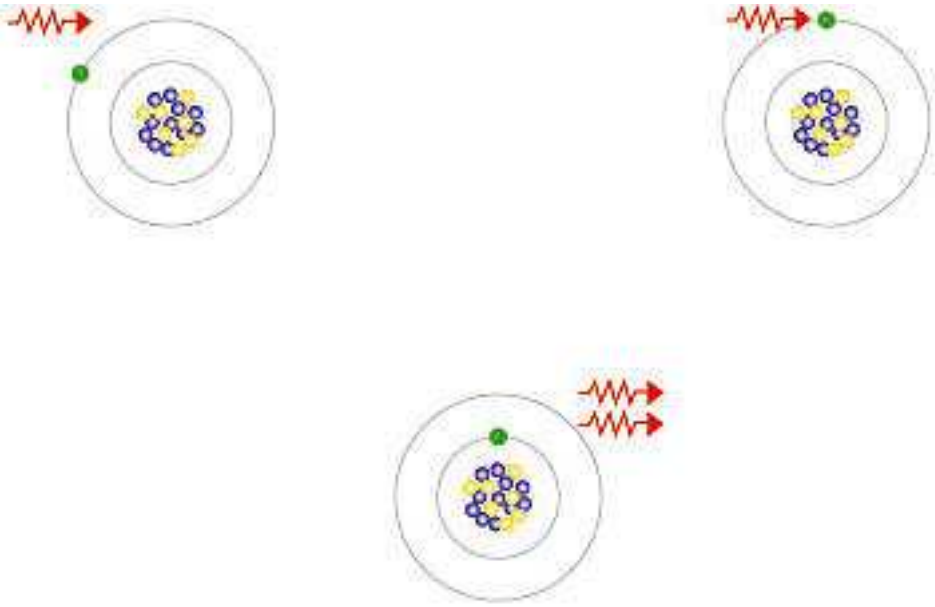
Le tube néon est constitué d'un tube de verre dans lequel un gaz, le néon, a été introduit à basse pression. Le tube peut être branché à une source d'électricité à chaque extrémité : lors d'une tension électrique, une décharge se produit dans le gaz. Les atomes sont alors excités par les électrons qui les traversent puis se désexcitent en émettant une lumière de façon aléatoire et indépendante. Ce type d'émission est spontané, car aucun processus externe n'intervient lors de la désexcitation des atomes.

On déduit donc que, dans le cas d'une émission stimulée (cf.fig.10), la désexcitation se fait par un processus externe. En effet, dans le cas de ce phénomène, un premier photon est émis par émission spontanée. Ce photon, en rencontrant une particule, provoquera alors la désexcitation de cette particule et la forcera à émettre un deuxième photon. On obtient à présent deux photons similaires dotés de la même quantité d'énergie, de la même fréquence et qui se propagent dans la même direction. Le processus se répète, ces deux photons rencontreront une autre particule qui émettra un autre photon, et ainsi de suite.

(fig.10)

un premier photon est émis par émission spontanée

la rencontre du photon et d'un particule



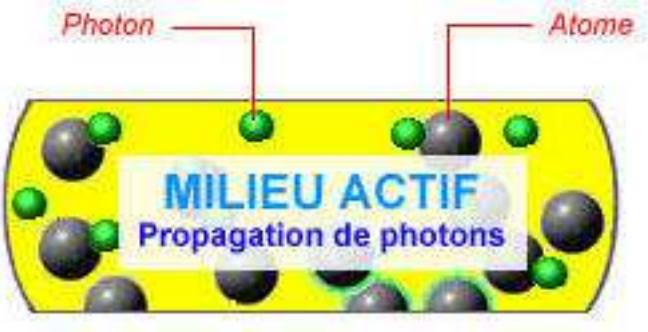
le photon provoque la désexcitation d'une particule et la force à émettre un deuxième photon

La lumière laser dépend donc beaucoup de l'émission stimulée, qui elle-même est au cœur du fonctionnement du dispositif laser. Mais ce n'est pas suffisant ! Ce dispositif est composé principalement :

- d'un milieu actif ;
- d'un mécanisme de pompage ;
- d'un résonateur optique.

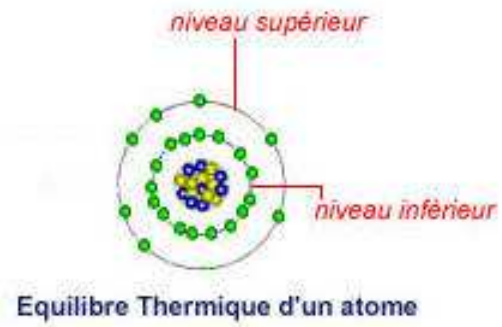
LE MILIEU ACTIF

Le milieu actif [18] est caractérisé par la présence de particules ayant au moins un état d'énergie excité dit métastable, c'est-à-dire presque stable, avec une durée de vie qui permet d'avoir une émission stimulée et aussi spontanée. Ainsi, une particule se trouvant dans cet état le restera assez longtemps pour que le phénomène de stimulation se produise.

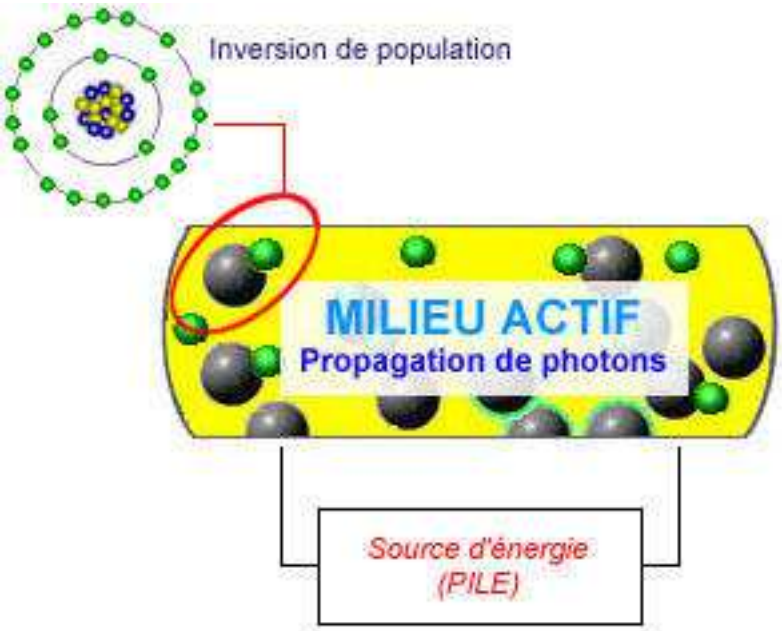


LE MÉCANISME DE POMPAGE

Un atome possède deux niveaux d'énergie avec des particules circulant sur chaque niveau : niveau supérieur et niveau inférieur. Pour qu'un atome soit bien équilibré, les particules au niveau inférieur doivent être plus importantes qu'au niveau supérieur (équilibre thermique).



Mais il est possible d'obtenir une majorité de particules au niveau supérieur si l'on fournit au système une quantité d'énergie suffisante grâce à un mécanisme de pompage [18] (une pile). Cela s'appelle une inversion de population. Sans cette inversion dans le milieu actif, le rayonnement laser ne peut être obtenu. L'inversion de population favorise le processus de stimulation. La probabilité est beaucoup plus élevée pour qu'un photon provoque la désexcitation d'un atome excité dans le niveau supérieur plutôt que de se faire absorber au niveau inférieur. Ainsi, dans le laser, la lumière s'amplifie.

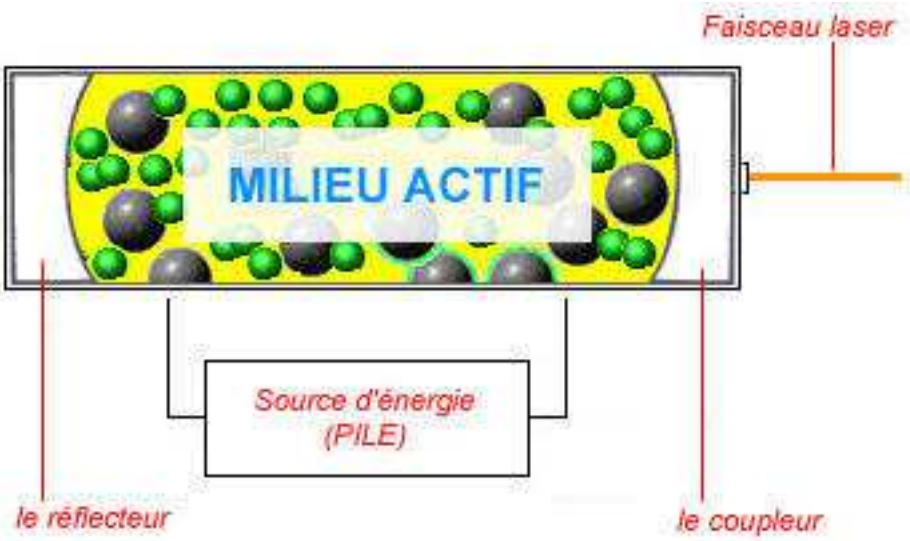


LE RÉSONATEUR OPTIQUE

Le résonateur optique [18], dernier composant non négligeable dans le laser, est aussi appelé cavité résonatrice. Bien que le milieu actif, avec son mécanisme de pompage, contribue à une amplification de la lumière, ce processus ne permet pas pour autant de produire un faisceau laser. Le résonateur est constitué de deux miroirs parallèles entre lesquels est placé le milieu actif.

Le premier miroir est un réflecteur. Il est totalement réfléchissant. Le second miroir, le coupleur, est semi-transparent. Les photons sont réfléchis par le miroir, traversent plusieurs fois le milieu actif et provoquent l'émission stimulée d'un plus grand nombre de photons. Ce processus d'amplification dans le laser s'appelle une oscillation.

Afin d'observer tout ce processus infini à l'intérieur de la cavité, une petite fuite de lumière est créée volontairement. Ainsi, grâce à la semi-transparence, le coupleur permet à la lumière de sortir du résonateur. On obtient alors une lumière artificielle très concentrée, parfaitement ordonnée et cohérente. À noter que la lumière émise par un laser peut être propagée de manière continue ou sous forme d'impulsions.



Intégrés dans divers objets comme la caisse enregistreuse des supermarchés ou le compact disque, ou encore l'imprimante, les lasers ont envahi notre quotidien dans de très nombreux domaines. Ils sont aussi présents dans la médecine, l'armée, etc.

On dispose maintenant d'une large application du laser et l'hologramme en fait partie. C'est une des inventions remarquables de la physique moderne.

4.7. LES HOLOGRAMMES

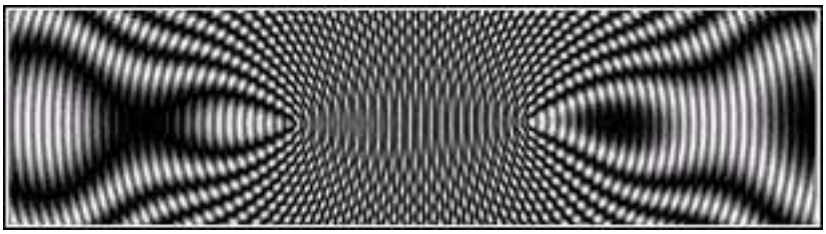
Après ce petit voyage dans le monde de la physique, qui nous a permis de mieux comprendre la lumière et en particulier la lumière laser, plongeons-nous à présent dans le monde fabuleux de l'holographie . Nous allons voir l'utilité du laser dans la fabrication des hologrammes.

Comme je l'ai mentionné auparavant, l'hologramme est une invention tout à fait étonnante. L'hologramme possède cette propriété remarquable d'enregistrer l'ensemble des informations sur l'objet en chacun de ses points ; ainsi, s'il est rompu, chacun de ses morceaux est capable, par agrandissement, de reconstituer l'image entière. L'image fantomatique obtenue semble suspendue dans l'espace. Voyons comment et à quel moment intervient le laser.

Prenons l'exemple d'une pierre jetée dans l'eau. Il se produit une série d'ondes régulières qui s'étendent en cercles concentriques. Que se passe-t-il si deux pierres identiques sont jetées dans l'eau en même temps en deux points différents ? Deux ondes régulières se produisent et se rencontrent. Si la crête de l'une heurte la crête de l'autre, elles vont se renforcer en une crête du double de leur hauteur. D'autre part, si une crête de l'une coïncide avec un creux de l'autre, elles vont s'annuler en une plage isolée d'eau calme [19].

Il existe en fait de nombreuses combinaisons possibles qui produisent un arrangement complexe de rides qu'on appelle « réseau d'interférences ».

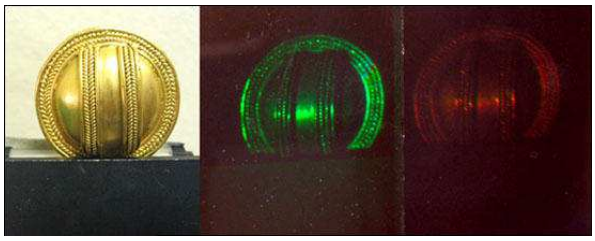
Les ondes lumineuses se comportent exactement de la même manière. Le laser envoie un faisceau dont toutes les ondes sont synchrones. Lorsque deux faisceaux laser se rencontrent, ils produisent des franges d'interférence faites de rides lumineuses et obscures, qui peuvent être fixées sur une plaque holographique.



Si l'un des faisceaux, au lieu de venir directement du laser jusqu'à la plaque, est d'abord réfléchi par un objet, le réseau qui se forme sera certes très complexe : toutefois, il peut être enregistré. Cet enregistrement sera un hologramme de l'objet réfléchi.

© UFR de physique - Université Joseph Fourier Grenoble

(fig.11)



Il existe plusieurs types de développement holographique [20] :

- Les hologrammes images ;
- Les hologramme à parallaxe intégrale ;
- Les hologrammes d'exposition ;
- Les hologrammes réalisés avec un laser pulsé ;
- Les interférogrammes holographiques ;
- Les hologrammes épais et les hologrammes à images mutiples ;
- Les hologrammes achromatiques ;
- Les hologrammes multiplex ;
- Les hologrammes en fausses couleurs ;
- L'holographie en couleur.

Mais les plus répandus sont les hologrammes par transmission, visibles avec un laser et les hologrammes par réflexion, visibles à la lumière blanche. Mon travail de fin d'études est fondé sur le principe de l'hologramme optique par réflexion afin d'obtenir les illusions visuelles par le biais des interférences.

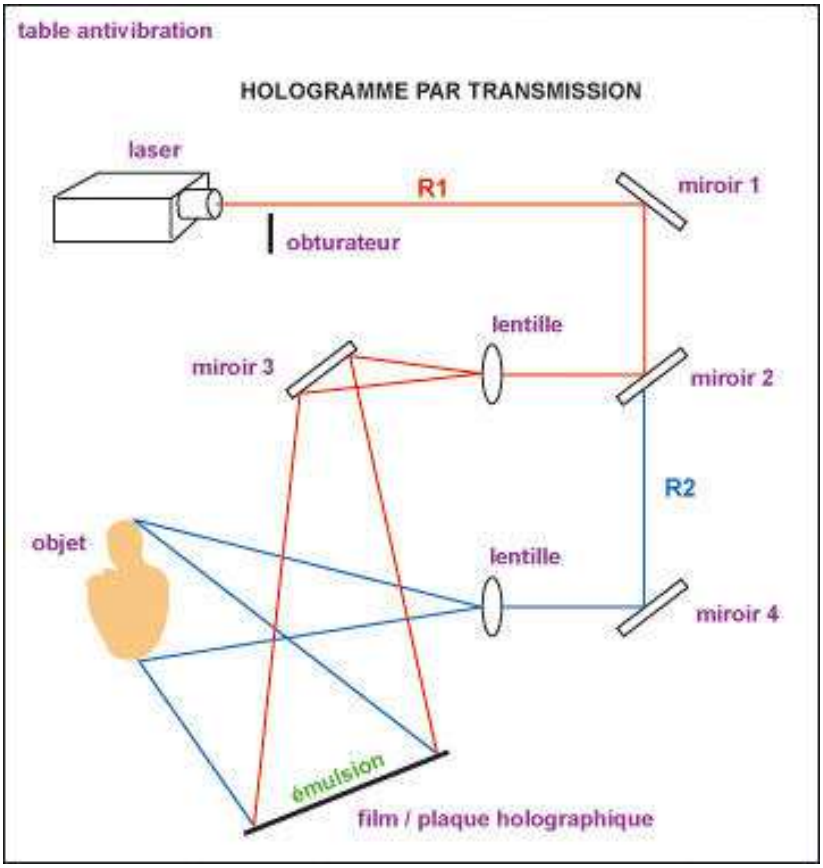
Voyons de plus près ces deux types d'hologrammes.

4.7.1. HOLOGRAMME PAR TRANSMISSION visible à la lumière laser

C'est le montage le plus courant (cf.fig12). Les hologrammes par transmission ne sont visibles qu'avec la lumière laser qui les a enregistrés. L'illumination de l'objet est réalisée avec deux faisceaux provenant du même laser. Chacun d'entre eux a son rôle. L'un permet de cerner les formes et l'autre joue le rôle de spot.

Matériel nécessaire :

- 1 table antivibration
- 1 laser
- 2 lentilles
- 2 miroirs réfléchissants
- 2 miroirs semi-réfléchissants
- 1 film ou plaque holographique
- 1 objet
- 1 obturateur



(fig.12)

Le principe de création d'un hologramme par transmission

Le film (ou la plaque holographique) est fixé(e) sur un support stable avec l'émulsion se trouvant face à l'objet à holographier. Les lentilles doivent être bien réglées afin de permettre aux faisceaux de se propager uniformément sur toute la surface de l'objet et du film.

Comme les vibrations sont très néfastes, il est recommandé d'attendre quelques minutes avant de déclencher l'obturateur pour laisser passer le laser. Lors de l'enregistrement, selon la puissance du laser, le temps d'exposition peut varier entre 4 et 30 secondes. Des tests sur plusieurs secondes peuvent déterminer le temps approprié.

L'enregistrement peut commencer. L'obturateur est déclenché. La lumière du laser arrive sur la plaque photographique (du côté de l'émulsion) par deux voies différentes : en s'échappant du laser, le rayon rencontre un miroir réfléchissant qui le fait dévier de son trajet jusqu'à ce qu'il rencontre un deuxième miroir, celui-là semi-réfléchissant. Alors, deux rayons se forment. Le miroir semi-réfléchissant laisse filtrer une partie des ondes lumineuses (qu'on appelle R2) tandis que l'autre partie (R1) est réfléchie.

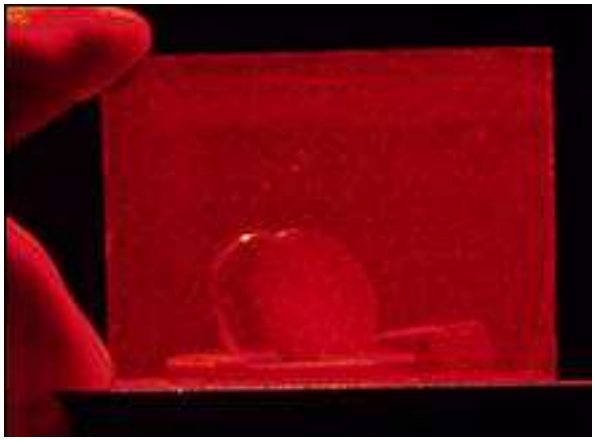
R1 passe par une lentille ou diffuseur. Comme son nom l'indique, il va diffuser le rayon dans un angle croissant vers un troisième miroir, réfléchissant, placé à une distance calculée. R2, après avoir été filtré, rencontre un quatrième miroir réfléchissant puis un diffuseur comme R1. Le rayon est aussi diffusé en angle croissant, non pas vers un autre miroir, mais vers un objet. R1 et R2 sont tous deux réfléchis, l'un par l'objet, l'autre par le miroir. Ils se rencontrent alors, simultanément, sur une plaque holographique. Une fois l'enregistrement terminé, l'obturateur doit être ré-enclenché afin d'empêcher le rayon du laser de passer.

Le film est soumis à un traitement chimique (comme en photo). Les gants sont nécessaires pour cette étape.

1. Environ 5 minutes dans le développeur jusqu'au moment où il noircit
2. 45 secondes de rinçage dans l'eau
3. 30 secondes dans le bain d'arrêt
4. 45 secondes de rinçage à nouveau
5. 30 secondes dans du photo-flo pour enlever les cernes d'eau sur le film
6. Bien faire sécher

Après le séchage complet, le film doit être replacé sur son support en gardant la même position et le même angle que lors de l'enregistrement. L'objet est enlevé et l'obturateur est à nouveau déclenché pour faire passer le laser.

En se plaçant derrière le support et en regardant à travers le film (ne pas fixer directement le laser avec les yeux), on peut distinguer une image virtuelle en volume de lumière : l'hologramme.



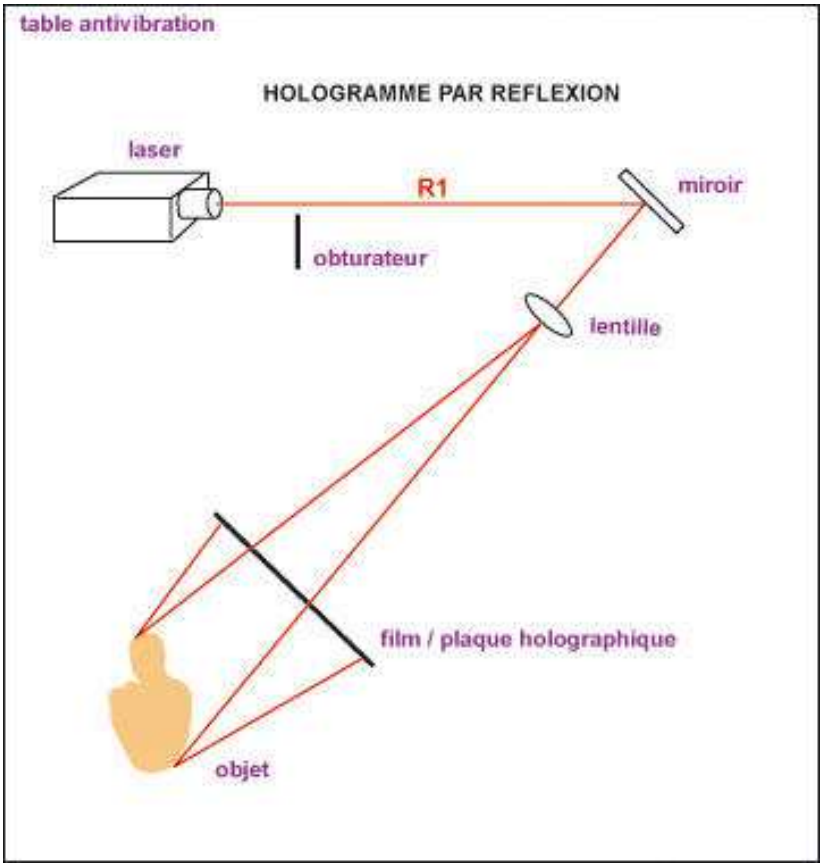
(fig.13)

4.7.2. HOLOGRAMME PAR RÉFLEXION visible à la lumière blanche*

C'est le montage le plus simple à réaliser, car cela ne demande pas beaucoup de matériel (cf.fig14). Les hologrammes par réflexion sont visibles à la lumière blanche. La lumière du soleil ou la lumière d'une lampe classique suffit généralement.

Matériel nécessaire :

- 1 table antivibration
- 1 laser
- 1 lentille
- 1 miroir réfléchissant
- 1 film ou plaque holographique
- 1 objet
- 1 obturateur



(fig.14)

* **N.B** : À retenir concernant cette technique : l'utilisation de miroirs n'est indispensable que si la table holographique est de petite taille. Cela permet de dévier le laser de sa trajectoire autant de fois que nécessaire pour arriver sur la plaque et l'objet.

Le principe de création d'un hologramme par réflexion

Le film (ou la plaque holographique) est fixé(e) sur un support stable, de façon à ce que l'émulsion se trouve face à l'objet à holographier. La lentille doit être bien réglée afin de permettre aux faisceaux de se propager uniformément sur toute la surface de l'objet.

Tout comme pour le dispositif de transmission, les vibrations sont très néfastes. Il est donc recommandé, avant de déclencher l'obturateur pour laisser passer le laser, d'attendre quelques minutes. Dans ce cas également, selon la puissance du laser, lors de l'enregistrement le temps d'exposition peut varier entre 4 et 30 secondes. Ainsi, il est nécessaire de faire des tests sur plusieurs secondes afin de déterminer la durée la plus appropriée.

L'enregistrement peut commencer. L'obturateur est déclenché. La lumière arrive sur la plaque holographique par une voie. Cette fois, en s'échappant du laser, le rayon (R1) rencontre un miroir réfléchissant qui le fait dévier jusqu'à un diffuseur. Il est alors réfléchi directement sur la plaque holographique. L'objet se trouve derrière la plaque, à l'opposé de la source du rayon laser, réfléchissant ainsi une partie du faisceau de référence sur la face opposée de la plaque. Une fois l'enregistrement terminé, l'obturateur doit être ré-enclenché afin d'empêcher le rayon du laser de passer.

Le film est soumis à un traitement chimique (comme pour le développement des photos). Les gants sont nécessaires pour cette étape.

1. 2 minutes dans le développeur jusqu'au moment où il noircit
2. 45 secondes de rinçage dans l'eau
3. 30 secondes dans le bain d'arrêt
4. 45 secondes de rinçage à nouveau
5. 2 minutes ou moins dans le blanchiment jusqu'au moment où il devient transparent
6. 30 secondes dans du photo-flo pour enlever les cernes d'eau sur le film
7. Bien faire sécher

Après le séchage complet, le film est éclairé (à l'opposé de l'émulsion), à l'aide d'un spot halogène ou d'une torche, avec le même angle de lumière que lors de l'enregistrement. L'image virtuelle, en volume de lumière, apparaît.

4.7.3. LITIHOLO

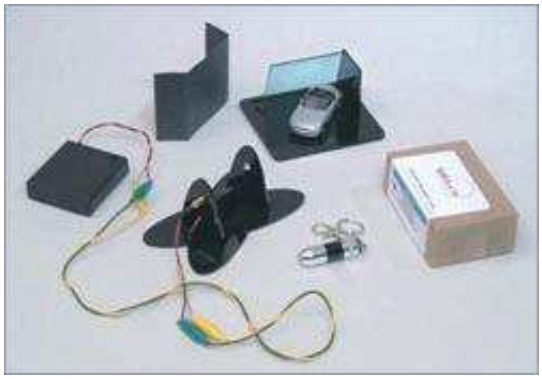
Litiholo, une filiale de la société américaine Liti Holographics, a mis au point une nouvelle gamme de plaques holographiques photosensibles [21]. Ce « film instantané » n'exige pas de développement chimique pour restituer un hologramme.

Adaptable aux deux techniques, l'hologramme peut être restitué aussitôt après l'enregistrement. Par contre cela demande un temps d'exposition plus long (environ 10 à15 minutes) !

Grâce à son kit prêt à l'emploi, Litiholo procure aussi facilité et rapidité pour concevoir un dispositif et créer un hologramme.

Le kit contient :

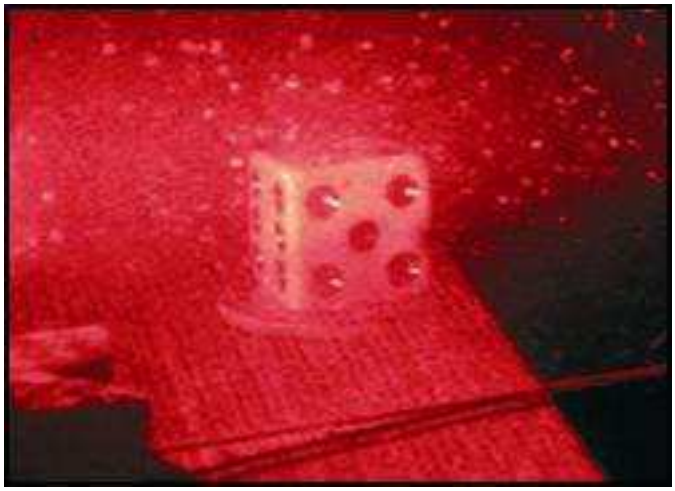
- 1 Laser diode ;
- 20 plaques holographiques « instantanées » ;
- 1 dispositif en pièces détachées à monter soi-même ;
- 1 lentille ;
- 1 lumière pour voir dans le noir sans exposer les plaques ;
- 1 alimentation et des batteries pour le laser ;
- 1 objet ;
- Un guide d'instruction.



Intrigué par l'efficacité de cette nouvelle plaque et de ce dispositif, j'ai donc commandé le kit holographique par Internet pour le tester.

Le montage du dispositif m'a demandé du temps. Pour le rendre plus facile à transporter, j'ai collé les pièces sur une plaque de verre et fabriqué des petits cubes en silicone : placés sous le verre, ils faisaient office d'amortisseurs pour réduire les vibrations.

Le rayon doit être bien calibré vers la lentille pour qu'il soit diffusé vers l'objet et la plaque. On peut alors obtenir un résultat tel que le montre la photo ci-dessous :



© LITIHOLO - www.litiholo.com

4.7.4. LES PARAMÈTRES À RESPECTER OBLIGATOIREMENT !

Si vous décidez de vous lancer dans l'holographie « optique », il faut savoir qu'il y a aussi beaucoup de paramètres à respecter absolument pour réussir un hologramme. Voici les différents points :

> La Lumière

Il faut une pièce que l'on puisse rendre complètement obscure, car le film holographique est sensible à la lumière. Il est donc très important de travailler dans une pièce où la luminosité est nulle. Une lumière verte peut néanmoins être utilisée, car la plaque possède un côté gélatineux, une émulsion réceptive à la lumière rouge. Le côté où se trouve l'émulsion est légèrement collant.

> Les vibrations

Tout mouvement de quelques millionièmes de millimètre provoque des vibrations. Bien que la table anti-vibration ait pour fonction de les absorber, elle ne peut être totalement efficace. À moins d'avoir une pièce insonorisée adaptée à l'holographie, quelques précautions peuvent être prises pour éviter les vibrations.

> Le choix de l'objet

Un objet inadapté peut fausser le résultat. Optez pour un objet solide, de taille appropriée pour le film, peu profond et réfléchissant bien le rayon laser. Pour vérifier ce dernier point, éclairez l'objet avec le laser dans l'obscurité. La luminosité émanant de l'objet sera identique à ce que vous obtiendrez sur un hologramme. La porcelaine, le plâtre, un métal pas trop réfléchissant, les objets en plastique et la pâte de papier bien peinte sont des matériaux réceptifs. Pour les couleurs, le blanc et le rouge sont très sensibles à la lumière.

> Propreté des éléments optiques

Il est important de maintenir les éléments optiques très propres. Manipulez-les avec précaution. Égratignures, traces de doigts et poussières peuvent rendre inutilisables les lentilles ou miroirs. Ces éléments sont fragiles : surtout ne les lavez pas. Recouvrez-les pour éviter que la poussière ne s'y dépose. Vous pouvez utiliser une bombe dépoussiérante.

> Les consignes de sécurité du laser et des produits

Le laser présente un danger si le rayon ou une réflexion directe du rayon pénètre directement dans l'œil. N'alimentez pas le tube tant qu'il n'est pas solidement fixé sur la table. Faites aussi attention lorsque vous installez un miroir dans le chemin du rayon. Utilisez des lunettes de protection. Munissez-vous aussi de gants et d'un masque, car vous allez manipuler des produits généralement toxiques.

5/ L'HOLOGRAPHIE : UN RÊVE COÛTEUX

5.1. UN RÊVE COÛTEUX

Fascinante et intrigante, l'holographie n'en reste pas moins un rêve coûteux. De plus, un grand fossé existe entre la théorie et la pratique, car il existe de nombreuses contraintes.

En effet, si le principe de fabrication reste en lui-même relativement simple, nombreux sont les inconvénients. Comme nous venons de le voir dans la section des paramètres à respecter, l'image de l'objet doit être enregistrée en chambre noire, l'objet doit être parfaitement immobile, la lumière laser utilisée dans ce procédé peut être dangereuse pour l'œil. Le mécanisme de reconstitution reste peu efficace et une quantité importante d'informations redondantes est enregistrée. De plus, afin d'éviter toute vibration, l'enregistrement doit se faire à distance (dans une autre pièce que le montage holographique). À ces aléas techniques s'ajoute le coût très élevé des matériaux utilisés dans ce processus.

Le coût élevé demeure la principale préoccupation, même si bien souvent, dans la fabrication des hologrammes, on essaie de le minimiser. Comme nous le voyons à travers les nombreux inconvénients techniques, la lenteur de la progression de l'holographie est due essentiellement à son coût très élevé. Mais tout est relatif : ce qui paraît lent, ce sont les 60 années d'existence de l'holographie comparées au caractère très récent de la

technologie numérique 3D en pleine expansion. Cela ne veut pas dire que l'holographie n'évolue pas. Il suffit de constater les découvertes faites ces dernières années.

Si l'holographie est longtemps restée une curiosité de laboratoire, elle entre à présent dans la vie courante tout en conservant son anonymat et son mystère.

En effet, très peu de gens s'intéressent à la découverte du Dr Gabor ! Parmi ces personnes, on trouve des passionnés, des curieux, des amateurs de nouvelles techniques, mais surtout de gros industriels comme Renault, EDF, Thomson, SNECMA, etc. sans oublier l'armée. Chacun d'eux a su trouver à l'holographie des applications pratiques dans des domaines très spécifiques :

- **L'INTERFÉROMÉTRIE HOLOGRAPHIQUE**

  L'interférométrie holographique permet de mesurer et déceler des défauts de structures ou d'endurance [22]. Les défauts majeurs rencontrés dans la création d'un « hologramme image » se révèlent très intéressants pour les applications industrielles. En effet, l'interférométrie holographique a vu le jour dans un laboratoire pendant l'enregistrement d'un hologramme. Des franges d'interférence parasites, sombres et claires, sont apparues sur l'image restituée. Elles étaient dues au déplacement trop important de l'objet à holographier ou de tout autre élément du montage. Ces franges parasites pouvaient être exploitées et donner de précieux renseignements. C'est ainsi qu'est née l'interférométrie holographique.

  Tout ce qui se déforme dans la nature, de la déformation d'un moteur en marche à un défaut de fabrication d'un pneu, peut être analysé par l'interférométrie. Nous constatons que l'interférométrie est en forte progression dans le domaine de l'holographie industrielle.

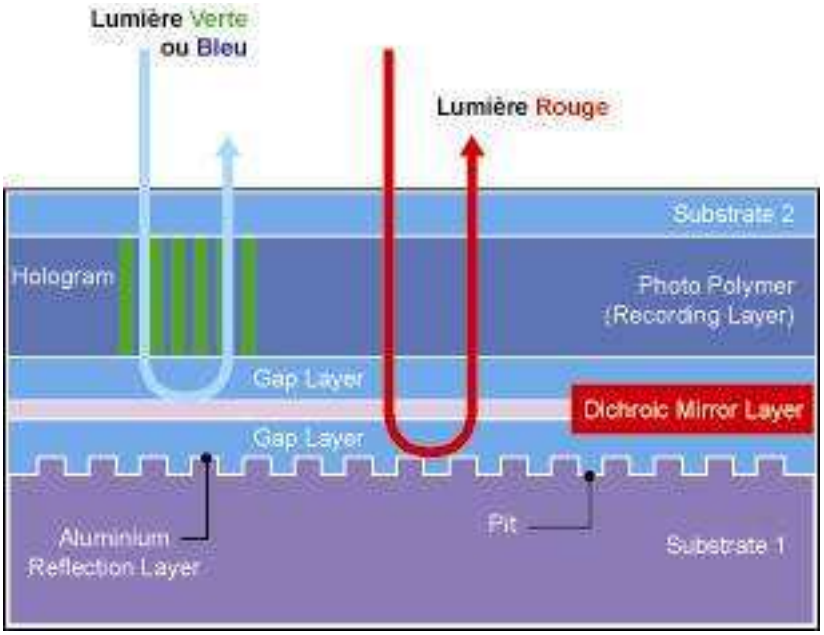
(fig.15)
Interférométrie classique : limitations

(fig.16)
© ONERA 1996-2006,
Interférométrie holographique à Mach 3

- **HOLOGRAPHIC VERSATILE DISC**

Grâce à la propriété de redondance (une partie de l'hologramme contient, non pas un fragment de l'image, mais la scène entière) l'holographie devient très utile pour le stockage d'informations comme le prouve Optware Corporation. En effet, cette société japonaise a mis au point le DVD holographique dit HVD (Holographic Versatile Disc) [23] d'une capacité de stockage d'un Téraoctet, soit 1024 Go avec une vitesse de transfert de données d'un Go par seconde (40 fois la vitesse d'un DVD). Sa sortie est prévue en 2006 pour les entreprises, tandis que le grand public devra attendre jusqu'en 2007.

Le système utilise deux rayons laser de couleurs différentes, émis sur le même axe et dans la même direction. Le premier, un rouge pour lire des servo-informations (informations de contrôle), et un bleu ou vert pour lire les données holographiques. Une couche semi-transparente permet de filtrer les deux rayons, ne laissant passer que le rouge et réfléchissant le second : cela permet à chacun de lire les données qui lui sont destinées (fig.18).



(fig.17)

- **LE VISEUR « TÊTE – HAUTE »**

Le système du viseur « tête-haute », déjà utilisé sur les avions de chasse (dans les casques des pilotes), est un système d'affichage comprenant un ou plusieurs miroirs holographiques (transparents à la lumière visible et réfléchissant une ou deux couleurs). Nous trouvons cette technologie, aujourd'hui, chez Citroën [24].

Un miroir de ce type est installé dans le pare-brise de la voiture (cf.fig.19). Cela permet ainsi d'ajouter à la vision de la route, vue à travers le pare-brise, des informations essentielles sur la vitesse ou la navigation, agrandies en monochrome. C'est une contribution active en termes de sécurité, car cela permet au conducteur de concentrer toute son attention sur la route.

(fig.18)
© Automobiles CITROËN

De ce fait, le 4 août 2005 Microsoft a déposé un brevet pour la voiture fantôme. Voici un article rédigé par Marc Rees [25] dans PC Inpact (l'origine de la source provient du New Scientist [25]) :

"*Microsoft vient de déposer un brevet pour une invention qui, dans un avenir lointain, pourra nous accompagner sur les routes, en voiture. Ce brevet porte le numéro de série 769555 et est officiellement daté du 4 août 2005.*

Il s'agit d'un « concept pour fournir des informations de navigation ». Plus précisément, c'est un système d'informations

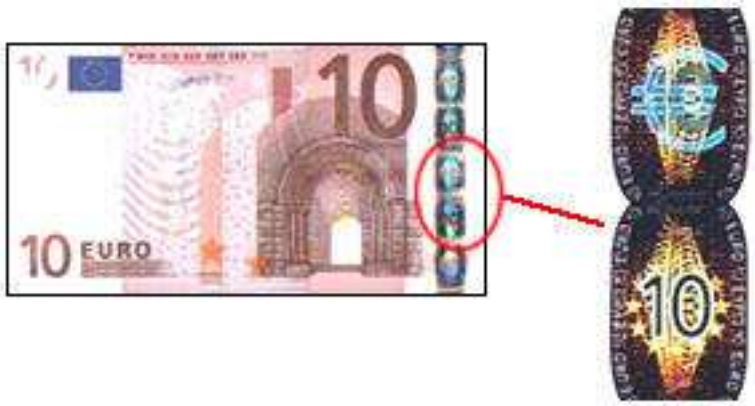
permettant de calculer des itinéraires départ/arrivée et d'afficher sur le pare-brise de l'automobiliste, une sorte d'image fantôme d'un véhicule factice. Ainsi, assisté d'une sorte de coéquipier, le conducteur réel n'a plus qu'à suivre ce véhicule virtuel pour parvenir, on l'espère, à bon port. Une forme de convoi à deux véhicules en somme.

L'intérêt est que le conducteur n'a plus à suivre ses pérégrinations sur une carte affichée sur un écran ou écouter les instructions depuis son système de navigation classique. Ces systèmes pourraient devenir rapidement obsolètes si l'invention de Microsoft passe la porte de la réalité.

Évidemment, il est également prévu de fournir des informations sur les données de trafic routier, accompagnées des données venant d'un système GPS d'assistance concernant les évènements extérieurs. Le véhicule fantôme serait en quelque sorte chargé de tester la route. Vous pourriez le suivre, quelles que soient les conditions climatiques. À l'aide d'un système informatique embarqué, la taille et la forme cartoonesque du véhicule peuvent changer d'apparence en fonction de ces conditions. Cela évite aussi de confondre la voiture « made in Redmond » avec les vrais moyens de transport."

- **LA PROTECTION**

L'application la plus répandue, mais tout aussi méconnue, reste sans doute l'holographie image, utilisée sur les cartes bancaires et les billets de banque. Le but est de les rendre, en principe, infalsifiables.



L'holographie a un potentiel énorme. Il n'est pas exclu que d'autres applications tout aussi surprenantes apparaissent à l'avenir.

Nous constatons que ces technologies ne sont pas démocratisées. En effet, les industriels disposant à la fois d'importantes équipes de recherche et de gros budgets ont la possibilité de faire connaître l'holographie. Mais nous pouvons penser qu'ils gardent jalousement leurs secrets !

Nous ne sommes pas au courant des applications quotidiennes que peut avoir l'holographie. C'est pourquoi bon nombre de personnes méconnaissent cette technique : même le mot « hologramme » leur est étranger. Ce manque d'intérêt provient davantage d'une méconnaissance que d'une réelle volonté de rejet (il n'est qu'à constater l'émerveillement des enfants comme des adultes lors d'exposition d'hologrammes).

Nous pouvons penser que si l’holographie était démocratisée comme la 3D, le public s’intéresserait davantage à ce phénomène qui émoustillerait leur curiosité. Les fabricants et fournisseurs d’équipements devraient alors répondre à une demande. Nous verrions dans ce cas s’opérer la loi de l’offre et de la demande, qui provoquerait la chute du coût de fabrication d’hologrammes : les industriels auraient alors à relever un défi budgétaire.

Je parle d’un rêve coûteux. En effet, cette étude m’a permis d’évaluer quels pourraient être, pour un artiste qui s’initierait à cette technique, les coûts moyens en termes de temps, d’argent et d’énergie. Il est ensuite possible de calculer ces coûts pour des opérations réalisées à une plus grande échelle, notamment par des industriels.

Ce que j’avance vient bien entendu de ma propre expérience à ce sujet. Il serait intéressant d’avoir plusieurs points de vue sur la question du coût ! J’ai donc rencontré des professionnels de l’image afin d’évoquer l’avenir de l’holographie dans un environnement autre que celui de l’industrie et de faire un état des lieux entre la technologie 3D et l’holographie.

Cependant, ne perdons pas de vue les contraintes techniques qui empêchent le plein essor de l’holographie. Souvenons-nous de l’image de synthèse, qui, elle aussi, méconnue à ses débuts, connaît aujourd’hui une ascension toujours croissante.

5.2. LES INTERVIEWS :
UN ÉTAT DES LIEUX ENTRE L'HOLOGRAPHIE ET LA TECHNOLOGIE 3D

J’ai tenu à rencontrer plusieurs personnes approchant de près ou de loin l’holographie. Évoluant dans la 3D, il m’apparaît important de faire un état des lieux entre ces deux techniques et d’avoir l’opinion de professionnels du monde de l’image. Aussi leur ai-je soumis le questionnaire reproduit ci-après.

QUESTIONS

1. Quelle est l'activité principale de votre société ?

2. Le mot « hologramme » évoque-t-il quelque chose pour vous ?

3. La technologie 3D a réussi à s'immiscer dans notre quotidien.
Comment expliquez-vous ce phénomène alors que l'holographie est apparue beaucoup plus tôt ?

4. L'holographie ou la simulation holographique (comme des scènes dans le film *Star-Wars*) peut-elle être un atout dans vos projets ? Apportera-t-elle un plus dans vos campagnes publicitaires ?

5. Comment voyez-vous l'avenir de la 3D (l'imagerie et l'animation) et celle de l'holographie ?

6. Avez-vous déjà mené des projets comprenant des hologrammes ?

7. L'industrie de la 3D connaît depuis peu un succès bien mérité. Les films d'animation sont de plus en plus prisés et ont gagné un très large public de tous les âges. L'opinion publique a donc changé. Comment expliquer cet intérêt croissant ?

8. Pensez-vous que l'opinion publique sur l'holographie évoluera dans le futur ? Pensez-vous que l'holographie aura le même parcours que la 3D et sera connue du grand public ?

9. L'holographie peut-elle prétendre, en dehors du cinéma, à devenir en elle-même une forme d'expression artistique ?

LES INTERVENANTS

ALDO TEXIER <

FRANCOIS REZENTHEL <

ANNE-LAURE G.MORLAND <

EMMANUEL PIERRAT <

ERWANN BAUDET <

JACQUEMIN PIEL <

ALDO TEXIER

UG Boulogne
OKTAL
8, rue de la Ferme
92100 Boulogne – France
« Pôle de Simulation et Réalité virtuelle du groupe SOGECLAIR »

L'activité principale de OKTAL [26] est la simulation et la réalité virtuelle, immergeant l'homme dans un environnement virtuel.

L'expérience acquise depuis 1989 a permis à cette entreprise d'élaborer une gamme complète de produits performants et pérennes. Les trois types de simulateurs sur lesquels elle travaille sont des :

- simulateurs d'étude ;
- simulateurs de formation ;
- simulateurs de communication.

Les marchés principaux sont :

- l'automobile ;
- le ferroviaire ;
- la défense ;
- le trafic aérien ;
- l'aménagement du territoire.

Grâce à sa maîtrise technologique et à la pluridisciplinarité de ses équipes, OKTAL propose également des solutions spécifiques innovantes :
- maîtrise d'œuvre et intégration de systèmes complets ou d'applications en simulation et réalité virtuelle ;
- prestations de service spécialisées en ingénierie de formation.

Cette offre est assortie d'un support technique efficace et durable sur tous les produits et systèmes d'OKTAL en France et à l'échelle internationale.

© http://www.oktal.fr

5.2.1. INTERVIEW D'ALDO TEXIER

> Pour moi le mot « Hologramme » évoque une image 3D fixe, nécessitant des moyens de fabrication et de rendu assez coûteux par l'utilisation de laser.

L'holographie ne dispose pas de solution accessible et simple, la technologie n'est pas prête contrairement à la technologie 3D. Cette dernière s'est démocratisée principalement au travers des jeux, grâce à la croissance des équipements en ordinateur et aux cartes graphiques 3D toujours plus puissantes.

Je ne connais pas de réel système holographique capable de produire des animations vidéo. Ceux qui existent sont basés sur des empilements de matrices LCD (DepthCube Z1024, Neurok Optics), et non pas sur la restitution des interférences. Un projet d'hologramme animé par interférence existe avec la société Holographic Imaging LCC. Toutes ces technologies sont trop chères pour être démocratisables.

> L'holographie peut être un atout dans nos projets à condition d'être compétitive avec la technologie 3D actuelle. Par exemple, la stéréoscopie 3D actuelle a des limitations que l'holographie peut sans doute dépasser :
- rendu correct pour un seul point de vue ;
- pas de prise en compte de l'accommodation de l'œil.

Nous avions participé à une exposition « Paris 3D » au musée Carnavalet à Paris en organisant une projection stéréoscopique interactive. Des hologrammes y étaient aussi présentés.

> L'avenir de l'holographie et de la 3D ? Les technologies holographiques actuelles semblent très gourmandes en ressources et il faudra sûrement attendre plus de dix ans avant de pouvoir les utiliser. En attendant, la 3D va continuer à se démocratiser au travers du jeu pour le grand public et au travers des simulateurs pour les industriels. Il semble probable que le prochain Windows aura une interface graphique 3D.

La 3D a permis de réduire les budgets des films d'animation d'où le succès, aujourd'hui, de cette industrie. Je pense que l'holographie peut aussi connaître ce succès à condition d'avoir une technologie démocratisable. Cependant, elle ne pourra prétendre à devenir une forme d'expression artistique. L'holographie empruntera les mêmes formes d'expression que la 3D cantonnée au cinéma et à la télévision.

ALDO TEXIER

FRANCOIS REZENTHEL

Animateur holographie
Association Jeunes-Science Nord
62 rue du 110e R.I.
59140 Dunkerque

Association Jeunes-Science Nord

Depuis plus de quarante ans, l'association à but non lucratif, « Jeunes-Science Nord » [27] a pour vocation de rapprocher les jeunes du monde des sciences et des techniques, et ce, dans un cadre extra-scolaire ou professionnel.

Celle-ci participe à la promotion des sciences, grâce à l'expérimentation. Nous proposons des activités dans les domaines suivants :

- astronomie ;
- biologie ;
- électronique ;
- robotique ;
- informatique ;
- photographie ;
- holographie.

Leur domaine d'activité peut donc être résumé par la diffusion de la culture scientifique. L'atelier holographie est tout récent au sein de l'association. En moins d'un an, ils ont réalisé leurs premiers hologrammes de type Denisyuk.

Le nombre des membres ne cesse de croître. Ils sont actuellement huit passionnés d'holographie à vouloir progresser dans ce domaine.

© http://www.jeunes-science.org

5.2.2. INTERVIEW DE FRANCOIS REZENTHEL

> Il y a quelques années, nous avons décidé de monter une activité d'holographie au sein de notre club. Le démarrage s'est fait avec un passionné de physique et de laser, ainsi qu'un photographe. La combinaison de ces compétences nous a permis de réaliser nos premiers hologrammes moins d'un an après le lancement de l'activité. Nous continuons actuellement à expérimenter dans le domaine de l'holographie, avec par exemple des hologrammes comportant plusieurs couleurs, ou des expositions multiples permettant différents effets optiques. Nous organisons occasionnellement des expositions d'hologrammes, afin de faire découvrir au grand public cet « art technologique » trop peu connu.

> L'holographie est relativement lourde à mettre en œuvre : elle nécessite des connaissances, ainsi que des moyens techniques importants. De plus, la production d'hologrammes en série n'est pas extrêmement aisée financièrement, ce qui rend sa diffusion limitée à un petit nombre d'entreprises. Peut-être qu'une holographie numérique autorisera le franchissement des barrières physiques actuellement très contraignantes pour l'holographie « traditionnelle ».

Avec les images 3D numériques, il est assez facile de construire des scènes animées, de changer les couleurs ou d'organiser les interactions entre les objets virtuels, ce qui rend ce type d'image plus abordable, et plus attractif. L'imagerie 3D autorise l'expression d'une créativité en phase avec le monde réel, lui aussi en trois dimensions (voire plus si nous incluons le temps). Cela assure un grand réalisme aux scènes, ainsi que des interactions virtuelles, par exemple dans les jeux vidéo.

Il est difficile de prédire les évolutions technologiques, mais on peut penser que ces deux domaines vont continuer à se développer et à faire l'objet d'innovations. On commence déjà à voir apparaître les premières mémoires informatiques sur support holographique. Celles-ci ont l'avantage d'utiliser le volume du support de stockage pour mémoriser l'information, contrairement aux disques durs qui se limitent à un stockage superficiel.

> Je vois l'holographie comme un moyen original de présenter la science. En effet, la vue d'un hologramme surprend et intrigue par l'effet de relief et ses couleurs, ce qui nous offre l'opportunité d'aborder les sciences (et les phénomènes physiques à l'origine des hologrammes) d'une manière attractive.

En ce qui concerne le monde artistique, je pense que mettre l'holographie sur le même plan que le cinéma est encore trop ambitieux dans l'état actuel de la technique. En effet, même s'il est possible de réaliser des hologrammes animés, ceux-ci ne possèdent pas encore les caractéristiques d'un film. Bien que des procédés de restitution spatiale de l'ambiance sonore existent (comme les procédés « Surround »), il faudrait également disposer de moyens de projection 3D à grande échelle pour toucher un large public.

FRANCOIS REZENTHEL

ANNE-LAURE GEORGES MORLAND

Animateur 3D
Def 2 Shoot
24 / 26 rue Notre Dames des Victoires
13 rue du Mail
75002 Paris
www.def2shoot.com

Def2shoot [28] est une société de post-production numérique créée en 2002.

En moins de trois ans, Def2shoot est devenue une référence en matière d'effets spéciaux en France. Elle réalise des effets spéciaux pour des films publicitaires ou cinématographiques, des séries audiovisuelles, des clips musicaux.

Elle traite aussi bien l'incrustation d'effets spéciaux dans la prise de vue réelle que la fabrication de films entièrement conçus par ordinateur.

L'équipe de Def2shoot est constituée de 40 personnes environ. Ils ont collaboré sur bon nombre de projets tels que « Monsieur N », « Les 11 commandements », « Charlie's Angel 2», des spots publicitaires de Sony Ericsson, de BMW, d'Alice Telecom ainsi que des clips vidéo de Pascal Obispo, Shania Twain, Passi, etc.

Les projets les plus récents sont « Empire of the wolves » de Chris Nahon, « Les Poupées russes » de Cédric Klapisch et « Un ticket pour l'espace » de Eric Lartigau.

© http://www.def2shoot.com

5.2.3. INTERVIEW D'ANNE-LAURE GEORGES MORLAND

> Tout d'abord, je pense qu'il faut plutôt parler de « technologie numérique » au lieu de « technologie 3D », car la 3D n'est pas vraiment à considérer comme une technologie, mais comme l'un des résultats de la technologie numérique.

L'image de synthèse est apparue avec l'ordinateur et c'est l'ordinateur qui s'est immiscé dans notre quotidien, grâce à sa faculté de calcul et de mémoire, il répondait à de nombreux besoins. Avec la propagation de l'ordinateur dans tous les domaines, l'image de synthèse n'a eu ensuite aucun mal à se propager elle aussi, puisque reliée à ce seul support qu'est l'ordinateur. L'holographie, quant à elle, est une technologie liée à l'ordinateur, mais une technologie propre, c'est-à-dire dépendante d'un autre type de support (laser/miroir...) bref, c'est une autre machine (comme le micro-onde ou l'aspirateur).

La technologie numérique a atteint immédiatement le domaine de la communication, c'est là où le boom technologique a été le plus violent avec l'apparition d'Internet - mais aussi de la téléphonie mobile, etc. Or, je pense que la communication doit être aussi l'un des domaines de prédilection de l'holographie. Dans son développement massif, la technologie numérique a évincé la technologie holographique. Cette dernière évoluera si elle se fait connaître. Car aujourd'hui je crois qu'elle est aussi méconnue que l'image de synthèse à ses débuts. Il faudrait par exemple que les téléphones portables acquièrent cette technologie. Ainsi, elle viendrait au grand public, l'argent viendrait à cette technologie, et la technologie holographique se développerait pour, par exemple, s'immiscer dans le domaine du spectacle et du « film d'animation holographique ».

> Dans ma société, les projets aboutissent à des images qui, au final, (sur le support) sont bidimensionnelles (écran de télévision/écran de cinéma). L'holographie n'a donc actuellement aucun intérêt pour une société de post-production. Il faut d'abord que les clients (les publicitaires) s'intéressent à cette technologie et la réclament. Cela aboutira peut-être à notre niveau, à développer un département holographie. Ou bien à la mise en place de sociétés spécialisées dans ce domaine.

Il me semble que la stéréoscopie se développe beaucoup, j'imagine donc bien que la 3D va évoluer vers la stéréoscopie. Quant à l'holographie, elle peut évoluer en parallèle (car c'est un autre type de support) mais je crois qu'il faut qu'elle trouve, malheureusement, un marché, pour la porter à maturité : soit le domaine de la communication – qui me semble plus intéressant – soit le domaine du spectacle.

Au regard de l'évolution de l'art, il y a eu d'abord le support papier, puis le support chimique (photo, film) puis le support numérique (d'actualité). L'holographie, c'est un nouveau support (à définir). Si l'holographie s'immisce dans le domaine de l'art, elle sera beaucoup plus proche du théâtre que du cinéma, car ce sera un spectacle « vivant, réel » mais pouvant intégrer des

éléments imaginaires que le théâtre ne permet pas actuellement (alors que le cinéma le permet).

> De mon point de vue, l'opinion publique a changé grâce à Pixar. Ils ont su lancer intelligemment l'image de synthèse au grand public. Il ne faut pas oublier que le succès d'un film est en premier lieu lié à son histoire. Pixar a su combiner originalité et humour, mais je ne pense pas que la technologie soit pour quelque chose dans la réussite de leurs premiers films (ils auraient très bien pu être faits en 2D). L'image de synthèse est maintenant associée à ces références-là (Monsters, Nemo...) et donc bien accueillie par le public. Cependant, si on s'intéresse à l'image de synthèse en tant que nouveauté graphique, le public a été pendant longtemps bien réticent. Seules des communautés graphiques s'intéressaient à l'art numérique (demomakers, collectifs, festivals...). Et aujourd'hui cela évolue beaucoup plus lentement que le phénomène « film d'animation classique » de Pixar.

ANNE-LAURE GEORGES MORLAND

EMMANUEL PIERRAT

Avocat - Editeur – Ecrivain
Cabinet Pierrat - Edition Flammarion
91 boulevard Raspail
75006 Paris

Cabinet
PIERRAT
Avocats à la Cour

Le Cabinet Pierrat [29], avocats à la Cour, est dirigé par Sophie Viaris et Emmanuel Pierrat. Il se compose de neuf avocats et d'un juriste.

Il exerce une activité de conseil (rédaction de contrats, consultation juridique, négociations) et de contentieux devant les juridictions pénales, civiles, commerciales et prud'homales. Le Cabinet Pierrat est largement orienté vers le droit de la culture et de la communication :

- propriété littéraire et artistique ;
- droit des marques ;
- nouvelles technologies de l'information et de la communication ;
- droit de la presse ;
- vie privée ;
- droit à l'image ;
- droit des entreprises culturelles (Convention collectives des journalistes, Code de l'industrie cinématographique).

La clientèle du cabinet est composée de nombreux professionnels de la culture et de la communication : écrivains, compositeurs, artistes, mannequins, architectes, photographes, illustrateurs, graphistes, réalisateurs, éditeurs de livres, journaux, chaînes de télévision, concepteurs et éditeurs de sites sur Internet, agences de photos, publicitaires, galeries, musées, services juridiques d'entreprises de communication...

© http://www.cabinet-pierrat.com

5.2.4. INTERVIEW D'EMMANUEL PIERRAT

> L'holographie évoque chez moi une étymologie trompeuse au regard de ses développements. Elle restera relativement confidentielle tout en devenant beaucoup plus spectaculaire.

> Je trouve, pour ma part, que les moyens de diffusion des hologrammes, les lieux de visualisation, se sont multipliés récemment. On peut les voir dans des musées grand public, expositions, publicitaires, jeux vidéos, etc.…

> L'holographie peut être un atout dans nos projets si vraiment le coût est ajusté aux budgets et à l'économie de la culture et de la communication. De la même manière qu'elle peut devenir une forme d'expression artistique en elle-même si, encore une fois, les budgets de réalisation s'adaptent.

Dans le passé, on a voulu tenter une expérience holographique dans un de nos projets mais hélas avorté en raison d'une étude de coûts !

> Pour répondre à la question du succès de l'industrie 3D je pense que c'est grâce à l'interpénétration qui augmente de jour en jour entre la fiction et le réel comme on le voit dans la télé-réalité, l'auto fiction, le docudrame, etc..

EMMANUEL PIERRAT

ERWANN BAUDET

Artiste 3D & Développeur
Freelance

Artiste 3D de talent, Erwann Baudet a participé à de nombreux longs métrages et projets publicitaires [30].

Son objectif est de pouvoir mettre en pratique sa créativité et son expérience dans diverses sociétés leader sur le marché des effets spéciaux.

© http://www.erwann.net

5.2.5. INTERVIEW D'ERWANN BAUDET

> Le mot « hologramme » évoque pour moi une technique de projection 3D via des lasers.

> L'holographie a de gros potentiels, cependant je pense qu'elle nécessite plus de moyens qu'un simple matraquage.

L'holographie peut-être un atout pour l'industrie de la 3D. Cela permettrait de visualiser les scènes 3D en véritable volume, ce qui nous simplifierait beaucoup de tâches. Ce serait plus attrayant qu'un simple écran d'ordinateur, qui n'affiche au final qu'une image 2D. Un atout aussi pour le spectacle vivant comme le théâtre, car il serait possible de créer de toutes pièces des théâtres holographiques.

> La technologie 3D est affiliée à une communication nettement plus accrue. Tous les jours nous pouvons voir de la 3D en allumant notre télé, voire même dans la rue et de plus en plus de films d'animation voient le jour sur le grand écran. Comment expliquer cet intérêt croissant ? Je ne pense pas qu'il y ait un intérêt particulier. Prenons l'exemple des films d'animation. Il reste compréhensible qu'un film en 3D peut être créé en moins de deux ans, ce qui est inconcevable pour un film d'animation traditionnel. Tout comme n'importe quel marché, il y a l'offre et la demande. Le public restera toujours intéressé par les films style « cartoon ». Du coup certaines sociétés ont développé un moyen de subvenir à ce marché florissant.

ERWANN BAUDET

JACQUEMIN PIEL

Directeur Artistique
Département effets spéciaux numériques
Duran
35 rue Gabriel Peri
92130 Issy Les Moulineaux

Depuis la création de la première entité du Groupe en 1983, par Pascal Hérold et deux associés, la société Duran [31] a toujours mené une politique de développement stratégique fondée sur l'innovation.

Dès sa création la société Duran développe une offre de services techniques dédiée à la Télévision et elle est la première sur le marché à retravailler l'image avec des moyens sophistiqués. Ainsi, alors que l'offre initiale est destinée à de simples productions télévisuelles, le Groupe anticipe l'évolution du marché et il étend ses prestations à d'autres types de supports nécessitant davantage de retraitements techniques, comme la publicité, les clips musicaux, les téléfilms, les émissions TV et les habillages de chaînes.

En 1991, avec de nouveaux associés, les fondateurs de la société décident d'utiliser vers le marché du cinéma les connaissances acquises dans le domaine de la télévision et créent Duboi. Spécialisée dans les effets spéciaux numériques pour le Cinéma, Duboi est devenue, en dix ans, le leader incontesté sur ce marché.

Le développement de Duran Duboi s'affirme désormais à travers le pôle cinéma d'animation 3D dont le film « La femme piège » d'Enki Bilal représente le plus gros contrat jamais signé par le Groupe.

© http://www.duran-duboi.com

5.2.6. INTERVIEW DE JACQUEMIN PIEL

> Un hologramme c'est le fait de pouvoir voir une image en relief avec des couleurs le plus souvent irisées ou nacrées.

Dans le cinéma nous utilisons à tort ce mot puisqu'il signifie pour nous une représentation, une perception ou une simulation holographique. C'est surtout un effet visuel faisant penser à un hologramme. Chez Duran on fait de la simulation VFX.

> La technologie 3D a réussi à s'immiscer dans notre quotidien de par sa simplicité d'approche. Prenons un logiciel 3D par exemple, on arrive à modéliser avec aisance dans un espace 3D avec une souris.

La 3d est juste au démarrage. Les industries du jeu sont plus importantes que celles du cinéma aujourd'hui. Nous travaillons, chez Duran, avec un rendu temps réel dans une qualité broadcast pour faire une série 26 x 26, technique issue du jeu, appliquée aujourd'hui à la production TV et demain au cinéma.

> Cet intérêt croissant pour les films d'animation offre à l'industrie de la 3D un vrai marché économique et surtout plus de liberté en termes de créativité. Il est aujourd'hui impossible de faire des effets spéciaux dans un film sans utiliser la technologie 3D.

JACQUEMIN PIEL

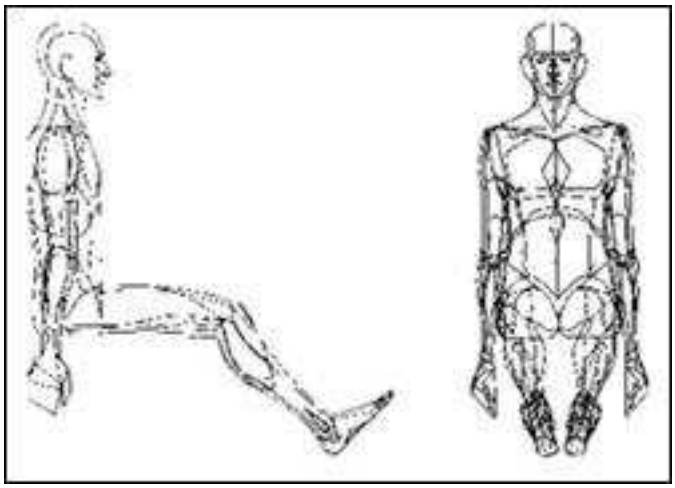
Je remercie ces personnes d'avoir pris le temps de répondre à mes questions. Bien entendu les opinions divergent sur certaines questions. Cependant tout le monde est d'accord pour dire que le principal facteur qui empêche le plein essor de l'holographie est l'aspect financier !

Étant données les contraintes techniques, l'holographie devra attendre longtemps avant de conquérir le grand public. Pendant ce temps, l'écart entre l'holographie et la 3D se creuse et cette dernière va continuer à se démocratiser à travers des jeux vidéo, la publicité, le cinéma, etc. La technologie numérique 3D a aussi connu des moments sombres à ses débuts ; cependant, je constate qu'à l'instar de l'holographie, la 3D a tout intérêt à être connue et démocratisée, car comme l'a mentionné M. Jacquemin Piel « il y a un vrai marché économique ».

Aujourd'hui, la conception d'images de synthèse est à notre portée grâce aux nombreux logiciels 3D présents sur le marché. Le public s'y intéresse, car le produit est connu – on peut voir partout la technologie 3D.

Portons un bref regard sur l'histoire de cette industrie de la 3D.

En 1960, le concepteur William Fetter essayait de concevoir un nouveau processus afin d'accroître l'efficacité de la disposition de l'intérieur de l'habitacle des Boeing [32]. Le produit final fut une vue orthographique informatisée de la forme humaine (cf.fig.19). Le « Computer Graphics » est né et ce fut la révolution dans le monde de la publicité, du divertissement et des média. Évidemment, les toutes premières images en 3D étaient très rudimentaires et le chemin vers le réalisme était à faire.



(fig.19)
© William Fetter

La 3D connaît alors, dans les années soixante, sa première heure de gloire dans le cinéma [33]. Les grands studios commencent à s'y intéresser. Une soixantaine de films sont tournés, mais en raison des mauvaises conditions de visionnement dans la plupart des salles de cette époque, le cinéma 3D n'a pas survécu. Plusieurs tentatives suivirent d'échec puis en 1986, avec l'arrivée du format Imax 3D, elle trouva enfin un public et prit sa place. Avec l'avènement des technologies actuelles d'animation 3D et des caméras numériques, la 3D est en pleine expansion et respire à nouveau. En quelques années, elle a fait un bond extraordinaire pour arriver là où elle est aujourd'hui et ne plus disparaître.

La 3D a su conquérir le grand public par le grand réalisme qu'elle confère aux scènes et elle a su aussi conquérir les professionnels du métier, car ce fut un moyen de réduire les budgets face à une demande croissante.

Avant d'aborder mes recherches et mes expérimentations artistiques en image numérique, voyons les recherches et expérimentations d'autres professionnels de l'image évoluant dans le monde de l'holographie, notamment la *Simulation Holographique* – un effet visuel représentant un hologramme – et *l'Art Holographique* – une autre forme d'expression artistique.

6/ LA SIMULATION HOLOGRAPHIQUE

6.1. LES HOLOGRAMMES SIMULÉS PAR ORDINATEUR

Il existe plusieurs techniques de restitution d'images en trois dimensions. La stéréoscopie, l'auto stéréoscopie, l'anaglyphe, le stéréogramme, l'alioscopie…, mais la technique la plus fiable reste sans conteste l'holographie, qui permet une restitution tridimensionnelle d'une image tout en respectant l'accommodation oculaire.

Depuis quelques années, une nouvelle branche de l'holographie s'est développée : l'holographie numérique. L'holographie « optique » n'est plus en phase avec la technologie actuelle à grande vitesse. Ces contraintes sont de véritables obstacles. L'holographie « numérique » arrive comme une transition logique dans ce processus d'évolution. Elle permet aussi de réduire le coût et de gagner du temps.

Il existe plusieurs méthodes pour appliquer, numériquement, les principes de l'holographie. Chaque personne peut y apporter sa propre définition et, de mon point de vue, toutes les configurations numériques permettant de créer un hologramme par ordinateur se situent dans le cadre de la simulation : la simulation holographique. L'holographie « optique » sera toujours, pour les passionnés, la seule méthode véritable et authentique.

L’avenir, à présent, met en scène de nouveaux acteurs pour simuler des hologrammes, notamment :

- L’holographie numérique ;
- La simulation VFX ;
- L’heliodisplay ;
- Le CGH entre autres…

Les traditionnels soucis de vibrations, de développement chimique, composants optiques, etc. ne se posent plus. Seule la puissance d’un ordinateur sera un facteur déterminant pour obtenir de bons résultats.

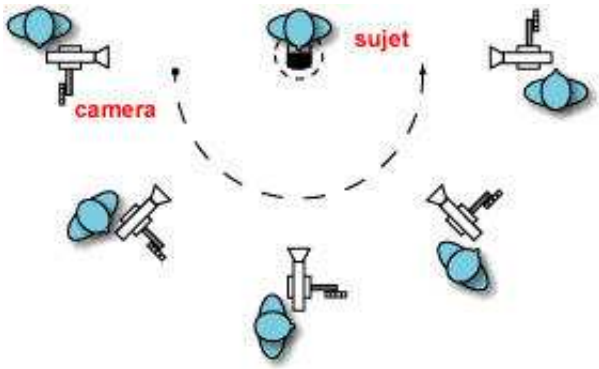
6.1.1. L'HOLOGRAPHIE NUMÉRIQUE

Hologramme multiplex ou stéréogramme holographique

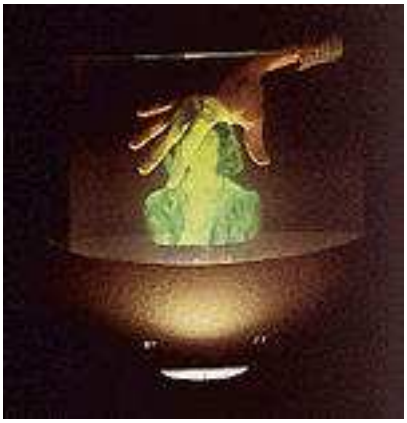
Il existe différents types de stéréogrammes. Les plus connus sont les stéréogrammes à 360° sur support cylindrique, que l'on appelle aussi hologramme multiplex ou intégral. L'holographie multiplex est une hybridation d'holographie et de photographie. Le procédé multiplex a été mis au point par le chercheur américain Lloyd Cross, en 1973 [34].

Ce type d'hologramme, comme le stéréogramme classique, a recours au procédé d'enregistrement d'une série continue d'images bidimensionnelles. La procédure d'enregistrement est la suivante :

Une scène est filmée en 35 mm, avec une rotation de la caméra ou de l'objet de 360° ou moins (cf.fig.20). 1 000 à 3 000 images sont fabriquées correspondant à des durées de scène de 40 secondes à 2 minutes. Chaque image 35 mm est éclairée au laser, projetée à travers une lentille cylindrique et enregistrée sous forme d'hologramme bande. Le produit final est un hologramme stéréographique de forme cylindrique qui peut être reconstruit par une lumière blanche (cf.fig.21). On a ainsi l'illusion d'un objet tridimensionnel contenu à l'intérieur d'un cylindre. Nos deux yeux ne verront pas la même image, mais deux images légèrement différentes que le cerveau interprétera comme un effet de profondeur et de volume [35].



(fig.20)



(fig.21)
© Musée de l'holographie - France

L'ordinateur permet de calculer exactement les écarts angulaires désirés entre chacune des images de l'animation et de faire très précisément le repérage de l'alignement des images ainsi que le calcul des variations de perspective. Le transfert de l'ordinateur à l'hologramme se fait :

- soit au moyen d'un enregistrement sur film (photo ou cinéma) de la séquence animée ;
- soit directement par la projection des images sur un écran à cristaux liquides, qui peut être illuminé par la lumière du laser et dont le système est commandé par l'ordinateur.

La première réalisation d'un stéréogramme d'images en trois dimensions créée sur un ordinateur a eu lieu aux États-Unis en 1970. Généralement, en transmission de type arc-en-ciel, l'hologramme est visible avec une ampoule de lumière blanche centrée en dessous d'un cylindre.

Inventés par l'équipe de Stephen Benton (1er décembre 1941 – 9 novembre 2003) du Massachusetts Institute of Technology (MIT), les hologrammes alcôves forment la toute dernière génération des hologrammes générés par ordinateur [36]. En France, une figure importante dans ce domaine est le professeur Henri Maître [37]. Professeur au Département TSI de l'ENST (École Nationale Supérieure des Télécommunications), il a consacré huit années au traitement optique de l'information par des techniques de filtrage cohérent, incohérent ou hybride et particulièrement en holographie numérique. Puis il s'est attelé au traitement numérique de l'image et à la reconnaissance des formes, domaine dans lequel il travaille toujours. Il est actuellement directeur du Laboratoire de Communication et Traitement de l'Information de l'Unité Mixte de Recherche du CNRS et du GET/Télécom Paris.

1996, Démonstration de S.Benton d'un hologramme généré par ordinateur.
© MIT Media Laboratory

La caméra CCD

Les systèmes optiques de mesure, sans contact, sont d'un intérêt certain pour l'holographie, car cela diminue, voire annule les risques de vibrations ou de poussières lors d'un enregistrement.

L'holographie sur support argentique a fait l'objet de nombreuses recherches et applications au cours des 35 dernières années. L'holographie avec un détecteur matriciel a été réalisée au début des années quatre-vingt-dix [35].

Les avancées technologiques liées aux capteurs d'images à couplage de charges sont en plein essor. En effet, grâce aux progrès dans le domaine du numérique, il est maintenant possible d'enregistrer un hologramme avec une caméra numérique (capteurs d'images).

Proposée pour la première fois en 1967 par J.W Goodman et R.W Laurence, l'expérience était partiellement analogique et numérique [1]. L'hologramme était enregistré, de manière traditionnelle, sur une plaque photographique et la reconstruction se faisait par ordinateur. Puis, en 1994, U. Schnars et W. Jüptner ont effectué l'enregistrement et la reconstruction d'un objet avec une caméra CCD et un dispositif holographique assisté par ordinateur.

La caméra CCD – Charge Coupled Device [38] – (capteurs ou récepteurs à transfert de charge) est une technologie utilisée en astronomie depuis la fin des années soixante-dix [39]. Elle dispose d'un détecteur très sensible à la lumière et peut être contrôlée par ordinateur. En effet, grâce à un microprocesseur interne, elle permet de télécharger les images en mémoire tout comme les appareils photos numériques actuels.

(fig.22) *Caméra CCD - modèle TM-6CN*

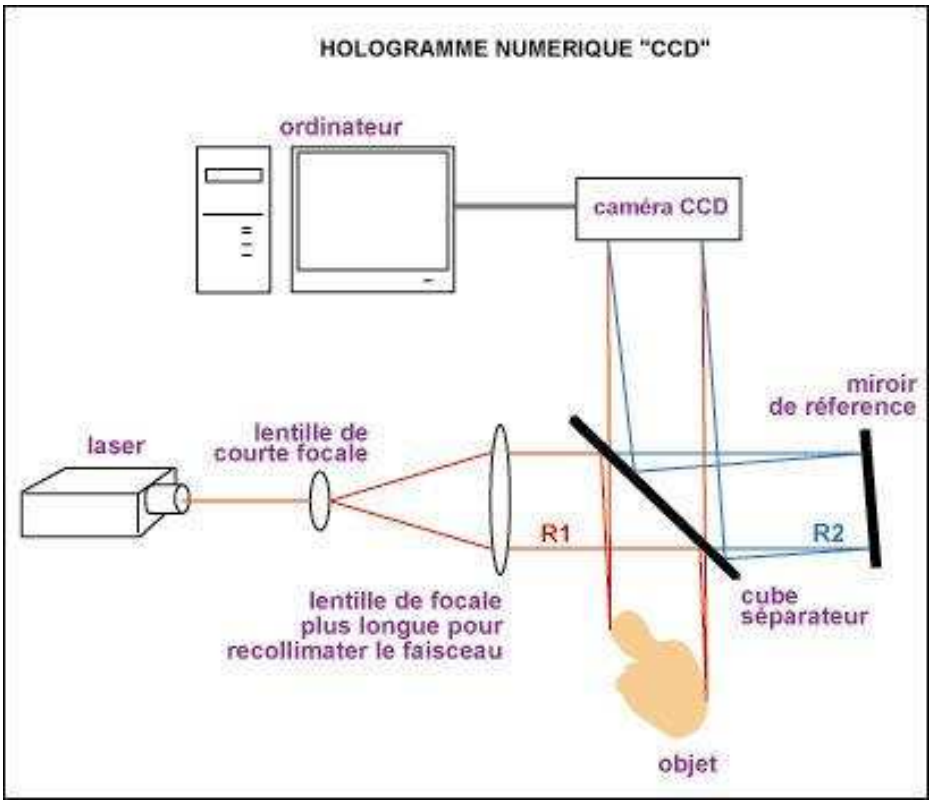
Détecteur SBIG KAF-1301E/LE

Mais où est la différence ? Le détecteur CCD ressemble à une petite plaque solaire dont la surface est photosensible : 50 % des photons qui entrent en contact avec le détecteur sont enregistrés contre seulement 5 % pour une plaque photo ou tout autre appareil photo digital.

Ces dernières années, des possibilités fascinantes de l'holographie numérique ont été démontrées [35] :

- L'imagerie à travers des milieux diffusants ;
- La microscopie 3D ;
- L'holographie numérique en couleur ;
- La mesure de paramètres de micro composants.

L'holographie numérique est une technique d'avenir et la France n'est pas absente de ce domaine en plein essor. Dans le développement de l'holographie numérique, l'effort est porté principalement sur les techniques de mesure.



(fig.22)

Le montage holographique est similaire à celui qu'on connaît (cf.fig.22). Le changement se fait à l'étape de l'enregistrement. En effet, le film holographique est remplacé par la caméra CCD branchée à un ordinateur. On enregistre ainsi, directement sur l'ordinateur, la figure d'interférence porteuse d'informations. Aucune opération chimique de développement du film n'est requise.

Après numérisation, l'information sur l'amplitude et sur la phase est obtenue par un calcul informatique et les images sont restituées à l'écran à l'aide du logiciel d'acquisition EasyGrab. L'obtention de l'hologramme est en temps réel. Ce procédé a pour avantage de :

- réduire les temps d'expositions ;
- réduire la puissance des lasers ;
- supprimer l'utilisation des films ou plaques holographiques ;
- supprimer le processus de développement chimique ;
- gagner un temps précieux ;
- réduire les coûts.

Pour l'holographie numérique, il s'agit finalement de simuler, par le calcul, la reconstruction de l'hologramme. Cette invention trouve son application dans le domaine médical. En effet, l'image tridimensionnelle restituée est transparente, ce qui permet la visualisation de l'intérieur des organes. D'autres applications peuvent toutefois être envisagées, notamment dans les domaines de l'imagerie grand public (télévision, cinéma) ou les télécommunications.

Le 12 avril 1982, Claudine Eizykman et Guy Fihman, deux inventeurs français du cinéma holographique, montent le premier spectacle holographique [40] intitulé « Vol d'oiseaux » en hommage à Etienne-Jules Marey. La série des figurines de goélands en bronze de Marey fut enregistrée sur une plaque de verre de 50 cm sur 60 cm. Vingt images ont été enregistrées sur ce même support. Elles sont visibles par sept à huit spectateurs. On peut voir le goéland avancer quelques secondes du fond de l'image vers l'avant. Ce spectacle fut élaboré au laboratoire d'optique de Besançon affilié au CNRS.

Le cinéma est un art reproductible alors que la cinéholographie est une œuvre unique, un peu comme un tableau.

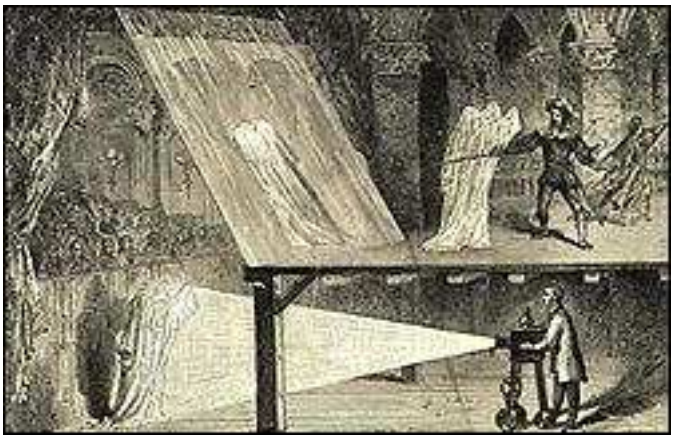
> « *La notion de précinéma holographique, reprise du découpage introduit par certains historiens du cinéma photographique, vise les formes premières de cinéma (photographique ou holographique), c'est-à-dire celles qui précèdent la phase industrielle. En fait, le "précinéma" est l'avant-Cinématographe, mais c'est déjà du cinéma* […] (C. Eizykman et G. Fihman). [40] »

Récemment, le 3 novembre 2005, le groupe Gorillaz, lors du MTV Europe Music Awards, a fait figure d'innovateur en projetant, en temps réel, des hologrammes animés sur scène lors d'une performance musicale. Voici l'extrait du concert sur le site de BoreMe :
« *http://www.boreme.com/boreme/funny-2005/gorillaz-mtv-awards-p1.php* »

projection holographique

concert des Gorillaz

En fait, cette technique date de 1862 et s'appelle Pepper's Ghost, du nom de son inventeur, John Henry Pepper. Pepper's Ghost est une technique d'illusion (cf.fig.23) utilisant des plaques de verre et des effets de lumière pour faire apparaître une image fantomatique à un endroit précis.



(fig.23)
Illusion Pepper's Ghost

6.1.2. LA SIMULATION VFX

Dans le domaine de l'imagerie grand public, notamment le cinéma, les hologrammes font de plus en plus leur apparition. En effet, ces hologrammes sont issus d'un procédé différent de celui de l'holographie numérique, mais restent quand même de la simulation – la simulation VFX (effet visuel).

Comme l'a dit Jacquemin Piel dans l'interview " *c'est surtout un effet visuel faisant penser à un hologramme* […] ". Cette technique de simulation reste le moyen idéal pour faire découvrir l'holographie au public, mais elle passe souvent inaperçue. Bon nombre de projets cinématographiques ont simulé les hologrammes dans des scènes sans laisser une forte impression, car les scènes sont trop courtes et sont perçues comme des scènes d'effets spéciaux ou de synthèse.

Voici certains exemples de simulation VFX au cinéma :

STARWARS

« Lucas est issu d'une culture européenne et chevaleresque qui a deux ou trois siècles d'histoire. Il y a le mal, le bien, la femme aimée, le père créateur, celui qui détruit... À chaque siècle, on reconstruit ces mythes avec une nouvelle lumière, avec le langage et le regard du monde dans lequel on vit. C'est ce que fait Lucas à travers le cinéma et la 3D. Il y a donc une continuité puisqu'il a créé un opéra de Wagner moderne. […] (Druillet, 2005) » [41]

Philippe Druillet
Dessinateur et scénariste de bande dessinée
I-marginal 2005

Star-Wars reste la référence en matière de simulation VFX. La technologie holographique est très présente dans la saga de Georges Lucas et il nous offre, à chaque épisode, des séquences holographiques de plus en plus surprenantes. En voici des extraits :

© Lucasfilm Ltd & TM.

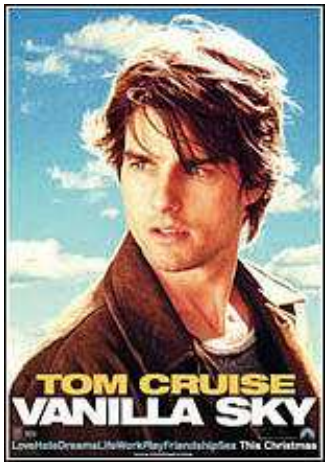
RESIDENT EVIL

Dans un futur proche, un groupe d'intervention militaire enquêtant sur des phénomènes étranges se retrouve pris au piège dans un laboratoire contrôlé par un super ordinateur matérialisé par un hologramme : la reine rouge. Le lieu est infesté de scientifiques transformés, à la suite d'une expérience ratée, en zombies mangeurs de chair humaine. Adapté du jeu vidéo éponyme qui a connu un succès mondial, Resident Evil est réalisé par Paul Anderson.

À partir d'une séquence vidéo, agrémentée de multiples effets spéciaux, on peut arriver à simuler cet aspect « volumique ». La reine rouge représente un bon exemple d'hologramme :

© Paul Anderson

VANILLA SKY



Vanilla Sky : réalité ou hallucination ? Un jeune et brillant éditeur new-yorkais a tout pour réussir et file le parfait amour avec sa compagne jusqu'au jour où sa vie bascule après un grave accident de voiture. Atrocement défiguré, il a aussi perdu une amie dans l'accident. Mais un matin il se fait gentiment réveiller par l'amie décédée qui prétend être et avoir toujours été sa compagne…

Une projection holographique du saxophoniste de jazz John Coltrane (1926-1967) joue un rôle dans une des scènes de « Vanilla Sky » de Cameron Crowe. En effet, dans la scène en question, lors d'une soirée chez le personnage principal, les invités sont captivés par la projection tridimensionnelle, de taille réelle, du saxophoniste qui joue une de ses œuvres « My Favorite Things ».

« *C'est vraiment formidable de voir Coltrane reprendre vie dans le film.* » a déclaré David Peck, le président de RITY (Reelin' In The Years Productions LLC) [42].

© Cameron Crowe

Il existe, bien sûr, d'autres projets dans le domaine de l'imagerie où la simulation holographique a joué un rôle important. Chacun présente une identité visuelle bien précise.

Bien des solutions existent pour réaliser ces différents types d'effets. C'est l'occasion de voir, en détail, une des nombreuses techniques d'une telle représentation. À l'aide d'un appareil photo numérique classique et du logiciel Adobe After-Effects, voyons les étapes à suivre afin de simuler un hologramme.

SIMULATION HOLOGRAPHIQUE AVEC AFTER EFFECTS

Afin de réaliser cet exercice, nous aurons besoin :

- du logiciel Adobe After-Effects (j'ai utilisé ici la version 5.5) ;
- d'une vidéo d'un sujet sur un fond bleu ou vert : ***Vidéo 1*** ;
- d'une vidéo qui servira d'arrière plan (cela peut aussi être une image) : ***Vidéo 2*** ;
- d'une vidéo « d'interférences » : ***Vidéo 3***.

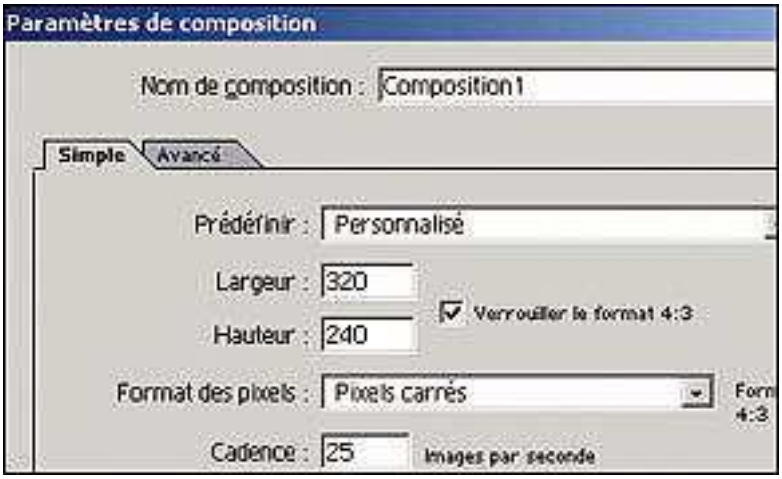
Étape 1

Création d'un nouveau projet

- Fichier / Créer / Nouveau projet

Création d'une nouvelle composition

- Composition / Nouvelle composition :
  Paramétrer, selon votre choix, votre nouvel espace de travail dans la fenêtre de « paramètres de composition »



Importer la vidéo 1 (sujet sur fond bleu)

- Fichier / Importer / Fichier :
  Sélectionner la vidéo de votre choix, en l'occurrence ici « Video1.avi »

- Glisser "Video1.avi" dans la nouvelle composition « Composition1 »

Masquer le fond bleu

- Effet / Masquage / Masquage par couleur puis Masquage par luminance :

À l'aide de la pipette se trouvant en haut de la fenêtre de masquage, cliquer sur la zone bleue de « Composition1 ». Ensuite régler les différents paramètres de Masquage par couleur et Masquage par luminance...

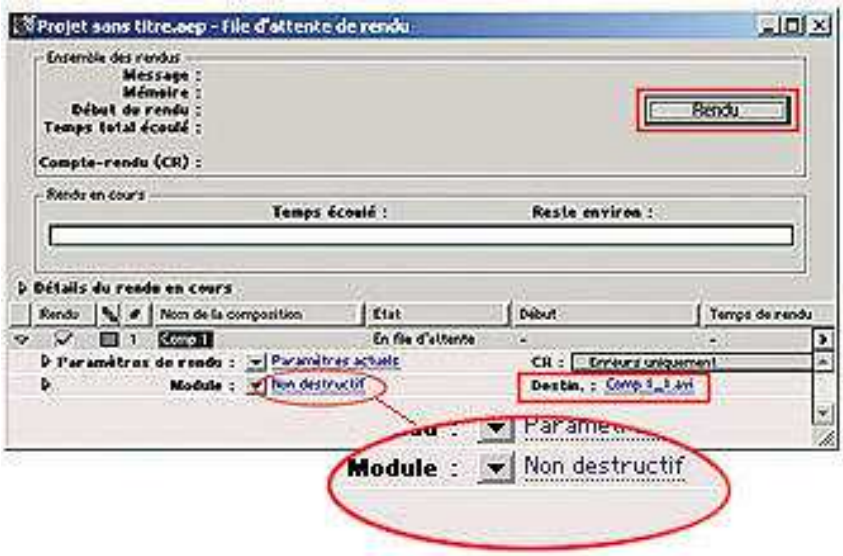
... afin de masquer le plus de bleu possible.

Étant donné que l'hologramme sera bleu au final, il peut rester un peu de bleu autour du sujet.

Grâce à l'effet de masquage, toute la partie bleue de la vidéo est transparente : la couche alpha. On doit maintenant exporter la « Composition1» avec sa couche alpha afin de l'intégrer à la vidéo qui servira d'arrière-plan.

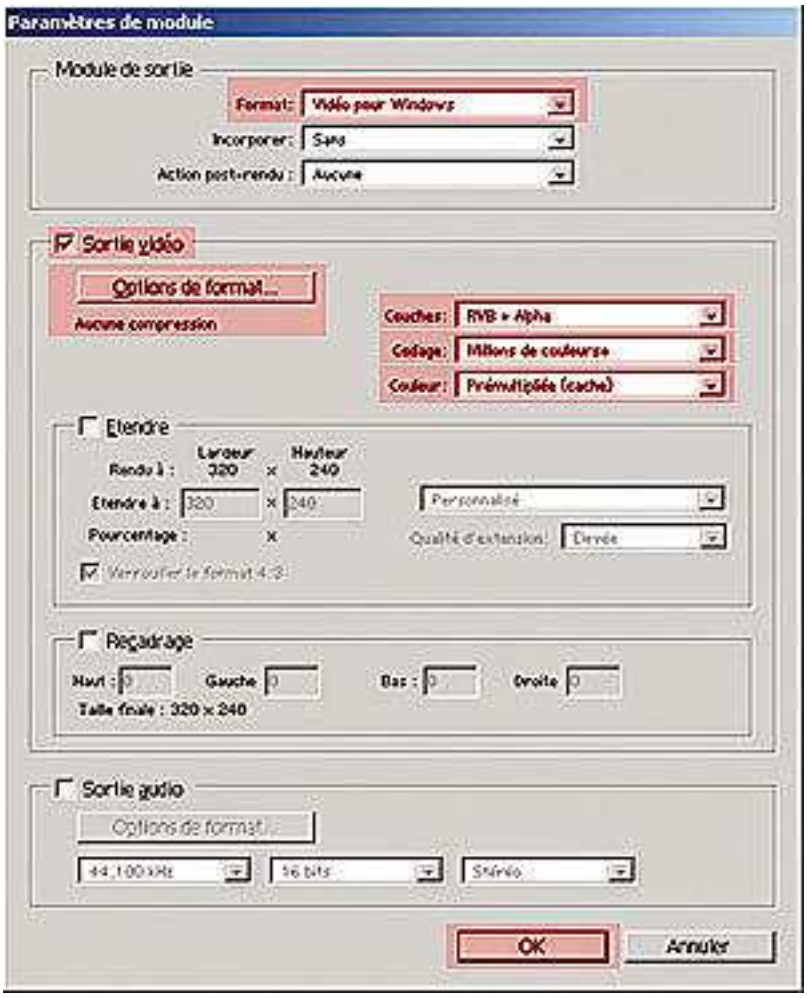
Exporter la vidéo avec une couche alpha

- Composition / Ajouter à la file d'attente de rendu :
  Dans la fenêtre de la File d'attente, double cliquer sur ***Non destructif...***



... et modifier les paramètres suivants :

- *Format : Vidéo pour Windows (ou le format de votre choix) ;*
- *Sortie vidéo : cocher la case ;*
- *Option de format : Aucune compression ;*
- *Couches : RVB + Alpha ;*
- *Codage : Millions de couleurs+ ;*
- *Couleur : Pré multipliée (cache) ;*
- *Cliquer sur le bouton OK.*



À nouveau dans la fenêtre de la file d'attente, vérifier que **« Destination »** (à droite de ***Non destructif***) indique bien Composition1.avi. Ensuite, cliquer sur **« Rendu »** (la fin du rendu est signalée par une sonnerie).

L'étape 1 est terminée. Fermer toutes les fenêtres dans votre espace de travail.

Étape 2

Création d'un deuxième nouveau projet

- Fichier / Créer / Nouveau projet

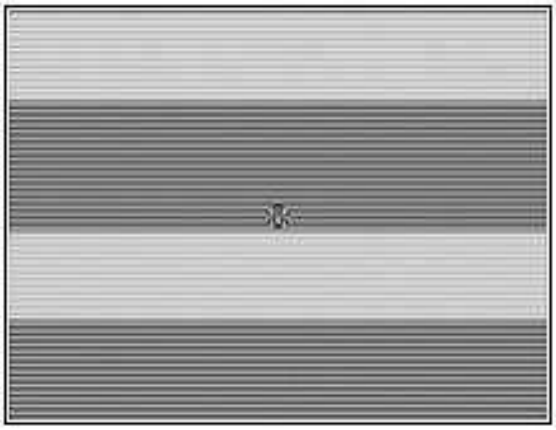
Création d'une deuxième nouvelle composition

- Composition / Nouvelle composition :
  Garder les mêmes paramètres que lors de la première étape sauf pour le nom de la composition qu'on va nommer « Hologramme »

Importer la composition 1 et les vidéos 2 et 3

- Fichier / Importer / Fichier :
  Sélectionner « Composition1.avi »
- Fichier / Importer / Fichier :
  Sélectionner « Video2.avi » – c'est la vidéo d'arrière-plan

- **Fichier / Importer / Fichier :**
  Sélectionner « Video3.mov » – c'est la vidéo d'interférences

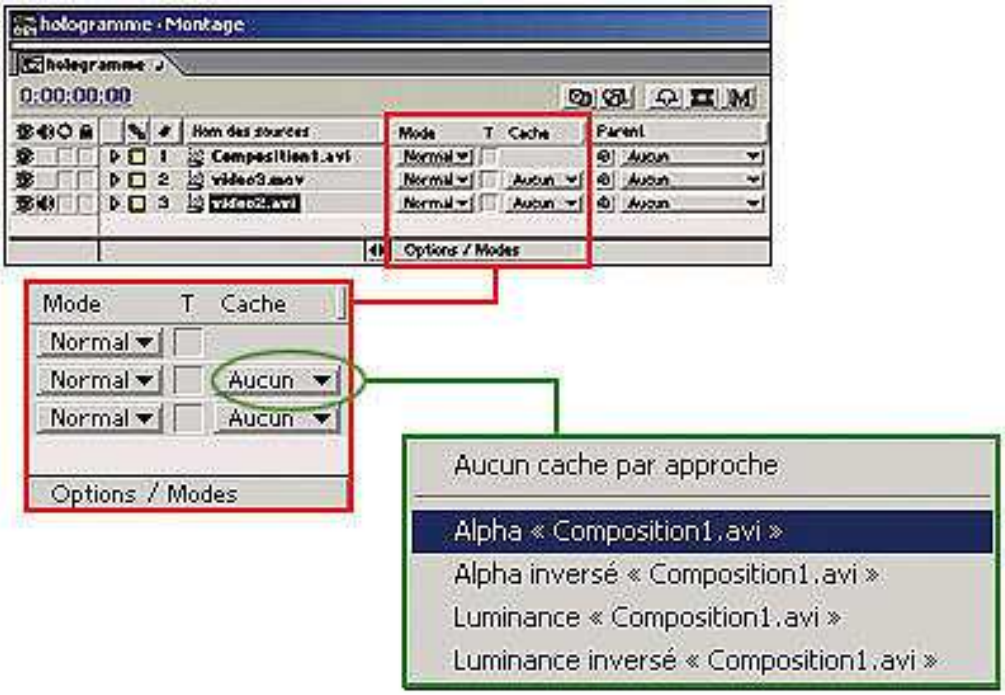


Fenêtre de montage

- Glisser les vidéos dans la fenêtre de montage (en bas) et bien les placer dans l'ordre suivant :
  1. *Composition1.avi ;*
  2. *Video3.mov ;*
  3. *Video2.avi.*

Rendre active la couche alpha

- Cliquer sur le bouton « Options/Modes » afin d'avoir ce mode d'affichage :



*Cliquer sur le menu déroulant « **Aucun** » du cache de Video3.mov et sélectionner "**Alpha << Composition1.avi >>**"*

Dans la fenêtre de montage, on observe que la couche alpha de « Composition1.avi » est bien active, mais invisible.

Rendre visible la couche alpha

- Sur la même ligne de « Composition1.avi » cliquer dans la case vide afin d'activer l'œil pour rendre la couche visible dans la fenêtre de composition

Réduire la taille de « composition1.avi »

- Cliquer sur la petite flèche de gauche pour ouvrir les paramètres de « Composition1.avi » et modifier :

  - *Echelle : 40,0 , 40,0 %*
    (on va en profiter pour modifier la position et l'opacité)
  - *Position : 160,0 , 85,0*
  - *Opacité : 50,0 %*

Modifier l'opacité de « video3.mov »

- De la même manière, modifier l'opacité de « Video3.mov » :
  Opacité : 30,0 %

- Appuyer sur le bouton « Entrer ». On peut déjà voir une première ébauche

Pour faciliter le travail dans la fenêtre de montage, on va fusionner la vidéo de notre sujet avec la vidéo d'interférences et les exporter afin d'obtenir une nouvelle vidéo intégrant les deux.

Exporter la vidéo

- Cliquer sur l'œil pour cacher la vidéo d'arrière plan – video2.avi

- Composition / Ajouter à la file d'attente de rendu :
  Utiliser les mêmes paramètres que précédemment et cliquer sur « Rendu »

- L'étape 2 est terminée. Fermer toutes les fenêtres de l'espace de travail.

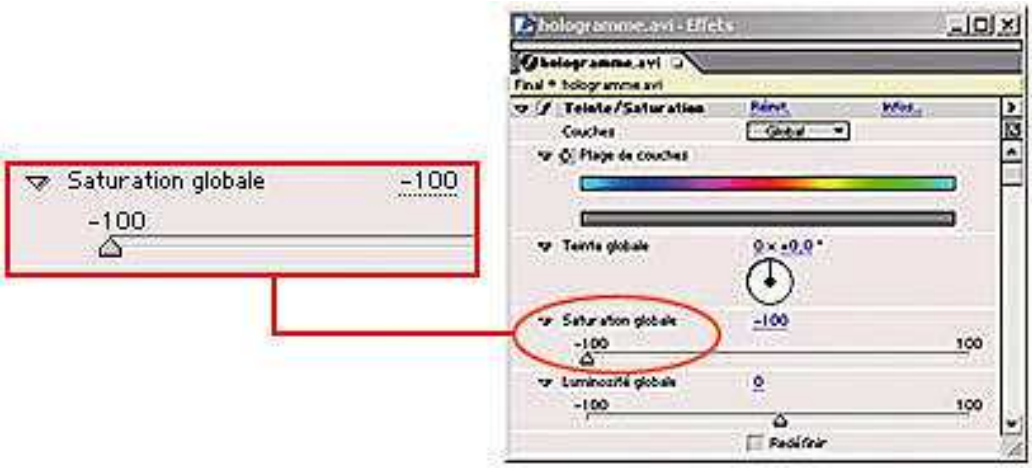
Résultat de la fusion

Hologramme.avi

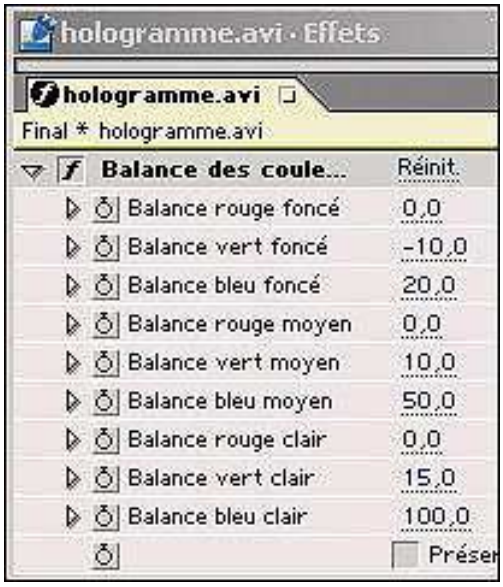
Étape 3

Donner une couleur bleue au sujet

- Effet / Réglage / Teinte-Saturation :
  Supprimer toutes les couleurs de « hologramme.avi ». Diminuer la ***Saturation globale*** *à* ***–100***



- Effet / Réglage / Balance des couleurs :
  Dans la fenêtre de « balance des couleurs », modifier les couleurs du sujet en modifiant les valeurs, selon votre choix. Vous pouvez aussi augmenter la luminosité dans ***Luminosité-Contraste****.*



Nous allons maintenant donner une impression de flou à notre vidéo « hologramme.avi » en la dupliquant avec une opacité inférieure. Il s'agit d'une image fantôme.

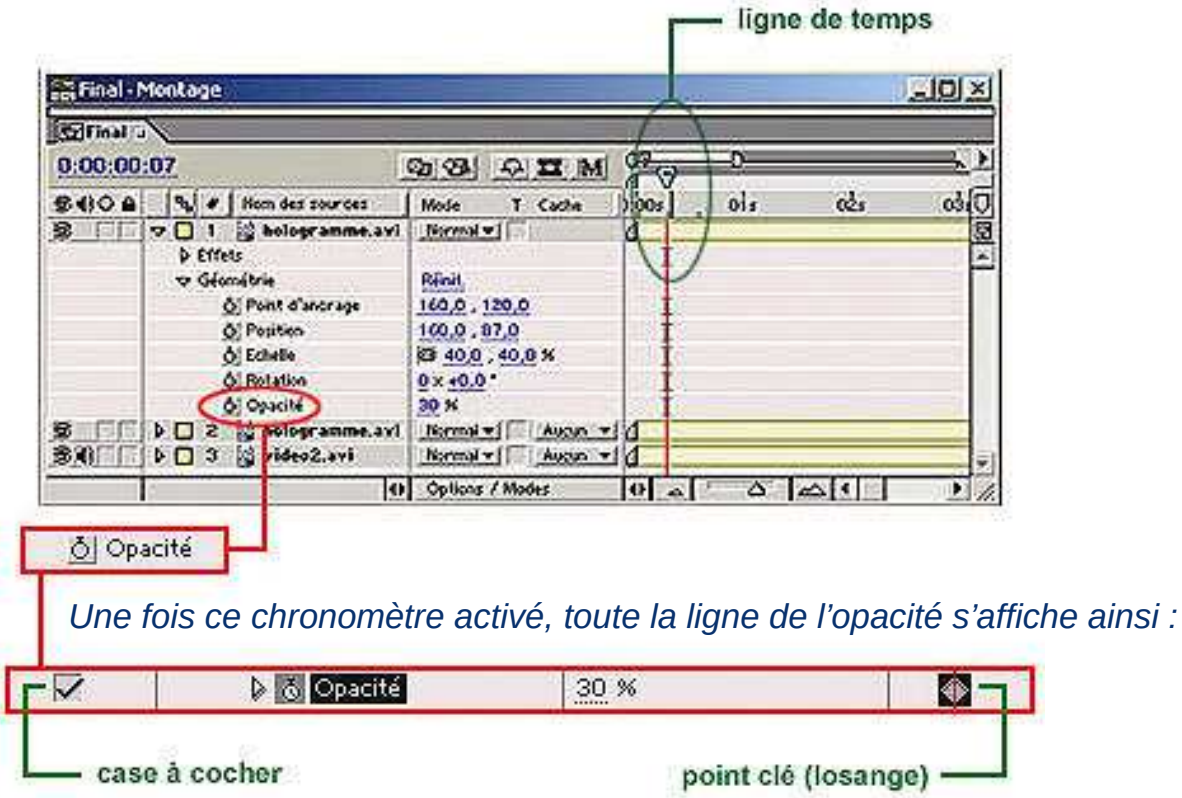
Création d'une image fantôme

- Dans la fenêtre de montage, sélectionner « hologramme.avi » puis Édition / Dupliquer :
  Modifier l'opacité de ce nouveau calque en 30% et la position de deux pixels vers le bas pour donner cette impression de flou.

Cette image fantôme nous sert à contrôler les fluctuations de l'opacité et de positionnement de notre hologramme à des instants T et à simuler une projection holographique.

Création des images clés

- Cliquer sur le petit chronomètre de "Opacité" dans la fenêtre de montage :



Une fois ce chronomètre activé, toute la ligne de l'opacité s'affiche ainsi :

Le losange signale un point clé. Pour créer plusieurs points clés, il faut déplacer la ligne de temps à des instants précis, puis cocher la petite case de gauche (le chronomètre doit toujours être actif).

*Ainsi, on peut modifier la valeur de l'opacité de la vidéo sur chaque point clé et de la même façon, agir sur la section « **Position** ».*

Une fois les différents points clés définis, il ne nous reste plus qu'à enregistrer et exporter la vidéo finale et l'exercice sera fini.

Exporter la vidéo finale

- Fichier / Exporter / AVI :
  La vidéo finale est sans aucune compression. Il suffit de la compresser à nouveau avec le programme de votre choix.

Résultat final

Chacun peut ajouter sa touche personnelle à cet exercice. Un bruit, des variantes de couleurs, des distorsions, etc. La seule limite reste celle de notre imagination !

6.1.3. L'HELIODISPLAY

L'efficacité de ce nouveau produit reste à voir, car personnellement, faute de moyen, je ne peux pas le tester, mais l'idée elle-même est révolutionnaire : faire connaître l'univers holographique au grand public.

La société américaine IO2 Technology a mis au point une technologie qui s'appelle Heliodisplay et qui, à l'aide d'un projecteur laser, projette une image fantomatique directement dans l'air sans support réel [43]. Il existe deux types de projecteurs : Heliodisplay M2 et Heliodisplay M2i.

Heliodisplay M2 *Heliodisplay M2i*

Le procédé consiste à aspirer l'air environnant, à le modifier puis à le renvoyer en projetant, avec un laser, une image de 22 pouces. Cette image peut être générée par n'importe quelle source vidéo (VGA, Composite, RGB) et concerne les caméscopes, les DVD de salon, les ordinateurs, etc. Cependant les constructeurs soulignent un détail important : malgré l'utilisation des lasers, les images projetées ne sont pas des hologrammes ! En effet, ces images sont dans un espace bidimensionnel, mais apparaissent en 3D parce qu'il n'y a aucune référence de profondeur physique étant donné que le support, c'est de l'air.

Le résultat semble vraiment surprenant car tout porte à croire que la projection de l'image est de type « holographique » de par son rendu.

De plus, le modèle M2i offre la possibilité d'interagir avec l'écran d'air. On peut, en effet, interagir avec l'image à l'aide de son index en guise de « pointeur de souris ».

© IO2Technology

Cela fait penser au film Minority Report de S.Speilberg (d'après l'œuvre de Philip K.Dick). La réalité dépasse la fiction !

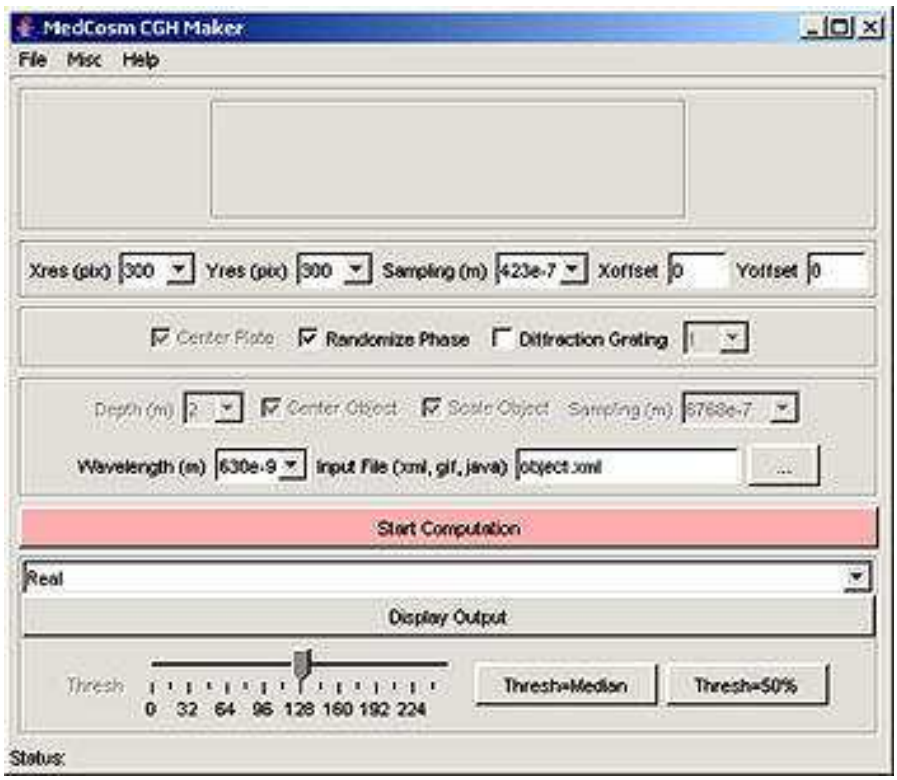
© Steven Speilberg

(fig.24)
© Dale Rutter

Le futur est en marche. IO2 Technology garantit que l'air exploité par ce système n'est pas transformé par l'addition d'un produit quelconque.

6.1.4. LE CGH – Computer Generated Hologram

Le CGH - Computer Generated Hologram maker est un logiciel conçu par MedCosm pour simuler les principes de l'holographie [44].



Le CGH crée, par calcul mathématique, des franges d'interférence et restitue ensuite, de manière classique, un hologramme. En fonction des données entrées, il génère des interférences telles que :

> la résolution de votre imprimante

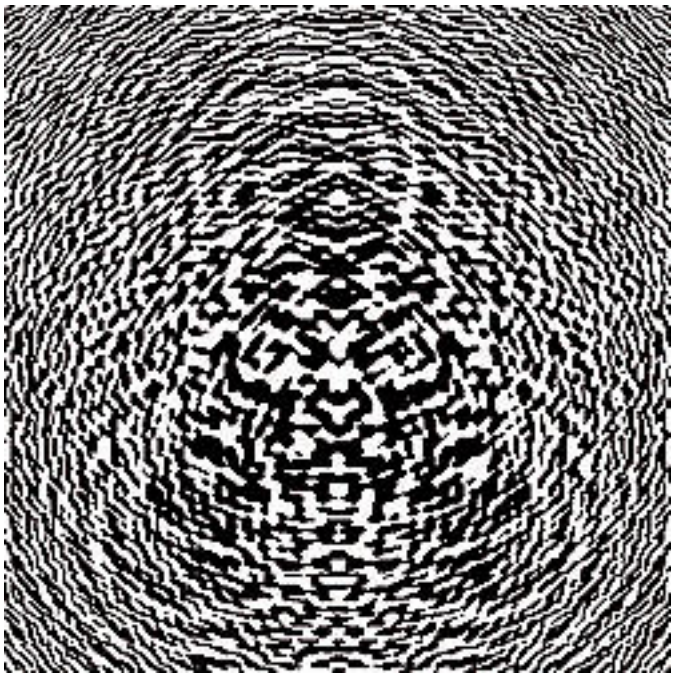
> la longueur d'onde

> la phase

> un fichier image importer en GIF

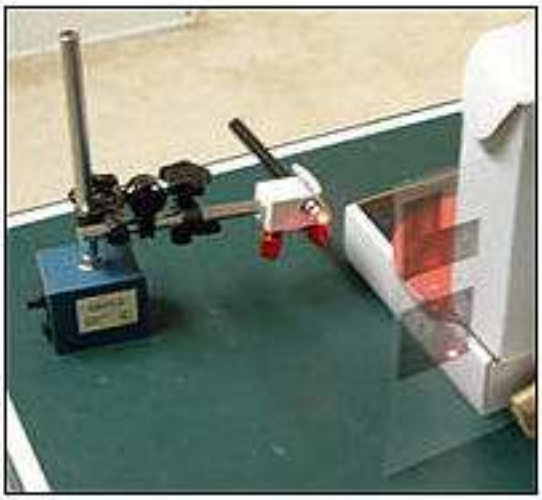
« image.gif »

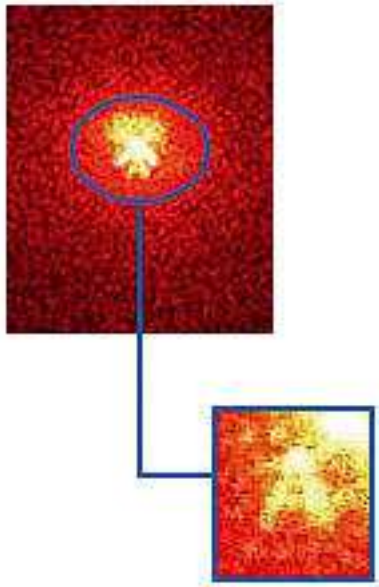
Une fois ces données enregistrées, on lance le calcul. Le résultat est une image GIF faite de rides :



On peut y distinguer la lettre "A" dans les interférences.

Pour restituer l'image, on l'imprime en haute définition (la résolution entrée précédemment) sur du papier transparent, puis il suffit de pointer le laser au centre de l'image (en gardant une distance raisonnable) : en principe l'hologramme de l'image importée se projette en arrière-plan sur le mur, qui sera de préférence une surface unie blanche et lisse.





© MedCosm,LLC

Bien évidemment, ce n'est qu'une simulation et les résultats obtenus avec ce type de procédé ne sont pas comparables à un véritable hologramme au niveau de la qualité et même de l'apparence. Ce qui m'intéresse dans ce logiciel, c'est encore une fois les interférences.

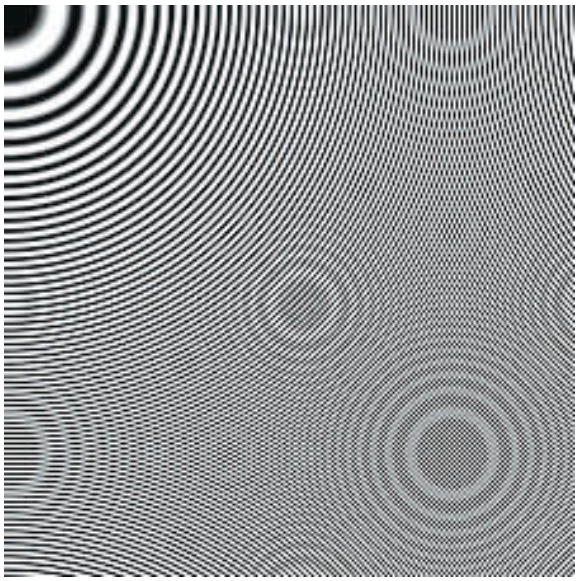
En effet, il offre aussi la possibilité de créer des interférences via un autre type de fichier importé – le XML.

Le XML (Extensible Markup Language) est un langage de balisage. C'est un ensemble de lignes directives utilisé pour la conception de formats texte permettant de structurer des données telles que des feuilles de calculs, des carnets d'adresses, des paramètres de configuration, des transactions financières, des dessins techniques, etc. Le XML ressemble un peu à l'HTML, mais comporte des règles beaucoup plus strictes. Une balise oubliée ou un attribut sans guillemets rendent un fichier inutilisable.

En mettant à profit mon expérience de ce langage, je peux créer un point en XML avec le système de coordonnées XYZ et lui attribuer une amplitude (amp), une longueur d'onde (wavelength) et une phase :

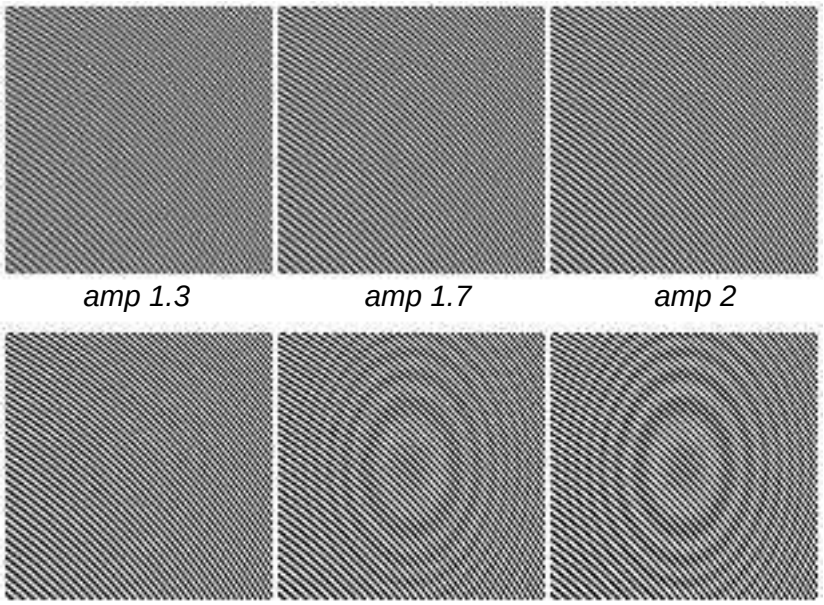
```
<?xml version="1.0" encoding="iso-8859-1"?>
    <PointSourceArray>
        <PointSource x="0" y="0" z="1" amp="3" wavelength="630e-9"
         phase="-1.25" />
    </PointSourceArray>
```

Le point, grâce aux caractéristiques que je lui ai attribuées, va interagir avec les données propres au CGH, c'est-à-dire le nombre de pixels en x/y (résolution de l'imprimante), l'espace entre les pixels et aussi une longueur d'onde. Ainsi en lançant un calcul, j'obtiens ce résultat :



Franges d'interférences obtenues avec du codage XML

Avec cette approche, je peux imaginer une suite d'images d'interférences avec des valeurs très rapprochées pour avoir un résultat pratiquement similaire, mais infiniment décalé. Ensuite, avec Adobe Première je peux faire un montage à 25 images par seconde afin d'obtenir une illusion de mouvement fluide : une animation d'interférences.



amp 1.3 *amp 1.7* *amp 2*

amp 2.3 *amp 2.7* *amp 3*

7/ L'ART HOLOGRAPHIQUE

7.1. QUAND LA LUMIÈRE DEVIENT ART

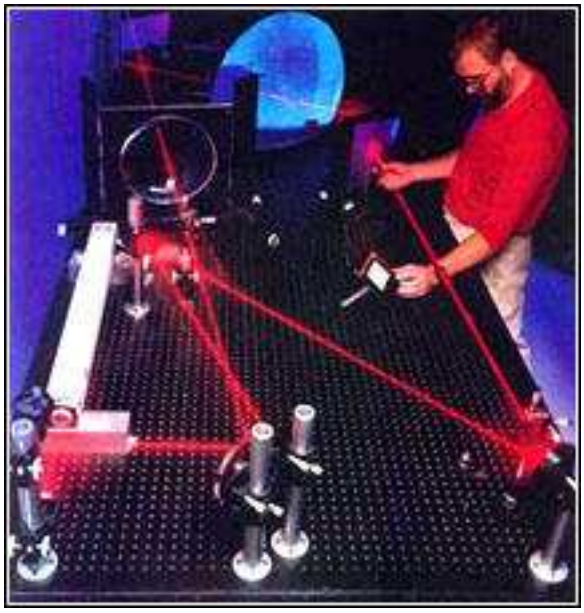
On a vu précédemment, l'application de l'interférométrie holographique dans le monde de l'industrie. En effet, ce sont les mêmes franges d'interférence parasitaires (contenant des informations pour corriger ou améliorer des défauts) qu'on utilise dans l'art holographique.

Dans ce dernier, l'interférométrie sert comme processus de création de textures (en holographiant des objets texturés ou même ébréchés) ou de la matière translucide comme l'eau, le verre ou l'air. En faisant volontairement des déformations sur l'objet ou en enregistrant, sur certains points, un changement d'état de l'objet, on arrive à la fabrication des hologrammes. Le scientifique (ou l'holographe commercial) essaie toujours d'obtenir une approximation très proche de la réalité.

Si l'hologramme est endommagé, il est inutilisable. Les facteurs qui semblent à première vue entraver le développement de l'hologramme, les inconvénients techniques et d'autres sont en fait un avantage pour l'artiste holographe. C'est avec ces défauts – les interférences – que l'artiste va tisser sa toile. Avec le même processus de restitution, une image magnifique va naître, avec des couleurs oscillant entre le bleu et le vert et aussi le rouge (cela dépend de la puissance du laser). Les franges d'interférence, visuellement, ressemblent à des cordes musicales de lumière.

« *L'holographie est le moyen de se souscrire aux problèmes conceptuels et théoriques que posent initialement d'autres médias* » disent certains artistes. D'autres trouvent que dans le modernisme du monde actuel, ce médium est très approprié.

En effet, il apporte de nouvelles perspectives et opportunités pour donner une dimension originale à la créativité [45]. Une créativité d'une nouvelle ère, l'ère de la lumière. L'art holographique est né !

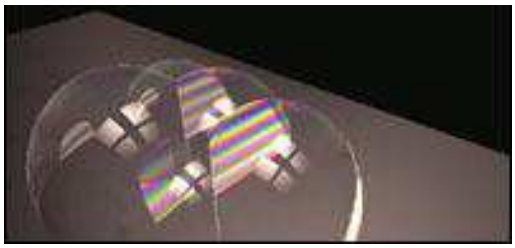


(fig.25)

© Fred Unterseher

Le travail d'un artiste holographe est unique en soi. Il ne suffit pas de poser simplement la plaque et d'enregistrer un hologramme. Pour rendre unique la création, de nombreux choix sont possibles lors des différentes étapes de la conception.

Dans ce monde de l'art, l'holographie possède des potentiels énormes avec un avenir très prometteur [59]. La technologie, ces dernières années, ne cesse d'évoluer et de repousser les limites et les artistes utilisent cette technologie pour faire, eux aussi, évoluer leur art.



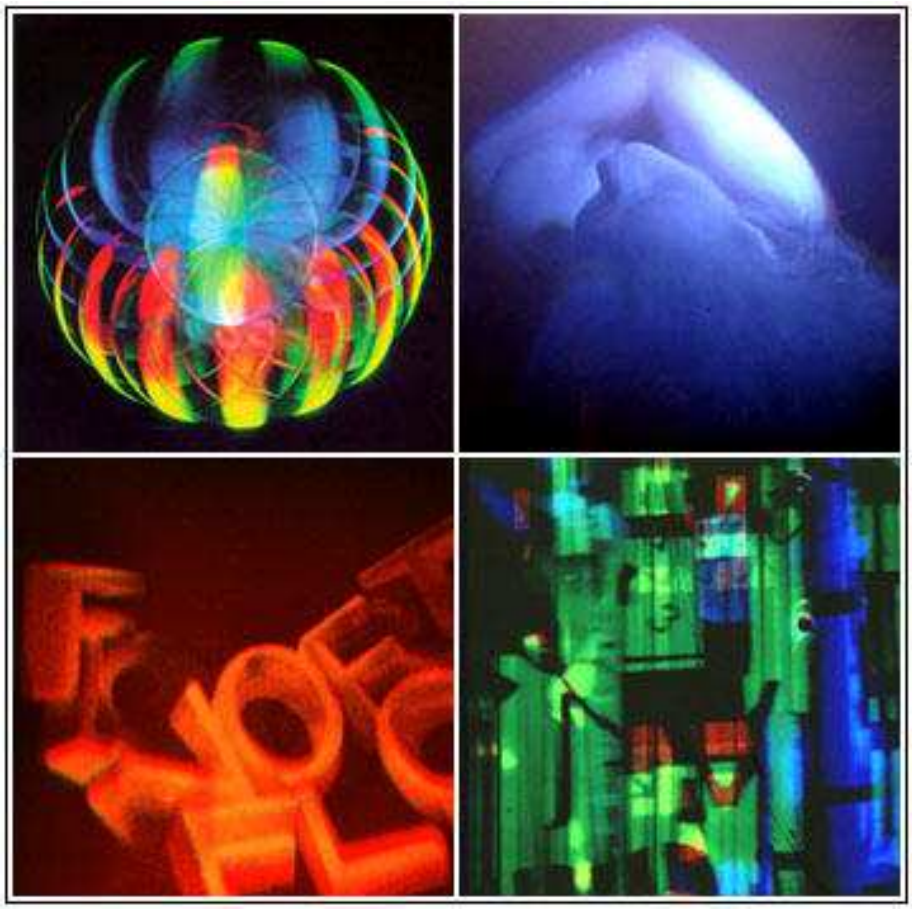
L'intérêt porté à cette technologie est lié à ses multiples propriétés [47]. Avec un hologramme, il est possible de jongler avec l'espace, d'enregistrer l'absence des objets, de rendre invisible le visible ou de rendre transparent le solide. Autant de points qui désavantagent les autres médias. Cependant, ils ont en commun un certain nombre de propriétés communes :

- enregistrement tridimensionnel sur une surface à deux dimensions ;
- rendu final comparable à un mélange de peinture et de sculpture ;
- de par sa technique de restitution, ressemblance avec la photographie.

On peut dire que la découverte du Dr Gabor a créé une passerelle entre le domaine de la science et celui de l'art. Une passerelle que certains artistes ont su exploiter. L'art holographique reste quand même une forme d'expression peu répandue à l'instar d'autres médias.

C'est un nouveau médium issu d'un domaine très technique pour des artistes. Tout comme les publicitaires, les artistes aussi sont confrontés à la réalité du coût ! La pratique de l'holographie demande un investissement financier énorme et aussi un investissement au niveau du temps passé. Aujourd'hui bon nombre d'artistes ne sont pas encore prêts à se lancer. Cependant, certains ont trouvé, à travers l'holographie, un nouveau médium pour exprimer leur créativité.

En effet, en dépit de toutes ces difficultés, des artistes ont choisi de travailler avec l'holographie, à travers l'interférométrie. Citons Paula Dawson, Gary Zellerbach, Al Razutis, ou Rudie Berkhout. Comme on l'a déjà vu, la lumière est la base de tout en holographie et ces artistes ont fait de cette propriété leur matière première : le résultat est vraiment magique !



Voyons l’étendue des possibilités qu’offre l’art holographique à travers ces quelques artistes :

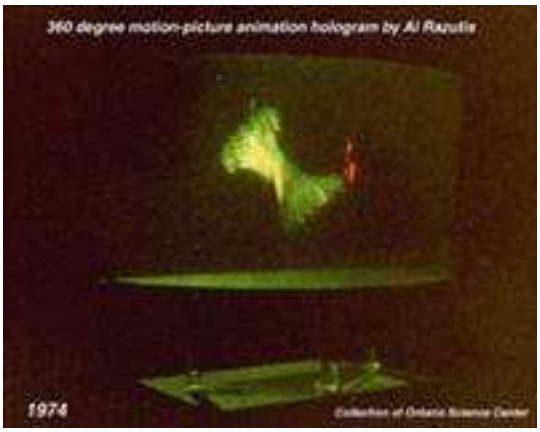
- Al Razutis ;
- Rudie Berkhout ;
- Ana Maria Nicholson ;
- Fred Untersecher ;
- Sally Weber ;
- Eduardo Kac ;
- Sam Moree.

7.1.1. AL RAZUTIS

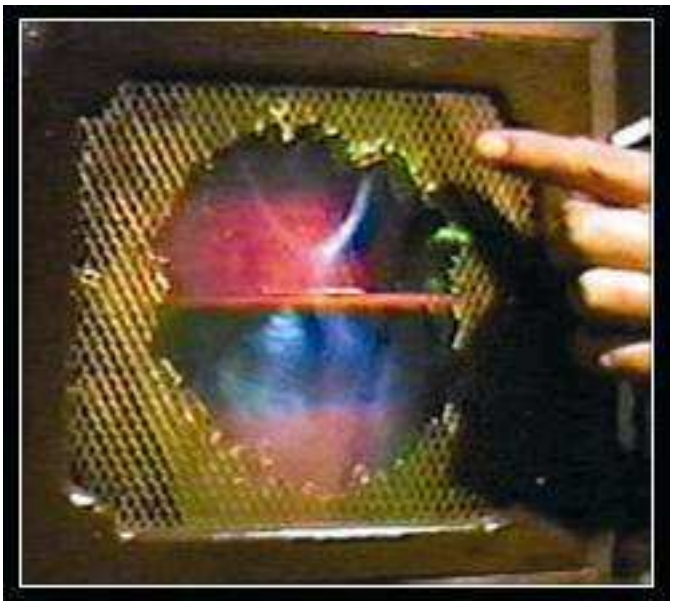
Al Razutis est l'un des pionniers dans l'art holographique au Canada. De par son impressionnant parcours professionnel, il a su s'implanter comme un cinéaste aux multiples talents. En effet, il est écrivain, historien, designer, producteur/réalisateur de films et d'installations stéréoscopiques 3D, web-designer, programmeur en VRML et artiste holographe [48].

Il est l'un des principaux responsables de la publication de Wavefront, un magazine sur l'holographie (1985-1987).

Son approche de l'holographie dans le monde artistique peut être qualifié d'hybride. En effet, il a lancé le concept « Holographic hybrids » qui est un mélange de sculpture, d'assemblages et d'interférogrammes.



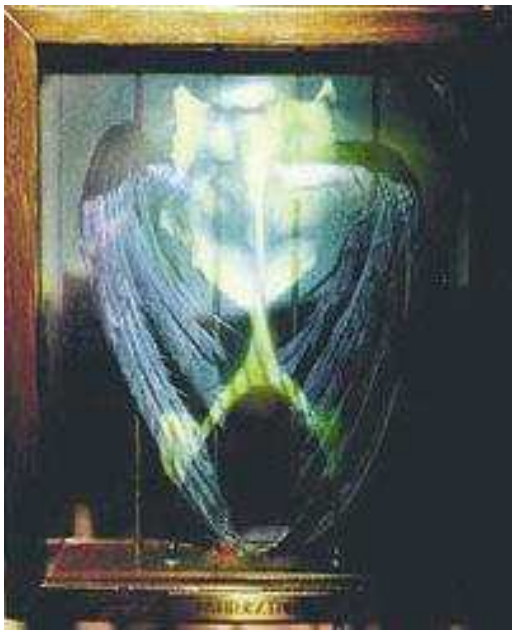
DADDY'S SPICE CABINET (1985) par Al Razutis [48]



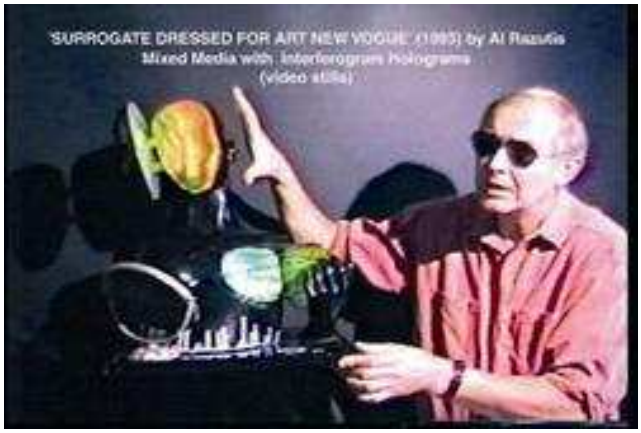
C'est un assemblage de bois, métal, plume, toile, poupée, objet de récupération et un interférogramme bichromate.

PRIMA MATERIA (1976/1980) [48]

SUBJECT TO TIME (1985/1986) [48]



SURROGATE, DRESSED FOR ART NEW VOGUE (1985) [48]



© Les travaux de Al Razutis

7.1.2. RUDIE BERKHOUT

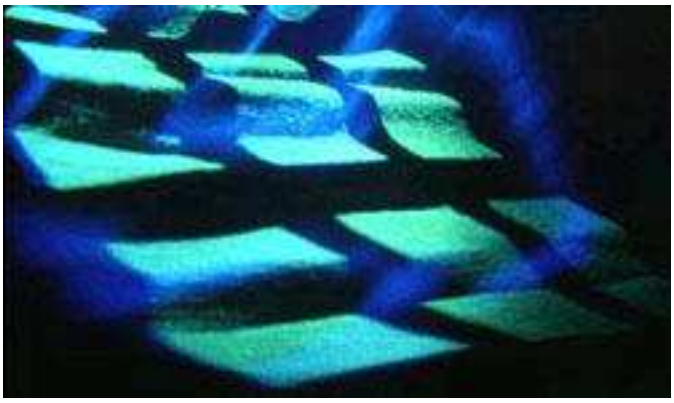
Rudie Berkhout fait ses débuts dans le domaine de l'holographie en 1975. Vers la fin de 1978, il décide de se consacrer pleinement à l'art holographique dans son laboratoire qu'il a conçu grâce à la vente de nombre de ses travaux artistiques [49].

Dans un premier temps, afin de comprendre toutes les facettes de cette nouvelle technique, il s'est avéré nécessaire pour lui « *d'approcher la fabrication d'un hologramme intuitivement* ».

Il a su répondre à une demande, notamment dans le milieu de l'architecture. En effet, pour rénover l'esthétique du nouveau bâtiment du département de l'Ingénierie de l'Université de Wisconsin, aux États-Unis, il réalise en 1992 une installation holographique permanente variant avec la lumière du jour.

Berkhout maîtrise à la perfection l'illusion optique, permettant ainsi un développement de l'esthétique de l'absence.

Son but est de pouvoir concevoir davantage d'installations de ce type pour de grands espaces intérieurs et extérieurs et aussi de parvenir à faire cohabiter ses œuvres et la nature.



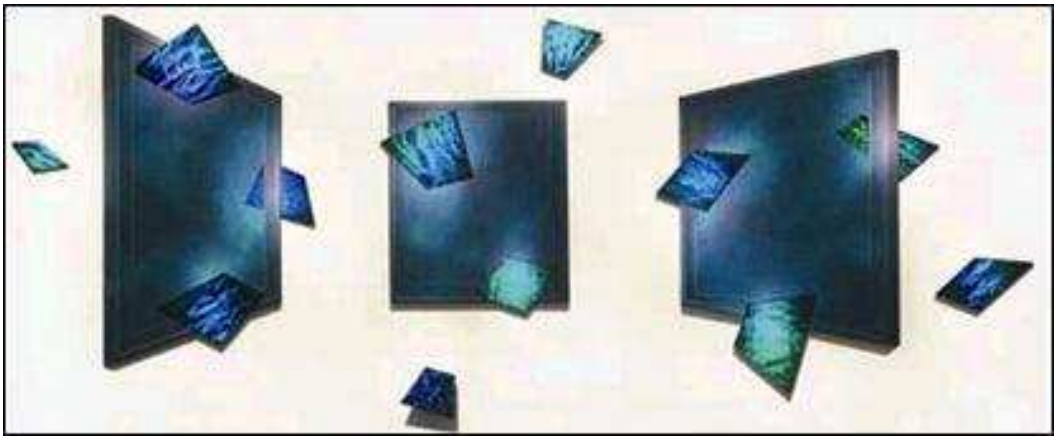
Une installation holographique permanente à l'Université de Wisconsin [49]

Cette installation est composée de 8 plaques holographiques, mesurant chacune 76 cm x 76 cm, et semblant tomber du plafond pour s'enterrer dans le sol.

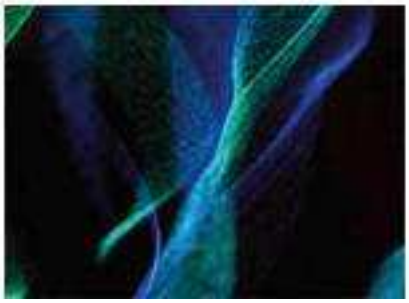
Chaque plaque est fixée au mur à l'aide de pivots ajustables sur les trois axes (X,Y,Z). En utilisant la lumière ambiante et des spots de lumière blanche, l'installation dévoile à la fois l'interférogramme linéaire de multiples couleurs et des ombres sur le mur.

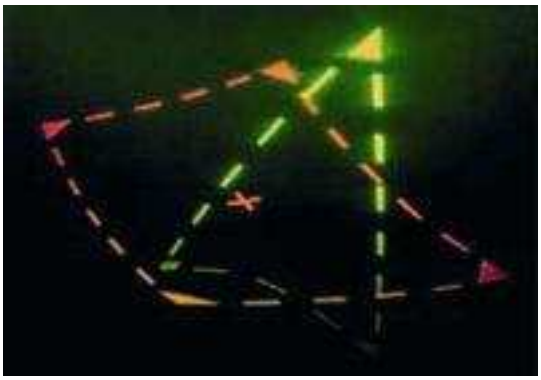
Le résultat est une vibrante animation de lumière dans un espace qui change non seulement en fonction du déplacement du spectateur mais aussi en fonction de la météorologie : un ciel nuageux va créer une texture de lumière différente de celle d'un ciel dégagé.

ODYSSEY 2001



Odyssey 2001 est un bel exemple d'illusion optique [50]. Composée d'hologrammes et de peinture, c'est une composition essentiellement en deux dimensions. Les éléments donnent l'impression de sortir du mur.





© Les travaux de Rudie Berkhout

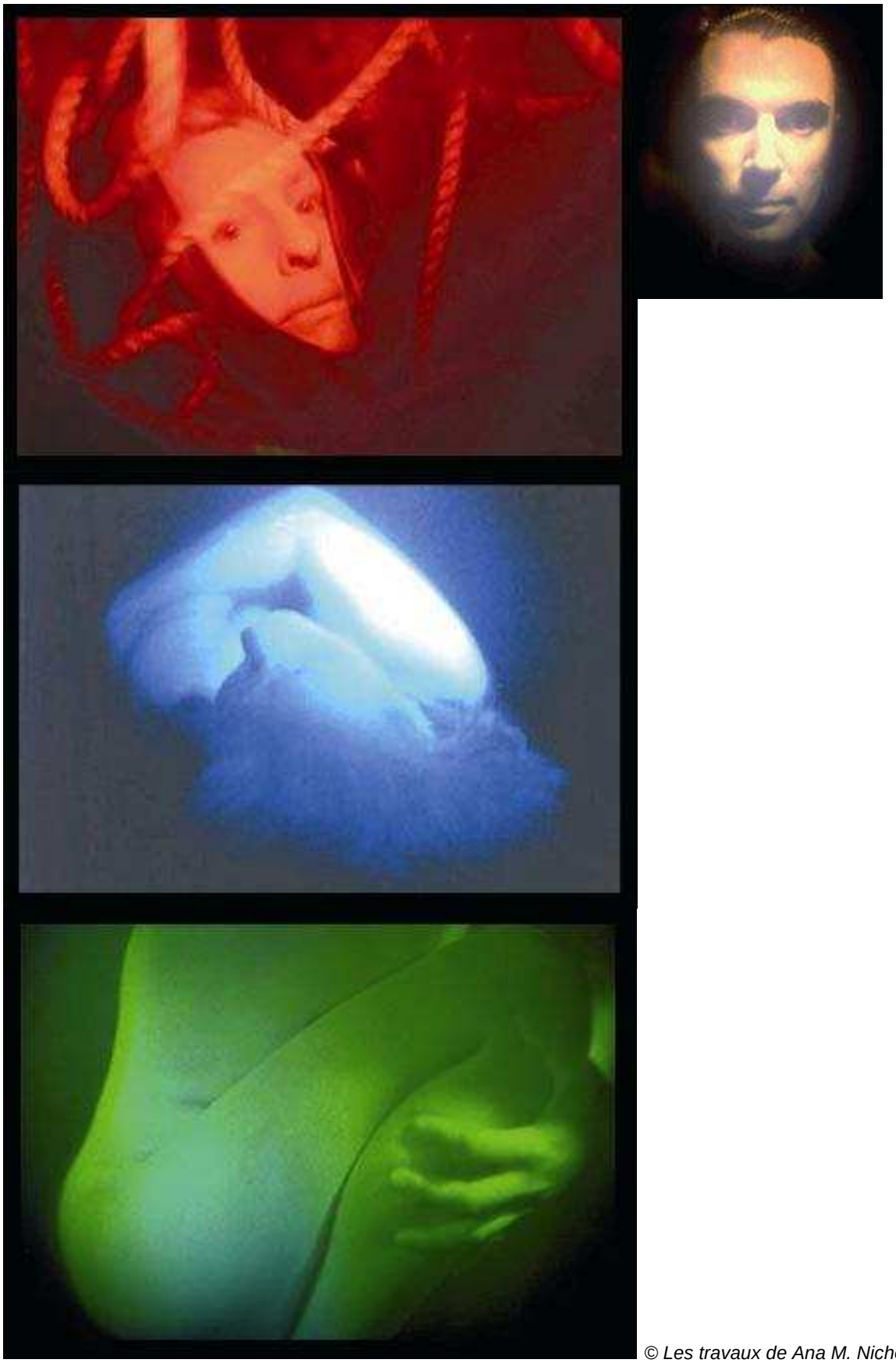
7.1.3. ANA MARIA NICHOLSON

Ana Maria Nicholson travaille avec l'holographie depuis 1975. Assistante directrice du Centre Expérimental de l'Holographie a Hawaii de 1976 à 1980, elle dirige, à présent, une institution qui a pour but de promouvoir l'art holographique : le Centre de l'Art Holographique [51].

Le principal thème de son travail à toujours été le corps humain. Le corps humain dans sa complexité, sa beauté et son habileté (mouvement et gestuelle) est une formidable source d'inspiration.

Dans ses portraits holographiques, elle ne cherche pas à photographier l'instant présent (comme la photographie traditionnelle), mais plutôt à capturer le vrai visage qui se cache derrière une personnalité. Il se crée alors une relation très intime entre le sujet et l'artiste.

Les œuvres d'Ana Maria Nicholson expriment une sensation de liberté. En effet, chaque sujet semble vouloir se libérer d'un isolement pour atteindre la lumière.



© Les travaux de Ana M. Nicholson

7.1.4. SAM MOREE

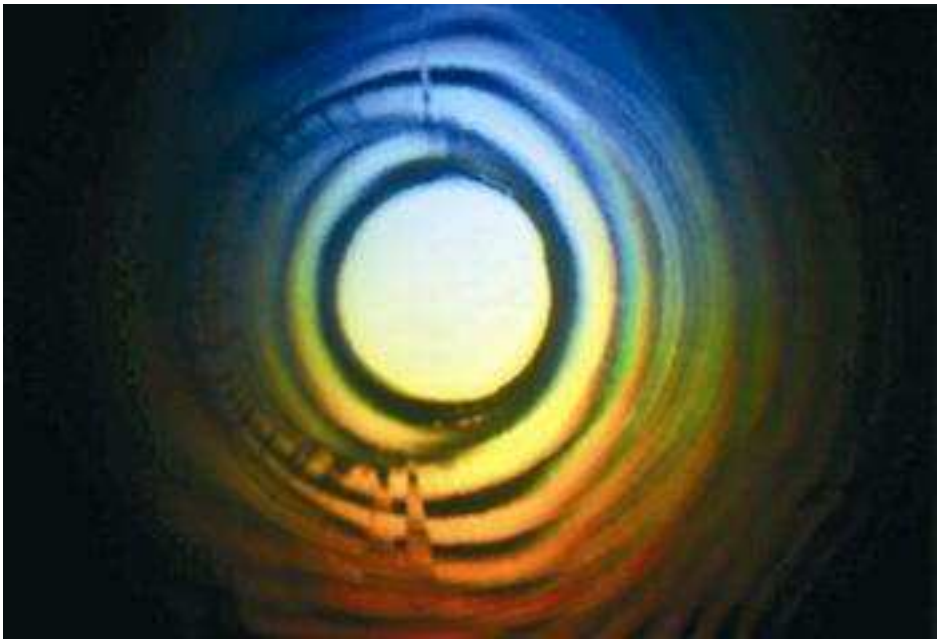
Un équilibre entre l'Art et la Science, le primitif et le sophistiqué, le passé et le futur, le jour et la nuit…voilà la vision que porte Sam Moree sur l'holographie [52].

Le graphisme qu'offre une frange d'interférence est tout simplement un équilibre entre la lumière et l'absence de lumière. C'est justement cette notion d'équilibre que Moree exprime à travers ses compositions : il combine à des textures holographiques celles que nous offre la nature, c'est-à-dire le métal, le marbre, la pierre. Cette étonnante interaction de textures offre un équilibre parfait, créant ainsi des images comme un kaléidoscope.

La nature est une immense bibliothèque pour un artiste et c'est en elle qu'il puise son inspiration. En effet, les traces que laisse le temps sur les flans des montagnes, sur une marche d'escalier cassée ou l'eau qui se dessèche sur le pare-brise d'une voiture, voire sur les murs couverts de graffitis, créent des textures qui se marient bien visuellement.

Dans son travail, son objectif principal est de produire un lien harmonieux entre l'émotion et l'intellect afin que chaque individu puisse interpréter ses compositions de différentes manières. Son approche artistique, depuis qu'il évolue dans l'holographie, a changé. Il dit avoir une approche plus scientifique, car il essaie toujours de visualiser le résultat final. « En tant qu'artiste, je travaille comme un scientifique et en tant que scientifique, je travaille comme un artiste », a-t-il déclaré.

Sam Moree a reçu trois récompenses (le Shearwater Awards) pour son travail dans l'holographie. Ses oeuvres figurent dans de nombreuses collections publiques et privées.

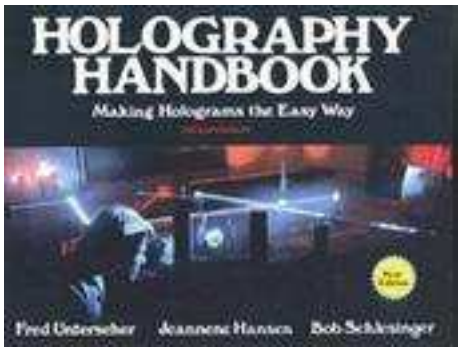


© Les travaux de Sam Moree

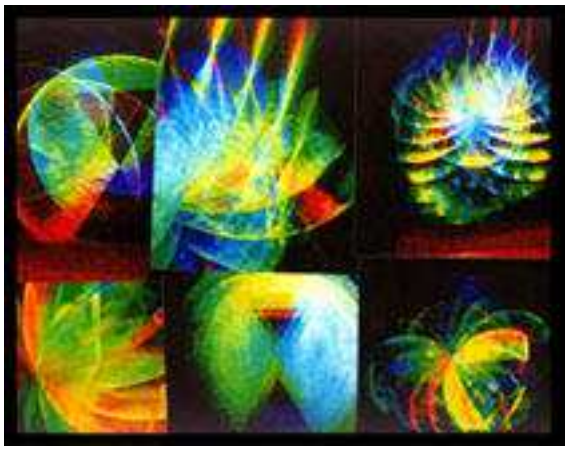
7.1.5. FRED UNTERSEHER

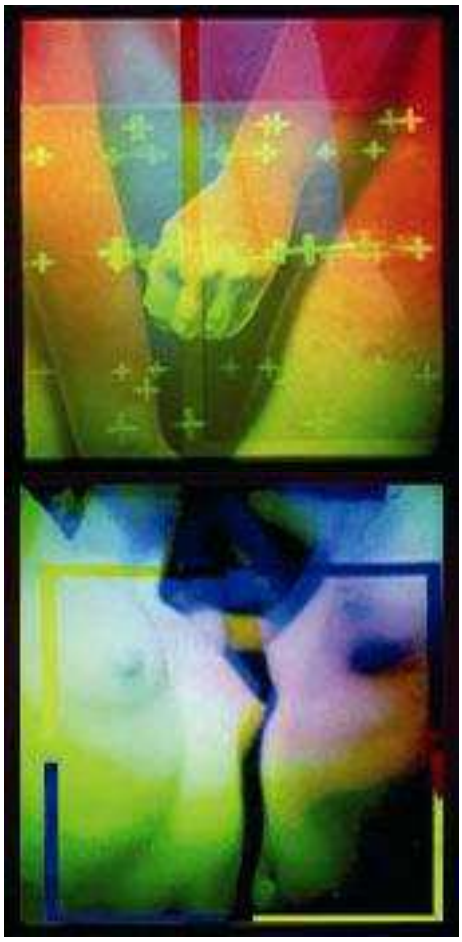
Fred Unterseher est l'un des pionniers de l'école de l'holographie de San Francisco et le fondateur de Holografix – un studio d'art. Il a aussi co-écrit le très célèbre « Holography Handbook » [53].

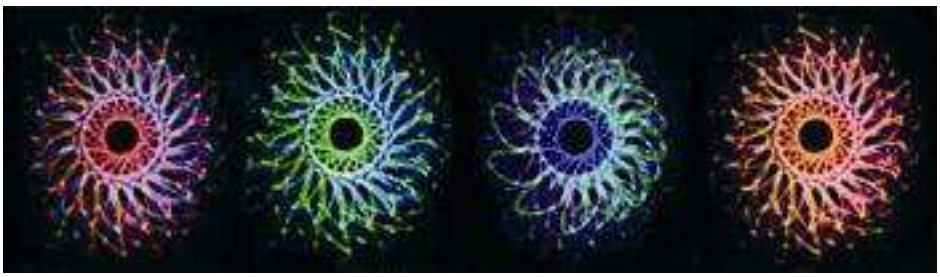
Comme beaucoup d'artistes holographes, Fred Unterseher utilise plusieurs médias pour créer ses œuvres. Il est tout particulièrement attiré par l'aspect immatériel de la lumière.



À travers son travail, il explore la nature de la lumière et sa relation avec notre manière d'aborder le monde. L'image holographique, visible à la lumière blanche, apparaît comme une forme énergétique de lumière pure au lieu d'une lumière réfléchie par un objet. Les couleurs sont fabriquées à l'aide d'un spectre. Le spectateur peut voir une couleur de l'œil gauche et une couleur de l'œil droit et le processus se crée dans le cerveau pour produire une image de couleur cohérente.







© Les travaux de Fred Unterseher

7.1.6. EDUARDO KAC

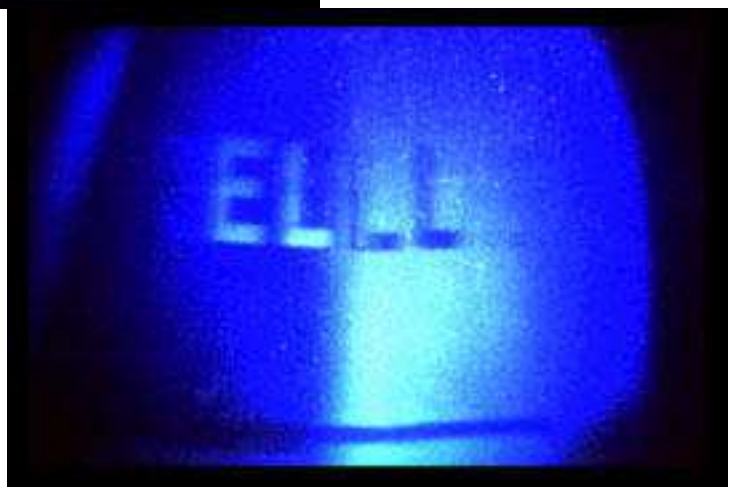
Le langage joue un rôle fondamental dans le travail d'Edouardo Kac. C'est sa source d'inspiration.

Edouardo Kac nous montre une autre façon d'aborder les mots, la lecture, le langage [66]. En effet, il a créé le concept « Poème holographique » ou « Holopoems ».

Des mots (essentiellement des hologrammes numériques) sont projetés dans le vide. Le spectateur peut alors, mentalement, assembler les mots entre eux pour construire des phrases. Les mots se transforment, bougent dans le milieu tridimensionnel, changent de couleur, fusionnent et disparaissent. Ainsi, la phrase construite change en fonction de son évolution dans le temps. À noter que le spectateur peut circuler librement.

Cela signifie qu'en fonction de votre positionnement dans l'espace 3D, vous ne voyez pas la même chose que votre voisin, donc que vous lisez une phrase différente. Cette technique est à la fois un langage visuel et une image verbale.

L'utilisation de l'ordinateur et de l'holographie a permis à Kac d'aller au-delà de cette rigidité et cette linéarité caractérisées par du texte imprimé sur papier.

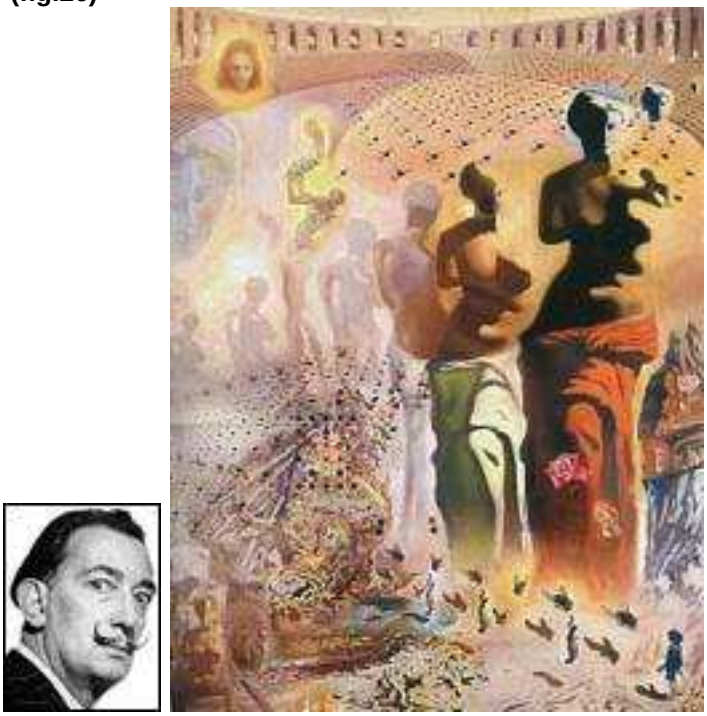


© Les travaux de Eduardo Kac

Comme on peut le constater, les possibilités sont sans limites quand il s'agit d'art. La seule limite reste sans doute celle de la créativité.

L'intégration de l'holographie dans l'art ne date pas d'aujourd'hui. Il y a, bien sûr, Salvador Dali qui, en quête de la quatrième dimension, appliquait parfois à ses sujets les procédés de l'holographie et de la stéréoscopie, auxquels l'a conduit son intérêt pour l'illusion du relief (cf.fig.26).

(fig.26)

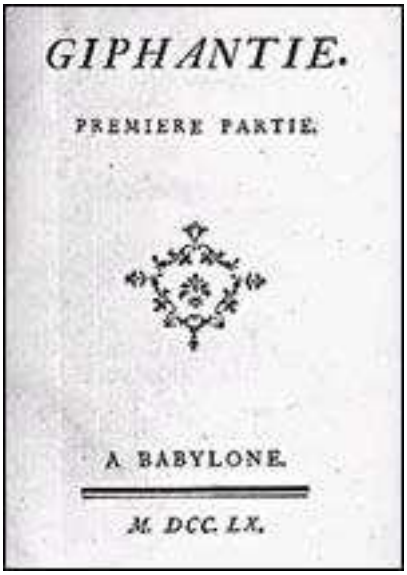


© Salvador Dali
Le Toréo hallucinogène, une interprétation surréaliste du thème de la Vénus

Mais l'histoire de l'art nous fait remonter dans le temps jusqu'en 1761 (bien avant la découverte du Dr Gabor) à la rencontre d'un certain Tiphaigne de la Roche.

Charles-François Tiphaigne de la Roche (1722-1774), docteur en médecine né en France dans le Cotentin, était aussi un auteur utopiste et contre-utopiste. Visionnaire, il a anticipé de nombreuses inventions sociales ou scientifiques comme la nourriture synthétique, la télévision et aussi la photographie [55].

7.2. GIPHANTIE


GIPHANTIE.

PREMIERE PARTIE.

A BABYLONE.

M. DCC. LX.

Dans son livre, publié en 1760 sous le titre de "Giphantie" [56], on trouve la description d'un art reproduisant non seulement les images, mais aussi les couleurs. Sa description est souvent associée à la photographie, jadis décrite comme l'art de produire et fixer les images des objets par l'action de la lumière sur certaines substances.

Je m'interroge. Est-ce la photographie qu'il décrit ou plutôt l'holographie ? De nombreux points de sa description évoquent l'holographie telle qu'on la connaît aujourd'hui.

Voici l'extrait de sa description de cet art [57].
En 1761, Tiphaigne de la Roche écrit cette fiction:

> « *Je fus frappé, écrit le voyageur, d'un spectacle qui me causa bien de l'étonnement. J'aperçus par une fenêtre une mer qui ne me parut éloignée que de 2 ou 3 stades. L'air, chargé de nuages, ne transmettait que cette lumière pâté qui annonce les orages ; la mer, agitée, roulait des collines d'eau et ses bords blanchissaient de l'écume des flots qui se brisaient sur le rivage.*
>
> *Par quel prodige, m'écriai-je, l'air serein il n'y a qu'un instant, s'est-il subitement obscurci ? Par quel autre prodige trouvai-je l'Océan au centre de l'Afrique ?*
>
> *En disant ces mots je courus avec précipitation pour convaincre mes yeux d'une chose si invraisemblable. Mais en voulant mettre ma tête à la fenêtre, je heurtai contre un obstacle qui me résista comme un mur. Etonné par cette secousse, plus encore par tant de choses incompréhensibles, je reculai cinq ou six pas en arrière.*
>
> *"Ta précipitation cause ton erreur, me dit le préfet ; cette fenêtre, ce vaste horizon, ce nuage épais, cette mer en furie, tout cela n'est qu'une peinture." D'un étonnement, je ne fis que passer à un autre.*
>
> *Je m'approchai avec un nouvel empressement ; mes yeux étaient toujours séduits et ma main put à peine me convaincre qu'un tableau m'eût fait illusion à ce point.*
>
> *Les "esprits élémentaires" poursuivit le préfet, ne sont pas si habiles peintres qu'adroits physiciens ; tu vas en juger par leur manière*

d'opérer. Tu sais que des rayons de lumière réfléchis des différents corps font tableau et peignent ces corps sur toutes les surfaces polies, sur la rétine de l'œil, par exemple, sur l'eau, sur les glaces.

Les "esprits élémentaires" ont cherché à fixer ces images passagères ; ils ont composé une matière très subtile, très prompte à se dessécher et à se durcir, au moyen de laquelle un tableau est fait en un clin d'œil. Ils enduisent de cette matière une pièce de toile et la présentent aux objets qu'ils veulent peindre. Le premier effet de la toile est celui du miroir. On y voit tous les corps voisins et éloignés dont la lumière peut apporter l'image. Mais ce qu'une glace ne saurait faire, la toile au moyen de son enduit visqueux, retient les simulacres.

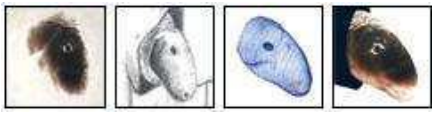
Le miroir vous rend fidèlement les objets, mais n'en garde aucun. Nos toiles ne les rendent pas moins fidèlement et les gardent tous. Cette impression des images est l'affaire du premier instant où la toile les reçoit. On l'ôte sur-le-champ, on la place dans un endroit obscur.

Une heure après, l'enduit est desséché et vous avez un tableau d'autant plus précieux qu'aucun art ne peut en imiter la vérité et que le temps ne peut en aucune manière l'endommager. La précision du dessin, la vérité de l'expression, les touches plus ou moins fortes, la gradation des nuances, les règles de la perspective, nous abandonnons tout cela à la nature qui, avec cette marche sûre qui jamais ne se démentit, trace sur nos toiles des images qui en imposent aux yeux et font douter à la raison si ce qu'on appelle réalités ne sont pas d'autres espèces de fantômes qui en imposent aux yeux, à l'ouïe, au toucher et à tous les sens à la fois.

"L'esprit élémentaire" entra ensuite dans quelques détails physiques ; premièrement sur la nature du corps gluant qui intercepte et garde les rayons ; secondement, sur les difficultés de le préparer et de l'employer ; troisièmement, sur le jeu de la lumière et de ce corps desséché ; trois problèmes que je propose aux physiciens de nos jours et que j'abandonne à leur sagacité. »

Charles-François Tiphaigne de la Roche

8/ RECHERCHES ET EXPÉRIMENTATIONS ARTISTIQUES EN IMAGES NUMÉRIQUES À BASE D'INTERFÉRENCES



CONCEVOIR DES PERSONNAGES TRIDIMENTIONNELS GRÂCE AUX ILLUSIONS VISUELLES ISSUES DES FRANGES D'INTERFÉRENCE VOLONTAIREMENT PERTURBÉES

« Est-ce donc sans intention que Dieu nous a donné les yeux ? Est-ce donc sans intention qu'il a mis en eux un principe de vie si puissant et si subtil, qu'ils vont chercher au loin les objets visibles pour s'en former des images ?[...] [58]»

Flavius Arrien
Historien et philosophe grec

8.1. LA CAPACITÉ À CONCEVOIR DANS L'ABSTRACTION

Le sens de la vue est le plus merveilleux des instruments d'observation. Le fonctionnement de l'œil peut être comparé à un appareil photographique. L'avant de l'œil, formé de la cornée et du cristallin, serait l'objectif, et la rétine la pellicule [59].

Tout comme l'appareil de photo, l'œil fait automatiquement certains réglages pour s'adapter aux conditions extérieures. Par exemple, la pupille se rétrécit quand la luminosité est trop forte et s'agrandit quand la lumière est de faible intensité. L'œil fait aussi une mise au point en fonction de la distance afin qu'une image soit nette sur la rétine. L'image qui se forme alors sur la rétine fait réagir des cellules nerveuses qui vont transformer les ondes lumineuses en influx nerveux. Ce dernier est transporté directement au cerveau par le nerf optique. C'est tout ce processus qui nous permet de voir en profondeur, de situer un objet dans l'espace, de percevoir l'ombre et la lumière, etc.

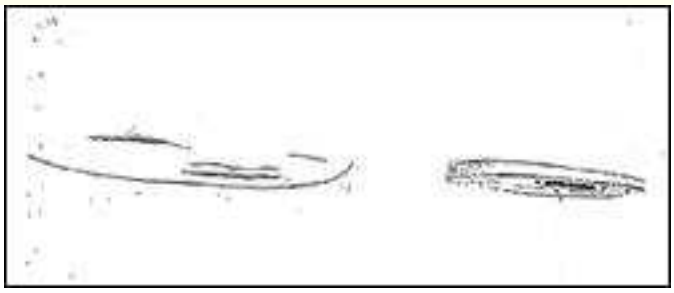
L'œil étant continuellement en mouvement, le cerveau est donc en permanence informé sur l'ensemble d'une image formée sur la rétine. Lorsqu'une partie de l'image disparaît, le cerveau est en mesure alors, par des mécanismes cérébraux automatiques, de compenser ce qui n'est pas visible par du contenu imagé le plus proche, le plus connu ou le plus simple. Cela peut donner lieu à des illusions visuelles [60].

Ces illusions sont souvent ambiguës et parfois oscillent entre deux ou plusieurs perceptions. On voit, en alternance, une image ou une autre. Ces illusions dépendent aussi de l'apparence d'une chose qu'on observe, de l'harmonie qu'elle dégage, de la sympathie ou de l'antipathie qu'elle provoque. Tout ceci contribue à une formidable source d'inspiration [58]. Ensuite l'imagination apporte à l'esprit, des visions, des images, des scènes, etc.

Depuis longtemps les illusions visuelles ont joué un rôle important dans l'art. À l'époque de la Grèce antique, les illusions liées à la perspective étaient utilisées dans l'architecture. La notion de la perspective dans la peinture est venue beaucoup plus tard [61]. De nombreux artistes ont incorporé des illusions visuelles dans leur œuvres.

Léonard De Vinci, par exemple, énonce les principes de la perspective dans ses « carnets », ainsi que l'anamorphose, dessin d'un objet apparaissant déformé mais qui, vu sous un certain angle ou par l'intermédiaire d'un système optique, reprend un aspect non déformé.

(fig.27)
Anamorphose d'un visage d'enfant et d'un œil (1485, Codex Atlanticus). À regarder depuis la droite du dessin, en regard frisant.



Le principe de l'anamorphose

Il est opportun aussi de signaler une des œuvres de Léonard De Vinci : « Le Traité de la Peinture » [62]. C'est un ouvrage théorique dans lequel il montre que la peinture est régie par des règles et des principes, à l'instar des mathématiques.

Victor Vasarely est un autre artiste utilisant les illusions visuelles. Peintre et spécialiste des effets cinétiques, son travail se spécialise sur des déviations de lignes ou des déformations de surfaces régulières, créant ainsi des illusions de formes ou de volume. Pour lui, l'art est une expérimentation de formes et de couleurs scientifiquement contrôlables [63].

Parmi ses œuvres on retrouve la série « Denfert » (cf.fig.28), du nom de la station de métro Denfert-Rochereau où les carreaux de faïence fêlés lui procurent une des images.

(fig.28)
« Denfert » ©1998 Artists Rights Society (ARS), N.Y. / ADAGP, Paris

Il y a aussi « Crystal-Gordes » (cf.fig.29), inspiré de l'intersection de l'ombre et de la lumière sur des bâtiments ou des fenêtres.

(fig.29)
« Crystal-Gordes »
©1998 Artists Rights Society (ARS), N.Y. / ADAGP, Paris

Le non moins célèbre Salvador Dali s'est intéressé à la création d'œuvres surréalistes, œuvres dans lesquelles sont cachés des visages, des corps, etc. Les œuvres les plus représentatives de cet art de l'illusion sont « Mae West », ou encore « Marché d'esclaves avec apparition du buste invisible de Voltaire » [64].

(fig.30)
Mae West

(fig.31)
Marché d'esclaves avec apparition du buste invisible de Voltaire

Les illusions visuelles présentent donc un intérêt réel, allant au delà de la simple curiosité. Elles ont des conséquences pratiques relativement importantes notamment dans les arts décoratifs, dans l'architecture, dans la conception des objets et même dans la mode. Alors, pourquoi pas dans la 3D ?

J'ai donc imaginé une approche de travail qui consiste à percevoir des illusions visuelles dans des interférences produites par l'ombre et la lumière. Pour cela j'utilise les principes de l'holographie « optique » pour créer des franges d'interférence de lumière afin d'obtenir des illusions.

Le principe est assez simple. Il offre à la fois beaucoup plus de liberté dans la création et beaucoup moins de contraintes techniques. J'utilise ici un dispositif holographique de type Denisyuk, c'est-à-dire par réflexion. On verra ultérieurement les raisons de ce choix et les conditions de mise en œuvre, mais je vais vous expliquer, à présent, mon objectif : dans quel but je cherche à obtenir des illusions visuelles et comment les obtenir.

L'holographie ne se limite pas à la confection d'hologrammes. On a vu déjà de nombreuses applications industrielles actuelles et futures. Il y a aussi l'art holographique qui offre une palette de possibilités et c'est dans ce secteur que je veux évoluer en y apportant ma contribution.

On peut comparer l'holographie à un arbre couvert de feuilles. Le tronc représente la technique de l'holographie et les feuilles sont les artistes holographes. Les feuilles dépendent du même arbre mais sont toutes différentes et on peut découvrir aussi de nouvelles feuilles qui émergent. Chaque artiste apporte un nouveau concept d'art holographique fondé sur son aptitude, son expérience et sa passion. Bien évidemment, l'holographie reste le point commun.

Mes recherches et expérimentations consistent à présenter un autre concept d'art holographique qui se fonde :

- sur la faculté qu'a notre cerveau de combler ce qui n'est pas visible afin d'obtenir des illusions visuelles ;
- sur ma passion pour le dessin ;
- sur mon expérience dans la 3D et ma créativité artistique.

Mon objectif est de créer des personnages en image de synthèse et des textures en utilisant les principes de l'holographie. En résumé je me sers d'un dispositif holographique comme d'un outil pour concevoir des formes et des textures.

Rentrons, à présent, dans le vif du sujet pour voir l'élaboration de mon travail. Je vais développer les points suivants :

- Comment l'idée de déceler des illusions visuelles dans des interférences m'est-elle venue ?
- Pourquoi le choix d'un dispositif holographique par réflexion ?
- Toutes les étapes de la réalisation de mon travail.

CONCEVOIR DES PERSONNAGES TRIDIMENSIONNELS GRÂCE AUX ILLUSIONS VISUELLES ISSUES DES FRANGES D'INTERFÉRENCE VOLONTAIREMENT PERTURBÉES

8.1.1. L'ORIGINE DE L'IDÉE

Ma première expérience pratique de l'holographie se fit au Palais de l'Univers Capelle la Grande à Dunkerque, lors d'un atelier d'initiation à la technique holographique proposé par l'Association Jeunes Sciences Nord.

Ce fut une expérience très enrichissante. J'ai pu créer mon premier hologramme. Néanmoins, à cause d'une double exposition du laser, mon film était devenu très sombre. On pouvait à peine distinguer l'objet holographié, une petite étoile entourée de rides circulaires – les franges d'interférence.

Cette double exposition s'est produite à la suite d'un bug informatique dans le programme conçu pour contrôler l'obturateur à distance. Par malchance, il s'est déclenché deux fois ! Il me vint alors l'idée de scanner l'hologramme pour l'éclaircir à l'aide d'un logiciel de retouche afin de mieux voir les interférences. Non seulement, les franges étaient plus visibles, mais elles offraient aussi une belle texture. Cependant, les franges formaient un assemblage de formes circulaires plutôt irrégulières donnant l'illusion d'un visage. L'illusion visuelle !

Dans ce cas précis, la double exposition en est la cause. Mais est-il possible de provoquer un résultat semblable lors de chaque enregistrement ?

Théoriquement oui. Cette double exposition est la conséquence d'une erreur informatique. Donc, d'une manière plus générale, on peut espérer obtenir un résultat plus « contrôlé » en créant volontairement des perturbations lors de l'étape de l'enregistrement et même lors du développement. Des perturbations telles que le bruit, des composants optiques défectueux, etc., me donneront le résultat que je recherche.

À noter que je ne cherche pas à créer des hologrammes, mais plutôt à les détruire en quelque sorte. Certes, étant donné que j'ai le matériel adapté, je peux aussi concevoir des hologrammes traditionnels pour le plaisir des yeux, mais la base de mon travail sera d'obtenir des déformations dans mes interférences.

Des déformations qui vont me permettre de mettre en pratique mon concept de l'art holographique :

- **En tirant avantage de la faculté qu'a notre cerveau de combler ce qui n'est pas visible afin d'obtenir des illusions visuelles :**
  Je produis une image mentale à partir des interférences enregistrées sur le film holographique.

- **Ma passion pour le dessin :**
  Une fois l'image définie, je commence à élaborer, sur papier, un personnage en 2D.

- **En utilisant mon expérience dans la 3D et ma créativité artistique :**
  Je me base sur le croquis 2D pour modéliser, en trois dimensions, mon personnage. Ensuite, place à la texture. Je scanne le film et, dans le logiciel de retouche d'image, j'adapte ma texture (les interférences) à mon modèle.

8.1.2. UN DISPOSITIF HOLOGRAPHIQUE PAR RÉFLEXION

L'holographie par réflexion est beaucoup plus simple à concevoir et surtout moins coûteuse, mais son principal atout est la possibilité de restituer un hologramme en lumière blanche. Ainsi cela me donne le choix, avec le même dispositif holographique :

- soit de créer mes interférences afin de les scanner ;
- soit d'avoir un hologramme traditionnel visible à tout moment et facilement transportable, contrairement à un hologramme par transmission qui ne peut être vu qu'avec un laser et dans l'obscurité.

8.1.3. RÉALISATION DU PROJET

Voyons ensemble, à présent, toutes les étapes nécessaires à la réalisation du projet :

- 1. Construction d'une chambre noire ;
- 2. Fabrication d'une table anti-vibration ;
- 3. Le dispositif holographique ;
- 4. Préparation des produits pour le développement ;
- 5. Création d'une interférence ;
    - Phase d'enregistrement,
    - Phase de développement,
- 6. Illusion visuelle ;
- 7. Elaboration 2D ;
- 8. Modélisation 3D ;
- 9. Préparation de la texture ;
- 10. Résultat final.

1. Construction d'une chambre noire

La chambre noire sera notre lieu de travail pour la phase d'enregistrement et de développement. Aucune source de lumière ne doit y pénétrer, sauf une lumière inactinique verte ou bleue (pour voir dans l'obscurité).

Ma chambre est très rudimentaire. La structure est composée d'une part de trois tables – dont deux sont mises à la verticale et la troisième utilisée comme table de travail – et d'autre part d'une étagère en bois démontée servant de support.

Une fois la structure prête, on recouvre tous les côtés d'un tissu noir, de préférence uni, mat et très épais.

2. Fabrication d'une table anti-vibration

On a vu combien les vibrations sont néfastes à la création d'un hologramme. Même si j'ai décidé de travailler avec des vibrations, néanmoins je veux pouvoir contrôler les émissions de bruits.

Il y a des vibrations en permanence autour de nous. Une voiture qui passe à quelques mètres, notre respiration et même les déplacements. On ne peut empêcher totalement des vibrations, mais on peut toutefois les atténuer à l'aide d'un support antivibratoire.

Une table professionnelle demande un investissement assez important (20 000€). On peut cependant fabriquer sa propre table pour quelques dizaines d'euros seulement !

Table d'optique avec technologie d'amortissement. Série ST-46-8. 120 cm x 180 cm

Voici comment fabriquer soi-même sa table anti-vibration avec :

- 1. Une chambre à air ;
- 2. Une plaque de béton ;
- 3. Du silicone ;
- 4. Une plaque de métal.

> 1. Tout d'abord, la **chambre à air** est posée sur le sol. Elle sert à amortir les vibrations et ne doit être gonflée que très légèrement.

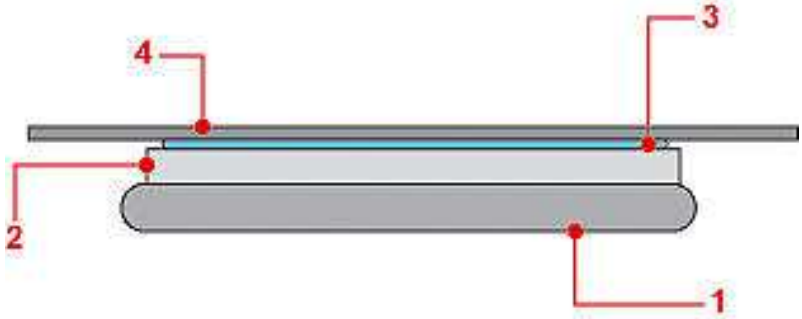
> 2. Une **plaque de béton**, suffisamment grande (en fonction du diamètre de la chambre à air) est posée sur la chambre.

> 3. Le **silicone** a aussi pour fonction d'atténuer les vibrations. Il est fixé sur le béton. Pour la plaque, un minimum de 3 tubes de silicone est nécessaire. Il faut bien laisser sécher.

> 4. Le dernier élément de la table est la **plaque de métal**. Elle permet de stabiliser tout le dispositif et sert aussi de planche de travail. Elle doit donc être suffisamment large afin d'accueillir tous les composants optiques. La plaque de métal est placée sur le béton, côté silicone.

La table anti-vibration*

1. Chambre à air
2. Plaque de béton
3. Silicone
4. Plaque de métal



* **N.B** : la chambre à air et les deux plaques ne sont pas fixées ensemble car cela rendrait la table trop rigide. En étant indépendant, chaque élément peut être déplacé individuellement et plus facilement.

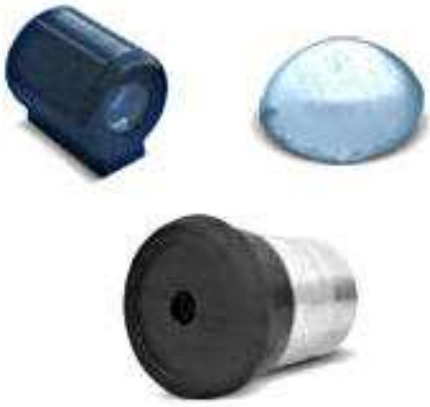
3. Le dispositif holographique

La table doit normalement être équipée des composants nécessaires, c'est-à-dire :

- **Un laser :**
  Laser Hélium Néon de 10mW munie d'une alimentation.

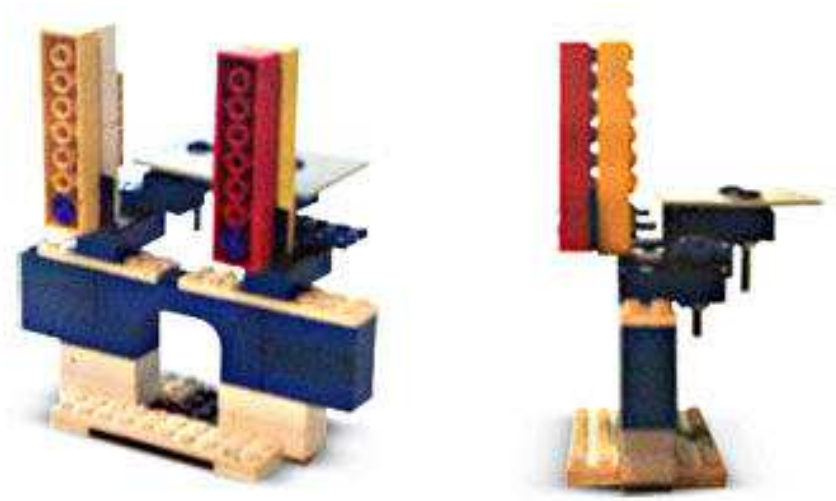
Le laser est monté sur une base en Legos pour faciliter le réglage de la hauteur.

- **Une lentille divergente :**
  Pour faire des hologrammes traditionnels, l'utilisation d'une lentille de microscope (x40, x60) est fortement recommandée, mais pour les besoins de mon projet, je me suis équipé de plusieurs types de lentilles afin d'obtenir des résultats différents.



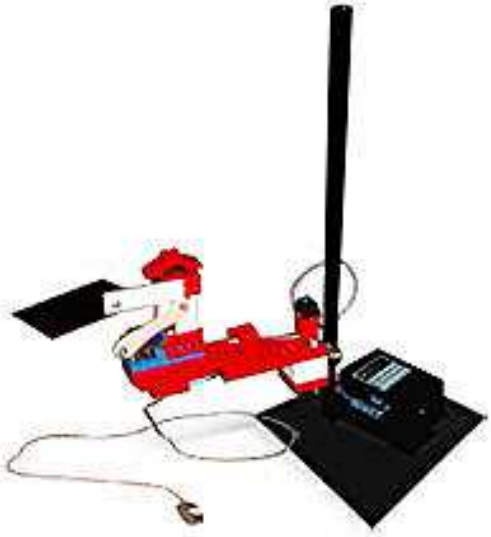
Un support à soudure servant de support pour la lentille.

- **Support pour le film holographique et l'objet :**
  Un support entièrement fait à partir des Legos.



- **L'obturateur :**
  L'obturateur est un électroaimant provenant d'un magnétoscope alimenté par le transformateur d'une lampe halogène.

Encastré dans une structure à base de Legos, le circuit est facilement réglable en hauteur et longueur. Il est également contrôlable à distance grâce à un long câble relié à un interrupteur.



Le tout est disposé ainsi sur la table* :

* **N.B** : L'utilisation des Legos dans le dispositif s'avère bien pratique car ils sont très malléables et adaptables à plusieurs situations.

4. Préparation des produits pour le développement

La préparation des produits nécessite le mélange de plusieurs substances chimiques, à faible toxicité mais tout de même toxiques. Il est donc conseillé de prendre quelques précautions. Lors du mélange, toujours utiliser un gant, un tablier, un masque anti-poussière et des lunettes de protection.

Voyons, en détail, les produits nécessaires :

Catéchol

Ce produit est néfaste pour le système nerveux. Il irrite sévèrement la peau, les yeux et les muqueuses. Une intoxication peut affecter le foie et les reins.

Bichromate de potassium

Ce produit toxique est aussi un oxydant. Le contact avec la peau provoque une brûlure chimique entraînant un ulcère. Il est aussi cancérigène. À manier avec délicatesse et surtout avec des gants ! Ne jamais jeter ce produit à la poubelle. Le mieux est de le verser dans le lavabo en laissant couler beaucoup d'eau.

Soude

Ce produit est néfaste pour le système nerveux. Il irrite sévèrement la peau, les yeux et les muqueuses. Une intoxication peut affecter le foie et les reins.

Urée

Ce produit peut irriter les yeux et la peau.

Sulfite de sodium

Ce produit est néfaste pour le système nerveux. Il irrite sévèrement la peau, les yeux et les muqueuses. Une intoxication peut affecter le foie et les reins.

Acide ascorbique

Ce produit peut irriter les yeux et la peau.

Bisulfate de sodium

Ce produit est néfaste pour le système nerveux. Il irrite sévèrement la peau, les yeux et les muqueuses. Une intoxication peut affecter le foie et les reins.

Le mélange des produits

Nous aurons besoin de trois bouteilles d'un litre en plastique ou en verre. Étiquetez-les ainsi : **A**, **B** et **C**.

Pour développer les films holographiques, on aura besoin d'eau déminéralisée, d'un révélateur, d'un produit de blanchiment et d'un agent mouillant.

- **Eau déminéralisée**

  L'eau du robinet peut aussi être utilisée, mais généralement elle contient du fluor et d'autres impuretés qui peuvent altérer la qualité du résultat. L'eau déminéralisée ne contient aucun produit chimique.

- **Le révélateur**

Le révélateur est en deux parties. **A** et **B** doivent être préparés séparément.

Voici la composition de la partie **A**.
Bien mélanger dans un récipient puis verser dans la bouteille « A » et fermer.

A

Eau déminéralisée	1 Litre
Catéchol	20 g
Acide ascorbique	10 g
Sulfite de sodium	10 g
Urée	75 g

Voici la composition de la partie **B**.
Bien mélanger dans un récipient puis verser dans la bouteille « B » et fermer.

B

Eau déminéralisée	1 Litre
Soude	60 g

- **Le blanchiment**

Voici la composition de la partie **C**.
Bien mélanger dans un récipient puis verser dans la bouteille « C » et fermer.

C

Eau déminéralisée	1 Litre
Bichromate de potassium	5 g
Bisulfate de sodium	80 g

- **L'agent Mouillant - Kodak Photoflo**

  Ce produit est optionnel et peut facilement être trouvé dans le commerce. Il diminue les traces d'eau sur le film et permet un séchage uniforme et rapide.

Sur la table de travail, disposer dans l'ordre cinq récipients suffisamment larges pour y plonger les films :

A & B	Eau	C	Eau	Photoflo
récipient 1	**récipient 2**	**récipient 3**	**récipient 4**	**récipient 5**

Récipient 1 : Verser, à parts égales, les produits **A** et **B**. Suffisamment pour couvrir totalement le film. Une fois mixés, **A** et **B** peuvent servir pour plusieurs films et durent plusieurs heures.

Récipient 2 : Verser un litre d'eau déminéralisée. Ceci servira pour le rinçage du film.

Récipient 3 : Verser suffisamment de produit **C**.

Récipient 4 : Verser un litre d'eau déminéralisée. Ceci servira pour le rinçage du film.

Récipient 5 : Mélanger un litre d'eau déminéralisée à un millilitre d'agent mouillant.

La préparation est maintenant terminée. Passons à la phase d'enregistrement.

5. Création d'une interférence

« Phase d'enregistrement »

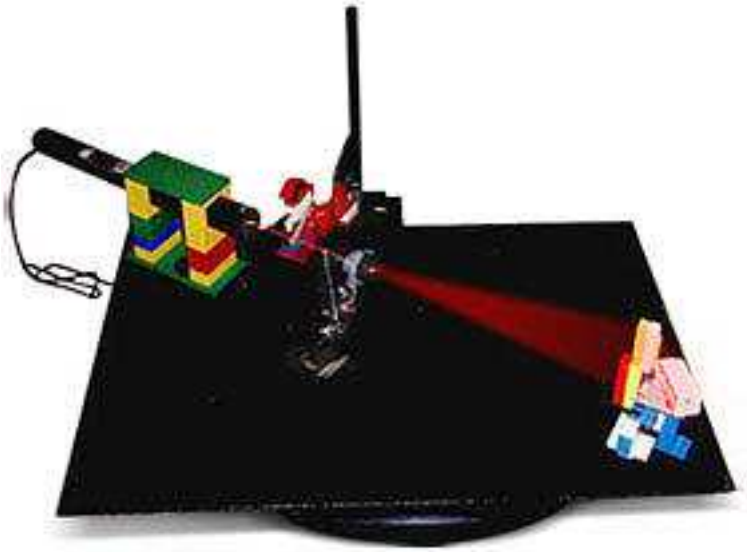
Avant de commencer l'enregistrement, des petits réglages s'imposent :

- Laisser chauffer le laser pendant une quinzaine de minutes ;
- L'obturateur doit être à l'arrêt ;
- Aucune lumière ne doit y pénétrer ;
- Le faisceau laser, après avoir traversé la lentille, doit recouvrir l'ensemble de l'objet. Pour cela il suffit de rapprocher ou d'éloigner la lentille du tube laser.

La phase d'enregistrement peut commencer. Le film et l'objet sont placés sur leur support respectif. L'émulsion doit être du côté de l'objet. (le film possède un côté gélatineux, une émulsion réceptive à la lumière rouge. Le côté où se trouve l'émulsion est légèrement collant.)

Pour un hologramme traditionnel, il est recommandé d'être dans une autre pièce lors de l'enregistrement, mais pour mes expérimentations cet aspect est optionnel. Cela dépend de l'intensité des perturbations qu'on veut enregistrer. La présence, la respiration et les mouvements causés lors du réglage perturbent l'air ambiant qui, à son tour, va perturber l'enregistrement.

L'obturateur est déclenché durant 10 secondes (le temps d'exposition varie. L'expérimentation de plusieurs temps d'exposition donne des résultats différents.). Les franges d'interférence sont enregistrées sur le film.



« Phase de développement »[*]

A & B 2 mins	Eau 20 sec	C 1 min ou -	Eau 20 sec	Photoflo 20/60 sec
1	**2**	**3**	**4**	**5**

- **1.** Plonger le film dans le révélateur « **A&B** » pendant deux minutes. Quand on remue très légèrement le récipient, le révélateur agit uniformément sur toute la surface du film. Le film devient opaque (la face de l'émulsion doit être tournée vers le haut pour éviter tout risque de frottement avec le fond du récipient).

- **2.** Rincer le film dans l'eau déminéralisée, en agitant bien, pendant 20 secondes (jusqu'à trois minutes pour un meilleur résultat).

- **3.** Plonger le film dans le bain de blanchiment « **C** ». Le bain a pour fonction de blanchir le film en le rendant transparent (pour l'hologramme traditionnel). Dans notre cas, il est très important d'arrêter ce processus de blanchiment avant la transparence totale. C'est durant la transformation entre l'état « opaque » et l'état « transparent » que l'illusion visuelle se forme à travers des rides de couleur noire ou marron. Le nombre de secondes dans le bain peut varier d'une minute à quelques secondes. Libre à vous d'expérimenter.

- **4.** Rincer le film dans l'eau déminéralisée, en agitant bien, pendant 20 secondes (jusqu'à trois minutes pour un meilleur résultat).

- **5.** Placer le film dans l'agent mouillant « photoflo » pendant 20 à 60 secondes. Ensuite, retirer et faire sécher totalement avec un sèche-cheveux.

Voici le résultat :

[*] **N.B** : Des gants sont indispensables pour cette étape ! Il n'y a pas de phase de restitution (comme pour un hologramme traditionnel) car il n'y a aucun hologramme qui apparaît !

On a vu précédemment le processus utilisé pour créer un hologramme traditionnel (de type réflexion). Le dispositif ne diffère que de peu. Voici un récapitulatif de ce qu'on a vu, avec toutes les étapes – de la chambre noire à la restitution :

- **1.** La chambre noire
- **2.** La table antivibratoire
- **3.** Le dispositif holographique
    - Un laser hélium Néon entre 8 et 10 mW
    - Une lentille de microscope (x40 / x60)
    - Un miroir réfléchissant face avant (si la table n'est pas assez grande)
    - Un support pour le film et l'objet
- **4.** Préparation des produits pour le développement
- **5.** Création de l'hologramme

  « Phase d'enregistrement »

  - Le faisceau laser doit recouvrir l'ensemble de l'objet à holographier
  - Placer le film
  - Sortir de la chambre et laisser atténuer les vibrations (environ 15 minutes)
  - Déclencher l'obturateur (environ quatre à six secondes en fonction de la puissance du laser (il vaut mieux faire des essais afin de déterminer le temps d'exposition idéal)

  « Phase de développement »

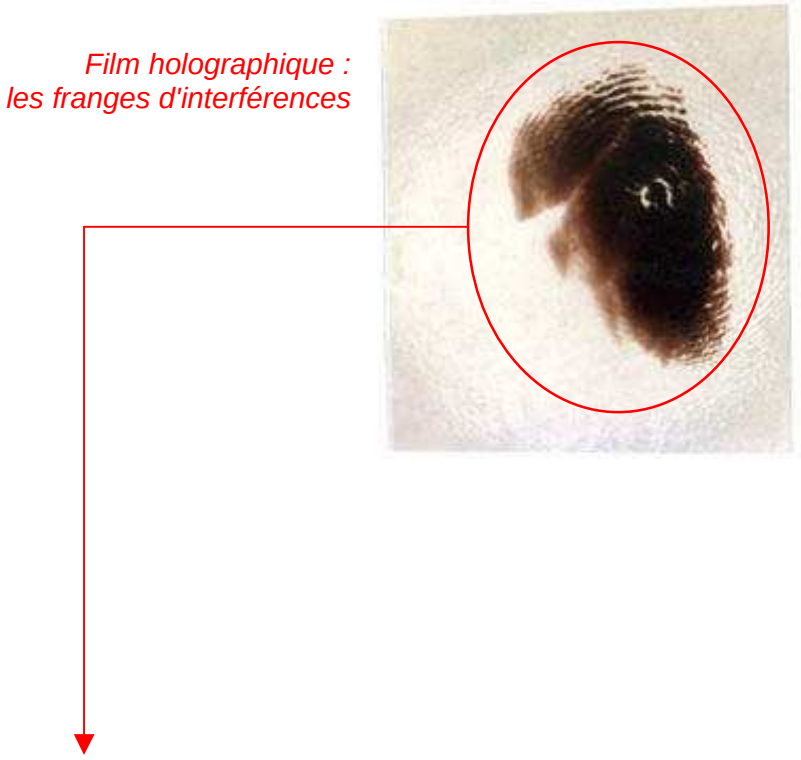
  - Rentrer dans la chambre et retirer le film
  - Plonger et remuer lentement pendant deux minutes dans le révélateur A&B (le film devient opaque)
  - Plonger et agiter pendant 20 secondes à trois minutes dans l'eau déminéralisée pour rincer (plus le rinçage est long et meilleur sera le résultat)
  - Plonger et agiter pendant deux minutes ou moins (jusqu'à ce que le film soit devenu transparent) dans le blanchiment "C"
  - Plonger et agiter de 20 secondes à trois minutes dans l'eau déminéralisée pour rincer (plus le rinçage est long et meilleur sera le résultat
  - Plonger doucement dans l'agent mouillant pendant 20 à 60 secondes et bien sécher à l'aide d'un sèche-cheveux.

  « Phase de restitution »

  - Éclairer le film avec une lampe ou une torche en respectant le même angle de lumière que lors de l'enregistrement. L'hologramme de l'objet holographié apparaît comme par magie !

6. L’illusion visuelle

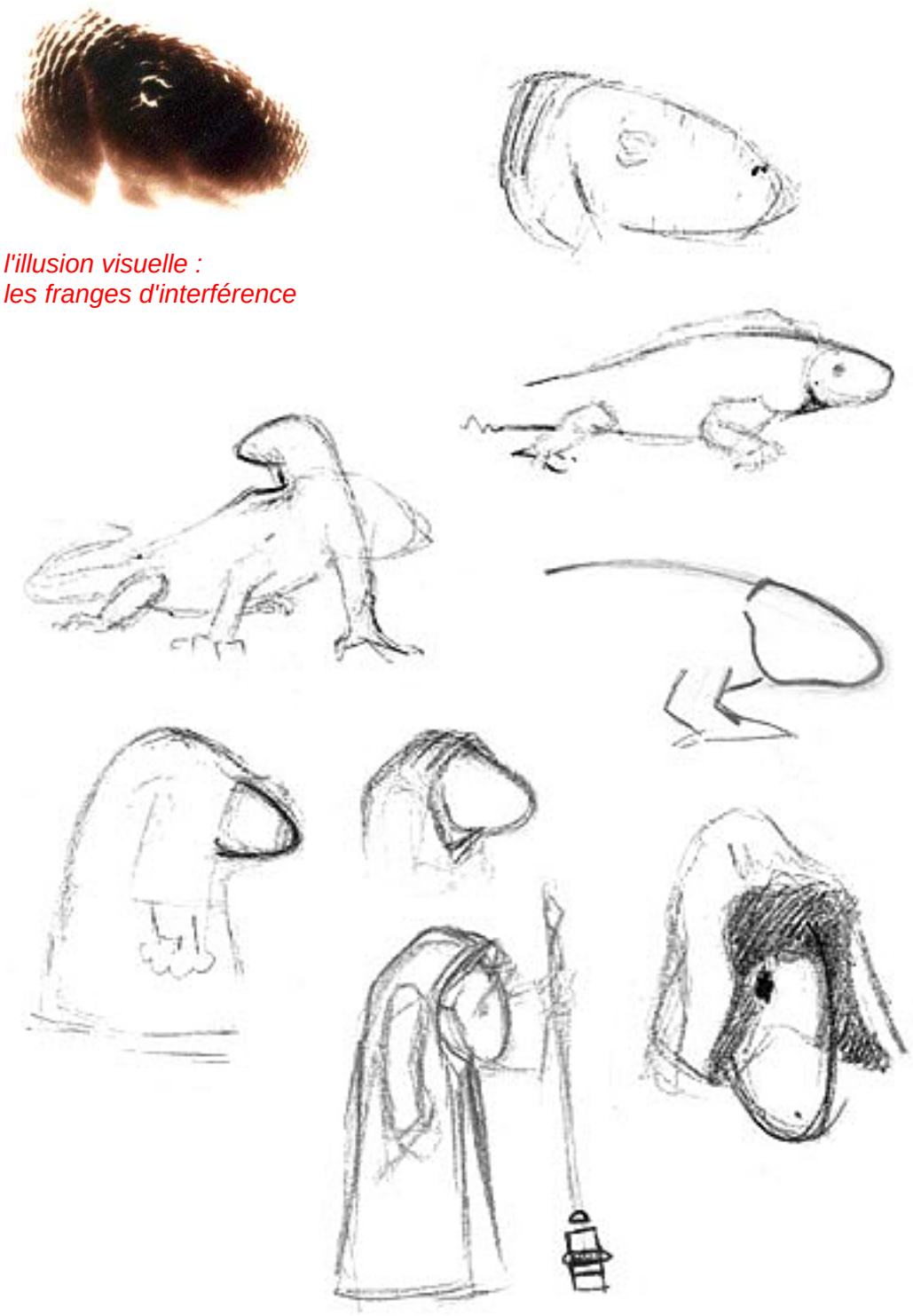
À partir de l’interférence obtenue, j’examine minutieusement le film afin de déceler une image cohérente, une forme.

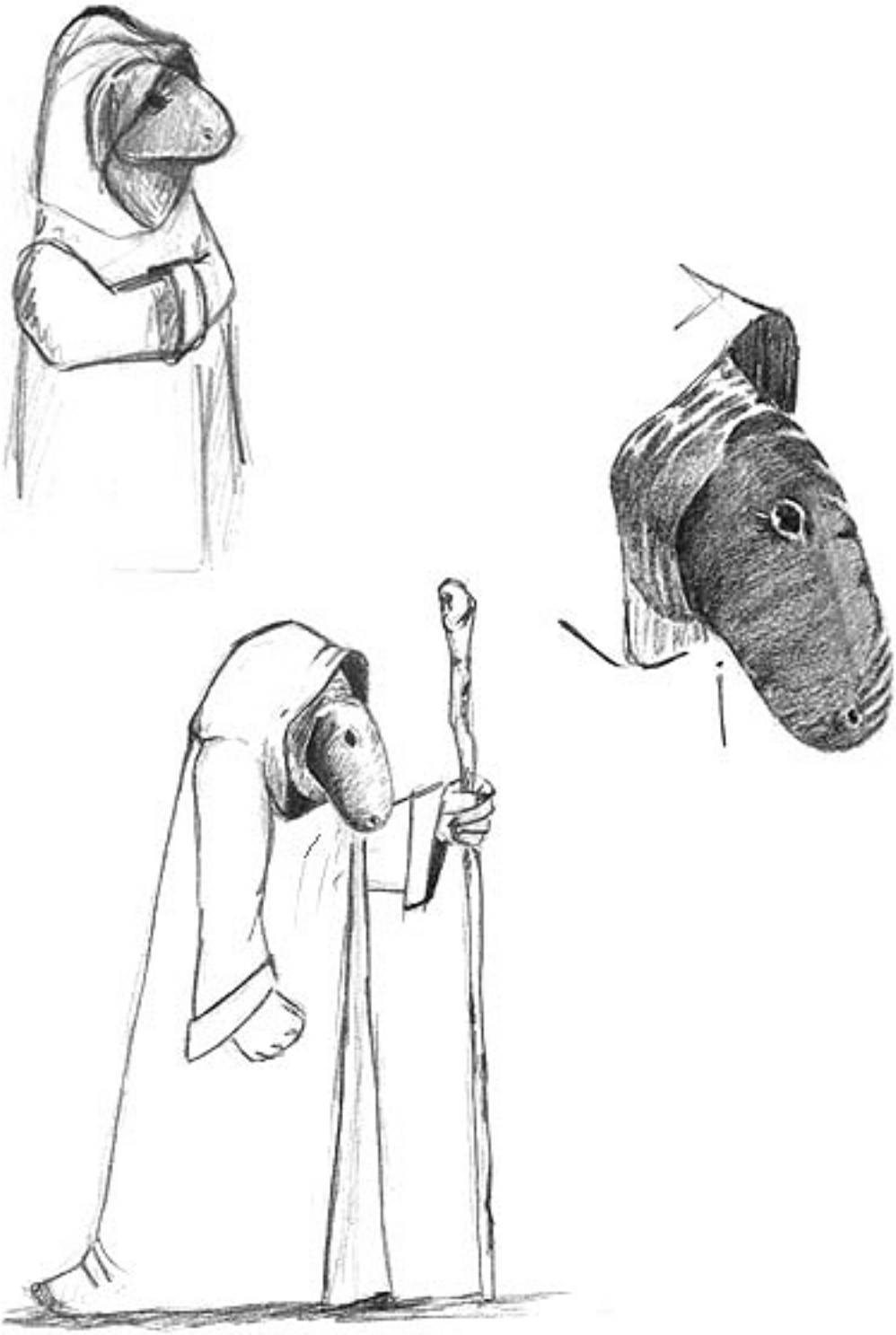


l'illusion visuelle

7. Élaboration 2D

À présent que la forme est définie, je commence à élaborer un personnage en 2D, sur papier, jusqu'à ce que je sois satisfait du résultat.





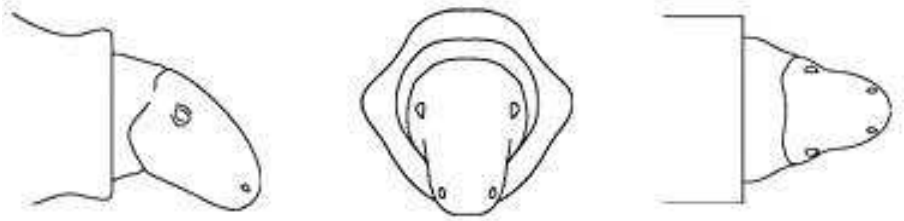
personnage 2D

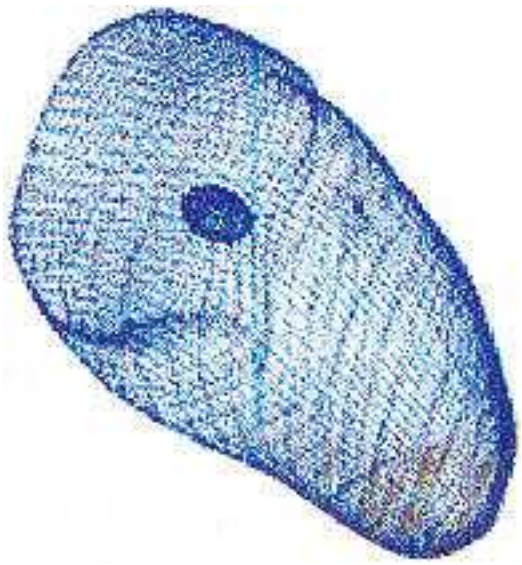
8. Modélisation 3D

Place à la 3D. J'utilise le logiciel MAYA pour la modélisation. En prenant référence sur mon personnage 2D et les vues orthographiques (profil, face, haut), je conçois le personnage en trois dimensions.

vue orthographique : croquis

vue orthographique : numérique





modélisation 3D

9. Préparation des textures

La modélisation étant terminée, il faut habiller le personnage d'une texture – en l'occurrence les franges d'interférence. Je scanne mon film holographique et à l'aide d'un logiciel de retouche d'image, Adobe Photoshop par exemple, j'adapte ma texture en fonction du personnage virtuel.

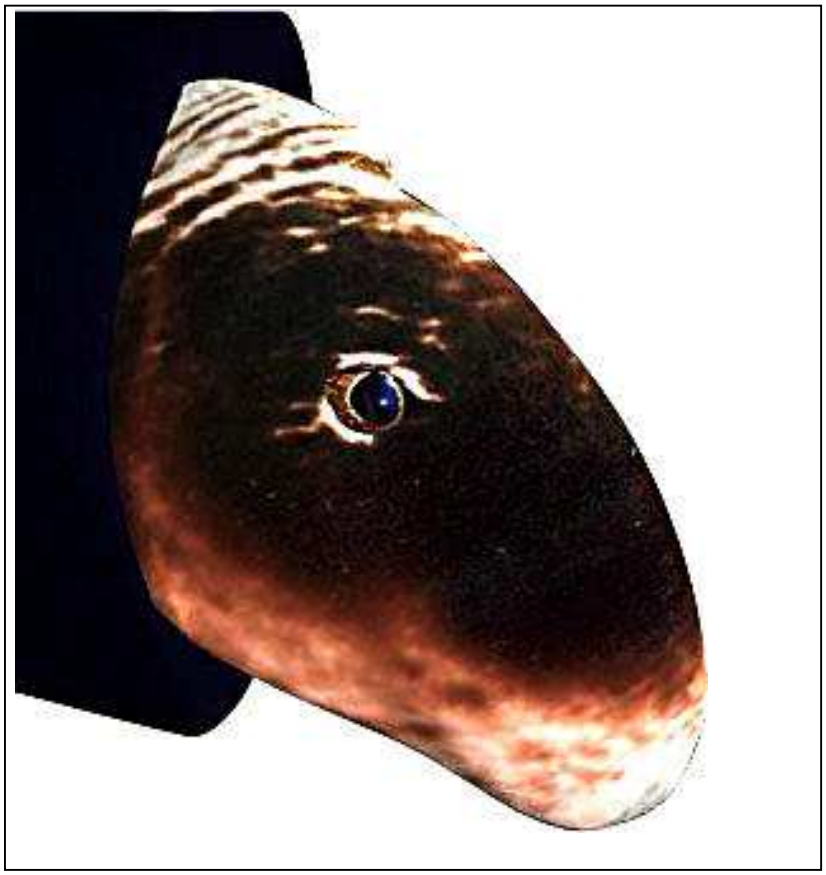
scanne de l'interférence

texture de l'œil

retouche de texture

10. Résultat final

Nous voici à la dernière étape . La texture est appliquée sur le modèle 3D. Après quelques tests de rendu pour régler la luminosité et l'angle de la caméra, voici le résultat final :

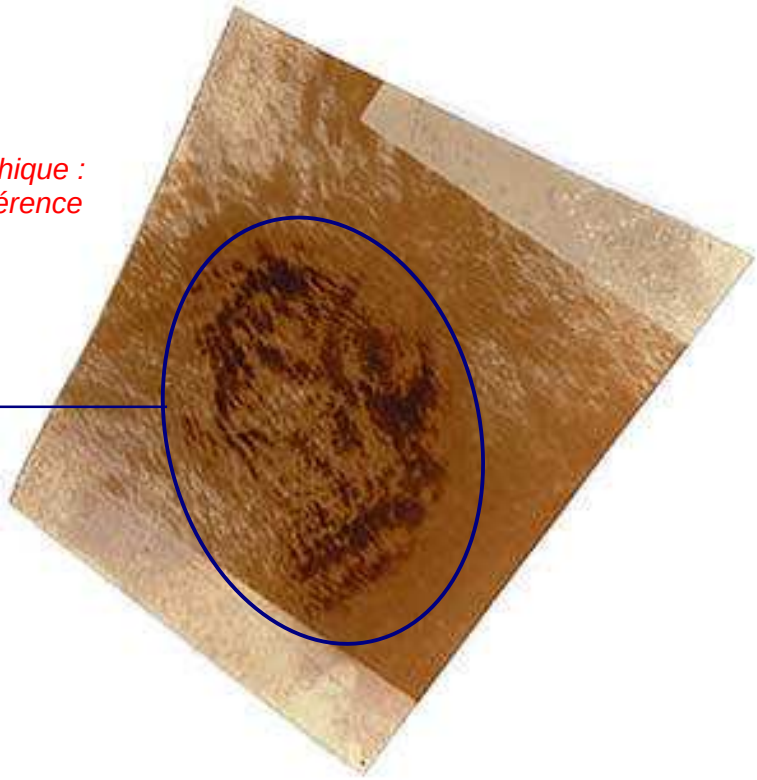


Modèle virtuel en 3 dimensions

8.1.4. D’AUTRES PERSONNAGES

X-OR: *1er personnage*

CONCEPTION DU PERSONNAGE



Film holographique :
les franges d'interférence

l'illusion visuelle

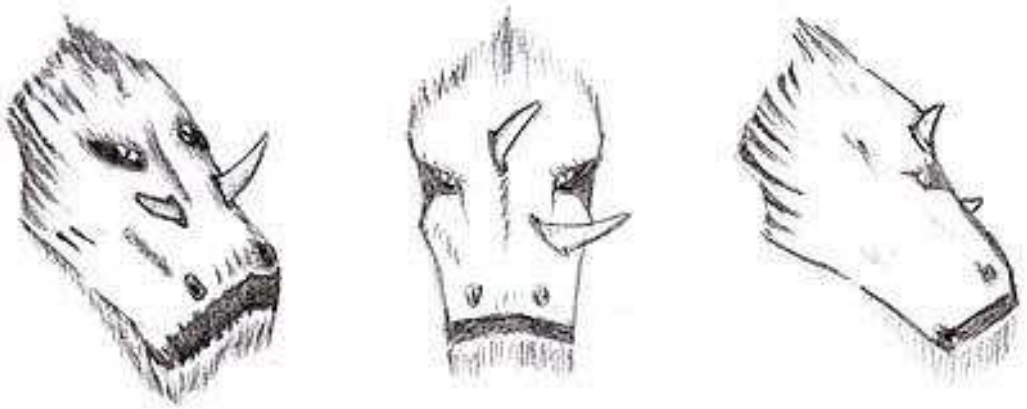
Élaboration d’un personnage en 2D à partir du visuel

l'illusion visuelle :
franges d'interférence

personnage 2D

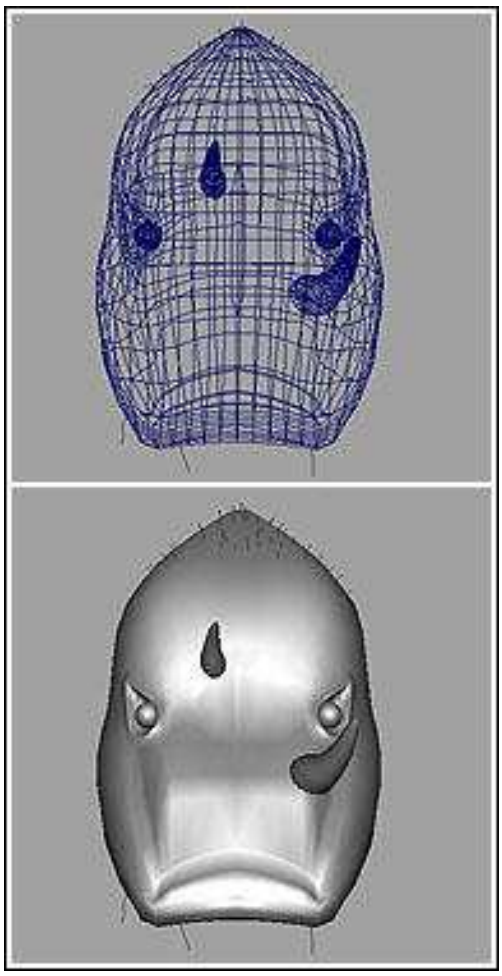
Modélisation 3D du personnage à partir du visuel 2D

vue orthographique

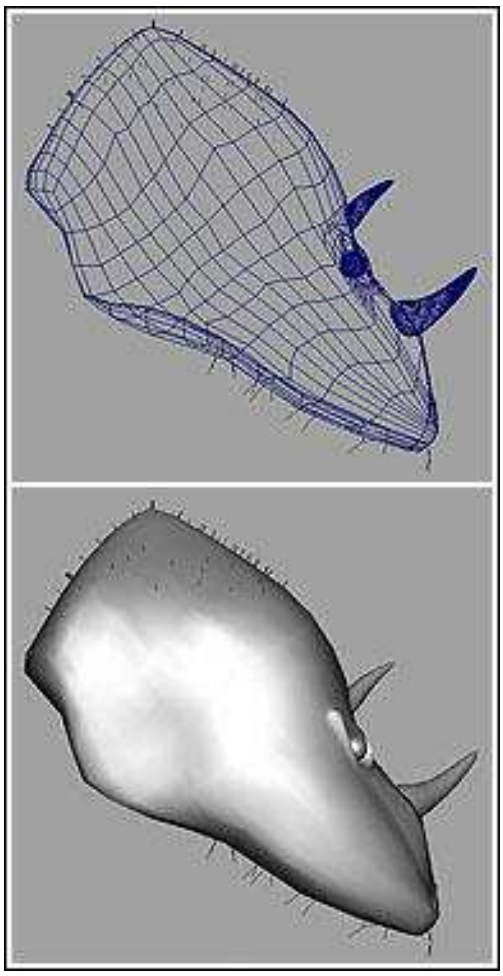


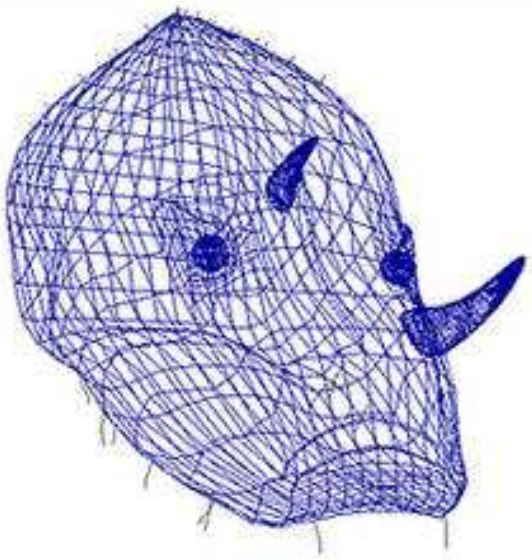
Logiciel : MAYA

vue de face

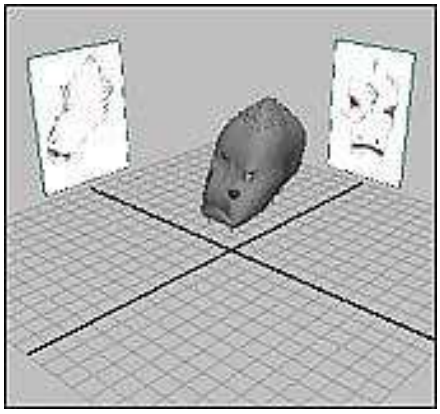


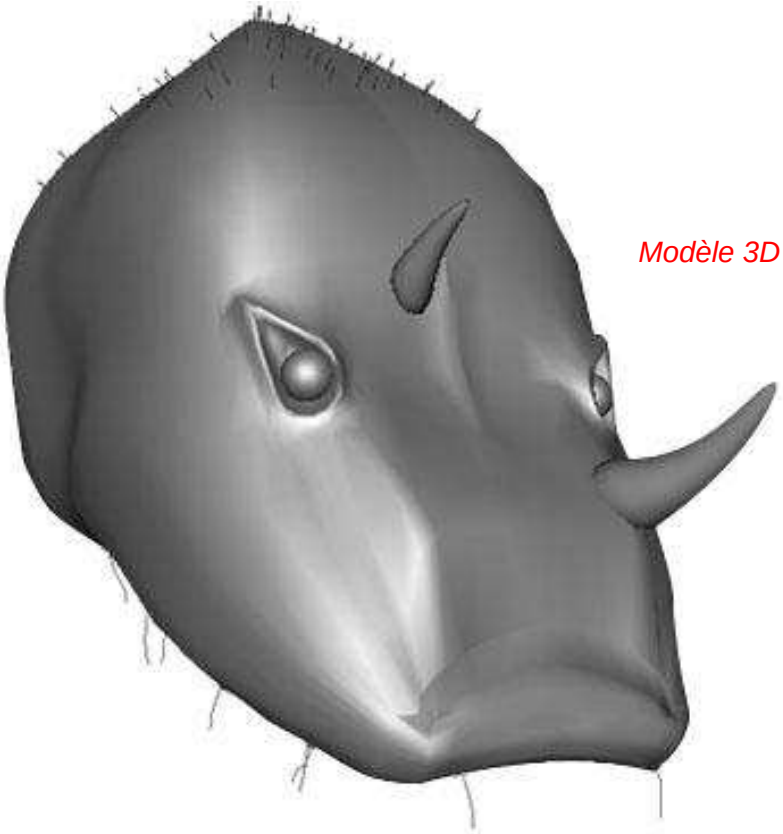
vue de profile





Wireframe

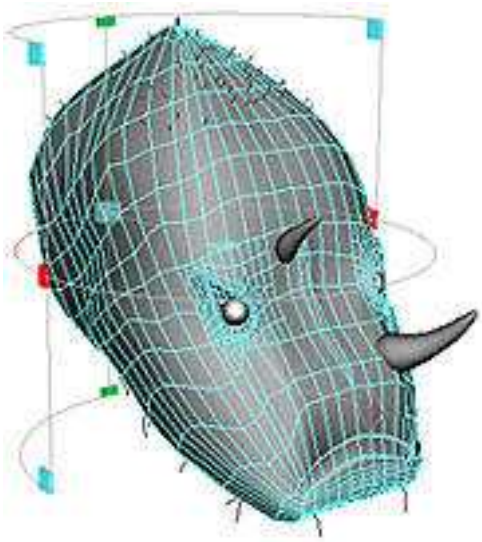




Modèle 3D

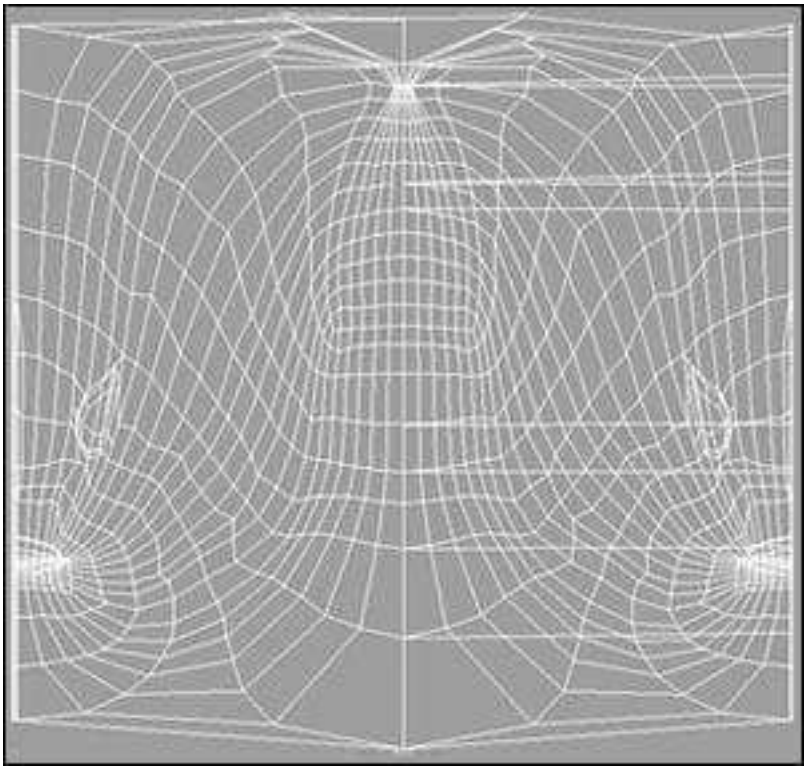
Préparation de la texture à partir des franges d'interférence

> *Développement de la tête dans le UV Texture Editor : Cylindrical Mapping*



Cylindrical Mapping

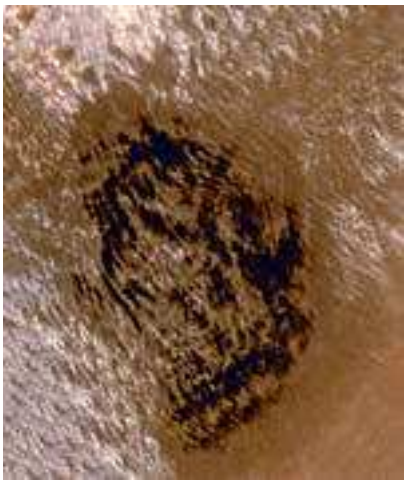
UV Texture Editor

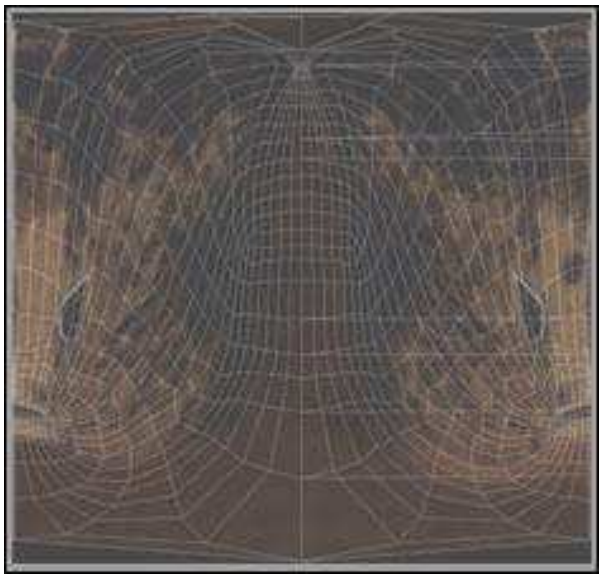


Texture UV : la forme 3D mise à plat

> *Texture de la tête : préparation dans Adobe Photoshop*

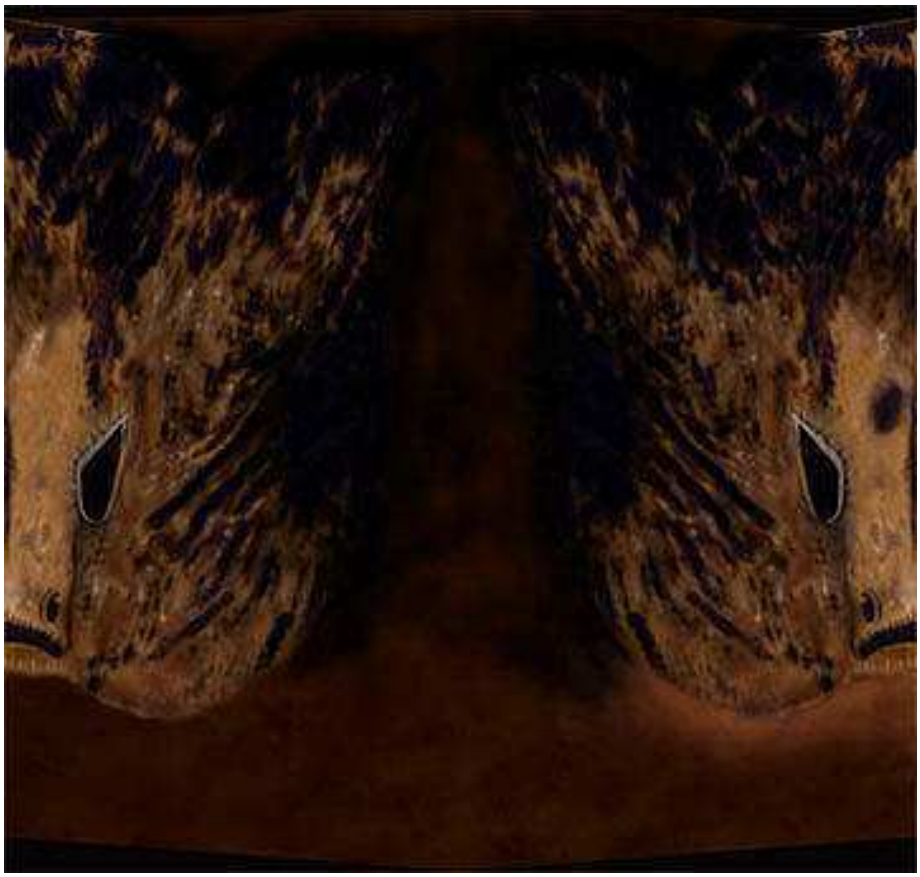
franges d'interférence





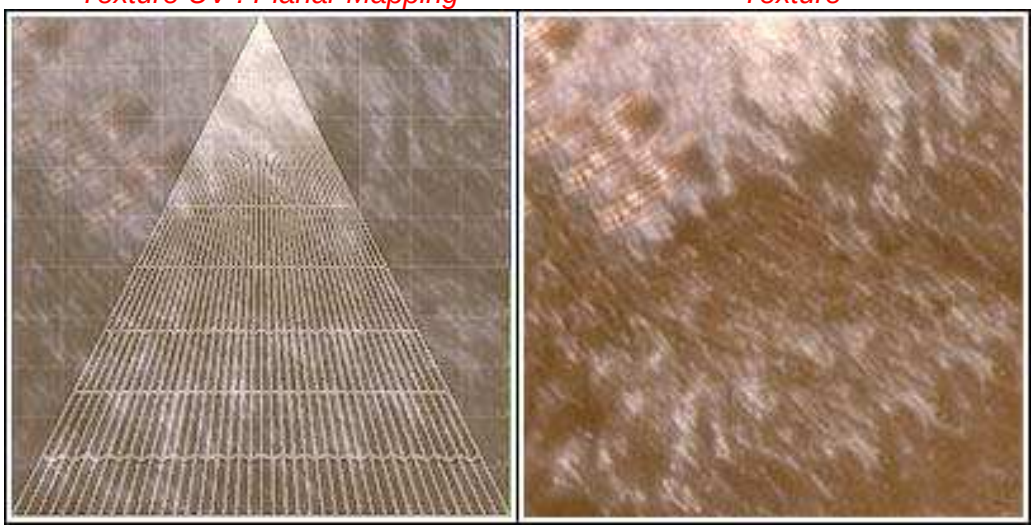
Application de la texture des franges d'interférence sur la grille de la Texture UV. Cette dernière sert de template.

Texture de la tête



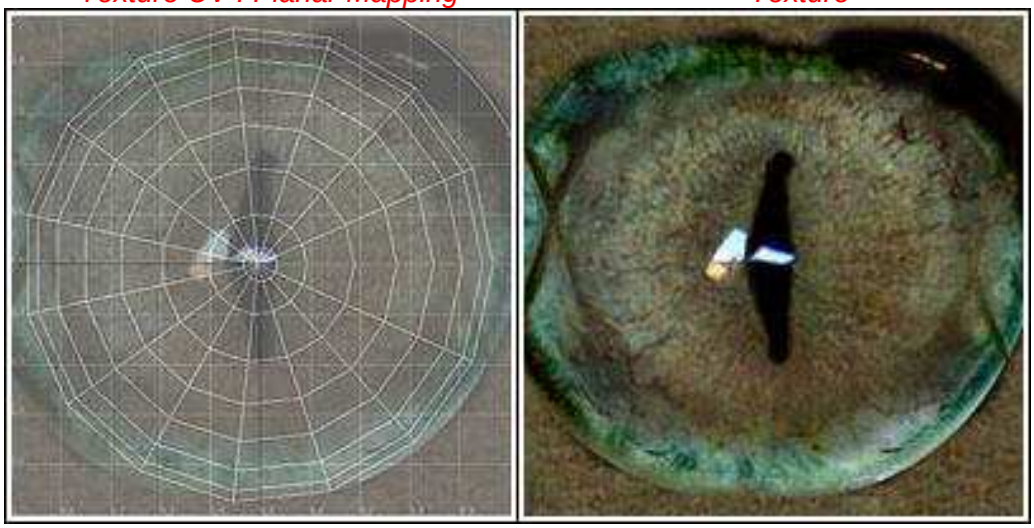
> *Texture des cornes: préparation dans Adobe Photoshop*

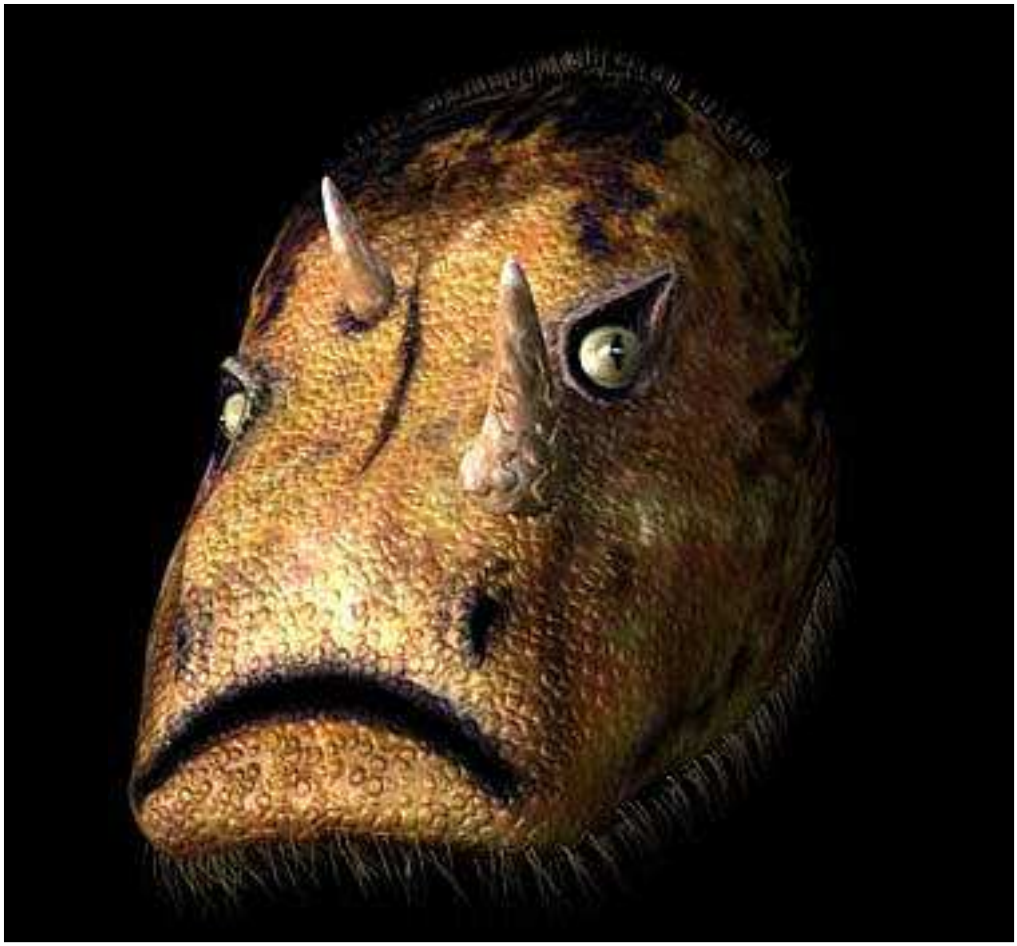
Texture UV : Planar Mapping *Texture*



> *Texture des yeux : préparation dans Adobe Photoshop*

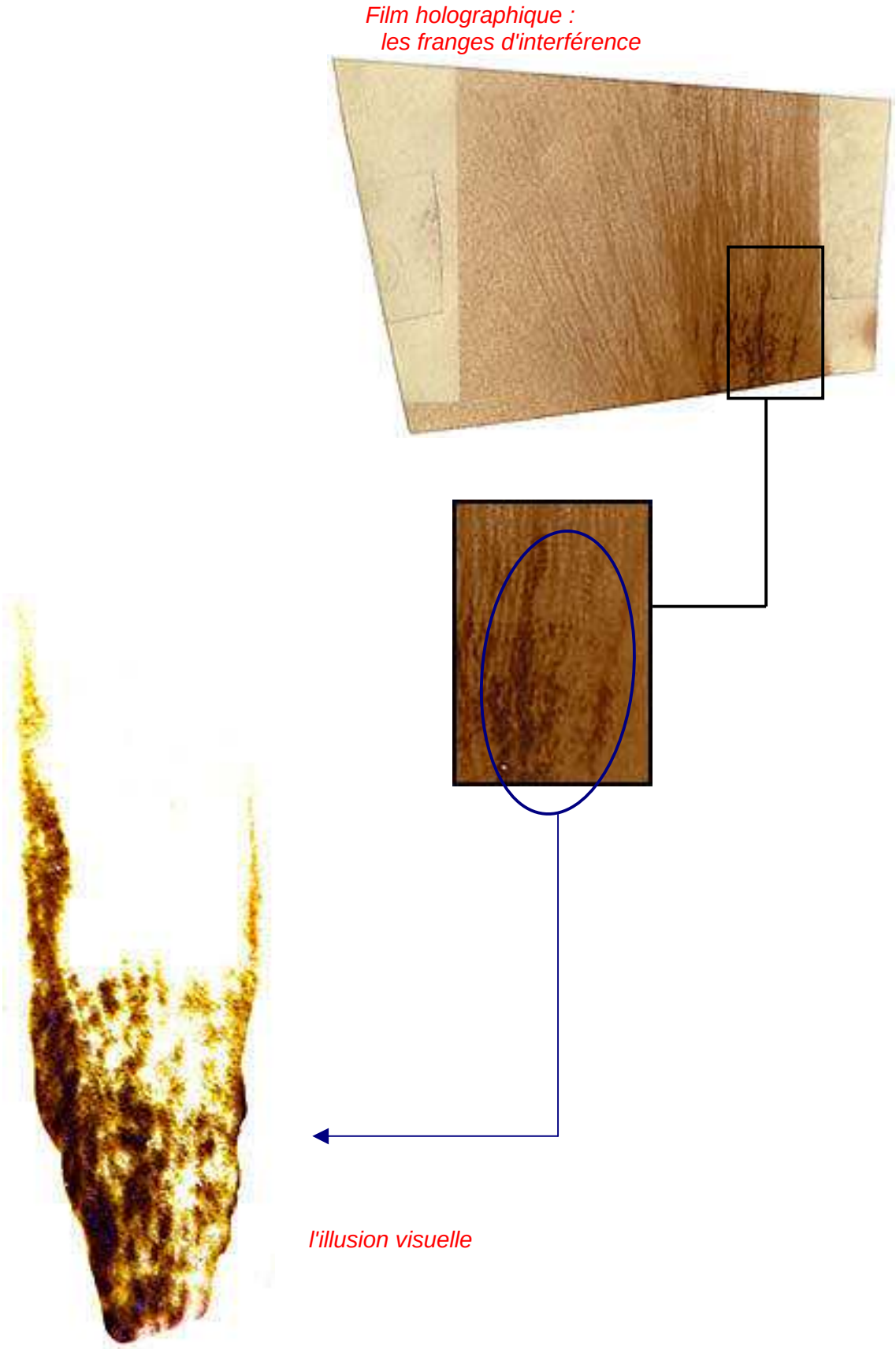
Texture UV : Planar Mapping *Texture*





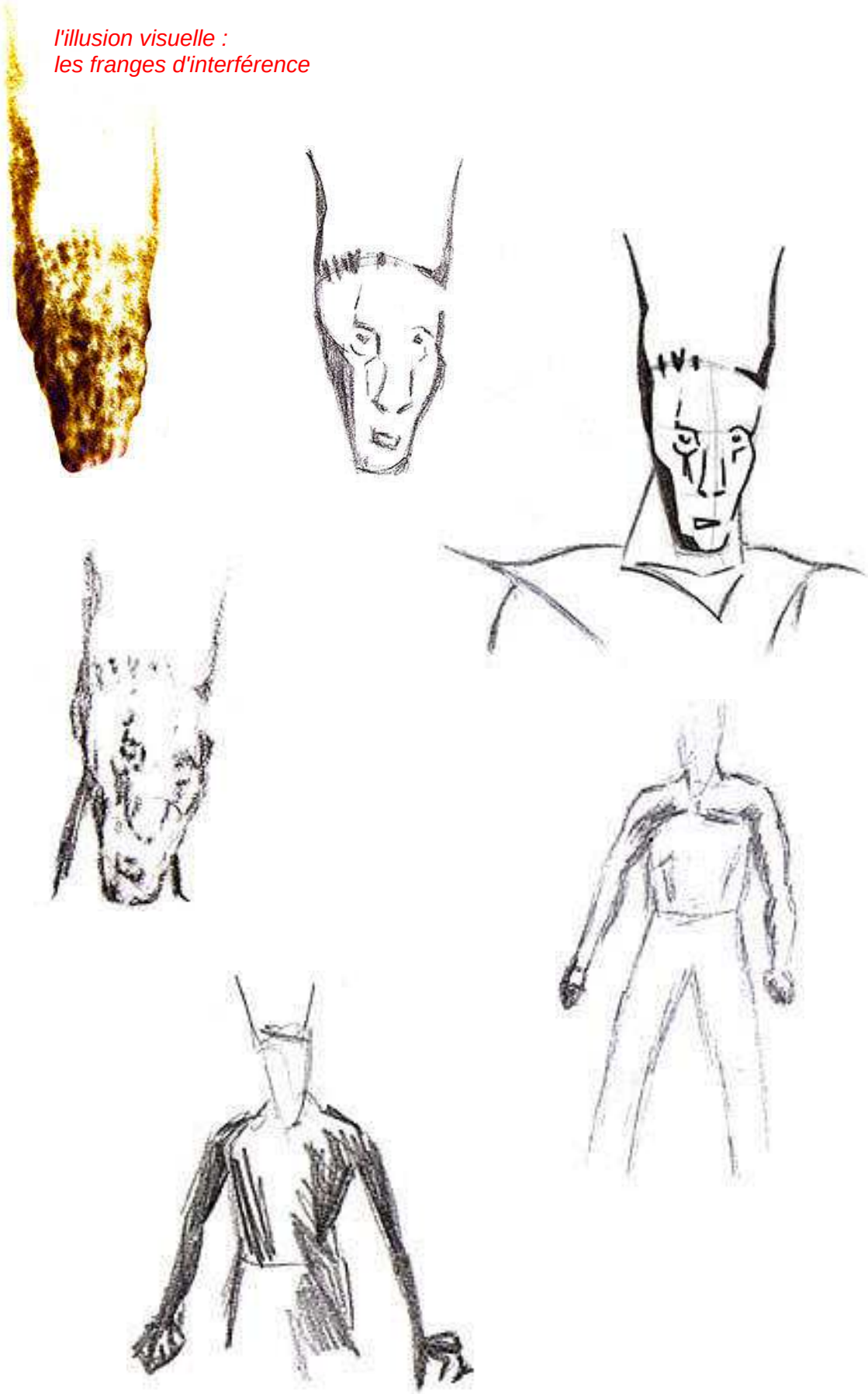
BLUINYAN : *2ème personnage*

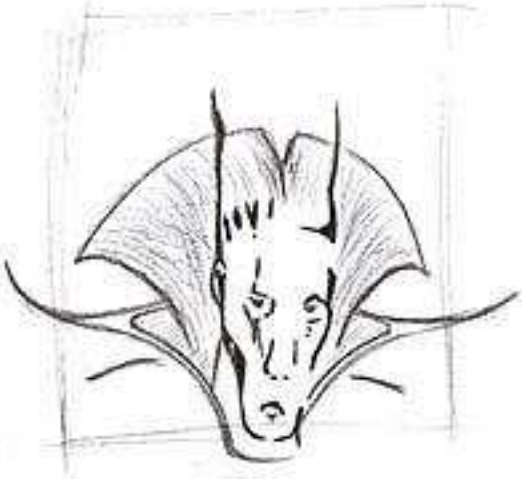
CONCEPTION DU PERSONNAGE

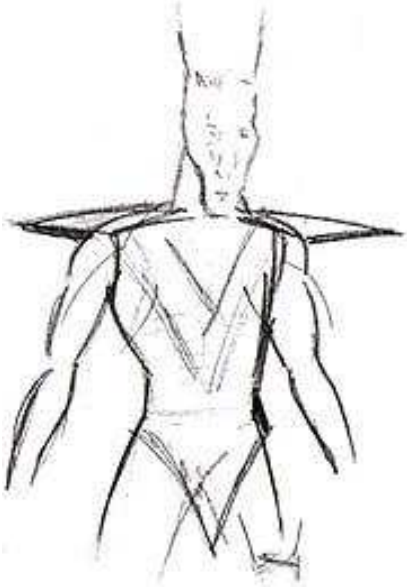


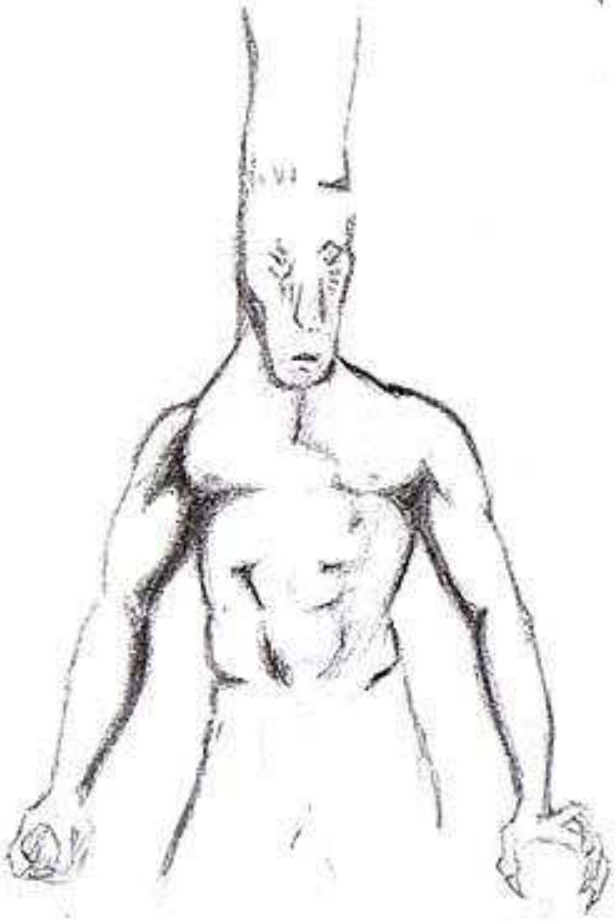
Élaboration d'un personnage en 2D à partir du visuel

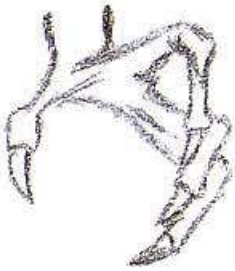
l'illusion visuelle :
les franges d'interférence

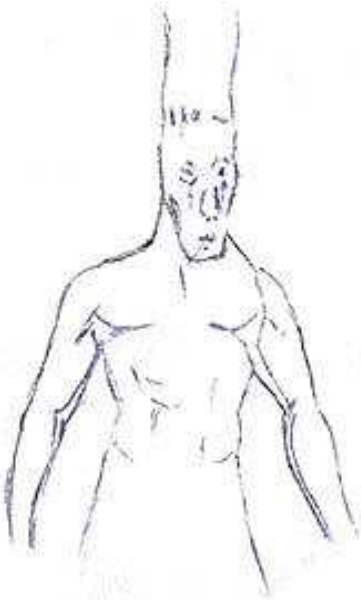








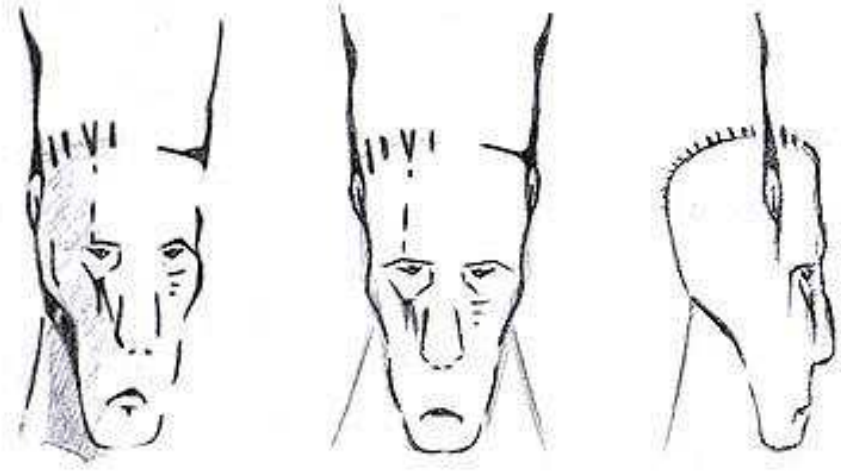




personnage 2D

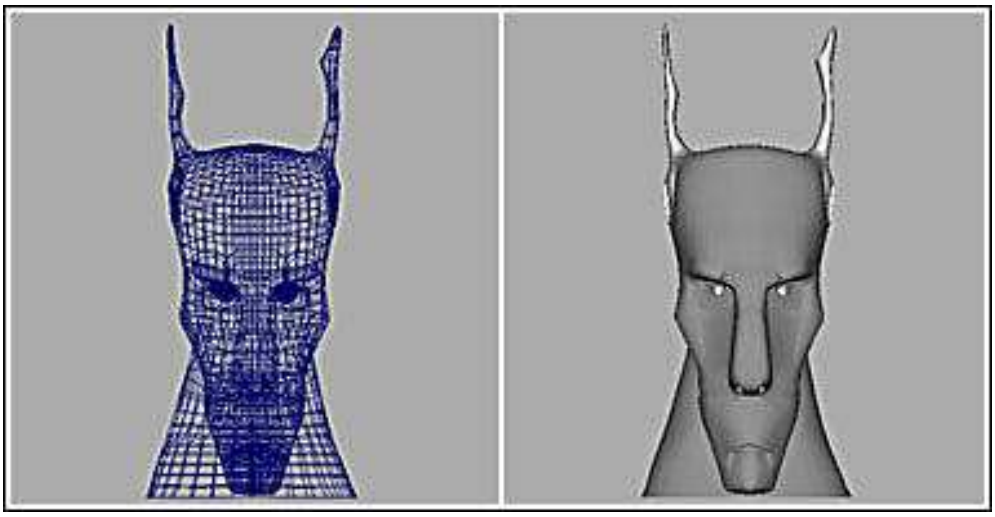
Modélisation 3D du personnage à partir du visuel 2D

vue orthographique

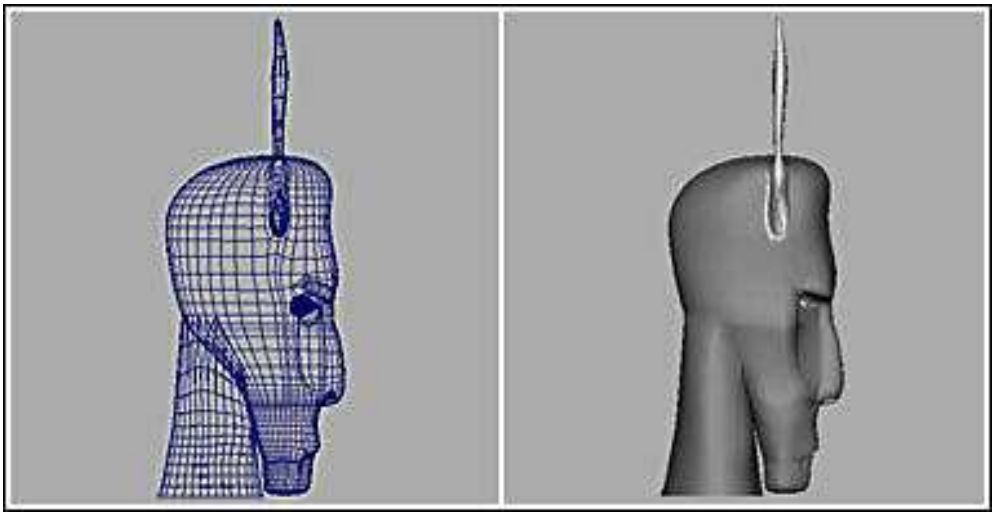


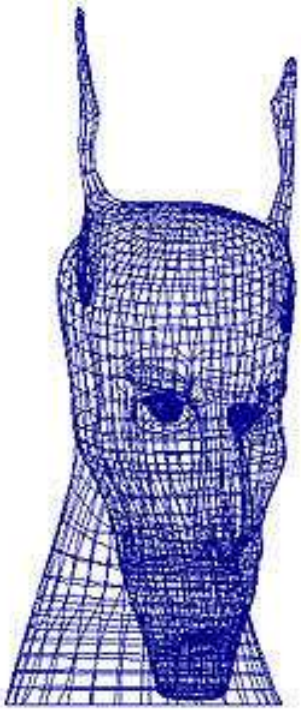
Logiciel : MAYA

vue de face

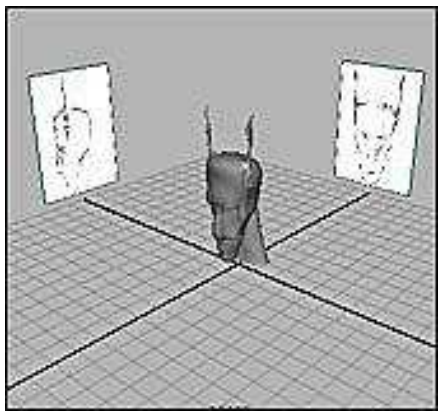


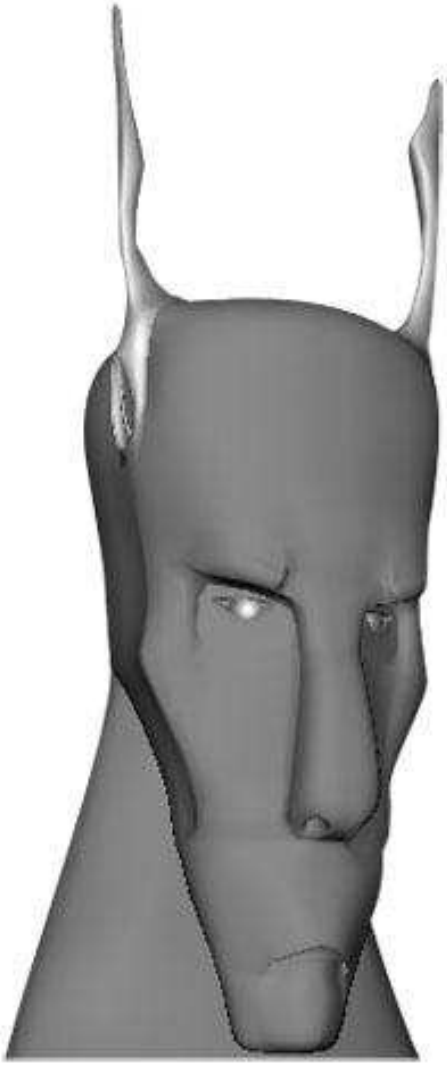
vue de profile





Wireframe





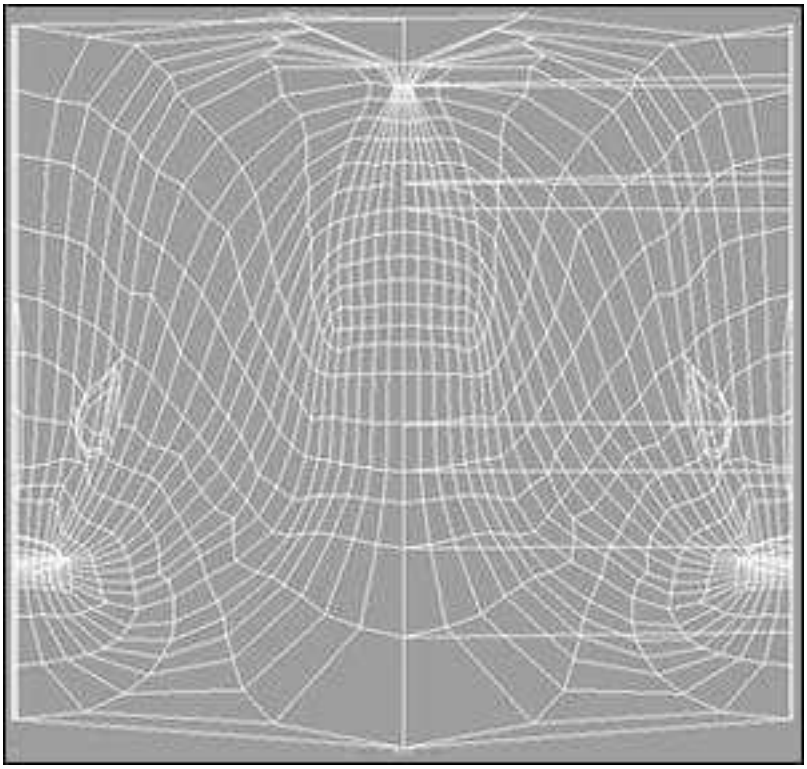
Modèle 3D

Préparation de la texture à partir des franges d'interférence

> *Développement de la tête dans le UV Texture Editor : Cylindrical Mapping*

Cylindrical Mapping

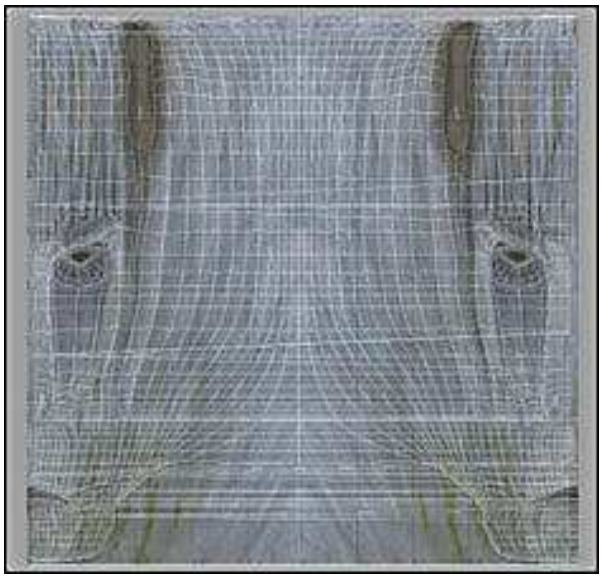
UV Texture Editor



Texture UV : la forme 3D mise à plat

> *Texture de la tête : préparation dans Adobe Photoshop*

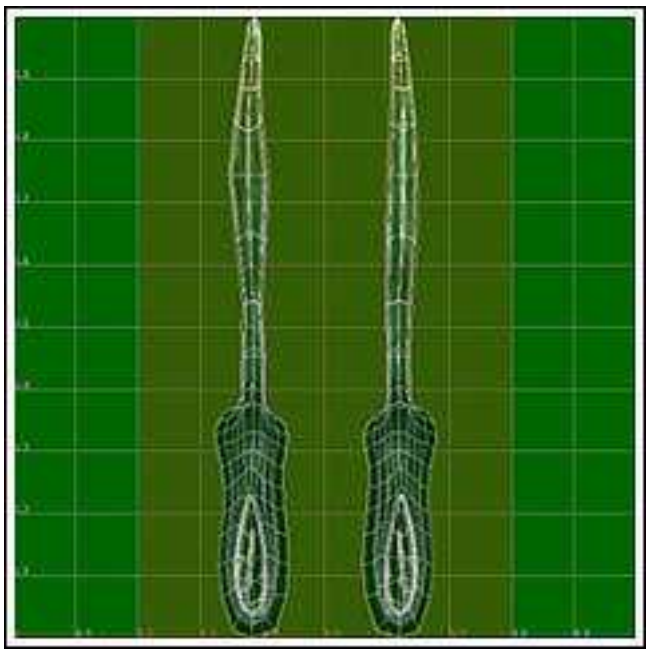
franges d'interférence :
retouche de la couleur



Application de la texture des franges d'interférence sur la grille de la Texture UV.
Cette dernière sert de template.

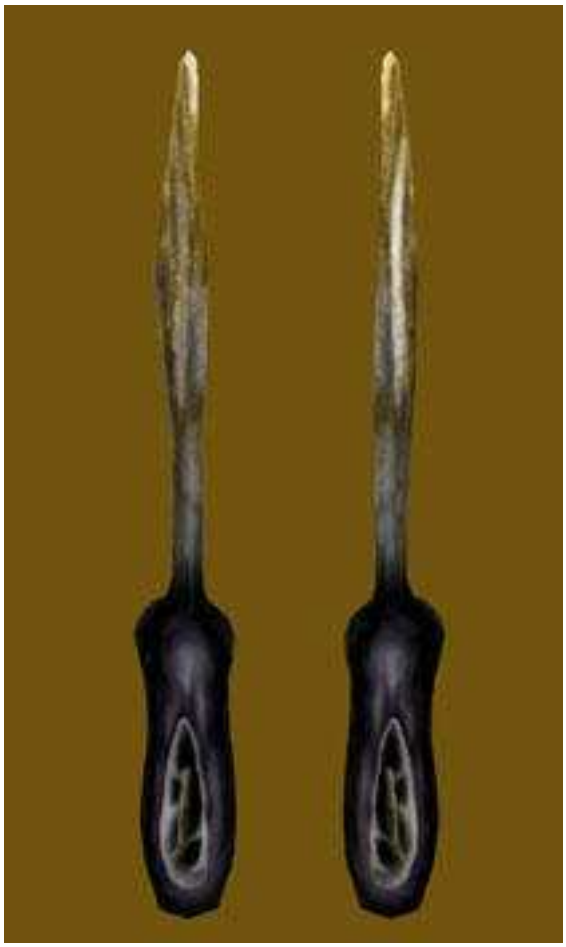
Texture de la tête

> *Texture des cornes: préparation dans Adobe Photoshop*



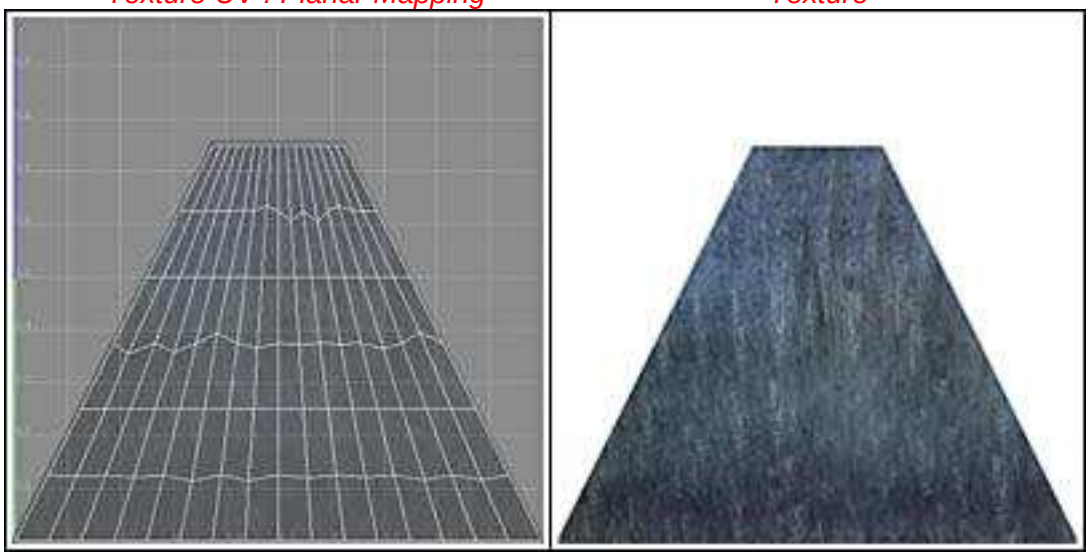
Texture UV : Planar Mapping

Texture



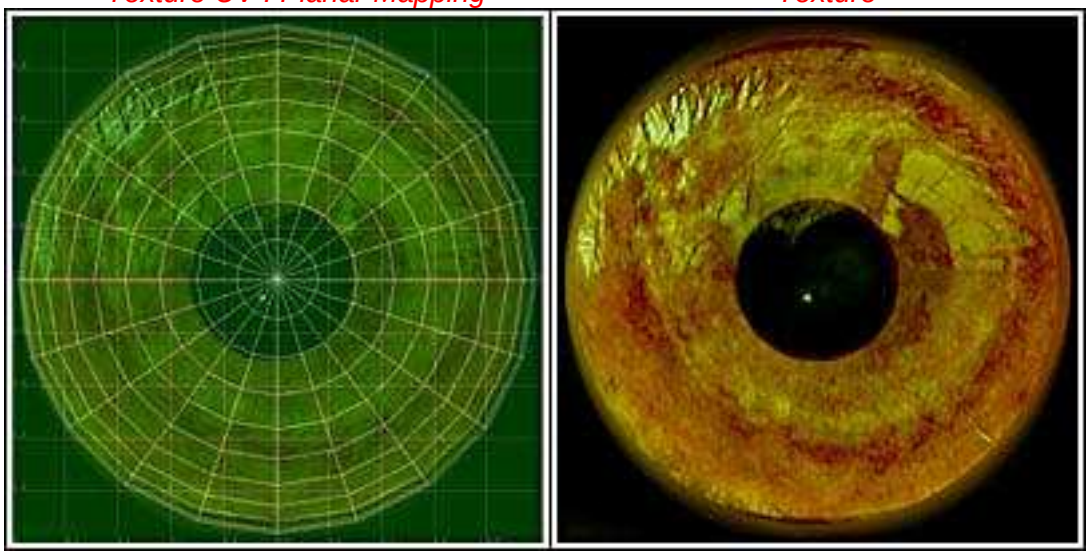
> *Texture du cou : préparation dans Adobe Photoshop*

Texture UV : Planar Mapping *Texture*



> *Texture des yeux : préparation dans Adobe Photoshop*

Texture UV : Planar Mapping *Texture*

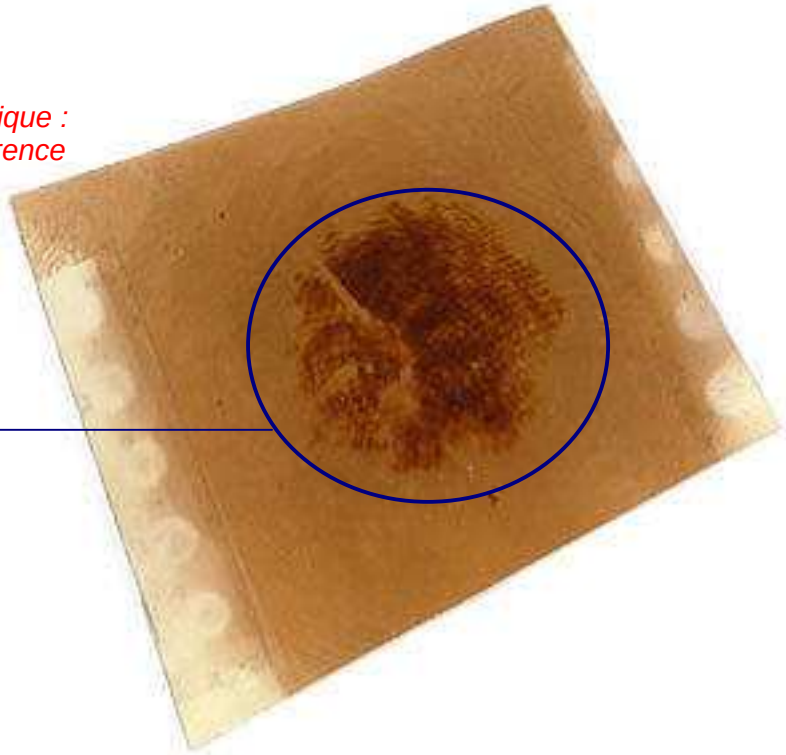


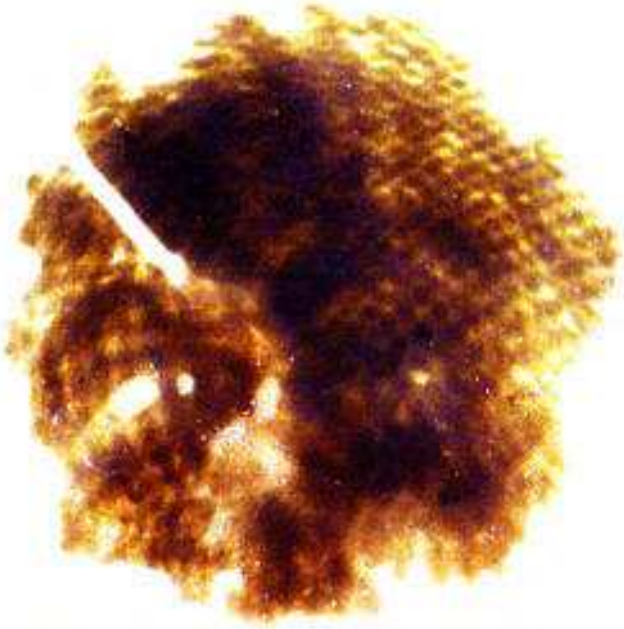
RÉSULTAT

RAZOLF : *3ème personnage*

CONCEPTION DU PERSONNAGE

Film holographique :
les franges d'interférence

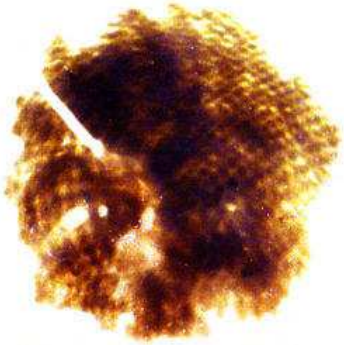


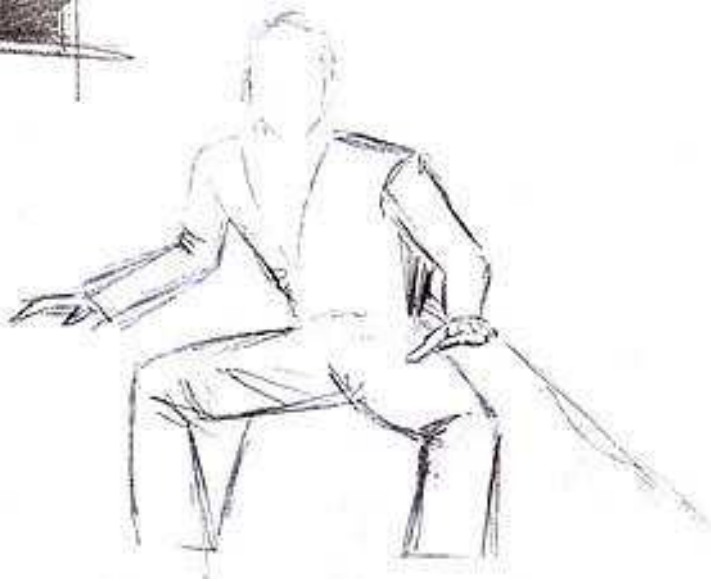


les franges d'interférence

Élaboration d'un personnage en 2D à partir du visuel

l'illusion visuelle :
les franges d'interférence





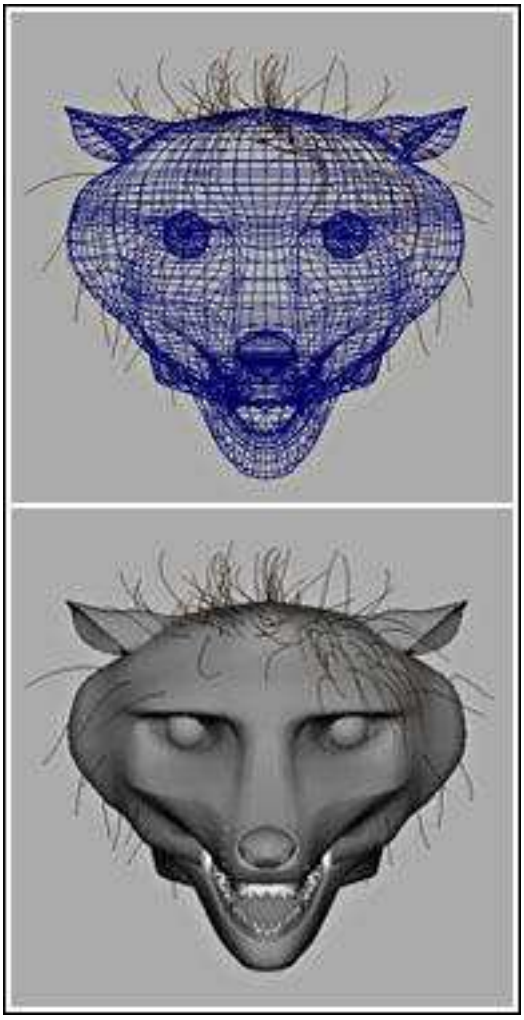
personnage 2D

Modélisation 3D du personnage à partir du visuel 2D

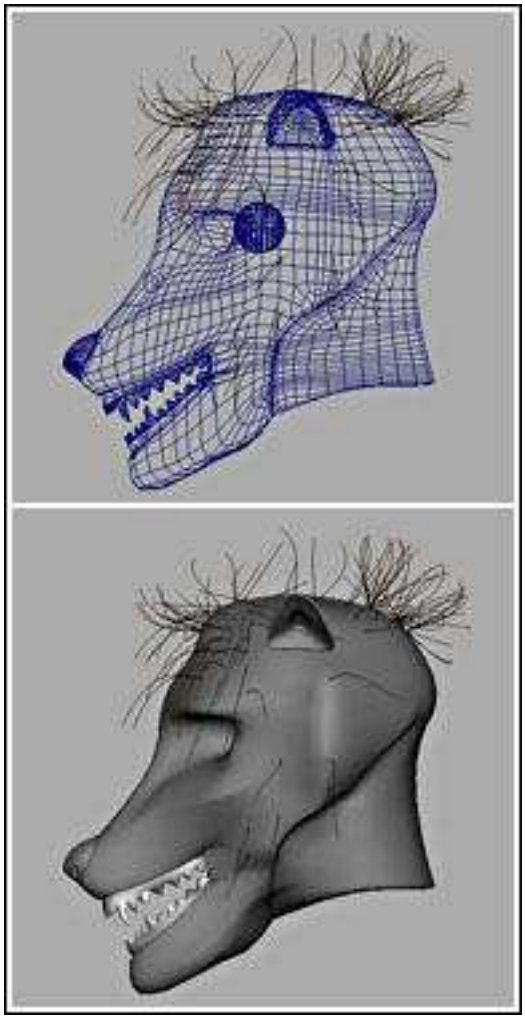
vue orthographique

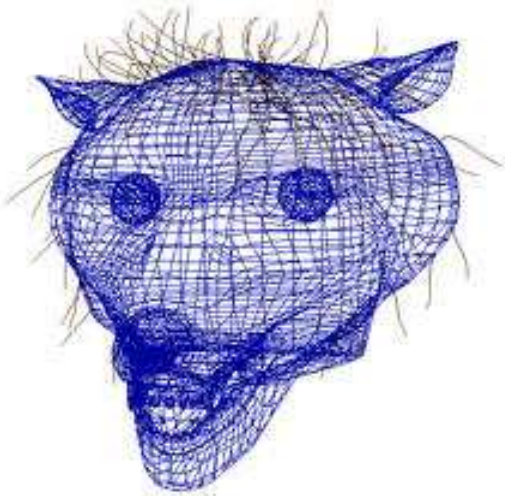
Logiciel : MAYA

vue de face

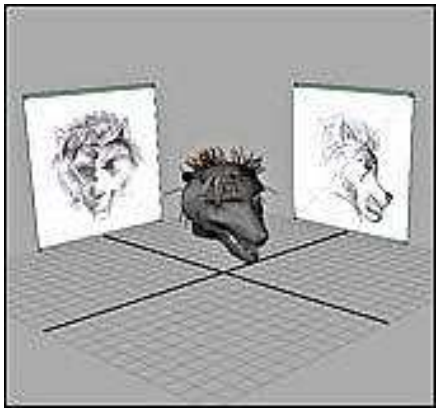


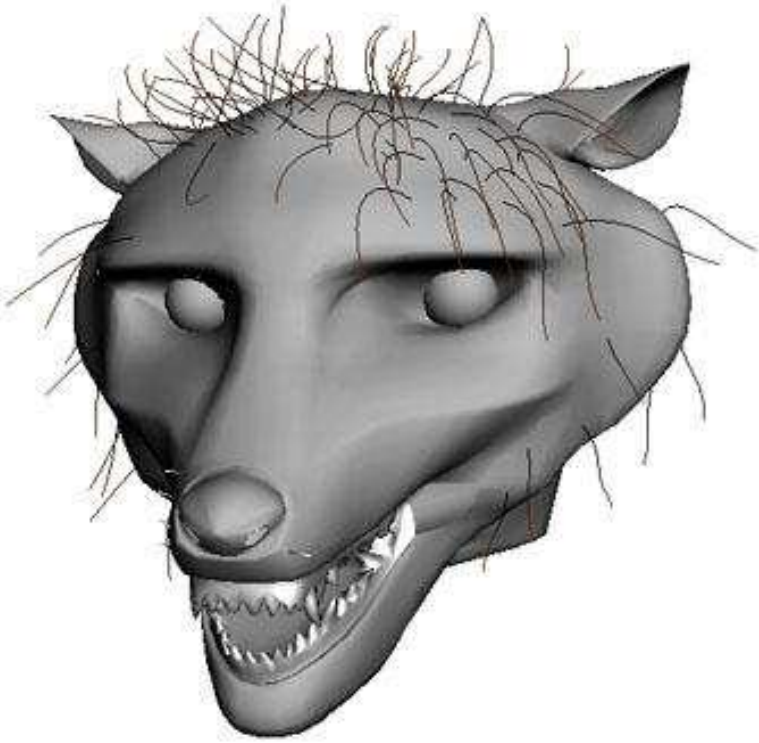
vue de profile





Wireframe

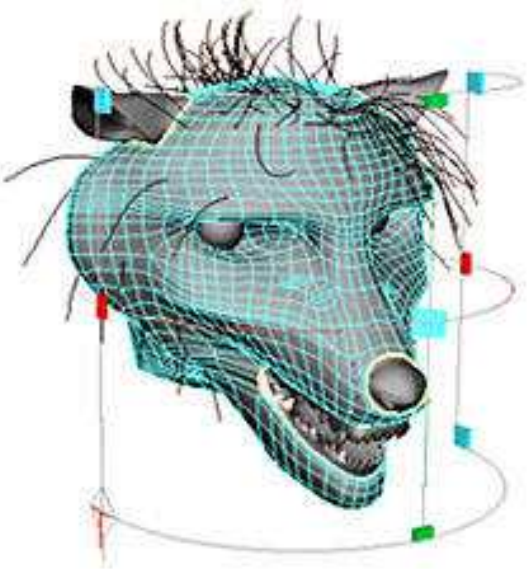




Modèle 3D

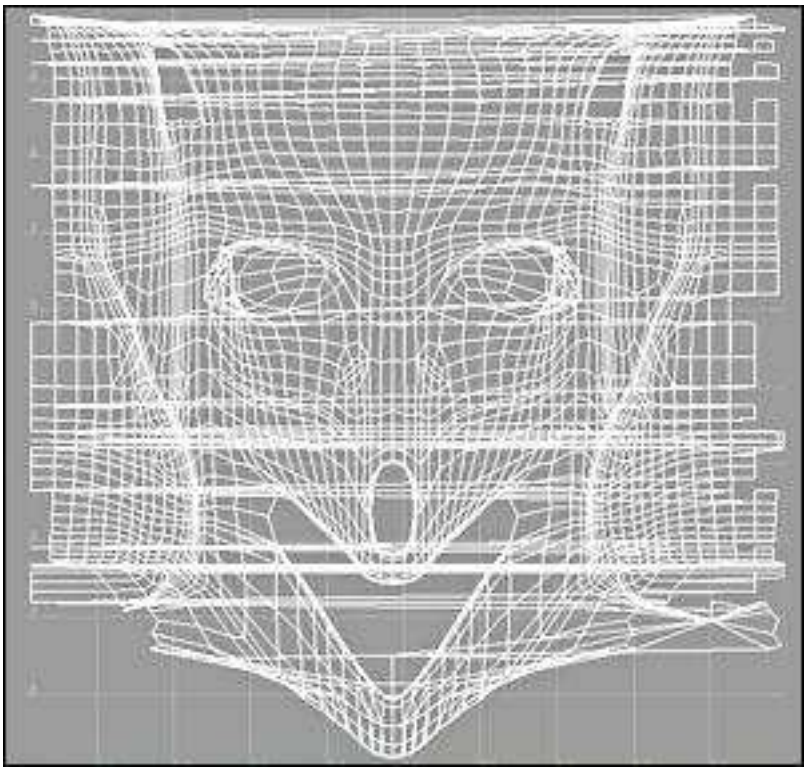
Préparation de la texture à partir des franges d'interférence

> *Développement de la tête dans le UV Texture Editor : Cylindrical Mapping*



Cylindrical Mapping

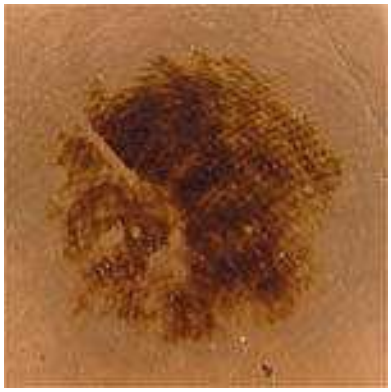
UV Texture Editor

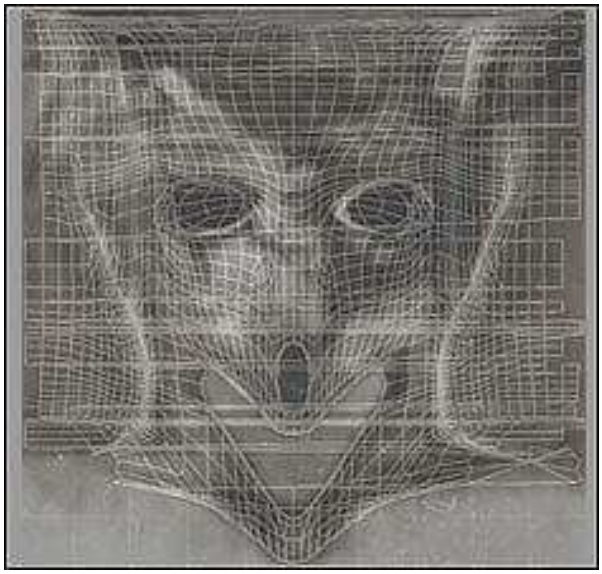


Texture UV : la forme 3D mise à plat

> *Texture de la tête : préparation dans Adobe Photoshop*

franges d'interférence

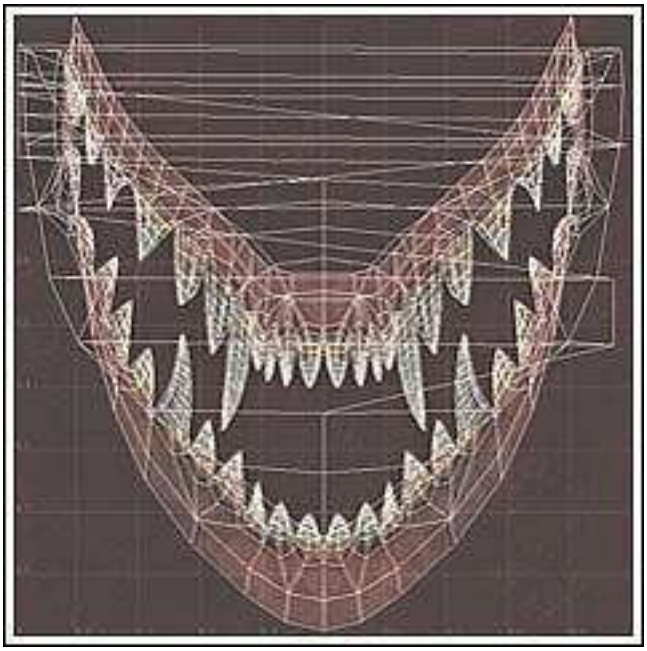




Application de la texture des franges d'interférence sur la grille de la Texture UV. Cette dernière sert de template.

Texture de la tête

> *Texture de la machoire : préparation dans Adobe Photoshop*

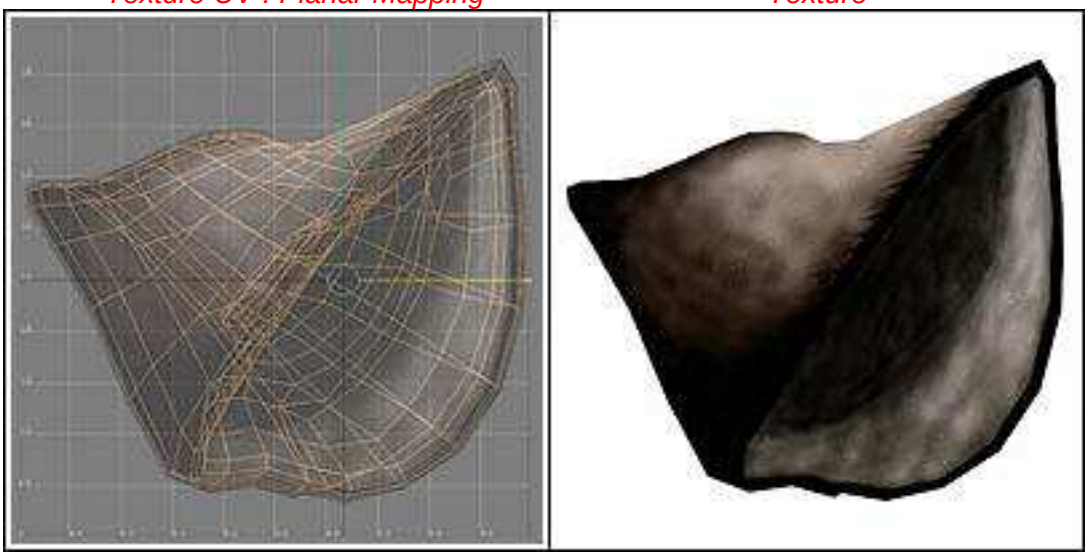


Texture UV : Cylindrical Mapping

Texture

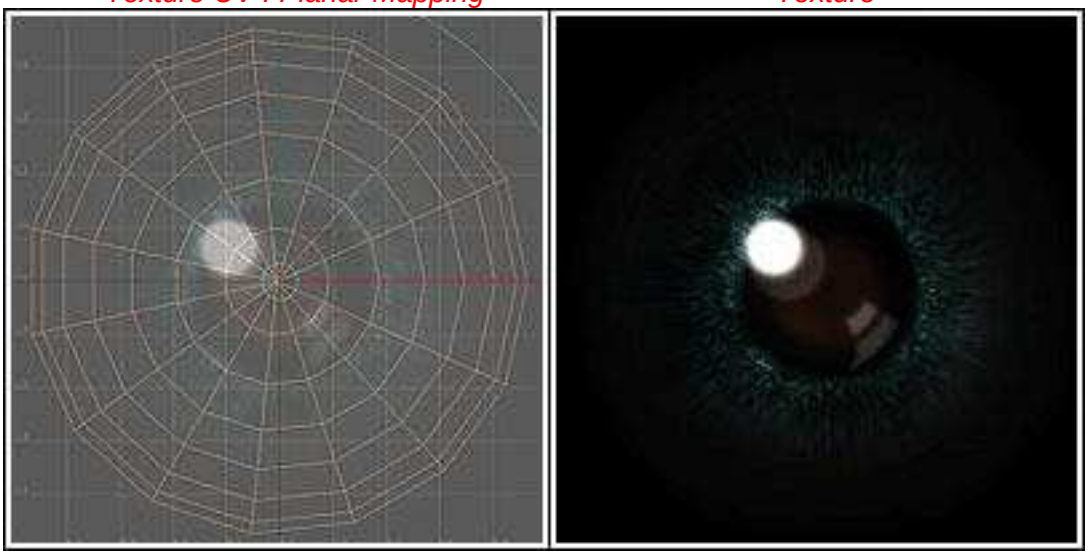
> *Texture des oreilles : préparation dans Adobe Photoshop*

Texture UV : Planar Mapping *Texture*



> *Texture des yeux : préparation dans Adobe Photoshop*

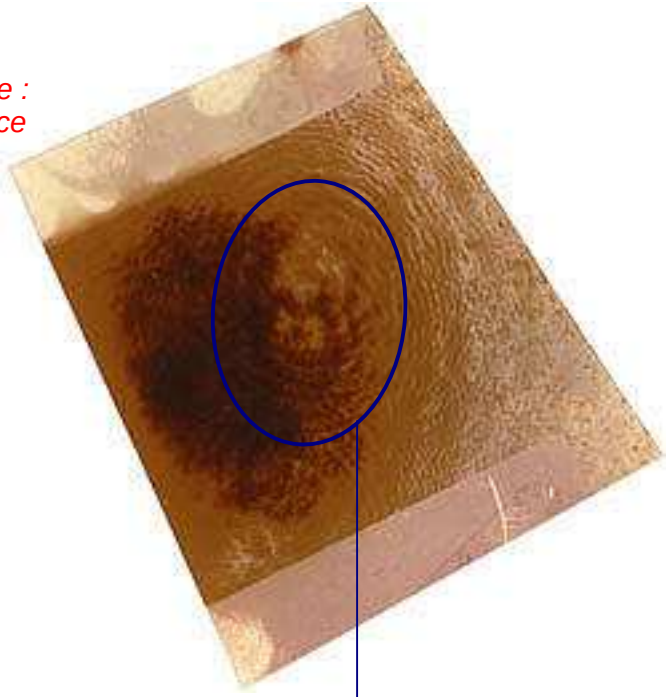
Texture UV : Planar Mapping *Texture*



RÉSULTAT

THE HOLOSKEFOG : *4ème personnage*

Film holographique :
les franges d'interférence



l'illusion visuelle

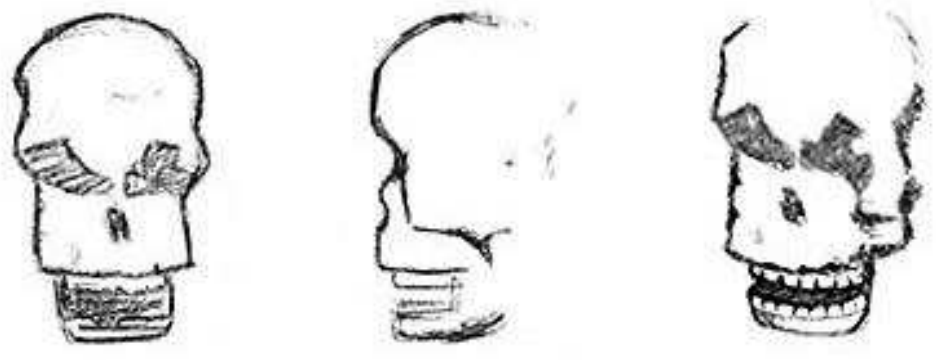
Élaboration d'un personnage en 2D à partir du visuel

l'illusion visuelle :
les franges d'interférence

personnage 2D

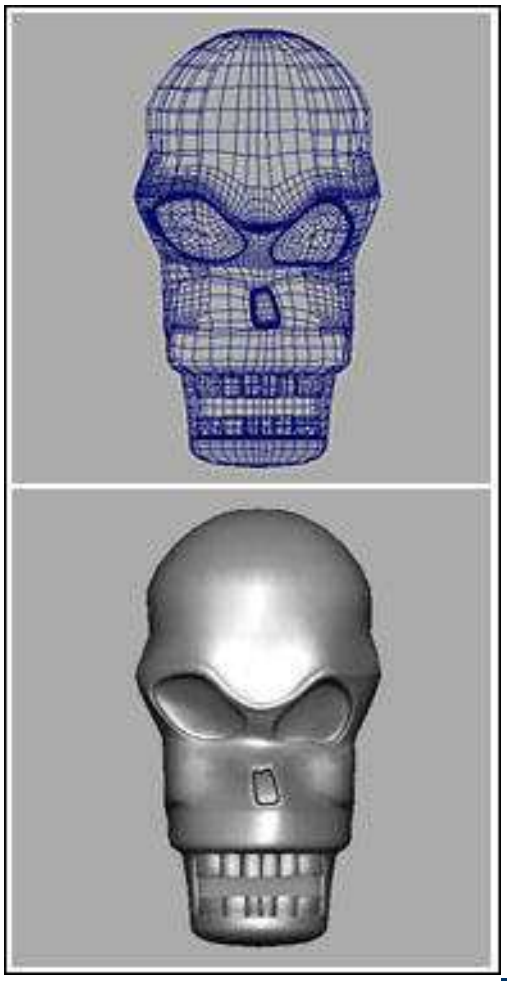
Modélisation 3D du personnage à partir du visuel 2D

vue orthographique

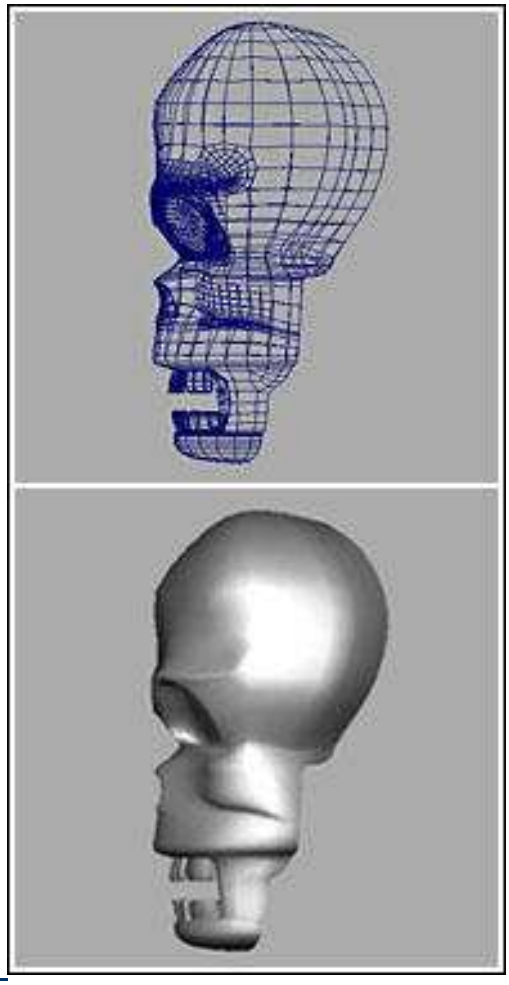


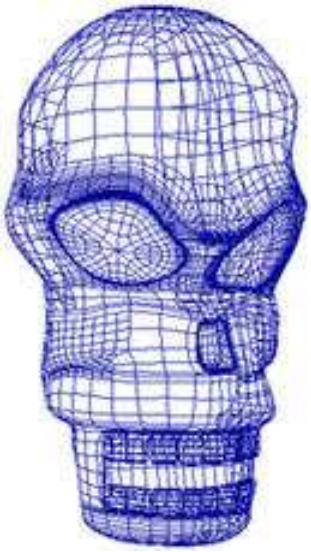
Logiciel : MAYA

vue de face

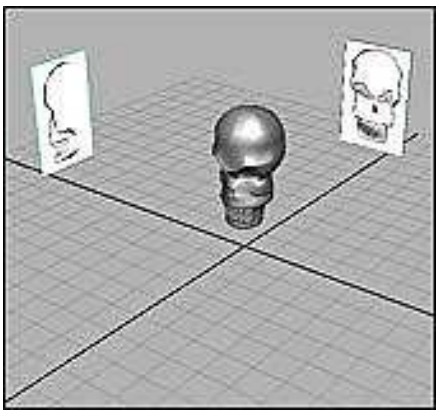


vue de profile





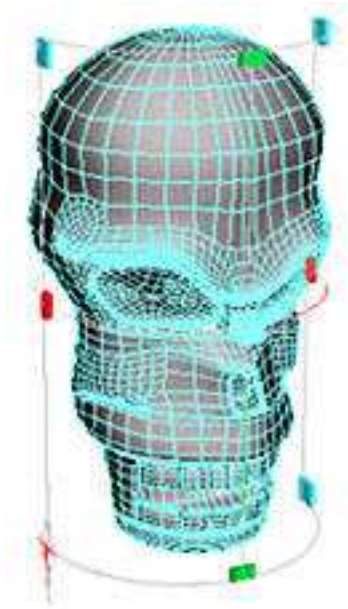
Wireframe



Modèle 3D

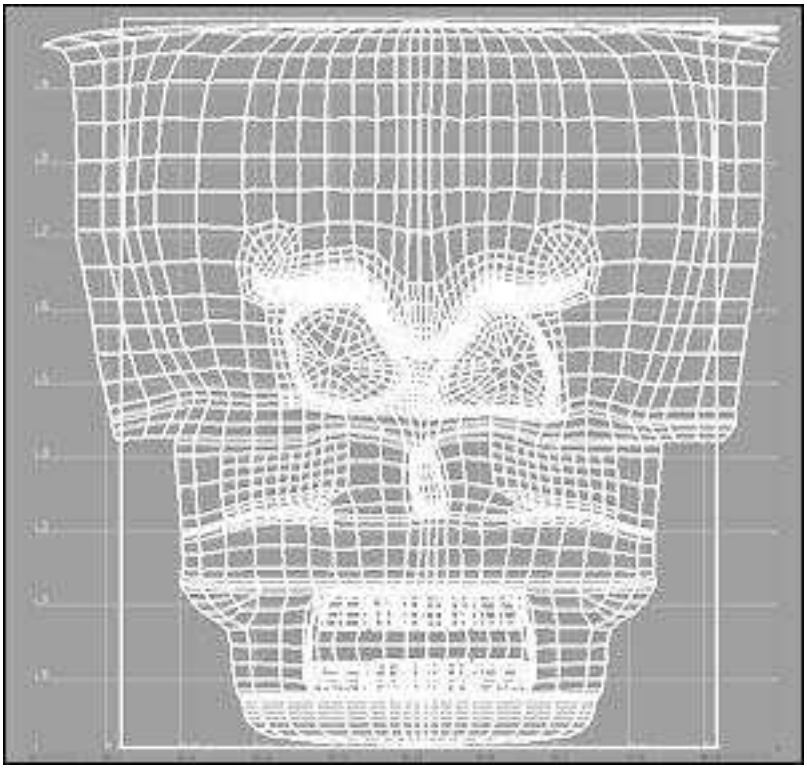
Préparation de la texture à partir des franges d'interférence

> *Développement de la tête dans le UV Texture Editor : Cylindrical Mapping*



Cylindrical Mapping

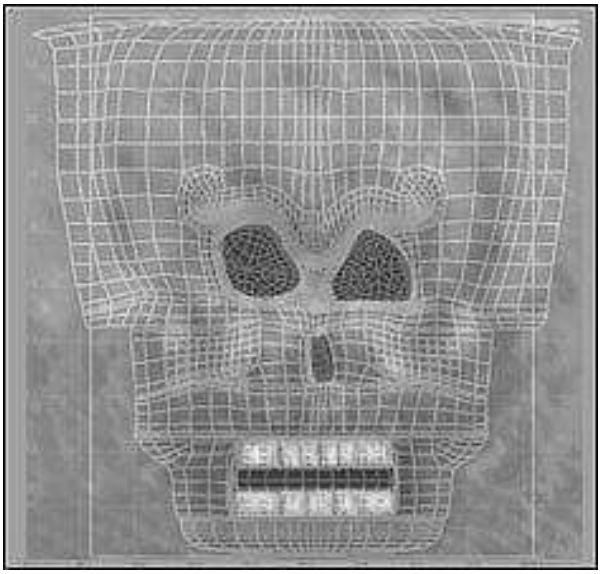
UV Texture Editor



Texture UV : la forme 3D mise à plat

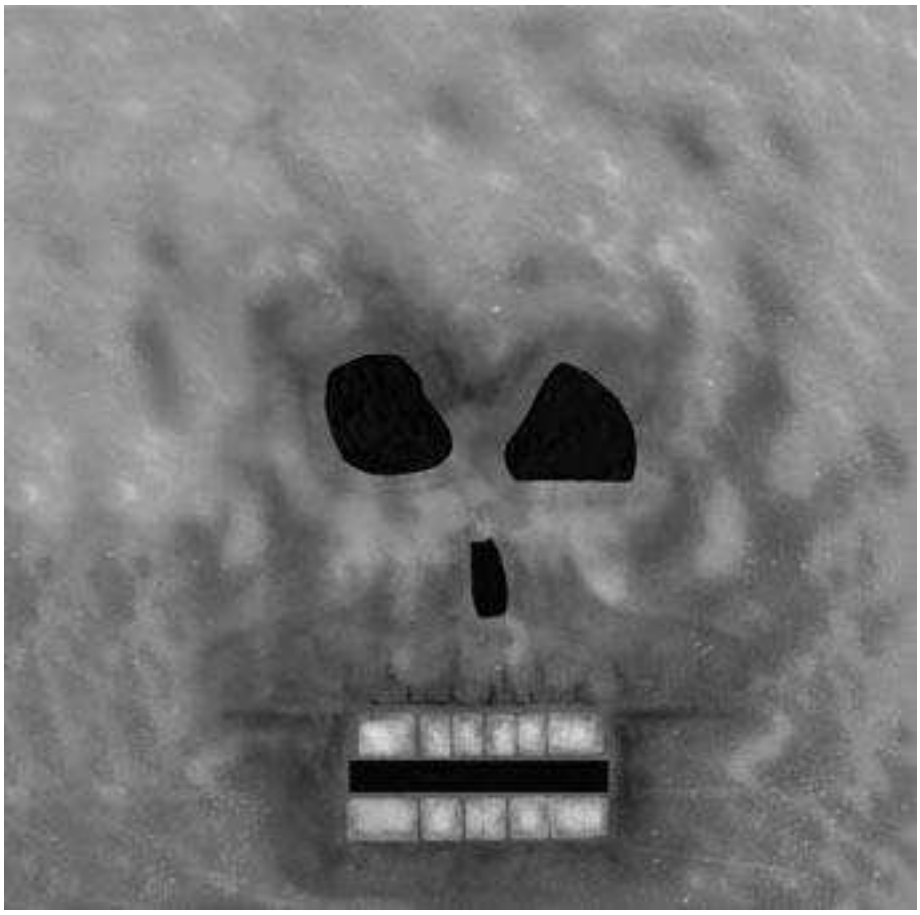
> *Texture de la tête : préparation dans Adobe Photoshop*

franges d'interférence



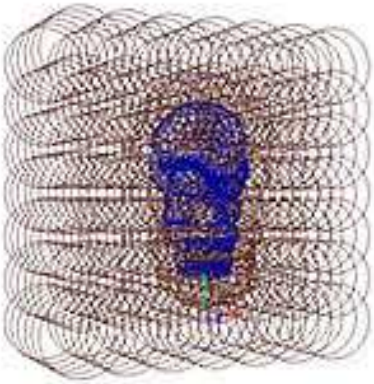
Application de la texture des franges d'interférence sur la grille de la Texture UV.
Cette dernière sert de template.

Texture de la tête



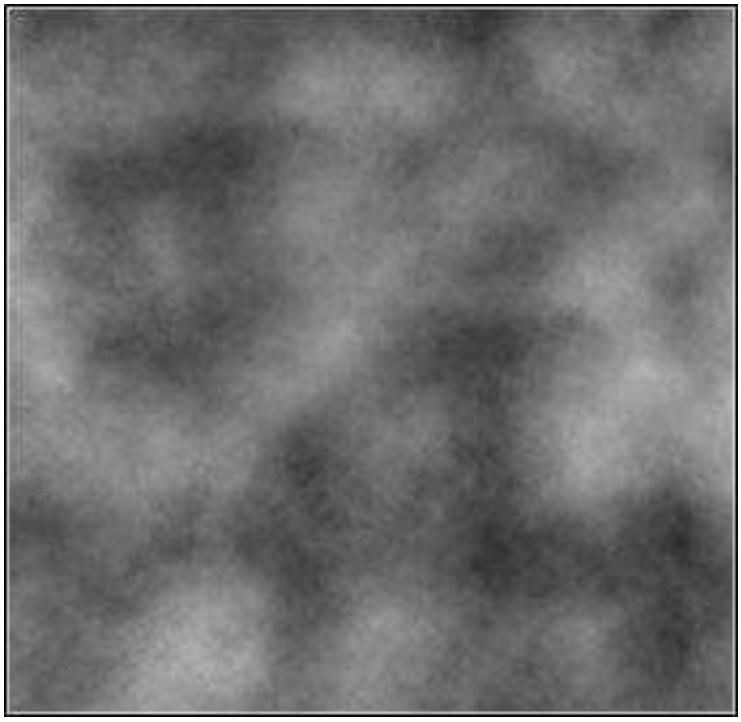
> Texture des nuages

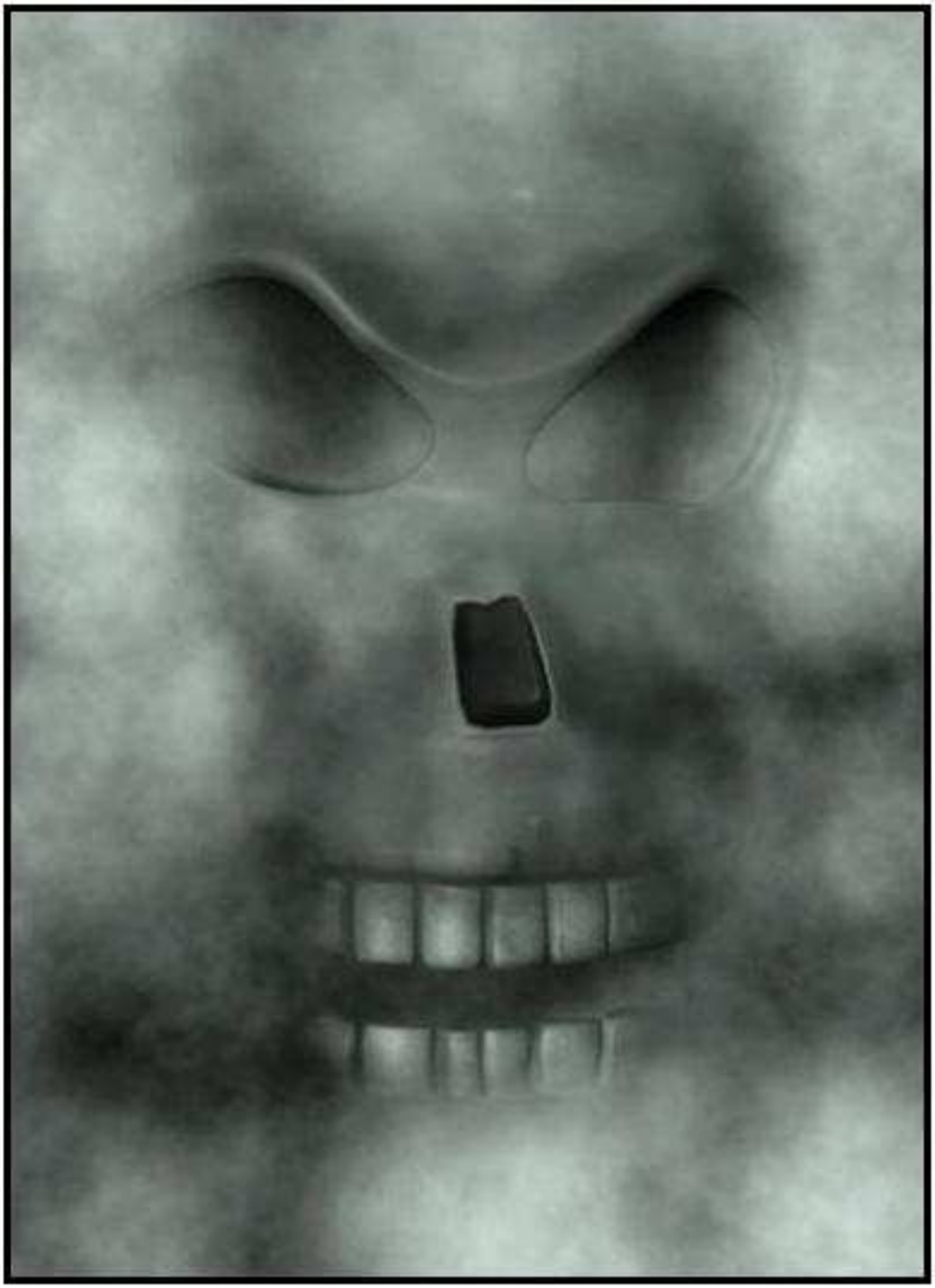
Des particules avec un rendu de "Cloud"

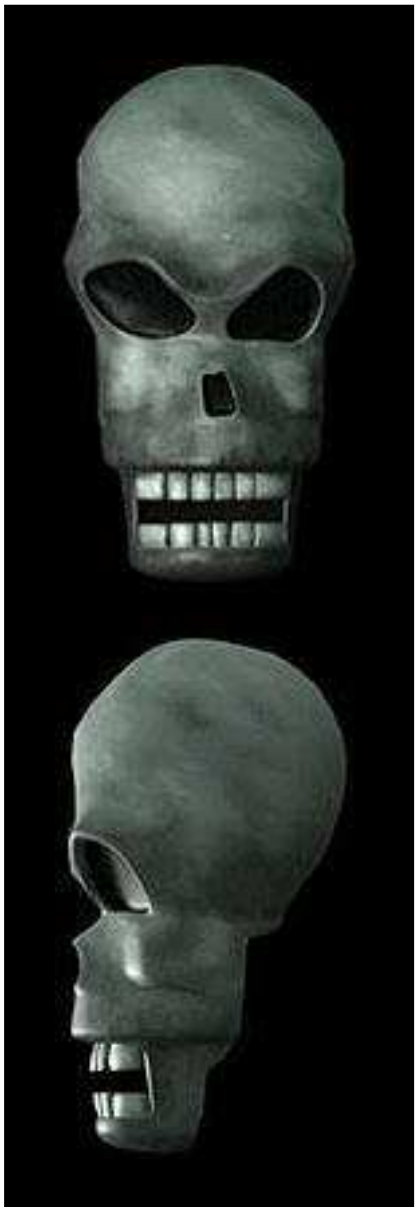


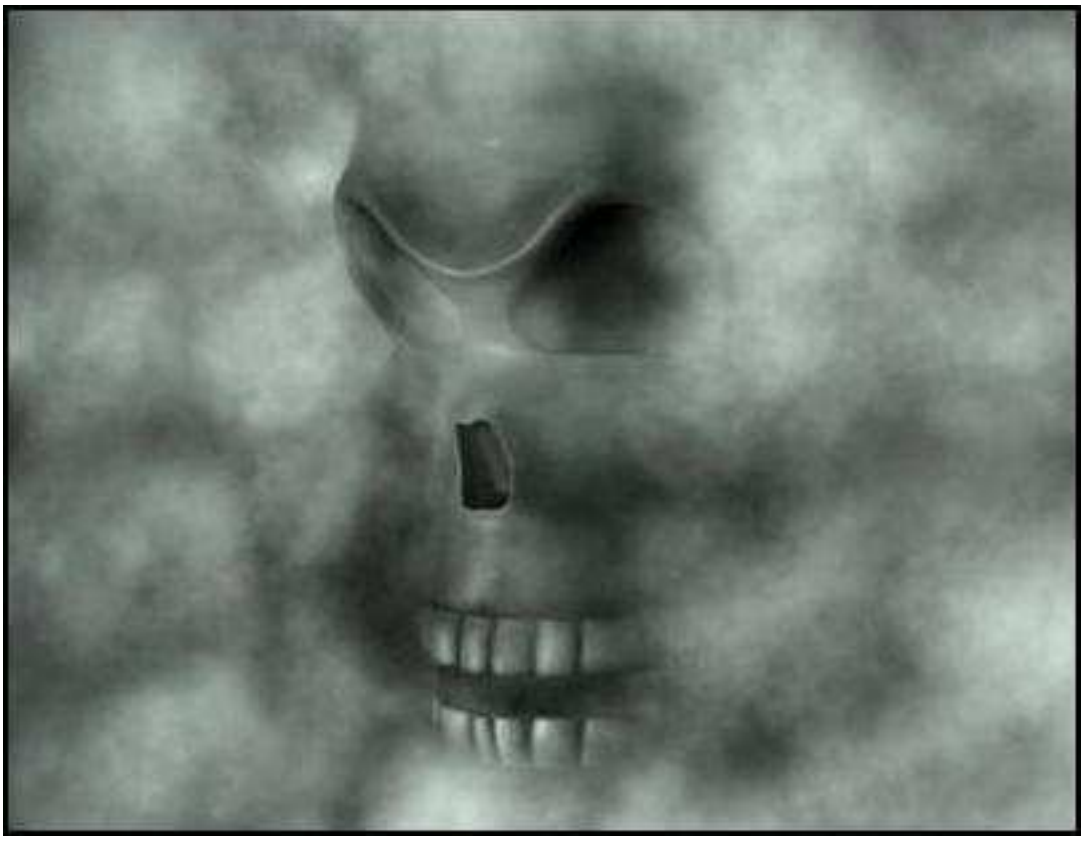
Application des particules sur la structure 3D

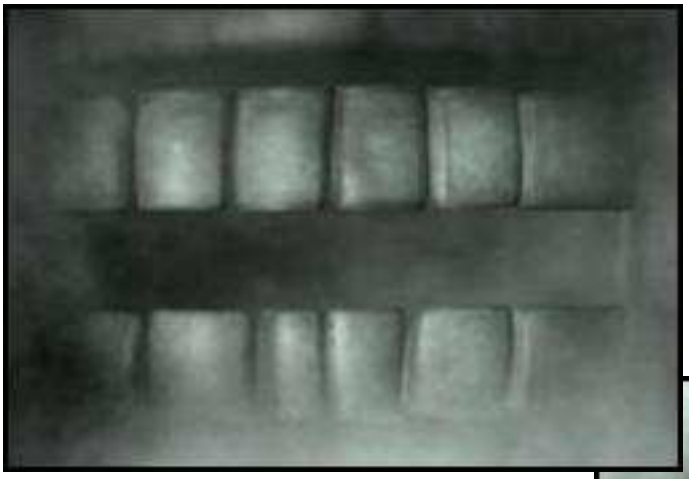
Texture 3D CLOUD











9/ LE BILAN

9.1. UN BILAN MATÉRIEL ET FINANCIER

Réunir tout le matériel nécessaire n'était pas une tâche aisée. Étant moi-même novice, j'ai dû d'abord :

- **me renseigner sur chaque élément**
  Demander conseil, notamment à l'AJSN, qui m'a bien orienté, et je me suis documenter sur les spécifications techniques.

- **où acheter / trouver et le coût des éléments**
  Le plus avantageux, ce sont les matériaux de récupération, mais sinon il faut bien acheter. Quelques éléments ont été achetés à l'étranger car le prix était trop élevé en France.

Un investissement de temps assez considérable s'est avéré nécessaire pour trouver le matériel requis, ce qui aurait pu être évité si j'avais disposé d'une liste. J'ai donc décidé de faire un bilan en proposant une liste de matériel requis, des endroits où s'en procurer et le budget nécessaire. Cela permettra ainsi aux personnes désireuses de se lancer dans l'holographie d'avoir une référence et de gagner un temps précieux !

LISTE DE MATERIEL POUR FABRIQUER UN DISPOSITIF HOLOGRAPHIQUE

Produit	**Acheter / Récupérer**	**Dimensions /Autres infos**	**Nombre**	**Prix (à l'unité)**
Chambre à air (moto)	ABSOLUTE SCOOTERS 40 avenue de St Ouen 75018 Paris FRANCE Tel : 01.58.60.24.11	21 pouces	1	10.00 €
Plaque de béton(regard)	GEDIMAT 38 bis rue Ledru Rolin 58170 Luzy FRANCE Tel : 03.86.30.03.69	40 cm x 40 cm	1	8.50 €
Silicone (tube)	MAXIBRICO Route de Charbonnat 58170 Luzy FRANCE Tel : 03.86.30.14.51	310 m plasto-élastique	3	1.63 €
Plaque de métal	RÉCUPÉRATION dans une rue lors de travaux de canalisation	50 cm x 70 cm	1	
Objectif de Microscope	LE TELESCOPE 37 boulevard Beaumarchais 75003 Paris FRANCE Tel : 01.42.77.39.84	6 mm (récupération d'autres lentilles)	1	35.00 €
Miroir Réfléchissant	OPTON LASER INT. Parc Club Orsay Université 29, rue Jean Rostand 91893 ORSAY cedex FRANCE Tel : 01.69.41.04.05 **www.optonlaser.com**	Argenté face-avant diamètre 25.4 mm épaisseur 6.35 mm	1	32.00 €

Produit	Acheter / Récupérer	Dimensions /Autres infos	Nombre	Prix (à l'unité)
Support pour lentille et miroir	PEARL 6 rue de la Scheer Z.I.Nord - BP 121 67603 Selestat Cédex FRANCE Tel : 0 820 822 823 **www.pearl.fr**	Support à soudure	2	6.90 €
Laser	EBAY Contact : Wijnberg BELGIQUE **www.ebay.fr**	Uniphase HeNe (helium néon) 10 mW	1	83.30 €
Film Holographique	INTEGRAF 218 main Street #674 Kirkland, WA 98033 USA Tel : (001) 42.58.21.07.72 **www.holokits.com**	Film PFG-01 102mm x 127mm	1 lot de 10 feuilles	$ 29.00 (23.00 €) + frais de port
Produits de Développement	INTEGRAF 218 main Street #674 Kirkland, WA 98033 USA Tel : (001) 42.58.21.07.72 **www.holokits.com**	JD-2 kit	1 boîte	$ 17.00 (13.00 €) + frais de port
Tissus	MARCHÉ DE ST-DENIS Place du 8 mai 1945 93200 Saint Denis FRANCE Tel : 01.42.77.39.84	Matte couleur noir	10 m	10.00 €
Eléctroaimant	RÉCUPÉRATION d'un vieux magnétoscope		1	
Transformateur	RÉCUPÉRATION d'une lampe halogène		1	

Produit	Acheter / Récupérer	Dimensions /Autres infos	Nombre	Prix (à l'unité)
PhotoFlo (Kodak)	DECHARTRE **www.dechartre.com**	Liquide 0.5 L	1	8.40 €
Dépoussiérant	DECHARTRE **www.dechartre.com**	Aérosol gaz	1	7.50 €
Récipient	RÉCUPÉRATION bac pour la cuisine, le jardinage, etc ...	Environ 20 cm x 15 cm	5	
Lego	RÉCUPÉRATION ou achat possible chez King Jouet **www.kingjouet.fr**		1 boîte	
Gants	CASTORAMA Place de Clichy 1/3 rue de Caulaincourt 75018 Paris FRANCE Tel : 01.53.42.42.42 **www.castorama.fr**	Latex jetable	1 boîte	6.10 €
Eau Déminéralisée	CARREFOUR 80 boulevard Maxime Gorki 93240 Stains FRANCE Tel : 01.49.71.73.73		5 L x 2	0.90 €
Câble	MAXIBRICO Route de Charbonnat 58170 Luzy FRANCE Tel : 03.86.30.14.51	Montage câble/interrupteur pour contrôler l'obturateur à distance	1	3.00 €

10/ CONCLUSION

Sans qu'on s'en aperçoive, les hologrammes prennent, peu à peu, une place assez importante dans notre vie quotidienne : cela va du simple billet de banque jusqu'aux hologrammes industriels.

De cette étude sur l'holographie, il ressort qu'il s'agit d'un vaste univers à peine exploité où tous les rêves sont permis. Au vu des nouvelles technologies utilisant le principe même de l'holographie, il semble justifié de « rêver » et de croire en ses multiples possibilités. Nous pouvons imaginer un instant ce que l'avenir peut apporter en ce domaine.

L'holographie est une science complexe et plusieurs éléments entrent en jeu dans la construction d'un hologramme ou d'une interférence. De plus, les paramètres comme les vibrations et la poussière ne sont pas faciles à maîtriser. Ajoutons qu'en raison des progrès du numérique l'avenir de l'holographie « optique », telle qu'on la connaît aujourd'hui, semble compromis. En effet, le système optique est désuet et ne peut plus progresser techniquement. Ce même système est pourtant idéal dans le cadre de mon projet car il permet, justement, d'obtenir des perturbations !

L'avenir de l'holographie « optique », tel qu'on le connaît aujourd'hui, est appelé à disparaître pour laisser place à une nouvelle ère : l'holographie « numérique ». Le système optique est désuet et ne peut plus, actuellement, progresser techniquement. L'holographie, avec toutes ses possibilités, fait

partie intégrante de notre futur. Cette évolution est une transition logique, compte-tenu du développement technologique croissant. La puissance mécanique et cybernétique de l'homme créateur est mise en scène une fois de plus pour donner une deuxième vie à cette technologie si précieuse. Bien trop précieuse pour être ignorée du monde industriel du fait de ses avantages techniques et de sa rentabilité exceptionnelle (les techniques d'interférométrie qui utilisent des caméras CCD comme supports photosensibles ont un avenir industriel certain).

Alors que le numérique ouvre à l'holographie des perspectives dans le domaine des applications industrielles, les artistes ont su reconnaître les possibilités de l'holographie et en tirer parti. L'art holographique apporte un nouveau mode d'expression, de nouvelles perspectives et opportunités pour donner une dimension originale à la créativité. Une créativité d'une nouvelle ère, l'ère de la lumière. Chaque création d'un artiste holographe est unique car de nombreux choix sont possibles aux différentes étapes de la conception et cela donne des concepts originaux.

À l'heure actuelle peu d'artistes à travers le monde utilisent l'art holographique comme moyen de création et d'expression. On peut supposer que, grâce au numérique, ce nombre va rapidement augmenter car les contraintes techniques liées à l'holographie ne seront plus les mêmes.

Il me semble opportun de rappeler à ce stade que la magie de l'holographie, et par conséquent le résultat de mon projet d'études, n'existerait pas sans la lumière. La lumière, cet élément de la nature que l'homme a su apprivoiser, dompter et exploiter dans de multiples applications industrielles est également présente dans l'art.

La lumière apporte énergie et mouvement, caractère et atmosphère à une œuvre. Mais la lumière ne saurait exister sans l'ombre, son contraire, qui la révèle par ses variations nuancées ou tranchées. Un tableau sans ombre ni lumière est une œuvre sans vie.

Depuis que je me suis lancé dans cette aventure, l'expérience acquise m'a permis de jongler avec les principes de l'holographie pour faire de l'art. J'ai vu les capacités et les possibilités de ma nouvelle technique d'imagerie et surtout sa souplesse pour la création artistique. Les franges d'interférence sont souvent ambiguës et parfois oscillent entre deux ou plusieurs perceptions. De plus il est intéressant de noter que chaque personne perçoit les choses différemment. Les perceptions des uns ne correspondent pas forcément aux perceptions des autres. Cela constitue un sérieux atout car est un seul film holographique peut générer plusieurs personnages.

Ces trois années de recherches ont été très gratifiantes en termes de connaissances acquises, de découvertes, d'apprentissage et de rencontres. Cela m'a permis de renouer le contact avec la physique à travers cette matière

pure qu'est la lumière et aussi d'accroître ma créativité artistique et de retrouver le plaisir de dessiner.

Cette thèse m'a donné envie de poursuivre l'aventure avec l'holographie dans le domaine artistique. Je compte mettre à profit le principe de l'holographie pour perfectionner mon art. À l'ère du numérique, investir dans une caméra CCD est sérieusement envisageable. Cela nécessite un investissement budgétaire très important, mais en contrepartie cela offre une certaine liberté et un gain de temps précieux.

Je pense que l'art holographique est le meilleur moyen, aujourd'hui, de faire connaître l'holographie au grand public mais le chemin vers une vraie démocratisation ne peut avoir lieu qu'à travers un médium ou des médias compréhensibles par tout un chacun. On peut espérer que la technologie holographique rentrera un jour dans nos mœurs, tout comme la technologie 3D aujourd'hui. Mais pour l'instant elle va poursuivre sa maturation dans l'anonymat.

11/ BIBLIOGRAPHIE

La bibliographie prend appui sur :

- La norme **NF Z44-005**, de décembre 1987.
Documentation – Références bibliographiques : contenu, forme et structure.

- La norme **NF ISO 690-2**, de février 1998.
Information et documentation – Références bibliographiques, partie 2 : document électroniques, documents complets ou parties de documents.

Article d'encyclopédie sur Internet
[1]. *Wikipedia, l'encyclopédie libre* [en ligne]. Fondation Wikimedia, 2003 [consulté le 09 octobre 2005]. Holographie. Disponible sur : http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Holographie&oldid=10021639

Internet : site web
[2]. *Holographie* [en ligne]. Holophile Inc., 1995 [consulté le 09 septembre 2005]. Disponible sur : http://www.holophile.com

Internet : page de site
[3]. *Les Prix Nobel en 1971* [en ligne]. Wilhelm Odelberg – Nobel Foundation, Stockholm, 1972 [consulté le 09 octobre 2005]. Dennis Gabor : autobiography. Disponible sur :
http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1971/gabor-autobio.html

Ouvrages
[4]. **GABOR, Dennis.** *Inventing the future*. Pelican Books, 1964. 199 p. Niels Bohr library Books. ISBN: 0140206639

[5]. **GABOR, Dennis.** *Innovations*. Oxford University Press Inc., 1970. 113 p. ISBN: 0195194128

[6]. **GABOR, Dennis.** *The mature society*. Praeger Publishers, 1972. 208 p. Niels Bohr library Books. ISBN: 1399015168

Internet : page de site
[7]. *Comment ça marche l'informatique* [en ligne]. Encyclopédie informatique libre, 2006 [consulté le 04 avril 2006]. Introduction à la notion de lumière. Disponible sur :
http://www.commentcamarche.net/video/lumiere.php3

[8]. *CEA - Espace jeunes* [en ligne]. CEA – Commissariat à L'Energie Atomique, 2005 [consulté le 11 janvier 2006]. Le soleil, notre étoile. Disponible sur : http://www.cea.fr/fr/jeunes/livret/soleil/index.html

[9]. *CEA - Espace jeunes* [en ligne]. CEA – Commissariat à L'Energie Atomique, 2005 [consulté le 11 janvier 2006]. L'homme et les rayonnements. Disponible sur : http://www.cea.fr/fr/jeunes/livret/rayonnement/index.html

Ouvrages
[10]. **AMBACHER, Michel.** *Les philosophes de la nature*. Presses Universitaire de France, 1974. 126 p.

Internet : page de site
[11]. *CEA - Espace jeunes* [en ligne]. CEA – Commissariat à L'Energie Atomique, 2005 [consulté le 14 janvier 2006]. L'Atome. Disponible sur : http://www.cea.fr/fr/jeunes/livret/atome/index.html

[12]. *La physique au lycée* [en ligne]. CNRS, 2005, [consulté le 14 janvier 2006]. Photon. Disponible sur :
http://www.cnrs.fr/diffusion/phototheque/physiqueaulycee/ophoton.html

Article d'encyclopédie sur Internet
[13]. *Wikipedia, l'encyclopédie libre* [en ligne]. Fondation Wikimedia, 2003 [consulté le 14 janvier 2006]. Constante de Planck. Disponible sur : http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Constante_de_Planck&oldid=9623102

Ouvrages
[14]. **GIL, Evelyne.** *D'ou vient la lumière laser? (Poché)*. Editions Le Pommier, 2006. 63 p. ISBN: 2746502674

Internet : page de site
[15]. *CEA - Espace jeunes* [en ligne]. CEA – Commissariat à L'Energie Atomique, 2005 [consulté le 14 janvier 2006]. Le laser : un concentré de lumière. Disponible sur : http://www.cea.fr/fr/jeunes/livret/laser/index.html

Article d'encyclopédie sur Internet
[16]. *Wikipedia, l'encyclopédie libre* [en ligne]. Fondation Wikimedia, 2003 [consulté le 14 janvier 2006]. Charles Townes. Disponible sur : http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Charles_Townes&oldid=8157456

Internet : page de site
[17]. *OPUS - Outils Pédagogiques Utiles en Sciences* [en ligne]. Chaire CRSNG, 2003 [consulté le 15 janvier 2006]. Physique 534 : Spécial optique. Disponible sur :
http://www2.fsg.ulaval.ca/opus/physique534/optique/index.shtml

[18]. *Physics 2000* [en ligne]. Physics 2000 – A university of Colorado, [s.d] [consulté le 15 janvier 2006]. Lasers. Disponible sur :
http://www.colorado.edu/physics/2000/lasers/index.html

Internet : page de site signée
[19]. **TERRIN, François.** Atome, Lumière, Laser, Hologramme et Mémoire. **In** *CV Conseils* [en ligne]. François Terrin, [s.d] [consulté le 15 janvier 2006]. Disponible sur : http://www.cvconseils.com/laser.html

Ouvrages
[20]. **SAXBY, Graham.** *Hologrammes, de la prise de vue à leur présentation*. Focal Press Ltd, 1980. 179 p. ISBN: 2225801959

Internet : site web
[21]. *Litiholo* [en ligne]. LitiHolographics, [s.d] [consulté le 07 février 2006]. Disponible sur : http://www.litiholo.com

Ouvrages
[22]. **SMIGIELSKI, Paul.** *Holographie Industrielle (Broché)*. Teknea, 1994. 361p. ISBN: 2877170411

Internet : article de périodique en ligne
[23]. **DAVID, S.** La première vidéo sur un disque holographique (HVD). *PC Inpact* [en ligne], 25 août 2004 [consulté le 14 mai 2006]. Disponible sur : http://www.pcinpact.com/actu/news/La_premiere_video_sur_un_disque_holographique_HVD.htm

Internet : page de site
[24]. *Citroën* [en ligne]. Automobile Citroën, [s.d] [consulté le 02 juin 2006]. Affichage tête haute. Disponible sur : http://www.citroen.com/cww/fr-FR/TECHNOLOGIES/SECURITY/head-up/24022006_TETEHAUTE.htm

Internet : article de périodique en ligne
[25]. **FOX, Barry.** The phantom car. *New Scientist* [en ligne], 17 août 2005 [consulté le 02 juin 2006]. Disponible sur : http://www.newscientist.com/article.ns?id=dn7857 *(version anglaise)* http://www.pcinpact.com/actu/news/Microsoft_depose_le_brevet_de_la_voiture_fantome.htm *(version française de Marc Rees)*

Internet : site web
[26]. *OKTAL : l'atout simulation* [en ligne]. OKTAL, [s.d] [consulté le 11 juin 2006]. Disponible sur : http://www.oktal.fr

[27]. *Association Jeunes Sciences Nord* [en ligne]. ASJN, [s.d] [consulté le 11 juin 2006]. Disponible sur : http://www.jeunes-science.org

[28]. *Def2shoot Post-Production* [en ligne]. Def2shoot, 2002, mis à jour en 2006 [consulté le 11 juin 2006]. Disponible sur : http://www.def2shoot.com

[29]. *Cabinet Pierrat – Avocats à la cour* [en ligne]. Cabinet Pierrat, [s.d] [consulté le 11 juin 2006]. Disponible sur : http://www.cabinet-pierrat.com

[30]. **Baudet Erwann.** *3D artist & developper* [en ligne]. Erwann Baudet, 14 mars 2006 [consulté le 11 juin 2006]. Disponible sur : http://www.erwann.net

[31]. *Duran* [en ligne]. DuranDuboi, mis à jour en 2006 [consulté le 11 juin 2006]. Disponible sur : http://www.duran-duboi.com

Internet : page de site
[32]. **CARLSON, Wayne.** *A Critical History of Computer Graphics and Animation* [en ligne]. Ohio State University, 2003 [consulté le 25 juin 2006]. The emergence of Computer Graphics Technology. Disponible sur : http://accad.osu.edu/~waynec/history/lesson2.html

[33]. *Technologies d'expériences sensorielles* [en ligne]. Sensio, 1999 [consulté le 25 juin 2006]. Histoire du 3D. Disponible sur : http://www.sensio.tv/fr/retailer_history.htm

[34]. *Dictionnaire des arts médiatique* [en ligne]. UQAM - Université de Québec à Montréal, 1996 [consulté le 06 août 2006]. Hologramme Multiplex MD. Disponible sur : http://www.comm.uqam.ca/GRAM/C/MT/hol/holt71.html

Internet : article de périodique en ligne
[35]. **PICART, Pascal.** Holographie numérique. *Ministère délégué à l'enseignement supérieur et à la recherche* [en ligne], [s.d] [consulté le 06 août 2006]. Disponible sur : http://www.espace.gouv.fr/rapport/optique/5.pdf

Internet : page de site
[36]. *Dictionnaire des arts médiatique* [en ligne]. UQAM - Université de Québec à Montréal, 1996 [consulté le 06 août 2006]. Hologramme généré par ordinateur. Disponible sur : http://www.comm.uqam.ca/GRAM/C/term/hol/holt67.html

[37]. **MAITRE, Henri.** [en ligne]. ENST/TSI, 1998-2004 [consulté le 07 août 2006]. Disponible sur : http://www.tsi.enst.fr/~maitre/indexfr.html

Internet : article de périodique en ligne
[38]. **REST, Armin. MUNDERMANN, Lars. WIDENHORN, Ralf et al.** Residual images in charged coupled device detectors. *Review of Scientific Instruments,* [en ligne], 2002, vol.73, n°5 [consulté le 20 juillet 2006]. Disponible sur : http://www.astro.washington.edu/rest/papers/02ghosting.pdf

Internet : page de site
[39]. *Astronomie en Belgique* [en ligne]. Groupe Astronomie de SPA, [s.d] [consulté le 06 août 2006]. Atelier CCD : Construction d'une caméra Audine. Disponible sur : http://www.groupeastronomiespa.be/gasccd.htm

Internet : article de périodique en ligne
[40]. **Université de Caen.** Le cinema holographique: les expérimentations de Claudine Eizykman et Guy Fihman. *Cinémas – Revue d'études cinématographiques (journal of film studies),* [en ligne], [s.d], vol.1, n°3 [consulté le 09 septembre 2006]. Disponible sur : http://www.revue-cinemas.umontreal.ca/vol001no03/05-predal.htm

Internet : page de site signée
[41]. **QUESTER-SEMEON, Natacha.** Philippe Druillet : Star-Wars, un opéra de wagner moderne. **In** *Star-Wars : L'expo* [en ligne]. Cité des Science, 2005 [consulté le 14 juin 2006]. Disponible sur :
http://www.cite-sciences.fr/francais/ala_cite/expositions/star_wars/fiches_plus/druillet.html

Internet : page de site
[42]. *Music Footage Press and News* [en ligne]. RITY – Reelin' In the Years Productions, 2006 [consulté le 15 juin 2006]. RITY and Coltrane Light Up Crowe's "Vanilla Sky". Disponible sur :
http://www.reelinintheyears.com/pr7.html

Internet : site web
[43]. *Heliodisplay* [en ligne]. IO2Technology, 2005 [consulté le 24 avril 2006]. Disponible sur : http://www.io2technology.com

Internet : page de site
[44]. *MedCosm – Health Technology Insight* [en ligne]. MedCosm, LLC, 2006 [consulté le 15 mai 2006]. The MedCosm Computer Generated Hologram (CGH) Construction Kit. Disponible sur :
http://www.medcosm.com/prog_CGHmaker.htm

Ouvrages
[45]. **COLE, Rebecca. HAYWARD, Philip.** *Apparition : Holographic Art in Australia*. Power Publications, 1995. 144 p. ISBN: 0909952272

Internet : site web
[46]. *Art in Holography* [en ligne]. Art in Holography, 1998 [consulté le 20 août 2006]. Disponible sur : http://www.art-in-holography.org

Internet : page de site signée
[47]. **POTTER, Franck. In** *Holography 2* [en ligne]. Art in Holography, 1998 [consulté le 02 septembre 2006]. Disponible sur :
http://www.art-in-holography.org/translate/popper.html

Internet : site web
[48]. **RAZUTIS, Al.** [en ligne]. Visual Alchemy, 1996-2006 [consulté le 25 juin 2006]. Disponible sur : http://www.alchemists.com/visual_alchemy/index.html

Internet : page de site signée
[49]. **BERKHOUT, Rudie.** Rudie Berkhout holograms. **In** *Holography Artist Links* [en ligne]. Ohio State University, [s.d] [consulté le 26 juin 2006]. Disponible sur :
http://www.physics.ohio-state.edu/~kagan/holo_pics/holo_artists.html

Internet : site web
[50]. **BERKHOUT, Rudie.** *Artist/Holographer* [en ligne]. Rudie Berkhout, 2005 [consulté le 25 juin 2006]. Disponible sur :
http://rudieberkhout.home.mindspring.com/home.htm

Internet : page de site signée
[51]. **NICHOLSON, Ana Maria.** Ana Maria Nicholson holograms. **In** *Holography Artist Links* [en ligne]. Ohio State University, [s.d] [consulté le 26 juin 2006]. Disponible sur :
http://www.physics.ohio-state.edu/~kagan/holo_pics/holo_artists.html

[52]. **MOREE, Sam.** Sam Moree holograms. **In** *Holography Artist Links* [en ligne]. Ohio State University, [s.d] [consulté le 26 juin 2006]. Disponible sur :
http://www.physics.ohio-state.edu/~kagan/holo_pics/holo_artists.html

[53]. **UNTERSEHER, Fred.** Fred Unterseher holograms. **In** *Holography Artist Links* [en ligne]. Ohio State University, [s.d] [consulté le 26 juin 2006]. Disponible sur :
http://www.physics.ohio-state.edu/~kagan/holo_pics/holo_artists.html

[54]. **KAC, Eduardo.** Eduardo Kac holograms. **In** *Holography Artist Links* [en ligne]. Ohio State University, [s.d] [consulté le 26 juin 2006]. Disponible sur :
http://www.physics.ohio-state.edu/~kagan/holo_pics/holo_artists.html

Internet : article de périodique en ligne
[55]. *Wikipedia, l'encyclopédie libre* [en ligne]. Fondation Wikimedia, 2003 [consulté le 02 août 2006]. Charles-François Tipaigne de la Roche. Disponible sur :
http://fr.wikipedia.org/wiki/Charles-Fran%C3%A7ois_Tiphaigne_de_la_Roche

Ouvrages
[56]. **DE LA ROCHE, Tiphaigne.** *Giphantie*. Babylone (Paris, Duran), 1760. 2 parties en 1 vol. Pet. In-8 de (2) ff., 176 p – (4) - 174 p.

Internet : page de site signée
[57]. **DE LA ROCHE, Tiphaigne.** Giphantie. **In** *Histoire des techniques* [en ligne]. CNAM, 2000 [consulté le 02 août 2006]. Disponible sur :
http://www.cnam.fr/reliefBonnet/tiphai.htm

Ouvrages
[58]. **LUZY, Antoine.** *La puissance du regard*. Editions Dangles, 1973. 197 p. ISBN: 27003301286

Internet : page de site
[59]. *Visilab, le n°1 suisse de l'optique* [en ligne]. Visilab, 2005 [consulté le 16 septembre 2006]. Les illusions d'optique. Disponible sur :
http://www.visilab.ch/f/dossiers/illusion_optiques.html

Ouvrages
[60]. **INGALESE, Richard.** *Le pouvoir de l'esprit, vos pensées sont des forces servez-vous en !!*. HarperCollins Publishers, 1980. 135 p. ISBN: 27003300468

Internet : page de site
[61]. *TECFA (Technologies de Formation et Apprentissage)* [en ligne]. Collection Microsof Encarta, 2004 [consulté le 16 septembre 2006]. Les illusions d'optique. Disponible sur :
http://tecfa.unige.ch/etu/LME/0304/pythonc2-rothdav0-vergere1/dispositif/Ressources/textes/illusion_optique.pdf

Ouvrages
[62]. **DE VINCI, Leonard.** *Le traité de la peinture*. Calmann-Levy (traduction André Chastel, 2003. ISBN: 2702133789

Internet : page de site
[63]. *Artnews* [en ligne]. Artcult, 1996 [consulté le 16 septembre 2006]. Biographie : Victor Vasarely. Disponible sur :
http://www.artcult.com/vasa.html

[64]. Les illusions d'optiques [en ligne]. *TECFA (Technologies de Formation et Apprentissage)*, [s.d] [consulté le 16 septembre 2006]. Les illusions artistiques. Disponible sur :
http://tecfa.unige.ch/tecfa/teaching/UVLibre/9900/bin11/artistik.htm

Photo, Dessin, Schéma, Portrait

(fig.1). **AIP Emilio Segrè Visual Archives**. "portrait" **In** *The International Society for Optical Engineering* [en ligne]. SPIE, 2006 [consulté le 09 septembre 2005]. Disponible sur : http://newsroom.spie.org/x2451.xml

(fig.2). **LEITH, Emmett**. **UPATNIEKS, Juris**. "Train and Bird" **In** *MIT Museum* [en ligne]. MIT – Massachusetts Institute of Technology, [s.d] [consulté le 09 septembre 2005]. Disponible sur :
http://web.mit.edu/museum/exhibitions/holography.html

(fig.3). **HECHT**. "schéma" **In** *Collection mémoires et thèse électroniques* [en ligne]. Université Laval, [s.d] [consulté le 11 janvier 2006]. Disponible sur :
http://www.theses.ulaval.ca/2004/22342/ch02.html

(fig.4). **COLONA, Jean-François**. "La marche aléatoire des photons produits au cœur du soleil" **In** *A virtual space-time travel machine* [en ligne]. France Telecom R&D et CMAP/Ecole Polytechnique, 1994 [consulté le 11 janvier 2006]. Disponible sur : http://www.lactamme.polytechnique.fr

(fig.5). **PIRARD, W**. “schéma” **In** *Definition de la longueur et de la fréquence d’une onde* [en ligne]. BBEMG – Belgian BioElectro Magnetic Group, 1995 [consulté le 14 janvier 2006]. Disponible sur :
http://www.bbemg.ulc.ac.be/FR/2Notions/freqlg.html

(fig.6). **TREMBLAY, Jean-Pierre**. “schéma” **In** *Les Paysages Invisibles* [en ligne]. [s.d] [consulté le 14 janvier 2006]. Disponible sur :
http://pages.videotron.com/jplt/Technique/index.html

(fig.7 / fig.8). **TESTANIERE, Alain**. “schéma” **In** *Lumières visibles et invisibles* [en ligne]. Physique – Chimie – Baccalauréat Série S, [s.d] [consulté le 14 janvier 2006]. Disponible sur :
http://perso.orange.fr/physique.chimie/Cours_de_physique/Physique_21_LE_LASER.htm

(fig.9). **NASA/Caltech Jet Propulsion Laboratory**. “Hydrogen Maser” **In** *Wikipedia, free encyclopedia* [en ligne]. Foundation Wikipedia, 2003 [consulté le 14 janvier 2006]. Disponible sur :
http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Maser&oldid=74849408

(fig.10). **Chaire CRSNG**. “schéma” **In** *Physique 534: Special optique* [en ligne]. OPUS – Outils Pédagogiques Utiles en Sciences, 2003 [consulté le 15 janvier 2006]. Disponible sur :
http://www2.fsg.ulaval.ca/opus/physique534/optique/laser07.shtml

(fig.11). **UFR de Physique**. “photo” **In** *Cesire* [en ligne]. Université Joseph Fourier Grenoble, 2006 [consulté le 15 janvier 2006]. Disponible sur :
http://web.ujf-grenoble.fr/PHY/intra/Organisation/CESIRE/OPT/photos.php

(fig.12). **CHATEIGNER, Daniel**. “Schéma d’un montage par transmission” **In** *LPEC – Laboratoire de Physique de l’Etat Condensé* [en ligne]. UMR-CNRS 6087, Université du Maine, 1998, mis à jour le 27 février 2001 [consulté le 15 janvier 2006]. Disponible sur : http://moss2.univ-lemans.fr/holo/trois.html

(fig.13). **Brilland, Xavier**. “photo” **In** *Holographie3D* [en ligne]. Images Holographiques, [s.d] [consulté le 15 janvier 2006]. Disponible sur : http://holographie3d.free.fr/kit_holographie.html

(fig.14). **FEY, Karl**. “White light reflection hologram” **In** *Stony Brook Laser Teaching Center* [en ligne]. Stony Brook University, mis à jour le 06 janvier 2004 [consulté le 16 janvier 2006]. Disponible sur : http://laser.physics.sunysb.edu/~karl/webreport

(fig.15). **ME2i**. “Interférométrie classique : limitations” **In** *Mesures physique, expertises et conseils* [en ligne]. ME2i, 1985 [consulté le 14 mai 2006]. Disponible sur : http://www.me2i.fr/irsp_c.htm

(fig.16). **ONERA**. “Interférométrie holographique à Mach 3” **In** *ONERA, Office National d’Etudes et de Recherches Aéronautiques* [en ligne]. ONERA, 2006, mis à jour le 08 novembre 2002 [consulté le 14 mai 2006]. Disponible sur : http://www.onera.fr/photos/souffleries/avion-interferometrie-holographique.php

(fig.17). **Optware Corporation**. “Disc structure” **In** *PC Inpact, magazine informatique online* [en ligne]. PC Inpact, 2003-2006 [consulté le 14 mai 2006]. Disponible sur : http://www.pcinpact.com/actu/news/La_premiere_video_sur_un_disque_holographique_HVD.htm

(fig.18). **Citroën Communications**. “photo” **In** *Citroën* [en ligne]. Automobiles Citroën, [s.d] [consulté le 02 juin 2006]. Disponible sur : http://www.citroen.com/cww/fr-FR/TECHNOLOGIES/SECURITY/head-up/24022006_TETEHAUTE.htm

(fig.19). **FETTER, William**. “graphique” **In** *A Critical History of Computer Graphics and Animation* [en ligne]. Ohio State University, 2003 [consulté le 25 juin 2006]. Disponible sur : http://accad.osu.edu/~waynec/history/lesson2.html

(fig.20). “Motion Capture 3D” **In** *Liti3D* [en ligne]. Liti Holographics, [s.d] [consulté le 06 août 2006]. Disponible sur : http://www.liti3d.com/motion3dcameras.htm

(fig.21). “Basic Holographie” **In** *Guide des expositions itinérantes* [en ligne]. Culture-Commune, 1998-2006 [consulté le 06 août 2006]. Disponible sur : http://www.culture-commune.org/Expositions/exposition-056-04.html

(fig.22). “Camera CCD” **In** *Holographie Numérique* [en ligne]. ESPCI – Ecole Supérieur de Physique et de Chimie Industrielles, [s.d] [consulté le 06 août 2006]. Disponible sur : http://www.espci.fr/recherche/labos/upr5/fr/pole/optique/enseignement/holographie_numerique.pdf

(fig.23). **WEINER**. “Pepper’s Ghost” **In** *Virtual’s Impatience* [en ligne]. Technology of America, 2006 [consulté le 09 septembre 2006]. Disponible sur : http://www.tech-news.com/another/ap200601.html

(fig.24). **RUTTER, Dale**. “peinture” **In** *Donna Rosen Artists’ representative* [en ligne]. Donnarosenartists, [s.d] [consulté le 24 avril 2006]. Disponible sur : http://www.donnarosenartists.com/index.php?navarea=Artist+Gallery&artist=25

(fig.25). **UNTERSEHER, Fred**. “photo” **In** *West Coast Artists in Light* [en ligne]. Visual Alchemy, 1995 [consulté le 20 août 2006]. Disponible sur : http://holonet.de/Visual_Alchemy/fred_unterseher.html

(fig.26). **DALI, Salvador**. “Le torero hallucinogène” **In** *Salvador Dali* [en ligne]. France Design Holographie, [s.d] [consulté le 25 juin 2006]. Disponible sur : http://www.fdholographie.com/cote_venus.html

(fig.27). “Anamorphose classique” **In** *Wikipedia, free encyclopedia* [en ligne]. Foundation Wikipedia, 2003 [consulté le 16 septembre 2006]. Disponible sur : http://fr.wikipedia.org/wiki/Anamorphose

(fig.28). **Vasarely, Victor**. “Denfert” **In** *Vasarely Biography* [en ligne]. Masterworks Fine Art Inc, 2006 [consulté le 16 septembre 2006]. Disponible sur : http://masterworksfineart.com/inventory/vas_bio.htm

(fig.29). **Vasarely, Victor**. “Crystal - Gordes” **In** *Vasarely Biography* [en ligne]. Masterworks Fine Art Inc, 2006 [consulté le 16 septembre 2006]. Disponible sur : http://masterworksfineart.com/inventory/vas_bio.htm

(fig.30). **Dali, Salvador**. “Mae West” **In** *Hommage à Salvador Dali* [en ligne]. Univers Dali.com, 1999 [consulté le 16 septembre 2006]. Disponible sur : http://www.universdali.com/

(fig.31). **Dali, Salvador**. “Marché d'esclaves avec apparition du buste invisible de Voltaire ” **In** *Hommage à Salvador Dali* [en ligne]. Univers Dali.com, 1999 [consulté le 16 septembre 2006]. Disponible sur : http://www.universdali.com/

La capacité à concevoir dans l'abstraction fait appel à la faculté qu'a notre cerveau de combler ce qui n'est pas visible par l'image la plus proche. Cela crée alors une illusion visuelle et l'imagination apporte ensuite à l'esprit des images mentales. Mes recherches consistent à présenter un concept artistique à base d'interférences et d'illusions pour créer des personnages tridimensionnels. Aussi cette thèse est-elle composée de deux parties. La première partie, théorique, est une étude globale sur les propriétés de la lumière, l'optique et la méthode de création des interférences. Dans la deuxième partie j'aborde la pratique en expliquant tout le processus mis en œuvre pour concevoir des personnages tridimensionnels grâce aux illusions visuelles issues des franges d'interférence volontairement perturbées.

Research and artistic experiments in digital imagery using interferences. Conceiving three-dimensional characters due to visual illusions obtained through interference rings disturbed on purpose.

The ability to conceive in total abstraction calls upon the faculty that has our brain to fill what is not visible by the nearest image. That creates a visual illusion and then our imagination bring forward mental images. My research consists in presenting an artistic concept using interferences and illusions to create three-dimensional characters. Also this thesis is composed in two sections. The first section is a general study on the properties of light, optical and the method to create interferences. The second section is based on my practical work. I explain, step by step, how to conceive three-dimensional characters due to visual illusions obtained through interference rings disturbed on purpose.

DOCTORAT Esthétiques, Sciences et Technologies des Arts
option Images Numériques

MOTS CLÉS
Holographie - Hologramme - Optique - Images numériques - Perception visuelle - Réflexion - Transmission - Simulation - Art holographique - Interférences - Interférométrie holographique - Laser - Stéréogrammes

KEY WORDS
Holography - Hologram - Light - Digital imagery - Visual perception - Reflection - Transmission - Simulation - Holographic art - Interference - Holographic interferometry - Laser - Stereograms

---

LABORATOIRE
I.N.R.E.V (Images Numériques et Réalité Virtuelle)
Université de Paris 8 - Vincennes - Saint-Denis
Arts et Technologies de l'Image
2, rue de la Liberté
93526 Saint Denis Cedex