



SIMON BERNARD • STÉPHANE GAUTIER • ARNAUD MARGOLLÉ

Signaux, liaisons et compression vidéo

Informatique et réseaux • Microphones

**BTS AUDIOVISUELS
& DESIGN GRAPHIQUE
LICENCES & MASTERS
AUDIOVISUEL, CINÉMA & SON
FORMATION CONTINUE
DES TECHNICIENS**

- Cours complet **en couleurs**
- QCM, exercices et sujets d'examens
- Tous les corrigés détaillés

Simon Bernard • Stéphane Gautier • Arnaud Margollé

Technologies pour l'audiovisuel

Signaux, liaisons et compression vidéo
Informatique et réseaux • Microphones

Cours • QCM & exercices corrigés

BTS AUDIOVISUELS & DESIGN GRAPHIQUE
LICENCES & MASTERS AUDIOVISUEL, CINÉMA & SON
FORMATION CONTINUE DES TECHNICIENS

Ouvrage complémentaire

Simon BERNARD, Stéphane GAUTIER & Arnaud MARGOLLÉ, *Technologies pour l'audiovisuel* :
Caméras • Écrans • Éclairage • Sécurité électrique
Cours • QCM • exercices et problèmes corrigés – BTS, Licence & Master, 272 pages

Pour le même public

Stéphane GAUTIER & Arnaud MARGOLLÉ, *Physique pour l'audiovisuel* :
Traitement du signal numérique • Optique • Photométrie • Colorimétrie
Cours • QCM et exercices corrigés – BTS, DUT & Licence, 352 pages

Stéphane GAUTIER & Arnaud MARGOLLÉ, *Physique pour l'audiovisuel* :
Traitement du signal analogique • Acoustique
Cours • QCM et exercices corrigés – BTS, DUT & Licence, 320 pages

Pour toute information sur notre fonds et les nouveautés dans votre domaine
de spécialisation, consultez notre site web :

www.deboecksuperieur.com

En couverture : © Metamorworks/Adobe Stock
Maquette intérieure : Hervé Soulard/Nexeme
Mise en pages des auteurs
Maquette de couverture : Primo&Primo
Couverture : SCM, Toulouse

Dépôt légal :
Bibliothèque royale de Belgique : 2021/13647/117
Bibliothèque nationale, Paris : août 2021
ISBN : 978-2-8073-2915-7

Tous droits réservés pour tous pays.

*Il est interdit, sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, de reproduire (notamment par photocopie)
partiellement ou totalement le présent ouvrage, de le stocker dans une banque de données
ou de le communiquer au public, sous quelque forme ou de quelque manière que ce soit.*

© De Boeck Supérieur SA, 2021 - Rue du Bosquet 7, B1348 Louvain-la-Neuve
De Boeck Supérieur - 5 allée de la 2^e DB, 75015 Paris

Table des matières

Avant-propos	5
Remerciements	6
Chapitre 1. Lumière & vision	7
1. La lumière 7 – 2. La vision humaine 12 – 3. Synthèse comparative 21 – Exercices 22 – Corrigés des exercices 24	
Chapitre 2. Caractéristiques d'une vidéo	25
1. Dimensions d'une image fixe 25 – 2. Cadences 31 – Exercices 35 – Corrigés des exercices 38	
Chapitre 3. Vidéo analogique	41
1. Le téléviseur cathodique noir et blanc 41 – 2. Le signal électrique 43 – 3. Caractéristiques temporelles 47 – 4. La couleur 47 – 5. Outils d'analyse 51 – 6. Synthèse 55 – Exercices 56 – Corrigés des exercices 62	
Chapitre 4. Vidéo numérique	69
1. Numérisation de l'image vidéo 69 – 2. Caractéristiques du signal vidéo numérique 73 – 3. Adaptations du signal analogique 75 – 4. Transmission du signal numérique 78 – Exercices 82 – Corrigés des exercices 87	
Chapitre 5. Compression numérique	91
1. Généralités 91 – 2. Compressions statistiques 93 – 3. Compression subjective 97 – 4. Compression spatiale 97 – 5. Compression temporelle 110 – 6. Synthèse 122 – Exercices 124 – Corrigés des exercices 136	
Chapitre 6. Formats numériques	143
1. Classifications 143 – 2. Architecture fonctionnelle 145 – 3. Conclusion 155 – Exercices 156 – Corrigés des exercices 165	
Chapitre 7. Architecture des ordinateurs	169
1. Organisation fonctionnelle d'un ordinateur 169 – 2. Les bus internes 173 – 3. Les bus externes 175 – 4. Le disque dur 176 – 5. Configuration RAID 178 – Exercices 183 – Corrigés des exercices 199	

Chapitre 8. Les réseaux informatiques	203
1. Terminologie 203 – 2. Topologie des réseaux 204 – 3. Principaux éléments matériels d'un réseau 205 – 4. Configuration des systèmes de stockage centralisés 210 – 5. Communication TCP/IP 211 – Exercices 218 – Corrigés des exercices 234	
 Chapitre 9. Les microphones	 237
1. Organisation fonctionnelle 237 – 2. Caractéristiques d'un microphone 237 – 3. Étude de la conversion acoustique-mécanique 246 – 4. Étude de la conversion mécanique-électrique 253 – 5. Transport du signal électrique analogique 258 – Exercices 261 – Corrigés des exercices 271	
 Chapitre 10. Complément : signal analogique et numérique	 275
1. Introduction 275 – 2. Représentation de l'information numérique 277 – 3. Numérisation des signaux analogiques 281 – 4. Restitution des signaux numériques 286 – Exercices 287 – Corrigés des exercices 294	
 Bibliographie	 297
 Index	 299

Avant-propos

S'il existe, déjà, de nombreux ouvrages consacrés aux technologies audiovisuelles, ces deux volumes ambitionnent de trouver une modeste place au croisement de deux problématiques.

Dans un premier temps, ils couvrent l'ensemble des champs scientifiques impliqués dans le domaine complexe de l'audiovisuel : le premier tome rassemble des notions élémentaires sur la vision humaine, les bases du signal vidéo, analogique comme numérique, jusqu'à la compression, l'informatique matérielle et en réseau, ainsi que les microphones ; le deuxième tome est consacré aux caméras, aux reconstitueurs, à l'éclairage et à l'électricité. Au sein de ces différents domaines qui ressortent autant de la biologie que du traitement du signal, de l'optique que de l'informatique, nous avons choisi la clarté et la simplicité : ne pouvant prétendre à une exhaustivité illusoire au vu des incessantes évolutions techniques, seuls les concepts fondamentaux ont été retenus et détaillés, afin d'en proposer des exposés clairs et de permettre de se repérer dans les différentes modes techniques qui se suivent au gré des époques. De nombreuses illustrations ont été dessinées et rassemblées afin de clarifier avec la plus grande justesse des concepts que la miniaturisation et l'abstraction informatiques n'aident pas toujours à se représenter simplement. À l'inverse, les fastidieux catalogages de normes ou de caractéristiques techniques n'ont pas été repris ici : ils se trouvent aisément dans de nombreux autres ouvrages, et seraient, de toute façon, dépassés à peine la parution effectuée.

Dans un deuxième temps, ces ouvrages se veulent clairement didactiques : au-delà des notions de cours, chaque chapitre contient un grand nombre d'exercices fournis, ici, avec leurs corrigés. Ils sont divisés en trois catégories de complexité croissante : QCM, exercices d'application et problèmes de synthèse. Ceux-ci couvrent précisément les programmes des BTS « Métiers de l'audiovisuel » dans lesquels nous enseignons et peuvent servir de révision aux examens de TES de ces filières. Plus largement, ils permettent à chacun, qu'il soit étudiant en ce domaine, professionnel en cours de formation ou passionné par l'audiovisuel, de se familiariser, autant que le permet la théorie, avec des équipements professionnels courants et d'usage généralisé.

Nous espérons que ces différents publics trouveront, ici, quelques réponses aux nombreuses questions que ces domaines soulèvent, et que ces ouvrages permettront d'accompagner ces métiers aussi exigeants techniquement que fondamentalement passionnants.

Remerciements

Les auteurs remercient l'ensemble des étudiants qui ont pu tester, dans des conditions « réelles », le contenu de ces ouvrages, ainsi que leurs collègues qui ont pu les aider à rassembler les différents matériaux publiés ici. Ils seront également redevables aux lecteurs qui auront l'amabilité de leur signaler les inévitables erreurs et approximations qui se seraient glissées dans ces nombreuses pages malgré les relectures attentives.

Chapitre 1

Lumière & vision

Ce premier chapitre rassemble des généralités sur les phénomènes lumineux, issus des interactions entre les phénomènes lumineux liés au rayonnement électromagnétique et le système humain servant à la perception visuelle. Nous allons aborder ces phénomènes lumineux avec quelques notions tirées des sciences physiques indispensables pour la bonne compréhension de la prise de vues et de la restitution d'images. Le système de perception visuelle est compris comme un ensemble constitué principalement des yeux et du cerveau dont les capacités biologiques sont particulièrement remarquables.

1. La lumière

1.1. Caractéristiques de la lumière

Les phénomènes lumineux constituent une partie importante de ce qui est appelé plus globalement, en sciences physiques, le *rayonnement électromagnétique*. Ce domaine de recherche s'est développé principalement au dix-neuvième siècle et permet de décrire les propriétés de la lumière, aussi bien quantitativement que qualitativement : celles-ci se formalisent par deux théories simultanées qui co-existent sans que l'une ne soit plus vraie que l'autre, la théorie *corpusculaire* et la théorie *ondulatoire*.

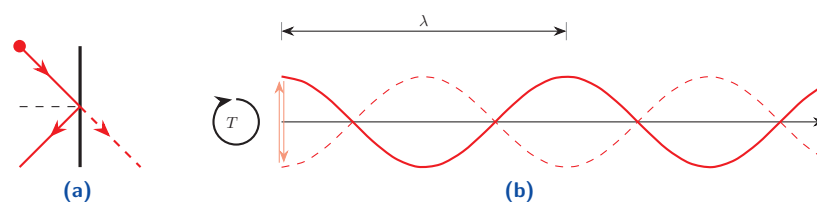


Figure 1.1. Schématisation des théories corpusculaires et ondulatrices de la lumière

Il en ressort que, contrairement aux ondes mécaniques dont font partie, par exemple, les ondes acoustiques, la lumière, elle, peut se propager dans le vide. De plus, quel que soit le milieu considéré, elle se transmet à une vitesse constante valant $c = 299\,792\,758 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, soit environ $300\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Cette grandeur dite *célérité de la lumière* pourra être considérée comme instantanée à l'échelle d'un plateau de tournage. La lumière est également caractérisée par sa longueur d'onde (λ) qui interviendra pour déterminer les couleurs visibles abordées dans la partie suivante.

1.2. Intensité

Quelle que soit la théorie considérée, la lumière peut aussi être décrite comme un phénomène physique transmettant une certaine énergie. Dans la pratique, cette énergie peut provenir soit du soleil — on parlera ici d'*éclairage naturel* —, soit de sources fabriquées par l'être humain telles que le feu, les bougies, les ampoules électriques... — et on parlera dans ce cas d'*éclairage éclairage artificiel*.

L'énergie qui génère et alimente une source lumineuse caractérise directement l'« intensité » de la lumière émise. Selon le point où l'on se place, plusieurs grandeurs caractérisent cette intensité et chacune d'elles est caractérisée par une unité qui lui est propre. On ne retiendra ici que la notion de *luminance* qui mesure la *brillance* d'un élément perçu en tenant compte de l'intensité de la lumière qui l'éclaire, mais aussi de son angle d'incidence, de la capacité de réflexion de la surface éclairée et des distances en jeu. Celle-ci se mesure en *candela par mètre carré* ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$), ou *nit* (nt), et le tableau 1.1 donne quelques ordres de grandeur de luminance de sources usuelles :

Source	Luminance $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$
Soleil au zénith	1 500 000 000
Endommagement de la rétine	100 000 000
Filament incandescent	7 000 000
Seuil de douleur, papier blanc au soleil	20 000
Ciel dégagé	7000
Surface de la lune	2500
Bougie	500
Écran LCD moyen	250
Écran de cinéma	50
Seuil de vision photopique/mésopique	10
Nuit étoilée, seuil de vision mésopique/scotopique	0,001
Minimum perceptible	0,000 001

Table 1.1. Ordres de grandeur de luminance usuels

La dynamique de luminance tolérée par la vision humaine est très importante, d'un rapport de vingt milliards environ, et supporte des valeurs de luminance très faibles, relevant d'une quasi-obscurité. Ces possibilités sont encore loin d'être égalées par les caméras même les plus performantes.

Au-delà du seuil de douleur, l'endommagement possible de la rétine dépend également de la durée d'exposition à de telles valeurs : il est néanmoins proscrit de regarder directement à l'œil nu n'importe quelle source de lumière autre que la bougie, et obligatoire de porter des lunettes de soleil en extérieur. Le soleil, aussi bien que les lampes peuvent causer rapidement des lésions irrémédiables, et ces conséquences sont encore aggravées à des jeunes âges, notamment en dessous de quatorze ans environ.

1.3. Couleurs

1.3.1. Définition

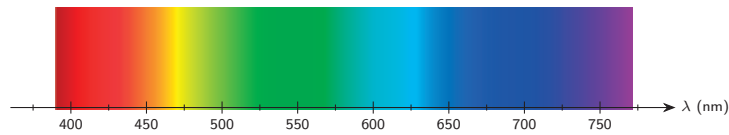


Figure 1.2. Longueurs d'onde du spectre visible

La couleur n'est pas une propriété intrinsèque des objets, mais correspond à la perception et l'interprétation par la vision humaine de l'énergie lumineuse émise ou réfléchiée par les objets. Elle dépend de la longueur d'onde lumineuse, grandeur qui mesure l'écart spatial entre deux points en phase, c'est-à-dire situés sur la même position de l'onde considérée.

En termes de longueurs d'onde, on retient comme gamme visible celle comprise entre 380 nm et 780 nm. Ces limites n'encadrent qu'une partie très réduite du domaine des ondes électromagnétiques dont les autres applications sont innombrables (radio, rayons X, téléphonie mobile, micro-ondes, etc.).

Plus généralement, on peut considérer que les couleurs n'existent pas en dehors de la perception humaine, ce qui explique également les grandes disparités dans leur interprétation selon les individus, les cultures ou les époques. L'enjeu est de déterminer des outils pour décrire ces couleurs et leur comportement d'une manière univoque, voire objective.

1.3.2. Cercle des couleurs

Toute couleur peut s'exprimer en fonction de l'un des trois systèmes de couleurs primaires choisies : mélange additif (rouge, vert, bleu) ou mélange soustractif (cyan, jaune, magenta). Ces six couleurs se regroupent sur un cercle colorimétrique sur lequel chaque couleur apparaît face à sa complémentaire (fig. 1.3).

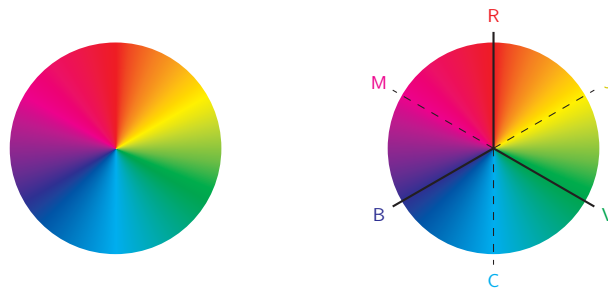


Figure 1.3. Primaires et secondaires de la synthèse additive des couleurs

À partir de ce cercle, on définit les trois grandeurs permettant d'exprimer toute couleur par des valeurs numériques :

- *la teinte* (fig. 1.4a) : aussi appelée tonalité, elle est liée à la longueur d'onde dominante de la lumière pénétrant l'œil. Elle est aussi exprimée en degrés par rotation sur le cercle à partir du rouge.
- *la saturation* (fig. 1.4b) : pour chaque tonalité définie par sa teinte, elle consiste à lui superposer une plus ou moins grande quantité de lumière blanche. Elle s'exprime en pourcentage ou en grandeur quantifiée.
- *la luminance* (fig. 1.4c) : elle consiste à diminuer, pour une teinte et une saturation données, la luminance. Elle s'exprime en pourcentage ou en grandeur quantifiée.

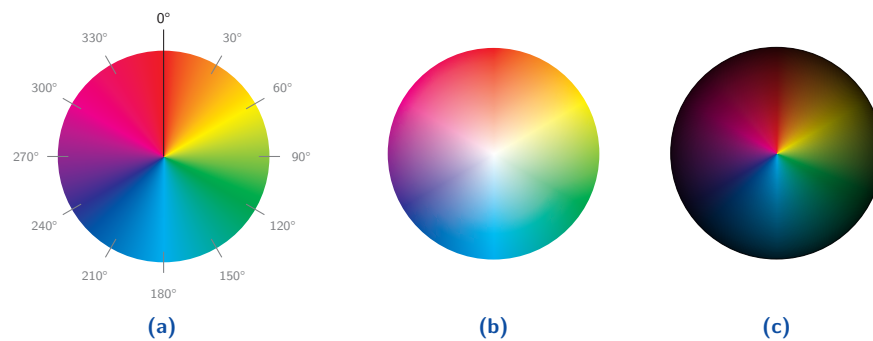
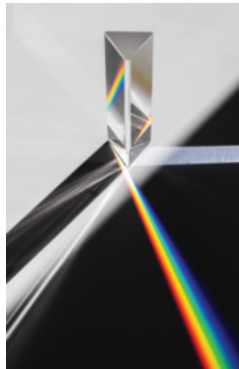


Figure 1.4. Variation en teinte (a), saturation (b) et luminosité (c)

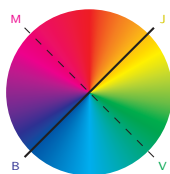
1.3.3. Décomposition des couleurs



Les couleurs plus complexes s'obtiennent par addition de différentes longueurs d'onde, jusqu'au blanc qui rassemble l'ensemble des couleurs visibles. La transmission d'une telle lumière blanche à travers un prisme permet de révéler cette décomposition.

La couleur magenta, qui tire du violet (à dominante bleue) au pourpre (à dominante rouge), présente la particularité de ne pas être constituée d'une seule lumière monochromatique : elle ne peut être créée que par un mélange de lumières bleu et rouge, ce qui explique son absence dans le phénomène de décomposition précédent.

1.3.4. Température de couleur



La couleur peut aussi être exprimée à partir de la notion de *température de couleur* : celle-ci se mesure en degrés Kelvin (K), la température du corps noir dont l'apparence visuelle serait la plus proche de la source de lumière. À noter que la température physique évolue à l'inverse de la sensation visuelle : une lumière dite *chaude*, tendant vers les rouge-orangé, correspond à une

faible température en degrés K, alors qu'une lumière dite *froide*, tendant vers le bleu, correspond à une température en degrés K élevée.

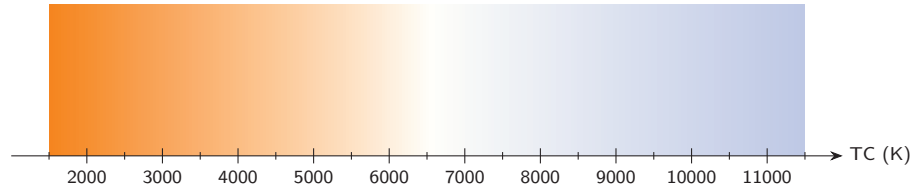


Figure 1.5. Axe des températures des couleur

Cet axe de description de la couleur, utilisé depuis plusieurs siècles, est décorrélié de la chaleur réellement émise par les sources de lumière. Néanmoins, avec son axe complémentaire vert-magenta, l'ensemble définit un système d'analyse très courant en audiovisuel comme dans d'autres arts visuels.

Les différentes sources de lumière usuelles génèrent des lumières à des températures de couleur variables. On retient généralement les valeurs de 3200 K pour l'éclairage artificiel de projecteur incandescent, de 5600 K pour l'éclairage naturel en extérieur et de 4000 K pour un mélange de plusieurs températures.

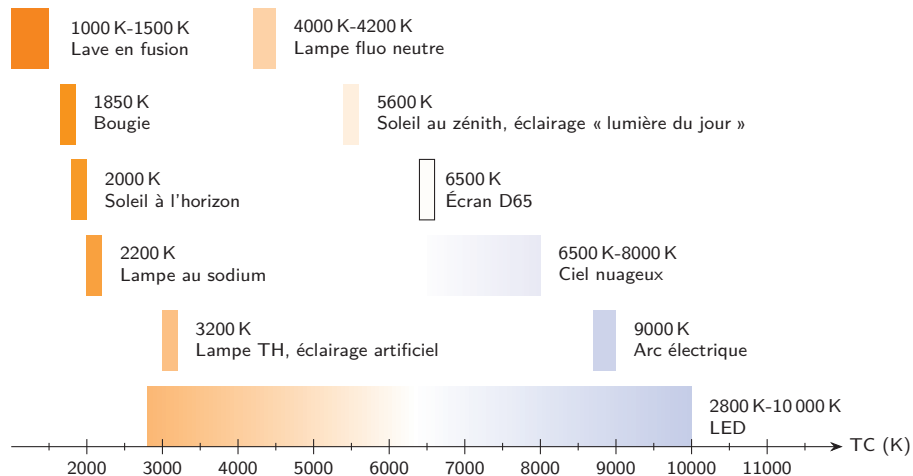
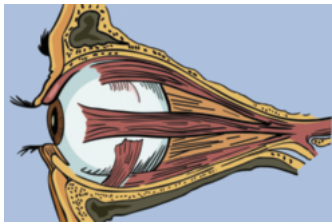


Figure 1.6. Températures de couleur usuelles

Mais ces valeurs sont très variables : en fonction de la nature des lampes utilisées, les températures de couleur de la lumière émise seront très différentes. Dans le cas de l'éclairage naturel, la température dépend de l'équilibre entre la lumière directe du soleil, plutôt chaude, et la lumière diffusée par l'atmosphère et les nuages, plutôt froide, qui est donc fonction de l'heure dans la journée, de la latitude et des conditions météorologiques. Ce paramètre est d'une grande importance aussi bien à la prise de vue que lors de l'étalonnage de vidéos. La vision humaine s'accommode parfaitement de ces variations au quotidien mais celles-ci ont des conséquences biologiques et physiologiques fondamentales pour l'ensemble du corps.

2. La vision humaine

2.1. Anatomie de l'œil



L'œil humain est un globe d'un diamètre de l'ordre de vingt-cinq millimètres et d'environ huit grammes, dimensions qui demeurent identiques tout au long de la vie d'un être humain. Il regroupe des cellules nerveuses, des muscles et des « milieux » transparents, liquides dénommés *humeurs* qui maintiennent les autres organes en position.

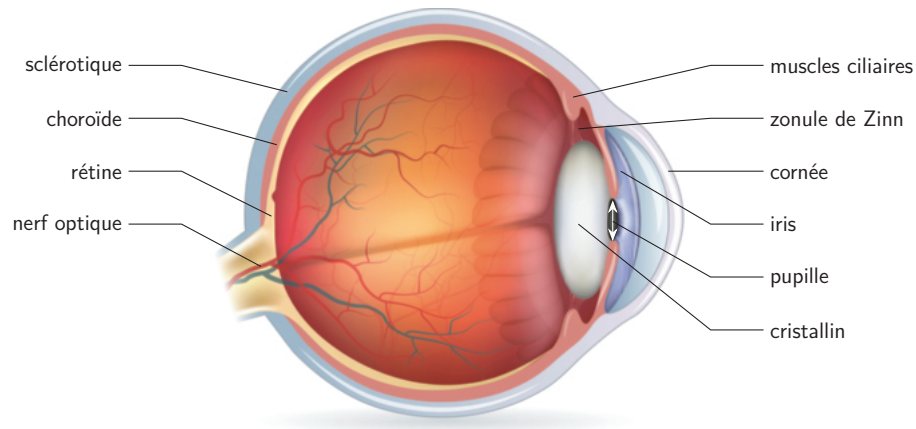


Figure 1.7. Principaux constituants de l'œil humain

Ses principaux constituants sont :

- la *cornée* : c'est une partie transparente qui constitue la première lentille convergente.
- la *pupille* : c'est le trou au milieu de l'iris qui laisse pénétrer la lumière.
- l'*iris* : c'est une membrane circulaire qui constitue la partie colorée. Il peut se contracter et se dilater en fonction de la quantité de lumière.
- le *cristallin* : il s'agit de la deuxième lentille convergente de l'œil. Souple, elle est maintenue par des ligaments (appelés zonules de Zinn) qui sont liés à des muscles servant à modifier sa courbure.
- les *muscles ciliaires* : il s'agit des muscles qui permettent de modifier la courbure du cristallin lors de l'accommodation en le compressant.
- la *rétine* : c'est une membrane nerveuse tapissant le fond de l'œil et qui transforme la lumière en signal électrique.
- le *nerf optique* : ensemble de cellules acheminant l'information visuelle en provenance de la rétine jusqu'au cerveau. Sa terminaison, appelée papille, correspond à une tache aveugle compensée par le cerveau.
- la *sclérotique* : membrane opaque et rigide, très résistante qui constitue l'enveloppe de l'œil et lui donne sa couleur blanche.

- la *choroïde* : couche intermédiaire entre la sclérotique et la rétine qui assure la nutrition de l'iris et de la rétine. Avec les muscles ciliaires et l'iris, elle isole l'intérieur de l'œil de la lumière et de la température extérieures. Chez certains animaux dits nyctalopes, comme les chats, son pouvoir réfléchissant améliore leur vision nocturne.

2.2. Traitement de l'information visuelle

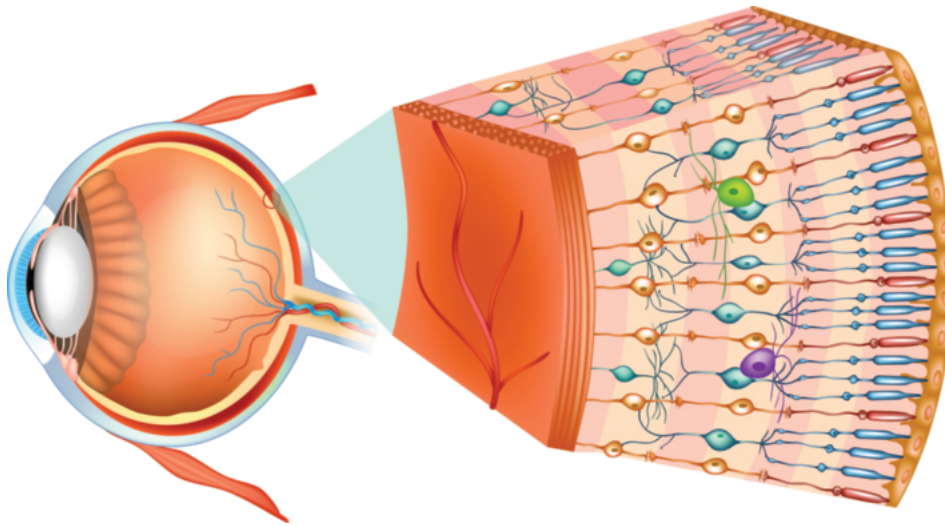


Figure 1.8. Schéma des photorécepteurs de la rétine

Répartie sur l'ensemble du « fond » de l'œil, la rétine est un tissu neuronal très fin (0,1 mm à 0,5 mm d'épaisseur) qui comporte environ cent millions de récepteurs : les bâtonnets (95 %, en bleu sur la figure 1.8) et les cônes (5 %, en bordeaux sur la figure 1.8). Les deux autres couches, situées au-dessus de ces récepteurs, servent à traiter et transmettre ce signal auprès du million de cellules, environ, qui forment le nerf optique : le rapport de cent entre le nombre de récepteurs et celui de transmetteurs oblige à une organisation poussée.

Les cônes sont de trois types, correspondant à trois sensibilités à différentes longueurs d'onde de la lumière reçue (figure 1.9a) : bleu (420 nm), jaune-vert (534 nm) et rouge (564 nm). Leur combinaison permet de créer l'impression de couleur dont le maximum de sensibilité se situe autour des 555 nm. Ils ne sont présents que dans la zone centrale de la rétine, dite *fovéa*, zone qui donne les images les plus fournies en détails et en couleurs, mais nécessite une luminosité ambiante suffisante, d'environ $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. On parle alors de régime de vision *photopique* (courbe continue sur la figure 1.9b).

Les bâtonnets sont plus denses sur la périphérie : bien plus sensibles que les cônes, ils fournissent une vision monochrome notamment utile dans les situations de très faible luminosité, dès $0,001 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ environ. Leur sensibilité moyenne est située

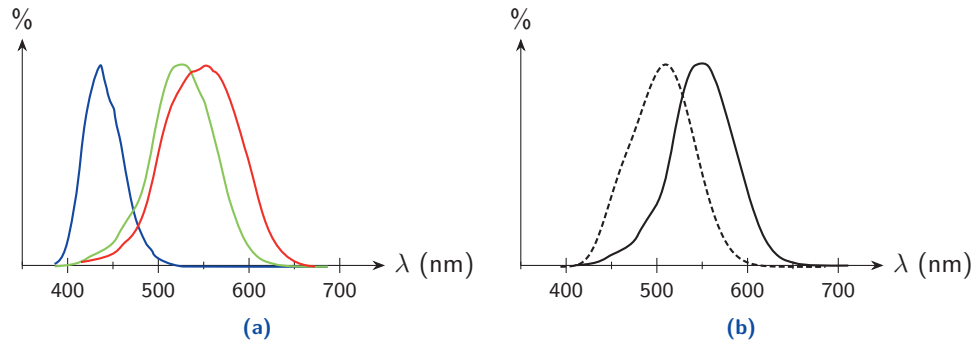


Figure 1.9. Sensibilité des cônes (a) et des deux régimes de vision (b)

vers les 500 nm (en noir sur la figure 1.9a), on parle alors de vision *scotopique* (courbe pointillée sur la figure 1.9b).

Néanmoins, l'adaptation de la rétine à l'obscurité est lente, et il faut plusieurs minutes pour qu'elle atteigne son accoutumance maximale. Entre ces deux régimes, on parle de vision *mésopique*.

2.3. Perception spatiale

2.3.1. Champ visuel

On regroupe sous le terme champ visuel l'ensemble de l'espace balayé par les deux yeux. Comme l'indique la figure 1.10, le champ visuel s'étend sur 130-135° verticalement et 200-220° horizontalement. Cela correspond à un ratio d'image compris entre 1,5 et 1,6 environ. Comme les lentilles ou les caméras, chaque œil inverse l'image d'un objet dans son champ dans les sens horizontaux et verticaux. De plus, ces champs sont limités par la présence du nez.

En fonction de l'éloignement par rapport à l'axe du regard, on distingue plusieurs régimes de vision, de la plus acérée à la plus grossière. Cette variation permet à la vision humaine une large étendue angulaire en même temps qu'une forte acuité autour de l'axe optique : il serait impossible au système cérébral de traiter une acuité aussi élevée que dans la fovéa sur l'ensemble du champ de vision. Les mouvements oculaires et corporels ainsi que la mémoire perceptuelle permettent de compenser cette variation.

Dans ce champ visuel, la tache aveugle causée par la papille du nerf optique peut se visualiser grâce à la figure 1.11 : fermer l'œil gauche, fixer la cible de gauche avec l'œil droit, et varier la distance de vision. À une certaine distance, correspondant à l'angle de vision de la papille, le point de droite disparaît complètement.

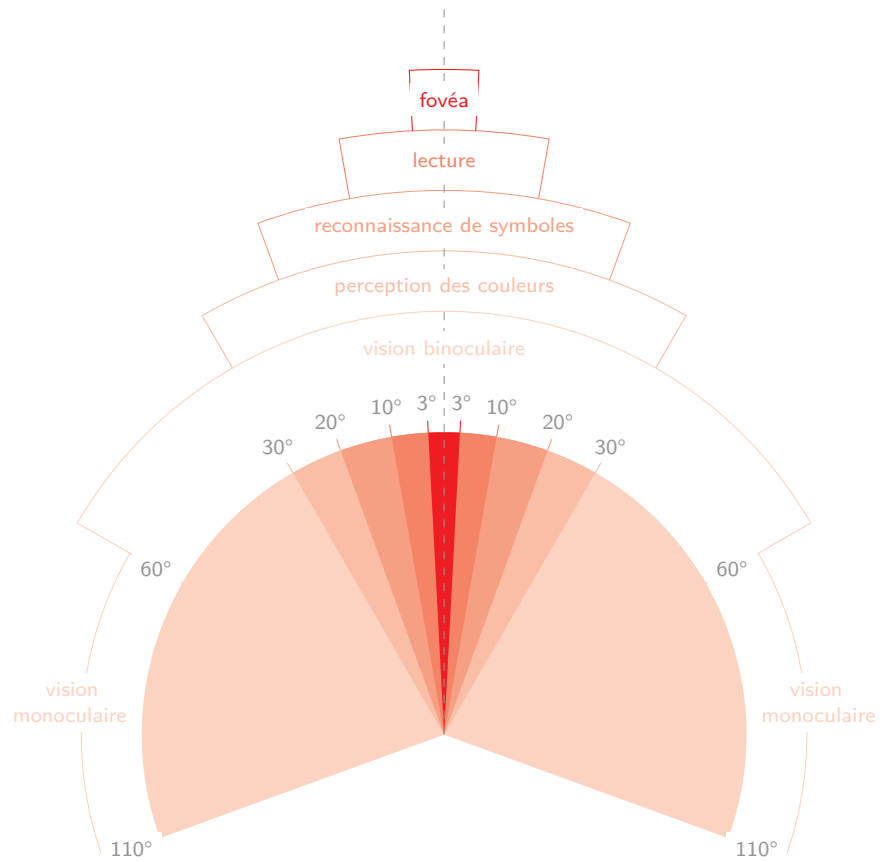


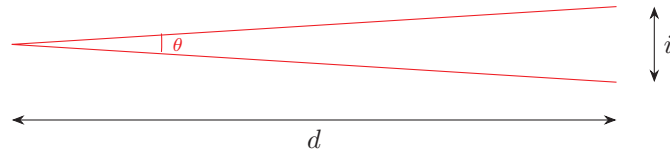
Figure 1.10. Valeurs moyennes du champ visuel humain



Figure 1.11. Visualisation de la tache aveugle

2.3.2. Pouvoir séparateur

Il quantifie l'aptitude de l'œil à distinguer les détails. On parle aussi de sensibilité au contraste. Dans des conditions favorables, lorsque l'objet se trouve dans la fovéa, un œil normal peut séparer deux points distants d'une minute d'arc, c'est-à-dire qu'il va voir séparément deux points séparés de 1 mm et situés à 3,5 m de lui, comme le détaille la formule suivante :



$$\theta \approx \frac{i}{d} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{3,5} \approx 3 \cdot 10^{-4} \text{ rad d'où : } \theta \approx \frac{3 \cdot 10^{-4} \cdot 360 \cdot 60}{2 \cdot \pi} \approx 1'$$

2.3.3. Accommodation

Ce sont les modifications de l'œil lui permettant d'assurer la netteté des images pour des distances de vision différentes. Elle se réalise par le changement de courbure du cristallin que permettent les muscles ciliaires et se caractérise par son *punctum proximum* et son *punctum remotum*. Dans le cas d'un œil *emmétrope*, c'est-à-dire sans défaut, cette distance d'accommodation varie entre vingt-cinq centimètres environ et l'infini. Au repos, l'accommodation de l'œil se fait au *punctum remotum*, donc à l'infini, d'où la fatigue visuelle qu'entraîne la vision très proche à laquelle obligent, entre autres, les écrans.

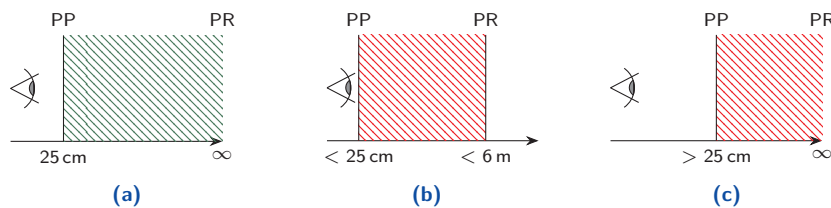


Figure 1.12. Visions emmétrope (a), myope (b) et hypermétrope (c)

L'unité qui mesure l'accommodation est la même que celle utilisée pour les lentilles, la *dioptrie* (8). Les défauts d'accommodation entraînent les troubles de la vision dits de *myopie* (accommodation impossible au lointain) ou d'*hypermétropie* (accommodation impossible au plus proche). Des dispositifs de correction de dioptrie sont souvent inclus dans les viseurs des caméras et autres appareils optiques.

2.3.4. Stéréoscopie

Les deux yeux sont séparés d'une distance dite inter-pupillaire, d'environ six centimètres. Ainsi, les images formées sur la rétine de l'œil gauche et de l'œil droit ne sont pas identiques. Des neurones spécialisés permettent d'élaborer la sensation du relief à partir de ces disparités, auxquelles s'ajoutent d'autres informations, notamment celles de la position des muscles oculaires. La vision du relief par stéréoscopie concerne le champ de vision central, où se situent les objets dont les rayons peuvent impressionner les deux rétines simultanément.

Les patients atteints de *strabisme* ont une vision stéréoscopique anormale, car le processus de fusion entre les images des deux yeux est déficient.

2.3.5. Conclusion

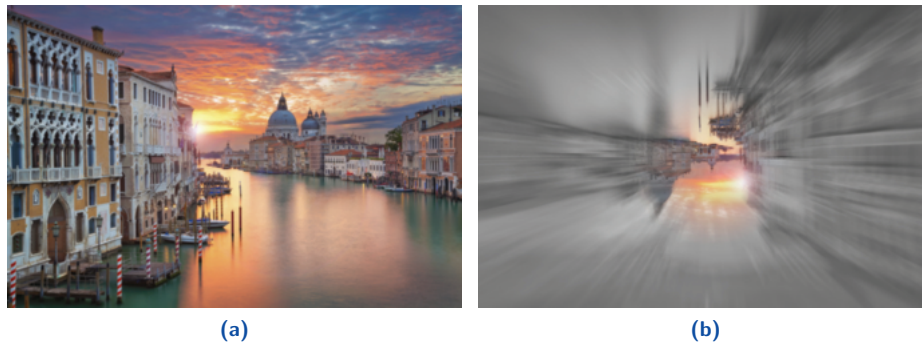


Figure 1.13. Simulation de la vision d'une image (a) par l'œil humain (b)

La vision humaine présente ainsi de fortes limites : les capacités de l'œil, notamment, sont fortement limitées par leurs performances biologiques. Le cerveau se charge en grande partie de pallier à ces nombreuses contraintes pour reconstruire une vision du monde plus consistante, comme l'illustre grossièrement la figure 1.13.

2.4. Perception temporelle

Si les propriétés de l'œil concernent principalement le domaine spatial, cet organe présente également des particularités sur le plan temporel qui sont indispensables pour la perception des images animées.

2.4.1. Persistance rétinienne

La *persistance rétinienne* est une limitation de l'œil qui apparaît suite à une exposition prolongée de celui-ci à une image donnée. Du fait du caractère prolongé de cette exposition, l'organe compense cette sur-stimulation en diminuant sa sensibilité aux éléments perçus.



Figure 1.14. Exemple d'image à fixer pendant une minute



l'image différée ci-contre, visible en regardant immédiatement après une surface blanche.

Depuis les débuts du cinéma, il a été longtemps cru que cet effet était celui qui expliquait l'illusion du mouvement. Mais il n'en est rien : au contraire, si celui-ci intervenait, il tendrait à fondre des images séparées plutôt que d'en restituer le mouvement.

2.4.2. Effets β

Un autre effet, relevant de l'illusion d'optique, tente d'expliquer l'illusion du mouvement qui apparaît lorsqu'une suite d'images fixes est projetée à une certaine fréquence : l'*effet β* (bêta) caractérise une sensation de continuité qui survient lorsqu'un élément se déplace sur une succession d'images défilant à une fréquence d'au moins une dizaine de hertz.



Figure 1.15. Exemple de l'effet β donnant l'illusion d'un mouvement à partir d'images suffisamment proches

Ce phénomène est encore mal compris et esquisserait un pouvoir séparateur « temporel » du système de vision humaine, qui serait notamment dû aux limitations de transmission du nerf optique. Cette notion est cependant très variable en fonction de la nature des changements entre les deux images : on retient en moyenne une valeur de cent millisecondes en deçà de laquelle l'œil ne distingue plus deux images consécutives et les relie dans un même mouvement continu. Néanmoins, dans certains cas, comme celui d'une lumière stroboscopique, il est possible d'observer des variations sur des durées inférieures à dix millisecondes.

2.5. Propriétés qualitatives

Ces phénomènes conduisent à évoquer des particularités propres à l'œil mais qui sont difficilement quantifiables : la notion de perception visuelle impliquant l'organe de l'œil mais aussi le cerveau, la mémoire, l'environnement, etc., elle présente de grandes variations en fonction des personnes considérées.

2.5.1. Pouvoir comparateur



Figure 1.16. Illusion de perspective

Les deux canaux ne semblent pas alignés verticalement, et pourraient se croiser comme le feraient deux lignes de fuite d'une seule image (figure 1.17a). En réalité, ils sont évidemment répétés à partir de la même image (figure 1.17b) dont l'œil exagère l'inclinaison.

L'œil se révèle être un excellent outil de comparaison, que ce soit en termes de nuance de luminosité, de couleurs ou de forme. À l'inverse, il est très mauvais pour évaluer ces mêmes grandeurs dans l'absolu, et pourra ainsi être trompé aisément par son environnement.

De nombreuses illusions d'optique jouent de ce phénomène comme l'illustre la figure 1.16 : vue d'assez près, la vision humaine interprète la répétition des deux images comme respectant les règles de la perspective.

Les deux canaux ne semblent pas alignés verticalement, et pourraient se

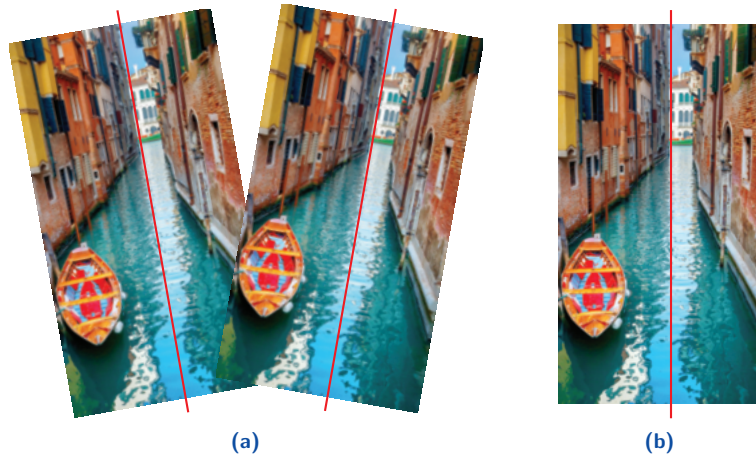


Figure 1.17. Sensation faussée de perspective

La figure 1.18 illustre également ce phénomène en jouant sur l'aspect lumineux : les deux cases marquées d'une croix sont rigoureusement de la même luminance. Cela est évident lorsqu'elles sont dessinées reliées (fig. 1.18b). Lorsque le contexte est modifié (fig. 1.18a), la vision humaine devient incapable de maintenir cette évaluation, et la case du haut, appartenant aux cases « blanches », paraît maintenant nettement plus claire que celle du bas.

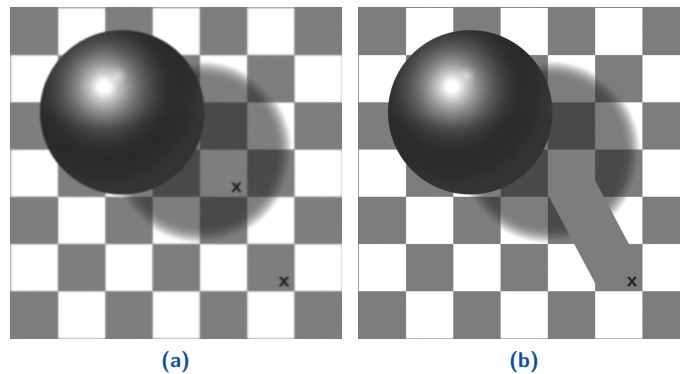


Figure 1.18. Illusion de luminosité

Ces phénomènes sont aussi à l'œuvre dans l'audiovisuel, et la différence de contraste entre des systèmes de projection très différents sera ainsi vite ignorée : l'œil s'adapte rapidement à ce qui est censé être « noir » ou « blanc », par exemple, même si les valeurs de luminance de ces extrêmes peuvent fortement varier entre une VHS vue sur un téléviseur bas de gamme et une projection numérique de haute définition.

2.5.2. Perception logarithmique

Échelle linéaire					
0	1	2	3	4	5
Échelle logarithmique					
1	2	2 ²	2 ³	2 ⁴	2 ⁵

En plus de ces possibilités de variations, certains ont essayé de quantifier, sous le nom de loi de Weber-Fechner, la relation entre un niveau de sensation et la variation de la grandeur physique du stimulus. Sans que cela soit rigoureusement démontrable, il semble que les sens visuels et sonores fonctionnent davantage sur une échelle logarithmique que linéaire : le doublement d'une gran-

deur physique est ressenti comme une augmentation d'un incrément. Ainsi, il ne faudrait pas considérer des seuils absolus comme minimum de perception, de type ΔI , mais le rapport entre un écart et la valeur première, de type $\Delta I/I$, ce qui revient à utiliser une échelle logarithmique plutôt que linéaire.

Sans qu'elle soit réellement prouvée scientifiquement, cette notion a conditionné la mesure de luminosité au niveau des objectifs de caméras (le « diaph ») ou la mesure du niveau sonore en décibels : pour passer d'une « unité » de perception à la suivante, il ne faut pas ajouter la même quantité de lumière mais la doubler systématiquement.

3. Synthèse comparative

Le système de vision humaine conditionne ainsi nombre des techniques utilisées dans le domaine audiovisuel. Schématiquement, on peut même dresser un équivalent fonctionnel entre cette vision humaine et les caméras étudiées ultérieurement :

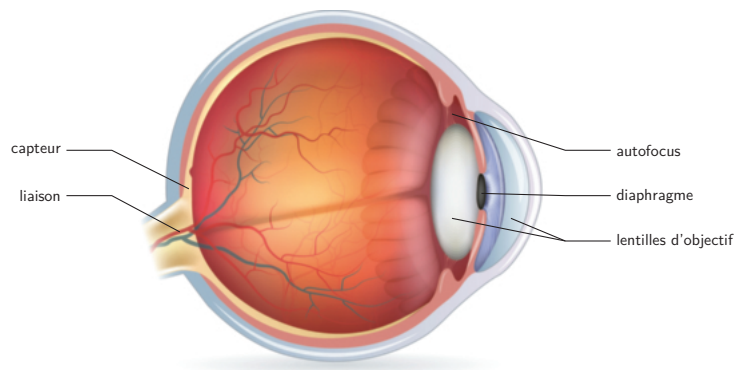


Figure 1.19. Comparaison entre œil et caméra

Néanmoins, même si les caméras connaissent encore de fortes évolutions à notre époque, les capacités de la vision humaine, notamment en termes d'adaptation et de comparaison, sont encore loin d'être égalées.

Exercices

Remarque

Ce chapitre étant principalement informatif, il ne contient pas d'exercice à proprement parler. Les questions ci-dessous permettent de rappeler les notions les plus importantes qui y ont été évoquées.

QCM

QCM 1

La lumière

- 1) Quelle théorie physique considère la lumière comme étant une onde électromagnétique ?
☐ La théorie corpusculaire ☐ La théorie ondulatoire
☐ La dualité onde-corpuscule
- 2) Quelle théorie physique considère la lumière comme une énergie supportée par une particule ?
☐ La théorie corpusculaire ☐ La théorie ondulatoire
☐ La dualité onde-corpuscule
- 3) Auquel de ces intervalles de longueurs d'onde correspond la lumière visible ?
☐ 280 nm-680 nm ☐ 380 nm-680 nm ☐ 380 nm-780 nm
- 4) Quel système de synthèse de couleurs est utilisé pour la vidéo ?
☐ Système additif ☐ Système soustractif
- 5) Quelles sont les couleurs primaires qui le composent ?
☐ cyan, jaune et magenta ☐ rouge, vert et bleu
- 6) Quelle est la température de couleur standard pour l'éclairage artificiel ?
☐ 2700 K ☐ 3200 K ☐ 4000 K
- 7) Quelle est la température de couleur standard pour l'éclairage naturel ?
☐ 32000 K ☐ 4000 K ☐ 5600 K

QCM 2**La vision humaine**

- 1) Quelle est la taille généralement retenue pour la zone de vision optimale dite *fovéa*, de part et d'autre de l'axe de vision ?
☐ 3° ☐ 5° ☐ 6°
- 2) Quels sont les photorécepteurs de l'œil responsables de la vision de la luminosité ?
☐ Les cônes ☐ Les bâtonnets
- 3) Quels sont les photorécepteurs de l'œil responsables de la vision de la couleur ?
☐ Les cônes ☐ Les bâtonnets
- 4) Quelle est la distance minimale d'accommodation moyenne pour un œil emmétrope ?
☐ 10 cm ☐ 25 cm ☐ 50 cm
- 5) Quelle est la distance maximale d'accommodation moyenne pour un œil emmétrope ?
☐ 100 m ☐ 5000 m ☐ L'infini
- 6) La vision humaine est-elle davantage...
☐ Une bonne comparatrice ☐ Une bonne évaluatrice
- 7) Lesquels de ces défauts de vision caractérisent la vision humaine ?
 - ☐ inversion du sens de l'image ;
 - ☐ vision précise uniquement dans la fovéa ;
 - ☐ une zone, dite tache aveugle, où elle ne voit rien ;
 - ☐ confusion d'images fixes proches lorsqu'elles défilent à une vitesse élevée.

Corrigés

Corrigés des QCM

QCM 1

- 1) C'est la théorie ondulatoire.
- 2) C'est la théorie corpusculaire.
- 3) La lumière visible correspond à l'intervalle des longueurs d'onde comprises entre 380 nm et 780 nm.
- 4) En vidéo, la synthèse de couleurs utilisée est le système additif.
- 5) Les couleurs primaires sont le rouge, le vert et le bleu. Le premier groupe de couleurs en compose le système des secondaires, complémentaires des primaires.
- 6) C'est 3200 K.
- 7) C'est 5600 K.

QCM 2

- 1) Elle est de 3° environ.
- 2) Ce sont les bâtonnets.
- 3) Ce sont les cônes.
- 4) C'est environ vingt-cinq centimètres.
- 5) C'est l'infini.
- 6) La vision humaine est bonne comparatrice, capable de distinguer des différences de luminosité, de contraste ou de couleur très fines. Par contre, elle est mauvaise évaluatrice, c'est-à-dire que, très sensible au contexte, elle saura difficilement évaluer dans l'absolu des valeurs précises.
- 7) Tous ces défauts s'appliquent à la vision humaine.

Chapitre 2

Caractéristiques d'une vidéo

Ce chapitre introduit les propriétés fondamentales des différents formats audiovisuels existants. Ces propriétés proviennent en partie de caractéristiques propres aux images dites fixes, photographies, dessins..., et doivent être complétées par les notions liées à l'audio qui sont évoquées dans les chapitres dédiés à ce domaine. Enfin, il faut aussi tenir compte de l'ancienneté des formats vidéo considérés, car, selon les époques, certaines notions ne sont plus pertinentes, ce qui sera signalé dans la suite de cet exposé.

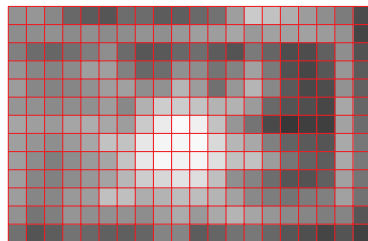
1. Dimensions d'une image fixe



Figure 2.1. Dimensions élémentaires d'une image

Une image fixe peut être définie, dans sa forme la plus élémentaire, comme un ensemble d'informations visuelles disposées sur un plan. Ce plan, que l'on peut aussi appelé cadre, est presque toujours rectangulaire, et présente donc deux dimensions physiques : sa hauteur (h) et sa largeur (l). Cette première définition amène à étudier deux notions fondamentales pour dimensionner une image fixe : sa résolution et son ratio.

1.1. Définition d'une image matricielle



La vidéo se compose d'images dites *matricielles*, c'est-à-dire constituées d'un certain nombre de points ayant des couleurs, des teintes et des nuances différentes, et perçus globalement par notre système de perception visuelle comme une seule image. En agrandissant suffisamment l'image, comme dans l'exemple ci-contre, on peut distinguer un par un chacun de ces points. Les « valeurs » de chacun

de ces points peuvent être rassemblées dans un tableau, représentant l'ensemble de l'image, ce qui justifie le terme *matriciel* provenant des mathématiques.

1.1.1. Définition et résolution

La *définition* d'une image matricielle quantifie la longueur de chacune des deux dimensions évoquées : la hauteur et la largeur. À notre époque presque exclusivement dominée par les images numériques, ces dimensions s'expriment en pixels, c'est-à-dire en nombre d'éléments lumineux élémentaires qui vont composer chaque ligne et chaque colonne de la vidéo considérée, le mot *pixel* venant de la contraction de *picture element*. L'image précédente (2.1), par exemple, est constituée de 5 616 pixels de large par 3 744 pixels de haut.

Remarque

À des époques antérieures, où la vidéo était dite *analogique*, ces dimensions s'exprimaient dans des grandeurs très proches mais pas exactement identiques, à savoir le nombre de points par ligne et le nombre de lignes. Ce point est développé dans la chapitre suivant.

Pour les supports d'images en pellicule, ces dimensions s'expriment par la longueur physique, souvent exprimées en millimètres, soit du support utilisé (on parle de pellicule « 35 mm » pour le film), soit de la partie sur ce support réellement dédiée à l'information visuelle (on parle de format « 24 × 36 », sous entendu de 24 mm par 36 mm, pour la photographie).

Cette notion de définition est souvent confondue avec celle de *résolution* : cette dernière provient du domaine de l'imprimerie, qui est aussi concerné par les dimensions d'images. Néanmoins, la différence fondamentale entre ces deux notions réside dans leur lien avec la réalité, à savoir la taille physique du support de ces images.

En vidéo, la taille *réelle* de l'image affichée, c'est-à-dire la taille physique de son support, que ce soit un écran de téléphone portable ou un écran géant de cinéma, importe peu. Cela ne veut aucunement dire que cette taille physique n'aura pas de conséquence, mais cette taille n'est pas prise en compte dans le travail de production de vidéos : seul le nombre de pixels constituant l'image, nombre appelé *définition* d'une image, importe.



Figure 2.2. Variation de la résolution d'une image

À l'inverse, les imprimeurs travailleront différemment leurs images selon qu'elles sont destinées à un encart sur un huitième de feuille A4 ou à une bannière géante de 4 m par 6 m. Ils utilisent, pour cela, un nombre dit *résolution spatiale*, exprimant la

densité de points, c'est-à-dire la correspondance entre un certain nombre de pixels d'une image et leur taille correspondante dans la réalité. Ce nombre s'exprime en *ppi* (*P*ixels *P*er *I*nceh) ou *dpi* (*D*ots *P*er *I*nceh), et peut valoir 72 dpi, 150 dpi, 300 dpi...

Dans la pratique, ces deux termes sont complètement confondus, et, même, le terme de *résolution* domine le vocabulaire courant. Cela n'est en rien gênant, car l'on sait, la plupart du temps, si l'on travaille sur des images fixes destinées à l'impression — et dans ce cas, la résolution spatiale est fondamentale —, ou si l'on a affaire à des fichiers vidéo — auquel cas les notions de définition et de résolution se confondent complètement.

1.1.2. Valeurs standard

La conséquence fondamentale de cette non-distinction entre définition et résolution est de se limiter strictement à l'utilisation de valeurs de définition communes. C'est pourquoi, dès les débuts de la vidéo, la taille des images a été déterminée par des standards. Ceux-ci ont évolué dans le temps, pour tenir compte de l'amélioration des capacités des écrans, et à l'heure actuelle, on retient les valeurs suivantes :

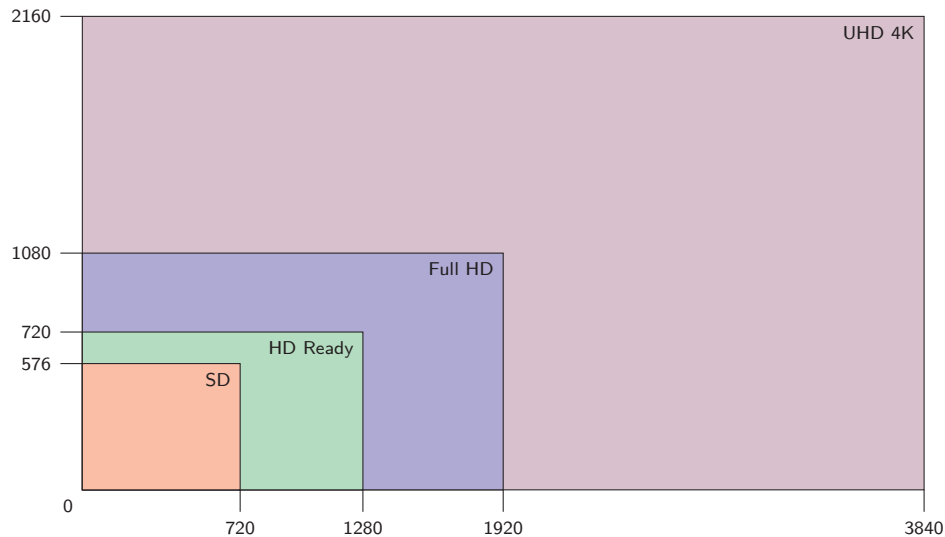


Figure 2.3. Résolutions vidéo standard

- 576 × 720 pixels : première résolution fixée lors de l'apparition de la télévision en Europe au milieu du vingtième siècle, elle est restée dans l'histoire sous le nom de *SD* (*S*tandard *D*efinition), mais s'avère maintenant obsolète.
- 720 × 1280 pixels : première version dite *haute résolution*, parfois appelée *HD ready*, utilisée surtout à l'apparition de la *HD* (*H*igh *D*efinition) à la fin du vingtième siècle.
- 1080 × 1920 pixels : parfois appelée *full HD*, apparue en même temps que la précédente, cette résolution est devenue le standard pour la génération HD.

- 2160×3840 pixels : appelée *UHD-1* (*Ultra High Definition*) ou *UHD 4K*, quadruple exacte de la précédente résolution, celle-ci tend à s'imposer actuellement comme la nouvelle référence.
- 4320×7680 pixels : appelée *UHD-2* ou *UHD 8K*, quadruple exacte de la précédente résolution, cette résolution encore peu répandue peut se rencontrer dans certaines productions ou téléviseurs haut de gamme.

Remarque

On distingue également les deux normes HD en les désignant par leur nombre de lignes, 720 ou 1080. Les termes 4K et 8K, eux aussi, représentent approximativement le nombre de lignes caractéristique des deux résolutions UHD.

Ces valeurs fondamentales ont connu des variantes qui seront évoquées ultérieurement. Elles nous permettent d'évoquer maintenant la deuxième caractéristique fondamentale de l'image vidéo : son ratio.

1.2. Ratio d'une image

1.2.1. Définition

Le ratio r d'une image se calcule par la formule élémentaire :

$$r = \frac{l}{h}$$

C'est un nombre décimal sans unité qui permet de rendre compte de l'étendue visuelle d'une image :

- lorsque $r = 1$, l'image est carrée ;
- lorsque $r > 1$, l'image est horizontale ;
- lorsque $r < 1$, l'image est verticale ;

La majeure partie des images rencontrées, en vidéo comme en photo, voire en peinture, sont d'un format horizontal relativement étendu. Néanmoins, avec le succès des smartphones, le format vertical est devenu incontournable de nos jours, ce qui nécessite de prévoir des adaptations.

1.2.2. Standards

Là aussi, les normes audiovisuelles ont fixé des valeurs de ratio standard :

- $\frac{4}{3}$ (ou 1,33) : ce ratio, d'aspect presque carré, a été le premier, et longtemps le seul, utilisé. Il est traditionnellement associé à la résolution SD.
- $\frac{16}{9}$ (ou 1,67) : en même temps que le passage à la HD, le ratio d'image a évolué pour devenir plus panoramique : pour une même hauteur d'écran, l'image devient plus large, donnant une sensation d'immersion supérieure, parfois présentée comme un aspect davantage *cinématographique*.
- $\frac{21}{9}$ (ou 2,33) : ce dernier ratio, très rare, tente d'amener à l'audiovisuel le même effet que procure le format dit *scope* au cinéma, à savoir une image



Figure 2.4. Ratios vidéo standard

très large, englobant la majorité du champ visuel. Il est néanmoins très peu répandu et limité à quelques rares écrans.

En dehors des cas idéaux où il relève d'un choix esthétique, ce paramètre est, le plus souvent, imposé par les conditions de production : la grande majorité des contenus actuels, tournés en HD ou UHD 4K, utilisent le ratio de $16/9$. Néanmoins, il faut prévoir des mécanismes d'adaptation entre des images de ratios différents, par exemple pour incorporer, à une vidéo au standard de $16/9$, des archives anciennes au ratio de $4/3$, des images verticales, etc., ou inversement.

1.2.3. Conversions



Les problèmes de conversion se posent lorsqu'il faut adapter une image originale d'un certain ratio — par exemple de $4/3$ comme sur l'image ci-contre —, à un autre ratio, par exemple de $16/9$. Pour une adaptation vers un ratio supérieur, trois techniques peuvent être utilisées au choix, ainsi que l'illustre la figure 2.5 :



(a) Pillarbox



(b) Anamorphose



(c) Crop

Figure 2.5. Conversion croissante de ratios

- le *pillarbox* (fig. 2.5a) : l'image est conservée dans son intégralité, et des bandes verticales, comme des « piliers » (*pillar* en anglais) sont ajoutées sur les côtés ;



Technologies pour l'audiovisuel

Signaux, liaisons et compression vidéo Informatique et réseaux • Microphones

Consacré aux Signaux, aux liaisons et à la compression vidéo, à l'informatique, aux réseaux ainsi qu'aux microphones, ce manuel constitue le premier des deux volumes de technologies destinés principalement aux étudiants du BTS Audiovisuel. Le second volume aborde les différents aspects des caméras vidéo, la restitution vidéo, l'éclairage et la sécurité électrique.

Intégralement réalisés en couleurs, ils sont conçus pour acquérir les connaissances techniques propres aux technologies utilisées en audiovisuel. On trouvera dans chaque chapitre : un **cours complet**, des **QCM** et des **exercices de difficulté croissante**. Des **problèmes de synthèse** viennent compléter l'ensemble. **QCM, exercices et problèmes de synthèse sont intégralement corrigés.**

1. Lumière et vision
 2. Caractéristiques d'une vidéo
 3. Vidéo analogique
 4. Vidéo numérique
 5. Compression numérique
 6. Formats numériques
 7. Architecture des ordinateurs
 8. Les réseaux informatiques
 9. Les microphones
 10. Signal analogique et numérique
- Index – Bibliographie

LES PLUS

- **Nombreux extraits de sujets posés à l'épreuve du BTS audiovisuel**
- **Index des termes caractéristiques, permettant une lecture ciblée du contenu**

Simon Bernard est diplômé de l'École centrale Paris et de l'ENS Louis Lumière. Il a enseigné dans les classes de BTS Audiovisuel, en première et deuxième année, en parallèle de nombreuses activités de réalisation audiovisuelle.

Stéphane Gautier est certifié en sciences industrielles de l'ingénieur. Il enseigne dans les classes de BTS audiovisuel au lycée Suger à Saint Denis. Il est l'auteur de nombreux sujets d'examens pour les BTS et les Licences.

Arnaud Margotté est agrégé de physique appliquée. Après avoir enseigné en classes de BTS durant 15 ans, il a rejoint l'Institut supérieur d'électronique de Paris en qualité de professeur. Il est l'auteur du sujet zéro servant de référence pour la nouvelle épreuve d'examen du BTS audiovisuel.

ISBN : 978-2-8073-2915-7



deboeck
SUPÉRIEUR

www.deboecksuperieur.com