

IMN638 – CHAPITRE 1 MODULE 3  
DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

Automne 2013 – Université de Sherbrooke

9/15/2013

1

Sommaire

- Classification des dispositifs d'affichage
  - Affichage semi-transparent
  - Affichage fenêtre sur le monde
  - Affichages projetés
- Affichage 3D en stéréoscopie
  - Mécanismes de la plano-stéréoscopie
  - Considérations de distance et d'échelles
  - Techniques de stéréoscopie
  - Rendu 3D et stéréoscopie



Visioaque rétinale « Nomad Personal Display » (Microvision, 2003)



Image pour la stéréoscopie 3D sous forme d'anaglyphe. (Kim Scarborough, 2006)

2

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

Restitution et visualisation

Dans un système interactif, les entrées de l'utilisateur servent à modifier l'état du système. Pour qu'il y ait effectivement interaction, le système doit retourner de l'information à l'utilisateur lui permettant de constater et apprécier les changements d'état du système.

La phase où le système retourne son état modifié à l'utilisateur est appelée la **phase de restitution**. Il existe différents types de restitution, notamment :

1. Restitution physique et haptique (mouvement, retour de force)
2. Restitution visuelle (visualisation, affichage)
3. Restitution sonore (son)

Dans le cadre de cette section, nous attarderons aux différents dispositifs de restitution visuelle, notamment dans un contexte de visualisation immersive.



Un simulateur de vol est un bon exemple de dispositif de restitution visuelle, haptique et sonore. (Cockpit Motion Facility, NASA, 1997)

3

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

## CLASSIFICATION DES DISPOSITIFS D’AFFICHAGE

9/15/2013

4

---

---

---

---

---

---

---

---

## Classification des dispositifs d’affichage

9/15/2013

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

Les dispositifs de restitution visuelle, que nous appellerons simplement des dispositifs d’affichage, se divisent principalement en trois catégories, soit :

- Affichage de type semi-transparent
- Affichage fenêtre sur le monde
- Affichage projeté

Nous étudierons brièvement chaque catégorie, en concentrant nos efforts sur les contextes d’utilisations et le fonctionnement général de chacune.

5

---

---

---

---

---

---

---

---

## AFFICHAGE SEMI-TRANSPARENT

9/15/2013

6

---

---

---

---

---

---

---

---

9/15/2013

### Affichage semi-transparent

Les dispositifs d'affichage semi-transparents (*see-through displays* en anglais) prennent habituellement la forme d'une surface d'affichage sur ou à travers laquelle est propagée et affichée une image virtuelle.

Afin d'être immersif, l'affichage est habituellement **superposé et aligné avec une scène réelle**. De cette façon, les éléments virtuels apparaissent sur la vitre et s'intègrent naturellement à l'environnement réel sur lequel ils sont « superposés ».

Pour créer de tels dispositifs d'affichage, on exploite habituellement **les propriétés optiques des matériaux** qui composent le média d'affichage.

7

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

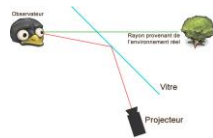
---

9/15/2013

### Affichage tête-haute avec miroir diélectrique

Le type d'affichage semi-transparent le plus commun est l'affichage dit « tête-haute » utilisant un miroir diélectrique. Globalement, ce dispositif d'affichage est construit à partir de deux composantes :

1. Un combineur (miroir diélectrique)
2. Un projecteur



Le combineur est une vitre spéciale, appelé un miroir diélectrique, ou réseau de Bragg, **réflétant certaines longueurs d'ondes précises à un angle d'incidence précis**. Toute lumière n'ayant pas exactement la longueur d'onde et l'angle d'incidence du miroir passe donc à travers le combineur comme s'il était une vitre transparente.

8

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

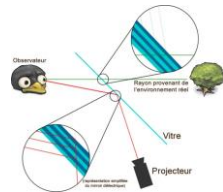
9/15/2013

### Affichage tête-haute avec miroir diélectrique (Heads up display HUD)

Pour avoir de telle propriété, le **miroir diélectrique** exploite le phénomène de **réflexion totale** observé en physique optique, qui se produit lorsqu'un rayon de lumière passe d'un milieu possédant un indice de réfraction élevé vers un milieu possédant un indice de réfraction bas: **Si l'angle d'incidence du rayon de lumière est suffisamment élevé, ce dernier est réfléchi comme si la surface était un miroir**.

L'angle à partir duquel il y a réflexion totale est appelé « l'angle critique ».

Sachant que la réfraction varie selon la longueur d'onde, il est possible de générer des surfaces constituées de plusieurs fines couches de matériaux réfléchissant uniquement une certaine longueur d'onde à un certain angle d'incidence. Ces surfaces sont des miroirs diélectriques.



Représentation détaillée d'un affichage semi-transparent avec miroir diélectrique. L'interaction des rayons de lumière avec le miroir diélectrique a été simplifiée pour la représentation.

9

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

9/15/2013

### Affichage tête-haute avec miroir diélectrique

Dans un contexte pratique, la nature diélectrique du combineur implique qu'il n'est pas possible d'afficher n'importe quelle couleur sur celui-ci. En effet, seulement quelques couleurs spécialement sélectionnées peuvent être affichées. Un combineur pouvant réfléchir de larges bandes de fréquences peut exister mais à ce stade il bloquera aussi les rayons lumineux provenant de l'autre côté de la vitre, ce qui nuit au système.

En pratique, un combineur réfléchira un nombre relativement bas de longueurs d'ondes. Un projecteur spécialisé pour ces longueurs d'onde doit être utilisé et installé dans une position fixe par rapport à la vitre afin de garantir un angle d'incidence correct.

Les affichages tête haute avec miroir diélectrique se retrouvent principalement dans les habitacles de moyens de transports où de l'information est projetée sur un pare-brise.



Affichage semi-transparent tel que vu dans l'habitacle d'un chasse F18. On remarque l'ajout d'une vitre diélectrique supplémentaire pour l'affichage. La vitre de l'habitacle étant courbe, elle n'aurait pas un angle favorable pour l'affichage (McDonnell Douglas/Boeing 1983)



Affichage semi-transparent tel que vu dans l'habitacle d'une BMW série 5 (BMW, 2008)

10

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

---

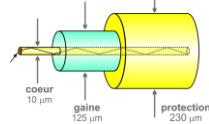
---

9/15/2013

### Affichage par guide d'ondes

Toujours dans la catégorie des affichages semi-transparents, un autre type d'affichage populaire est l'affichage par guide d'ondes lumineuses. Ces dispositifs fonctionnent en tirant du phénomène de **réflexion totale interne** de la réfraction. (Soit quand une réflexion totale se produit de manière à « emprisonner » un rayon lumineux dans un milieu transparent.)

Un guide d'onde est composé d'un **mince volume à haut coefficient de réfraction** dans laquelle on émet une onde. Cette surface est **entourée d'une couche d'un matériel différent ayant un coefficient de réfraction plus faible**. L'onde étant émise dans le volume à haut coefficient, elle ne peut sortir du volume tant qu'il se voit entouré d'un coefficient plus bas, créant la réflexion totale interne.



Une fibre optique est un excellent exemple de guide d'onde. Le cœur de la fibre possède un coefficient de réfraction plus élevé que la gaine. Tant que la fibre n'est pas courbée au-delà d'une certaine courbure, l'angle incident du rayon de lumière sur les parois du cœur de la fibre sera toujours supérieur à l'angle critique, générant une réflexion plutôt qu'une réfraction (Christophe Finet, 2006)

11

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

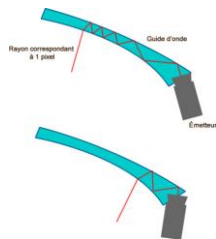
---

---

9/15/2013

### Affichage par guide d'ondes

Dans le cas d'une fibre optique, la fibre est créée pour éviter que le signal qu'elle contient (la lumière) ne s'échappe. Ceci étant dit, il est possible de construire notre système de guide d'onde de manière à **contrôler le point exact où la lumière s'échappera de celui-ci**. En effet, en contrôlant l'angle à laquelle la lumière est émise et en connaissant la forme de notre guide d'onde, il est possible de prédire exactement le point où l'angle d'incidence du rayon réfléchi deviendra suffisamment petit pour que le rayon sorte du guide d'onde.



12

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

---

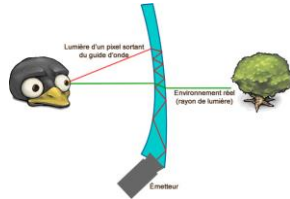
---

9/15/2013

### Affichage par guide d'ondes

Partant de ce principe, il est possible de prendre un signal vidéo et de **l'encoder en modifiant l'angle de propagation de la lumière pour chaque pixel** afin que ceux-ci sortent du guide d'onde à l'endroit précis où ils devraient être affichés.

Puisque le guide d'onde lui-même est composé de matériaux transparents, il laisse toujours passer la lumière provenant de l'environnement, ce qui crée un dispositif d'affichage semi-transparent très précis.



Le guide d'onde laisse passer la lumière puisqu'il est transparent et affiche une image superposée grâce à des petits émetteurs dont l'angle permet l'affichage de « points » de lumière à des emplacements précis.

13

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

9/15/2013

### Affichage par guide d'ondes

Les affichages par guide d'onde demeurent une technologie nouvelle et ne trouvent pas encore beaucoup d'applications étant donné leur coût encore très élevé. Ils sont aussi en concurrence avec d'autres dispositifs d'affichage, notamment les écrans TOLED que nous verrons à l'acétate suivante.



Les lunettes « Sony Optical Waveguide » sont un exemple de dispositif par guide d'onde près de la commercialisation. (Sony, 2007)



Lunettes d'affichage semi-transparentes par guide d'onde « Lumus » (Lumus, 2007)

Parmi les applications potentielles, on compte notamment l'affichage pour l'assistance opératoire dans un contexte médical et le divertissement électronique (visualisation de films, jeu vidéo, etc.)

14

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

---

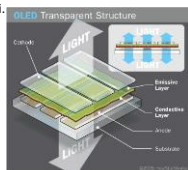
---

9/15/2013

### Affichage avec diodes électroluminescentes transparentes

Le dernier système d'affichage semi-transparent que nous aborderons est un affichage utilisant un écran d'affichage « TOLED » (pour « Transparent Organic Light-Emitting Diode »).

Un affichage de type « TOLED » est un affichage utilisant des **diodes électroluminescentes dont les composantes sont toutes transparentes** (cathode, couche émissive, couche conductrice, anode et substrat). Il est donc possible de contrôler les pixels de l'écran où l'image doit être transparente simplement en n'envoyant aucun signal à ceux-ci.



Représentation d'un écran à diodes électroluminescentes transparentes (HowStuffWorks, 2005)

15

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

---

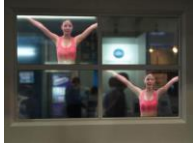
---

9/15/2013

### Affichage avec diodes électroluminescentes transparentes

Les écrans TOLED sont encore à l'état de prototypes mais gagnent rapidement en popularité puisqu'ils reposent sur des technologies déjà maîtrisées et abordables. La maîtrise de cette technologie est la force principale de ce type d'affichage.

Les écrans TOLED demeurent **physiquement très fragiles** puisque l'écran est en même temps le support d'affichage.



Démonstration d'un écran TOLED de la compagnie Philips (Philips Corp., 2008)

16

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

9/15/2013

### Affichages semi-transparents

Pour terminer, notons qu'une limitation récurrente de tous les dispositifs transparents est leur **incapacité à afficher une « absence » de lumière** (donc du noir ou des couleurs foncées).

En effet, le signal des dispositifs d'affichage semi-transparents vient se superposer sur l'arrière plan du dispositif. Autrement dit, **l'affichage se fait par mélange additif des couleurs** (les couleurs affichées sont ajoutées à l'arrière plan). Si l'arrière plan n'est pas noir, il n'est pas possible d'obscurcir le média d'affichage afin d'afficher une telle couleur puisque l'affichage ne fait « qu'additionner » une couleur supplémentaire à la couleur d'arrière plan.

Similairement, si l'arrière plan du dispositif d'affichage est trop clair, la couleur affichée viendra rapidement **saturer la couleur de l'arrière plan**, ce qui rendra les éléments affichés difficiles à percevoir car ils se rapprocheront tous de la couleur blanche. (Le même constat peut se faire sur des couleurs seules, par exemple afficher du rouge sur fond rouge sature la couleur rapidement et elle devient imperceptible par rapport au fond.)

17

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

### AFFICHAGE FENÊTRE SUR LE MONDE

9/15/2013

18

---

---

---

---

---

---

---

---

9/15/2013

### Affichage fenêtre sur le monde

Les affichages fenêtre sur le monde (window on the world) sont relativement **simples et peu coûteux**, ce qui les rends très populaires dans les contextes de réalité augmentée ou de réalité virtuelle.

Un affichage de ce type utilise un **moniteur ou un écran** quelconque pour l'affichage. L'environnement réel est filmé avec une **caméra** puis affiché dans l'écran ou le moniteur où sont superposés des éléments virtuels. L'utilisateur regarde donc, à toute fin pratique, une séquence vidéo filmée une fraction de seconde avant qu'elle ne soit affichée. En fixant la caméra et les moniteurs aux yeux de l'utilisateur, celui-ci a l'impression de voir à travers une « fenêtre » sur son environnement.

La caméra et l'écran sont séparés, l'utilisateur voit donc la scène virtuellement mais sans y être réellement immergé.



La caméra est fixée sur l'axe de vision de l'utilisateur pour donner l'illusion à l'utilisateur qu'il regarde une scène de ses propres yeux. (Goggles et lunettes (OGlasses))

19

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

9/15/2013

### Affichage fenêtre sur le monde

L'affichage fenêtre sur le monde possède la qualité intéressante que ses composantes sont peu coûteuses et facilement accessibles pour l'utilisateur ou le concepteur moyen. En effet, une webcam et un écran d'ordinateur suffisent habituellement amplement pour construire un affichage fenêtre sur le monde.

Malheureusement, ce système possède de **nombreuses faiblesses** :

- Qualité du résultat fortement dépendante de la qualité du matériel utilisé pour l'acquisition.
- Long délais entre l'image filmée et l'image rendue (Habituellement autour de 1/60<sup>e</sup> de seconde). Ceci crée ce qu'on appelle une « nausée de simulation » causée par une différence entre les signaux visuels reçus et le centre de l'équilibre qui évalue le mouvement du corps.
- Représentation de l'environnement réel habituellement peu fidèle puisque l'environnement est seulement filmé et affiché sur un écran. (Ou deux dans le cas de plano-stéréoscopie, que nous verrons plus tard dans le chapitre.)

20

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

### AFFICHAGE PROJETÉ

9/15/2013

21

---

---

---

---

---

---

---

---

9/15/2013

### Affichage projeté

La dernière famille de dispositif d'affichage que nous verrons englobe les affichages dit « projetés ».

De manière générale, un affichage projeté consiste à **projeter les éléments de réalité virtuelle directement sur une surface réelle, sans média supplémentaire**, de façon à simuler la présence de l'élément virtuel sans avoir recours à un dispositif visible autre que le projecteur lui-même.

La principale différence entre l'affichage projeté et les autres dispositifs d'affichage vus jusqu'à présent est que **le dispositif d'affichage ne s'interpose pas entre l'utilisateur et la scène réelle augmentée** qu'il tente de regarder. Ceci devient rapidement avantageux puisque le tout offre une plus grande liberté à l'utilisateur. Il faut cependant garder en tête que l'utilisateur peut lui s'interposer entre la surface d'affichage et le dispositif de projection. Finalement, notons que **le système est contraint par la géométrie et les propriétés visuelles de l'environnement réel où est projetée l'image**.

Un système à affichage projeté **ne requiert qu'un projecteur**.

22

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

9/15/2013

### Affichage projeté

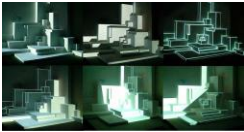
Quelques exemples :



La technologie « Surface » de Microsoft utilise un projecteur sous une table afin de projeter les éléments affichés sur la surface principale de cette dernière (Microsoft, 2007)



Prototype de la technologie d'assistance « MERL » de Mitsubishi. Une personne pointe un système de caméra/projecteur vers un mur sur lequel est projetée de l'information contextuelle utile pour l'utilisateur. (Mitsubishi, 2005)



Sculpture de réalité augmentée telle que proposée par Pablo Valbuena dans le cadre de l'exposition « Augmented sculptures ». La sculpture cubique est alignée avec un projecteur projetant des formes animées sur cette dernière en tirant profit de sa structure (An Electronica, 2007)

23

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

9/15/2013

### Affichage projeté rétinien

Toujours dans la famille des affichages projetés, notons un type d'affichage projeté très particulier, soit **l'affichage projeté rétinien**.

Globalement, ce type d'affichage consiste à aligner un petit projecteur à faible énergie avec l'œil et utiliser directement la rétine de l'œil comme surface de projection. Il est donc **possible d'avoir une surface de projection couvrant la totalité du champ de vision de l'utilisateur**.

Ces dispositifs sont très avantageux dans la mesure où ils **permettent d'éviter les problèmes standards reliés à l'affichage par projection**, soit une dépendance par rapport à la surface de projection et le risque d'obstacle entre la surface et le projecteur. De plus, un affichage par projection rétinienne nécessite beaucoup moins de lumière pour fonctionner, ce qui **diminue l'énergie requise pour opérer le système et augmente son autonomie**.

C'est d'ailleurs cette réduction en besoins énergétiques qui permet la création de projecteurs rétiniens portable et qui motive son utilisation.

24

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

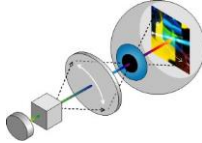


9/15/2013

### Affichage projeté rétinien

Au niveau du fonctionnement, un affichage rétinien projeté diffère d'un système d'affichage oculaire habituel dans la mesure où il ne consiste pas simplement à placer un petit moniteur vidéo devant l'œil. En effet, lors d'un affichage rétinien projeté, un laser à très faible énergie vient « peindre » l'image à visualiser directement sur la rétine, ce qui diffère d'un image conventionnel où l'œil « lit » l'image d'une surface.

La position et la couleur du laser est modulée de façon à afficher les divers points de l'image sur la rétine. (Rappelons que le dit laser est extrêmement faible et spécialement conçu pour ne pas endommager la rétine.)



Représentation schématisée d'un affichage rétinien projeté. De gauche à droite, nous avons l'émetteur laser fixant la couleur, le modulateur du laser, donnant la direction, une lentille, permettant de concentrer l'image vers l'œil, puis l'œil lui-même où est projetée l'image. (Terence D. Hughes, 1999)

25

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

9/15/2013

### Affichage projeté rétinien

Les dispositifs de projection rétinienne sont principalement utilisés au niveau du militaire et dans le domaine médical. En effet, leur coût demeure extrêmement élevé, ce qui explique leur faible disponibilité au niveau du public.



Projecteur rétinien laser « Nomad » fixé sur les casques des équipages de char « Stryker » de l'armée américaine. Le dispositif est produit par l'entreprise Microvision Military et projette sur la rétine des informations GPS et des cartes géographiques. (MurdochOnline.com, 2008)



Projecteur rétinien développé par MicroOptical. Il fournit une assistance visuelle au chirurgien lors d'opération complexe, notamment en affichant les signaux vitaux du patient ou des images médicales acquises avant l'opération (weird.com, 2009)

26

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

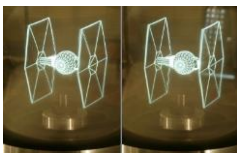
---

---

9/15/2013

### Autres dispositifs d'affichage

Pour terminer cette section, notons que certains dispositifs d'affichage à l'apparence plus exotique peuvent néanmoins se classer dans une des catégories précédentes, et possèdent habituellement les mêmes forces et faiblesses.



Système de projection sur une surface rotative pouvant être classé dans les systèmes d'affichage semi-transparent puisque son fonctionnement est analogue aux systèmes avec miroirs diélectriques. (University of Southern California, 2007)

Dans un contexte pratique, sélectionner le bon type de dispositif en fonction du type d'application à réaliser est un choix majeur pour le développement d'un système interactif. Rester à jour et posséder une bonne connaissance des différents dispositifs d'affichage, au-delà de l'écran LCD classique est donc de mise.

27

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## AFFICHAGE 3D EN STÉRÉOSCOPIE

9/15/2013

28

## Affichage 3D en stéréoscopie

9/15/2013

Les dernières années ont vu une augmentation graduelle de la popularité des dispositifs d'affichage 3D fonctionnant par stéréoscopie. En effet, on parle maintenant relativement couramment de films 3D vus au cinéma, ou de télévisions haute définition supportant l'affichage 3D.

En informatique, les vendeurs de carte vidéo ont recommencé à utiliser la stéréoscopie comme argument de vente, fonctionnalité qui avait été plus ou moins oubliée au début des années 2000.

Tant au cinéma qu'à la télévision ou en informatique, **la stéréoscopie revenant en vogue est appelée la plano-stéréoscopie**. Contrairement à d'autres dispositifs d'affichage 3D, la **plano-stéréoscopie fonctionne en utilisant deux surfaces planaires afin de donner l'impression de profondeur**.

Cette section touchera uniquement la plano-stéréoscopie, nous discuterons des mathématiques derrière la perception de la profondeur et comment configurer un système d'affichage en stéréoscopie pour différents utilisateurs.

29

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE


## PLANO-STÉRÉOSCOPIE ET PERCEPTION DE LA PROFONDEUR

9/15/2013


30

**Plano-stéréoscopie**


Dans une application interactive habituelle, la perception de la profondeur s'effectue à l'aide d'indices perceptuels de profondeur dits monoculaires :




Occlusion



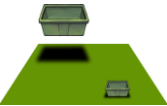
Taille




Texture



Diffusion environnementale



Ombres



Proximité de la ligne d'horizon

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---


---

---

---

**Plano-stéréoscopie**

Aux indices précédents, on peut ajouter le parallaxe de mouvement, qui devient apparent dans une scène 3D animée :



DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---


---

---

---

**Plano-stéréoscopie**

Aux indices précédents, on peut ajouter le parallaxe de mouvement, qui devient apparent dans une scène 3D animée :



DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

### Plano-stéréoscopie

Aux indices précédents, on peut ajouter le parallaxe de mouvement, qui devient apparent dans une scène 3D animée :



34

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

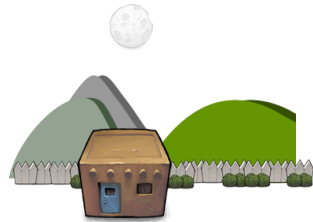
---

---

---

### Plano-stéréoscopie

Aux indices précédents, on peut ajouter le parallaxe de mouvement, qui devient apparent dans une scène 3D animée :



35

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

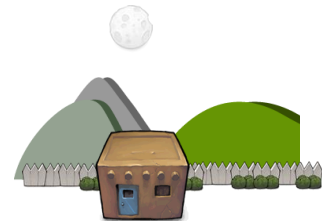
---

---

---

### Plano-stéréoscopie

Aux indices précédents, on peut ajouter le parallaxe de mouvement, qui devient apparent dans une scène 3D animée :



36

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

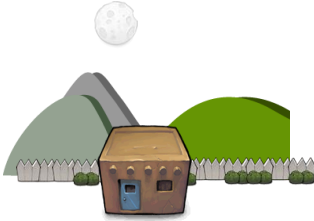
---

---

9/15/2013

**Plano-stéréoscopie**

Aux indices précédents, on peut ajouter le parallaxe de mouvement, qui devient apparent dans une scène 3D animée :



37

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

9/15/2013

**Plano-stéréoscopie**

Un dispositif d'affichage par stéréoscopie ajoute quant à lui trois indices de profondeurs supplémentaires : **la convergence, l'accommodement et la disparité rétinienne.**

**Convergence** : Survient lorsque nous bougeons physiquement nos yeux vers un objet pour que leurs direction de regard converge vers celui-ci.

**Accommodement** : Survient lorsque nous modifions la forme de notre cristallin dans notre œil pour faire la mise au point sur un objet.

**Disparité rétinienne** : Deux éléments identiques se projettent à différents endroits sur la rétine, notre cerveau utilise l'information de disparité pour reconstruire la profondeur.

La convergence, l'accommodement et la disparité rétinienne sont des actions intuitives et ne requièrent pas un effort conscient de la part du cerveau.

38

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

**MODÈLE D'UN SYSTÈME DE PLANO-STÉRÉOSCOPIE**

9/15/2013

39

---

---

---

---

---

---

---

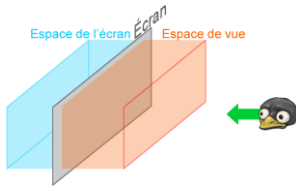
---

9/15/2013

### Volume de vision

En stéréoscopie, on ne parle plus d'un plan d'affichage mais plutôt d'un volume d'affichage. Ce volume est un volume visuel perçutuel et n'existe pas physiquement.

Le volume perçutuel se divise en deux régions, une « derrière » l'écran et une « devant » l'écran. La région entre l'écran et l'utilisateur est nommée « **espace de vue** » et la région derrière l'écran est nommée « **espace de l'écran** ».



40

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

9/15/2013

### Volume de vision et parallaxe

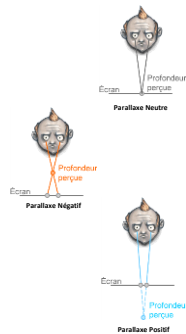
La disparité entre deux points peut générer trois types de parallaxes, affectant la profondeur perçue.

**Neutre** : Lorsque qu'un point est affiché exactement au même endroit sur le plan image pour l'œil gauche et l'œil droit, l'objet est perçu sur l'écran.

**Négatif** : Lorsque le point de l'œil gauche sur le plan image correspondant est plus à droite que le point de l'œil droit l'objet est perçu devant l'écran.

**Positif** : Lorsque le point de l'œil gauche sur le plan image correspondant est plus à gauche que le point de l'œil droit l'objet est perçu derrière l'écran.

Un parallaxe négatif se retrouvera dans l'espace de vue et un parallaxe positif dans l'espace de l'écran.



41

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

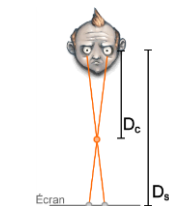
---

9/15/2013

### Convergence et disparité rétinienne

Dans un contexte de stéréovision, la surface physique sur laquelle s'affiche l'image est à une profondeur différente de l'objet virtuel qu'on affiche. L'œil peut cependant uniquement s'accommoder (faire la mise au point) sur des distances physiques réelles. Il peut par contre converger l'orientation des yeux vers une distance virtuelle. L'œil tente donc de s'accommoder à une distance différente de l'emplacement où il converge, ce qui crée un certain stress cognitif et physique.

Ce stress cognitif est au centre même des considérations à prendre pour de l'affichage plano-stéréoscopique. En effet, l'œil possède un seuil maximal de différence entre la distance accommodée ( $D_a$ ) et la distance convergée ( $D_c$ ). Il faut donc s'assurer que notre environnement reste dans des limites de profondeurs conséquentes avec ce seuil.



La différence maximale entre la distance de convergence  $D_c$  et la distance d'accommodation  $D_a$  détermine la profondeur maximale et minimale que notre système stéréoscopique peut simuler.

42

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

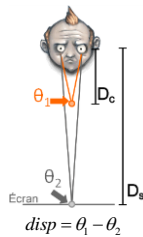
---

### Convergence et disparité rétinienne

La première règle à respecter pour garantir que l'utilisateur du système stéréoscopique est confortable est de s'assurer que la disparité angulaire entre la distance accommodée  $D_a$  et la distance convergée  $D_c$  **n'excède jamais  $10^\circ$** , soit le seuil maximal de convergence du système oculaire humain. Si la disparité angulaire dépasse ce seuil, l'utilisateur n'arrivera plus à fusionner les deux images et entrera en diplopie (il verra deux images séparées sans pouvoir en extraire la profondeur).

Le calcul de la disparité angulaire est la différence d'angle entre l'angle formé par les distances accommodées de chaque œil et les distances convergées de ceux-ci. Pour calculer ces distances, vous aurez besoin de la distance inter-pupillaire de votre utilisateur, soit la distance entre les pupilles de ses yeux. (Varie de 7.5 cm à 4.5 cm, en moyenne on prend pour acquis que l'utilisateur a une distance inter-pupillaire de 6.5cm.)

Notons que le seuil est très rarement excédé minimalement que l'utilisateur se trouve à une distance raisonnable de l'écran et que l'écran n'est pas gigantesque.



43

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

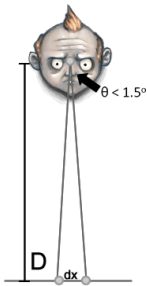
---

---

---

---

### Convergence et parallaxe sur l'écran



Une autre contrainte des affichages plano-stéréoscopiques est la limite du cerveau à pouvoir fusionner deux images ayant une disparité.

En effet, **l'œil humain est limité à un parallaxe latéral inférieur ou égal à  $1.5^\circ$  d'angle maximal**. Autrement dit, si on superpose les images vues par l'œil droit et l'œil gauche un même point ne doit pas posséder une disparité générant un angle de parallaxe latéral supérieur à  $1.5$  degrés.

De l'image à gauche, on remarque que le parallaxe est calculé à partir d'un point milieu imaginaire entre les deux yeux. Ce point est en fait le point spatial à partir duquel le cerveau procède à la reconstruction 3D.

Au-delà du seuil de  $1.5$  degrés, le cerveau n'arrive plus à combiner les images et l'utilisateur sent un inconfort visuel.

44

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

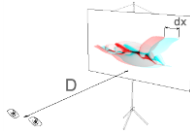
### Convergence et parallaxe sur l'écran

En considérant la contrainte précédente, on peut établir une relation entre la disparité maximale sur l'écran en fonction de la distance de l'utilisateur par rapport à cet écran, en suivant la règle (en fait c'est rien de fancy, c'est juste la règle des tangentes pour les triangles rectangles...):

$$\theta = \tan^{-1}(dx / D)$$

Où  $dx$  est la disparité maximale possible sur l'écran et  $D$  est la distance de l'utilisateur. **Ainsi, si l'utilisateur est situé à 50cm de l'écran, à la limite de  $1.5$  degrés, le parallaxe latéral maximal sera de 1.31 cm.** Autrement dit, deux points de l'image ne pourront être séparés à plus de 1.31 cm près.

La mesure  $dx$  est appelé « parallaxe à l'écran » ou « on-screen parallax » et se note souvent « osp » dans la littérature.



45

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

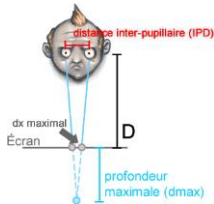
---

9/15/2013

**Parallaxe à l'écran et limite de profondeur perçue**

Sachant le parallaxe maximal possible à l'écran, nous pouvons calculer quelle est la profondeur minimale et maximale que peut simuler notre système de stéréovision.

Pour la profondeur maximale (par rapport à l'écran), on a donc :



$$\frac{dx}{IPD} = \frac{d_{\max}}{D + d_{\max}}$$

Puisque nous connaissons  $dx$ ,  $IPD$  et  $D$ , il devient relativement simple de trouver notre profondeur maximale  $d_{\max}$ .

46

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

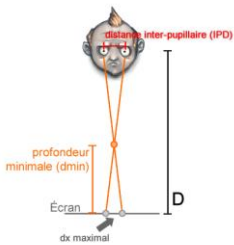
---

---

9/15/2013

**Parallaxe à l'écran et limite de profondeur perçue**

Et pour la profondeur minimale (par rapport à l'écran), on a :



$$\frac{dx}{IPD} = \frac{d_{\min}}{D - d_{\min}}$$

47

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

9/15/2013

**Contrainte de profondeur**

Pour terminer, notons que l'œil humain n'évalue pas les profondeurs au-delà de 180 mètres à l'aide de la stéréoscopie. Les profondeurs importantes sont évaluées à l'aide d'indices monoculaires, notamment via la diffusion environnementale, la réduction de taille des objets et la perte de détail dans la texture des objets.



Les montagnes lointaines semblent perdre leur texture et graduellement leur saturation de couleur. La stéréoscopie n'entre pas en jeu pour mesurer la profondeur lorsque cette dernière est importante. (CarolinaWest Inc, 2005)

48

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## TECHNIQUES DE STÉRÉOSCOPIE

9/15/2013

49

---

---

---

---

---

---

---

---

9/15/2013

## Techniques de stéréoscopie

De nos jours, il existe trois techniques prédominantes sur le marché pour le rendu 3D par stéréoscopie.

- La stéréoscopie anaglyphe
- La stéréoscopie par multiplexage temporel
- La stéréoscopie par lumière polarisée

Nous explorerons le processus de chaque technique et comment éviter les artefacts de « ghosting ». (Le ghosting survient lorsqu'un œil voit ce qui devrait être vu par l'autre œil.)

50

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

9/15/2013

## Stéréoscopie Anaglyphe

La stéréoscopie anaglyphe est sans contredit la **plus populaire et la moins coûteuse** des trois techniques. Globalement, elle utilise la **séparation fréquentielle de la lumière de l'image pour encoder le contenu vu par chaque œil**. Le contenu vu par l'œil gauche est simplement encodé dans un canal de couleur alors que le contenu de l'œil droit est un canal différent.

L'utilisateur doit porter des lunettes spéciales où chaque œil filtre les couleurs et bloque celles qui ne lui sont pas destinées. L'image source peut être encodée dans une seule image, ce qui rend la stéréoscopie anaglyphe très versatile. (Elle peut même être encodée sur une feuille de papier!)

En pratique, la stéréoscopie anaglyphe doit permettre à l'utilisateur de configurer les couleurs de son écran afin de s'assurer que les couleurs émises par celui-ci correspondent bien aux filtres des lunettes. Notons aussi que la stéréo anaglyphe n'offre par une très bonne **qualité d'image puisque les couleurs sont déjà utilisées pour l'encodage de la 3D**.



Les populaires lunettes rouge et bleu utilisées pour visualiser la stéréoscopie anaglyphe. (Wikipedia - 2007)



Image pour la stéréoscopie 3D sous forme d'anaglyphe. (Kim Scarborough, 2006)

51

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

9/15/2013

### Stéréoscopie par multiplexage temporel

La stéréoscopie par multiplexage temporel encode la stéréoscopie en entrelaçant les images de l'œil gauche et de l'œil droit dans le temps. Autrement dit, une séquence vidéo stéréoscopie encodée par multiplexage temporel rend une image sur deux pour l'œil gauche, et l'autre image pour l'œil droit.

Des lunettes 3D actives doivent être connectées au dispositif d'affichage afin de dynamiquement fermer l'œil pour lequel l'image courante n'est pas destinée. Chaque fois que le dispositif d'affichage affiche une nouvelle image, il envoie aux lunettes un signal avertissant à une des lentilles de se fermer.

L'entrelacement des images dans le temps permet d'avoir une meilleure définition de couleur qu'avec la stéréo anaglyphe. Ceci étant dit, la technique a aussi pour effet de couper de moitié le taux de rafraîchissement du système. Des écrans ayant des taux de rafraîchissement plus élevé, de l'ordre de 120 Hz doivent à ce moment être utilisés pour éviter une perte de fluidité visible dans le mouvement affiché.



Lunettes de stéréovision fournies avec les cartes vidéos Asus V8200 GeForce 3 en 2001. On remarque que la lunette doit être directement branchée dans l'ordinateur pour recevoir le signal de synchronisation. (Jau, 2003)



Lunette de stéréovision « GeForce 3D Vision » récemment proposée par Nvidia. On remarque que les lunettes sont maintenant indépendantes et sont synchronisées via un émetteur infrarouge (la petite pyramide noire) (Nvidia, 2009)

52

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

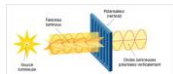
9/15/2013

### Stéréoscopie par polarisation de la lumière

La stéréoscopie par polarisation de la lumière utilise, comme son nom l'indique, une lumière polarisée afin de transmettre les deux images stéréoscopiques. Globalement, le dispositif d'affichage est constitué de deux écrans superposés. Chaque écran possède un filtre polariseur orienté dans une certaine direction. (Le dispositif peut aussi posséder un seul écran à 120Hz avec un filtre polariseur alternant entre les deux orientations).

L'utilisateur n'a ensuite qu'à mettre des lunettes où chaque œil est polarisé pour une certaine direction. Chaque œil recevra alors la bonne image, polarisée dans la bonne direction. (Notons que la polarisation de la lumière ne bloque pas les couleurs, l'utilisateur voit donc les images 3D en couleur.)

L'avantage le plus évident de la polarisation est qu'il ne nécessite pas de lunette active comme c'est le cas pour la stéréovision avec multiplexage temporel. Ceci étant dit, l'utilisateur doit garder la tête droite lors du visionnement, sous peine de voir des artefacts apparaître dans l'image. Les filtres polarisants bloquant une partie de la lumière, les dispositifs d'affichage polarisés nécessitent habituellement plus d'énergie pour obtenir le même niveau de luminosité.



Processus de polarisation de la lumière avec un filtre polarisant. Le faisceau lumineux non polarisé passe à travers un polariseur qui ne laisse passer que les ondes correctement alignées. (Astro-Canada, 2006)



Fonctionnement des lunettes polarisées pour la stéréoscopie. L'écran émet des rayons polarisés dans une direction différente pour chaque image, et les lunettes ne captent que l'image polarisée dans la bonne direction pour chaque œil.

53

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

### INTÉGRATION DE LA STÉRÉOSCOPIE DANS UNE SCÈNE 3D

9/15/2013

54

9/15/2013

### Intégration de la stéréoscopie dans une scène 3D

Le rendu de stéréoscopie dans une scène 3D s'effectue naïvement en effectuant deux fois le rendu de la même image, mais en ajoutant une disparité à la caméra, afin d'avoir nos images stéréoscopiques.

Sans nécessairement entrer en détail dans les techniques de 3D (ce sera le sujet de la seconde moitié de la session), certains éléments doivent être pris en considération pour le rendu stéréoscopique :

- Tous les éléments 3D qui sont indépendants de l'angle de vision, comme un « billboard » par exemple, donnent des résultats erronés en stéréoscopie.
- Les éléments d'arrière-plan, comme le ciel, doivent être rendu avec des profondeurs variables et réalistes plutôt que simplement être ajoutés comme arrière-plan au début du rendu de la scène. Autrement, les éléments d'arrière-plan sembleront trop près (par exemple, le ciel ressemblera plutôt à un plafond).

55

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

9/15/2013

### Intégration de la stéréoscopie dans une scène 3D

- Les interfaces d'un jeu sont normalement rendus par-dessus la scène 3D après qu'elle ait été rendue. Dans le cas de la stéréovision, certains objets en 3D pourraient apparaître *devant* l'écran, mais seront dans ce cas tout de même *derrière* l'interface, ce qui crée une confusion visuelle et augmente la charge cognitive de l'utilisateur. Rendre l'interface à la profondeur minimale devient alors important pour garantir qu'il se trouvera toujours devant la scène 3D.

- Le commentaire précédent est aussi valide pour la souris. La souris du système sera rendue sur le plan image, ce qui peut devenir une source de stress visuel pour l'utilisateur. La souris du système devrait plutôt être cachée et un pointeur de souris devrait être « simulé » à la profondeur minimale pour être devant tous les objets.

- Finalement, tous les effets en espace image, notamment les effets de post-rendu, doivent tenir compte de la stéréoscopie. Le tout est aussi valide pour des éléments 2D rendus dans l'environnement 3D comme les étiquettes textuelles par exemple.

56

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

9/15/2013

### Conclusion

L'affichage stéréoscopique 3D prend de la popularité et est un bon moyen d'augmenter l'immersion d'un utilisateur dans un environnement virtuel interactif.

Il faut cependant garder en tête que l'affichage stéréoscopique n'est pas une reproduction de la vraie perception de profondeur et demeure donc limitée, notamment par rapport aux contraintes du système visuel humain.

D'un point de vu matériel, la stéréoscopie requiert du matériel supplémentaire, notamment des lunettes pour assister l'utilisateur dans la perception de la 3D. Il faut donc considérer les coûts, forces et faiblesses de chaque option matérielle en fonction des besoins du système à installer.

57

DISPOSITIFS DE RESTITUTION VISUELLE

---

---

---

---

---

---

---

---

# Références recommandées

[Livre] A. Hast, "3D Stereoscopic Rendering : An Overview of Implementation Issues," *Game Engine Gems 1*, 2010, pp. 39-60.

[Livre] Dana H. Ballard, Christopher M. Brown, "Computer Vision", *Prentice Hall* (Mai 1982)

---

---

---

---

---

---

---