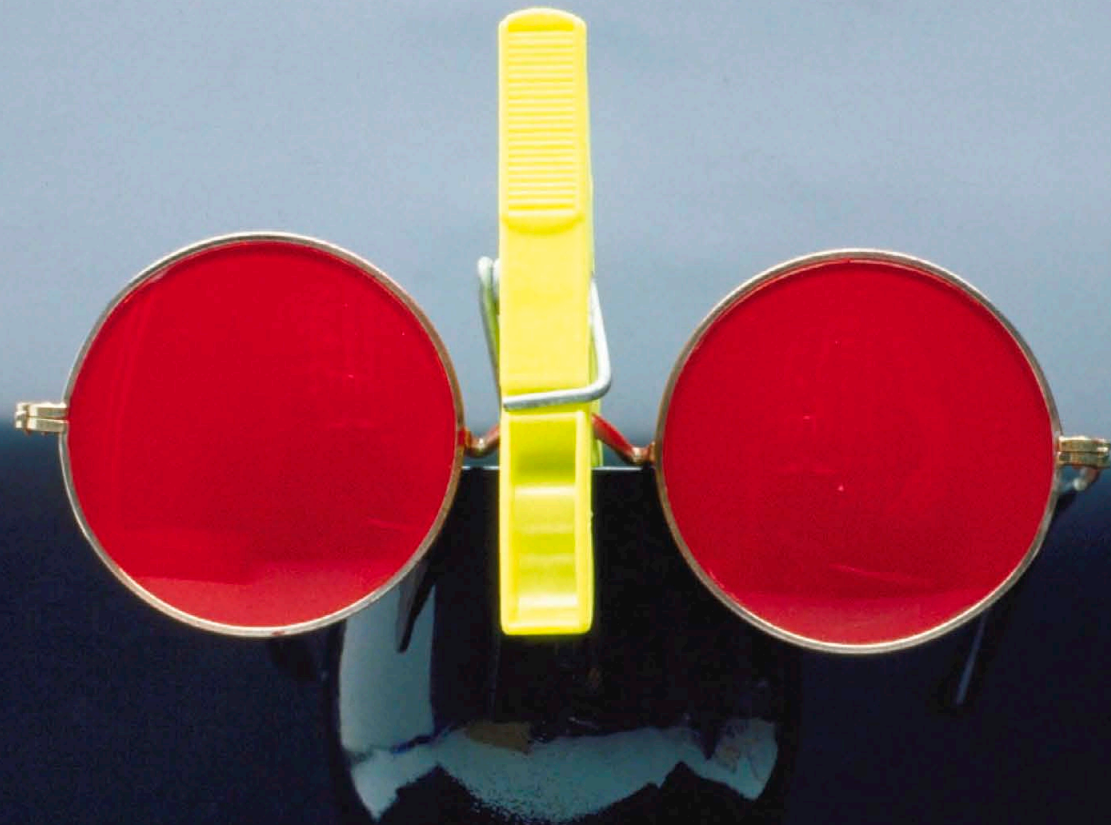


Deuxième partie

L'œil, son fonctionnement



« Le langage des couleurs est loin d'aller de soi :
en effet, les couleurs sont désignées, elles ne désignent rien. [...]
L'artiste crée sa propre sémiotique. [...]»
La couleur, ce matériau, comporte une variété illimitée de nuances gradables
dont aucune ne trouvera d'équivalence avec un signe linguistique. »
Benveniste

Voir

VOIR, quoi de plus simple, de plus évident ? C'est ainsi que nous débutons, sans même nous en apercevoir, toutes nos journées. En fait, cette réalité fait de nous les victimes d'une illusion : la vision serait une évidence. Illusion, car la vision est une sensation complexe en provenance de l'œil, modelée par la reconnaissance (mémoire) et la hiérarchie cérébrale (rôle des autres sens et de la culture comme nous le verrons dans la troisième partie). La lumière et le son représentent des modalités sensorielles, psychologiques provoquées par quelques radiations. Lumière et son restent avant tout des phénomènes physiques qui ont d'abord été décrits par les physiciens. Voir ou entendre ne peuvent se résumer à un simple phénomène organique produisant pour la vue un effet musculaire comme le déplacement de l'œil, la rétraction/dilatation de la pupille ou encore la sécrétion d'un médiateur chimique...

Au cours des années 1970, le psychologue américain Eckhard Hess a mené une expérience qui illustre cette complexité. Ce test est basé sur la photographie d'une femme tirée en deux exemplaires. Le premier est laissé tel quel tandis que la pupille des yeux du second est agrandie. Ensuite, on demande à un groupe d'hommes de désigner la plus belle femme parmi ces deux photos. La grande majorité choisira la photo aux pupilles dilatées. En effet, la seconde photo leur apparaît plus jolie, plus douce, plus romantique que la première. Pourtant, si l'on demande à ces mêmes personnes d'expliquer leur choix, elles en sont incapables. Ces personnes affirment que les deux photos sont identiques même si cette question influence partiellement la réponse. Cette expérience confirme que nous voyons des choses sans les percevoir. Ce signal de la pupille est connu des femmes qui, autrefois, mettaient une goutte de citron dans chacun de leurs yeux pour dilater la pupille afin de mieux séduire les hommes, des prestidigitateurs, qui l'utilisent comme source d'information lors de tours de magie axés sur le principe de la devinette, tout comme des escrocs de tout poil qui opèrent en présence de leur victime.

La complexité de la vision provient du fait qu'elle est à la croisée des chemins. Elle concerne trois disciplines distinctes : l'optique avec le trajet des rayons lumineux de l'objet à la rétine ; l'anatomie et la physiologie pour la transmission des informations au cerveau et le fonctionnement biologique de l'œil ; la psychologie de la perception avec la représentation mentale de l'objet. Voir, ce n'est donc pas seulement faire fonctionner des récepteurs sensoriels, c'est déjà aussi commencer à traiter de l'information.

C'est une erreur communément répandue de considérer que nos récepteurs, les yeux, fonctionnent comme une caméra ou un appareil photo. S'il est vrai que ces derniers sont conçus en fonction de nos capacités sensibles, ils sont aussi le fruit d'une technologie qui ne cesse d'évoluer, notamment en relation avec les transformations de la notre conception de cette perception. Cette conception n'est pas nécessairement le reflet de la réalité comme le montre les variations de la cadence d'enregistrement des images à travers l'histoire du cinéma.

Ce n'est pas l'évolution technique des caméras qui nous fera mieux comprendre notre perception, car « la recherche a, en effet, montré depuis vingt ans que l'œil n'était pas un appareil photo, mais l'équivalent de milliers de caméras différentes mises côte à côte¹ ». Ces caméras nous fabriquent l'apparence d'une continuité visuelle grâce à la persistance rétinienne, à l'effet *phi*² et à notre mémoire qui, associés, construisent cette continuité à la fois panoramique et dans la profondeur de l'image, et nous donnent l'illusion de voir une image nette de vingt centimètres à l'infini, alors que l'œil accommode sans arrêt.

Trois éléments sont nécessaires à la vision : un capteur, une source lumineuse et un objet qui réfléchit la lumière. Évidence, certes, mais, comme le montre Bartabas en 2004 dans son spectacle *Loungta, les chevaux du vent*, on peut réellement transformer un objet en changeant seulement son éclairage, c'est-à-dire la lumière. Ainsi, au cours de ce spectacle, une sphère de toile est d'abord noire, puis apparaissent des motifs peints sur ce tissu qui, ultérieurement, devient transparent du côté du spectateur et totalement opaque du côté opposé.

Lucrèce nous raconte une histoire similaire lorsqu'il affirme que la couleur est : « Liée à la lumière, (que) la couleur change avec la lumière, qu'elle renvoie différemment selon qu'elle est frappée de rayons perpendiculaires ou obliques ; tel ce plumage changeant de la colombe, cette couronne qui entoure son cou et qui tantôt brille du rouge éclat du rubis, tantôt mêle à la verte émeraude des reflets de corail. En pleine lumière, la queue du paon nous offre, elle aussi, toute une gamme de couleurs au gré de ses ondulations. Si, donc, c'est la lumière qui, tombant sur les objets, engendre ces jeux de couleurs, nous devons en conclure que les couleurs ont besoin d'elle pour apparaître³. »

RAPPELS HISTORIQUES

Il a fallu attendre le x^e siècle et le savant arabe Ibn al-Haytham⁴ (dit Alhazen) pour affirmer, contrairement à Aristote et tous ses successeurs, que l'œil est un récepteur de rayons lumineux et non un émetteur comme l'Occident le croyait avant de découvrir ses écrits. Ibn al-Haytham démontre la fausseté de l'hypothèse, en établissant que les objets, au contraire, réfléchissent la lumière extérieure avant que celle-ci ne vienne frapper l'œil.

Il invente aussi la chambre noire : une boîte dépourvue de système optique, percée d'un trou à l'une de ses extrémités. Après avoir disposé plusieurs lampes à l'extérieur de cette chambre noire, l'apparition sur la paroi opposée au trou d'un nombre de points lumineux égal au nombre de lampes lui fait dire que ces points lumineux sont liés à ces reflets. En plaçant un obstacle entre l'une des lampes et l'ouverture, il constate la disparition de l'un des points lumineux et, en supprimant l'obstacle, il fait réapparaître le point lumineux. Cette expérience lui permet de remarquer que chaque lampe et son point lumineux correspondent et sont parfaitement alignés sur une droite passant par l'ouverture de la chambre noire. Grâce à ses observations, Ibn al-Haytham sera le premier à affirmer que la lumière se propage en ligne droite.

1. Christian Corbé, ophtalmologiste expert dans les activités militaires. Interview réalisée pour le dossier de presse du forum « Regard et Vision », organisé par Essilor dans le cadre de Lille Capitale européenne de la culture en 2004.

2. L'effet *phi* serait dû à la stimulation de certains neurones de la rétine spécialisés dans la détection des mouvements.

3. *De la nature*, Lucrèce.

4. (Bassorah, 965-Le Caire, 1039) Auteur de nombreux traités d'optique dont le *Kitab al-manazir*, traduit en latin au xii^e siècle par Witello (ou Vittelion) et immédiatement diffusé dans cette langue sous le nom *Thesaurus Optica*. Dans ces volumes, Ibn al-Haytham a nettement distingué l'étude de l'optique (physique et géométrique) de celle de la perception visuelle : par l'expérimentation, il donnait rang de science autonome à l'optique et, au-delà, à la physique. Dans son traité *L'Équilibre de la sagesse*, Ibn al-Haytham a calculé, d'après la durée du crépuscule, que, lorsqu'il se termine, le Soleil est réellement à 19 degrés au-dessous de l'horizon, et que c'est l'atmosphère terrestre qui reflète la lumière du Soleil. Il comprend que ces phénomènes de diffraction expliquent l'élargissement apparent du Soleil au-dessus de l'horizon. Il a su, dans un trait de génie, se servir du début du crépuscule pour calculer par la géométrie la hauteur approximative de l'atmosphère à partir du rayon de la Terre, ouvrant ainsi la voie à un nouveau chapitre des recherches sur les mystères de l'univers. (Sources : écrits d'Ibn al-Haytham, ainsi que de l'analyse de Roshdi Rashed, lauréat de la médaille d'or Avicenne de l'Unesco et *Encyclopédie Universalis*).

5. Fermat (1601-1665) Sur-tout connu pour son théorème qui ne fut démontré qu'en 1993, ce savant amateur a contribué, avec Descartes, à la création de la géométrie analytique (il fut le premier à donner une méthode générale pour déterminer des tangentes à une courbe plane), à celle du calcul infinitésimal, avec Leibniz et Newton, et à celle du calcul des probabilités, avec Pascal. Il est notamment le fondateur de la théorie moderne des nombres entiers et à l'origine du calcul différentiel.

7. *Traité des couleurs*, Libero Zuppiroli et Marie-Noëlle Bussac, Christiane Grimm, Presses polytechniques et universitaires romandes.

6. Huygens (1629-1695) Mathématicien, physicien et astronome, il rédigea notamment un traité de dioptrique et travailla à la construction d'instruments d'optique qui lui permirent de faire de nouvelles observations. Il décrivit ainsi la véritable nature des anneaux de Saturne et découvrit l'un de ses satellites : Titan (1655). Il observa également les composants de la nébuleuse d'Orion et détermina les dimensions du système solaire. Il s'intéressa aussi aux mécanismes de l'horlogerie, inventa l'horloge à pendule et les montres à ressort spiral. Deux ouvrages importants dominent la fin de sa vie : le *Traité de lumière* (1690), dans lequel il soutient la théorie ondulatoire de la lumière et énonce le principe des ondes enveloppes fondé sur la vitesse de propagation, et le *Discours de la cause de la pesanteur* (1690) où il reprend sa théorie de la force centrifuge pour proposer un modèle mécanique de la pesanteur.

8. Stratège mythique chinois du IV^e siècle av. J.-C.

Non content de cette découverte, dans sa tentative d'explication des lois de la réfraction, Ibn al-Haytham construit une théorie sur la double réfraction dans une sphère. Là aussi, le premier, il attribue à la lumière des vitesses de propagation variables en fonction du milieu traversé. Cette démonstration fut reprise par Kepler (1604), Descartes (1637) et Newton (1708). À cette occasion, il commet une erreur et affirme que la vitesse de la lumière traversant le verre est supérieure à celle de la lumière qui traverse l'air. Erreur, elle aussi reprise par ces trois auteurs. Il faudra attendre Fermat⁵ et Christiaan Huygens⁶ pour la corriger⁷.

En observant que la lumière des différentes lampes ne se mélange pas en traversant l'ouverture de sa chambre noire, Ibn al-Haytham établit un parallèle avec la vision. Il conclut que :

- celle-ci est due au parcours de la lumière vers l'œil ;
- l'œil forme une image de la scène visuelle, ordonnée point par point.

Parallèlement, Ibn al-Haytham a étudié l'anatomie et la physiologie de l'œil sous tous leurs aspects, donnant leurs noms actuels à plusieurs parties de cet organisme comme la cornée, le cristallin et la rétine. Par ses découvertes, il montre aussi que la théorie doit s'appuyer sur l'expérience.

Non content de faire toutes ces découvertes, Ibn al-Haytham réalise aussi les premières expériences de décomposition de la lumière blanche dans les couleurs de l'arc-en-ciel. Elles seront reprises par le physicien persan Al Farisi (1267-1319) qui, en appuyant son raisonnement sur la thèse de la double réfraction, donna la première explication correcte de l'arc-en-ciel. Enfin, Ibn al-Haytham a aussi étudié la lumière à l'aide de balles solides dans ses expériences sur la réfraction et la réflexion. Cette méthodologie peut être considérée comme les prémices de la théorie corpusculaire de la lumière.

Le monde arabe n'est pas seul à avoir effectué des recherches sur la lumière, les Chinois aussi l'ont fait. Cependant, celles-ci sont faites sur des axes correspondant à la culture chinoise. Selon Sun Tsung Ping Fa⁸, « il n'y a pas plus de cinq tons musicaux (gamme pentatonique) et pourtant leurs combinaisons donnent naissance à plus de mélodies qu'on ne peut en entendre, on ne connaît pas plus de cinq couleurs primaires, pourtant leurs combinaisons donnent naissance à plus de teintes qu'on ne peut en voir⁹ [...] ». De même, en Occident, les couleurs de l'arc-en-ciel, longtemps considérées comme les sept couleurs primaires, sont au nombre de sept comme les notes de musique de notre gamme sonore.

Cependant, personne avant les peintres flamands et la Renaissance italienne n'a transposé les lois de l'optique à l'image. C'est probablement là que réside l'un des apports essentiels de l'Europe à l'invention de l'image. « Il n'y a que l'Occident chrétien qui ait jamais trouvé la perspective et ce réalisme photographique dont on dit tant de mal : c'est également lui qui a inventé les caméras. Jamais les autres univers n'ont découvert ça. Un chercheur qui travaille dans ce domaine me faisait remarquer que, dans le trompe-l'œil occidental, tous les objets sont déformés d'après les mêmes principes par rapport à la lumière et à l'espace : c'est l'équivalent

pictural du Dieu qui fait briller son soleil et tomber sa pluie sur les justes comme sur les injustes. On cesse de représenter en grand les gens importants socialement et en petit les autres. C'est l'égalité absolue dans la perception¹⁰. » Si, dans les représentations picturales du Moyen Âge, le point de vue adopté est celui de la hiérarchie sociale, selon René Girard, la perspective est un des prémisses des principes égalitaires de la Révolution française, car elle adopte le point de vue de l'observateur. Quelle que soit sa position dans la hiérarchie sociale, manant ou prince, la perspective donnera la même représentation des lignes de fuite en fonction du point de vue et non en fonction de la position hiérarchique.

L'histoire de l'art considère généralement que la perspective fut inventée par la Renaissance italienne même si, chez Vitruve, il est explicitement fait mention d'une méthode de représentation perspective associée cependant à la scène de théâtre. Or, les primitifs flamands, comme Van Eyck (environ 1387-1441) avec l'*Agneau mystique* (1432) ou Campin (1378-1444) avec le *Retable de Mérode* (peint entre 1425 et 1428), utilisent les lois de la perspective, même si celle-ci paraît exagérée. En tant que photographe, nous dirions qu'elle n'utilise pas une focale correspondant à la vision humaine et comprise, selon les estimations, entre le 35 et le 45 mm pour un 24 × 36 mais plutôt une focale équivalente à un grand-angle comme le 20 mm. On retrouvera d'ailleurs cette perspective dans un autre tableau, celui-là peint au XIX^e siècle, *La Chambre à coucher* de Vincent Van Gogh. En effet, dans ces trois tableaux, comme dans de nombreuses peintures flamandes (voir l'œuvre des Breughel), tout comme dans une photo faite au 20 mm en plongée, les premiers plans ne cachent pas ou peu les arrière-plans en fonction de l'intensité de cette plongée. L'utilisation intensive des miroirs – *Les Époux Arnolfini* ou *Le Prêtre et sa femme* (1514) de Quentin

9. *Traité des couleurs*, Libero Zuppiroli et Marie-Noëlle Bussac, Christiane Grimm, Presses polytechniques et universitaires romandes.

10. *Quand ces choses commencent*, René Girard.

Campin, le *Retable de Mérode* de Quentin Metsys.

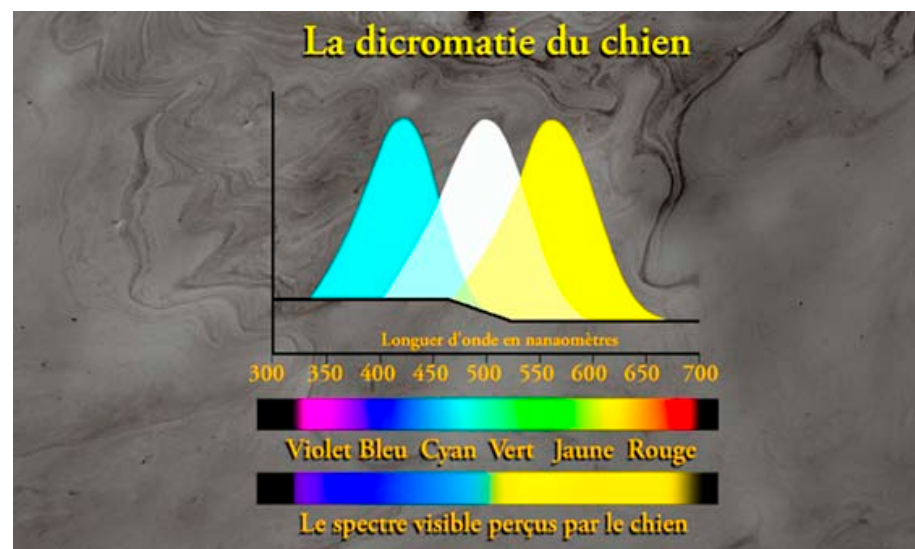


Metsys (1465-1530) – chez ces mêmes peintres montre combien les peintres flamands connaissaient et maîtrisaient les lois de l'optique.

LA VISION DANS LE RÈGNE ANIMAL

Sur la terre, toutes les espèces vivantes sont sensibles à la lumière. Soit parce qu'elles sont pourvues de photorécepteurs (dispositif capable de capter la lumière, à ne pas confondre avec la photosynthèse) comme l'amibe ciliée, premier organisme doté d'un phototropisme (elle se déplace vers la lumière). Dans ce cas, l'information minimale à analyser est la luminance, et ce système transforme le signal lumineux véhiculé par les photons en un signal électrique interprétable par le système nerveux qui permet à l'animal de s'orienter en fonction de la lumière. Soit parce qu'elles sont dotées d'un organisme de vision. Ce dernier suppose la formation d'une image plus ou moins précise et l'analyse des informations qu'elle contient. Les yeux les plus complexes sont construits autour de trois structures : cornée, lentille et photorécepteurs. Certaines espèces, comme le chat et le chien, ont une sensibilité à la couleur moins développée que l'homme, beaucoup d'animaux vertébrés ou non, comme les oiseaux, les tortues, ont des rétines composées de quatre ou cinq pigments et donc sensibles à des spectres différents, ce qui ne signifie pas nécessairement plus larges. Insensibles au rouge, les yeux des cafards ont pourtant quatre pigments. Conclusion : si vous voulez attraper les cafards, utilisez une lampe inactinique. Plus surprenant, les escargots, les coquilles Saint-Jacques, le calmar et la pieuvre ont développé de vrais yeux avec des rétines d'une grande sophistication, et les méduses qui sont dépourvues de cerveau ont, malgré tout, des yeux. Les araignées, quant à elles, possèdent des yeux très similaires à ceux des escargots. Certains insectes, comme les abeilles, ne voient pas le rouge qui est remplacé par l'ultraviolet. D'autres membres du règne animal, comme la mouette, ont bien une vision trichrome, mais dans des dominantes rouge-orangé¹¹. Quant à la mouche tsé-tsé, selon Reicholf, elle ne voit pas les rayures en mouvement. Certains poissons ont une vision de la couleur spécialisée dans la détection de contraste entre

11. *L'Intelligence de la couleur*,
Élisabeth Brémond, Albin
Michel.



les couleurs et les boas voient uniquement les infrarouges. Chez d'autres poissons, les épinoches la femelle est plus sensible au rouge car, chez les mâles en bonne santé, cette couleur domine. Reste les serpents minute, plus de 350 espèces, seuls vertébrés à être aveugles... Explorer la créativité de la nature dans ce domaine nous amènerait à faire une liste trop longue. Cependant, dire qu'un organisme voit des couleurs implique qu'il soit capable de discerner certains stimuli indépendamment de la brillance (ou luminance). En d'autres termes, le rat, qui perçoit uniquement des nuances d'un même spectre, est doté d'une vision monochrome. Autre parti-



Comment les animaux comprennent-ils la transparence et le reflet ? Le chat, la journée, se heurtera rarement à une vitre, mais léchera une bouteille d'eau pour « boire » les gouttes qui sont dans la bouteille. De même, il se cognera à la vitre pour attraper un papillon de nuit qui est à l'extérieur.

cularité de ce rongeur, des circuits distincts de son cerveau sont spécialisés dans la localisation et dans l'identification d'un stimulus.

En observant le monde animal, malgré cette diversité de sensibilité, on constate que l'évolution biologique n'a développé que deux solutions pour voir : des yeux composés d'une seule lentille, comme ceux des mammifères, ou des yeux composés d'une multitude de lentilles, comme ceux de la mouche ; deux solutions, qui, selon Walter Gehring (1995), sont contrôlées par un gène similaire, ce qui laisse supposer l'existence d'un ancêtre commun. Hypothèse qui semble confirmée par le fait que les molécules photoréceptrices ont, elles-mêmes, un ancêtre commun.

Cependant, pour être efficaces, ces lentilles doivent avoir une taille minimale afin de collecter suffisamment de lumière. Il en est de même des grains d'argent de la pellicule photographique, des puits de chacun des pixels d'un capteur électronique : ils doivent avoir une taille assez grande pour éviter une perturbation trop importante du signal. Si l'on doit faire un parallèle, la « vision » d'un capteur électronique se rapproche plus de celle d'un insecte que de celle d'un mammifère. Ainsi, la distance entre les puits du capteur, tout comme la distance entre les facettes de l'insecte associée au nombre de pixels ou de facettes déterminent la netteté de l'image.

Outre le fait d'être doté d'un œil lentille proportionnellement plus gros que celui de la baleine¹², l'autre particularité de l'homme est d'avoir su transformer des signaux inaccessibles à son système perceptif en signaux perceptibles aussi bien dans le domaine visuel que dans le domaine auditif. Par le truchement de la technique, celui-ci a su rendre discernables des spectres auditifs et visuels appartenant à un hors-champ perceptif (signal trop faible, distance trop grande ou encore hors-champ spectral...). Pour cela, il a, d'une part, inventé des capteurs et des amplificateurs de signal : microphone et haut-parleur, télescope, caméra... Il a, d'autre part, créé des transformateurs de spectre pour traduire le signal capté en un signal perceptible et plus facilement analysable, ou assurant la transcription d'un spectre inaudible dans le spectre audible. Ainsi, l'imagerie ultrasonore ou échographie bi-ou tridimensionnelle permet de visualiser des objets cachés comme le cœur ou le foie, ou encore le fœtus. Basées sur la porosité plus ou moins grande d'un matériau aux ultrasons, le temps de retour et l'analyse simultanée de la quantité de sons revenus, les vagues successives d'échos retournant à la sonde sont enregistrées et transmues en images, grâce à un traitement informatique. Ce sont ces différences d'intensité du signal renvoyé qui serviront à créer l'échelle de gris de l'image. Cette technologie est la technologie des sons pour voir. Le radar, la photographie aux infrarouges, les rayons X... sont d'autres exemples de ces transformateurs de signal construits sur l'utilisation de différents rayonnements électromagnétiques.

L'ŒIL

« Dans la nature, il n'existe que des rayonnements électromagnétiques¹³. Nous avons des récepteurs sensibles aux longueurs d'onde courtes, moyennes et longues. Les premiers voient le bleu, les deuxièmes, le vert, et les troisièmes, le

rouge. En les sommant, nous composons toute notre palette de couleurs¹⁴. » L'œil fonctionne efficacement dans un milieu atmosphérique, c'est-à-dire avec une couche d'air devant lui. Dans l'eau, par exemple, les images sont déformées. Il est cependant facile de lui faire croire qu'il est dans l'atmosphère et de supprimer ainsi cette déformation : pour cela, il suffit de mettre une couche d'air entre notre œil et l'eau, ce que fait chacun d'entre nous lorsqu'il porte un masque de plongée.

L'œil se divise en deux :

- le système optique proprement dit, composé de la cornée et du cristallin ;
- les espaces intermédiaires constitués par l'humeur aqueuse et le corps vitré.

Le système optique

La cornée focalise les rayons lumineux. Par sa forme, convexe vers l'avant, on peut la comparer à une loupe semi-bombée dotée d'une puissance de 43 dioptries¹⁶, tandis que le cristallin forme une lentille biconvexe qui fonctionne comme une loupe convergente d'une puissance de 20 dioptries.

La rétine est à la fois un récepteur et un transmetteur. Outre les photorécepteurs, elle est notamment constituée de neurones. Ces cellules nerveuses génèrent, transportent, intègrent et transmettent les signaux électriques et/ou chimiques, supports de l'information nerveuse. Ce sont les pigments des photorécepteurs

Ce schéma indique les variations d'intensité entre les différents types de rayonnement électromagnétique. Les ondes non visibles des régions infrarouge et ultraviolette présentent avec les ondes visibles une unité de propriétés telle qu'il serait anormal de leur refuser le nom de « lumière » même si elles ne sont pas de la lumière visible pour l'œil humain. Toute restriction dans l'utilisation de ce nom pour une onde électromagnétique porte en fait une grande part d'arbitraire et masque la continuité parfaite des phénomènes observés sur tout le spectre, des ondes hertziennes aux rayons gamma¹⁵.

