

**BENOÎT MICHEL**

# **LA STÉRÉO- SCOPIE NUMÉRIQUE**

Tourner, éditer, diffuser, imprimer, projeter

© Groupe Eyrolles, 2012, ISBN : 978-2-212-12988-5

**EYROLLES**

# Avant-propos

Nous vivons dans un monde à trois dimensions, nous nous y déplaçons, nous interagissons avec lui. Pour agir efficacement, notre cerveau se fait en permanence une représentation du monde en trois dimensions. Il se sert pour cela de nos cinq sens, mais principalement de la vue. Les images enregistrées par nos yeux sont en permanence analysées et alimentent notre base de données mentale. Comme tous les prédateurs terrestres, l'homme a deux yeux dont les champs de vision se recouvrent. En analysant inconsciemment les différences entre ces deux vues du monde, notre cerveau en déduit la distance des objets proches avec une grande précision. C'est ce qu'on appelle la « stéréoscopie ». Il faut noter que la vision binoculaire est loin d'être la seule source d'informations sur le relief du monde avoisinant. Nous construisons notre représentation interne du monde en relief à partir d'autres indices visuels, comme l'occlusion : un objet qui en cache un autre est forcément situé devant lui.

Si certains indices visuels font défaut, notre cerveau parvient malgré tout à se faire une représentation du monde presque toujours correcte. Mais, évidemment, l'impression de réalisme des images est moins bonne. C'est par exemple le cas quand nous regardons une photo en noir et blanc ou une vue fixe d'une scène animée. Plus le nombre d'indices visuels qui concourent à une représentation du monde est grand, meilleure est l'illusion. En ajoutant au cinéma la vision stéréoscopique, nous renforçons considérablement l'illusion de réalisme du monde affiché à l'écran. On parle alors, dans des conditions idéales, d'« immersion dans l'action ». Après quelques minutes d'un film en relief projeté dans de bonnes conditions, le spectateur s'identifie réellement à une partie du monde fictif qu'on lui présente. Ce passage du rôle d'observateur extérieur à celui de participant à l'action confère un niveau de satisfaction élevé et induit une mémorisation de l'action bien meilleure. Les spectateurs sortent de la salle avec le sentiment d'avoir vécu une expérience et non d'en avoir simplement observé une. Et ceci explique le succès du cinéma en relief !

Évidemment, la technologie sous-jacente est complexe et la perfection des images est une condition indispensable au succès de l'immersion dans l'action. Jusqu'à nos jours, cette perfection n'a jamais été atteinte au cours de l'histoire de l'image en relief. Les imperfections techniques provoquaient une baisse d'intérêt des spectateurs, voire leur désintérêt. Mais depuis que le cinéma est devenu numérique, la constance de qualité est devenue une réalité commerciale, ce qui change complètement la donne.

### 3D, 3Ds ou 3D-relief ?

La stéréoscopie est souvent appelée « 3D » en abrégé. Mais, en français, l'acronyme « 3D » est employé depuis longtemps pour désigner l'image de synthèse en volume. La Ficam (Fédération des industries du cinéma, de l'audiovisuel et du multimédia) et de nombreux professionnels préconisent donc le terme « 3Ds » pour désigner l'imagerie stéréoscopique quand la confusion est possible. Mais, de plus en plus, le terme « 3D-relief » s'impose devant 3Ds. C'est celui que nous emploierons dans cet ouvrage. (On notera qu'en anglais, le problème ne se pose pas, l'image de synthèse étant désignée par « CGI », *Computer Graphics Imagery*, et la stéréoscopie par « 3D ».)

### Pourquoi le numérique va tout changer

Une légère imperfection technique dans une image est supportable. Qui n'a pas vu au cinéma la série de lignes verticales qui balafrent l'écran à chaque changement de bobine ? Les manipulations mécaniques des bobines de film provoquent des rayures dans la pellicule. Et, à chaque projection, la moindre rayure ou poussière qui s'ajoute à l'image y reste. L'accumulation de ces problèmes ne permet pas de projeter un film sur pellicule plus d'une centaine de fois. Avec l'avènement du film numérique, chaque image reste parfaite, projection après projection, et elle est exactement aussi bonne que lors de la première dans les studios qui ont créé le film.

Nous verrons dans ce livre qu'un grand nombre de choses peuvent rendre des images en relief impropres à la consommation. Mais quand tous ces écueils sont évités ou corrigés, et que le contrôle de qualité approuve une image, celle-ci arrivera jusqu'au spectateur le plus éloigné du studio avec une qualité parfaite. À la grande époque du cinéma en relief sur pellicule, un grand soin était apporté à la fabrication des bobines destinées au public. Mais l'inexpérience des projectionnistes, la complexité mécanique des projecteurs et les inévitables aléas chimiques, optiques et techniques que subissaient les bobines ont dégradé le bilan, ne permettant jamais d'offrir une qualité convenable d'immersion dans l'action en dehors des quelques premières projections d'une bobine. Le succès des films en relief a condamné l'industrie de l'époque à adopter un rythme de production effréné, ce qui a entraîné, à chaque fois, une baisse de qualité et a mené à une impasse, avec le désintérêt des spectateurs.

La révolution du numérique permet de cumuler deux effets bénéfiques majeurs : la facilité de production et de correction des images, et une qualité parfaite tout au long de la chaîne de production, jusqu'à la millième projection d'un film, voire davantage !

### À qui s'adresse ce livre

Ce livre s'adresse à tous ceux qui veulent se lancer dans l'image en relief ou qui, la pratiquant déjà, désirent en approfondir les techniques. Les étudiants en audiovisuel ne sont pas oubliés : ils trouveront dans les premiers chapitres

les bases théoriques nécessaires à la découverte de l'imagerie en relief, et dans les suivants, les informations pratiques leur permettant de les mettre en œuvre.

Que ce soit la photographie, la vidéo amateur ou le cinéma professionnel qui vous passionne, et que ce soit en tant qu'étudiant, créateur ou utilisateur, ce livre vous fournira les bases nécessaires pour réaliser vos premières images stéréoscopiques. Et si vous avez déjà tenté de faire vos premiers pas, vous trouverez ici les renseignements qui vous permettront d'aborder des réalisations plus complexes.

Ce livre ne s'adresse pourtant pas aux néophytes complets ; une connaissance de base de la prise de vues photo ou vidéo est ici considérée comme acquise. L'orientation technique de l'ouvrage fait l'impasse sur l'aspect créatif et artistique de la prise de vues. Cependant, comme l'introduction du relief dans la composition d'une image fixe ou d'un film rend obligatoire une nouvelle grammaire de l'image, ces aspects seront bien entendu évoqués.

### **Site web complémentaire**

Des informations et illustrations en relation avec cet ouvrage sont disponibles en ligne sur le site web de l'auteur, à l'adresse [www.stereoscopynews.com/la-stereoscopie-numerique.html](http://www.stereoscopynews.com/la-stereoscopie-numerique.html). Vous pouvez y accéder directement en scannant le code QR ci-dessous.



# Sommaire

<b>Préface</b> .....	<b>III</b>
<b>Avant-propos</b> .....	<b>V</b>
<b>Pourquoi le numérique va tout changer</b> .....	<b>VI</b>
<b>À qui s'adresse ce livre</b> .....	<b>VI</b>
<b>Site web complémentaire</b> .....	<b>VII</b>
<b>I. Histoire de la stéréoscopie</b> .....	<b>I</b>
Aux XVI <sup>e</sup> et XVII <sup>e</sup> siècles.....	I
<b>Au XIX<sup>e</sup> siècle : la première vague</b> .....	<b>2</b>
Découvertes.....	2
Encore des découvertes.....	5
Anaglyphe.....	5
Polarisation.....	5
Stéréoscopie animée.....	6
Caméra stéréoscopique.....	6
Premier déclin.....	6
<b>Au XX<sup>e</sup> siècle</b> .....	<b>7</b>
Photo en relief.....	7
Cinéma anaglyphe.....	7
Cinéma 3D avec lunettes actives.....	9
Autostéréoscopie.....	10
Stéréogramme à parallaxe.....	11
Relièphographie.....	11
Photo lenticulaire.....	11
Cinéma autostéréoscopique.....	12
View-Master.....	13
Cinéma polarisé.....	14
Vectographe.....	15
<b>Hollywood et les années 1950 :</b> <b>la deuxième vague</b> .....	<b>16</b>
Déclin.....	18
En Europe aussi.....	19
<b>Sursauts des années 1970 : la troisième vague</b> .....	<b>19</b>
<i>The Mask, The Bubble, The Stewardesses</i> .....	19

<i>The Mask</i> .....	19
<i>The Bubble</i> .....	19
<i>The Stewardesses</i> .....	20
<i>Dial M for Murder</i> .....	20
Dalí et la 3D.....	20
<b>IMAX 3D</b> .....	<b>21</b>
Télévision autostéréoscopique.....	22
<b>L'ère du tout numérique</b> .....	<b>22</b>
Mort annoncée de la pellicule.....	22
Photo.....	22
Cinéma.....	23
Projection numérique.....	23
2007 : le premier film en relief 100 % numérique.....	23
<b>La 3D du futur</b> .....	<b>24</b>
Après le parlant et la couleur, voici la 3D.....	24
Cinéma interactif en relief.....	25
À long terme.....	25
Sommes-nous dans la quatrième vague de 3D ?.....	26

## 2. Stéréopsie et aspects physiologiques de la 3D..... 27

<b>Perception du relief</b> .....	<b>27</b>
<b>Facteurs de perception monoculaires</b> .....	<b>28</b>
Accommodation.....	28
Taille.....	28
Perspective.....	29
Occlusion.....	29
Ombres et lumières.....	29
Parallaxe de mouvement.....	29
Gradient de texture.....	30
Opacité de l'atmosphère.....	30
<b>Facteurs géométriques et cognitifs</b> .....	<b>31</b>
Mémoire des formes et des tailles.....	31
<b>Facteurs binoculaires</b> .....	<b>31</b>
Convergence.....	31
Parallaxe interoculaire.....	32
<b>Proprioception et sens du relief</b> .....	<b>33</b>
<b>Effet Pulfrich et autres étrangetés</b> .....	<b>35</b>
<b>Vision stéréoscopique</b> .....	<b>35</b>
Œil et système visuel.....	36
Strabisme volontaire et autostéréogrammes.....	37
Comment créer un autostéréogramme ?.....	38
Erreurs de stéréoscopie, maux de tête et autres désagréments.....	38
Convergence.....	39
Conflit accommodation/convergence.....	39

Acuité visuelle et stéréoscopique.....	42
Distance interoculaire.....	43
Orthostéréoscopie.....	43
Hypostéréoscopie.....	43
Hyperstéréoscopie.....	44
<b>Reproduction de l'image stéréoscopique.....</b>	<b>45</b>
Prise de vue convergente ou non ?.....	45
Convergence.....	45
Parallèle avec décalage en postproduction.....	47
Parallèle avec décalage caméra.....	48
Parallèle ou convergent ?.....	49
Corrections des imperfections du système.....	51
Taille d'écran et perception de la profondeur.....	51
Divergence.....	51
Divergence pour les enfants.....	52
Déformation de la profondeur.....	52
Conflit convergence/accommodation.....	52
Écran idéal.....	52
Position face à l'écran.....	53
Positionnement horizontal.....	53
Positionnement vertical.....	53
Budget de profondeur et zone de confort.....	53
La règle des 3 %.....	54
Violation de fenêtre.....	56
Fenêtre flottante.....	56
Violation de fenêtre sans rivalité rétinienne.....	58
<b>3. Prise de vues stéréoscopique.....</b>	<b>59</b>
<b>Paramètres techniques.....</b>	<b>59</b>
Résolution et rapport d'aspect.....	59
Fréquence images.....	60
Distance focale.....	61
Choix artistique.....	61
Choix physiologique.....	61
Choix technique.....	62
Profondeur de champ.....	62
<b>Éclairage pour la 3D.....</b>	<b>63</b>
Violation de fenêtre et éclairage.....	64
Flares et éclairage frontal.....	64
Éclairage doux ou dur.....	64
<b>Caméras pour le tournage en relief.....</b>	<b>64</b>
Choix des caméras pour rig 3D.....	65
Caméras à capteur tri-CCD.....	65
Caméras à capteur CMOS.....	66
Taille en pouces des capteurs numériques.....	67
Nombre de pixels et taille des capteurs.....	68
Caméras 3D intégrées.....	69

<b>Choix des rigs</b> .....	<b>70</b>
Rigs parallèles.....	70
Rigs miroir .....	72
<b>Synchronisation des caméras</b> .....	<b>75</b>
Synchronisation avec « genlock ».....	75
Synchronisation sans « genlock ».....	76
Caméras non synchronisables.....	77
Mesure de la synchronisation.....	77
<b>Calculateurs stéréoscopiques</b> .....	<b>78</b>
<b>Formules mathématiques</b> .....	<b>81</b>
Calcul de la distance interaxiale.....	81
Calcul de la convergence.....	81
Correspondance entre angle et distance de convergence.....	82
<b>Calculateurs stéréoscopiques</b> .....	<b>83</b>
<b>En pratique</b> .....	<b>83</b>
<b>Modulation dynamique de l'interaxiale et de la convergence</b> .....	<b>85</b>
<b>Réglage et calibrage d'un rig</b> .....	<b>85</b>
<b>Deux techniques de calibrage</b> .....	<b>86</b>
Cible à l'infini.....	86
Cible à portée.....	87
<b>Logiciels de calibrage des rigs</b> .....	<b>87</b>
Stereo3D CAT.....	87
Disparity Tagger et Disparity Killer.....	88
<b>Contrôle des rushes</b> .....	<b>89</b>
Le <i>workflow</i> 3D temps réel.....	90
<b>Images de synthèse 3D et 3D-relief</b> .....	<b>94</b>
Caméras et rigs virtuels.....	94
Rendu des images virtuelles.....	95
Composition en Z.....	95
Fond vert et incrustation.....	96
Contrôler la 3D en 3D.....	97
<b>Logiciels de présentation 3D</b> .....	<b>98</b>
<b>La photo 3D</b> .....	<b>99</b>
<b>Appareil photo 3D ou appareil classique</b> .....	<b>99</b>
La méthode « cha-cha ».....	100
Prise de vue 3D.....	100
Rig photo 3D.....	102
<b>Synchronisation de deux appareils photo</b> .....	<b>105</b>
LANC.....	105
Canon et StereoDataMaker.....	107
<b>Formats stéréoscopiques pour la photo</b> .....	<b>108</b>
JPEG.....	108
MPO.....	109
JPS.....	109
<b>Post-traitement des photos 3D</b> .....	<b>109</b>

<b>4. Grammaire narrative</b>	<b>111</b>
<b>Concevoir pour le relief</b>	<b>111</b>
Inventer de nouvelles règles	112
Oublier les règles du cinéma 2D	113
<b>Immersion</b>	<b>113</b>
Maintenir l'illusion	113
Changements de plans	114
<b>Cadrage</b>	<b>114</b>
Fenêtre flottante	114
Centrer le point d'attention	115
(Dis)continuité de profondeur	116
Horizon horizontal	117
Vues en plongée	117
Zooms et mouvements de caméra	118
<b>Story-board</b>	<b>118</b>
3D et story-board	119
Prévisualisation	120
Rapports et documents de prévisualisation	121
<b>Tournage vidéo 3D</b>	<b>122</b>
Filmez en parallèle	122
Gérez votre budget de parallaxe en fonction de la taille de l'écran	123
Soyez doux avec votre caméra	125
Privilégiez le zoom arrière	125
Employez une caméra basse pour les plans larges	125
Soyez créatif	126
<b>Les 10 commandements de la stéréoscopie</b>	<b>126</b>
<b>La grammaire du relief n'existe pas encore</b>	<b>127</b>
Notion de capital relief	127
Moduler le relief	129
<b>5. Conversion 2D/3D</b>	<b>131</b>
<b>Principes de la conversion 2D/3D</b>	<b>132</b>
Carte de profondeur	132
Conversion de photos et de vidéos	132
Secret bien gardé	132
Méthodes inefficaces	133
<b>Les étapes de la conversion 2D/3D</b>	<b>133</b>
Découpage temporel	134
Segmentation	134
Détermination de la profondeur	135
Propagation spatiale	135

Propagation temporelle.....	136
Génération des images droites.....	136
Rebouchage des trous.....	137
<b>Pratique de la conversion 2D/3D.....</b>	<b>138</b>
Conversion 2D/3D en temps réel.....	138
Contenu optimal pour conversion 2D/3D.....	138
Avantages de la conversion 2D/3D.....	139
Conversion 2D/3D au secours du tournage en relief.....	140
La conformation du relief.....	140
Translation HIT.....	140
Manipuler le budget de profondeur.....	140
Rôle de la conformation du relief.....	141
<b>Logiciels de conversion 2D/3D.....</b>	<b>142</b>
<b>6. Postproduction.....</b>	<b>143</b>
<b>Dimensions usuelles des images.....</b>	<b>144</b>
<b>Postproduction et relief.....</b>	<b>147</b>
Postproduction directe.....	148
Postproduction avec proxy.....	148
<b>Import et appariement.....</b>	<b>148</b>
Noms de fichiers.....	148
Métadonnées.....	148
Appariement.....	149
Étalonnage.....	149
Synchronisation.....	149
Stockage.....	150
Import de sources 3D pour logiciels classiques.....	150
<b>Contrôler la 3D sur écran 3D.....</b>	<b>151</b>
<b>Retouche, rotoscopage et composition.....</b>	<b>151</b>
<b>Contrôle de la profondeur.....</b>	<b>153</b>
Parallaxe positive maxi.....	153
101 %.....	154
Fondus et profondeur.....	154
HIT et taille de projection.....	156
<b>Montage 3D.....</b>	<b>156</b>
NUKE et Ocula.....	156
Neo3D, Stereo3D Toolbox et les logiciels de montage sur Mac.....	157
Stereo3D Toolbox.....	157
Neo3D.....	158
Sony Vegas Pro.....	159
Magix Vidéo deluxe.....	160

<b>Sous-titrage des films 3D</b> .....	<b>161</b>
Durée d'affichage.....	161
Positionnement.....	162
Positionnement en avant-plan.....	162
Positionnement dynamique.....	162
Taille.....	163
Volume et texture.....	163
Logiciels de création de sous-titres 3D.....	164
Distribution des sous-titres.....	164
XML selon Sony.....	165
Sous-titrage avec Stereoscopic Player.....	167
<b>Montage son</b> .....	<b>168</b>
Impossibilité du mix parfait.....	169
Influence du son sur la mise en scène.....	169
Sources sonores hors écran.....	170
<b>Contrôle final de validation</b> .....	<b>170</b>
<b>7. Transmission de films stéréoscopiques</b> .....	<b>173</b>
<b>Problématique de la distribution</b> .....	<b>173</b>
Contexte.....	173
Standards.....	174
Contraintes.....	176
<b>De la caméra à l'enregistreur</b> .....	<b>177</b>
Les pièges du lien caméra/enregistreur.....	177
Les pièges de la compression.....	179
<b>Formats informatiques en captation</b> .....	<b>179</b>
<b>Formats de postproduction</b> .....	<b>181</b>
Codecs.....	182
<b>Formats de distribution pour le direct</b> .....	<b>183</b>
Formats compatibles trame.....	183
Formats compatibles service.....	184
Formats intérimaires.....	184
Le format compatible service de Sisvel.....	185
<b>Transmission des flux TV</b> .....	<b>187</b>
Rétrocompatibilité.....	188
Encodage TVHD.....	189
Débit d'encodage.....	189
MPEG-2.....	190
Encodage TVHD 3D.....	191
Mode superposé.....	191
Mode côte à côte.....	191
Boîte aux lettres et bandes noires.....	193
Métadonnées.....	194

<b>Le décodeur domestique Set top box</b> .....	196
Décodeurs standards.....	196
Décodeurs 3D compatibles trame.....	197
Décodeurs 3D compatibles service.....	197
<b>HDMI 1.4 et TV3D</b> .....	<b>197</b>
Le câblage HDMI.....	198
Le protocole de transfert HDMI.....	199
HDMI Vendor Specific InfoFrame (VSI).....	199
Méthode de transmission 3D par défaut.....	200
Les autres modes de transmission 3D.....	202
Table des modes de transmission 3D.....	203
Modes de transmission 3D entrelacé par trames (Field alternative).....	204
Mode de transmission 3D entrelacé par lignes (Line alternative).....	205
Modes de transmission 3D côte à côte (Side-by-Side (Full)).....	205
Mode de transmission 2D + Profondeur (L + Depth).....	205
Mode de transmission 2D + Profondeur (L + Depth + GFX + G-Depth).....	206
Modes de transmission côte à côte compressés (Side-by-Side (Half)).....	207
HDMI Vendor Specific Data Block (VSDB).....	208
Brevets et propriété intellectuelle.....	211
<b>Disque Blu-ray 3D</b> .....	<b>211</b>
Lecture des disques BD3D sur PC.....	214
Encodage professionnel d'un disque Blu-ray 3D.....	214
Authoring 3D professionnel pour disque Blu-ray.....	215
Authoring 3D amateur pour disque Blu-ray.....	216
Authoring disque Blu-ray 3D demi-résolution.....	217
Logiciels d'authoring compatibles disques Blu-ray 3D demi-résolution.....	219
<b>Transmission vers les cinémas</b> .....	<b>220</b>
Le format DCP 3D.....	220
Encodage DCP matériel ou logiciel.....	221
DCPC, l'encodeur DCP pour tous.....	222
Version gratuite de DCPC.....	222
Version payante de DCPC : DCPC Pro.....	225
<b>Distribution en anaglyphe</b> .....	<b>226</b>
<b>8. Affichage stéréoscopique</b> .....	<b>227</b>
<b>TV3D</b> .....	<b>228</b>
<b>Les lunettes actives</b> .....	<b>228</b>
<b>Projection numérique</b> .....	<b>230</b>
Projecteur unique et lunettes actives.....	230
Projecteur unique et lunettes passives Dolby.....	231
Projection polarisée à un projecteur.....	232

Polarisation linéaire ou circulaire.....	233
<i>Ghobusted version</i> .....	233
<b>Projection polarisée à deux projecteurs</b> .....	<b>234</b>
Filtres polarisants.....	234
Installation du double projecteur.....	234
Calibration du double projecteur.....	235
<b>Systèmes de polarisation</b> .....	<b>237</b>
Polariseurs actifs.....	237
Polariseurs passifs sur Sony 4K.....	238
<b>Laser et luminosité</b> .....	<b>240</b>
Sources laser.....	240
Avantages des projecteurs laser.....	241
<b>Choix d'un système de projection 3D</b> .....	<b>242</b>
Taille de la salle.....	243
Luminosité.....	243
Toile d'écran.....	244
Rapport d'aspect et masquage.....	245
<i>Scope on flat</i> .....	246
Projection en salles de cinéma.....	246
Passage au numérique.....	246
Coût de l'équipement.....	247
Surcoût pour la 3D-relief.....	247
Choix du système 3D.....	247
Le rôle du projectionniste.....	247
<b>Moniteurs de contrôle pour postproduction</b> .....	<b>247</b>
Transvideo.....	248
Écrans polarisés.....	248
TV3D.....	249
<b>Écrans d'ordinateur</b> .....	<b>249</b>
Lunettes actives.....	249
Lunettes passives.....	250
Murs d'écrans.....	250
Pilotes.....	250
GeForce 3D Vision.....	251
IZ3D display driver.....	251
TriDef Experience package.....	251
<b>Logiciels 3D indispensables</b> .....	<b>251</b>
StereoMovie Maker.....	251
StereoPhoto Maker.....	252
Stereoscopic Player.....	252
<b>DisplayPort : le futur de la connectique 3D</b> .....	<b>252</b>
Compatibilité.....	255
Données audiovisuelles.....	255

Données stéréoscopiques.....	255
Canal auxiliaire.....	256
Sécurité.....	256
<b>Affichage séquentiel sur écran cathodique.....</b>	<b>256</b>
<b>Affichages pseudo-stéréoscopiques.....</b>	<b>257</b>
Wiggle.....	257
Wiggle en .gif animé.....	257
Wiggle dans une page web.....	258
Piku-Piku.....	258
<b>Impression lenticulaire.....</b>	<b>258</b>
Principe.....	259
Orientation.....	260
Découpage en bandes.....	260
Format.....	260
Méthode d'impression.....	260
Logiciels.....	261
<b>Impression anaglyphe.....</b>	<b>261</b>
Principe de l'anaglyphe.....	261
Diverses solutions.....	262
Pourquoi utiliser les anaglyphes ?.....	264
Anaglyphe rouge-cyan.....	265
Anaglyphe demi-couleur.....	265
Anaglyphe optimisé Dubois.....	265
Anaglyphe en noir et blanc.....	266
Méthode ColorCode.....	267
Lunettes anaglyphes.....	268
<b>Impression pour stéréoscope.....</b>	<b>269</b>
<b>9. Diffusion par Internet.....</b>	<b>271</b>
<b>YouTube et le mode yt3d.....</b>	<b>271</b>
Regarder une vidéo 3D sur YouTube.....	272
YouTube 3D, copie locale et lunettes actives.....	272
Envoyer une vidéo 3D sur YouTube.....	273
Mise en ligne avancée avec YouTube.....	274
<b>Autres sources de vidéos 3D en ligne.....</b>	<b>274</b>
Sites généralistes.....	274
Stock movies.....	274
Sites payants.....	275
Sites 3D pour mobile.....	275
Sites indépendants.....	275

## Chapitre 7

# Transmission de films stéréoscopiques

# 7

*Comment enregistrer ou transmettre en direct les images de deux caméras à la fois ?*

---

*Quels sont les formats de stockage et de transmission des images 3D ?*

---

*Comment transmet-on un match en HD 3D en direct ?*

---

*Faut-il un nouveau décodeur pour capter une émission de TV3D ?*

---

*Le HDMI 1.4 est-il bien nécessaire pour visualiser des contenus 3D à la télévision ?*

---

*Qu'est-ce qu'un DCP 3D ?*

---

*Comment encoder un DCP 3D pour le transmettre à un cinéma ?*

---

*Comment graver un disque Blu-ray 3D ?*

---

## Problématique de la distribution

### Contexte

Les obstacles à la distribution des films 3D depuis les lieux de production vers la maison ou les salles de spectacle sont liés à l'absence de standards industriels reconnus, au coût élevé des modifications de l'infrastructure existante et aux diverses incompatibilités techniques entre équipements. Le choix des bons formats de transmission dépend de la qualité exigée maintenant et de celle que

L'on exigera dans un proche futur, mais aussi de l'efficacité de stockage et de transfert, de la compatibilité avec les équipements 2D existants et des coûts que leur adoption impliquera. Les canaux de distribution principaux sont : le câble, le satellite, la TNT (Télévision numérique terrestre) et le disque optique, une famille dans laquelle seuls les disques Blu-ray ont à l'heure actuelle la capacité voulue.

### Standards

Les standards internationaux sont donc essentiels. Sans eux, pas de distribution de masse vers les cinémas ou les particuliers. Avec eux, l'interopérabilité des équipements conduit à une généralisation rapide et à une baisse des coûts. Idéalement, les standards doivent être mondiaux et établis très tôt pour éviter qu'un produit ne phagocyte le marché avec une solution propriétaire, ce qui conduit ensuite à une guerre des standards et, au final, retarde l'adoption par le plus grand nombre. On se rappelle la guerre des standards pour la cassette vidéo qui fut gagnée par le VHS face au Betamax.

Heureusement, les organismes de standardisation ont commencé à travailler tôt dans le domaine de la stéréoscopie numérique : on peut déjà compter sur le standard HDMI 1.4 pour la connexion entre les décodeurs et les téléviseurs, et sur le disque Blu-ray 3D pour le stockage et la transmission des longs-métrages. Quant à la transmission en temps réel, indispensable à la télévision, elle est en bonne voie.

#### Principaux organismes de standardisation

Acronyme	Organisme	Cible	Standards 3D	Objet du standard
SMPTE	<i>Society of Motion Picture and Television Engineers</i>	Professionnels du cinéma et de la TV	Digital Cinema Package (DCP)	Masters 2D et 3D pour transmission vers les cinémas numériques
			WG10E40 – 3D Home Master	Master 3D pour transmission vers les particuliers
CEA	<i>Consumer Electronics Association</i>	Constructeurs d'équipement pour le grand public	WG7-R4.8 – CEA-861.1 Uncompressed video 3D Profiles	Formats 3D pour la transmission TV
			WG 16-R4.8 3D Eyewear	Commande infrarouge des lunettes actives
			CEA-708 Closed captioning	Sous-titrage en 2D et 3D pour la TV
ATSC	<i>Advanced Television Systems Committee</i>	Télévision numérique, transmission TNT et câble (États-Unis)	Travail en cours	TV3D États-Unis

Acronyme	Organisme	Cible	Standards 3D	Objet du standard
EBU	<i>European Broadcasting Union</i>	Diffuseurs TV européens	Travail en cours	TV3D Europe
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>	Diffuseurs TV (monde)	ITU-R BT.2160 Features of 3D TV	Futur de la TV3D planifié en 3 générations (« Profils »)
			ITU-T H.264 Multiview Video Coding	MPEG-4/H.264 MVC (Profils 3D 2 <sup>e</sup> génération)
			ITU-T H.264 Scalable Video Coding	MPEG-4/H.264 SVC (Profils 3D 3 <sup>e</sup> génération)
DVB	<i>Digital Video Broadcasting Project</i>	Diffuseurs TV (monde)	DVB-3DTV (DVB Document A154)	Formats 3D pour la transmission TV, métadonnées et sous-titres 3D
SCTE	<i>Society of Cable Telecommunications Engineers</i>	Câblo-opérateurs TV (États-Unis)	3DTV Content Encoding Profiles 3.0	Formats 3D pour la transmission TV
BDA	<i>Blu-ray Disc Association</i>	Constructeurs d'équipement Blu-ray	3D spec	Spécifications disque Blu-ray 3D
ISO/IEC/ MPEG	<i>International Standards Organization</i>	Diffusion de la télévision numérique	ISO/IEC 23002-3 (MPEG-C Part 3)	Formats 3D, y compris 2D + depth et métadonnées
			ISO/IEC 14996-10 AVC with MVC extensions	Compression et transmission des images MVC 2D + depth
			Travail en cours	Logiciels et méthodes de création des images MVC 2D + depth
HDMI	HDMI Licensing	Constructeurs d'équipement pour le grand public	HDMI 1.4a	Méthode de transfert à courte distance entre sources et TV3D ou projecteurs

Note : WG désigne un *working group* ou groupe de travail, dont le but est de préparer un futur standard non encore publié.

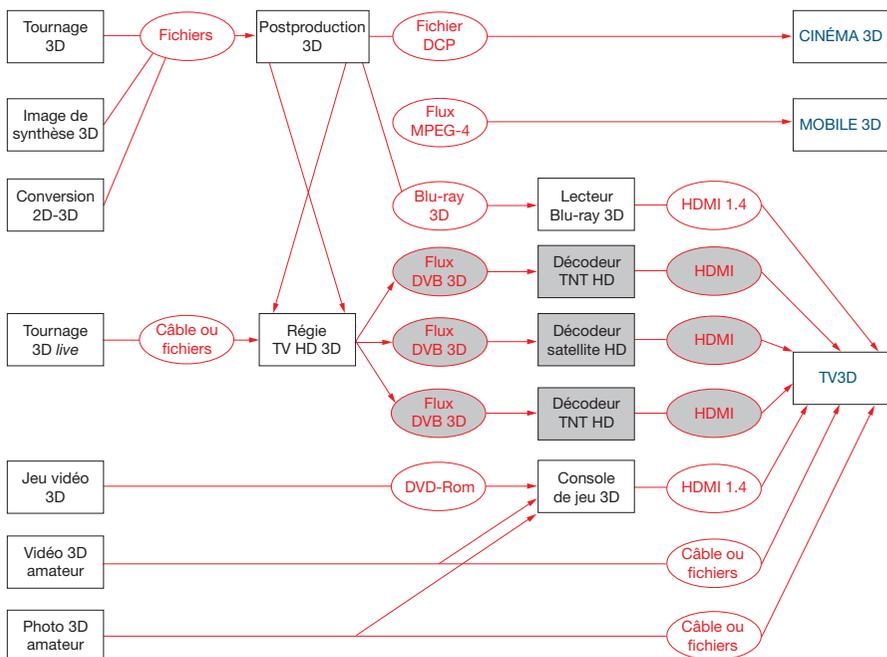
### Contraintes

La transmission des fichiers au cours de la production répond à diverses contraintes : avant tout préserver la qualité dans toutes les phases de tournage et de production, mais aussi réduire le volume de données à transférer lors de la transmission aux utilisateurs finaux. Réduire les coûts de stockage aux différentes étapes demande de compresser les fichiers. Une compression sans pertes est moins efficace qu'une compression avec pertes et des compromis difficiles doivent être établis à chaque étape du *workflow*.

Ceci est vrai, tant en 2D qu'en 3D. Toutefois, avec la stéréoscopie, les plus petits artéfacts de compression, qui ne seront *a priori* pas identiques pour chacune des deux vues, vont devenir très visibles parce qu'ils introduisent des rivalités rétinienne. Ces petits détails gênants seront présents pour un œil et pas pour l'autre, et notre cerveau interprétera la différence comme une anomalie de profondeur.

Pour illustrer à quel point le niveau de synchronisation des deux flux d'images doit être élevé, notons qu'une bonne moitié des téléspectateurs ne sont que peu dérangés par une image vidéo 4:3 présentée en 16:9 ou inversement, alors que l'erreur sur la position des pixels est de 12,5 %. Tandis que, lors d'un reportage en HD 3D, une image décalée par erreur de cinq pixels par rapport à l'autre rend la scène totalement irregardable: elle perd tout son effet de relief, donne mal à la tête... Cinq pixels ne représentent pourtant que 0,5 % de la largeur de l'image, soit 25 fois moins qu'une erreur de rapport d'aspect simplement considérée comme gênante par la moitié des spectateurs !

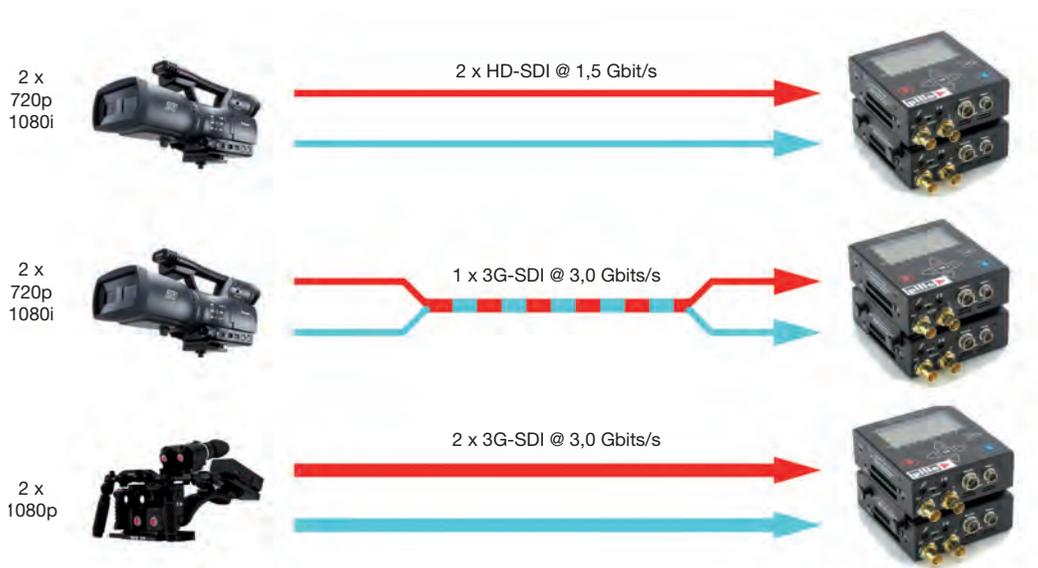
Transmission entre les étapes de la vie d'une production 3D. En gris, les transferts 3D compatibles trame.



Diverses formes de transmission interviennent à de nombreux endroits dans le *workflow* 3D. Le schéma ci-contre illustre les principales sortes de transmissions, mais il est loin d'être exhaustif. On notera que les parties grisées indiquent un transfert des images 3D dans des formats dits « compatibles trame », qui réduisent la qualité du signal pour lui permettre de rester compatible avec l'infrastructure existante. À terme, ces transferts deviendront « compatibles service » et rejoindront le niveau de qualité du reste de la chaîne.

## De la caméra à l'enregistreur

En tournage double-HD, l'enregistrement ne se fait pas toujours dans la caméra. Dans le cas de la transmission en direct, il faut aussi transporter les signaux depuis les caméras vers le car régie. Le signal vidéo transmis par une double caméra HD 720p ou 1080i est transmis par deux câbles HD-SDI indépendants avec chacun un débit de 1,5 Gbit/s, ce qui correspond à la norme SMPTE ST292. De plus en plus souvent, on utilise un seul lien 3G-SDI à 3 Gbits/s (SMPTE ST425) pour transporter les deux signaux, ce qui économise du câblage et réduit la complexité. Un signal spécial dans le flux de données indique qu'il s'agit d'un flux 3D.



Pour obtenir la meilleure qualité en Full HD 1 920 × 1 080, il faut transmettre les images non pas en 1080i (format entrelacé), mais bien en 1080p (format progressif), ce qui double le débit des données. Il faut alors utiliser deux câbles 3G-SDI pour assurer le débit de 3 Gbits/s pour chaque caméra.

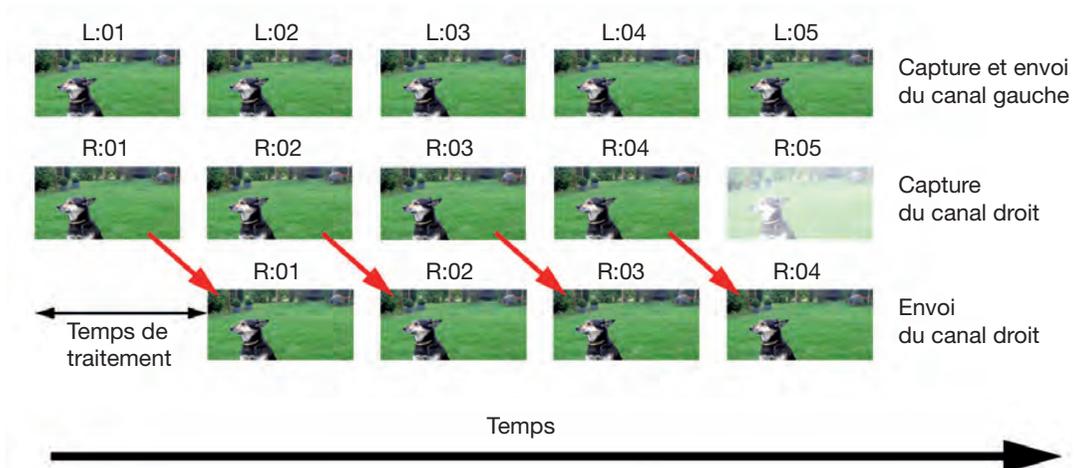
Le transfert caméra/enregistreur nécessite une grande bande passante.

De plus en plus souvent, le signal électrique des caméras est converti en signal optique et transmis par fibre, ce qui augmente la portée, diminue le nombre et le poids des câbles et ajoute la possibilité d'une voie de retour.

### Les pièges du lien caméra/enregistreur

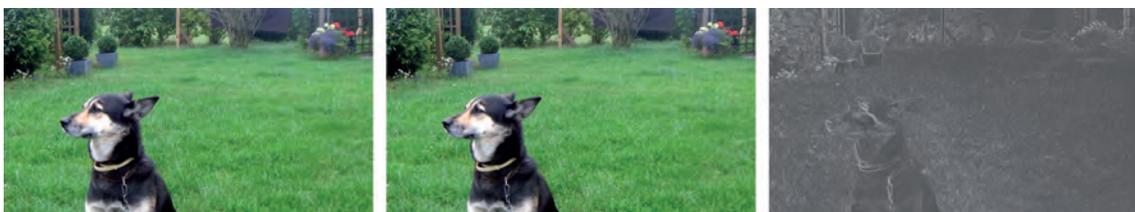
Il est évident que tout est fait pour que les images des deux caméras soient synchrones. Mais un certain nombre de pièges jonchent le parcours du signal,

surtout avec les rigs miroir. Tout d'abord, à l'entrée du car régie, voire parfois directement au niveau de la caméra, se trouve un inverseur destiné à retourner celle des deux images qui a été inversée par le miroir. Cet inverseur demande, en général, la durée d'une image complète pour effectuer son travail. Il faut donc veiller à retarder l'autre signal d'autant. Les bons processeurs 3D s'en chargent ; encore faut-il les paramétrer correctement.



Le délai provoqué par l'inversion d'un des flux provenant d'un rig 3D à miroir peut désynchroniser les caméras.

Pour les transmissions en direct, une étape de correction d'image en temps réel est appliquée par un SIP (*Stereoscopic Image Processor*) ou par une paire de processeurs d'images calibrés pour annuler les disparités indésirables entre les deux images. Il s'agira par exemple d'apparier les distorsions géométriques dues aux lentilles ou au calage mécanique des caméras. À nouveau, il serait faux de croire que les processus dans ces équipements sont de durée identique et un contrôle rigoureux de la synchronisation s'impose.



© B. Michel

Vues gauche et droite d'un rig miroir après retournement d'une des vues. Malgré une distance interaxiale nulle, les images ne sont pas strictement identiques. L'image de droite est la différence des deux vues ; elle met ici en évidence une légère différence de zoom.

Dans l'exemple ci-dessus, un rig miroir réglé avec une distance interaxiale nulle devrait fournir, après retournement d'une des deux images, deux images identiques. La comparaison des deux images montre cependant qu'une légère désynchronisation des zooms donne environ un pixel de décalage entre les deux images, différence qu'il est impératif de corriger. Pour éviter qu'une désynchronisation gênante n'apparaisse au milieu d'une retransmission simplement parce qu'un paramètre vient de changer dans un correcteur d'image, on confiera la

correction des signaux à un SIP qui garantira, dans tous les cas, un délai de traitement identique pour les deux flux d'images.

### Les pièges de la compression

Pour une qualité maximale, les images sont soit non compressées, soit compressées sans pertes, par exemple en JPEG2000. Mais dans de nombreux cas, pour gagner de la place de stockage, on utilise des compressions de type MPEG-2 ou H.264/MPEG-4 (avec pertes). Ces compressions doivent leur efficacité au fait qu'elles utilisent la redondance entre images successives pour compresser le signal. L'opération se fait par groupes d'images appelés « GOP » (*Group Of Pictures*). Un GOP contient généralement 12 images, mais ce n'est pas toujours le cas. À chaque nouveau GOP, le compresseur commence par enregistrer une image complète. Les images suivantes sont compressées par différences à l'intérieur du GOP ; elles occupent alors bien moins de place que la première image du GOP.

On pourrait croire que les compresseurs liés aux deux caméras sont toujours synchronisés, mais ce n'est pas le cas : les algorithmes complexes des compresseurs MPEG-2 et MPEG-4 décident parfois de commencer un GOP plus tôt que prévu, parce qu'ils ont détecté un changement important dans l'image. Même avec deux compresseurs strictement identiques, comme ils se basent sur le contenu de l'image pour prendre certaines décisions, il est certain qu'après quelques instants les GOP des deux caméras ne commencent plus à la même image. Comme les opérations de compression et de décompression introduisent des artéfacts dans l'image, ceux-ci ne sont pas identiques et, dans le cas de la 3D, introduisent des rivalités rétinienne. Avec ce type de compression, on ne peut donc se mettre à l'abri des erreurs 3D dues à la compression qu'en utilisant un double compresseur spécialement conçu pour la 3D, et qui garantit le maintien de la synchronisation entre les GOP gauche et droit.

## Formats informatiques en captation

Les formats utilisés en postproduction sont, le plus souvent, des formats avec compression sans pertes ou des formats non compressés. Les images sont sauvegardées soit sous forme de flux vidéo (*stream* en anglais), soit sous forme d'images séparées et organisées en répertoires (DPX, TGA). Le format natif des caméras professionnelles, comme la Red One ou l'Alexa de Arri, est appelé « RAW », ce qui signifie que c'est une copie conforme des données sortant du capteur de la caméra. Ces formats sont volumineux mais préservent la totalité des informations capturées, donnant ainsi une souplesse maximale à la postproduction. Ils sont quasiment toujours trop volumineux pour être stockés dans la caméra et doivent être transmis à un enregistreur dédié. Les formats des caméscopes intégrés sont bien connus des vidéastes ; ils incluent une compression plus ou moins forte permettant de stocker de longues séquences sur les cartes mémoire ou les disques durs des caméras.

La qualité d'une image dépend évidemment de sa résolution mais aussi du nombre de bits mémorisés pour chaque pixel. De plus, les capteurs des caméras ne sont pas toujours – loin s'en faut – constitués de trois sous-pixels rouge, vert et bleu pour former le classique pixel RVB. De nombreuses caméras ont, par exemple, quatre sous-pixels R, V, R, B qui ont l'avantage de donner plus d'informations de luminosité. La luminosité de chaque sous-pixel est codée de façon plus ou moins fine. En général, 8, 10, 12 ou parfois 14 bits d'informations sont enregistrés.

Suivant les budgets et les types de production, les niveaux de qualité et les tailles de fichiers des rushes sont adaptés. À titre d'exemple, une production cinéma de qualité exigera d'office un format RAW, mais descendre d'un niveau de précision et se contenter de fichiers compressés ProRes444-12 bits permettra des gains substantiels en équipement et en taille de stockage pour une qualité marginalement inférieure. Dans le premier cas, un enregistreur à disques durs externe est indispensable. Dans le second cas, la même caméra professionnelle, comme l'Alexa de Arri, enregistrera sur une carte mémoire intégrée en format ProRes444, faisant ainsi l'économie de l'enregistreur, du câblage, de la manutention associée et de la conversion des images RAW en images directement exploitables par la station de montage. Bien entendu, lors d'une captation stéréoscopique, les coûts de stockage et d'enregistrement sont multipliés par deux. Des enregistreurs compacts utilisant une compression à très faibles pertes sont donc extrêmement utiles. Il existe maintenant des enregistreurs compacts très performants, comme le Cinedeck ([www.cinedeck.com](http://www.cinedeck.com)) qui est muni d'un petit écran permettant la vérification instantanée des séquences enregistrées. Leur taille réduite résulte de l'usage de disques durs SSD, sans pièces mobiles, comme ceux qui sont utilisés dans les PC portables.

Il est extrêmement important de vérifier que les paires de caméras utilisées sont bien configurées pour enregistrer dans des formats identiques. Il est tout aussi important de vérifier les noms des fichiers. Ceux-ci sont générés automatiquement par la caméra avec un numéro d'ordre. Il est impératif que les deux caméras d'une paire soient réglées pour générer des numérotations identiques. Si la chose est possible, changez le nom de base des fichiers avec les préfixes « L » et « R ». Malheureusement, peu de caméras offrent cette possibilité. Dans tous les cas, libellez lisiblement les cartes mémoire et les disques durs avec les lettres « L » et « R » pour distinguer la caméra gauche de la droite.

## Codecs, conteneurs et normes

Un codec est un procédé matériel ou logiciel capable de compresser et de décompresser des données audio ou vidéo suivant un format normalisé. Un conteneur est un format de fichier qui contient des flux de données audio et/ou vidéo codées avec un ou plusieurs codecs. Les normes de codage définissent le format des données audio ou vidéo compressées. Par exemple, le fichier test3D.avi utilise un conteneur .avi pour mémoriser un flux vidéo, qui utilise le codec XVID qui encode un film à la norme MPEG-4. Les conteneurs les plus utilisés sont AVI (Microsoft), MPEG, FLV (Adobe Flash Video) et MOV (Apple QuickTime).

## Formats de postproduction

Les formats de fichiers employés en postproduction sont imposés par les logiciels. Nous ne nous étendons donc pas sur le sujet ici. Toutefois, il faut vérifier que les fichiers gauche et droit utilisent non seulement le même type de fichier, mais aussi les mêmes options (codec, taux de compression, etc.). Les variantes d'un même type de fichier sont le plus souvent accessibles dans une boîte de dialogue au moment de la sauvegarde.

### RVB et YUV

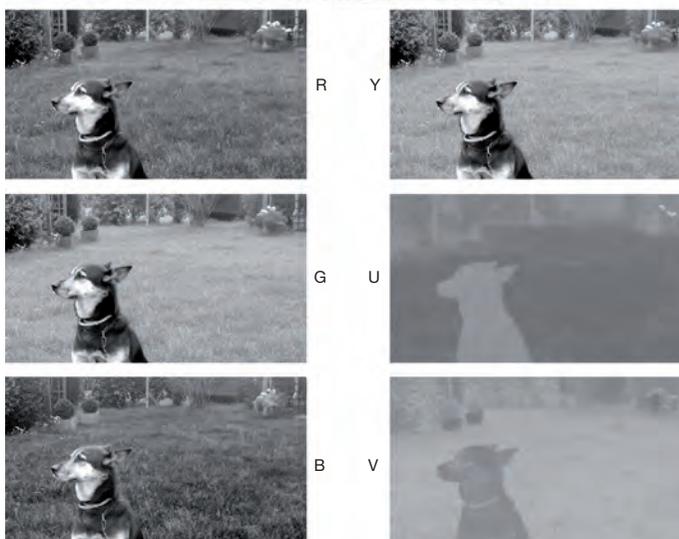
**RVB** : les trois composantes de couleur en vidéo sont le rouge, le vert et le bleu. Les couleurs visibles sur un écran de cinéma ou de télévision sont toutes formées par une combinaison de valeurs de ces trois composantes. Ces trois couleurs sont aussi celles auxquelles l'œil est sensible.

**YUV** : Y, U et V sont trois valeurs numériques qui décrivent aussi la couleur d'un pixel. Aussi appelé « YcbCr », le codage YUV provient des débuts de la télévision couleur, où le signal de luminance Y devait être conservé pour cause de compatibilité avec les téléviseurs noir et blanc. En couleurs, la luminosité Y est conservée telle quelle et le reste des informations de couleur est véhiculé par les deux autres valeurs U et V dites de « chrominance ».

Les couches U et V de l'image présentent moins de variations que la couche Y et se compressent donc très bien ; elles sont même très souvent sous-échantillonnées pour encore réduire leur taille. On parle alors de codage « 4:2:2 » au lieu de « 4:4:4 » (les chiffres indiquent les proportions de chacune des composantes Y, U et V dans le signal transmis).



À gauche, les trois couches R, V et B d'une image. À droite, les trois couches de la même image codée en YUV.



Suivant le type de production, les fichiers reçus en postproduction ont des résolutions HD, 2K ou 4K, et peuvent se présenter sous forme de flux encodés avec un codec approprié, ou sous forme de répertoires contenant des fichiers séparés (DPX ou TIFF le plus souvent). Comme, en stéréoscopie, le volume des données entrantes est doublé, les formats « flux compressé » sont souvent privilégiés : nombre de projets sont importés en format XDCAM HD, R3D ou AVCHD.

### **Codecs**

La postproduction implique dans de nombreux cas l'échange de fichiers entre studios, entre sites distants, entre logiciels différents, entre Mac et PC, etc. Il est donc plus que conseillé de choisir un format de transfert compréhensible par tous, fiable, et qui préserve la qualité du travail. Il ne suffit pas qu'un fichier possède une extension .avi pour qu'il soit compatible ! Il existe de nombreux codecs qui ne dégradent pas la qualité de l'original, mais peu d'entre eux offrent la possibilité de rejouer des vidéos HD (même monoscopiques) en temps réel. Les différents codecs utilisés dans les fichiers .avi et .wmf se repèrent par un code à quatre lettres (*fourcc code* en anglais) qui leur est propre. Les codecs les plus utilisés au monde sont répertoriés dans une base de données accessible sur le Web à l'adresse : [www.codecsdb.com](http://www.codecsdb.com). Pour la compression sans pertes, on peut recommander parmi les nombreux choix possibles les codecs suivants : Huffiyuv et Ut Video.

**Le codec Huffiyuv** (*fourcc* = HFYU) est un codec gratuit pour Windows développé par Ben Rudiak-Gould. Il utilise une méthode proche de la compression JPEG sans pertes avec un encodeur de Huffman (d'où son nom). Chaque canal de couleur est encodé séparément aussi bien en mode RVB qu'en mode YUV.

**Le codec Ut Video** (*fourcc* = ULY0) est un codec gratuit pour Windows développé par Umezawa Takeshi, implémenté comme un codec Vfw (*Video for Windows*). Il comprime sans pertes des images codées en RVB ou en YUV, les deux modes les plus courants. Ses performances, tant en encodage qu'en décodage, sont excellentes – typiquement deux fois meilleures que celles du codec Huffiyuv – et il existe en versions 32 bits et 64 bits. Toutefois, des problèmes de compatibilité sont connus avec les logiciels de montage Edius (de Grass Valley) et Vegas (de Sony).

**Les codecs CineForm** : sur les sites de postproduction équipés de matériel Apple, les diverses variantes de codecs CineForm sont très en vogue, notamment avec le logiciel Final Cut.

**Le codec CineForm Active Metadata** est notamment utilisé par les enregistreurs 3D de Cinedeck, par les caméras SI 2K 3D de Silicon Imaging et par Neo3D. Il offre l'avantage de ne créer qu'un seul fichier pour les deux vues, qui restent ainsi appariées à tout instant durant la postproduction.

## Formats de distribution pour le direct

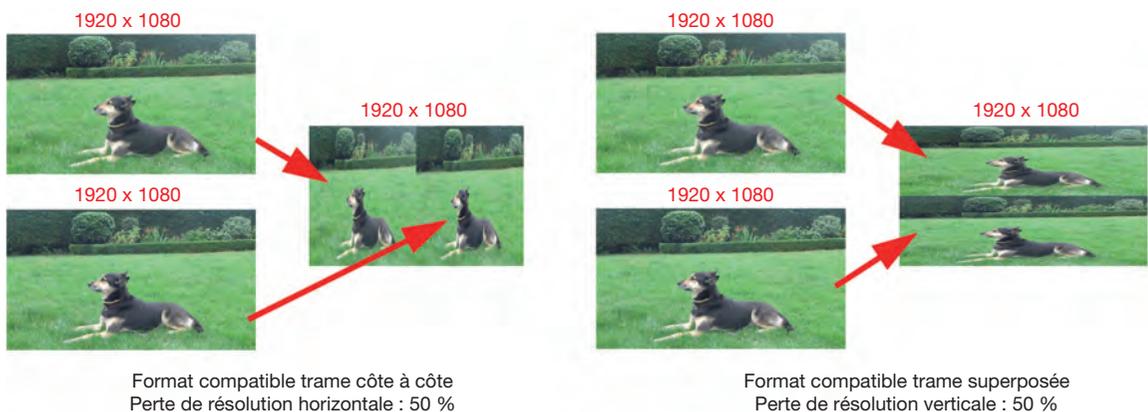
Deux choix se présentent lors de la préparation des fichiers pour expédition aux utilisateurs finaux : le format d'image et le type de codage informatique. Ces deux choix dépendent étroitement de l'usage qui en sera fait : diffusion TV, disque Blu-ray 3D, PC connecté à un projecteur, cinéma numérique, etc.

Dans le futur, la transmission de deux images complètes en format HD sera incontournable. Mais les changements que cela implique dans tout le *workflow* de distribution sont tels qu'il faudra encore attendre de nombreuses années pour voir se standardiser, puis s'équiper toute la chaîne de distribution du studio au décodeur domestique. Actuellement, les seules solutions économiquement acceptables sont appelées *frame compatible*, ce qui signifie que les images 3D sont transformées pour s'adapter aux canaux de distribution HD existants. La qualité en souffre, mais le surcoût du passage à la 3D reste supportable. Les premiers efforts de standardisation ont d'ailleurs porté sur ces formats compatibles *frame compatible* de façon que les fabricants d'équipements puissent fournir au plus vite des solutions interopérables.

### Formats compatibles *frame*

Un exemple typique de ces formats qui utilisent l'infrastructure de distribution existante est le côté à côté compressé en largeur. Ce format se transporte sans modification aucune à travers les réseaux TNT, câble et satellite, et les décodeurs, jusqu'à la TV3D du spectateur. Aucun des appareils utilisés dans la chaîne n'est « conscient » du fait qu'il transporte de la 3D. L'inconvénient majeur de ces formats est qu'ils demandent que la version 2D standard du même film soit transmise sur un autre canal ; il faut donc occuper la bande passante de deux canaux HD pour transmettre les versions 2D et 3D, et cette dernière est pénalisée en résolution. De plus, le signal étant plus complexe, il se comprime moins bien dans les encodeurs, et la bande passante du canal 3D est supérieure de 10 % à 30 % à celle du 2D de qualité égale.

Exemples de formats compatibles *frame*

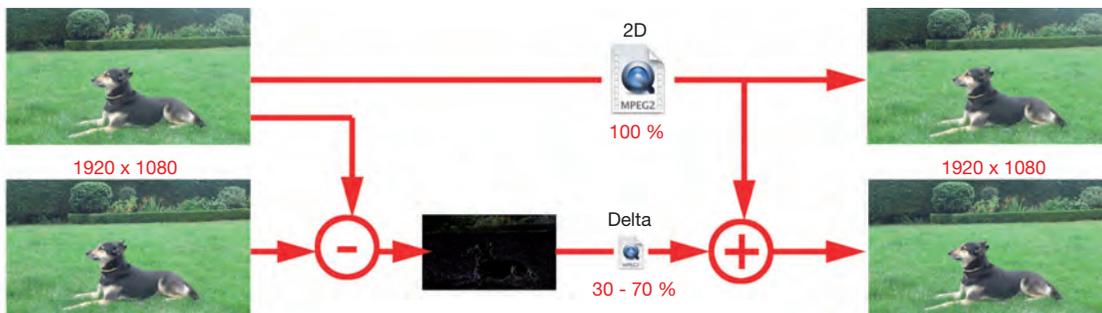


Les formats compatibles *frame* qui entrelacent les lignes (entrelacement) ou les pixels (quinconce) sont présents dans la norme HDMI, mais ils ne se prêtent que très mal à la compression une fois encodés. Ils risquent donc d'être détériorés par d'éventuelles étapes de compression/décompression supplémentaires

durant le transport. C'est pourquoi, ils ne sont pas repris dans les méthodes de transmission à longue distance.

### Formats compatibles service

En respectant les normes DVB de transmission, il est possible de transmettre une image normale destinée à l'œil gauche, et des données de service qui contiennent les informations permettant de reconstruire la vue droite. L'avantage de cette méthode est de ne pas nécessiter un second canal pour la 2D. En effet, un téléviseur classique ignore les données de service et affiche l'image gauche comme si de rien n'était. En revanche, un téléviseur 3D en tient compte : il passe automatiquement en mode 3D et affiche une image en relief en pleine résolution. Du côté des inconvénients, on constate une augmentation de la bande passante ; les données de service qui contiennent l'image droite peuvent augmenter la taille des images transmises de 30 % à 70 % suivant la méthode de codage. De plus, même si les normes sont respectées et si l'infrastructure de transmission reste inchangée, les encodeurs et les décodeurs doivent être remplacés par des modèles plus évolués.



Transmission service compatible « 2D + Delta » : l'image « différence » occupe moins de volume qu'une image complète. La bande passante occupée est typiquement entre 130 et 170 % de celle d'une transmission 2D.

#### La transmission compatible service 2D + Delta

Les formats compatibles service ne sont pas encore complètement standardisés, mais diverses initiatives existent. Une des plus mûres est proposée par TDVision ([www.tdvision.com](http://www.tdvision.com)). Leur système de codage est connu sous le nom « TDVCodec » et a été proposé pour faire partie du standard MPEG-4 MVC, une extension du standard H.264 AVC. Les premiers décodeurs intégrant cette fonctionnalité 2D + Delta sont apparus sur le marché en 2011.

### Formats intérimaires

En attendant l'apparition des formats compatibles service, Dolby et Sensio proposent déjà des solutions dites « compatibles trame plus couche d'amélioration ». Avec ces méthodes, on transfère une paire stéréoscopique dans une seule trame, par exemple en mode superposé, comme expliqué ci-dessus, mais des informations supplémentaires sont incluses dans le flux pour améliorer la résolution des images après décompactage. Les décodeurs actuels compatibles trame peuvent donc gérer les flux 3D, mais en demi-résolution par œil seulement, tandis que les décodeurs incluant les technologies Dolby ou Sensio sont, eux, capables d'envoyer au téléviseur 3D des images de qualité proche de la HD plein écran. La couche d'amélioration reste de taille acceptable, 10 à 15 % de

la taille totale du flux, et contient les informations spatiales manquantes dans la double image de base, dont la résolution est réduite de moitié. Ce type de solution, quoique non standard, offre l'avantage d'une disponibilité immédiate, ce qui intéresse, entre autres, les fournisseurs de vidéos à la demande (VOD) qui sont soucieux de démarrer leurs services 3D au plus vite, même avec une qualité moindre qu'avec les modes compatibles frame.

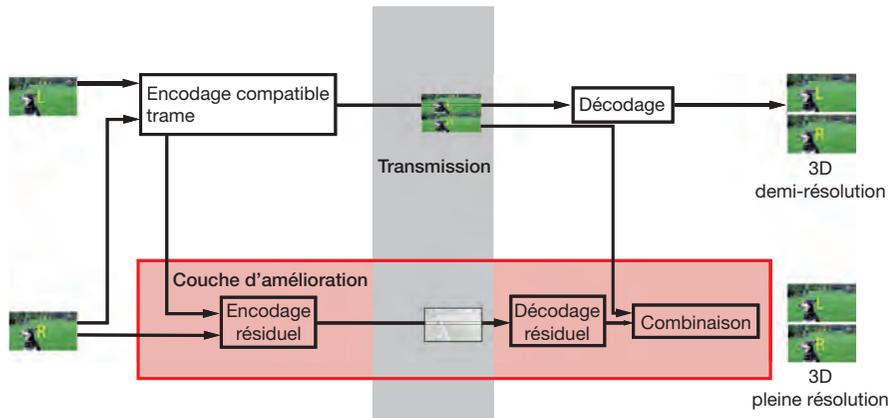


Schéma de principe de la transmission compatible frame avec couche d'amélioration. Au-dessus, la transmission compatible frame conventionnelle ; au-dessous, la solution améliorée qui restitue la résolution Full HD pour les deux yeux.

### Le format compatible service de Sisvel

Un cas particulier extrêmement intéressant du mode compatible frame est la méthode *3D Tile Format* de Sisvel ([www.sisveltech.com](http://www.sisveltech.com)) utilisée par Sky Italia, qui est à la fois compatible frame et compatible service. Elle se limite cependant au cas particulier d'images au format 720p retransmises dans un canal 1080p. Elle découle de deux constatations :

- une image 1080p (1 920 × 1 080 pixels) comporte 2 073 600 pixels, tandis qu'une paire stéréoscopique 720p (2 × 1 280 × 720 pixels) occupe 1 843 200 pixels, soit 89 % de la surface d'une image 1080p. Il est donc possible de faire entrer une image 3D 720p dans le cadre d'une image Full HD (voir figure ci-dessous à gauche) ;

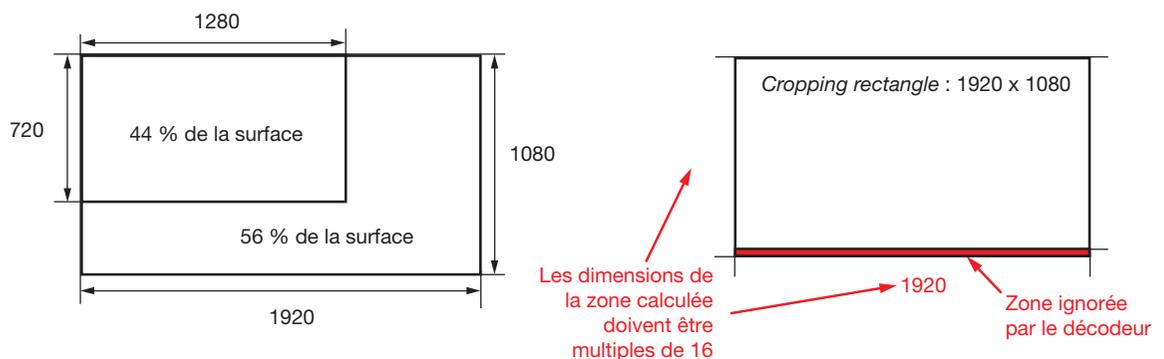


Image 720p cadrée en haut à gauche dans une image 1080p

Cropping rectangle d'une image Full HD dans la norme H.264 AVC

<b>Le Web 3D</b> .....	<b>275</b>
3D Vision Live de Nvidia.....	275
WebM.....	276
Lire des vidéos au format WebM.....	276
Encoder des vidéos au format WebM.....	276
<b>I0. Autostéréoscopie</b> .....	<b>277</b>
<b>Autostéréoscopie à deux vues</b> .....	<b>278</b>
Écran lenticulaire.....	278
Écran à barrière de parallaxe.....	279
Écran multiplexé.....	279
Tracking.....	279
<b>Autostéréoscopie multivue</b> .....	<b>280</b>
Perte de résolution.....	281
Nombre de vues.....	282
Le futur.....	282
<b>Production relief multivue et montage</b> .....	<b>283</b>
Tournage.....	283
Montage.....	283
3D-Tricks.....	283
Format de fichiers.....	284
<b>Fournisseurs de solutions autostéréoscopiques</b> .....	<b>284</b>
<b>Annexe</b> .....	<b>287</b>
<b>Glossaire</b> .....	<b>289</b>

## Chapitre 8

# Affichage stéréoscopique

# 8

*Comment regarder la 3D :  
sur écran ou par projection ?*

---

*Quels sont les avantages et les inconvénients  
de la polarisation ?*

---

*Comment choisir un projecteur 3D ?*

---

*Un connecteur DisplayPort est-il obligatoire  
pour les écrans 3D ?*

---

*Les lunettes actives sont-elles les meilleures ?*

---

*Peut-on imprimer des photos en relief ?*

---

*Est-il simple d'afficher un film en relief  
avec un PC ?*

---

Les méthodes de présentation appartiennent à trois grandes familles : les écrans directs, les projecteurs et les supports fixes, tels que le papier, les films plastiques et, bien sûr, la pellicule. Il est évident que les écrans électroniques sont les supports les plus universels : ils peuvent afficher des images fixes ou animées et ils couvrent une gamme de tailles allant de quelques centimètres à des dizaines de mètres. Le papier et les autres supports fixes offrent l'avantage d'être utilisables partout sans équipement onéreux et sont distribuables à moindre coût.

Quant à la distribution traditionnelle de films en relief sous forme de pellicule argentique, elle est devenue anecdotique. Même si des sociétés comme Technicolor poursuivent dans cette voie pour satisfaire une demande à court terme,

elle est vouée à l'extinction à moyenne échéance pour des raisons économiques et écologiques, mais aussi à cause du manque de constance dans la qualité.

## TV3D

Les affichages en relief pour les tailles de 80 cm à 150 cm répondent aux besoins d'une majorité d'utilisateurs : la télévision à domicile, l'affichage informatif et publicitaire, le jeu vidéo. La qualité des téléviseurs modernes à écran plat permet d'afficher une résolution Full HD, quasi identique à celle des cinémas, avec une luminosité importante, élément capital pour les systèmes 3D, et des prix acceptables. Les constructeurs ont très vite compris que l'électronique nécessaire pour transformer un récepteur TVHD classique en téléviseur 3D Ready ne demandait qu'un surcoût minime. Les fonctions à assumer par les circuits électroniques sont un peu plus nombreuses : il faut afficher deux fois plus d'images par seconde et ajouter une commande infrarouge pour piloter des lunettes actives. L'augmentation du prix de revient correspondante se monte à quelques euros à peine. En revanche, l'augmentation du prix de vente est plutôt de l'ordre de 10 à 40 %, et la marge bénéficiaire associée justifie les efforts de publicité pour la TV3D, même en ces temps où les contenus disponibles ne sont encore distillés qu'au compte-gouttes. Les TV3D sont, sauf rares exceptions, toutes fournies avec des lunettes actives.

Les constructeurs se sont aussi rapidement mis d'accord sur l'interface de choix pour le contenu 3D : le HDMI 1.4 décrit au chapitre précédent. Ce petit connecteur peut recevoir des images d'un décodeur numérique, d'un lecteur de disques Blu-ray ou de DVD, ou encore d'une console de jeux.



© B. Michel

Un téléviseur 3D Panasonic

L'année 2010 a vu fleurir tout un éventail de téléviseurs 3D, principalement dans une gamme de taille allant de 40 à 65 pouces (de 100 à 160 cm de diagonale). Tous ont un rapport d'aspect de 16:9. Toutes les grandes marques ont leur produit 3D : Panasonic, Samsung, LG, Sony... Le choix d'un téléviseur est toujours le fruit d'un compromis : fonctionnalités, budget et encombrement entrent en ligne de compte. Il ne faut toutefois pas oublier que ce dernier facteur est très important. Un spectacle 3D ne pourra être vraiment immersif que si la taille apparente de l'écran est suffisante. On privilégiera donc autant que possible les grands écrans.

## Les lunettes actives

Les verres des lunettes actives sont des obturateurs à cristaux liquides (*LCD Shutter* en anglais) qui obturent alternativement la vue de chaque œil en synchronisme avec le projecteur ou le téléviseur. La synchronisation est généralement faite par une transmission infrarouge, comme chez Nvidia et XpanD. Il existe toutefois des solutions de synchronisation par fréquence radio, comme le système 3D Vision Pro de Nvidia. Cette dernière méthode est un peu plus

onéreuse, mais elle présente des avantages dans des environnements où d'autres signaux infrarouges peuvent interférer avec la commande des lunettes : transmetteurs pour les casques audio de traduction simultanée lors de conférences, autres commandes infrarouges en provenance des stands voisins dans une exposition ou un musée...



© XpanD

Lunettes actives à commande infrarouge XpanD modèle XI01

Dans le cas d'une projection, l'émetteur infrarouge connecté au projecteur est en général situé à côté du projecteur et émet en direction de l'écran. Un écran de projection normal est suffisamment réfléchissant pour renvoyer le signal infrarouge vers les lunettes des spectateurs sans que le signal ne soit perturbé par la projection du film. Dans le cas des téléviseurs et écrans d'ordinateur, l'émetteur infrarouge se place près de l'écran et est connecté au PC par un câble USB.

L'inconvénient principal du système des lunettes à obturateur est leur coût : environ 100 € la paire ! Dès que le nombre de spectateurs est important, le coût des lunettes peut rapidement dépasser celui du projecteur lui-même. Dans les salles de cinéma, les lunettes actives doivent être distribuées à l'entrée et collectées par le personnel en sortie de salle, vérifiées, puis nettoyées avant d'être remises en service ; le coût de ces opérations est loin d'être négligeable.

Les lunettes actives sont en revanche la solution la plus efficace en termes de rendement lumineux. La perte de luminosité est à peine supérieure à 50 %, chaque verre étant opaque un tout petit peu plus de la moitié du temps. La colorimétrie est bien préservée car, en mode activé, les verres sont d'une teinte gris neutre.

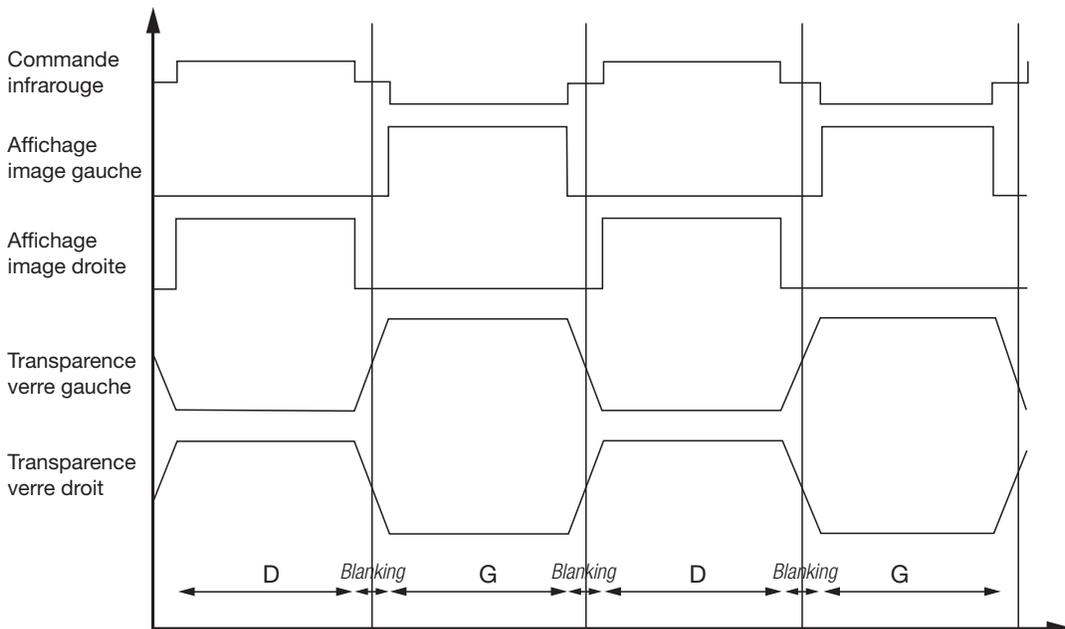


Diagramme temporel de l'affichage par lunettes actives. D et G sont les durées d'affichage des images gauche et droite ; *blanking* est l'intervalle pendant lequel aucune image n'est affichée (notez que le dessin n'est pas à l'échelle ; le *blanking* a en effet une durée très faible).

Les différents fournisseurs de TV3D et de solutions pour le cinéma, ainsi que Nvidia pour les écrans d'ordinateur, ont chacun développé une solution qu'ils estimaient optimale, mais celles-ci ne sont pas compatibles entre elles. Ce problème d'incompatibilité sera peut-être bientôt résolu : XpanD avec son modèle X-103 et le constructeur japonais Sanwa proposent des lunettes « universelles » susceptibles de gérer les divers signaux émis par la plupart des TV3D du marché. Mais rien n'avancera sans la bonne volonté des constructeurs et la mise sur pied d'une norme internationale. Un pas dans cette direction est fait par XpanD et Panasonic, qui ont lancé l'initiative M-3DI ([m-3di.com](http://m-3di.com)), et la CEA ([www.ce.org](http://www.ce.org)) dont le groupe de travail R4-WG16 travaille sur un futur standard pour des lunettes actives à commande infrarouge, qui devrait s'appeler « CEA-2038 IR-Synchronized Active Eyewear Standard ». En attendant cette norme, il sera toujours prudent de tester avant d'acheter !

En résumé, on peut dire que les lunettes actives offrent une solution de haute qualité, mais dont le prix devient important si les spectateurs sont nombreux. Dans le cadre d'une utilisation domestique, pour un à six spectateurs, il s'agit probablement du meilleur compromis. Pour les prestations publiques, la solution active est meilleure en termes de qualité, mais le surcoût par rapport aux méthodes passives devra être finalement absorbé par l'exploitant ou par les spectateurs.

## Projection numérique

Les images de grande taille ne peuvent plus être affichées sur des écrans plats actifs. En effet, ce type d'écran se heurte à de nombreuses barrières technologiques quand la taille des panneaux dépasse les 150 cm. Quelques réalisations exceptionnelles ont atteint plusieurs mètres, mais ces prouesses ne sont pas reproductibles à l'échelle industrielle. Les projecteurs numériques prennent donc tout naturellement le relais et permettent d'afficher des images atteignant 30 mètres de large. Suivant les besoins et les tailles, diverses solutions sont utilisées, avec des projecteurs simples ou doubles et avec des lunettes actives ou passives.

### Projecteur unique et lunettes actives

Les solutions de projection les plus simples à mettre en œuvre ne font appel qu'à un seul projecteur et à des lunettes actives synchronisées au projecteur. Ainsi, il n'y a ni réglage d'appariement à effectuer, ni risques de perte de cet appariement. Les installations domestiques de projection haut de gamme et les cinémas font tous appel à la solution du projecteur unique. Le projecteur doit être capable d'afficher des images successives à une vitesse double par rapport à un projecteur ordinaire, à 120 Hz au lieu de 60. Un nombre croissant de marques fournit de tels projecteurs, parmi lesquelles Acer, DepthQ, Mitsubishi, Nec et Viewsonic. Dans le cas des projecteurs de cinéma, le rythme de 24 images/seconde est trop faible pour éviter un scintillement gênant. Les normes d'affichage imposent donc que chaque image soit affichée trois fois (méthode Triple Flash). Ainsi, les images sont alternées au rythme de 144 images/seconde ; le scintillement est alors imperceptible.

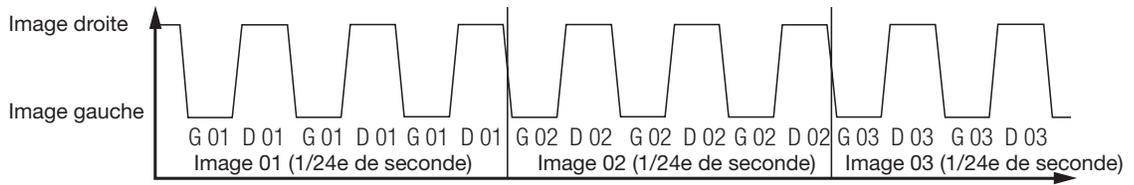
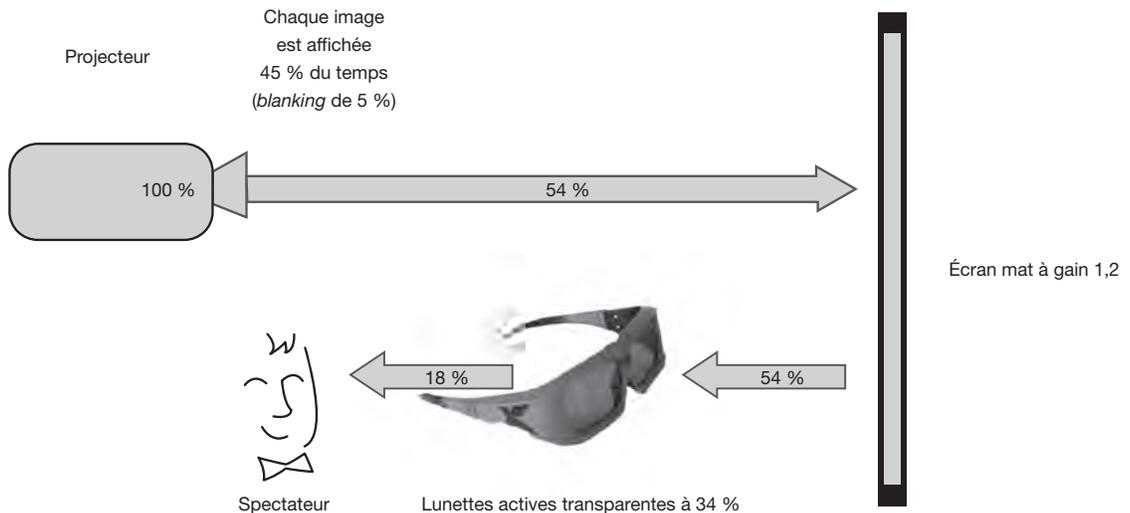


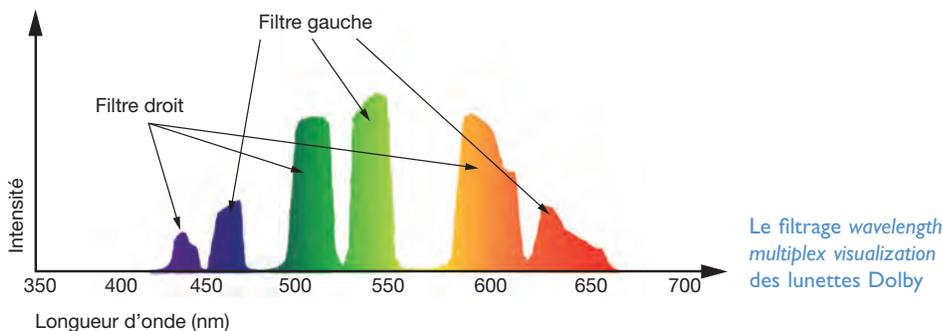
Diagramme temporel de l'affichage Triple Flash pour cinéma numérique avec lunettes actives



Le bilan de luminosité du système à lunettes actives

### Projecteur unique et lunettes passives Dolby

Le système de lunettes Dolby 3D, autrefois appelé « Infitec » du nom de la société qui a découvert le procédé avant de le céder à Dolby, est basé sur la séparation de l'image en couleurs différentes, un peu comme l'anaglyphe. Mais la différence est de taille : ici, chaque filtre laisse passer du rouge, du vert et du bleu, transmettant ainsi toutes les couleurs à chaque œil, suivant une méthode appelée *wavelength multiplex visualization*. Les filtres laissent, en effet, passer chacun trois tranches du spectre de fréquence correspondant à des morceaux différents du spectre visible, mais situées toutes les trois dans les régions où l'œil est le plus sensible : le rouge, le vert et le bleu.



À travers les lunettes Dolby, l'œil gauche perçoit trois bandes spectrales centrées sur 629 nm (rouge), 532 nm (vert) et 446 nm (bleu). L'œil droit reçoit des fréquences légèrement plus élevées, et donc de longueur d'onde légèrement plus courtes : 615 nm (rouge), 518 nm (vert) et 432 nm (bleu). Les filtres dichroïques Dolby sont malheureusement fort sombres et ne laissent passer jusqu'à l'œil du spectateur qu'environ 7 % de la lumière originale émise par le projecteur.

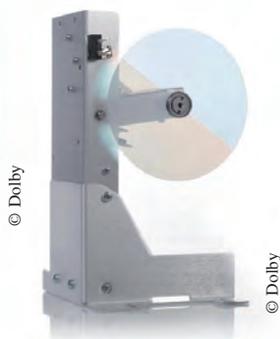
Les lunettes Dolby sont des filtres passifs, sans aucune électronique incorporée, mais leur structure est complexe avec un grand nombre de couches filtrantes superposées (on en évoque 50 pour un des yeux, 23 pour l'autre...) ; elles sont donc assez coûteuses. Le filtre utilisé au niveau du projecteur est une roue tournant à grande vitesse et synchronisée avec l'alternance des images gauche et droite projetées. Ce filtre est inséré entre la lampe du projecteur et le modulateur électronique de la tête de projection, préservant ainsi le contraste et diminuant l'intensité lumineuse qui chauffe l'électronique. Le *timing* d'affichage du système Dolby dans les cinémas est le même Triple Flash qu'avec les lunettes actives.

Le coût du système Dolby n'est pas négligeable : environ 8 000 \$ pour le modulateur rotatif, auxquels s'ajoute le prix des lunettes qui, vu leur complexité, ne sont pas bon marché. Les lunettes Dolby, comme les lunettes actives, doivent donc être récupérées après usage, nettoyées et réutilisées de nombreuses fois.

Le coût et la faible luminosité du système sont compensés par sa grande fiabilité (pas d'électronique dans les lunettes) et par son bon rendu des couleurs. Ce système partage avec les lunettes actives un gros avantage : il fonctionne avec un écran ordinaire et ne nécessite pas d'écran métallisé comme pour les systèmes polarisés. Parmi ses inconvénients, il faut toutefois noter que, pour un bon rendu des couleurs, les films prévus pour le système Dolby doivent subir un traitement d'adaptation colorimétrique spécifique au moment de leur encodage.



Les lunettes Dolby 3D et la roue de filtrage optique insérée dans le projecteur



### Projection polarisée à un projecteur

Si les lunettes actives donnent les meilleurs résultats, les solutions passives sont bien moins chères. La séparation des images par polarisation date d'il y a près d'un siècle et garde l'avantage dès que le nombre de paires de lunettes en jeu est important. En effet, à 2 € environ, la moins chère des paires de lunettes polarisées ne coûte que 2 % du prix d'une paire de lunettes actives. Dès lors, installer un dispositif de projection polarisée a un sens si le nombre de spectateurs dépasse une douzaine de personnes. Nombre de clubs de photo ou de vidéo amateurs ainsi que de très nombreux cinémas utilisent une paire de projecteurs polarisés.

La technique est simple : les images gauche et droite sont polarisées de deux façons complémentaires au niveau du projecteur. Le spectateur porte des lunettes avec des filtres polarisants correspondants qui ne laissent passer chacun que l'image voulue. Si le principe est simple, il entraîne malgré tout une contrainte importante : il nécessite un écran métallisé qui réfléchit la lumière sans en modifier la polarisation. Les filtres polarisants bloquent un peu plus de la moitié de la lumière au niveau du projecteur, puis encore la moitié de ce qui reste au niveau des lunettes. On comprend donc que le rendement lumineux soit moins bon qu'avec les méthodes actives. On devra compenser ce manque de luminosité par un projecteur plus puissant mais, heureusement, la présence obligatoire d'un écran métallisé a ici un effet bénéfique : les écrans métallisés sont plus directionnels dans leur manière de renvoyer la lumière vers la salle. On dit que leur gain est plus important, ce qui signifie que les spectateurs proches de l'axe de projection recevront plus de lumière qu'avec un écran en toile ordinaire. En revanche, les spectateurs placés aux bords de la salle auront beaucoup moins de lumière et, de plus, celle-ci sera inégalement répartie sur l'écran. Moralité : dans les salles de cinéma avec système polarisé, placez-vous toujours au centre d'une rangée pour bénéficier de la luminosité la plus forte et la mieux répartie.



© RealD



© RealD

### Polarisation linéaire ou circulaire

Il existe deux types de polarisations : linéaire et circulaire. Les filtres linéaires sont identiques à ceux des lunettes de soleil polarisantes, mais inclinés différemment : au lieu d'être tous deux orientés horizontalement ( $0^\circ$ ), les filtres gauche et droit sont à  $90^\circ$  l'un de l'autre, généralement à  $45^\circ$  et  $135^\circ$ . Les filtres placés dans le chemin de projection des deux images sont inclinés à l'identique. L'inconvénient de la méthode est que, si un spectateur incline la tête, la bonne inclinaison des lunettes n'est plus respectée et il voit apparaître des « fantômes » : une partie de l'image gauche passe à travers le verre droit et inversement.

Les filtres circulaires sont polarisés à gauche ou à droite ; ils offrent l'avantage d'être insensibles à l'inclinaison de la tête. Cet avantage a toutefois un coût : les polariseurs circulaires sont plus difficiles à fabriquer et coûtent plus cher.

Du côté de la projection, soit on utilise deux projecteurs avec chacun un filtre fixe, soit un seul projecteur à double vitesse et un filtre dynamique qui change de polarisation en rythme avec l'alternance des images.

### Ghosbusted version

Les fantômes, aussi appelés *ghosting* ou *crosstalk*, sont un des défauts classiques des systèmes polarisés. Comme les filtres ne sont pas parfaits, ils laissent passer un faible pourcentage de l'image qui ne leur est pas destiné, d'où l'impression désagréable de voir double. Les studios de cinéma préparaient encore il y a peu des versions spéciales de leurs films pour les salles polarisées. Dans

Lunettes à polarisation circulaire RealD et filtre placé devant le projecteur