

## Chapitre 2

# Développement de la vision, évolution de la réfraction

Coordonné par Emmanuel Bui Quoc

PLAN DU CHAPITRE			
<b>Vision et acuité visuelle</b>	<b>69</b>		
La vision : introduction	69		
Acuité visuelle	70		
<b>Accommodation</b>	<b>72</b>		
Physiologie de l'accommodation	72		
Triade ou syncinésie de la vision de près	76		
<b>Fonction de sensibilité aux contrastes</b>	<b>78</b>		
Introduction	78		
Fonction de sensibilité aux contrastes normale et pathologique	78		
Examen de la fonction de sensibilité aux contrastes en pratique	79		
<b>Fonction de la vision des couleurs</b>	<b>79</b>		
Introduction	79		
Psychophysique de la vision des couleurs	79		
Anomalies et déficiences de la vision des couleurs	81		
Examen clinique de la vision des couleurs	82		
<b>Variabilité de la mesure de la fonction visuelle dans le temps et selon l'examineur</b>	<b>85</b>		
		<b>Variabilité de la mesure de la fonction visuelle dans le temps</b>	<b>85</b>
		<b>Variabilité de la mesure de la fonction visuelle selon l'examineur</b>	<b>85</b>
		<b>Période sensible du développement visuel – Amblyopies</b>	<b>86</b>
		Définitions des amblyopies et de la période sensible du développement visuel	86
		Causes d'amblyopie	86
		Dépister l'amblyopie à l'âge préverbal	87
		Conséquences thérapeutiques du dépistage des facteurs amblyogènes	87
		Traitement réfractif des amétropies chez l'enfant	88
		Réfractions et amblyopie	88
		Conclusions	89
		<b>Emmétropisation</b>	<b>89</b>
		Définition de l'emmétropisation	89
		Historique	89
		Description clinique du processus d'emmétropisation	90
		Mécanismes physiologiques qui sous-tendent l'emmétropisation	90
		Maintien de l'emmétropie à l'âge adulte	91
		Conclusion	91
		<b>Vieillessement et acuité visuelle</b>	<b>92</b>
		Introduction	92
		Fonctions visuelles et leur vieillissement normal et pathologique	92
		Vieillessement pathologique de la vision	92
		Conséquences centrales réversibles de la cataracte : exemple de plasticité cérébrale à l'âge adulte	93
		Vieillessement normal de la fonction visuelle	93
		Cognition et vision	93
		Vieillessement « normal » de la rétine « normale »	94
		Vieillessement des neurones du cortex visuel	94
		Bases pharmacologiques	94
		Peut-on prévenir le vieillissement de la vision ?	94
		Conclusion	95
		<b>Amétropies pathologiques</b>	<b>95</b>
		Introduction	95
		Myopies pathologiques	95
		Hypermétropies pathologiques	96
		Astigmatismes pathologiques	97

### Introduction

(Emmanuel Bui Quoc)

La réfraction n'est pas une donnée statique et immobile. Parallèlement au système visuel qui mature, se développe, vieillit, les réfractions sont évolutives et la prise en compte de ces phénomènes dynamiques est essentielle. Ce chapitre traite de ces questions ainsi que d'autres attributs de la fonction visuelle.

### Vision et acuité visuelle

#### La vision : introduction

(André Roth)

Le cerveau construit la vision, c'est-à-dire l'image du monde extérieur, à partir de la stimulation des photorécepteurs rétiniens par des ondes électromagnétiques dont la gamme

## Chapitre 2. Développement de la vision, évolution de la réfraction

est comprise entre 400 et 700 nm. Les photorécepteurs répondent par un signal consistant en une variation de leur polarisation électrique selon le principe de l'univariance<sup>12</sup>. Ce signal est traité au cours de son transfert rétino-cortical et au niveau du système visuel cortical pour aboutir à la construction du monde visible sur la base de contrastes lumineux, de contrastes colorés, de contrastes de localisation et de contrastes temporels. L'unité fonctionnelle élémentaire est constituée par les champs récepteurs de la rétine, du corps genouillé latéral et du cortex visuel. Le nombre des neurones centraux dévolus au traitement des signaux visuels est très supérieur à celui des photorécepteurs rétiniens et des fibres nerveuses des voies optiques [1].

Les performances visuelles d'un œil se mesurent en déterminant le seuil de détection d'un signal pour chacune des fonctions élémentaires [2, 3] : ce sont les seuils psychophysiques de perception. Lors d'un tel test, la probabilité de réponses « perçues » passe progressivement de 0 % pour un signal sous-liminaire à 100 % pour un signal sus-liminaire suivant une courbe ayant l'allure d'une sigmoïde, appelée fonction psychométrique ; celle-ci exprime « la probabilité de la réponse "perçue" en fonction du niveau de stimulation ». Deux paramètres d'une courbe psychométrique sont généralement d'intérêt :

- le *niveau de stimulation*  $\mu$ , correspondant à 50 % de réponses « perçues »,  $X_{50} = \mu$  (fig. 2.1a) ;
- l'*étendue de la transition*  $\sigma$ , définie par la différence de niveau de stimulation, par exemple entre les points  $X_{50} \pm 2$  DS (déviations standard) de la zone de transition  $\sigma$  (fig. 2.1b) [3].

La détermination des seuils psychophysiques de perception constitue la base de toute mesure de performances sensorielles.

Ce chapitre donne un aperçu de la physiologie de la vision. Son but est de mettre en lumière les aspects essentiels, nécessaires à la compréhension de la manière dont nous pouvons porter remède aux défauts réfractifs des yeux d'un sujet.

## Acuité visuelle

(André Roth)

### Fonction visuelle de discrimination

La reconnaissance d'une forme, de sa dimension et de sa position relative à soi, est la démarche première de l'acte de voir. Elle est aussi la plus immédiatement quantifiable.

L'acuité visuelle est l'un des composants de la fonction de discrimination du « voir quoi où ? ». Elle implique que le point fixé par le regard, c'est-à-dire la direction visuelle principale

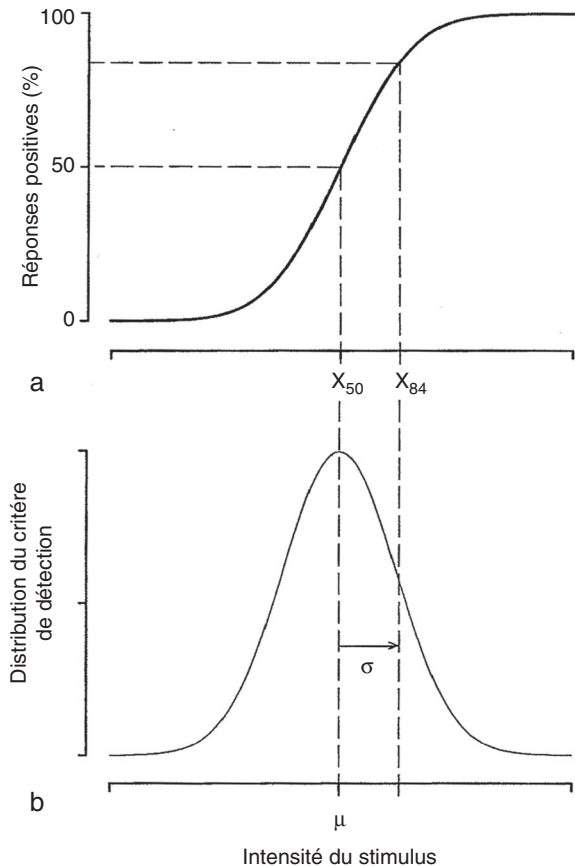


Fig. 2.1.

a, b. La fonction psychométrique (cf. texte).

Source : Pelizzone M, Sommerhalder J. Méthodes psychophysiques et détermination des seuils de perception. In : Risse JF (ed.). L'exploration de la fonction visuelle. Rapport de la SFO. Paris : Masson ; 1999. p. 73–80 [3].

du regard vers l'objet de l'attention du moment, *coïncide* avec le point zéro oculomoteur qui ne provoque aucun mouvement oculaire. Lorsque cette coïncidence s'effectue au centre de la rétine, la fixation est dite fovéolaire. Elle représente alors l'*acuité visuelle centrale*, la plus performante possible.

Nommée plus brièvement « acuité visuelle », sa mesure et sa correction s'effectuent dans des conditions de contraste maximum. Elles sont au centre des actions diagnostiques et thérapeutiques des acteurs des professions de la vision.

### Acuité visuelle et fovéa

L'acuité visuelle est en rapport avec la densité des cônes rétiniens à l'endroit de la fixation. Elle est à son maximum au niveau de la fovéa parce que celle-ci est le lieu de la plus grande densité des cônes rétiniens. Celle-ci est en moyenne de 200 000 cônes/mm<sup>2</sup>, mais peut différer selon les sujets de 120 000 à 324 000 cônes/mm<sup>2</sup> [4]. Leur comptage *in vivo* est possible aujourd'hui [5].

Pour que deux cônes voisins répondent par un signal distinct l'un de l'autre, ils doivent être séparés par un cône non activé. Sachant que l'écart entre le centre de deux cônes voisins est de 2,5  $\mu$ m, l'acuité visuelle maximum théorique est de ce fait limitée à 30 s d'arc (0,3 unité logarithmique), ce qui correspond à une acuité visuelle maximum de 2,0 (20/10).

12. Ce principe, énoncé par Rushton, stipule qu'un photorécepteur répond à un stimulus lumineux, variable en longueur d'onde et en intensité, par une hyperpolarisation électrique. L'information sur la longueur d'onde est perdue et l'importance de la réponse est fonction de la sensibilité spectrale de chaque type de photorécepteur (Barlow HB, Mollon JD. The Senses. Cambridge : Cambridge University Press ; 1987. p. 166–9).

Ce niveau d'acuité se vérifie effectivement chez des adolescents et des adultes jeunes, emmétropes ou amétropes bien corrigés [4]. La structure de la rétine fovéolaire détermine ainsi les limites de l'acuité visuelle, en harmonie avec les caractères physiques de la lumière.

La distance de séparation minimum du centre de deux images voisines doit être supérieure à la moitié au moins de la diffusion de chacune d'elle pour que les objets soient reconnus comme distincts. L'angle minimum de séparation est appelé « critère de Rayleigh » ou, en termes de fréquence spatiale sinusoïdale, « fréquence de Nyquist » [4].

Lorsque la fixation est localisée en dehors de la fovéa, c'est-à-dire qu'elle est excentrique, (comme dans l'amblyopie fonctionnelle à fixation excentrique), l'acuité visuelle maximum est limitée par la densité des cônes rétinien de l'endroit de la fixation et ne peut dépasser le niveau que celle-ci lui confère.

L'image visuelle forme un tout, mais unique; sinon les visions périphériques gêneraient la vision centrale et la rendraient indéchiffrable.

### Mesure de l'acuité visuelle

L'acuité visuelle n'est qu'un des éléments de la vision, mais elle est celui qui permet l'évaluation la plus immédiate de la capacité visuelle. Le seuil d'acuité visuelle peut se mesurer selon des critères qui dépendent du *type de test* utilisé pour sa mesure [6] :

- le *minimum visible* (*minimum visibile*) est le seuil de reconnaissance du plus petit stimulus sombre (point ou ligne) sur un fond clair; il est égal à son inverse en minutes d'arc, d'environ 10 à 35 s d'arc pour un point et de 1 s d'arc pour une ligne [7];
- le *minimum séparable* ou *minimum d'angle de résolution* (MAR, *minimum angle of resolution* ou *minimum separabile*) est le seuil de la distance la plus petite qui permet de distinguer deux stimuli l'un de l'autre. Il est de 25 à 30 s d'arc;
- si la reconnaissance fait appel à une démarche cognitive, il s'agit du *minimum lisible* ou *lisibile*, pour une lettre ou un chiffre par exemple;
- le *minimum discernable* (*minimum discriminabile*) est le seuil de reconnaissance d'une différence de position spatiale, appelée acuité Nonius ou acuité Vernier, du nom des auteurs qui les ont proposés, ou d'orientation, ou de déplacement. Il est de 2–10 s d'arc [6, 8].

La pratique médicale et optique recourt au *minimum séparable* ou *minimum d'angle de résolution*. Le seuil normal varie toutefois selon la forme du test utilisée.

- L'anneau de Landolt, avec sa coupure unique et sa progression logarithmique permet la mesure de référence du seuil d'acuité la plus rigoureuse; les réseaux de lignes parallèles à intervalles identiques aux coupures des anneaux sont plus faciles d'utilisation. Les dimensions des anneaux de Landolt servent de référence pour les autres types de tests, de lettres, de chiffres ou de figures; leurs configurations

doivent être particulièrement rigoureuses, si ces figures doivent avoir valeur de test d'acuité [9].

- Les figures isolées ou des figures en ligne très espacées sont plus faciles à reconnaître que les figures plus resserrées; le seuil paraîtra par conséquent plus élevé.
- Les figures en ligne sont les plus utilisées en pratique. Les espaces séparant les caractères doivent être proportionnés aux caractères de chaque ligne, à la manière des optotypes de E de Paliaga [10] ou des optotypes ETDRS<sup>13</sup> (cf. chapitre 1). Les figures aux extrémités de lignes sont de lecture plus facile que les figures intermédiaires. À l'opposé de caractères trop espacés, des caractères trop resserrés produisent un effet d'entassement (*crowding* en anglais) gênant leur reconnaissance en dessous déjà du seuil d'acuité, en cas d'amblyopie fonctionnelle notamment.
- Les textures géométriques élémentaires (anneaux de Landolt ou E de Raskin ou de Snellen ou symboles de Lea<sup>®</sup> [6]) sont plus faciles à reconnaître que les lettres, les chiffres, ou les dessins. Elles font en effet appel aux processus initiaux de la reconnaissance visuelle, précédant la reconnaissance cognitive [11]. C'est aussi de cette manière que les lettres ou les chiffres peuvent être utilisés en tant que formes élémentaires avant que l'enfant ait appris à lire. De ce fait, ces tests sont à utiliser de préférence aux dessins pour chiffrer l'acuité visuelle des jeunes enfants.
- La technique du regard préférentiel sur la base des réseaux de raies n'est *pas* une méthode de mesure de l'acuité visuelle. En effet, les lignes des réseaux peuvent être vues, même en apparence distordues, et faire passer à côté d'un déficit visuel, en cas d'amblyopie fonctionnelle par exemple.

### Contrastes atténués

Les mesures de l'acuité visuelle utilisent des figures à limites nettes et à contraste noir/blanc maximum supérieur à 70%. Le recours à des tests à contrastes atténués n'est pas entré dans la pratique courante, malgré leur intérêt clinique indéniable.

Les tests à contrastes atténués les plus utilisés sont les réseaux de lignes. Le contraste peut être atténué de deux manières :

- en diminuant le contraste lumineux des tests; plus celui-ci est faible, plus il est difficile de reconnaître le réseau selon une courbe aujourd'hui classique;
- en utilisant des lignes à limites sinusoïdales de plus en plus étalées.

Des échelles d'acuité à différents niveaux de contraste ont été élaborées, notamment celle de GP Gracis ajoutant une échelle de contrastes à celle de Paliaga [5].

D'autres spécifications concernant la mesure de l'acuité visuelle sont données dans le chapitre de la réfraction subjective (cf. chapitre 4).

13. *Early Treatment Diabetic Retinopathy Study.*

## Accommodation

(André Roth, François Audren)

L'accommodation désigne la capacité des yeux d'augmenter de façon synchrone leur pouvoir dioptrique de manière à garder net le point de focalisation de l'image sur la rétine d'un objet situé en deçà de leur punctum remotum (du latin remotus signifiant éloigné), c'est-à-dire en deçà de l'infini pour les yeux emmétropes et les yeux amétropes corrigés. Cette capacité de « mise au point » ou, selon le terme de Landolt (1902), cette « réfraction dynamique » [12] (cet « autofocus » selon l'expression imagée de C. Rémy), assure la netteté permanente de l'image rétinienne de l'objet fixé à la condition que celui-ci se trouve à une distance comprise entre le punctum remotum et le punctum proximum de l'œil.

Mais l'accommodation n'agit pas de manière isolée. La fixation d'un objet rapproché déclenche un triple ajustement :

- une augmentation du pouvoir dioptrique du cristallin ;
- une contraction pupillaire ;
- un mouvement de vergence.

Celle d'un objet éloigné entraîne l'ajustement inverse.

Cette triple réponse motrice est appelée « la triade ou la syncinésie de la vision de près » [13].

### Physiologie de l'accommodation

Le point le plus éloigné qu'un œil voit net sans accommoder ou, plus exactement, en désaccommodant, est appelé punctum remotum, et le point le plus rapproché qu'il voit net en accommodant maximale, punctum proximum d'accommodation. La distance entre ces deux points représente le parcours d'accommodation et s'exprime en mètres. Transcrite en dioptries, elle représente le pouvoir accommodatif ou l'amplitude d'accommodation (fig. 2.2). Pour un œil emmétrope fixant à l'infini, il est d'environ 63 D, reparti pour environ deux tiers pour la cornée et un tiers pour le cristallin [14].

### Mécanismes de l'accommodation et de la désaccommodation

Quatre mécanismes pourraient en principe permettre d'accommoder : les uns en augmentant la puissance dioptrique de l'œil par l'augmentation de la courbure cornéenne ou celle des courbures et de l'indice de réfraction du cristallin,

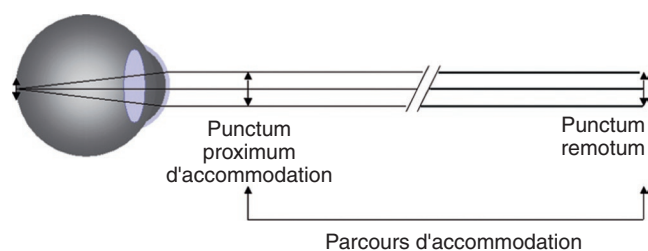


Fig. 2.2. Punctum remotum, punctum proximum d'accommodation et parcours d'accommodation en cas d'emmétropie.

les autres en modifiant la disposition des éléments constitutifs du système optique de l'œil par l'allongement de la longueur axiale et/ou le déplacement du cristallin vers l'avant. Souvent, plusieurs mécanismes entrent simultanément en jeu ; celui qui joue le rôle prépondérant n'est pas le même dans les différentes espèces de vertébrés. Qu'en est-il chez l'humain ?

Au XVII<sup>e</sup> siècle déjà, Christoph Schreiner (1619) a démontré que, dans l'espèce humaine, l'accommodation est due avant tout au cristallin. Cela a été confirmé depuis lors par Descartes (*Le Monde de M. Descartes*, ou *Le Traité de la lumière*, écrit en 1633, publié après sa mort en 1664), Thomas Young (1801), Purkinje (1823), Helmholtz (1856–1866) [15]. Plus précisément, l'accommodation est principalement due au changement de la courbure antérieure et de l'indice de réfraction du cristallin ; il s'y ajoute un léger déplacement du cristallin vers l'avant [16, 17] et un minime allongement de la longueur axiale de l'œil [18] dont les rôles ne sont cependant qu'accessoires. Donders a publié en 1864 (en anglais) et en 1866 (en allemand) son traité sur « les anomalies de la réfraction et l'accommodation de l'œil ».

Les variations du cristallin, responsables de l'accommodation et de la désaccommodation, se font sous l'action du muscle ciliaire (Helmholtz, 1855). Celui-ci est formé de fibres musculaires lisses en V ; les unes, externes, sont dites longitudinales et forment un V à angle aigu ; les autres, internes, sont dites circulaires et forment également un V, mais à angle obtus (fig. 2.3).

Lorsque le muscle ciliaire est relâché, il maintient les fibres radiaires de la zonule cristallinienne sous tension. Celles-ci exercent alors une traction centrifuge sur l'équateur et la périphérie de la capsule du cristallin ; elles aplatissent ainsi les courbures de celui-ci, principalement l'antérieure. Lorsque, à l'inverse, le muscle ciliaire se contracte, il relâche sa tension sur les fibres de la zonule ; le cristallin n'étant plus soumis à leur traction peut alors, grâce à son élasticité et en particulier à celle de sa capsule (Fincham, 1937 [21]), prendre une forme plus sphérique : il augmente principalement sa courbure antérieure. De l'état de désaccommodation à celui d'accommodation maximale, les rayons de courbure antérieur et postérieur du cristallin passent respectivement de 10 à 6 mm et de 6 à 5,5 mm. Accessoirement, la pression que l'iris en myosis exerce sur le cristallin accentue encore sa courbure antérieure. L'augmentation inégale des courbures, nettement plus forte pour la courbure antérieure, déplace le centre optique du cristallin vers l'avant ; l'effet optique de celui-ci s'en trouve augmenté. À cela s'ajoute qu'en se contractant, le corps ciliaire dont le point fixe est l'éperon scléral, se déplace légèrement vers l'avant ; il entraîne avec lui le cristallin, augmentant encore l'effet optique de celui-ci. Du fait du relâchement de la zonule, le cristallin subit en outre l'effet de la pesanteur et se déplace très légèrement vers le bas, mais sans que cela ait une répercussion optique.

Ces changements de forme et accessoirement de position du cristallin sont désignés par le terme « accommodation

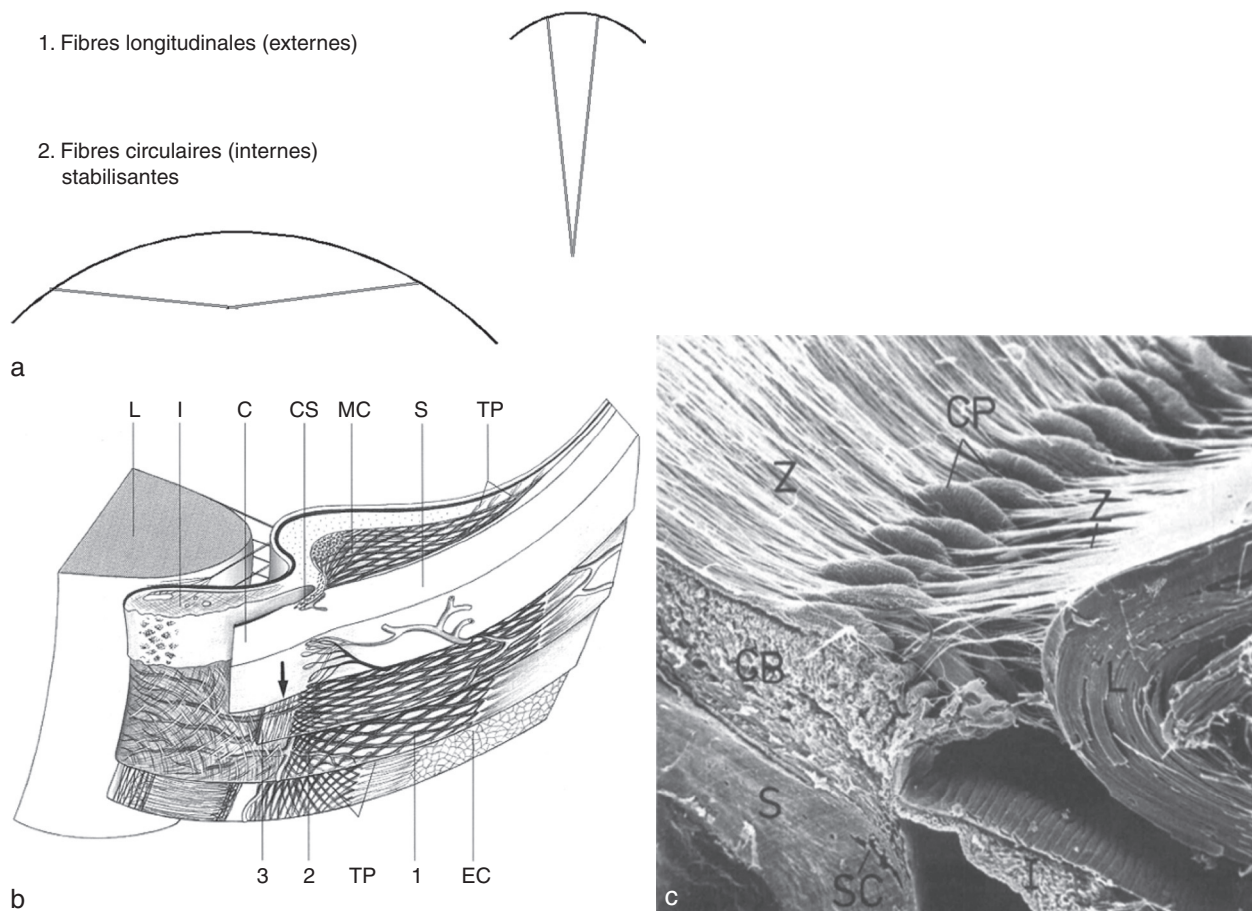


Fig. 2.3.

a. La disposition des fibres du muscle ciliaire longitudinales externes et circulaires internes. b. Coupe du corps ciliaire et de la zonule. L : cristallin; I : iris; c : cornée; CS : canal de Schlemm; MC : muscle ciliaire; S : sclère; TP : tendon élastique postérieur du muscle ciliaire; EC : réseau élastique de la choroïde, fibres (1) longitudinales externes, (2) réticulaires, (3) circulaires internes. c. Vue globale de l'appareil de l'accommodation en microscopie électronique chez le singe. Z : zonule; CP : procès ciliaires; CB : muscle ciliaire; S : sclère.

Source : a. Roth A, Gomez A, Pêchereau A. *La réfraction de l'œil : du diagnostic à l'équipement optique*. Paris : Elsevier-Masson; 2007. b. Figure de E. Lütjens-Drecol. Guthoff R, Ludwig K (eds). *Current aspects of human accommodation*. Heidelberg : R. Kaden; 2001 [19]. c. Rohen JW. *Scanning electron microscopic studies of the zonular apparatus in human and monkey eyes*. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1979;18(2):133-44 [20].

externe»; celle-ci représente les deux tiers de l'accommodation totale (fig. 2.4).

Le pouvoir réfractif du cristallin augmente en même temps que son changement de forme et son déplacement, du fait de l'augmentation de son indice global de réfraction; ce changement résulte d'un glissement centripète des fibres cristalliniennes, principalement de celles du cortex antérieur, plus réfringentes; l'équateur du cristallin se trouve alors dans une position plus antérieure que celui de son noyau. L'augmentation de l'indice de réfraction s'ajoute à l'effet, déjà mentionné, de la translation antérieure du centre optique du cristallin, due à l'allongement vers l'avant du diamètre antéro-postérieur de celui-ci. Ces changements internes au cristallin sont désignés par le terme «accommodation interne» (fig. 2.5). L'accommodation interne représente le tiers environ de l'accommodation totale.

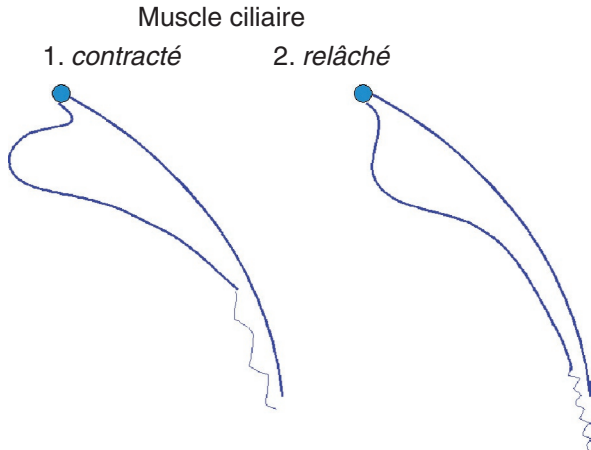
La désaccommodation se fait par le relâchement du muscle ciliaire, le recul de celui-ci sous l'effet de la tension élastique de son attache postérieure, c'est-à-dire la membrane élastique, la mise sous tension des fibres zonulaires, l'aplatissement et le recul du cristallin et le glissement vers la périphérie des fibres cristalliniennes.

L'accommodation est rapide; sa vitesse atteint dès l'enfance 4,6 D/s. Elle est précise et peut être maintenue de façon prolongée. Son temps de latence est très court, de l'ordre de 0,36 s, indépendamment de l'amplitude requise; il est supérieur pour l'accommodation (0,64 s en cas de mouvement isolé) par rapport à la désaccommodation (0,56 s), supérieur à celui de la réaction pupillaire (0,26-0,3 s), lui-même supérieur à celui des mouvements oculaires (0,12 s) [22]. L'accommodation se fait avec une très grande précision dans les conditions optimales de luminosité et de contraste. Mais sa précision diminue et le temps de latence augmente lorsque la luminosité ambiante et le contraste lumineux diminuent; à l'extrême, l'ajustement accommodatif devient incertain et peut nécessiter plus de 10 s, c'est pourquoi on parle aussi de presbytie nocturne.

### Pouvoir d'accommodation

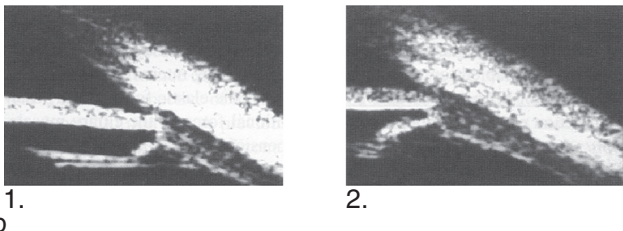
L'enfant âgé de 1,5 à 3 mois accommode déjà. À cet âge, son accommodation est assez précise pour le près, mais l'est moins pour le loin; ce n'est que progressivement qu'elle deviendra plus précise pour des distances plus éloignées [23].

Chapitre 2. Développement de la vision, évolution de la réfraction

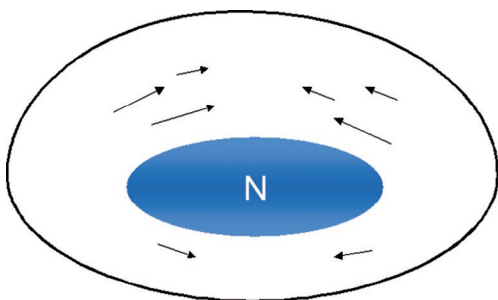


a  
Echographie du corps ciliaire et de la zonule

1. Désaccommodation      2. Accommodation



**Fig. 2.4. Accommodation externe.**  
a. Schémas du muscle ciliaire. b. Échographies : sujet de 29 ans, (1) désaccommodant, fibres zonulaires tendues, (2) accommodant, fibres zonulaires relâchées et corps ciliaire épaissi.  
Source : a. Roth A, Gomez A, Péchereau A. *La réfraction de l'œil : du diagnostic à l'équipement optique*. Paris : Elsevier-Masson; 2007. b : figure de K Ludwig. Guthoff R, Ludwig K (eds). *Current aspects of human accommodation*. Heidelberg : R. Kaden; 2001 [19].



**Fig. 2.5. Accommodation interne.**  
Le glissement des fibres cristalliniennes au cours de l'accommodation.

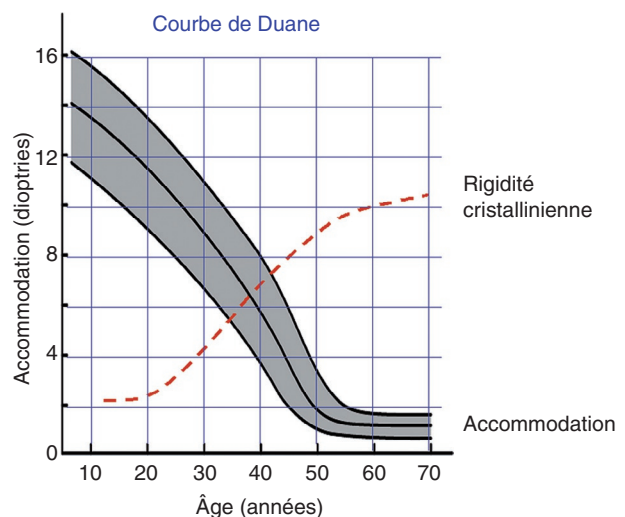
Le pouvoir d'accommodation diminue progressivement dès l'enfance, avant tout en raison de la rigidité croissante du cristallin. Il est de 18,5 D à l'âge de 6 mois, de 14 D à 15 ans, de 2-3 D à 40 ans, de 1-2 D à 50 ans et de moins de 1 D à 60 ans. Il ne s'annule pas tout à fait grâce aux mécanismes annexes exposés ci-dessus (binocularité, myosis, déplacement antérieur du cristallin). Autrement dit, le punctum proximum s'éloigne de l'œil selon une progression qui s'accélère entre 35 et 50 ans [24, 25]. À partir du moment où le punctum proximum se trouve au-delà de la distance normale de lecture de 33 cm, l'œil, tout comme

le sujet, est dit presbyte, ce qui signifie étymologiquement qu'il est « vieux » (fig. 2.6) ! À cela s'ajoute qu'à l'approche de la presbytie, l'œil s'hypermétropise en raison de la diminution du pouvoir réfractif du cristallin, due à la diminution de ses courbures antérieure et postérieure et à son homogénéisation optique.

La distance du punctum proximum d'accommodation se détermine à l'aide de la ligne de Duane : celle-ci, constituée d'une ligne noire entourée de deux rectangles noirs, est approchée du sujet, équipé de sa correction optique totale pour le loin, jusqu'à la distance à partir de laquelle celui-ci cesse de la voir nette.

L'addition dont le sujet a besoin peut se déterminer à l'aide de la ligne de Duane : celle-ci est tenue à la distance de lecture ou de travail voulue : on ajoute successivement à la correction supposée pour le près, par échelons de 0,25 D d'abord des lentilles convergentes jusqu'au moment où la ligne apparaît floue (addition maxima), ensuite des lentilles divergentes jusqu'au moment où la ligne apparaît floue (addition minima); l'addition appropriée sera égale à la moyenne des additions maxima et minima.

Pour déterminer l'addition nécessaire à la correction de la presbytie, on se contente en pratique de déterminer, en vision binoculaire, l'addition minimum nécessaire pour amener le punctum proximum d'accommodation à la distance de la vision de près, de la lecture ou du type de travail à effectuer; en cas d'anisométrie marquée, il est préférable de procéder œil par œil, et d'ajuster ensuite, si nécessaire, l'addition de l'œil le plus amétrope en vue du confort binoculaire.



**Fig. 2.6. La courbe d'accommodation selon l'âge d'après Duane.**  
Le pouvoir d'accommodation s'exprime en dioptries (l'inverse de la distance du punctum proximum en mètres pour un œil emmétrope ou emmétropisé). Il se mesure par la détermination du punctum proximum d'accommodation en vision monoculaire et, en cas d'amétropie, avec le port de la correction optique totale.  
Source : d'après Zapata-Díaz JF, Radhakrishnan H, Charman WN, López-Gil N. *Accommodation and age-dependent eye model based on in vivo measurements*. *J Optom* 2019;12(1):3-13 [26].

### Effort accommodatif

Il convient de distinguer l'effort accommodatif effectué du gain accommodatif obtenu, même si leurs valeurs sont habituellement très proches; mais l'écart augmente avec l'importance de l'amétropie. L'effort accommodatif nécessaire pour fixer un objet est fonction de la distance de cet objet et de la valeur de l'amétropie lorsque celle-ci est corrigée par des verres de lunettes; la variation est significative en cas d'amétropie marquée. En effet, le système optique constitué par un œil hypermétrope et la correction de l'hypermétropie par une lentille placée à distance devant l'œil constitue une lunette de Galilée; celle-ci rapproche en apparence l'objet fixé (or c'est l'image de l'objet fixé et non cet objet lui-même que l'on voit en réalité à travers le verre correcteur). De ce fait, l'œil hypermétrope devra accommoder un peu plus que l'œil emmétrope (fig. 2.7a). Inversement, la correction de la myopie par un verre de lunettes constitue une lunette de Galilée inversée qui éloigne l'image de l'objet fixé. De ce fait, l'œil myope devra accommoder un peu moins que l'œil emmétrope (fig. 2.7b). La différence est négligeable pour les amétropies faibles ou modérées, surtout en cas d'isométrie. En revanche, il faut en tenir compte en cas d'amétropie forte, surtout si elle est unilatérale, pour la prescription de l'addition pour le près. Cette différence n'apparaît pas si l'amétropie est corrigée par des lentilles de contact.

L'effort accommodatif peut être maintenu de façon prolongée aux deux tiers de sa capacité maximale.

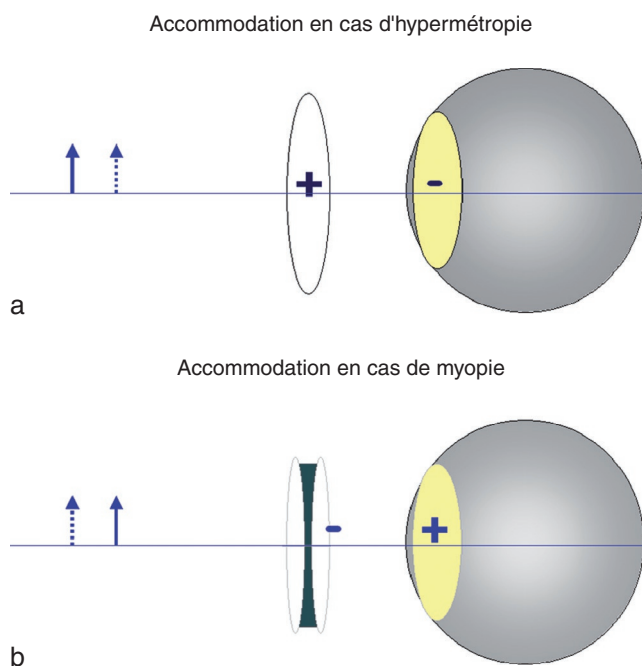


Fig. 2.7. Un œil hypermétrope devra faire un effort accommodatif accru et un œil myope pourra faire un effort moindre pour une même distance de fixation en vision de près, puisque l'image de l'objet fixé est respectivement plus proche (a) et plus éloignée (b) de l'œil fixant.

### Tonus accommodatif et hystérèse accommodative

La fixation d'un fond uniforme (Ganzfeld ou champ vide) ou la fixation dans le noir met les yeux en position de repos accommodatif; celui-ci ne correspond pas à l'état de désaccommodation totale (c'est-à-dire de relâchement maximum du corps ciliaire), mais à un tonus accommodatif intermédiaire de 1 à 1,5 D jusqu'à 3 D chez l'enfant, équivalent par conséquent à un «foyer à l'obscur» myopique ou à une myopie nocturne de -1 à -1,5 D (ou encore à une accommodation ou tonus à l'obscurité) [19, 24], concomitante de la presbytie nocturne (fig. 2.8).

Les variations interindividuelles du tonus accommodatif relèvent surtout de l'action du parasympathique [27]. L'état de repos accommodatif varie en fonction de l'effort accommodatif ou désaccommodatif que le sujet vient d'effectuer du fait d'un phénomène d'hystérèse. Après le maintien prolongé d'un niveau d'accommodation donné, il persiste une variation résiduelle correspondante du tonus accommodatif. Chez le sujet emmétrope, le déplacement du foyer à l'obscur, après une fixation de 8 minutes :

- est de loin de -0,37 D, équivalant à une hypermétropisation de la position de repos, celle-ci étant alors moins «myope» d'autant;
- est de près de +0,62 D, équivalant à une myopisation de la position de repos, celle-ci étant alors plus «myope» d'autant.

Le retour à la position de départ se fait progressivement :

- en 72 minutes après la fixation au loin;
- mais bien plus lentement, en 10,5 heures, après la fixation de près [28]!

La persistance résiduelle très prolongée d'un tonus accommodatif accru après une fixation de près rend compte de la forme la plus simple de l'hypermétropie latente. Le tonus accommodatif est moindre chez le sujet myope, et plus prononcé chez le sujet hypermétrope.

Le tonus accommodatif varie également sous l'effet de certaines substances pharmacomimétiques. Il se vérifie que

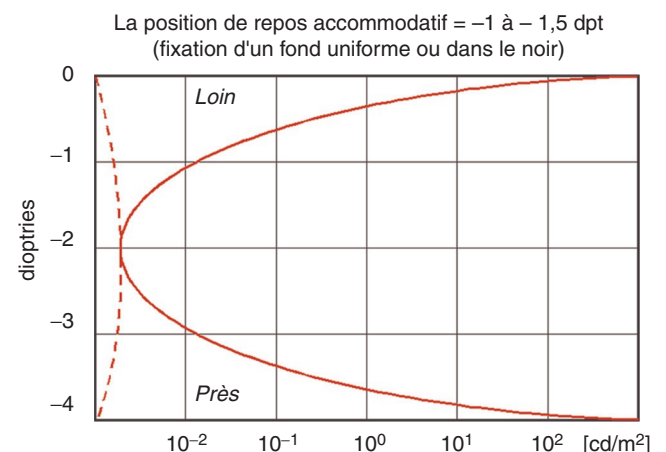


Fig. 2.8. Accommodation et désaccommodation (en ordonnée) en fonction de la luminosité (en abscisse).

Source : d'après Lachenmayr B, Friedburg D, Buser A. Auge-Brille-Refraktion. Begleitheft zum «Schober-Kurs». 5<sup>e</sup> ed. Stuttgart : Thieme Verlag; 2016 [12].