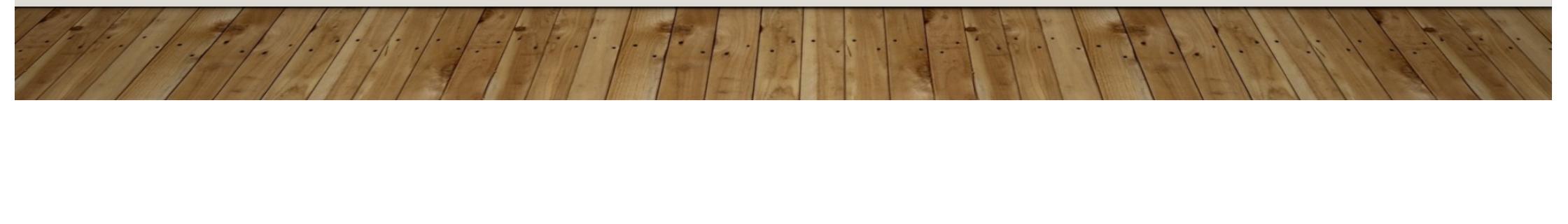


UNE HISTOIRE DE L'OPTIQUE

« LA PHYSIQUE POUR TOUS » SAISON 5 : CYCLE D'ÉTÉ 2023

R. EBER

REGINE.EBER@MAISONS-POUR-LA-SCIENCE.ORG



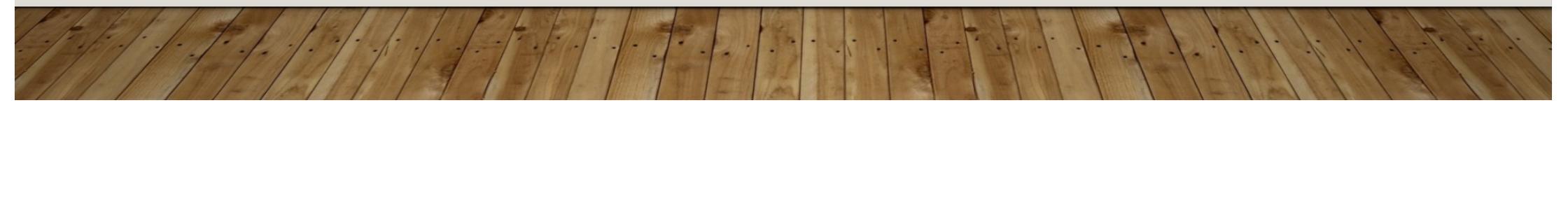
INTRODUCTION

- Cloisonnement du sujet :
 - histoire de l'optique jusqu'en 1900,
 - limitée au savoir occidental (grec et arabe)
 - sans notion de couleurs (arc-en-ciel, vision des couleurs)
 - sans l'histoire des mesures de la vitesse de la lumière
- Approche plutôt thématique, puis historique dans chaque thème.
- Histoire des sciences „téléologique“
 - Pas comme un historien
 - Pas comme un sociologue
 - Comme un physicien qui s'intéresse à la genèse de sa discipline, avec des apports épistémologiques

PROGRAMME DES 4 SÉANCES

1. L'œil comme instrument d'optique
2. La réflexion et la réfraction
3. Des lentilles au télescope
4. Modèle corpusculaire ou ondulatoire de la lumière ?

L'OEIL COMME INSTRUMENT D'OPTIQUE



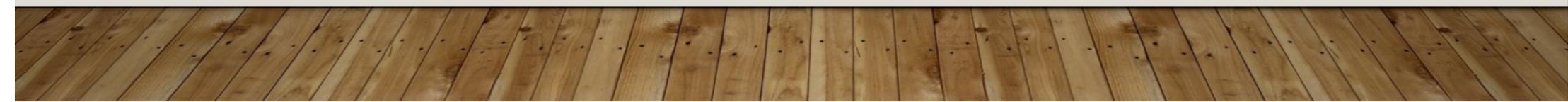
LE „MIRACLE GREC“ (-6^{ème} -4^{ème} SIECLE)

- Prise en considération des techniques
- Ouverture aux autres civilisations
- Rôle de l'écriture
 - Devient syllabique au -9^{ème} siècle avec 27 lettres
 - Unification de l'écriture au -5^{ème} siècle seulement !
- Régime politique démocratique → rhétorique, dialectique

LA „PHILOSOPHIE DE LA NATURE“ GRECQUE : SES CARACTERISTIQUES

- Savoir grec = savoir axiomatique, déductif (règles de rationalité), géométrisé, et largement spéculatif
 - Explication du monde sans intervention divine
 - Justification (règles de logique)
 - Géométrisation
 - Analogies
 - Quelques rares expérimentations → la musique chez Pythagore
 - Philosophie : possibilité de connaître le monde, fiabilité des sens
 - Acteurs = „philosophes de la nature“

LA QUESTION ESSENTIELLE EN OPTIQUE JUSQU'EN 1650 : COMMENT VOIT-ON ?

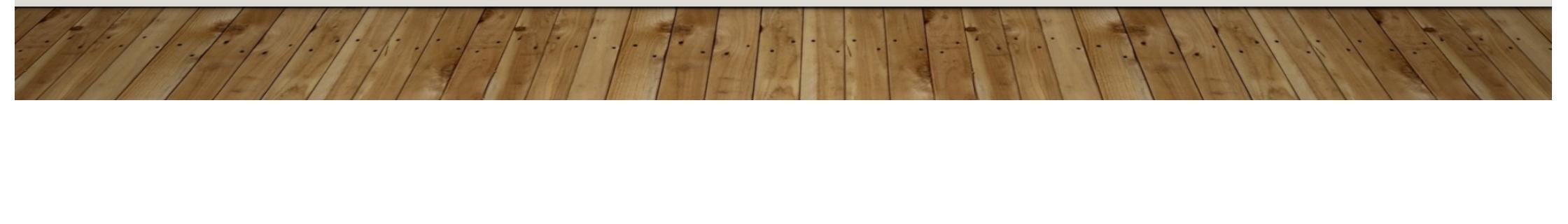


LA DÉMARCHE SCIENTIFIQUE GLOBALE

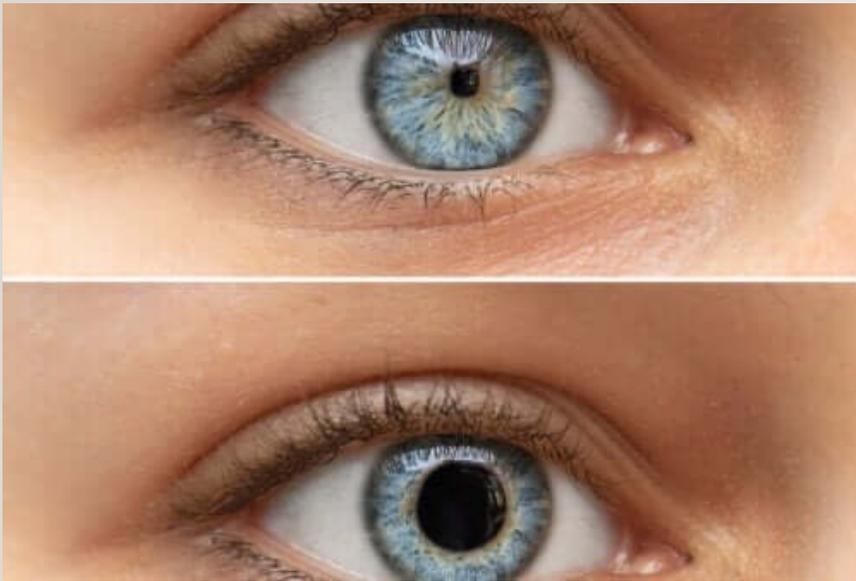


CE QUE CHACUN PEUT OBSERVER DU FONCTIONNEMENT DE SES YEUX...

- On voit des objets grâce à l'œil, mais ils sont localisés en-dehors de notre corps...
- Importance du lien œil-cerveau
- Entre l'objet qui est vu et l'œil, on ne voit rien.



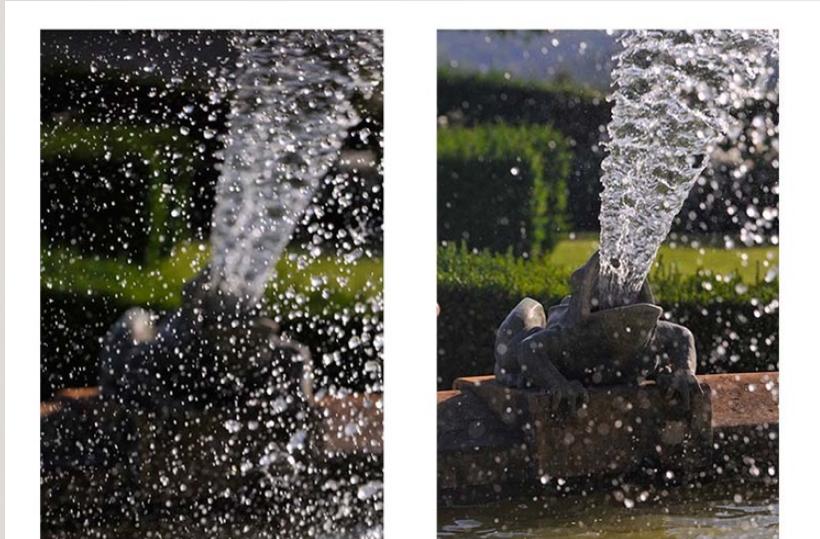
-
- Myosis/Mydriase (réflexe binoculaire)



- Vue de profil : la cornée transparente



-
- Accommodation (zoom automatique) qui baisse avec l'âge



- Les défauts visuels
 - Myopie
 - Astigmatisme
 - Presbytie
 - (Hypermétropie)

Coronavirus: préparer le monde d'après!

L'invité

René Longet
Membre
du comité
d'Après*



Depuis un mois, le virus a mis à l'arrêt la vie économique, sociale, culturelle d'une bonne partie de l'humanité. Les effets sont contrastés. Moins de contacts interpersonnels mais un télétravail qui évite bouchons et déplacements inutiles. Une quantité innombrable d'entreprises et de personnes perdant leurs revenus et plongées dans le souci du lendemain. Mais une nature qui revit, débarrassée de l'insupportable pression humaine. Un système sanitaire tendu à l'extrême. Mais une visibilité enfin donnée à tous ces métiers sans lesquels rien ne fonctionnerait: caissières, employés de la voirie, livreuses,

aides-infirmiers, agricultrices, nettoyeurs - d'autant plus mal payés qu'ils sont indispensables. Un confinement qui met en lumière les inégalités sociales, selon la taille du logis, la configuration du quartier.

Il faudra se souvenir de tout cela. Redéfinir l'urbanisme et la politique du logement.

Retrouver une résilience locale dans une concertation globale, réguler enfin une mondialisation sans foi ni loi, faire primer la coopération sur la compétition. Il faudra se souvenir, aussi, du réveil du politique. En peu de jours, l'État a réalisé ce qu'il peinait à faire durant des décennies: mettre au centre de son action, non pas l'écoute excessive des lobbies, mais la primauté de la santé publique.

La crise sanitaire et la mise à l'arrêt de l'économie sont douloureuses pour nos pays. Mais elles sont catastrophiques pour cette

moitié de l'humanité sans accès aux soins de base, pour ce milliard d'humains subsistant dans des bidonvilles ou dans la rue, pour ces 650 millions de personnes privées d'eau de qualité potable, dans de nombreuses régions du Sud global. Autant dire que l'aide au développement devra être substantiellement augmentée et faire pleinement partie de la sortie de crise. Et tant que ces besoins de base ne sont pas satisfaits, le virus rôdera, car nous sommes tous sur la même planète.

L'ébranlement de nos vies individuelles et collectives nous conduit à nous interroger sur le sens des choses, nous incite à faire un tri. Le redémarrage des activités économiques doit impérativement nous permettre d'aller vers une économie de l'utilité, de l'inclusion et du bien commun. Une relance qui voudrait revenir à une «normale» qui ne

l'était nullement ne ferait que préparer la prochaine crise, d'une tout autre ampleur. C'est maintenant qu'il faut prendre le chemin de la prévention climatique, de l'agroécologie, seule manière de nourrir une humanité en nombre croissant sans détruire les sols, de l'économie circulaire, unique façon d'utiliser des ressources non renouvelables, de la sobriété énergétique et des énergies renouvelables et décentralisées. Les États ont démontré à travers la crise sanitaire leur capacité d'agir. C'est avec la même détermination qu'ils doivent maintenant réaligner la transition vers la durabilité - il n'y a pas d'autre issue envisageable. Car chaque franc investi dans le monde d'hier manquera cruellement au monde de demain.

* Le réseau de l'économie sociale et solidaire

- En vision centrale (près du point de fixation) : netteté et vision des couleurs

En vision périphérique (loin du point de fixation) : flou, peu de vision colorée, vision du mouvement

-
- Existence d'une tache aveugle (émergence du nerf optique sur la rétine)

et

Je vois du noir quand je ferme les yeux ou quand les objets ne sont pas éclairés (la nuit).

- Existence d'un champ visuel binoculaire
- et

Diplopie physiologique

- Croisée en avant du point de fixation
- Décroisée en arrière du point de fixation

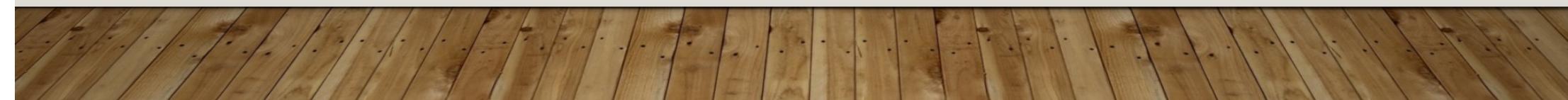
-
- La persistance rétinienne



-
- Appréciation des distances
 - Taille apparente des objets
 - Lignes de fuite et ombrés
 - Masquage
 - Brume et/ou flou (perte des détails)
 - Parallaxe
 - Apport de la vision binoculaire

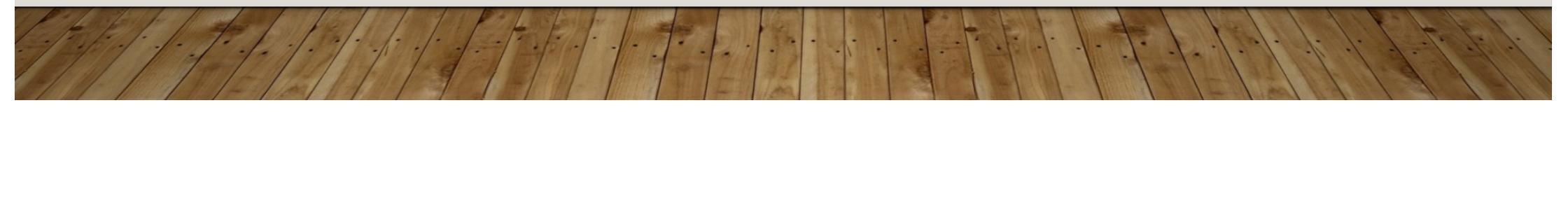
LA THÉORIE EXTRAMISSIONNISTE (MAJORITAIRE DANS L'ANTIQUITÉ) : L'OEIL ACTIONNEUR

- Il bouge pour regarder
- Il est bombé et non creux
- Analogie avec la palpation manuelle, par exemple lorsqu'on cherche une aiguille tombée au sol (processus actif)
- Sélectivité de l'oeil (on n'arrive pas à lire en même temps toutes les lettres d'une page)
- Les pupilles des chats „brillent“ la nuit
- Existence de phosphènes
- Ce qu'on voit est à l'extérieur de soi
- Notre corps est chaud („feu visuel“)
- Analogie avec la lampe torche qui n'éclaire qu'une partie de l'espace
- Action de contact (action à distance inenvisageable)

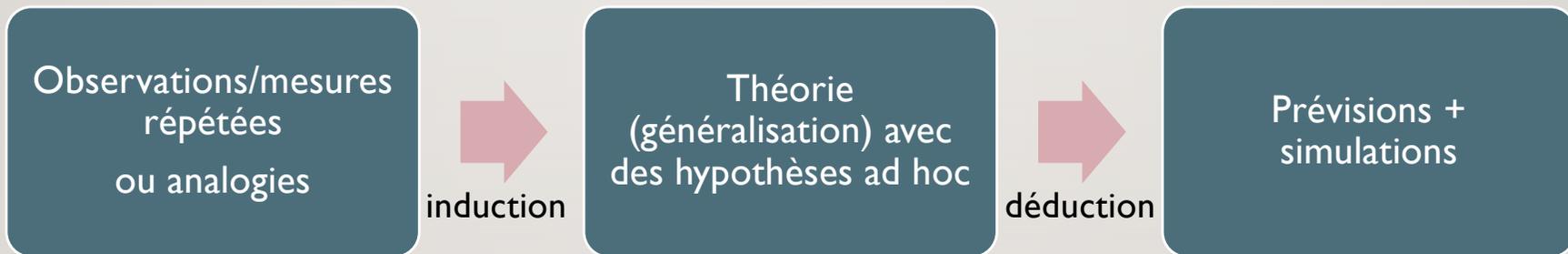


MAIS...

- L'œil humain ne voit pas la nuit
 - HYPOTHESE AD HOC : La lumière ambiante sert d'activateur
 - Différence entre la lumière ambiante et ce qui sert à voir
- On voit des étoiles ! (impossibilité pour l'œil d'envoyer des rayons visuels immenses ?)
 - HYPOTHESE AD HOC : L'œil analyse la longueur de son rayon
- Éblouissement / douleur lorsque la lumière est trop vive
 - THEORIE INTROMISSIONNISTE (seulement au Moyen-Age!) avec l'image entière qui entre dans l'œil
- On voit tous les objets au même moment
 - PROBLEME.... une vitesse infinie est inenvisageable (sauf pour Aristote)



LA DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

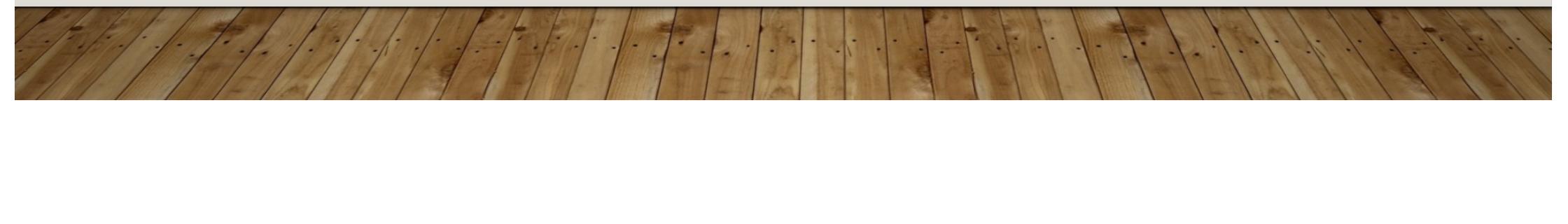
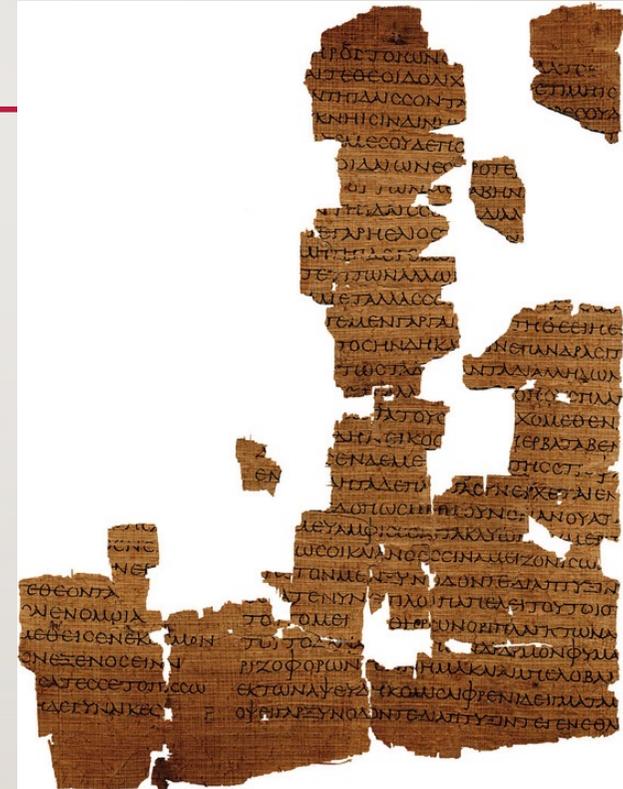


EMPÉDOCLE D'AGRIGENTE EN SICILE (-490 -435) : THÉORIE MIXTE

- L'œil est un organe palpeur qui envoie *des quid* qui proviennent du *feu intérieur*, qui à leur tour rencontrent des émanations issus des objets regardés.
- Théorie basée sur un principe antérieur: le semblable va au semblable. (l'œil s'ouvre en même temps que le Soleil se lève)

Fragments de la physique d'Empédocle sur un papyrus de
Strasbourg

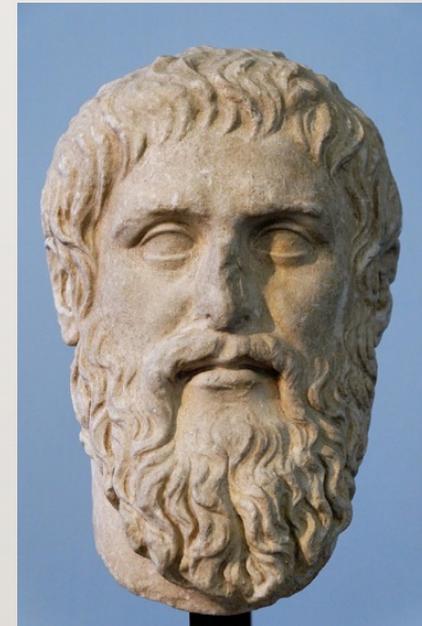
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1265754>



PLATON (-427 -347) :THEORIE MIXTE

- Premiers écrits fiables
- Tout est maths (pas d'empirisme)
- „feu intérieur“ → les rayons émis par l'oeil sont immergés dans la forme visible, puis renvoyés à l'oeil (c'est une image entière qui entre dans l'oeil)

(„le Timée“ -358)



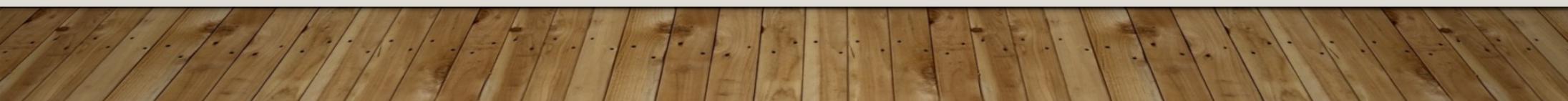
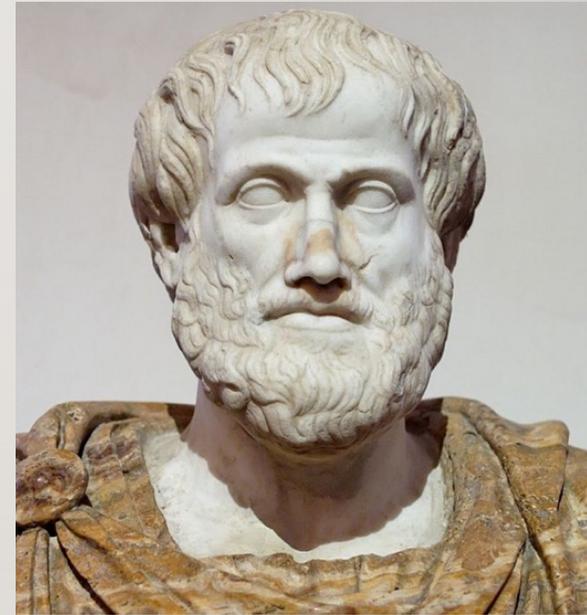
LES „ATOMISTES“ : THEORIE INTROMISSIONNISTE

- Leucippe (-460-370)
- Démocrite (-460-370)
- Epicure (-341-270)
- „Simulacres“ = répliques (empreintes ou eidolae) des objets activés par l'éclairement, qui voyagent jusqu'à la pupille de l'oeil, puis représentations mentales („phantasiae“)
- Pb des grands objets

ARISTOTE (-384 -322) ET LE DIAPHANE : À PRIORI ARISTOTE EST INTROMISSIONNISTE...ET PREND EN COMPTE LE MILIEU

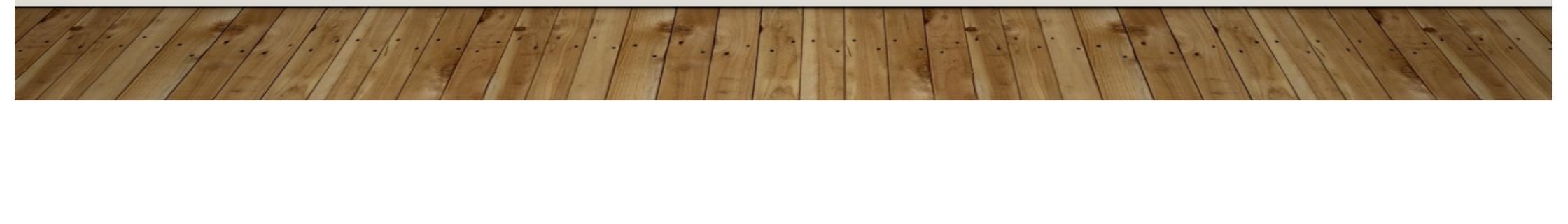
Tous les corps contiennent du diaphane, qui est le support matériel de la transparence de l'air (transparence en „puissance“ ie potentiellement).

Il ne devient transparent qu'en présence de lumière ambiante (transparence en „acte“). Alors la couleur de l'objet met le diaphane en mouvement. Ce mouvement est communiqué à l'oeil. La sensation se fait alors sur la pupille comme une empreinte laissée par un anneau dans la cire.

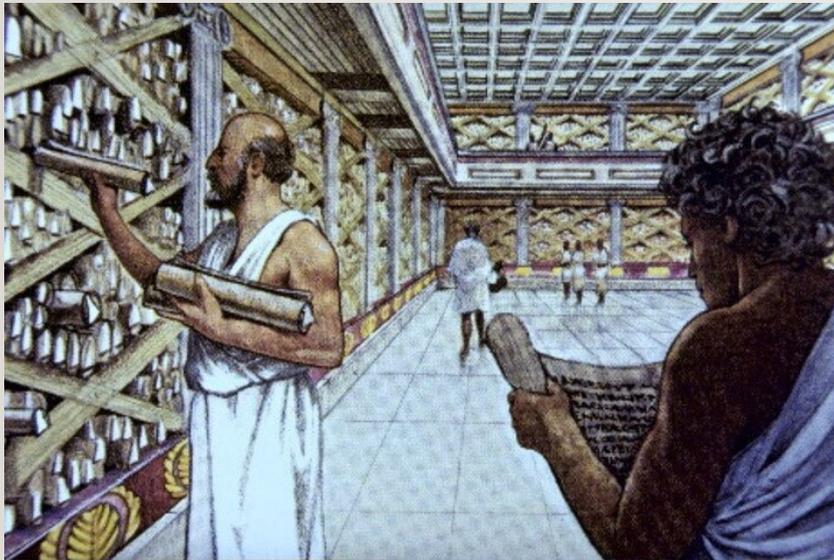


DEUX CITATIONS D'ARISTOTE

- « le fait des miroirs prouve en même temps que, comme la vue souffre de quelque chose, de même elle agit aussi. En effet, sur les miroirs tout-à-fait nets, quand, au moment des menstrues, les femmes jettent le regard dessus, il se forme à la surface comme un nuage sanglant » Aristote, de insomnis
- « car si la vision était le résultat d'une émission de lumière, sortant de l'œil comme d'une lanterne, pourquoi alors l'œil ne verrait-il pas dans l'obscurité ? » Aristote, de sensu et sensato



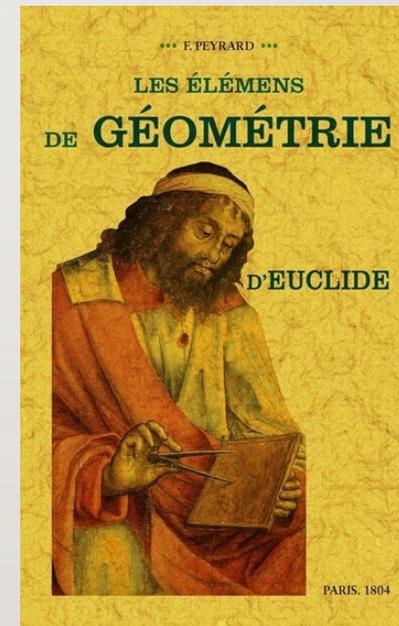
LA PERIODE HELLENISTIQUE (-290 -31) : LA FÉCONDE BIBLIOTHÈQUE D'ALEXANDRIE (FONDÉE EN -288), LE PREMIER MUSÉE D'ETAT



- De grands progrès
 - Euclide (v. -300) et la géométrie, l'arithmétique
 - Aristarque de Samos (-310 -230) et hypothèse héliocentrique
 - Archimède de Syracuse (-287 -212) et la flottaison
 - Eratosthène de Cyrène (-276-194) et la mesure du rayon terrestre
 - Hipparque de Nicée (-190-120) et son catalogue d'étoiles

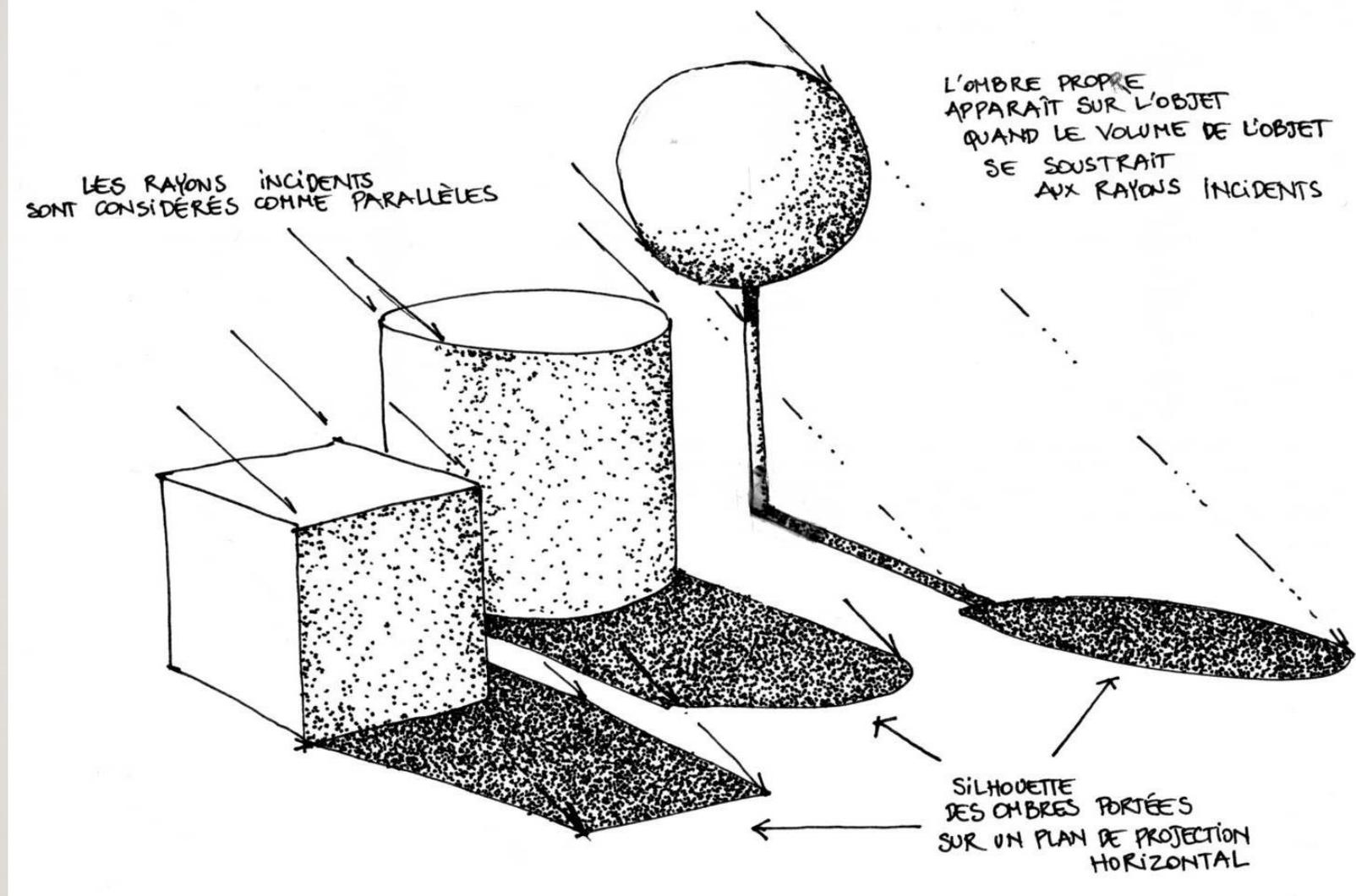
EUCLIDE (VERS -300) : EXTRAMISSIION ET GEOMETRIE

- Biographie peu connue
- „Les éléments“ : géométrie
- „optique“ (et „catoptrique“?)
- Propagation rectiligne des rayons visuels par analogie avec les rayons du Soleil qui font la limite de l'ombre des objets (comme Thalès au -7ème siècle)
- Optique de la perspective (aucun lien avec la physiologie) avec le „cône visuel“



Analogie avec les rayons du Soleil du Soleil

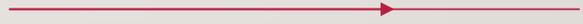
Distinction entre les rayons du Soleil (qui éclairent) et les rayons visuels qui permettent de voir.



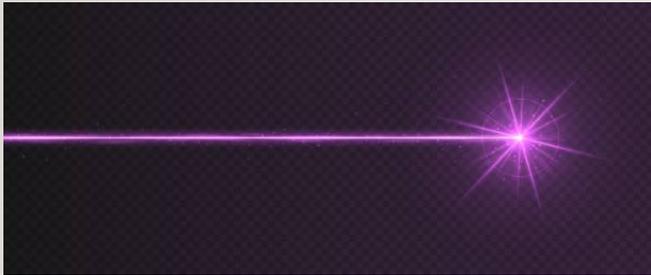
DÉTAIL : LA PROPAGATION RECTILIGNE DE LA LUMIÈRE...



- Expériences d'alignement d'obstacles entre l'œil et l'objet visé → modèle du « rayon visuel » chez Euclide

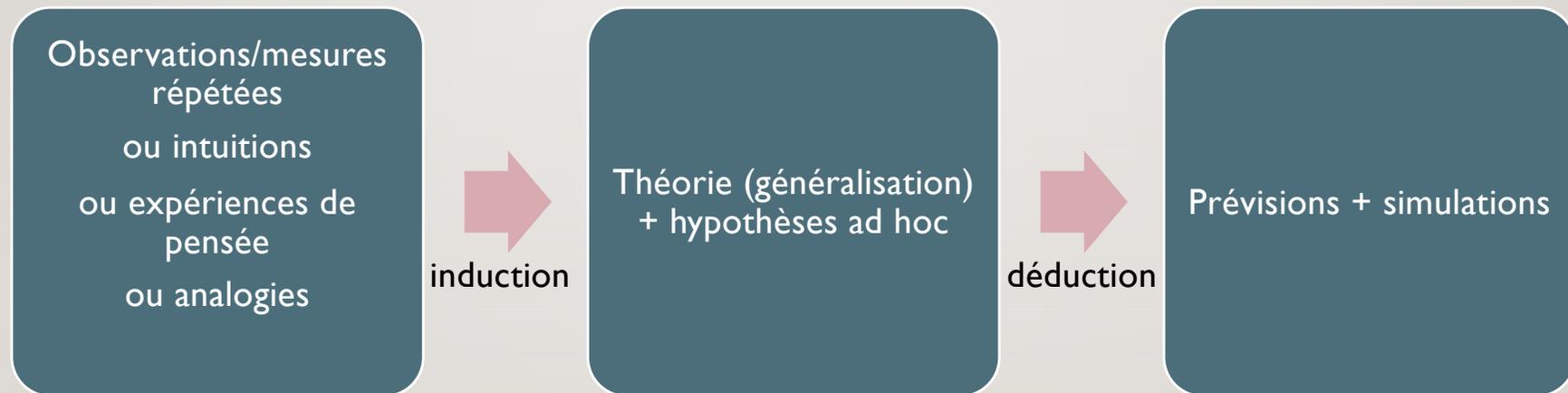
oeil  objet

UNE ERREUR ÉPISTÉMOLOGIQUE : LE LASER



- Le laser ne prouve pas que la lumière se propage en ligne droite !
- Il est construit pour obtenir un faisceau concentré particulièrement directif
- Il ne peut servir que de modèle analogique du rayon (on fait alors une « simulation » du rayon)

LA DÉMARCHE SCIENTIFIQUE



LE CÔNE VISUEL D'EUCLIDE

- „cône visuel“ qui a un sommet à l'intérieur de l'oeil et comme génératrice la pupille.
- Il comporte des rayons discrets (les objets non touchés par des rayons ne sont pas vus) → pour traduire que la vision est plus précise quand on regarde de près
- Il permet d'expliquer que la taille apparente d'un objet dépend de l'angle sous lequel il est vu.

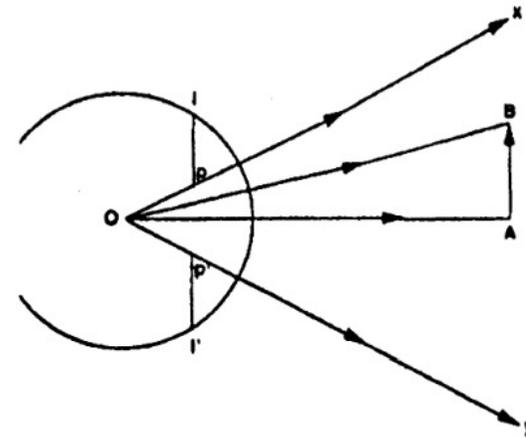


Figure 1 – La vision selon Ptolémée

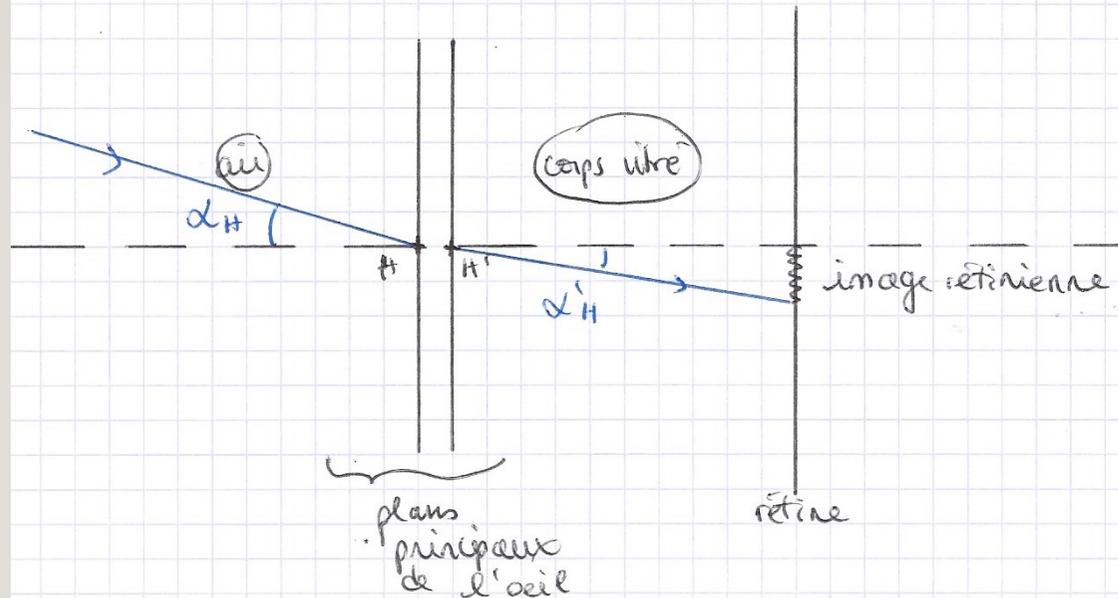
O sommet du cône visuel
II' iris
pp' pupille
xOy cône visuel
AÔB angle sous lequel est vu le segment AB

Le cône de rayons visuels se suffit à lui-même. Les Anciens ne traçaient ni la figure de l'œil, ni le trou de la pupille. Ils ne figurent ici que pour faciliter la comparaison avec la théorie de l'intromission d'Ibn al-Haytham.

Les promenades d'Euclide,
René Magritte 1955



TAILLE DE L'IMAGE RÉTINIENNE



$$\text{théorie: } \alpha'_H = \frac{\alpha_H}{n_{cv}}$$

$$\text{avec } n_{cv} = 1,336$$

$$iR = \alpha'_H \times H'R'$$

$$\text{donc } iR = \alpha_H \times \frac{H'R'}{n_{cv}}$$

La taille de iR est bien proportionnelle à l'angle sous lequel l'objet est vu.

LES „STOÏCIENS“, COMME CHRYSIPPE (-280-206) : THEORIE MIXTE

- Les sensations sont dues au „pneuma“, une espèce de pieuvre dont le centre „l'hégémonikon“ est situé dans le coeur ou dans le cerveau.
- L'air est mis sous tension par le Soleil, puis le pneuma poignarde l'objet à voir (comme le bâton d'un aveugle) grâce à un aller-retour.

LA PERIODE ROMAINE

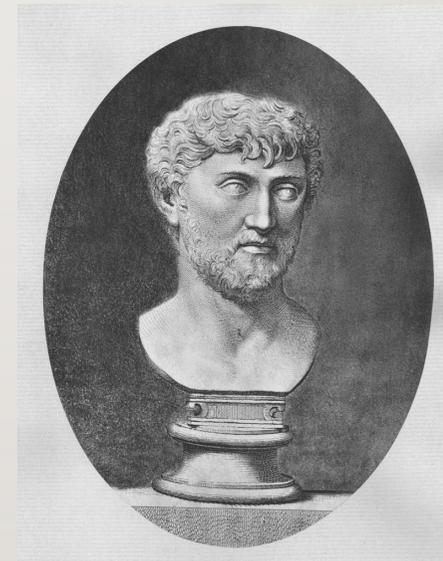
- Essentiellement des compilations
- Grandes avancées en technologie : coin, levier, poulie, siphon, aqueduc, bâtiment, chariot, soufflet, catapulte, moulin à eau....
- Pauvre sur le plan conceptuel



LUCRÈCE (-98 -55) „DE RERUM NATURA“ : REPRISE DES THÉORIES ATOMISTES

- Ombre des objets
- Théorie des simulacres
- Extrait de „la nature des choses“ (de rerum natura)

„je travaille à dégager l'esprit humain de la superstition“ livre 4



CLAUDE PTOLÉMÉE (+90 + 160) A LA BIBLIOTHÈQUE D'ALEXANDRIE

- „L'almageste“ → géocentrisme
- „la Géographie“
- Astrologie



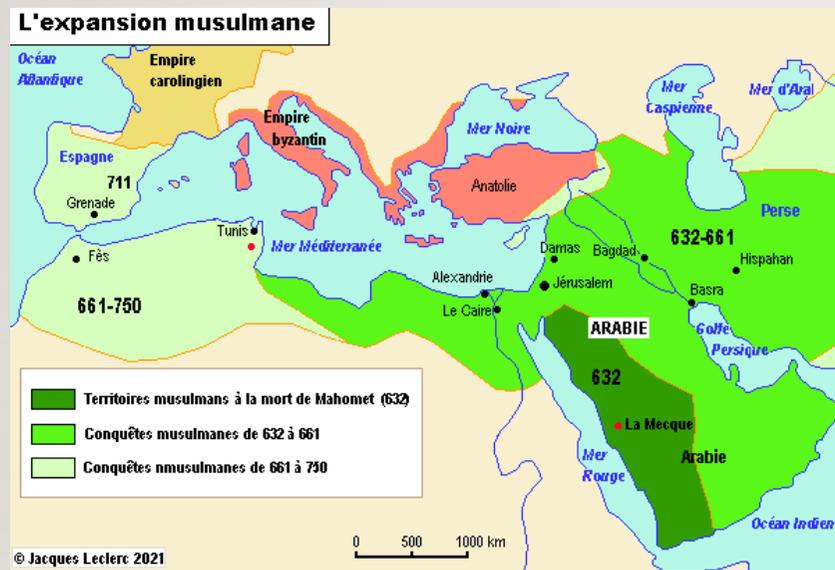
- „l'optique“ en large partie perdue :
 - Acte perceptif :
 - Emission par le pneuma visuel d'un flux visuel
 - Pour faire obstacle aux rayons, l'objet doit être dense et éclairé
 - La distance est perçue par la longueur du rayon visuel (le rayon visuel a la sensation de sa propre longueur)
 - Le cône visuel est rempli
 - La diplopie

CLAUDE GALIEN (+ 129-200) DE PERGAME

- Médecin de Marc Aurèle et de son fils Commode
- Bibliothèque de Pergame fondée en -200: que du parchemin
- Première dissection d'un oeil
 - Le cristallin serait le siège de la vision (au centre de l'oeil)
 - Description du nerf optique (relié au cristallin)
 - Théorie des pneuma (quand on ferme un oeil, la pupille de l'autre se dilate pour libérer le pneuma)
- Sur le cristallin : reproduction du monde extérieur



L'EMPIRE ARABE (632-1258)



- Site de l'institut du monde arabe : <https://www.imarabe.org/fr/decouvrir-le-monde-arabe/sciences>

HUNAYN IBN ISHAQ, « L'OPHTALMOLOGISTE », « JOHANNITUS »

- Traduction grec → syriaque → arabe
- Anatomie de l'œil (cristallin au milieu de l'œil, avec un rôle central)
- Si la propagation de la lumière est instantanée, il n'y a aucune raison de parler d'intromission ou d'extramission.

ABÛ AL-KINDI (796 À 873) DE LA MAISON DE LA SAGESSE DE BAGDAD, LE „PHILOSOPHE DES ARABES“

- „de aspectibus“ : ombres, propagation rectiligne
- Philosophe des arabes
- Traducteur d'Aristote
- Existence propre de la lumière du Soleil : le Soleil émet de la lumière partout (L'univers est rempli de rayons partout).
Pas de lien avec la perception



IBN AL SINA (980-1037) „AVICENNE“, LE PREMIER INTROMISSIONNISTE, ISPAHAN



- Arguments avancés contre les rayons visuels :
 - Si les rayons du cône visuel étaient discrets, la vision serait pointilliste.
 - Pour voir loin, il faudrait un flux visuel énorme
 - Si on regarde plusieurs fois le même objet, ce dernier deviendrait de plus en plus lumineux
 - Imaginer un rayon visuel faire un AR semble compliqué.

- Distinction entre :

- „lux“ (lumière ambiante ou lumière émise par les sources primaires)

et

- „lumen“ (lumière irradiante)

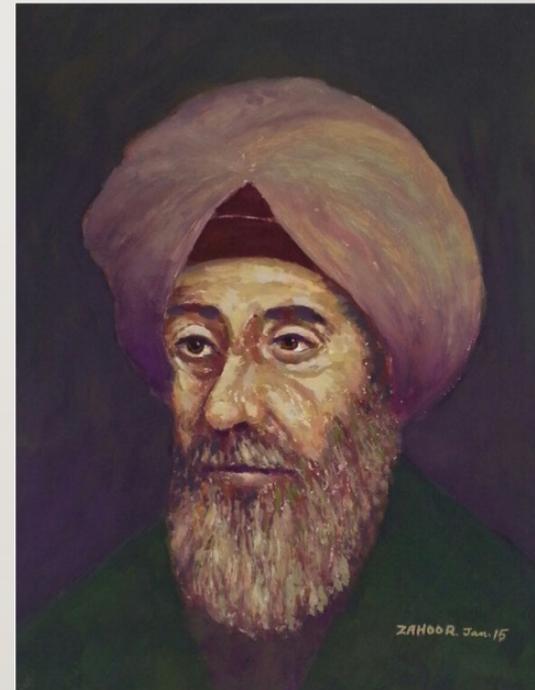
- C'est le mélange entre lumière naturelle et la couleur d'un objet qui permet à l'objet d'irradier sa forme vers l'oeil (l'image entière entre dans l'oeil).

AL HASAN IBN AL HAYTHAM „ALHAZEN“ (965 À 1040) LE CAIRE, LE HELMHOLTZ DU MOYEN AGE

- Grande bibliothèque du Caire
- Attention : homonymie
- „Kitab al Manazir“ = le livre sur l'optique = „optique“ suivi du „discours sur la lumière“
- Oeuvre connue en Europe occidentale sous le nom „Perspectiva“
- Méthode expérimentale clairement décrite
- Livre très structuré
- Séparation de l'optique et de la vision

SES IDÉES

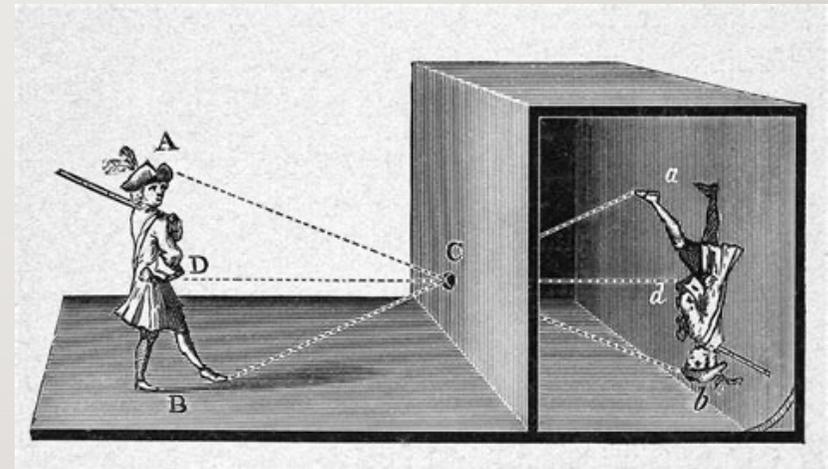
- Intramissionniste suite à l'observation des phénomènes :
 - Éblouissement
 - Post-image
 - Chambre noire
- Distinction entre la réflexion et la diffusion
- Cône visuel d'Euclide inversé : base du cône = pupille de l'oeil et sommet = point-objet.



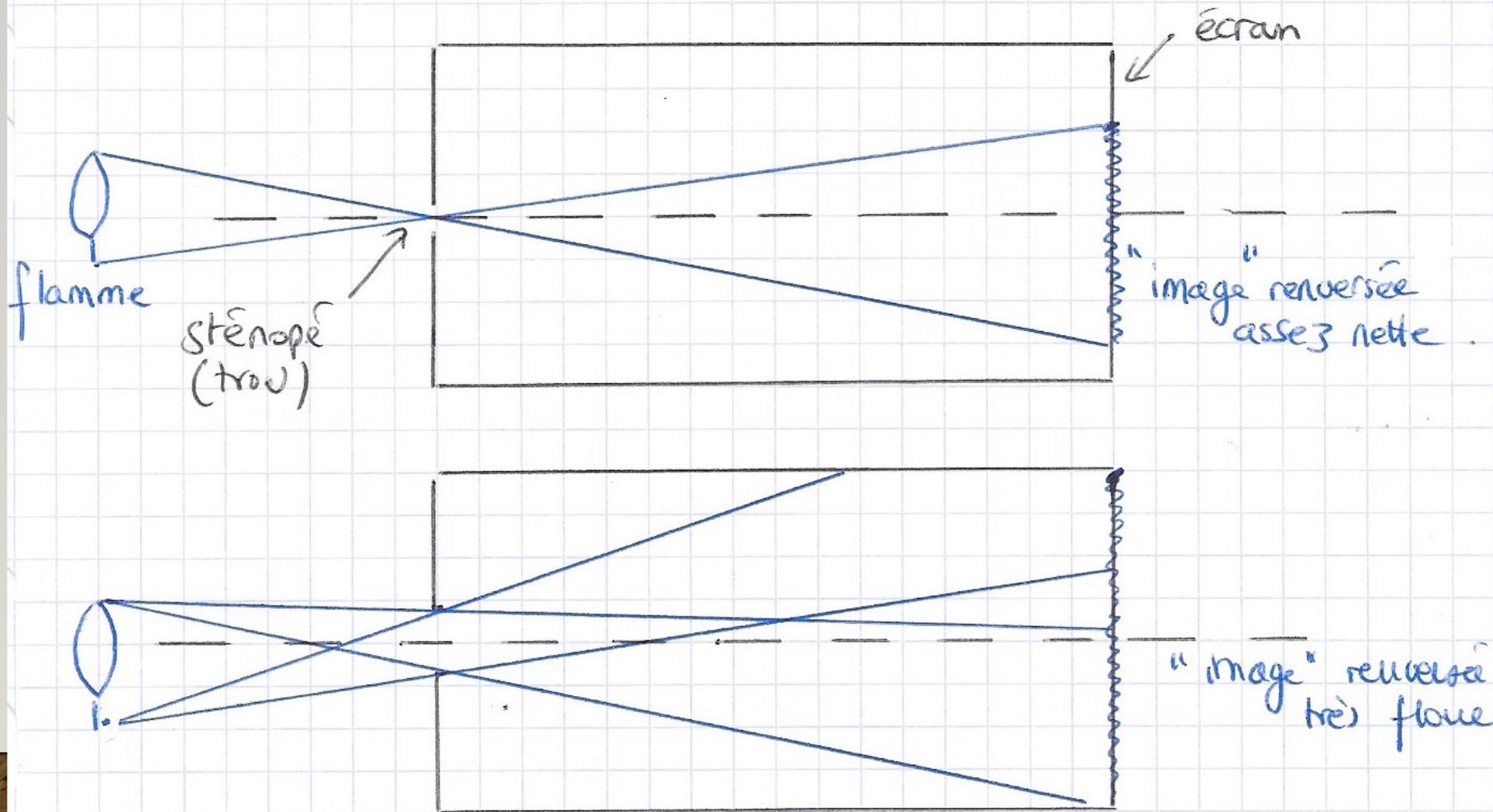
-
- « Nous avons remarqué que lorsque les yeux regardent des lumières extrêmement fortes, ils en ressentent douleur et dommage, [...] un observateur qui se tourne vers le soleil ne peut le voir correctement car la lumière trop forte lui blesse les yeux » Ibn Al Haytham, *opticae Thesaurus*, cité par D. Raynaud.

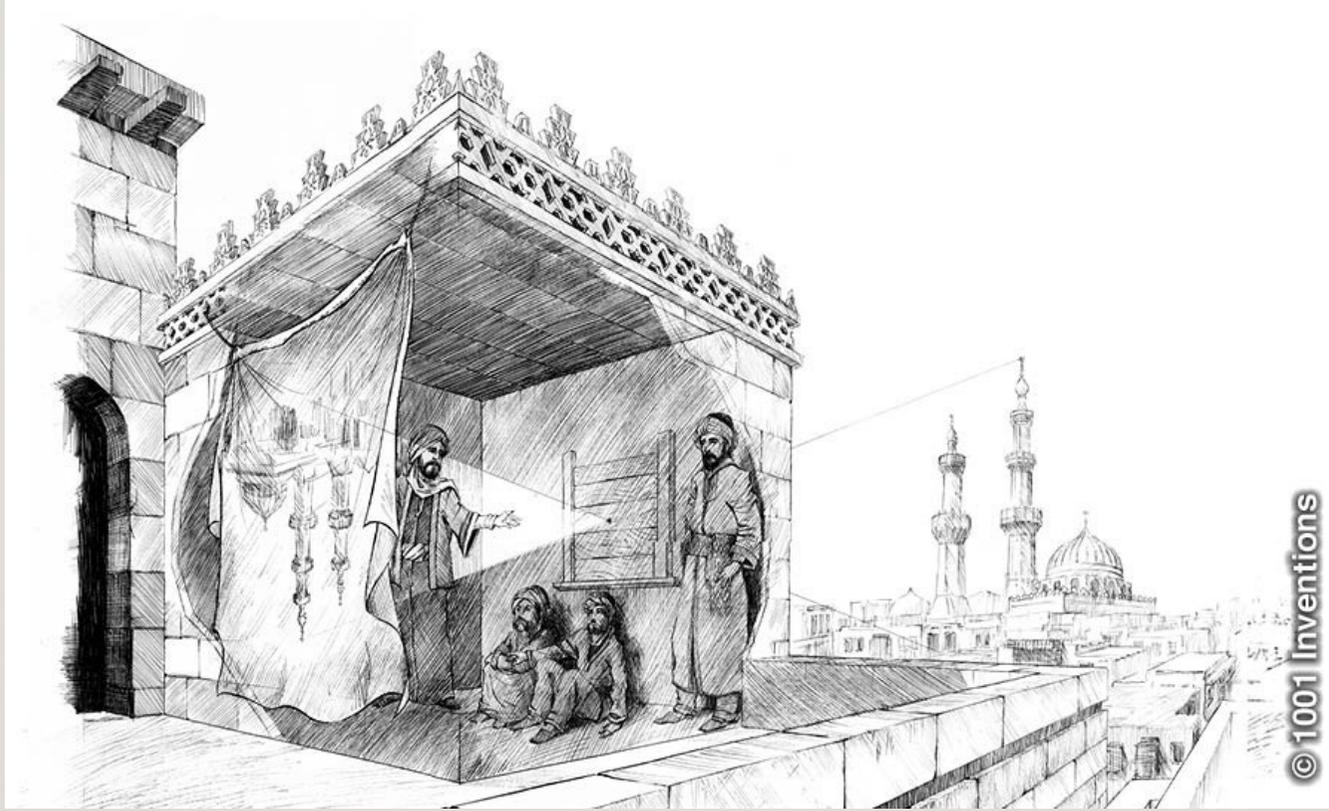
LA CAMERA OBSCURA

- Chambre noire (= „camera obscura“)
- Pour observer les éclipses
- Pas de notion d'image → ombre et pénombre
- Nouveauté chez Alhazen : correspondance point à point entre l'objet et „l'image“

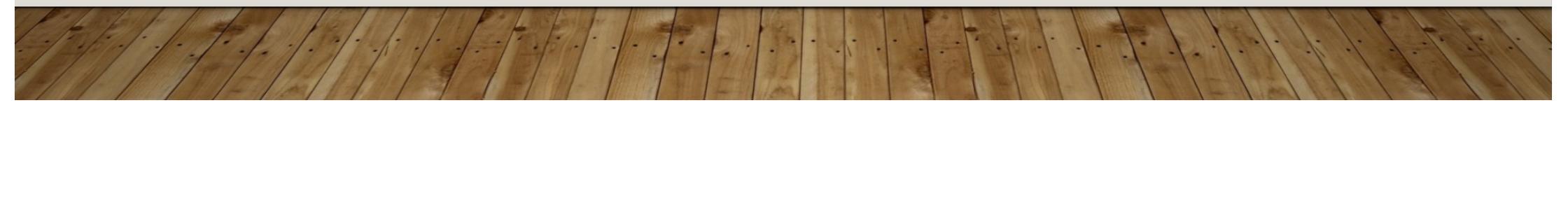


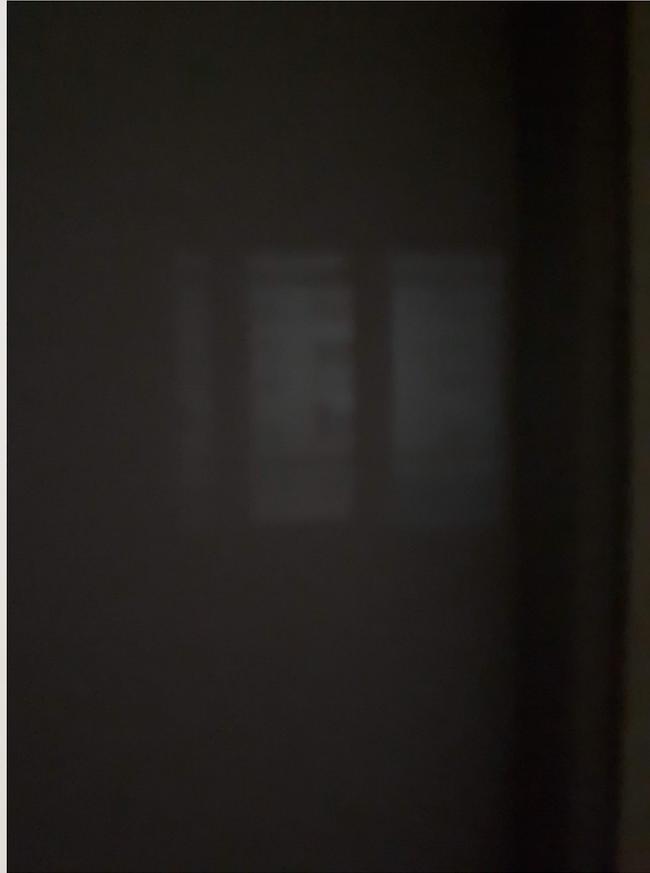
CHAMBRE NOIRE CHEZ ALHAZEN





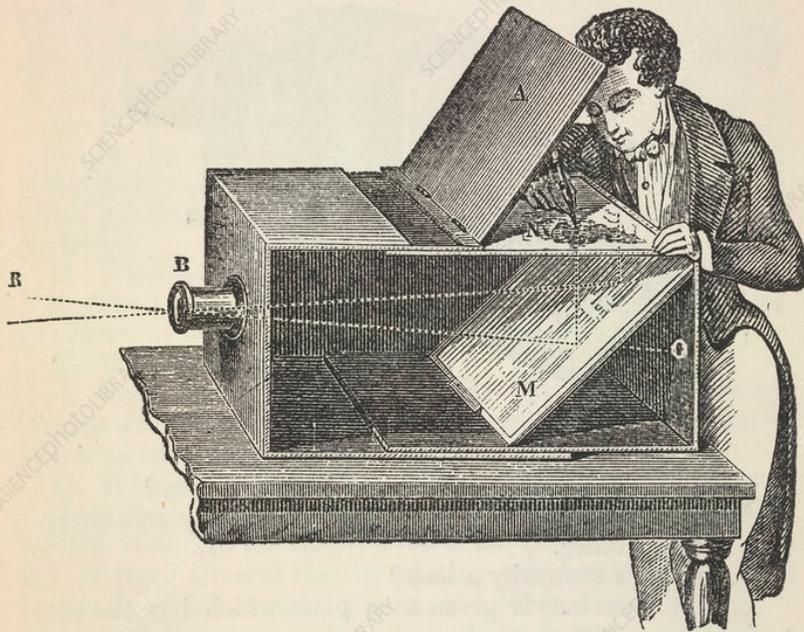
© 1001 Inventions



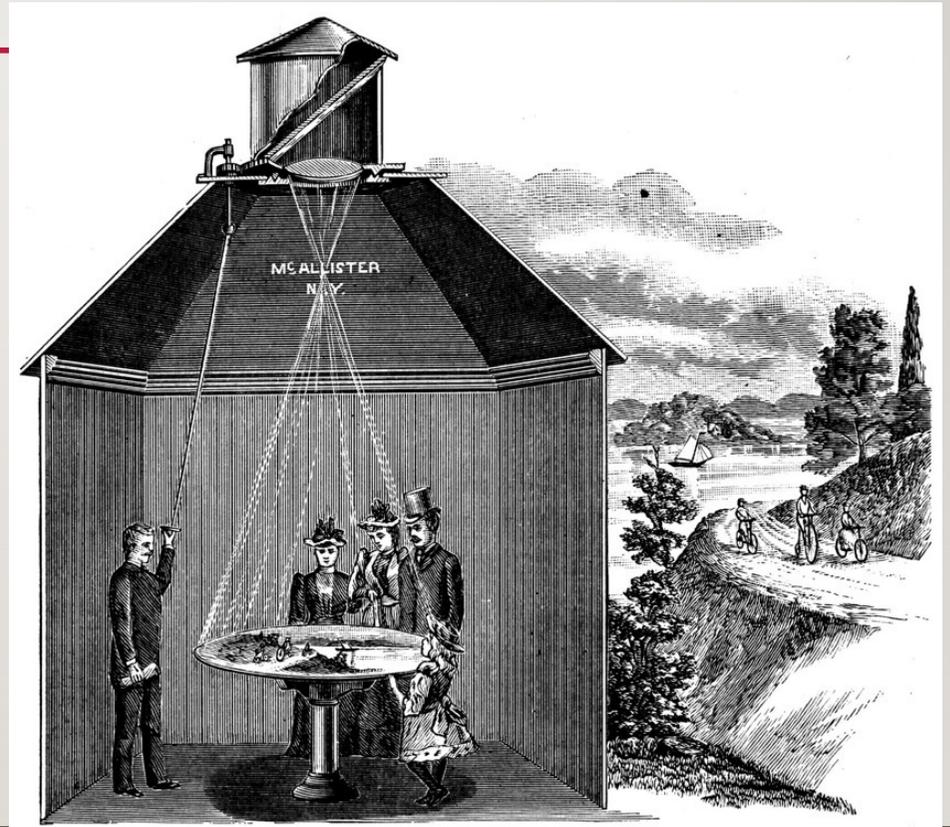


UN PEU PLUS TARD....(FIN 16^{ÈME} SIÈCLE)

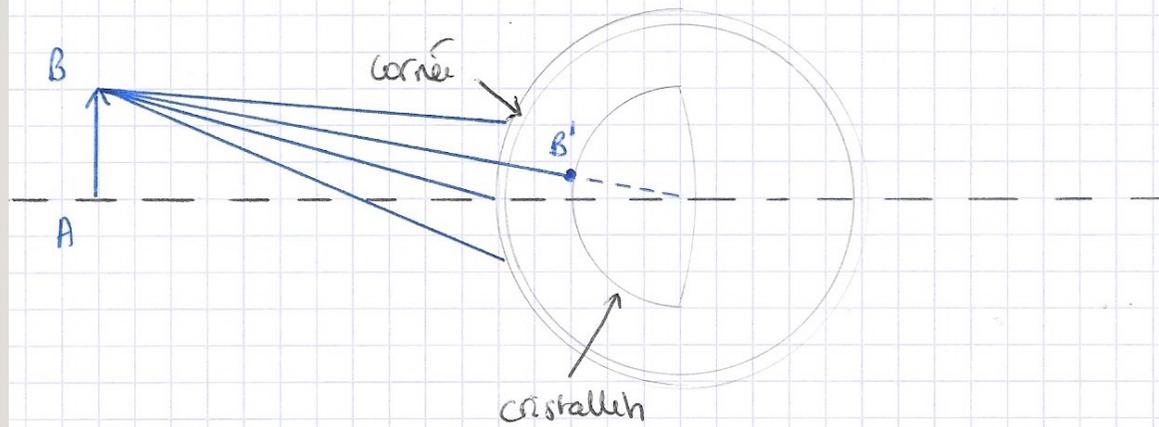
light, which would otherwise render the image on the glass



invisible. The box consists of two parts, sliding in a groove, and is so arranged for the purpose of obtaining a



L'OEIL CHEZ ALHAZEN



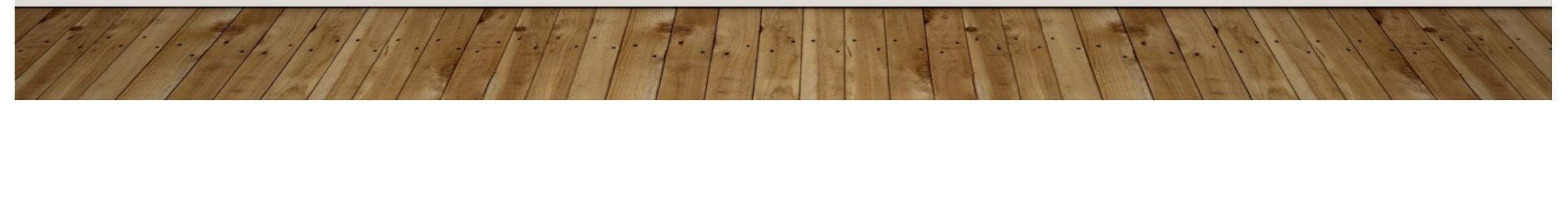
"filtration" de rayons \rightarrow seul le rayon qui est perpendiculaire aux dioptries concentriques est gardé

- Les conditions de visibilité :

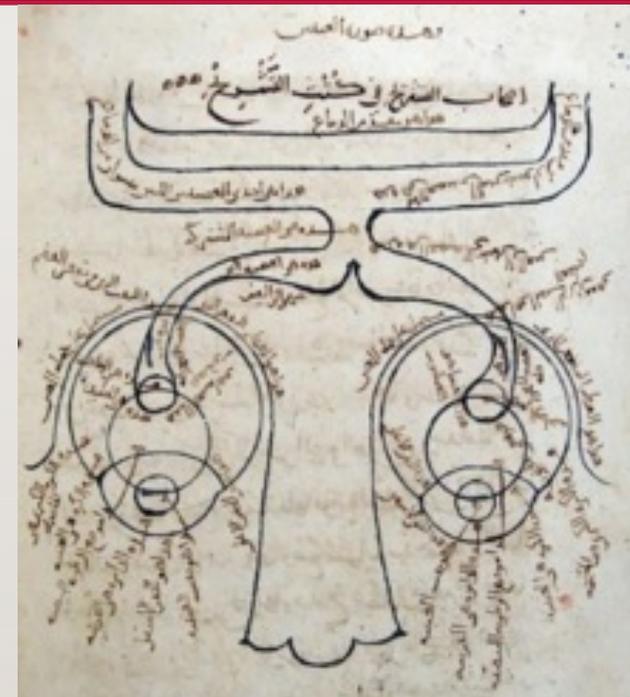
- Chaque point éclairé envoie de la lumière partout, même en l'absence d'œil (la « lumière » existe indépendamment de l'observateur)
- L'objet regardé est analysé point par point
- Seul le rayon perpendiculaire à la cornée crée une sensation au niveau du cristallin (Il n'a pas encore la notion de convergence des rayons)
- Sur le cristallin on obtient une reproduction droite de l'objet qui va voyager vers le cerveau.
- Pas d'image renversée

- « la vision se fait par des rayons venant de l'objet à l'œil. De tout corps illuminé par n'importe quelle lumière part de la lumière dans toutes les directions. [...] Quand l'œil sera placé face à un objet ainsi illuminé, il arrivera de la lumière à sa surface extérieure. Or nous avons déjà établi que la lumière a la propriété d'agir sur l'œil. Nous devons en conclure que l'œil ne peut sentir l'objet vu que par l'intermédiaire de la lumière que celui-ci lui envoie »

Ibn Al Haytham, opticae thesaurus livre I chap V p.7 1572, cité par B. Maitte p35



-
- Comme « l'image optique » se fait à l'extérieur de l'œil, la faculté de jugement intervient.
 - Pas d'image renversée
 - La fusion se fait au niveau du chiasma



LA DIFFICULTE DE CONCEVOIR L'EXTERIORISATION DE L'IMAGE RETINIENNE

- Elle se fait dans le plan objet
 - Avec une taille proportionnelle à l'angle sous lequel on voit l'image intermédiaire
 - Avec une netteté supérieure à celle du meilleur oeil
 - Elle est une si la fusion des IR se fait bien au niveau du cerveau
- ON NE VOIT PAS LE MONDE TEL QU'IL EST, MAIS TEL QUE LE CERVEAU EXTERIORISE LES IMAGES RETINIENNES.

LE « PERPECTIVISME » OU L'ECOLE D'OXFORD

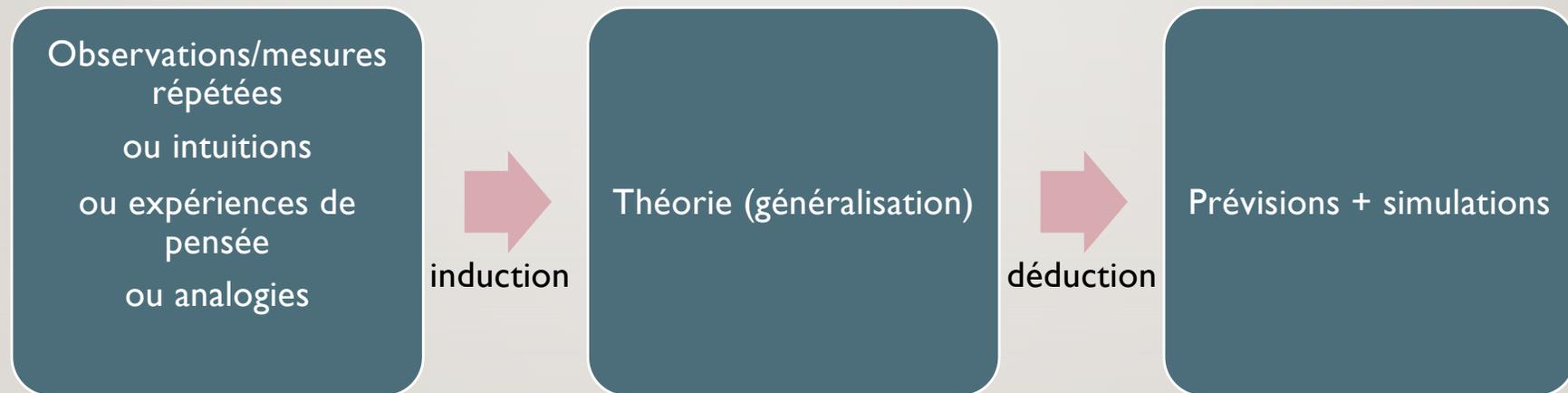
- Robert Grosseteste (1175-1253)
 - Méthode scientifique
 - Mathématisation des phénomènes
 - extramissioniste
- Roger Bacon (1214-1292) « docteur mirabilis »
 - Théorie mixte
- John Pecham (1230-1292)
 - Intrmission, extramission exceptionnellement
- **Witelo ou Vitelo ou Vitellonis (1220-1278) : une méga synthèse des idées en optique « de perspectiva » qui sera publiée en 1572, en même temps que l'optique de Alhazen (traduite en latin).**

JOHANNES KEPLER (1571-1630) LE MYSTIQUE

- Il publie « paralipomènes à Vitellion », en 1604
 - La lumière se propage d'un centre (le Père), dans un espace intermédiaire (le Saint-Esprit) pour atteindre l'œil (le fils).
 - Le flux de la lumière arrive d'un point source suivant un nombre infini de droites, les « rayons lumineux »
 - Unification « lux » et « lumen »
 - Vitesse de la lumière infinie car la lumière n'a pas de masse



LA DÉMARCHE SCIENTIFIQUE



DES AVANCÉES EN ANATOMIE

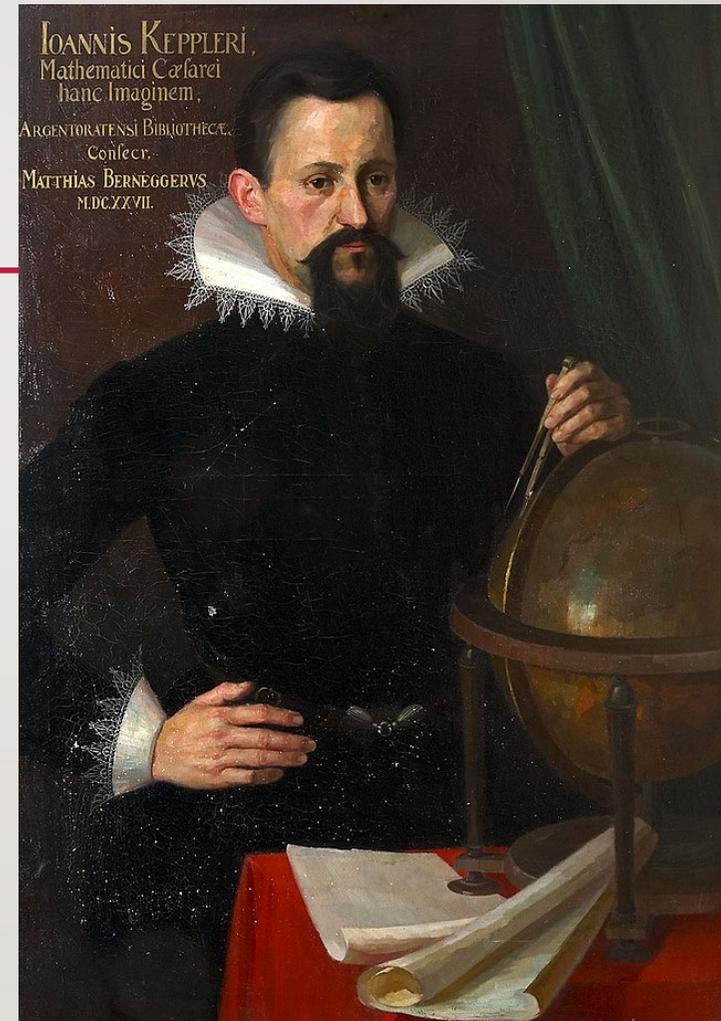
Felix Platter (1536-1614):

- Le cristallin fonctionne comme une loupe
- La rétine est photosensible
- Le cristallin est au centre de l'œil



L'OEIL DE KEPLER

- Analogie de l'œil avec une chambre noire munie d'une lentille convergente
- l'œil est un appareil imageur et l'image rétinienne est renversée. Le cristallin permet la convergence de rayons au départ divergents.
- Distinction entre imago (sur la rétine) et pictura (sur un écran) : seule la pictura se forme « scientifiquement » par croisement des rayons



CONTRIBUTION ANATOMIQUE

- Christoph Scheiner (1575-1650): le débouché du nerf optique sur la rétine n'est pas sur l'axe optique, mais du côté nasal (1619)



RENE DESCARTES (1596-1650)

« La dioptrique » 1637

3 phases dans la vision :

- Phase optique qui donne une image rétinienne (qui représente point à point l'objet)
- Phase nerveuse qui la transmet au cerveau
- Phase mentale : la pensée de l'âme reconstruit l'objet vu



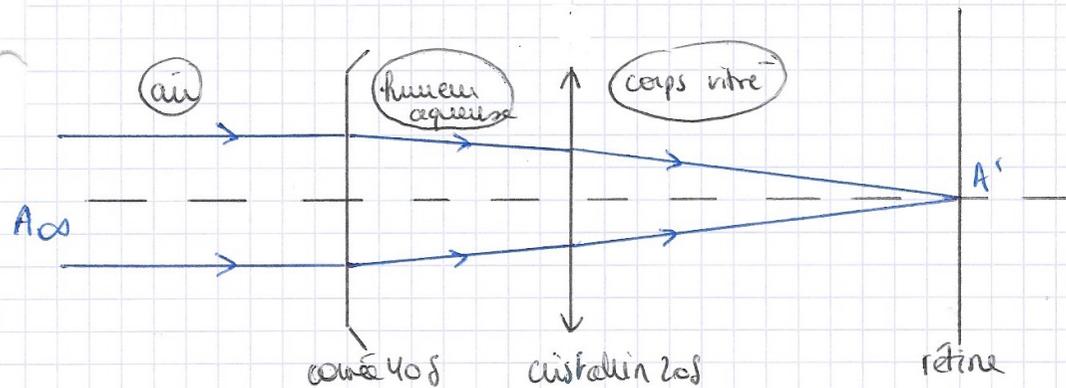
HERMANN VON HELMHOLTZ (1821-1894) ET L'ÉCOLE PHYSIOLOGIQUE ALLEMANDE

- « optique physiologique » 1867 la grande synthèse
- Accommodation par bombement du cristallin
- Vision binoculaire
- Vision stéréoscopique

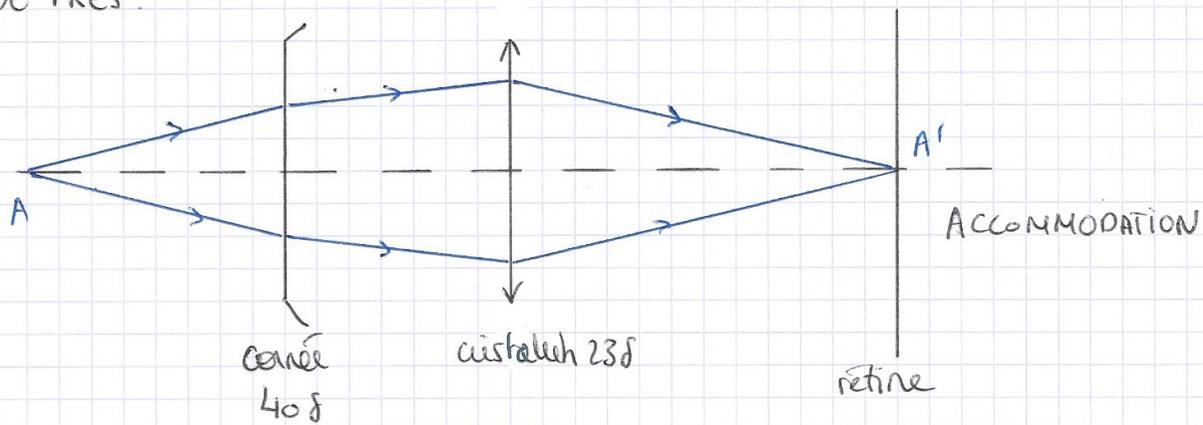


LE FONCTIONNEMENT DE L'OEIL

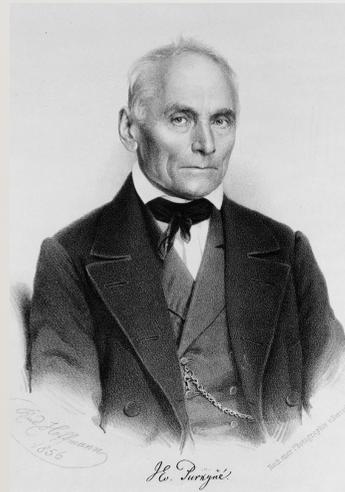
DE LOIN :



DE PRÈS :



JAN EVANGELISTA PURKINJE (1787-1869)



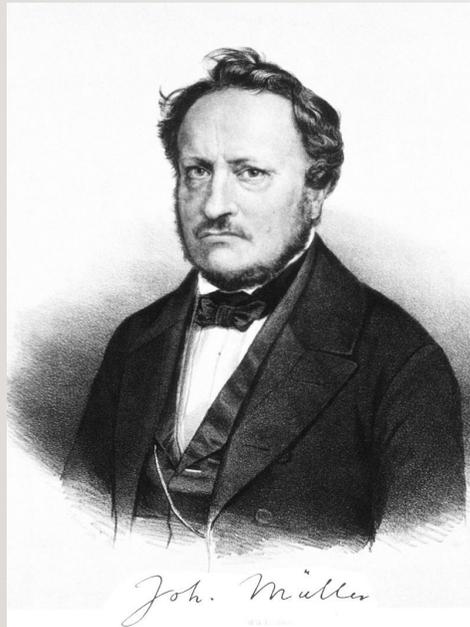
EWALD HERING (1834-1918)



ERNST WILHELM VON BRÜCKE (1819-1892)



JOHANNES PETER MÜLLER (1801-1858)



CONCLUSION

- THEORIES INTRO- VS EXTRAMISSIONNISTE = l'une des grandes controverses de l'Antiquité et du Moyen-Age
- En réalité le cerveau permet la reconstruction d'un monde tridimensionnel à partir de deux image rétiniennes sphériques, déformées, nettes au centre seulement et renversées !

-
- Faire un fond d'œil tous les 2 ans au minimum chez l'ophtalmo !

<https://www.opticiensparconviction.fr/l-examen-du-fond-d-oeil>

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

