

# Écouter, regarder l'emprise des sens

Pierre Gilliot



[physiquepourtous.unistra.fr](http://physiquepourtous.unistra.fr)



*Institut de physique et chimie des matériaux de Strasbourg*

# Écouter, regarder l'emprise des sens

La Cité idéale

(1498)

*Galleria Nazionale delle Marche –  
monastère Sainte-Claire d'Urbino*

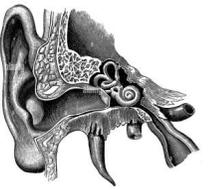
## Espace

*position & profondeur*

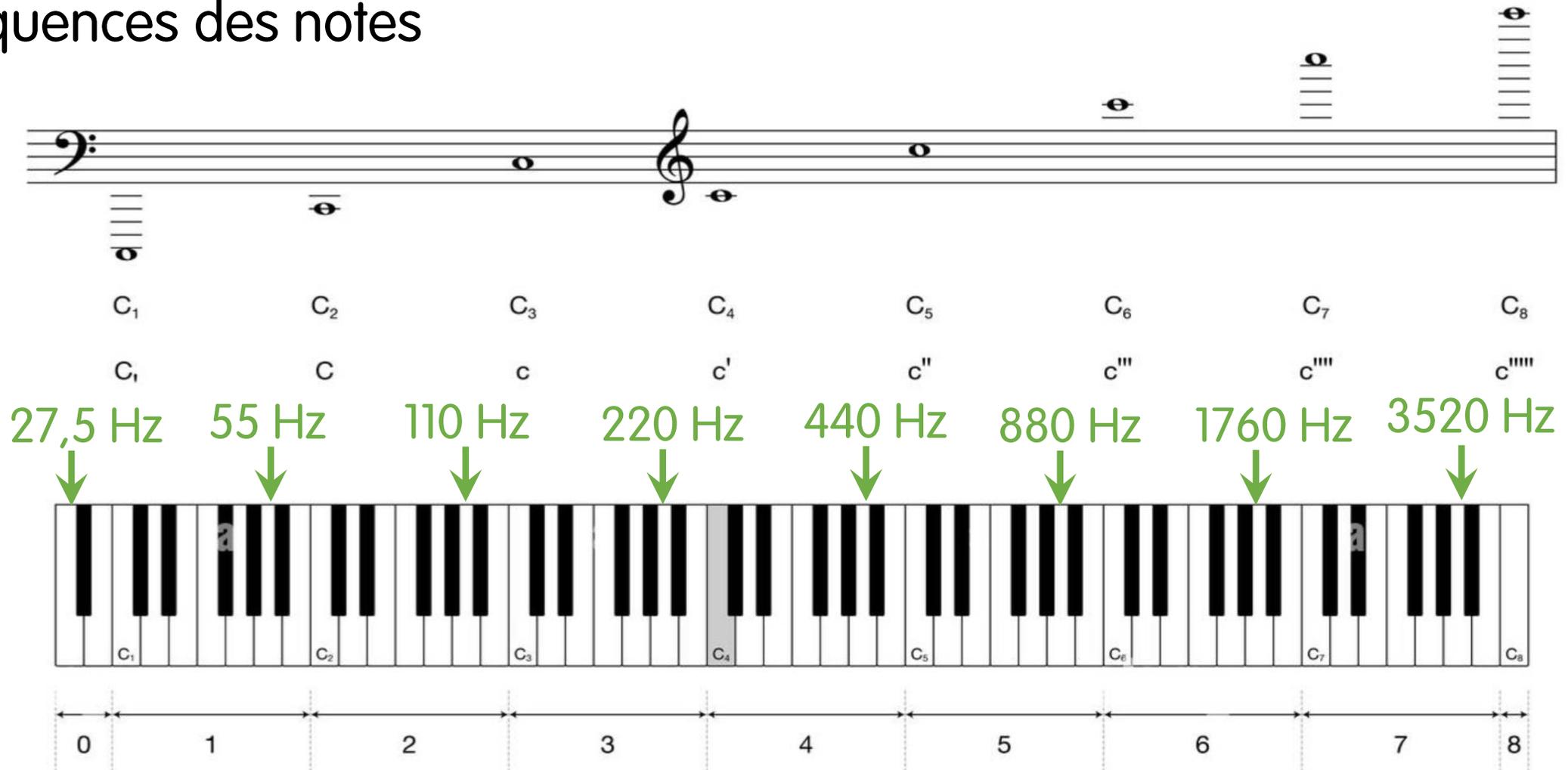


# Localisation des sons

# Le piano logarithmique

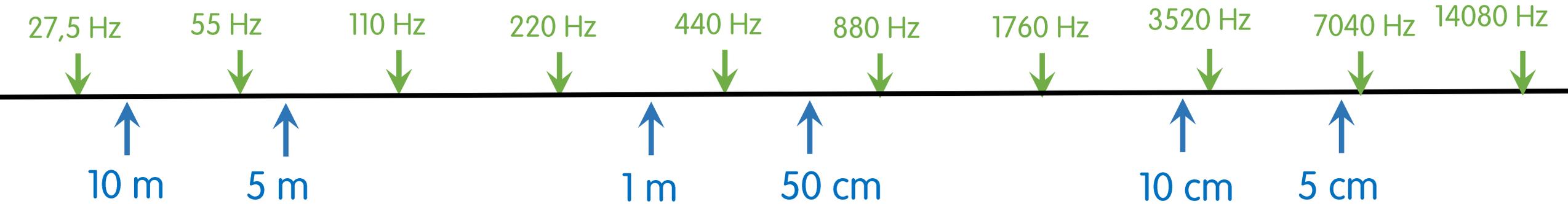
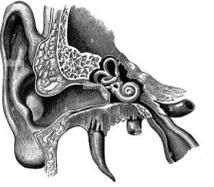


Les touches du piano correspondent au logarithme des fréquences des notes

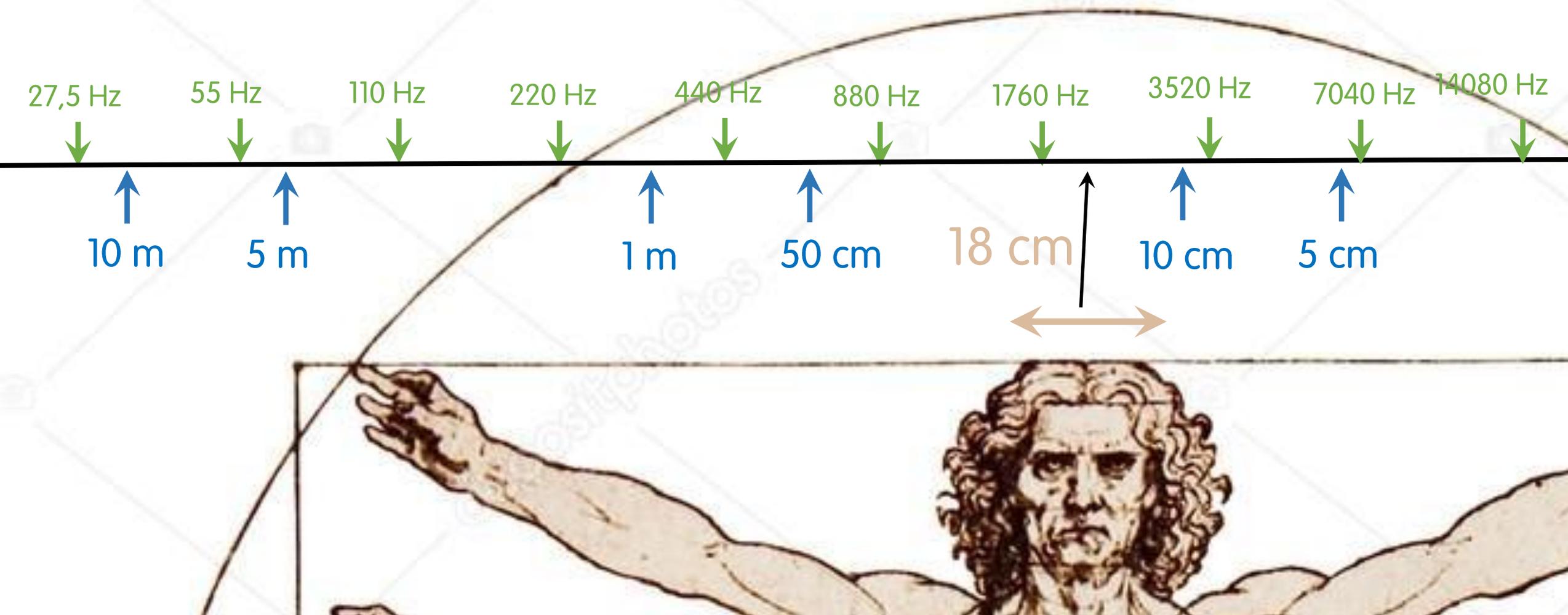
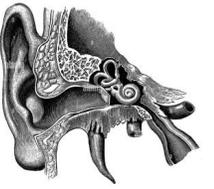


La fréquence est multipliée par un facteur à chaque saut : exemple facteur 2 pour l'octave.

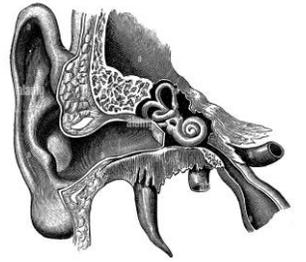
# Fréquences et longueurs d'onde



# Fréquences et longueurs d'onde



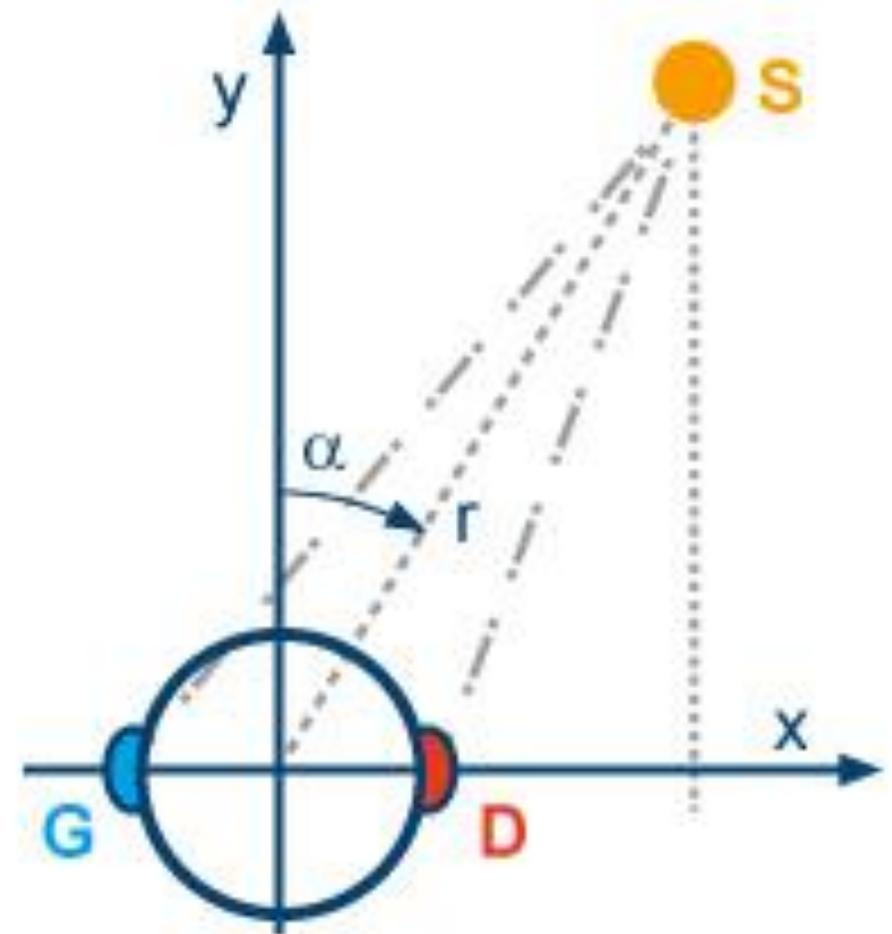
# Localisation sonore



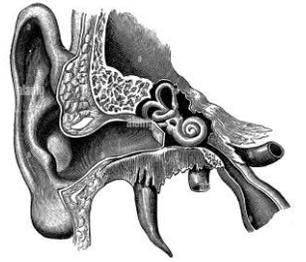
## Différence d'intensité interaurale (IID)

Les fréquences aiguës correspondent à de petites longueurs d'onde : elles sont très directionnelles.

Les intensités sonores sont très différentes d'un côté et de l'autre du crâne et donc d'une oreille à l'autre.



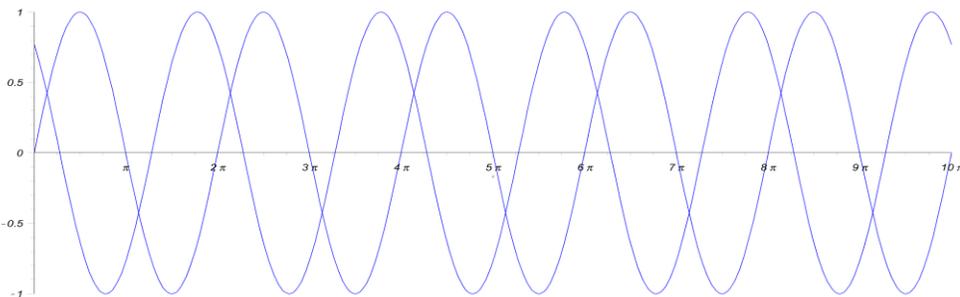
# Localisation sonore



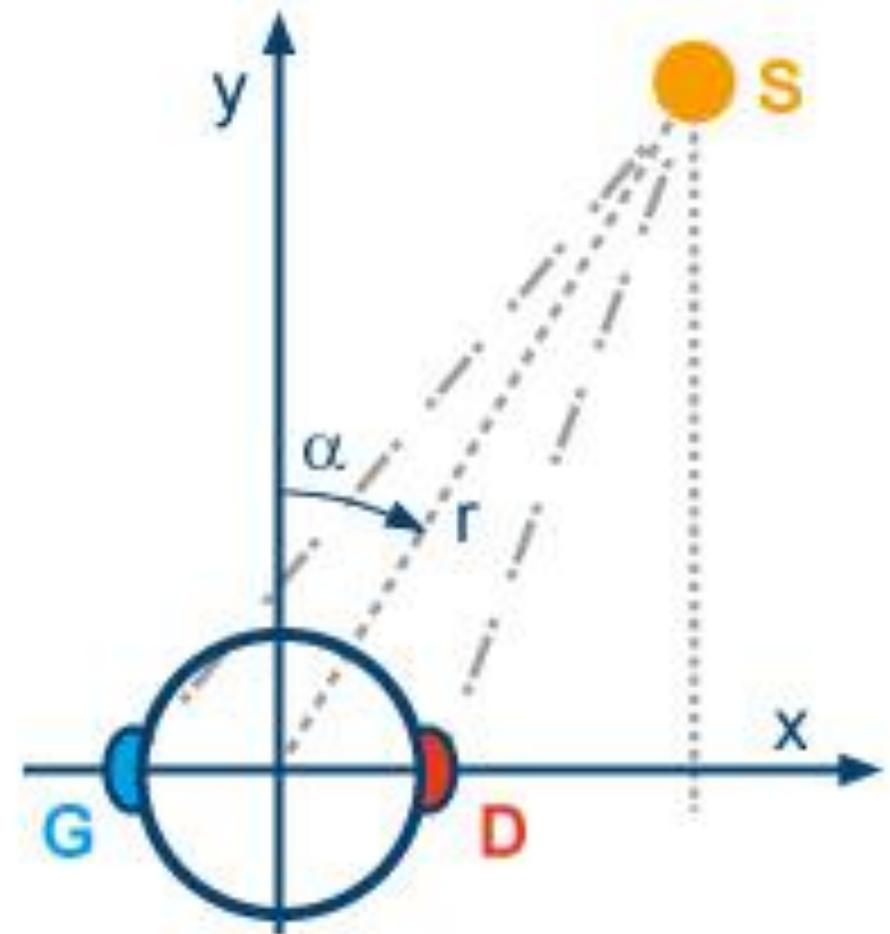
## Différence de temps interaurale (ITD)

Les fréquences graves correspondent à de grandes longueurs d'onde : elles enveloppent le crâne et leur intensité ne présente que peu de différence d'une oreille à l'autre.

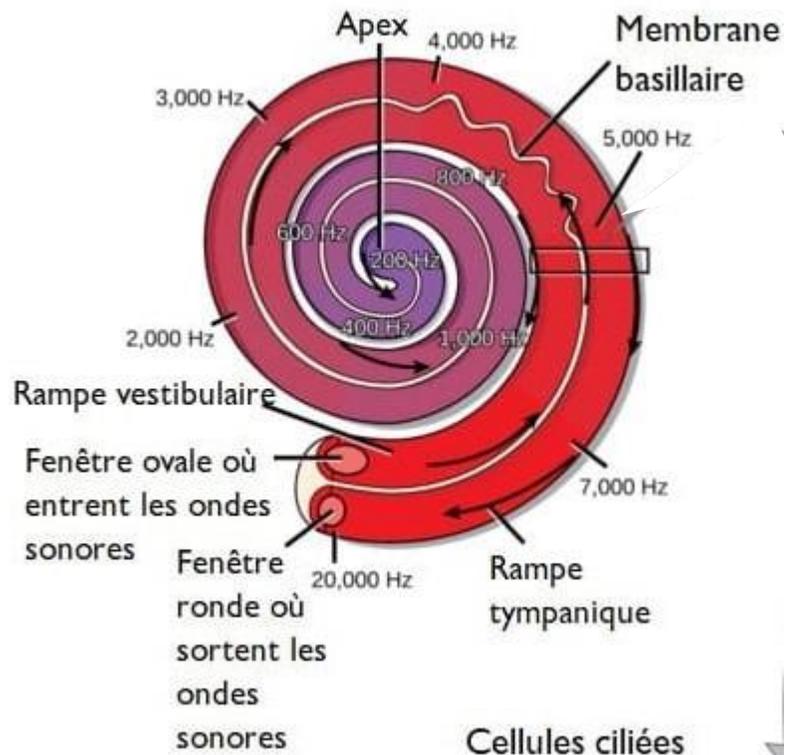
Par contre la différence de phase est perceptible.



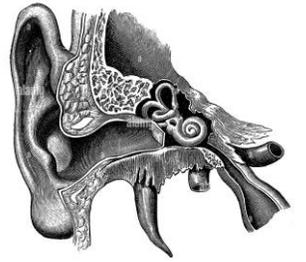
$d=18\text{cm}$   
 $\lambda=50\text{cm}$   
 $\nu=680\text{ Hz}$



# vue et ouïe l'oreille



dans la cochlée : l'organe de Corti

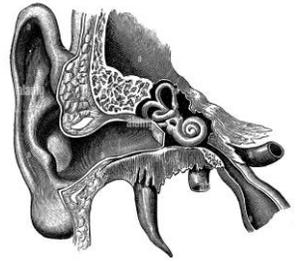


- Les cellules ciliées transforment la vibration du liquide en signal nerveux transmis au cerveau
- Le diamètre diminue tout du long de la propagation. Les sons aigus traversent la membranes basillaire et sont captés au début. Plus les sons sont graves plus la vibration progresse loin

*Intensité ou amplitude? Comment a-t-on l'information de phase ?*

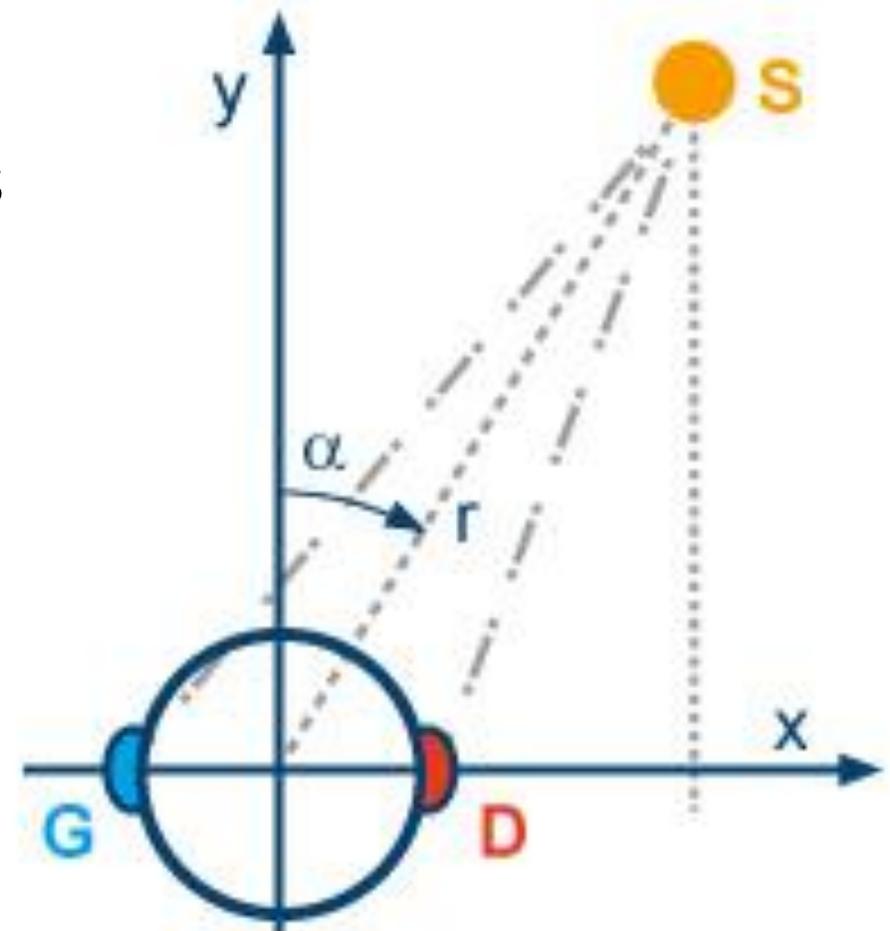
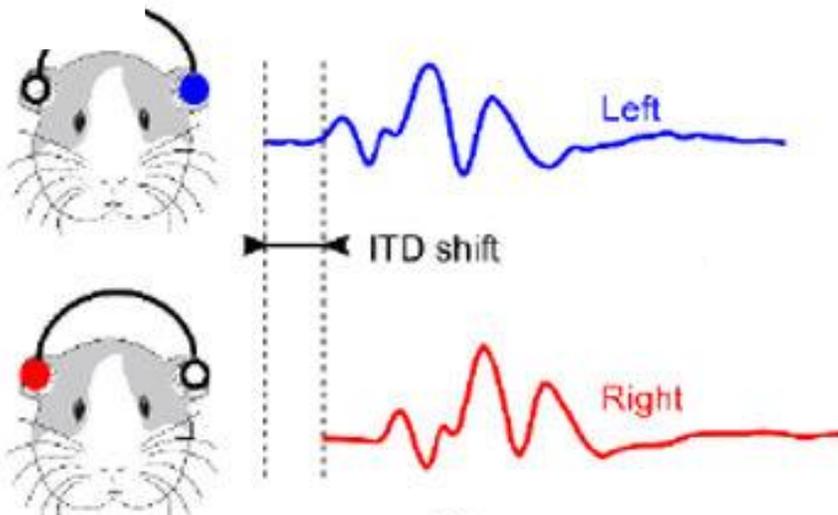
- filtrage spectral par la cochlée
- temps de réponse rapide

# Localisation sonore

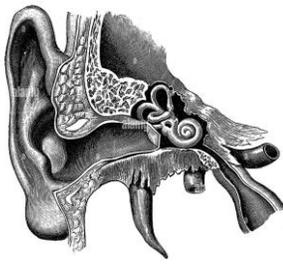


## Différence de temps interaurale (ITD)

Pour les fréquences intermédiaires et les fréquences aiguës : temps d'arrivée du paquet d'onde



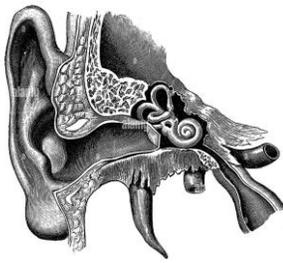
# Audition binaurale : discrimination spatiale



- L'audition binaurale permet de localiser les sons dans l'espace et donc de discriminer une source par rapport à une autre



# Audition binaurale : discrimination spatiale



- L'audition binaurale permet de localiser les sons dans l'espace et donc de discriminer une source par rapport à une autre
- La perte de l'audition d'une oreille rend difficile la tenue d'une conversation dans un brouhaha (restaurant, bar ...)

Louis-Anselme Longa

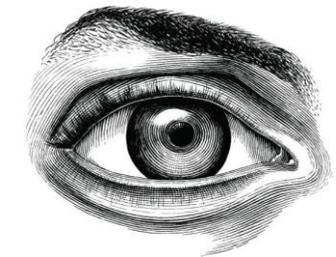
copie d'un tableau d'Horace Vernet

**Camille Desmoulins haranguant la foule au  
Palais-Royal le 12 juillet 1789, dit à tort « La  
Journée du 13 juillet 1789 »**

(2<sup>e</sup> quart de XIX<sup>e</sup> siècle))

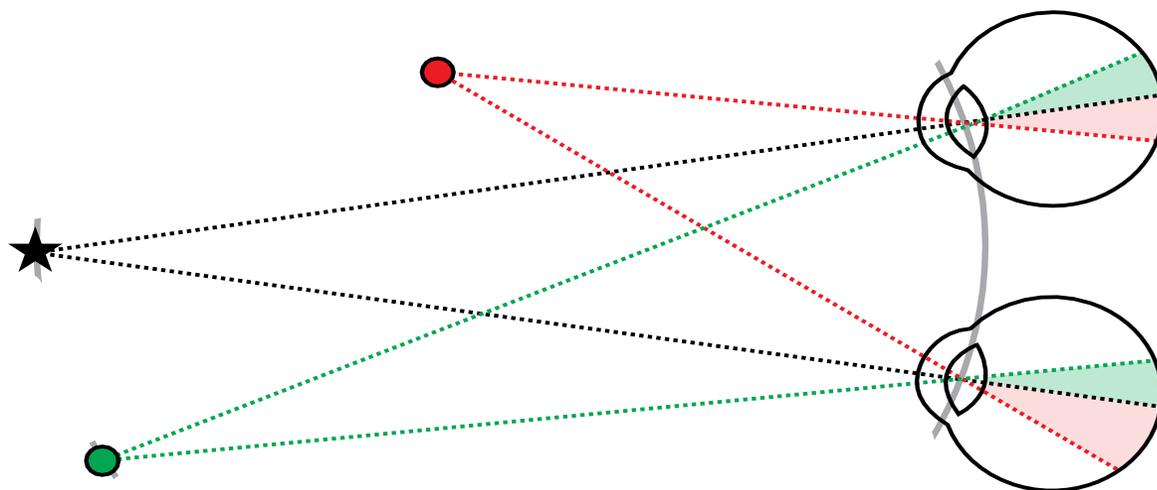
*Hôtel de ville – Saint-Sever*

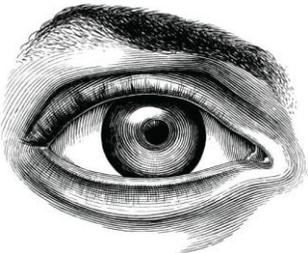
Vision binoculaire



# Vision binoculaire

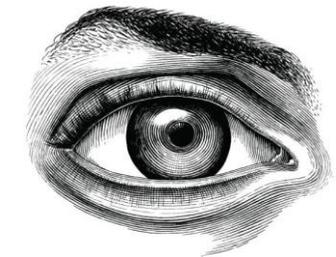
Le procédé qui permet aux deux oreilles de localiser la source d'un son dans l'espace à son pendant pour la vue



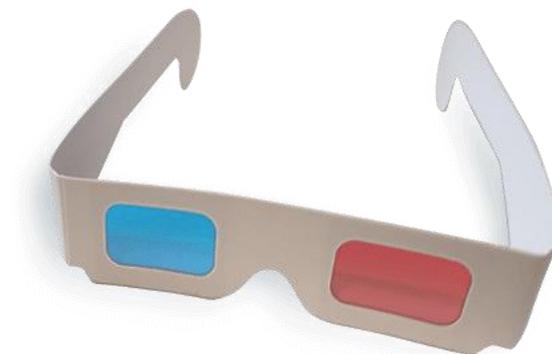


# Images stéréoscopiques



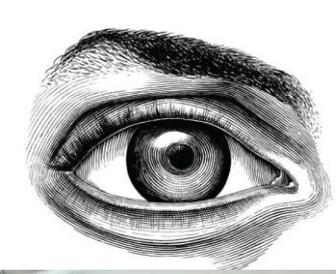


# Images stéréoscopiques



Porte extérieure des Pêcheurs.  
Außeres Fischertor.  
Staatsarchiv Basel-Stadt, NEG A 4854.

**1870 Strasbourg brûle-t-il ?**  
Archives de Strasbourg  
(2010)



# à plat ou en relief ...?

## Tournier petites proses



folio

Texte intégral

### LA VIE PLANE

L'opticien reposa son ophtalmoscope et dit en guettant avec une curiosité évidente l'effet de ses paroles sur moi :

— Eh bien voilà ! C'est très simple, vous êtes borgne.

— Borgne, moi ? Mais j'ai deux yeux, et je vois des deux yeux !

— Sans doute vous voyez des deux yeux, mais jamais des deux yeux *en même temps*. Vous êtes myope de l'œil droit, hypermétrope du gauche. Et ces faiblesses sont telles que vos yeux se relaient exactement. Supposez un objet placé à vingt centimètres de votre visage.

Il prit sur la table un petit cadre sur lequel étaient inscrites des lettres.

— Vous le voyez parfaitement. De votre œil droit seulement. L'objet est beaucoup trop près pour votre œil gauche qui, pendant ce temps, se repose. J'éloigne l'objet. Le voilà à cinquante centimètres. Votre œil droit commence à peiner. Mais votre œil gauche — l'hypermétrope — se réveille. Encore dix centimètres,

134

Images

c'est fait. L'œil droit abandonne et passe le témoin à son voisin, qui le relaie si fidèlement que vous ne vous êtes aperçu de rien.

— Admirable ! Comme je suis perfectionné ! Comme mes yeux sont intelligents ! C'est vrai, puisqu'on a deux yeux, pourquoi ne pas les spécialiser et diviser leur travail ?

— Ne triomphez pas trop, dit l'opticien. Tout va bien, en effet, à condition que vous n'attachiez aucun prix à la perception du relief.

— Parce que je ne perçois pas le relief ?

— Évidemment non. Pour percevoir le relief, il faut voir en même temps des deux yeux. C'est le léger décalage des deux images — semblables mais pas identiques — qui donne l'impression du relief.

— Je vis donc dans un monde à deux dimensions seulement ?

— Oui, vous voyez le monde à plat. Il y a pour vous de la droite et de la gauche, du haut et du bas, mais de profondeur, point. C'est la vision du borgne.

— Étonnante révélation ! Alors que faire ?

— Je vais vous fabriquer des lunettes grâce auxquelles vous verrez des deux yeux à la fois, promet l'opticien.

Trois jours plus tard, je ressortais de son magasin avec au visage cet objet qui devait imposer une saine coopération à mes yeux. Je dus tout de suite m'effacer pour laisser entrer une dame. Une dame ? Un nez, ma vie je n'avais vu un nez pareil. Immense, interminable, pointu, dardé vers moi comme un bec de

La vie plane

135

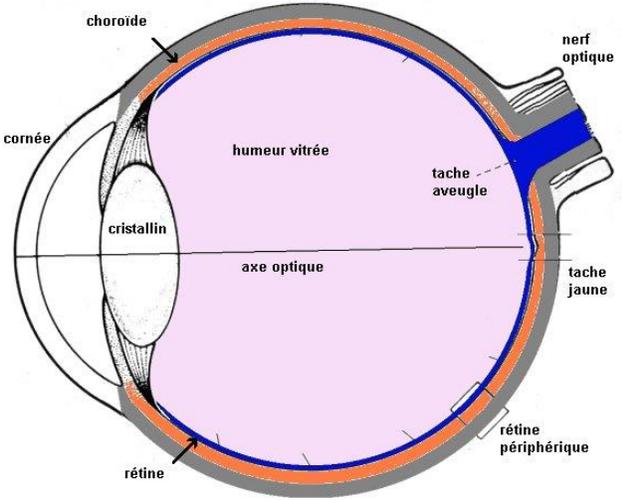
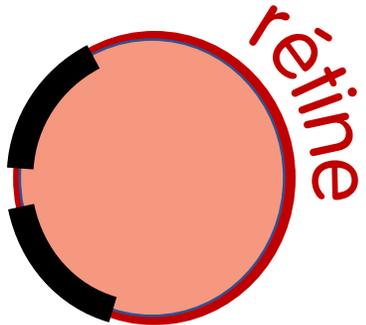
Puis ce fut la rue. La rue ? La ruée bien plutôt, l'enfer. Un hérissément de crocs, une levée de sabres, un déploiement de lances, une charge de taureaux furieux. Les voitures se précipitaient sur moi comme une meute enragée, les passants bondissaient dans ma direction pour m'éviter de justesse au dernier moment. Les objets me sautaient au visage comme des cobras. J'étais le point de mire d'une haine généralisée, universelle, partout manifeste.

Enfin j'accomplis le geste sauveur. Les lunettes repliées disparurent dans ma poche. Ô douceur, ô printemps ! Les passants et les voitures glissaient sans relief, comme des ombres sur une toile. Les immeubles se dessinaient sur un même plan en un inoffensif décor. Les femmes, redevenues tendres et avenantes, évoluaient comme sur la page d'un magazine de mode. Je découvris ainsi le secret de quatre gestes humains universels et antithétiques. D'abord la main plate tendue pour une poignée de main amicale qui s'oppose au poing serré en boule, prêt à frapper ou pour le moins à maudire. Mais surtout le sourire qui est de tous les gestes le plus plat, celui qui s'accommode le mieux de deux dimensions : la bouche se fend en largeur, les yeux se plissent. C'est l'épanouissement de la vie plate. L'enfant le sait bien qui tire la langue, au contraire, pour retrouver la troisième dimension dans une grimace qui est l'opposé du sourire.

Francis Bacon et Raoul Dufy. Les lunettes m'avaient plongé dans l'univers exorbitant, agressif, tire-bouchonnant de Bacon. En les retirant, j'avais retrouvé les gracieux ramage, les motifs chantants, les oiseaux sans épaisseur d'une toile de Dufy.



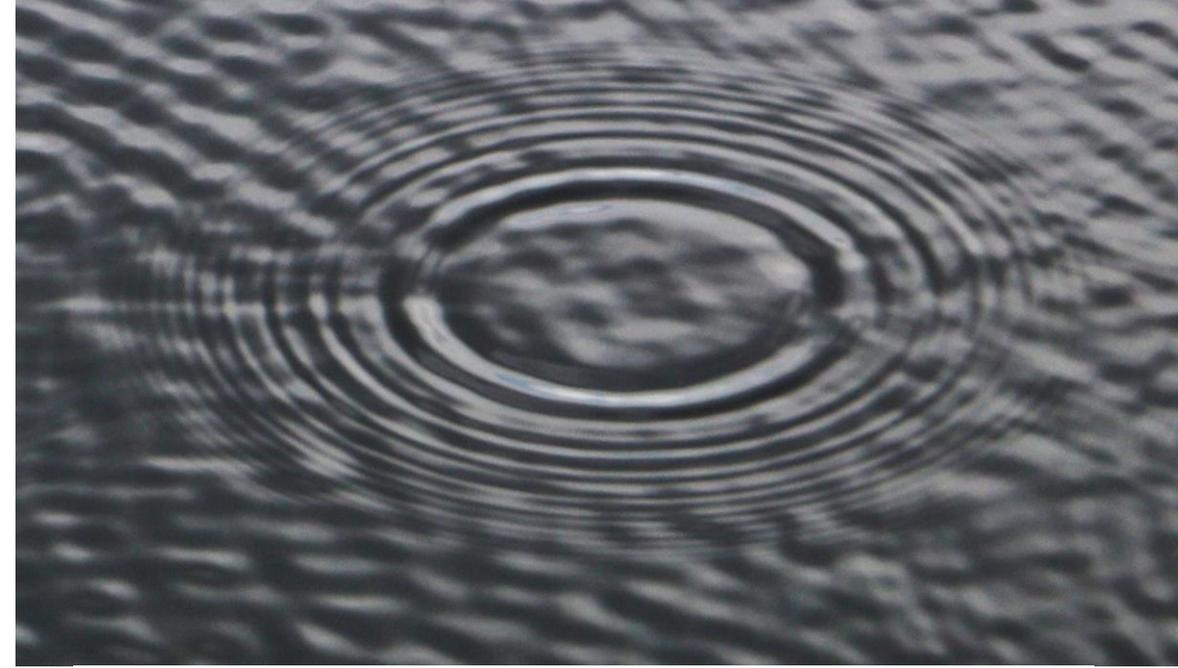
# Formation des images



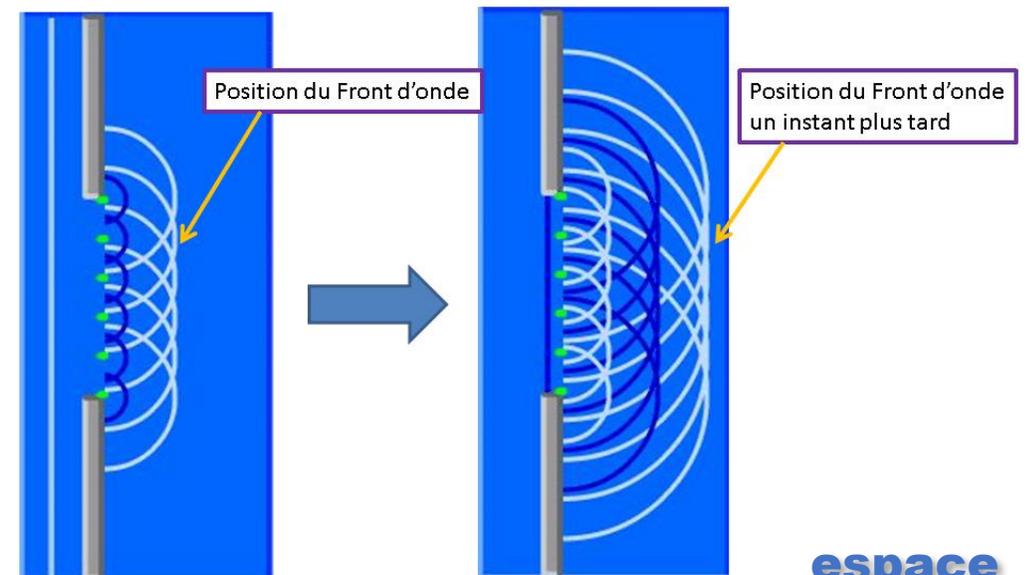
# Longueur d'onde : diffraction & directionnalité

## Principe de *Huygens-Fresnel*

- Chaque point d'un front d'onde est une source.
- Les ondes issues de différents points interfèrent un peu plus loin pour reformer le front d'onde.

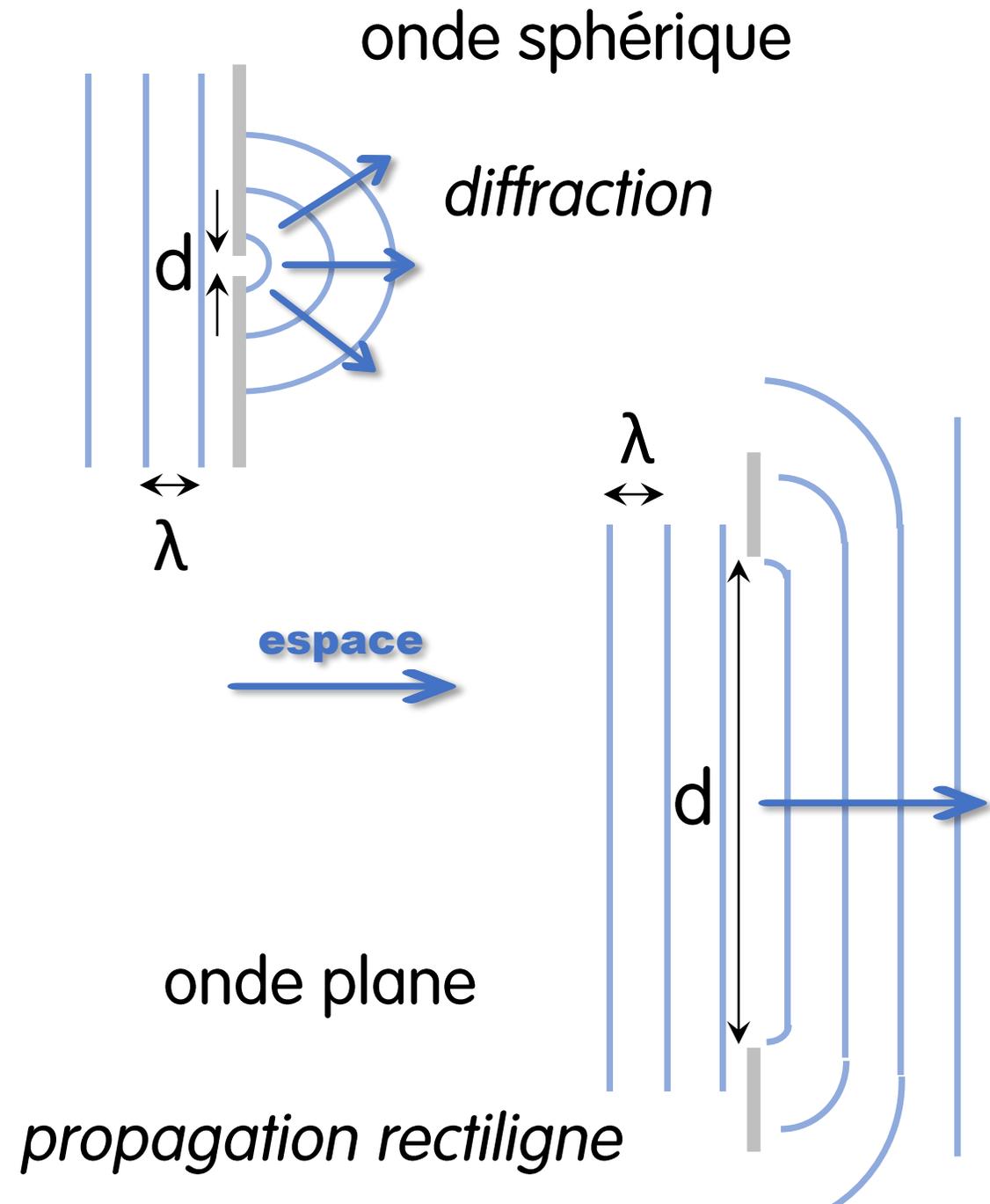


PRINCIPE DE HUYGENS



# Longueur d'onde : diffraction & directionnalité

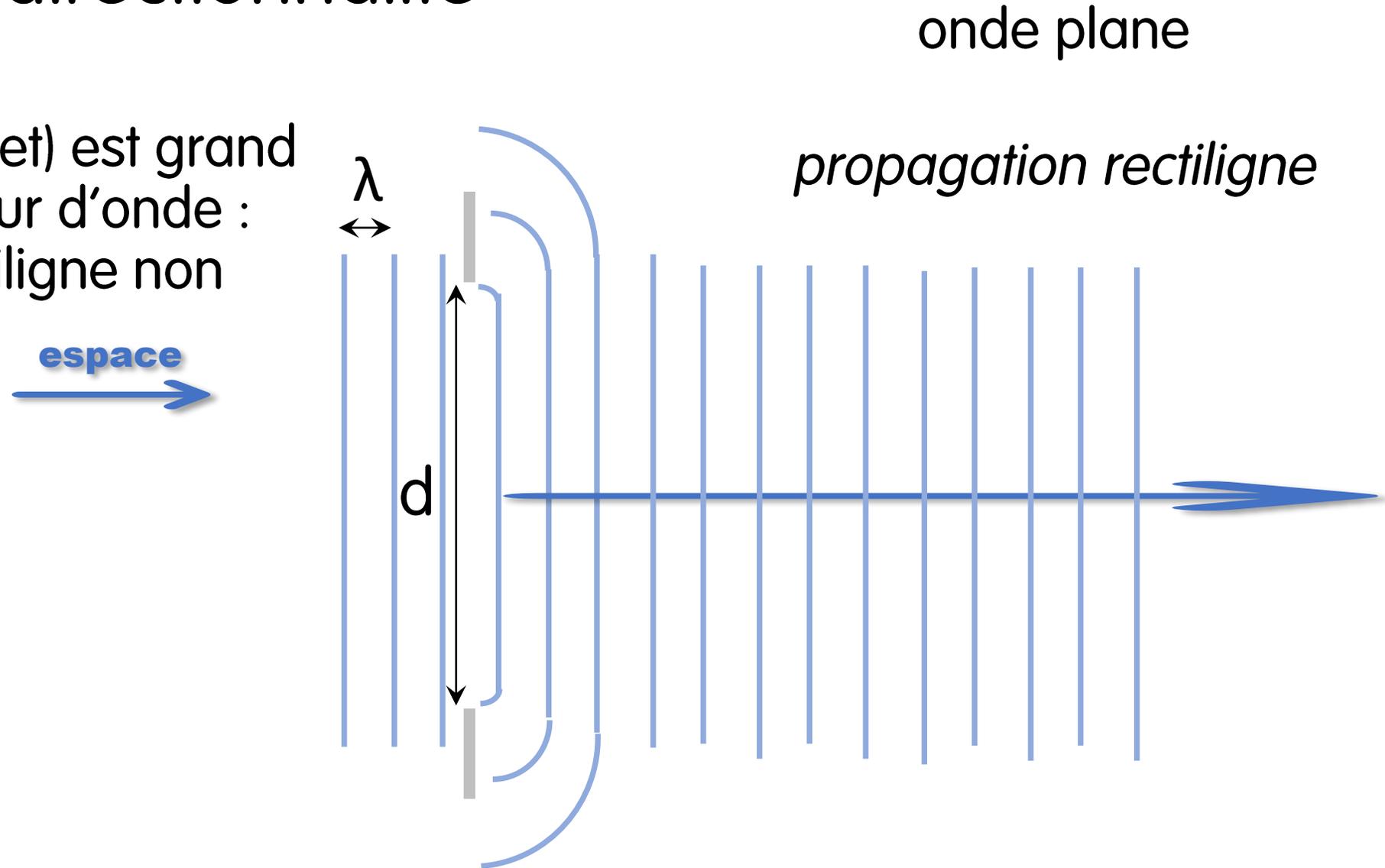
- Si le trou (ou l'objet) est petit devant la longueur d'onde : *diffraction*
- Si le trou (ou l'objet) est grand devant la longueur d'onde : propagation rectiligne non perturbée

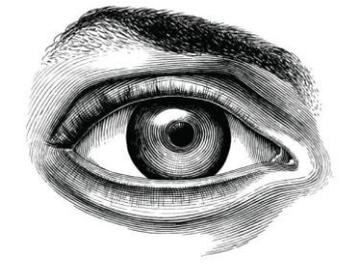


# Longueur d'onde : diffraction & directionnalité

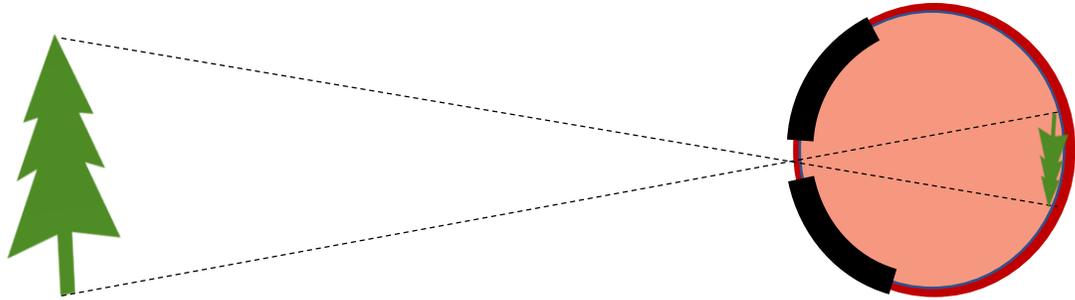
- Si le trou (ou l'objet) est grand devant la longueur d'onde :  
propagation rectiligne non perturbée

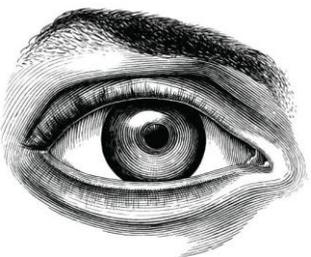
RAYONS



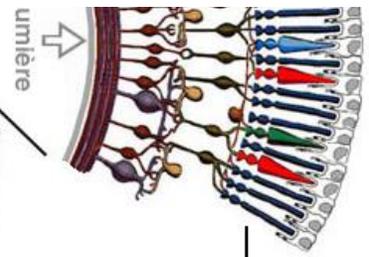
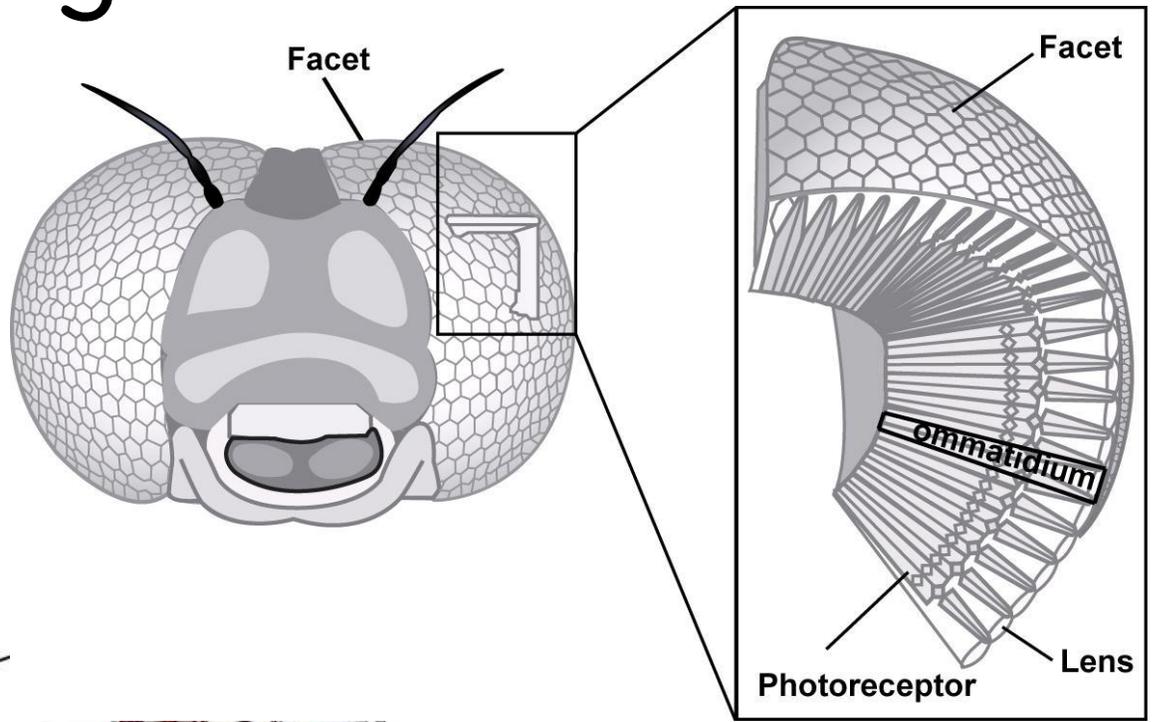
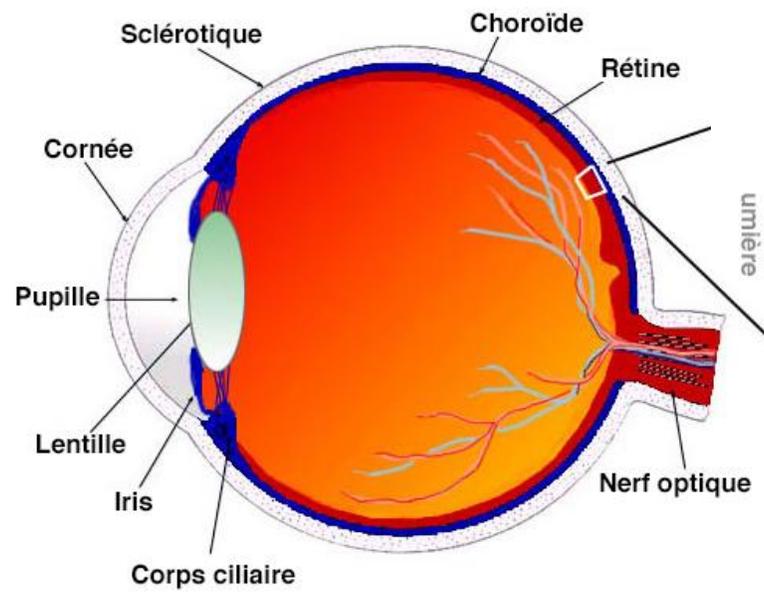
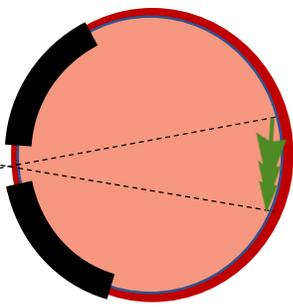


# Formation des images





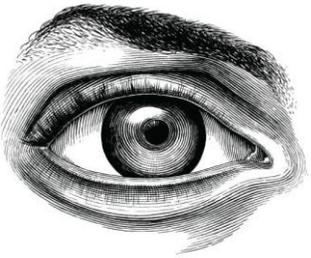
# Formation des images



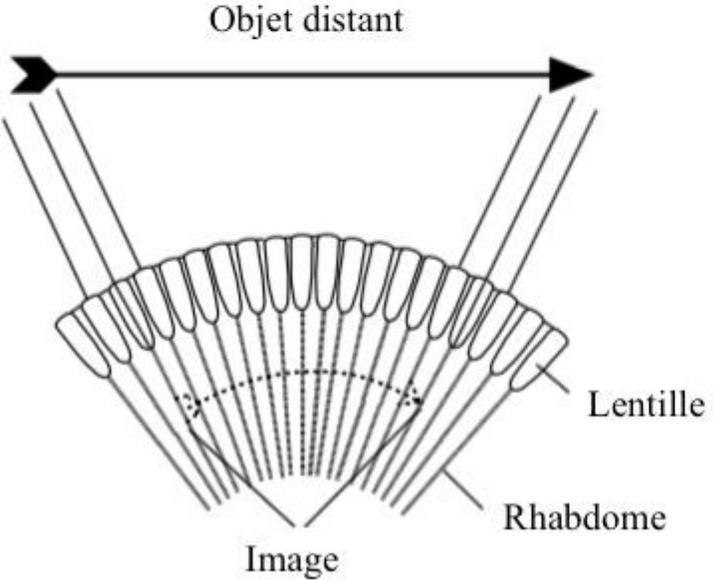
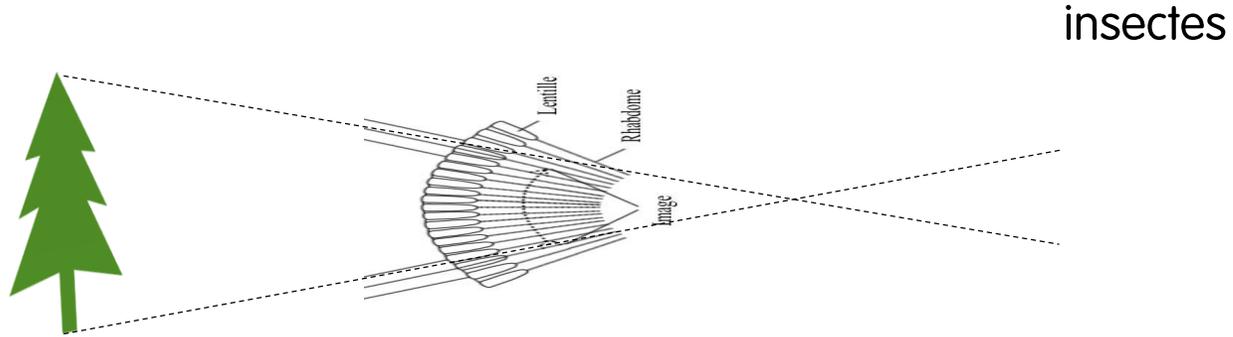
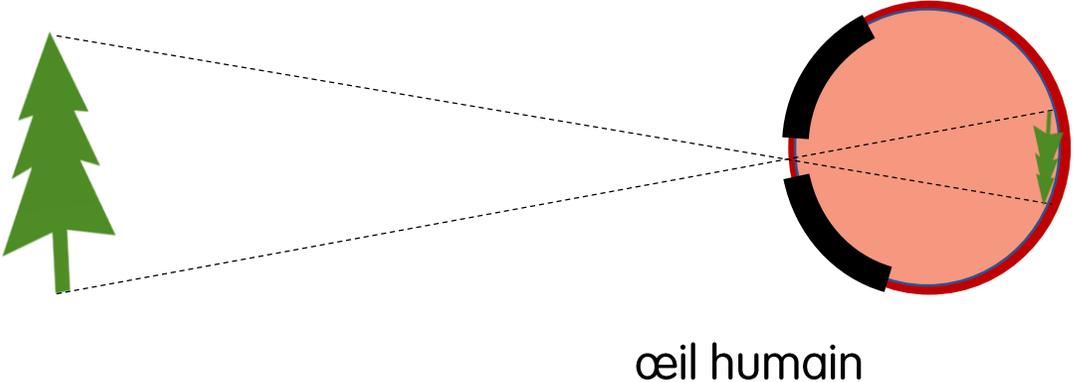
Cônes et bâtonnets

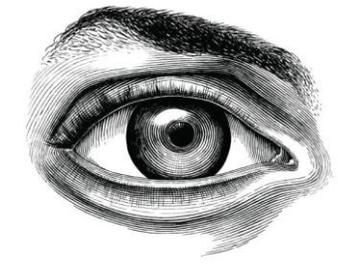
insectes

œil humain

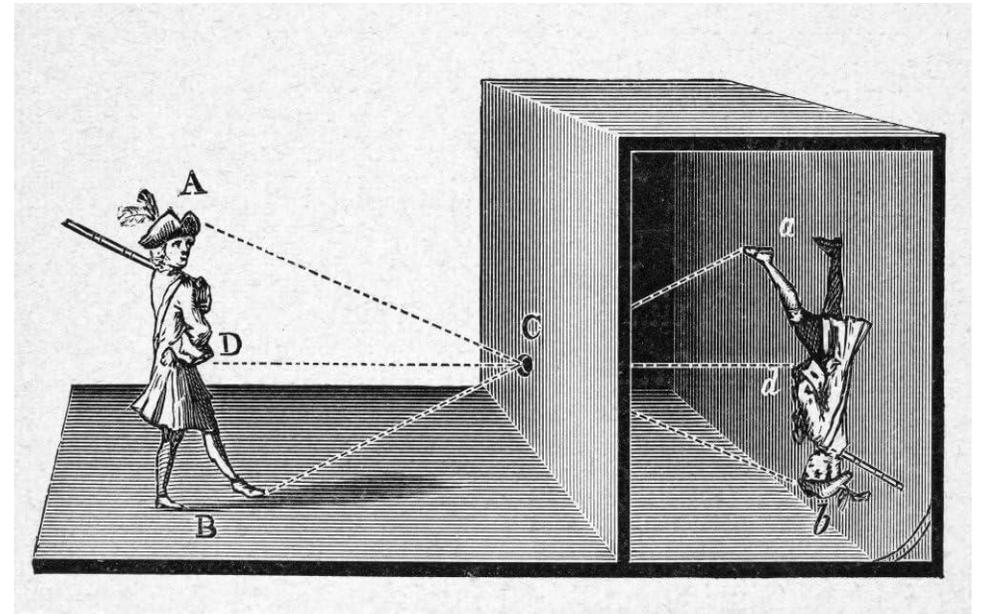
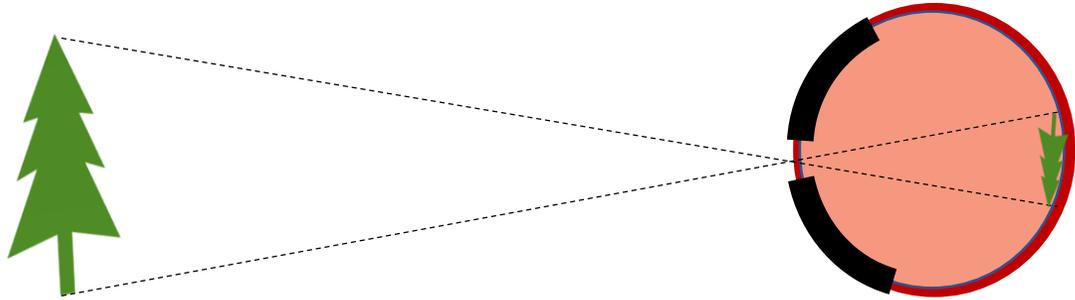


# Formation des images

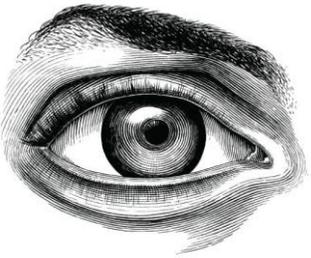




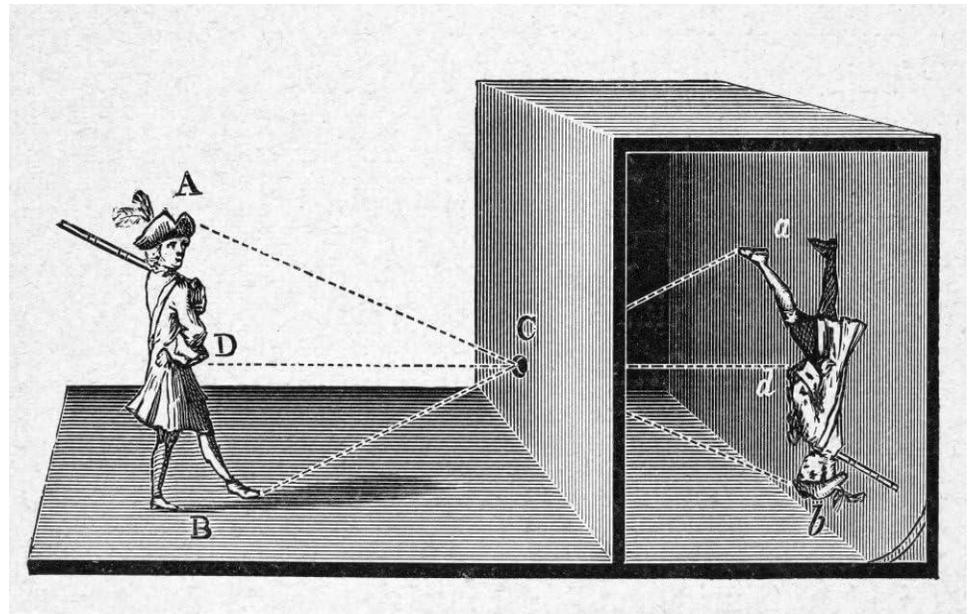
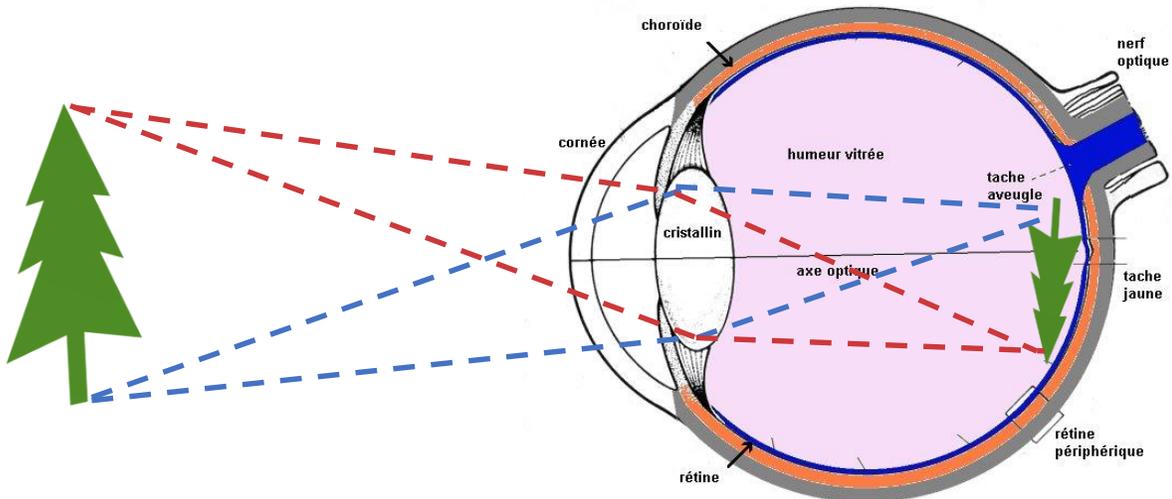
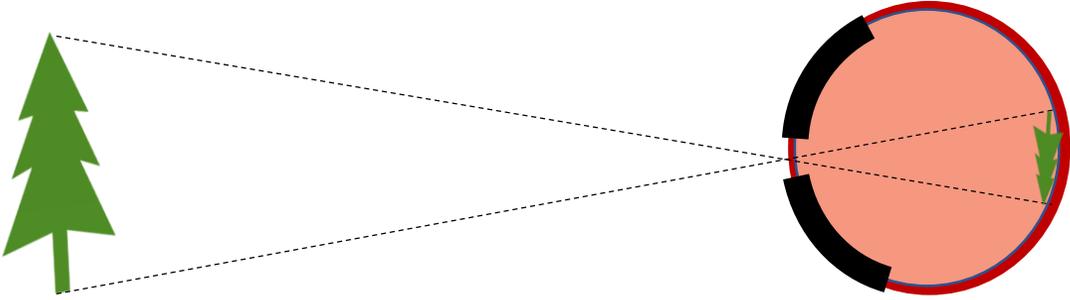
# Formation des images



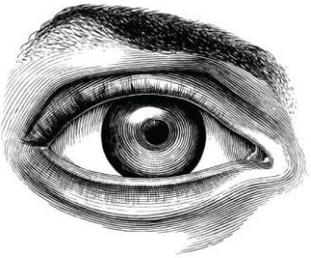
chambre noire  
camera obscura



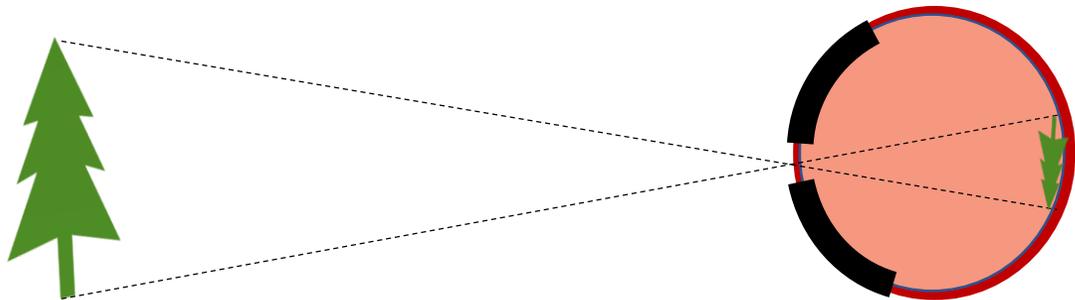
# Formation des images



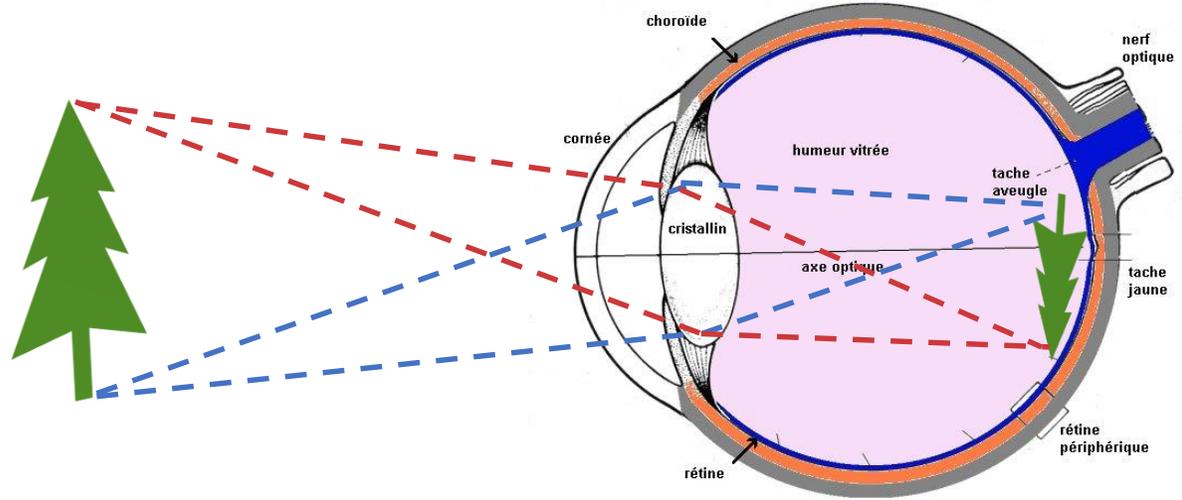
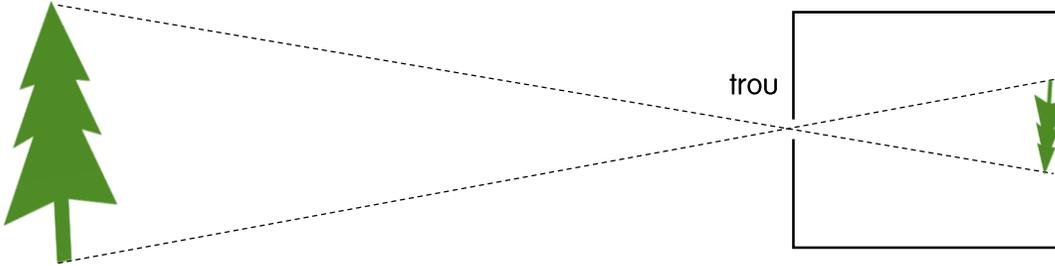
chambre noire  
camera obscura



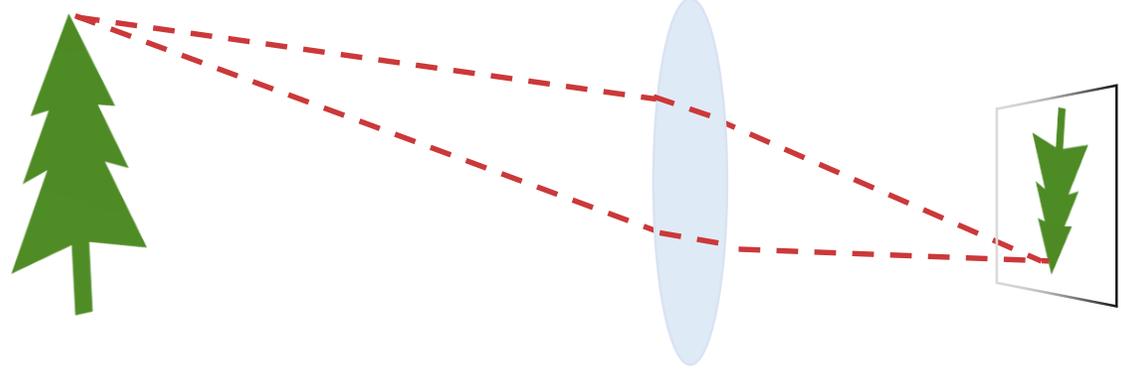
# Formation des images



sténopé

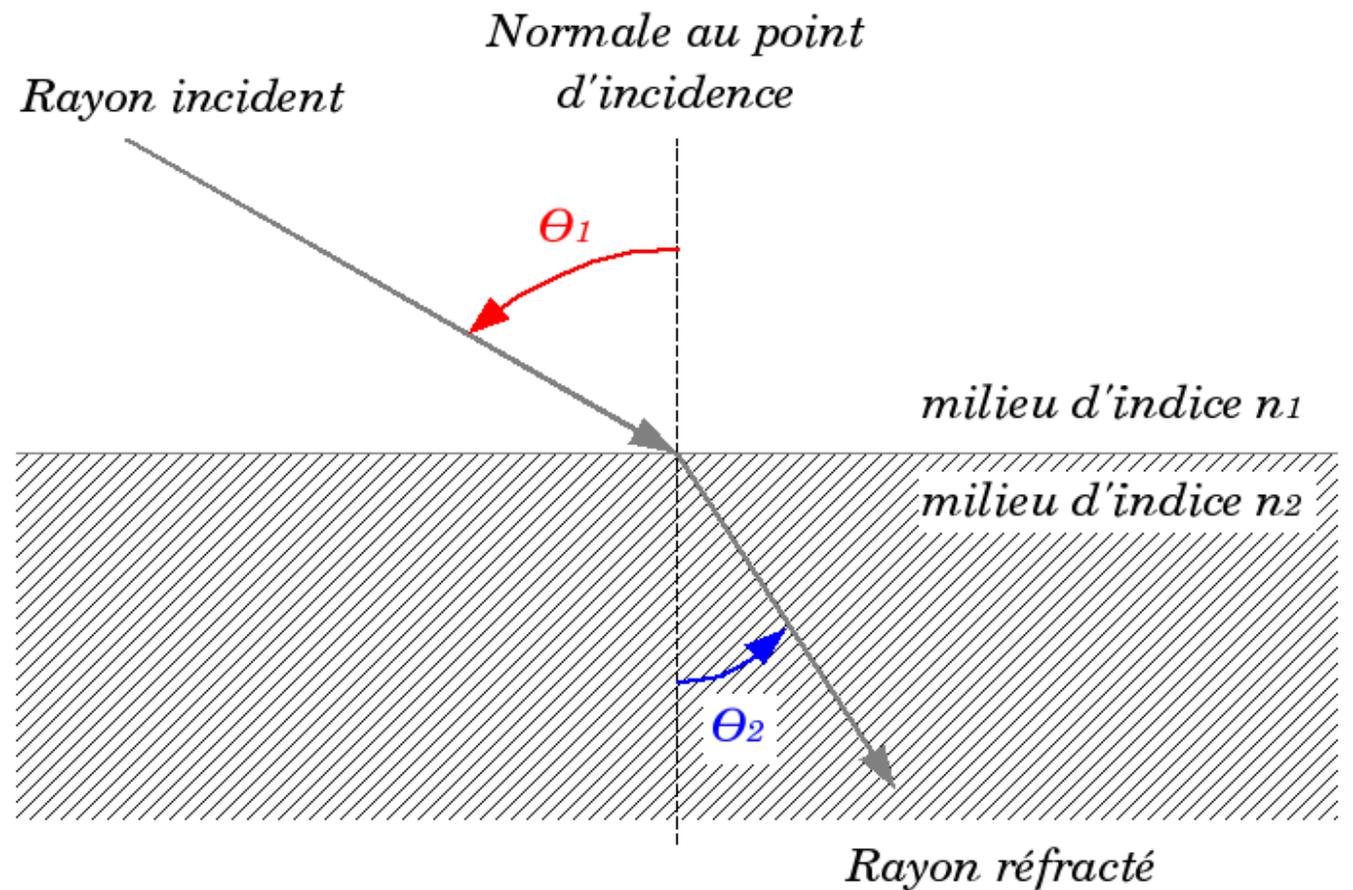


lentille



# Snell-Descartes

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$



# Principe de fermat

au secours, Hilfe, help !



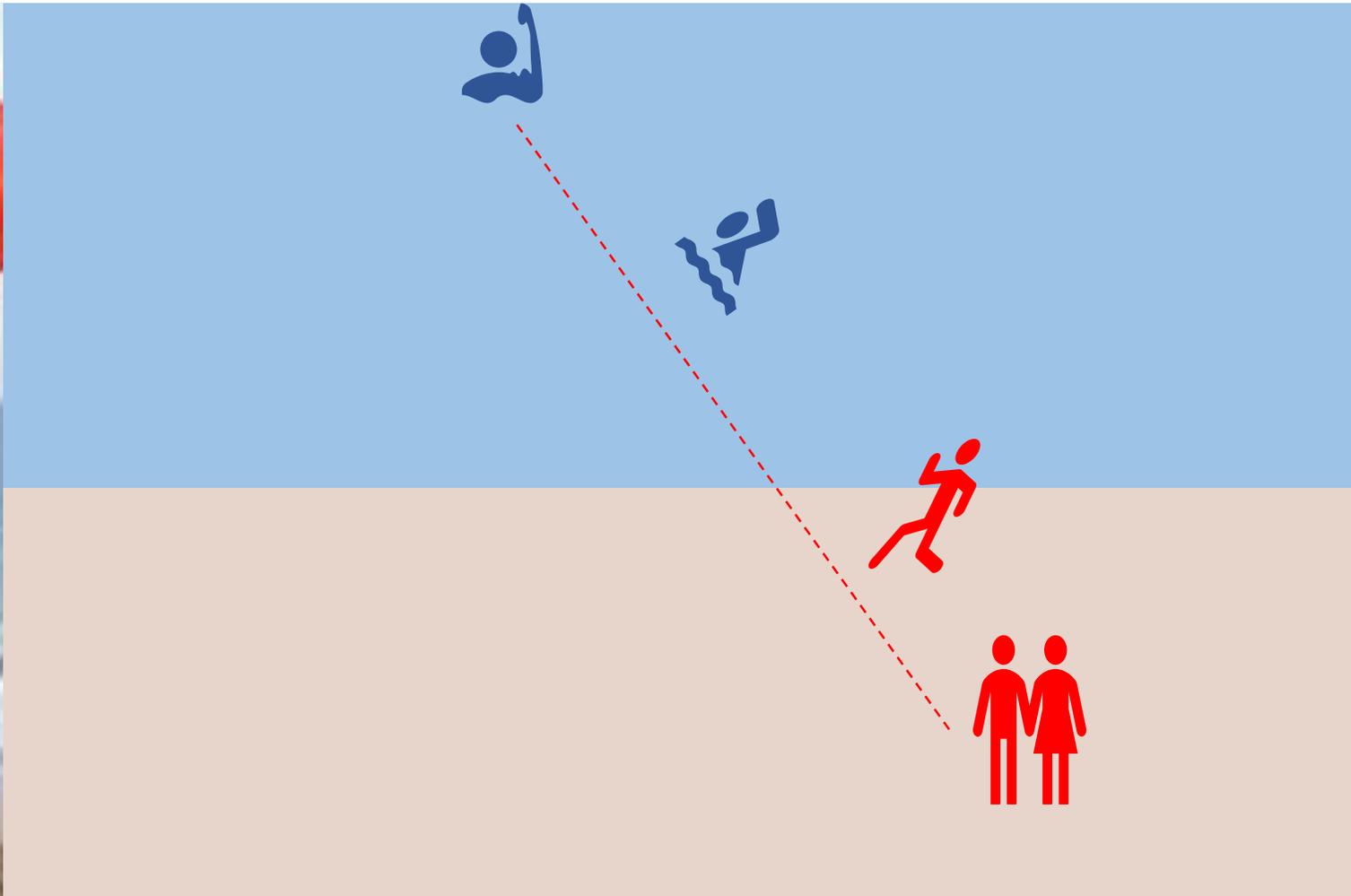
mer

plage

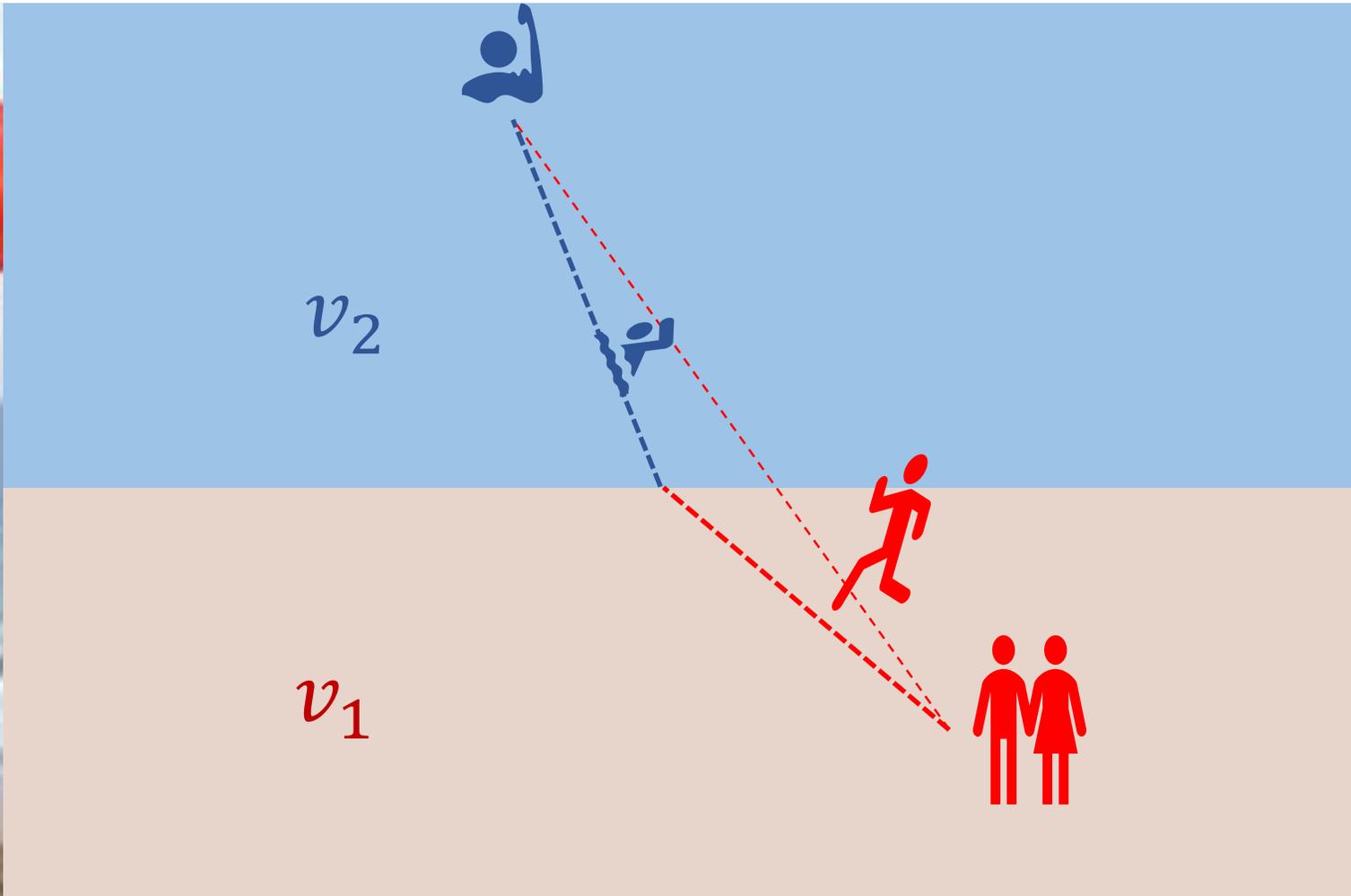
# Principe de fermat



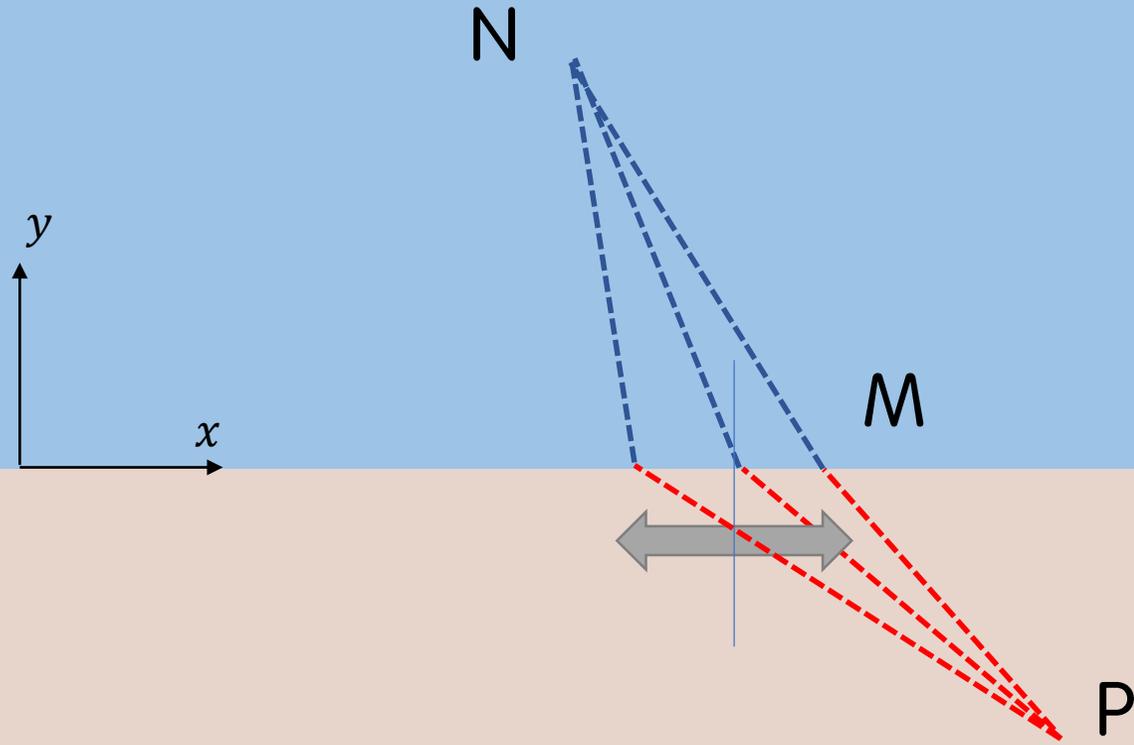
# Principe de fermat



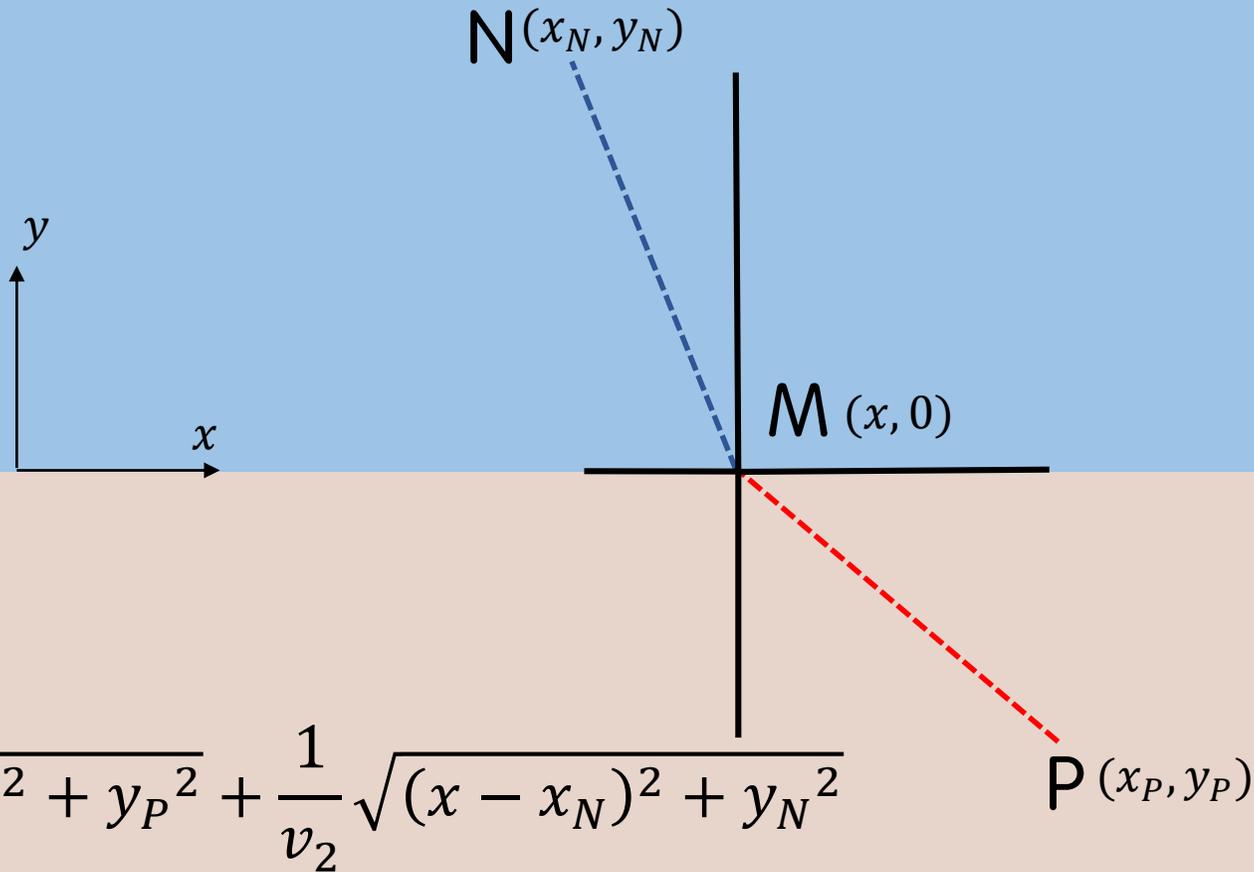
# Principe de fermat



# Principe de fermat

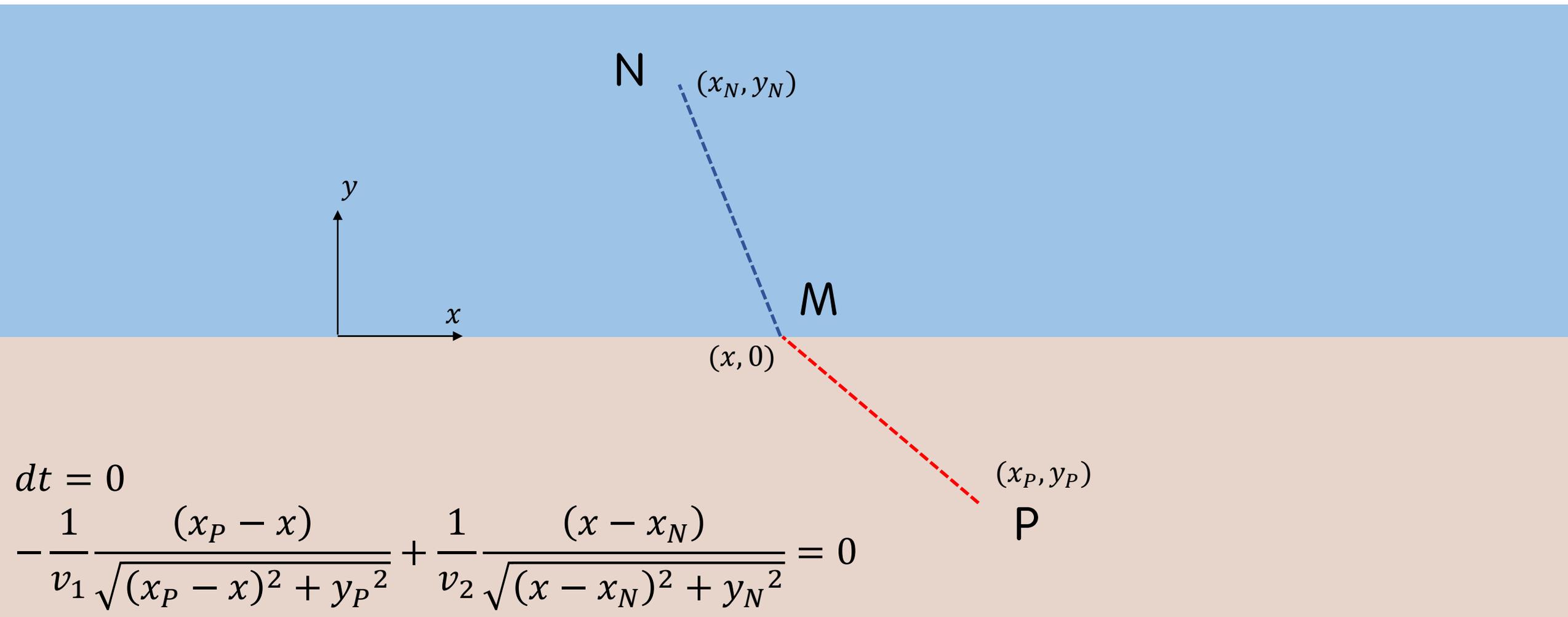


# Principe de fermat



$$\begin{aligned} t &= t_1 + t_2 \\ &= \frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2} \\ &= \frac{1}{v_1} \sqrt{(x_P - x)^2 + y_P^2} + \frac{1}{v_2} \sqrt{(x - x_N)^2 + y_N^2} \end{aligned}$$

# Principe de fermat



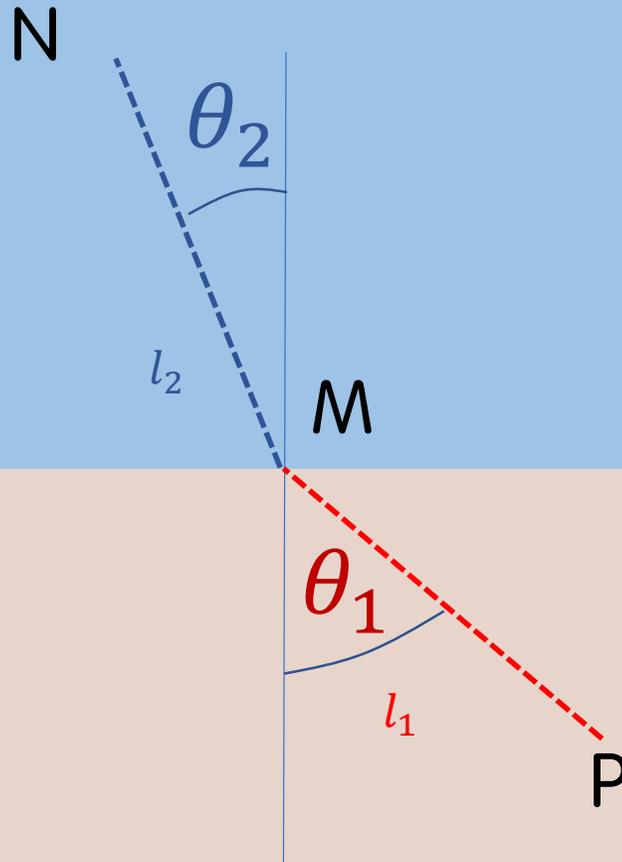
# Lois de Snell-Descartes

indice de réfraction

$$v = \frac{c}{n}$$

$$\frac{1}{v_1} \frac{l_1 \sin \theta_1}{l_1} - \frac{1}{v_2} \frac{l_2 \sin \theta_2}{l_1} = 0$$

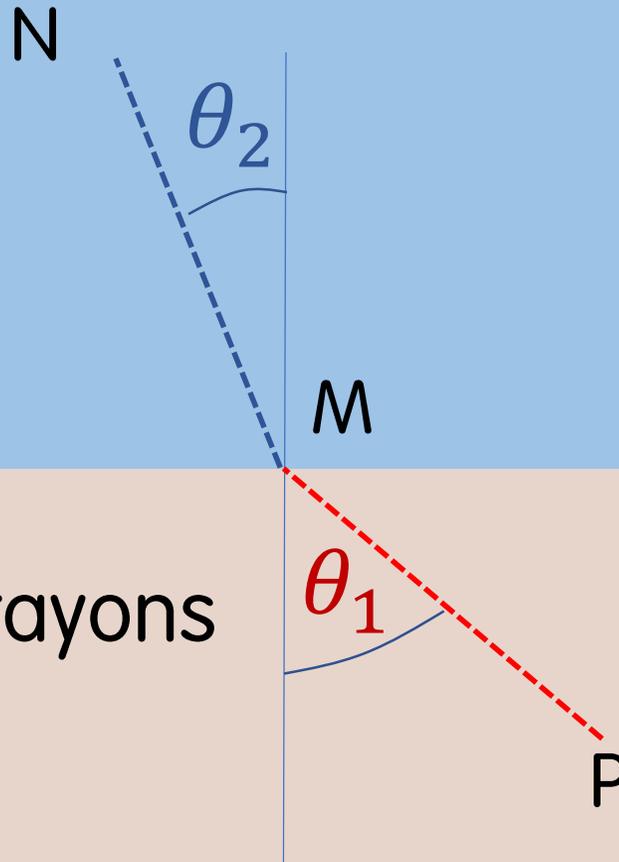
$$\boxed{n_1 \sin \theta_1 + n_2 \sin \theta_2 = 0}$$



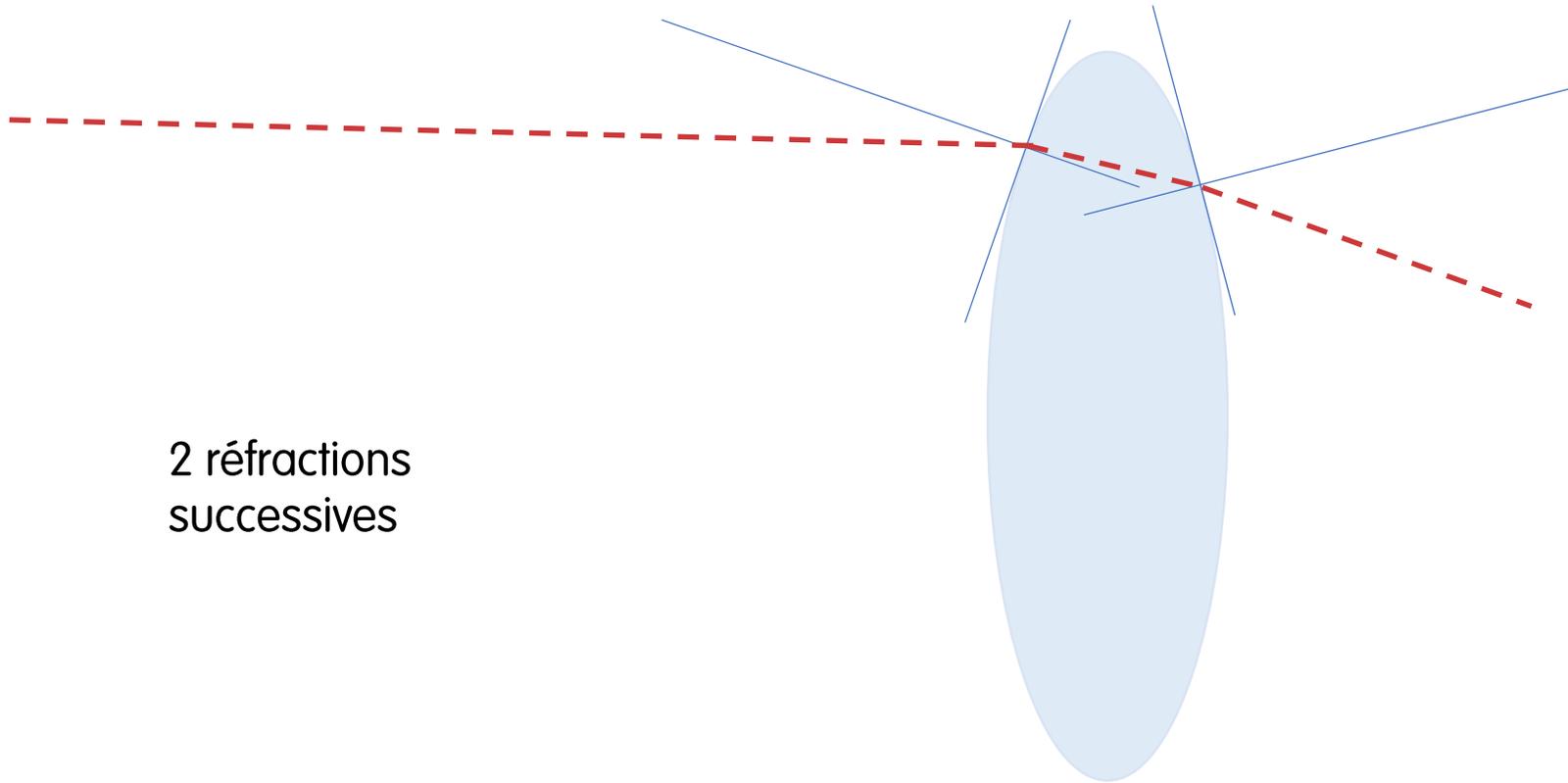
# Lois de Snell-Descartes

$$n_1 \sin \theta_1 + n_2 \sin \theta_2 = 0$$

réfraction : déviation des rayons  
à l'interface

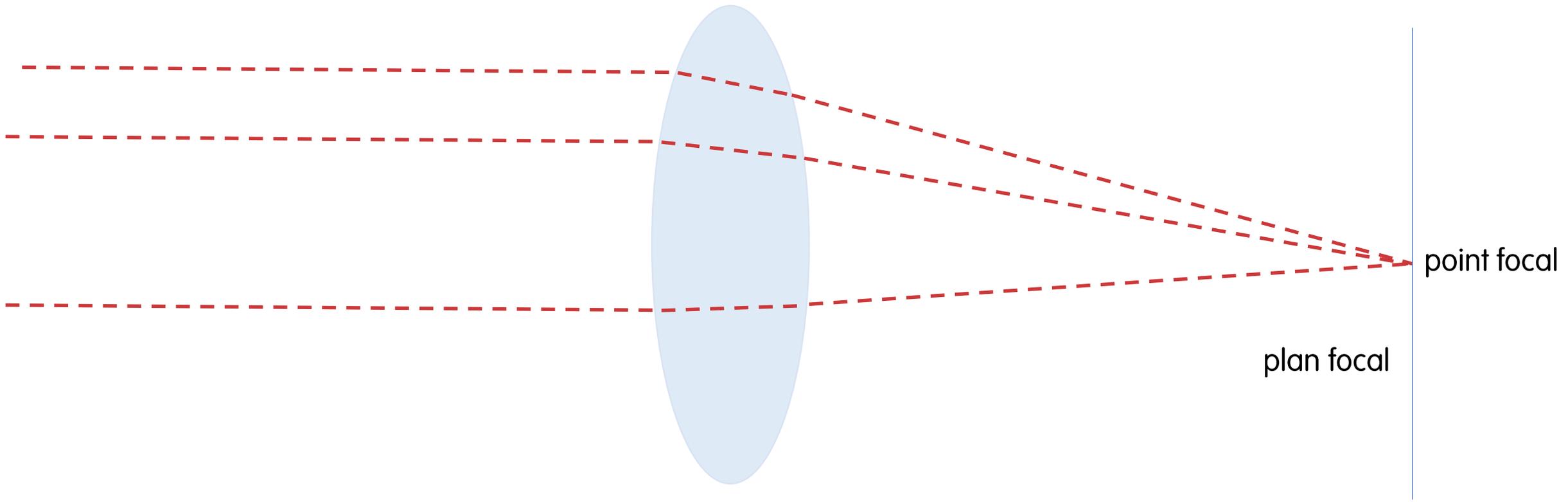


# Lentille

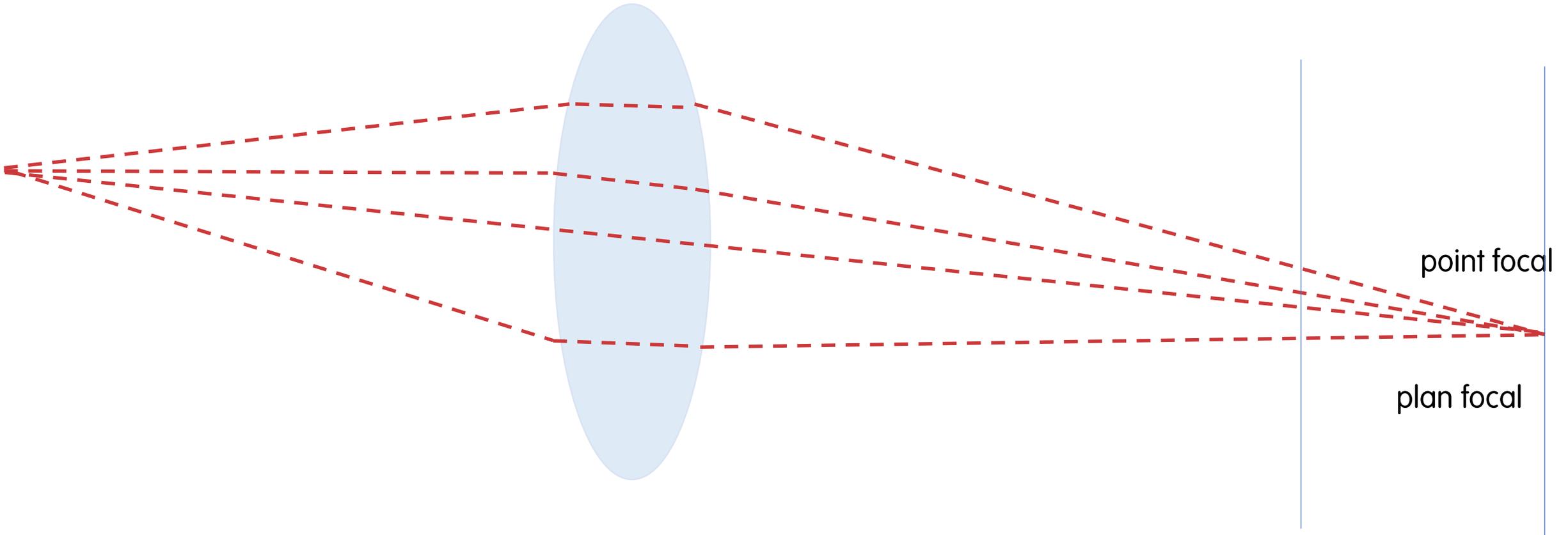


2 réfractions  
successives

# Lentille

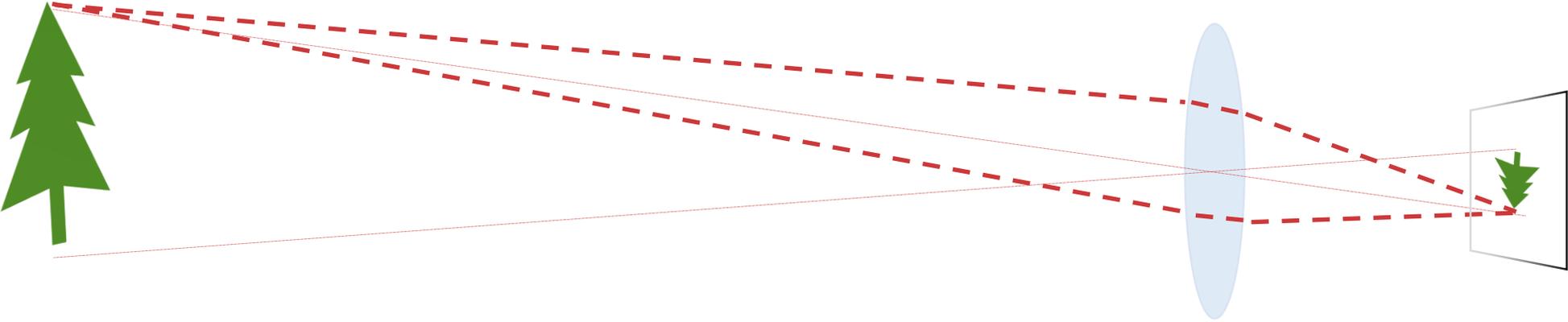
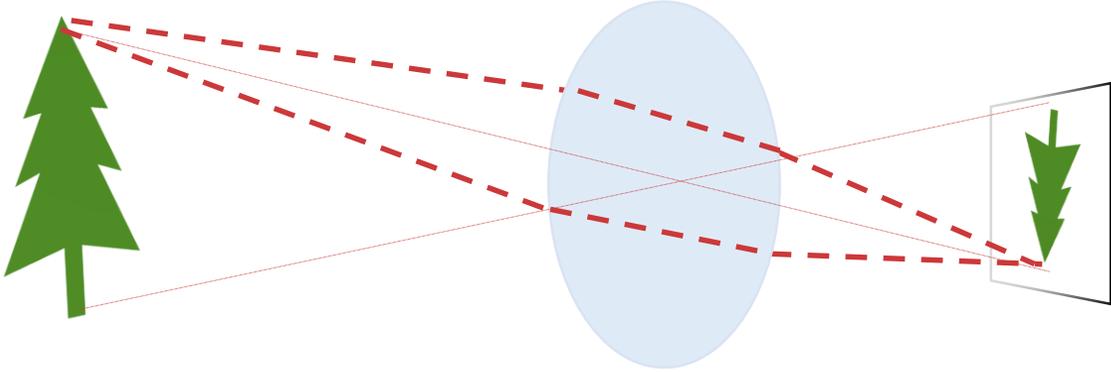


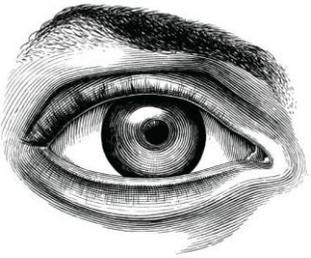
# Lentille





# Formation des images : mise au point

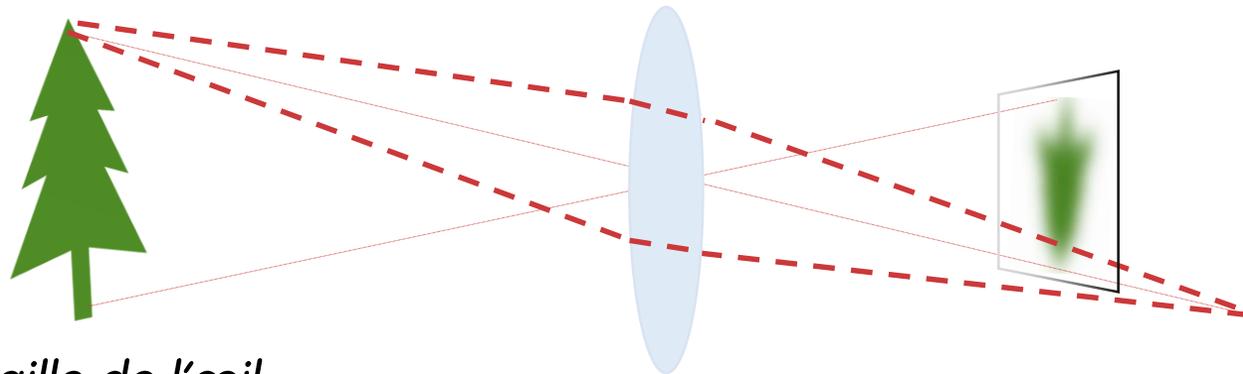




# Défauts de vision

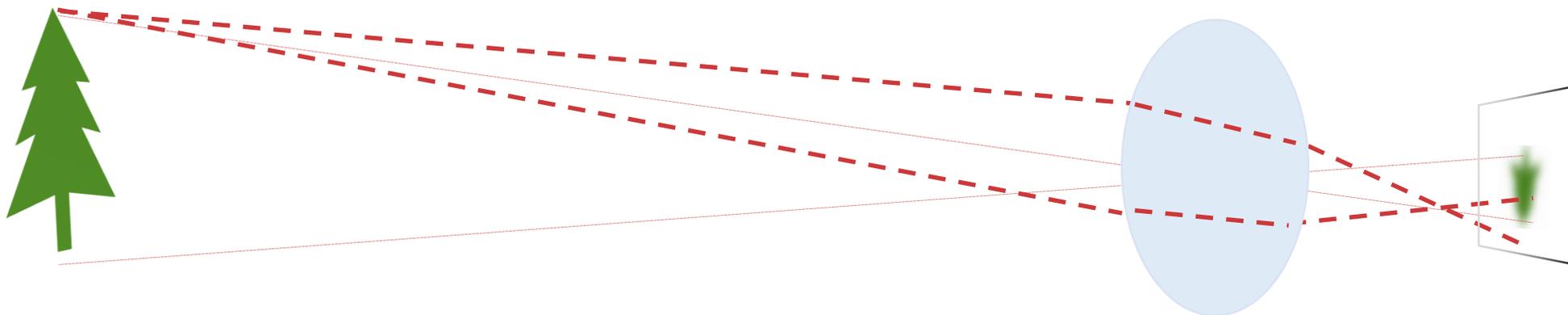
## hypermétropie

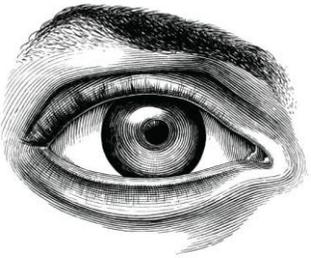
*convergence trop faible par rapport à la taille de l'œil*



## myopie

*convergence trop forte par rapport à la taille de l'œil*

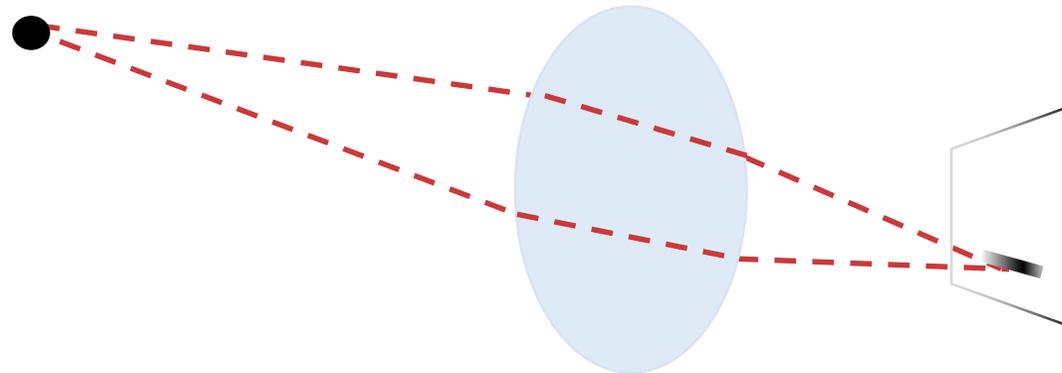




# Défauts de vision

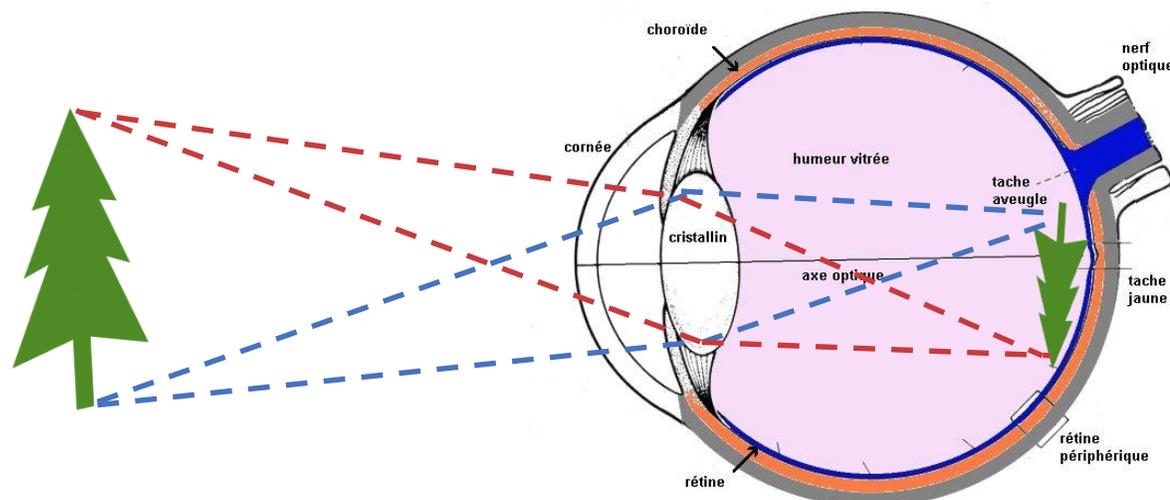
## astigmatisme

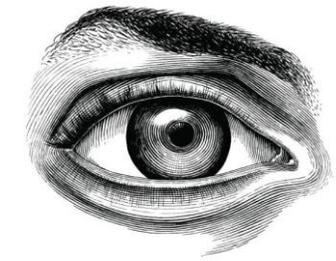
*convergence différente  
suivant deux directions  
verticales et horizontales un  
point donne un trait sur la  
rétine*



## presbytie

*convergence ne se fait plus,  
muscles fatigués*

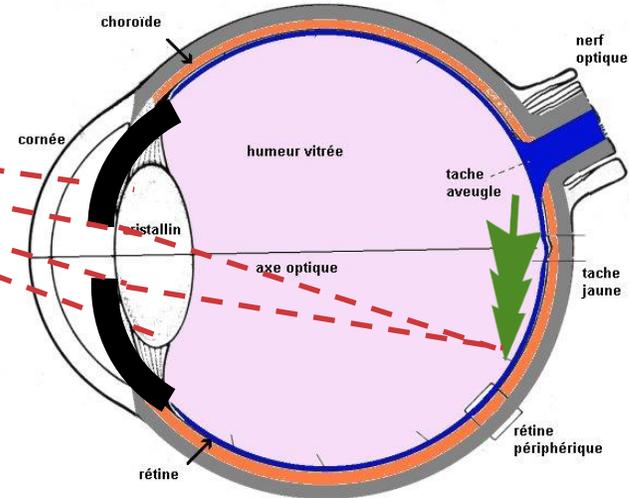




# Quand nos sens nous font défaut ...

## presbytie

*convergence ne se fait plus,  
muscles fatigués*



moyen d'améliorer la netteté :  
diminuer le nombre de rayons  
en fermant l'iris pour avoir une pupille plus petite

pour cela on augmente la quantité de lumière en allumant toutes les  
lampes de la maison ...



# Net & flou

Johannes Vermeer

**La Dentellière**

(1669-1671)

*Musée du Louvre - Paris*



# Net & flou

Johannes Vermeer

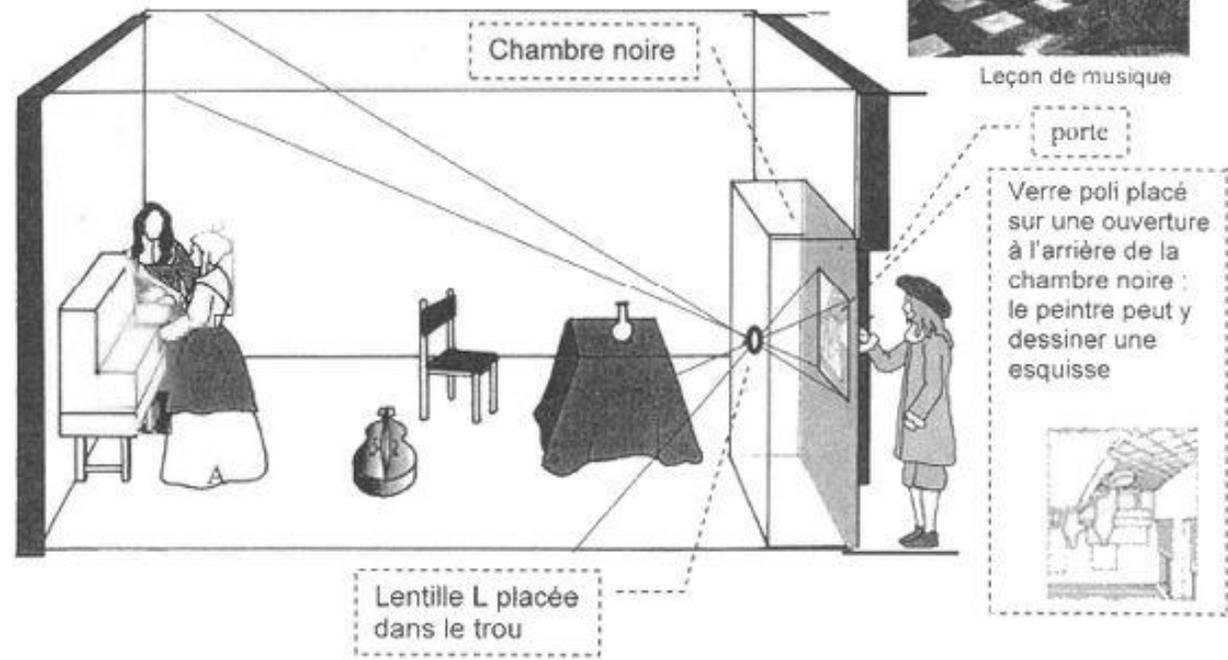
**La Dentellière**

(1669-1671)

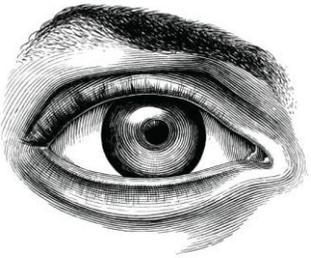
*Musée du Louvre - Paris*



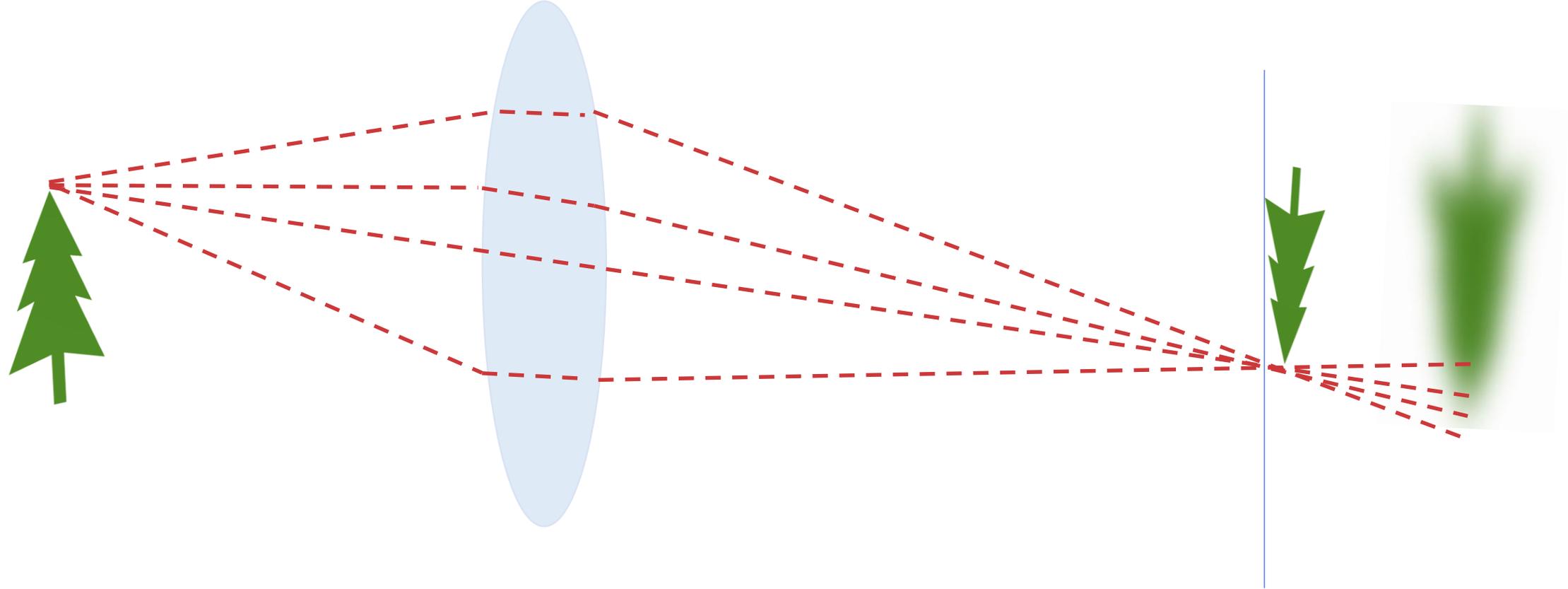
# Camera obscura

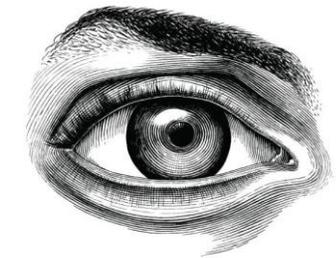


Johannes Vermeer  
**La Leçon de musique**  
(1662)  
*Royal Collection – Londres*

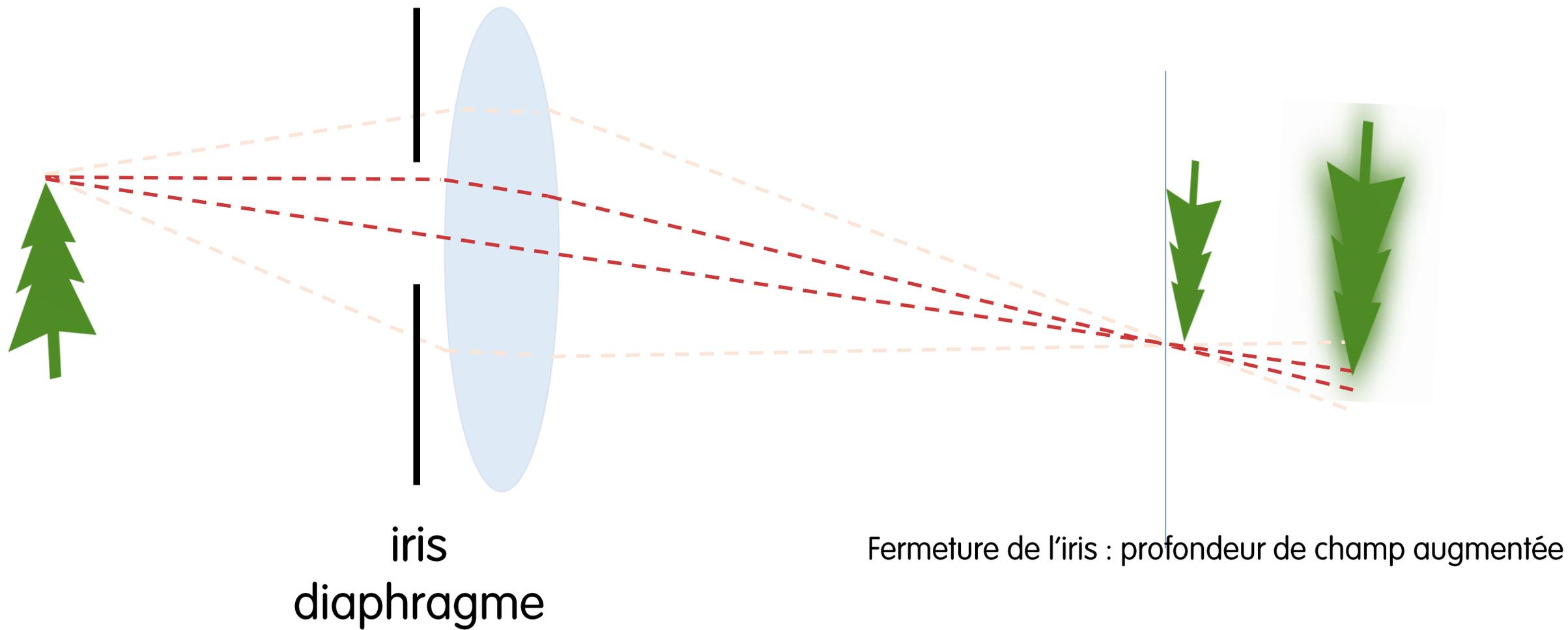


# Profondeur de champ





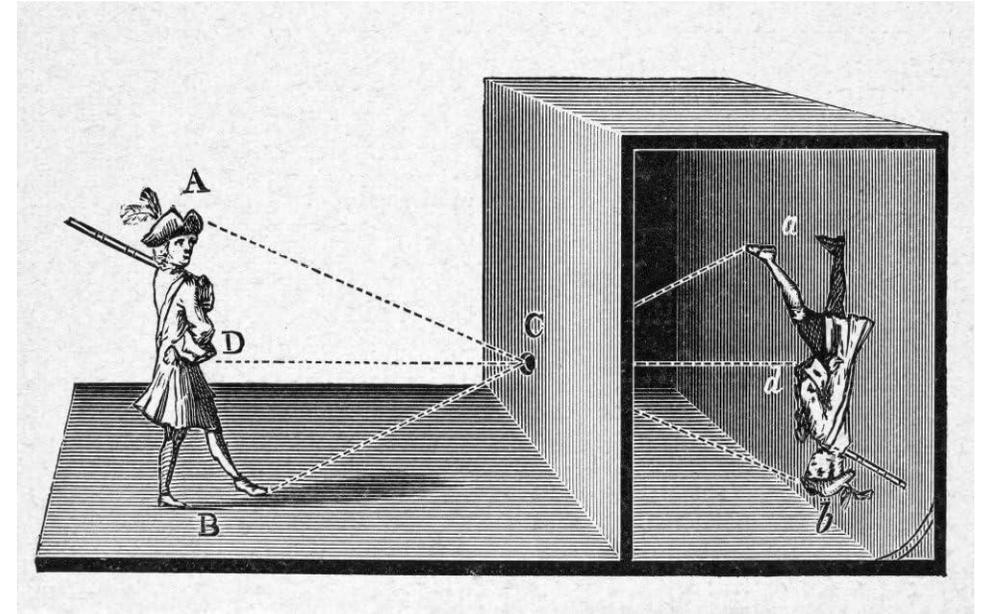
# Profondeur de champ



# Profondeur de champ

Fermeture de l'iris : profondeur de champ augmentée

- Un sténopé a une profondeur de champ infinie
- Pour les myopes, cligner des yeux augmente la profondeur de champ
- Le fait d'allumer toutes les lampes est un signe de début de presbytie : la lumière est intense, la pupille se contracte, la profondeur de champ augmente



La perspective

# La perspective

On vient de voir comment se forme une image d'un objet « plat », à deux dimensions.

On a commencé à regarder la troisième dimension, la profondeur, à travers les questions de relief et de profondeur de champ.

# La perspective

On vient de voir comment se forme une image d'un objet « plat », à deux dimensions.

On a commencé à regarder la troisième dimension, la profondeur, à travers les questions de relief et de profondeur de champ.

On va s'intéresser maintenant à la perspective :

non pas « comment » dessine-t-on en perspective,  
mais « *pourquoi* » la perspective ?

# Perspective

« Regarder à travers ... »

**perspicio**, *spexi*, *spectum*, être (per et specio), tr., ¶ 1 regarder à travers, voir dans : *munimenta, quo ne perspici quidem posset* CÆS. G. 2, 17, 5, des retranchements où l'œil même ne pouvait pénétrer ¶ 2 regarder attentivement, examiner soigneusement : *urbis situm* CÆS. G. 7, 36, 1, examiner (reconnaître) la position d'une ville; *mores hominum penitus* Cic. *ds Or.* 1, 219, étudier à fond les mœurs des hommes ¶ 3 voir pleinement, reconnaître clairement : *alicujus virtutem* Cic. *Verr.* 2, 4, reconnaître de façon manifeste le courage de qqn || [avec prop. inf.] voir clairement que : Cic. *Fam.* 1, 2, 2; [pass. pers.] *perspectus est a me...* *cogitare* Cic. *Fam.* 1, 7, 3, il m'a laissé voir manifestement qu'il pensait...; [pass. imp.] *ex quo perspicitur illud effici ut* Cic. *Leg.* 1, 34, par où l'on voit clairement que ce résultat se produit, savoir... || [avec int. indir.] Cic. *Fam.* 3, 10, 2; *quidam perspiciuntur quam sint leves* Cic. *Læ.* 63, certains montrent bien leur peu de caractère.

# La perspective

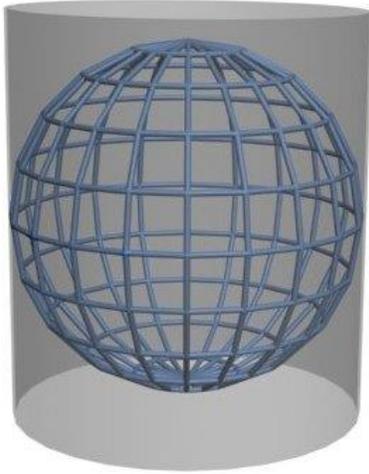
- La rétine de notre œil est une surface à deux dimensions de capteurs sur lesquels se forment une image
- Les appareils photo et caméras simulent le fonctionnement de notre œil
- D'un monde à trois dimensions, la vision donne une image à deux dimensions : c'est une *projection*

Tout mettre à plat

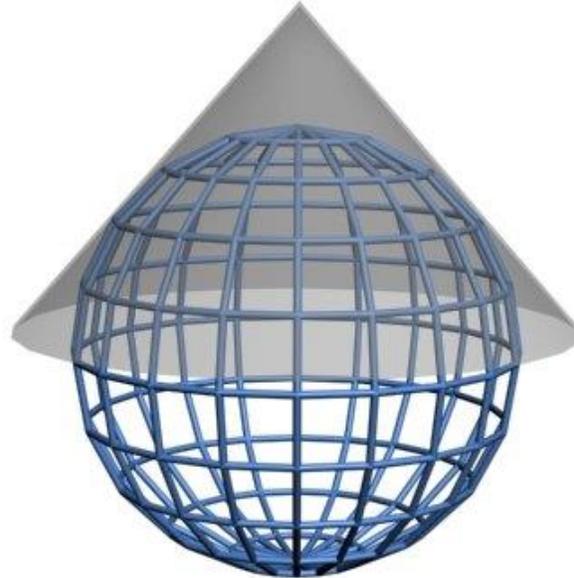
- La question des projection en perspective reproduit la problématique de la projection sur la rétine

# Projection

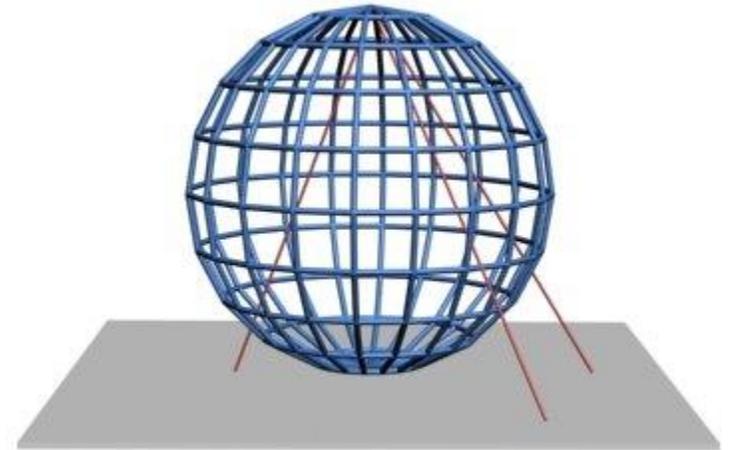
Un problème connu en cartographie : la surface de la terre est une surface à 2 dimensions mais dans un espace à 3 dimensions.  
Comment reproduire cette surface sans « trop » déformer (c-à-d. en conservant au maximum les distances, les angles et les surfaces ?



cylindrique

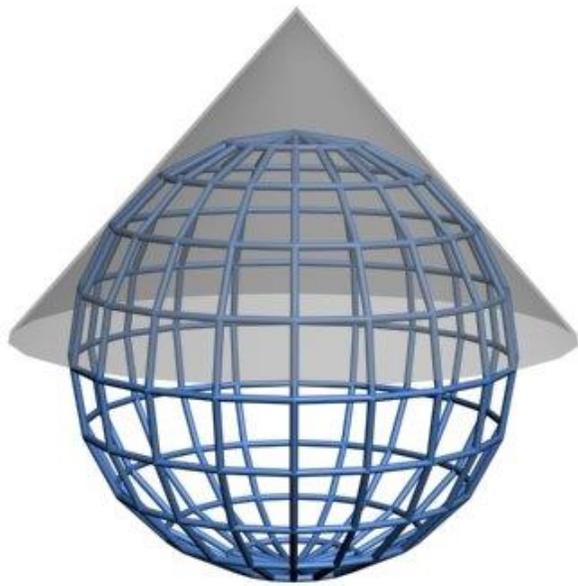


conique



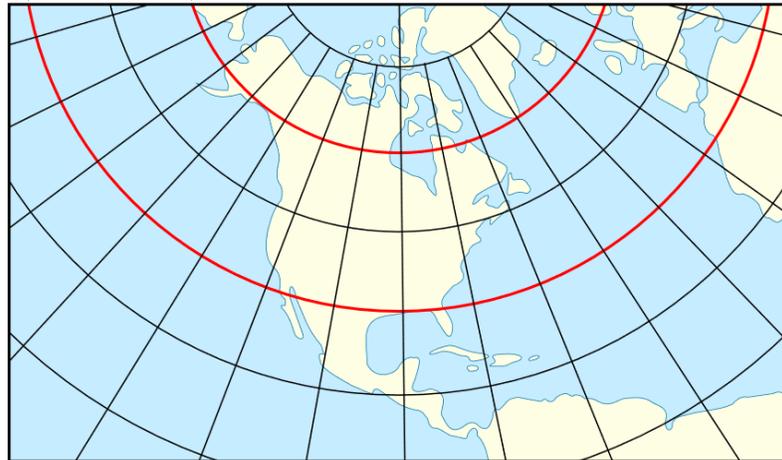
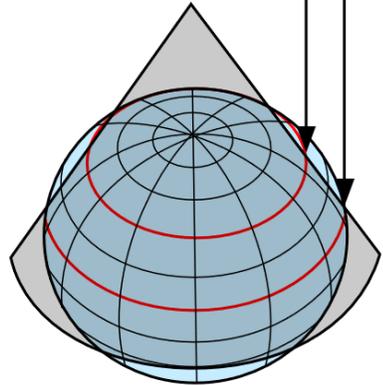
stéréographiqu

e



conique

Two standard parallels  
(selected by mapmaker)



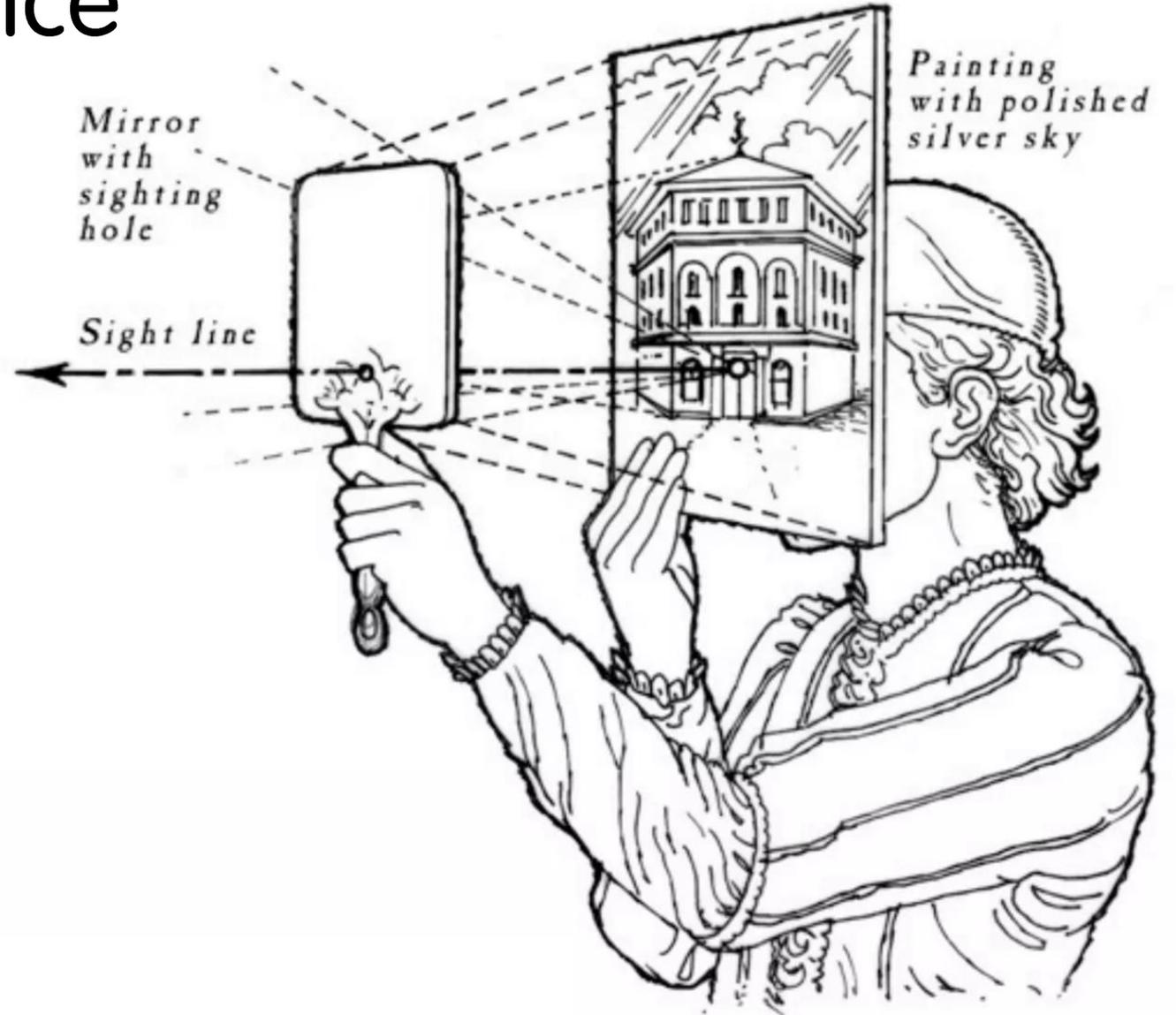
conserve les angles

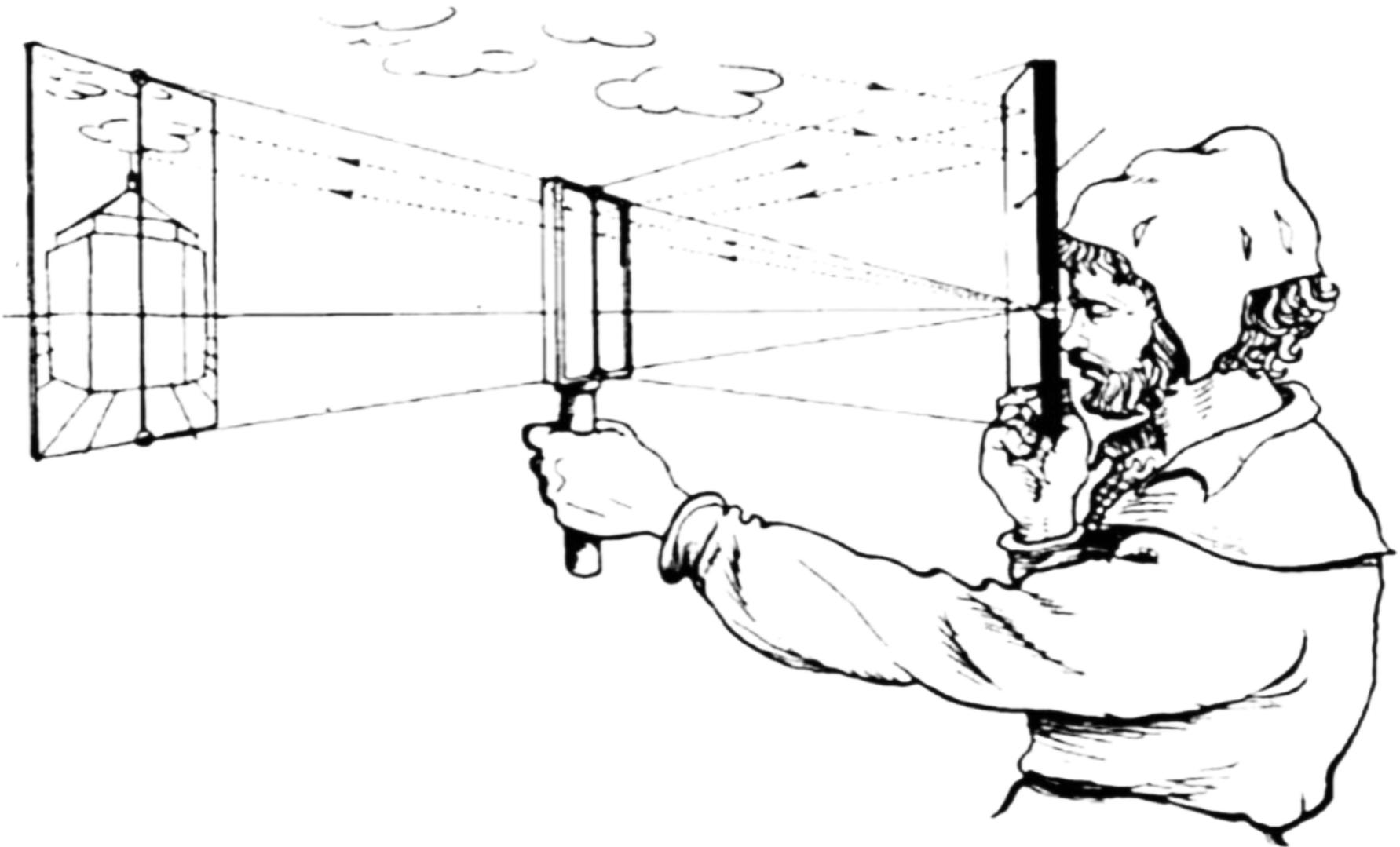
# Projection de Lambert (IGN)

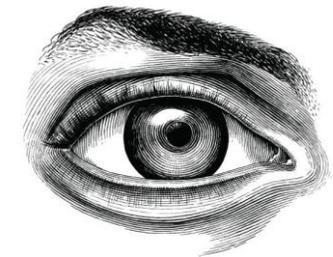
Jean-Henri Lambert  
Mulhouse



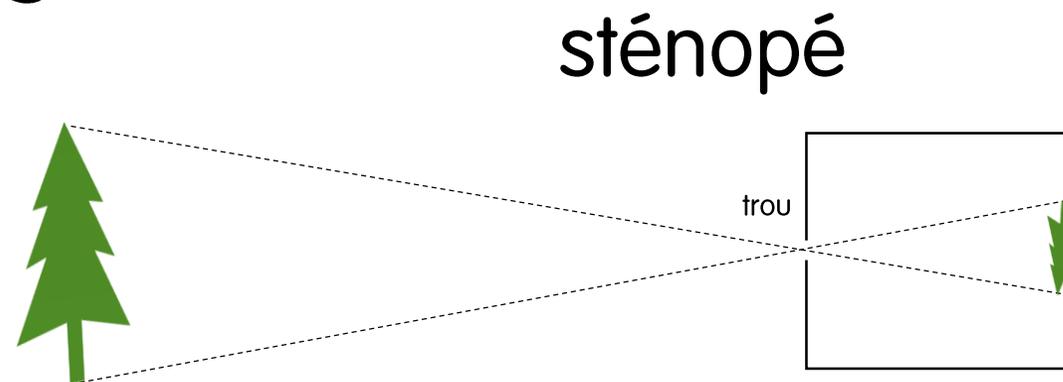
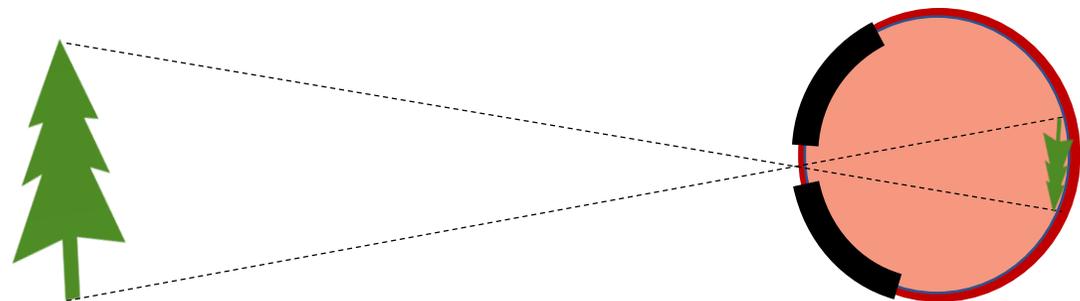
# Filippo Brunelleschi Baptistère de Florence

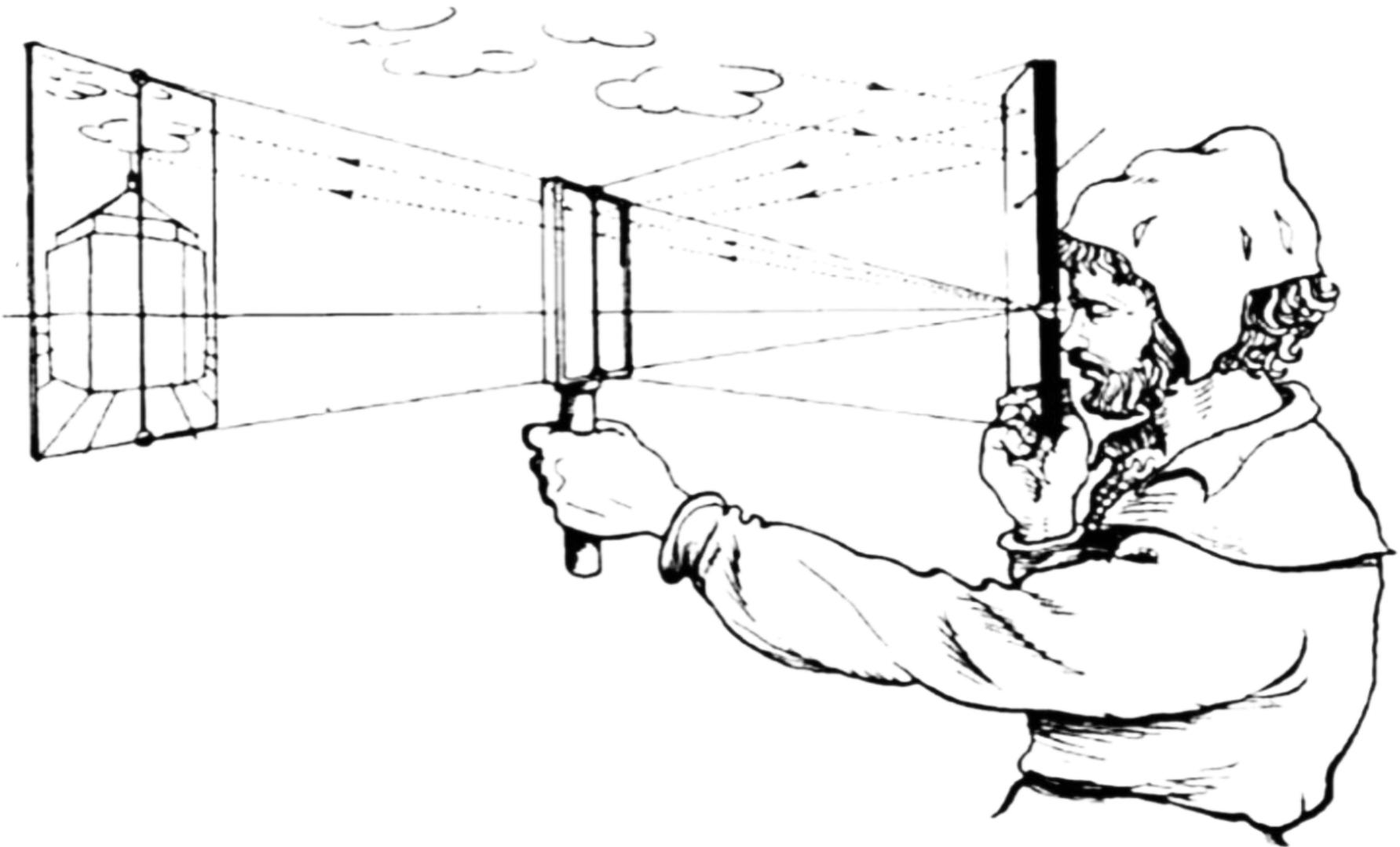


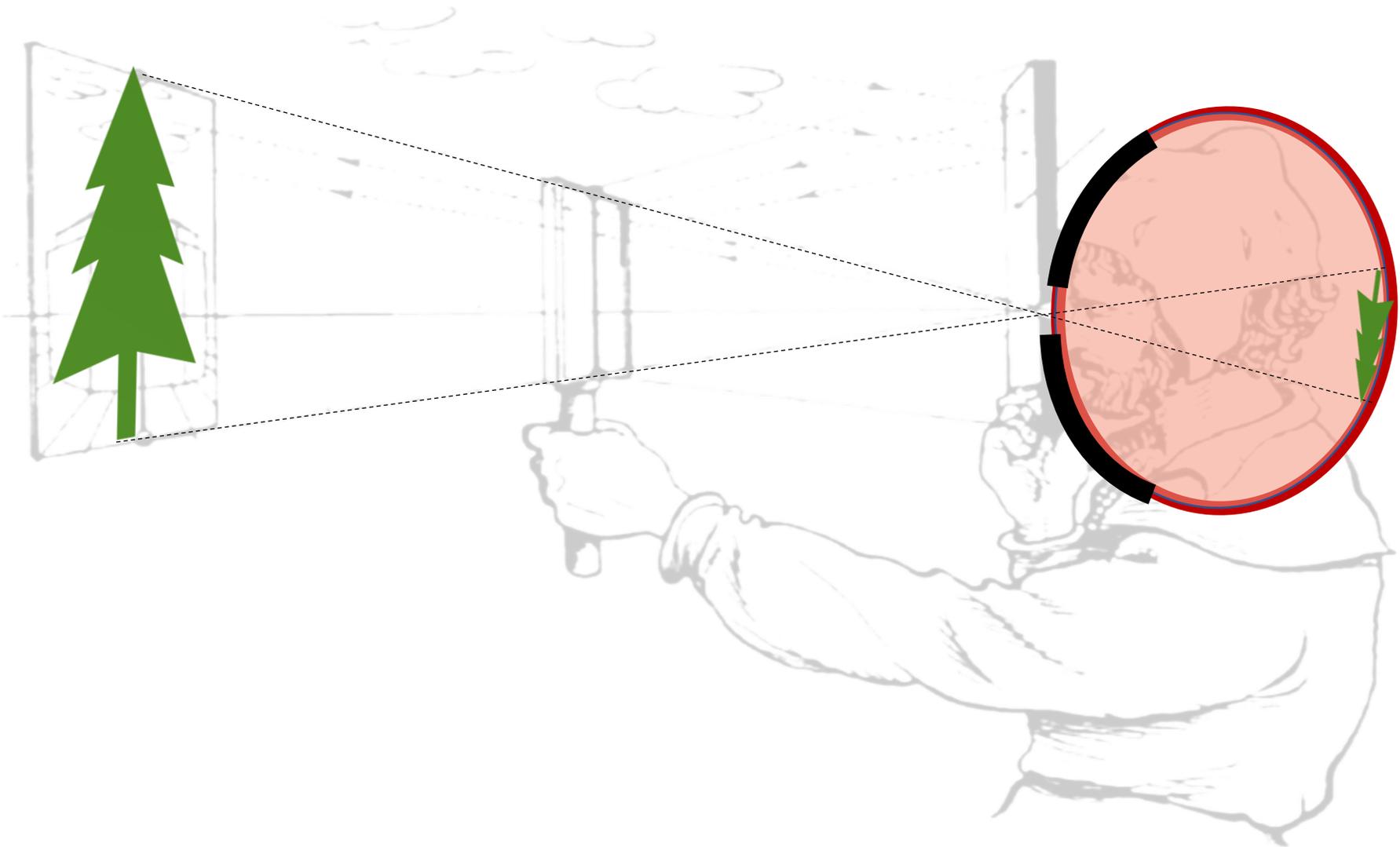




# Formation des images







# *avant* la perspective

Piero della Francesca

**Madonna della Misericordia**

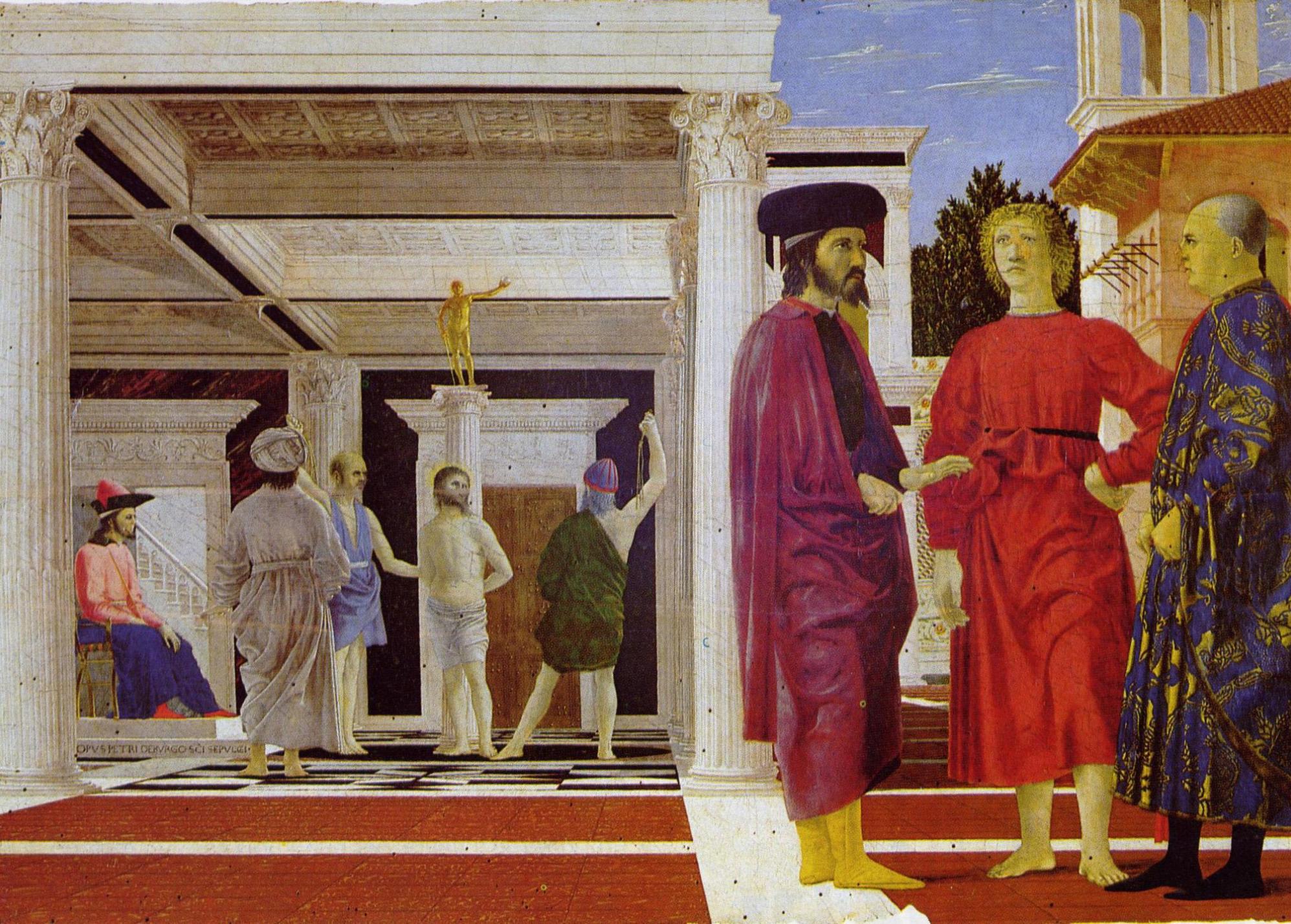
(1460-1462)

*Museo Civico - Sansepolcro*

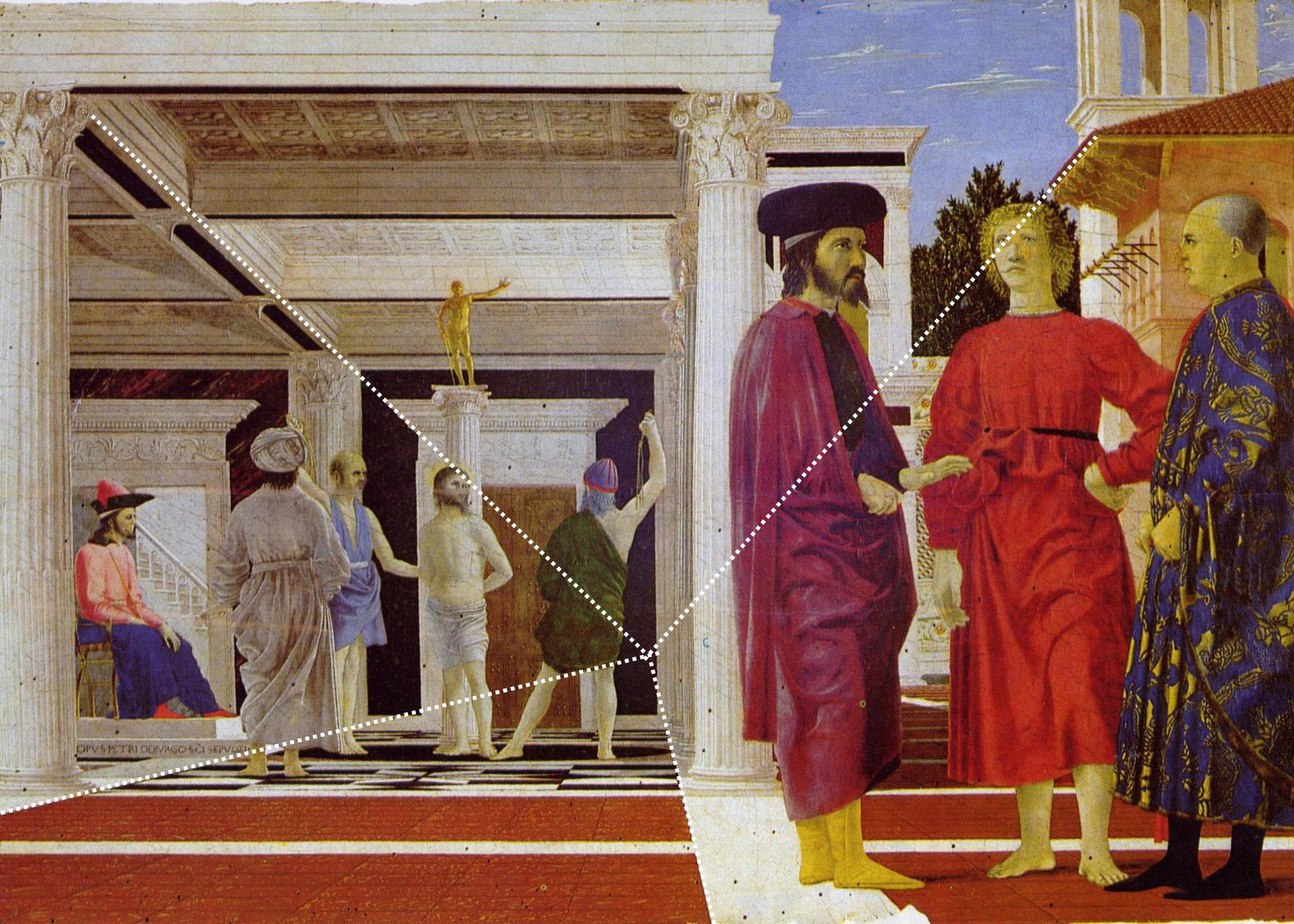
Superposition « à plat » des  
personnages  
dont la taille ne reflète que  
l'importance symbolique



# Perspective



Piero della Francesca  
**Flagellation du Christ**  
(1459-1460)  
*Galleria Nazionale delle  
Marche - Urbino*



# Perspective

Les tailles des personnages réduisent avec la distance.

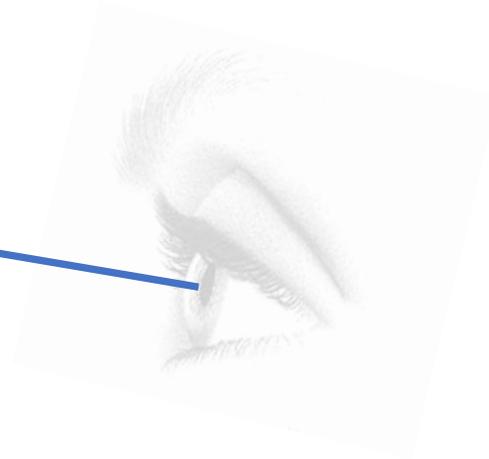
Les lignes parallèles dans l'espace représenté se rejoignent au point de fuite dans le plan du tableau.

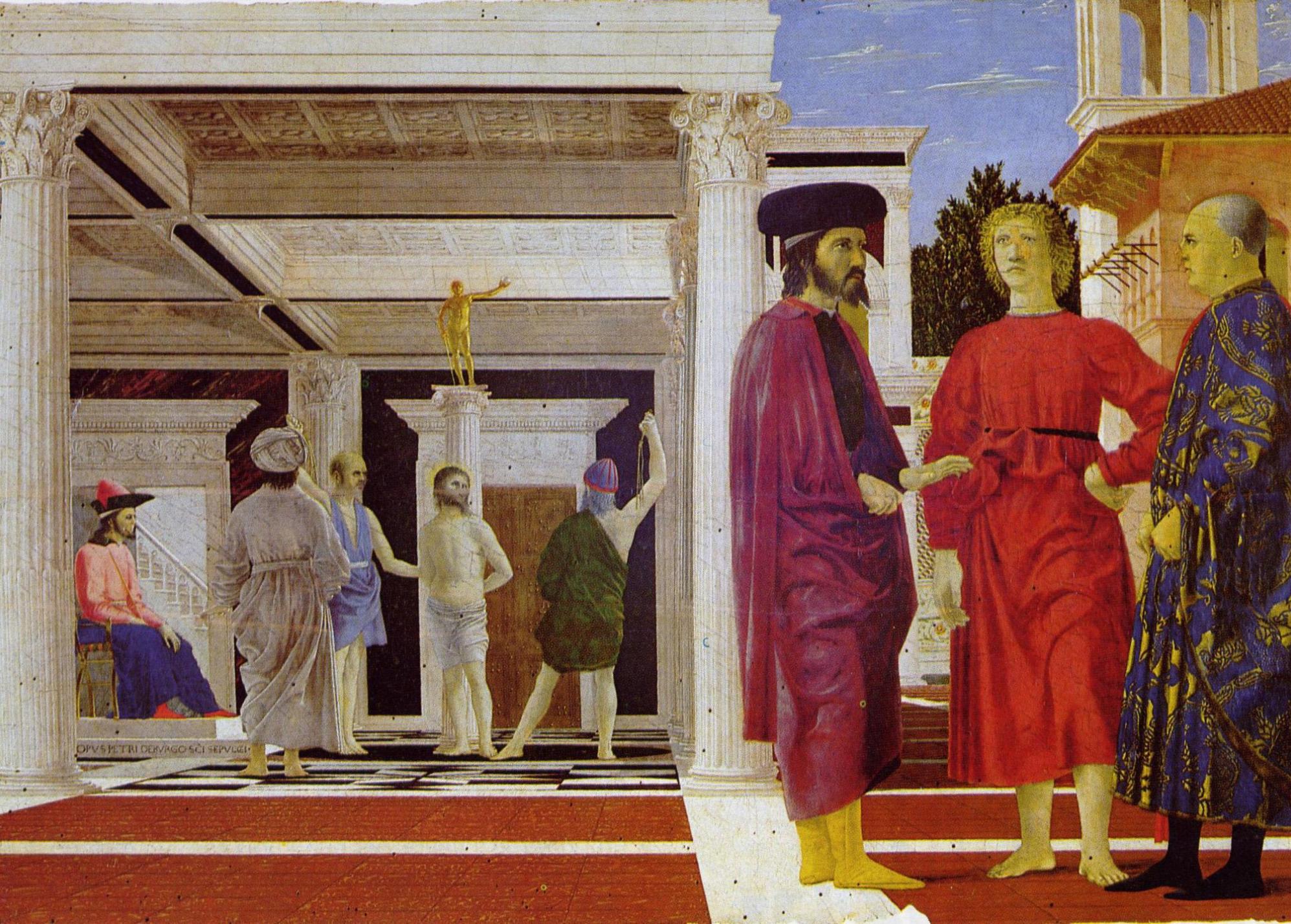
Piero della Francesca  
**Flagellation du Christ**  
(1459-1460)  
*Galleria Nazionale delle Marche - Urbino*

# Perspective



Le spectateur est assigné à un point de vue dont la projection orthogonale sur le plan de l'image donne le point de fuite



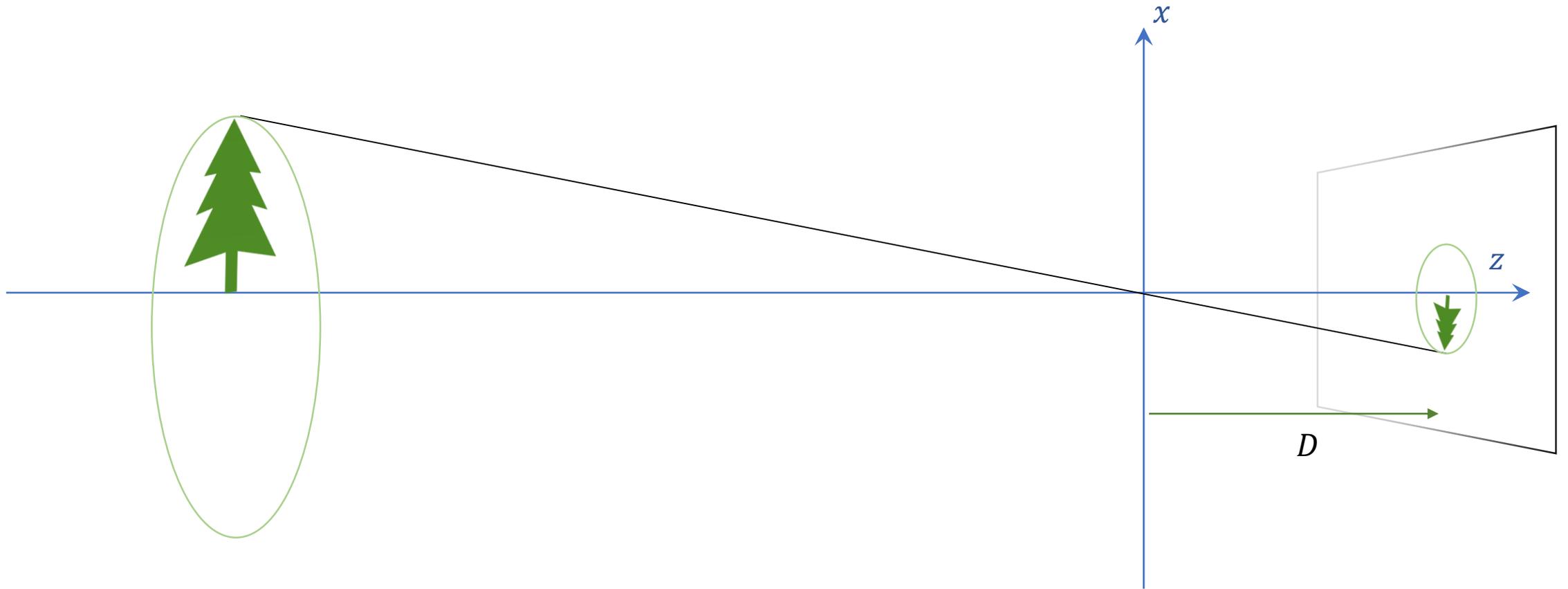


# Perspective

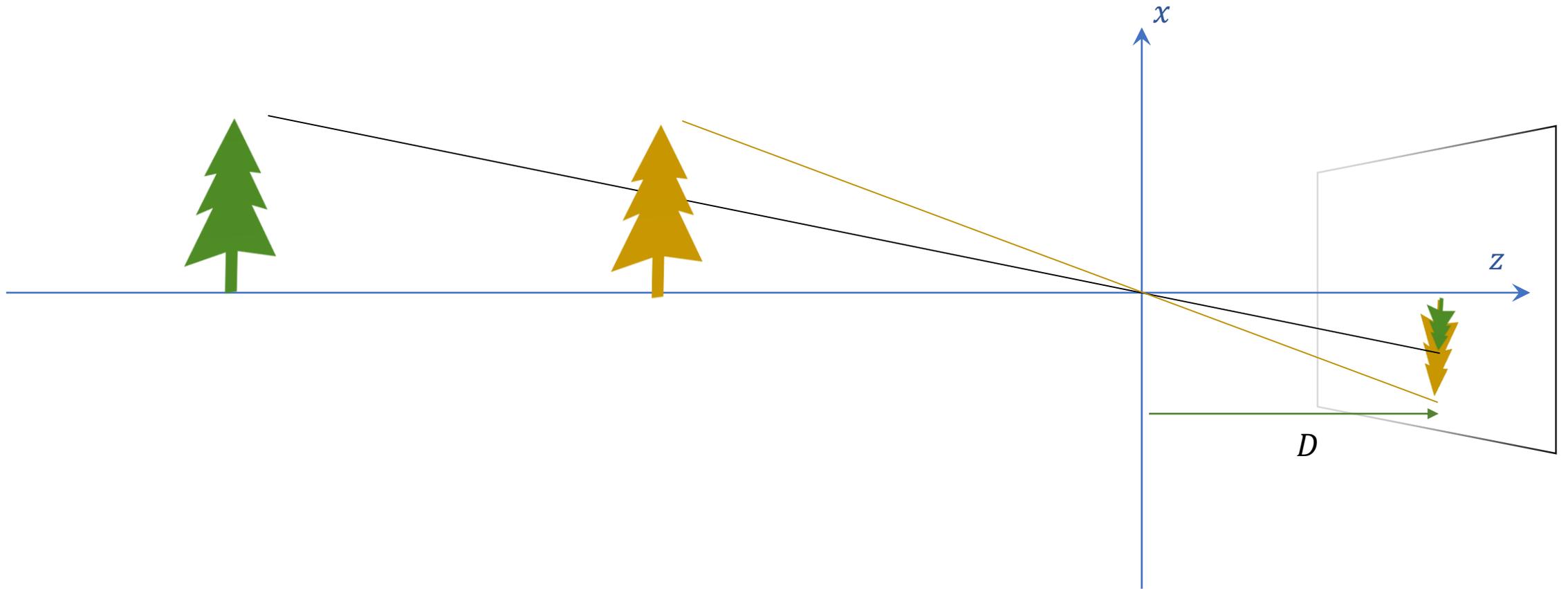
- L'image d'un tableau 2D est parfaite sur rétine 2D
- Un tableau peut faire fi de la profondeur de champ : profondeur spatiale uniquement avec la perspective  
Tout est net et plat !

Piero della Francesca  
**Flagellation du Christ**  
(1459-1460)  
*Galleria Nazionale delle  
Marche - Urbino*

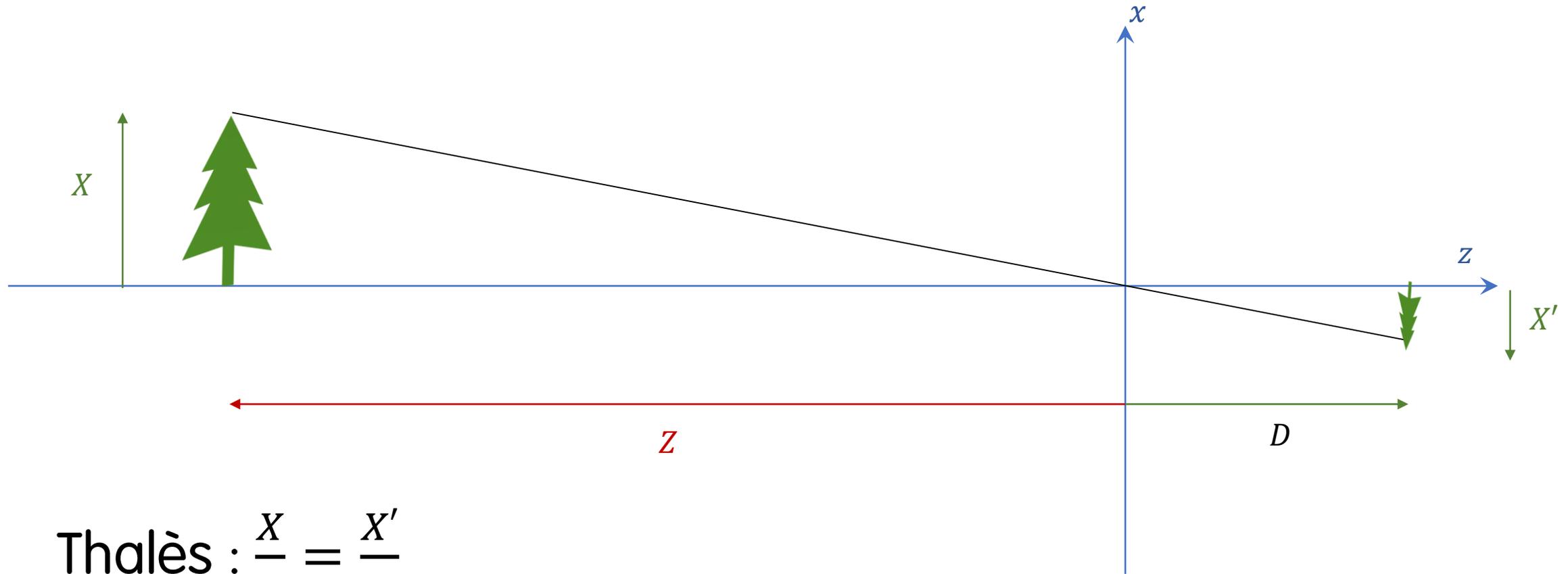
# Perspective conique



# Perspective conique

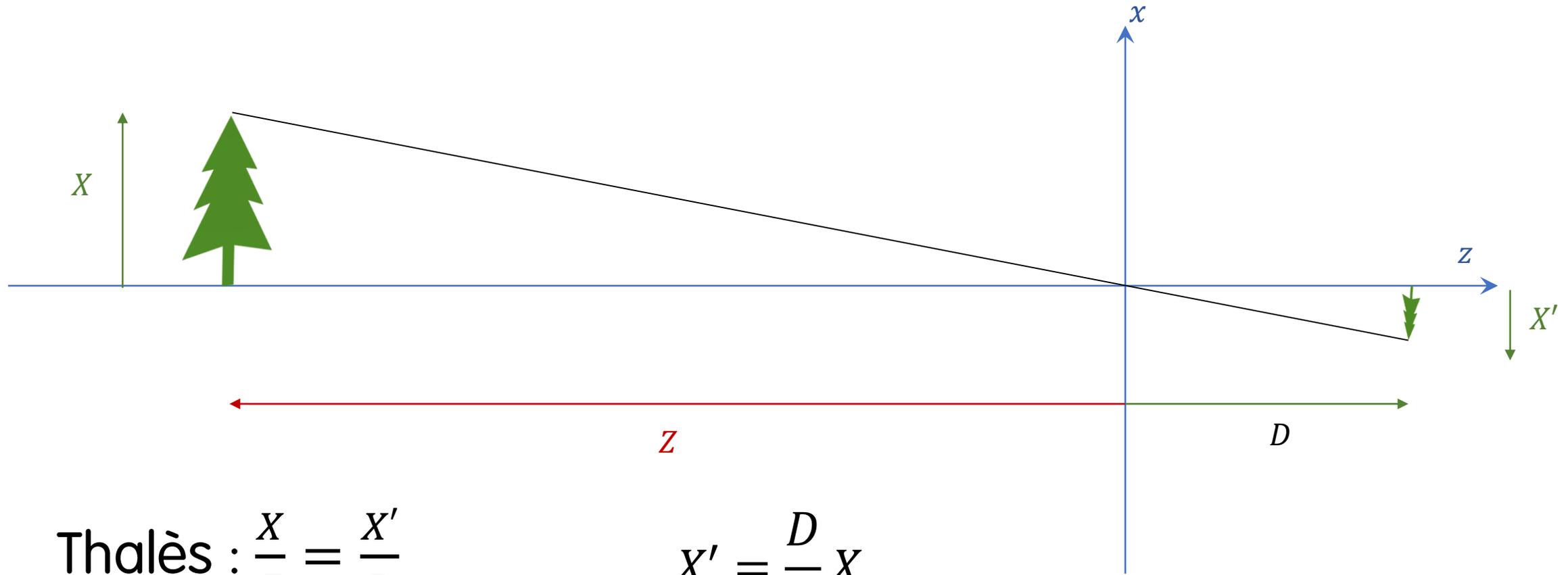


# Perspective conique



Thalès :  $\frac{X}{Z} = \frac{X'}{D}$

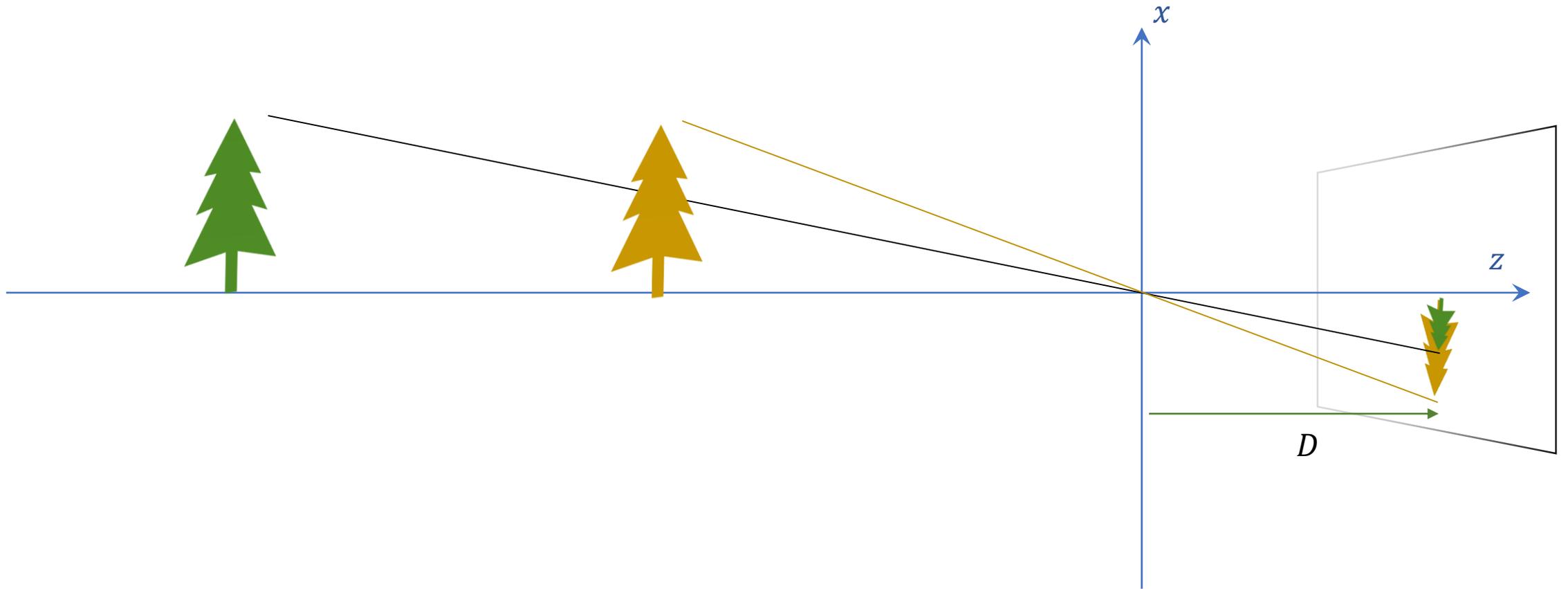
# Perspective conique



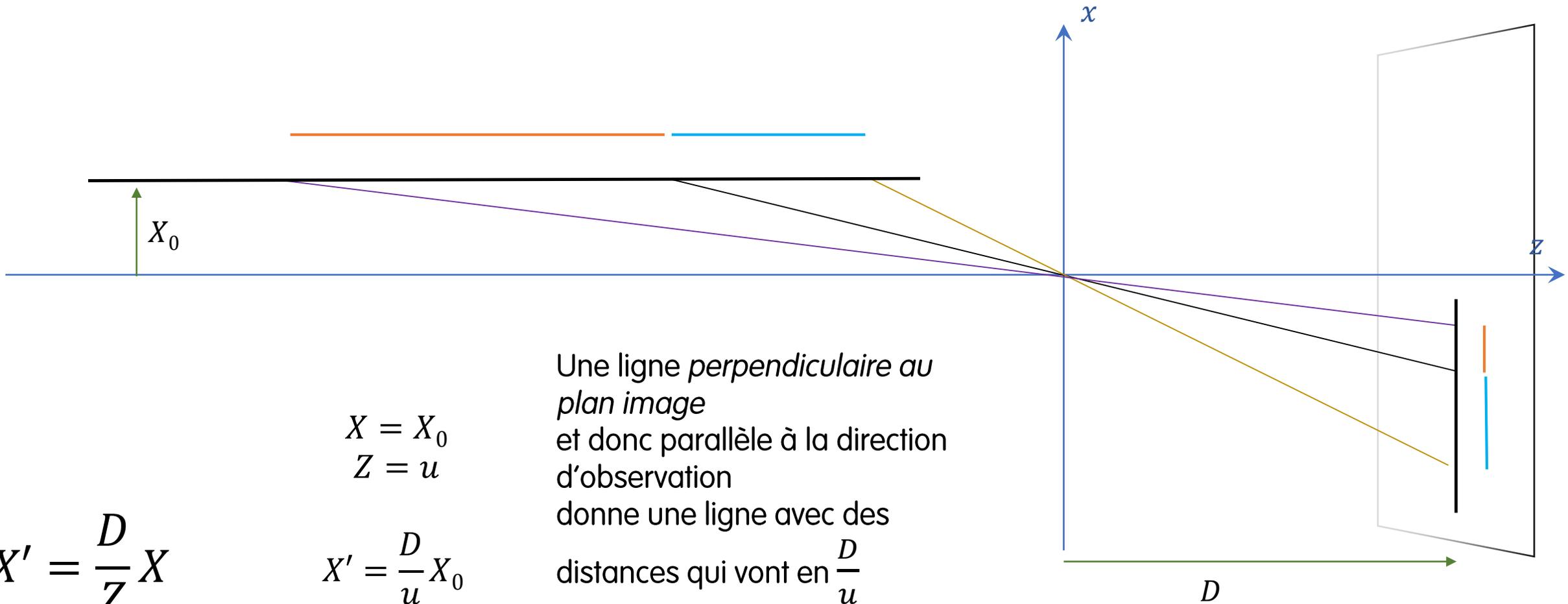
Thalès :  $\frac{X}{Z} = \frac{X'}{D}$

$$X' = \frac{D}{Z} X$$

# Perspective conique



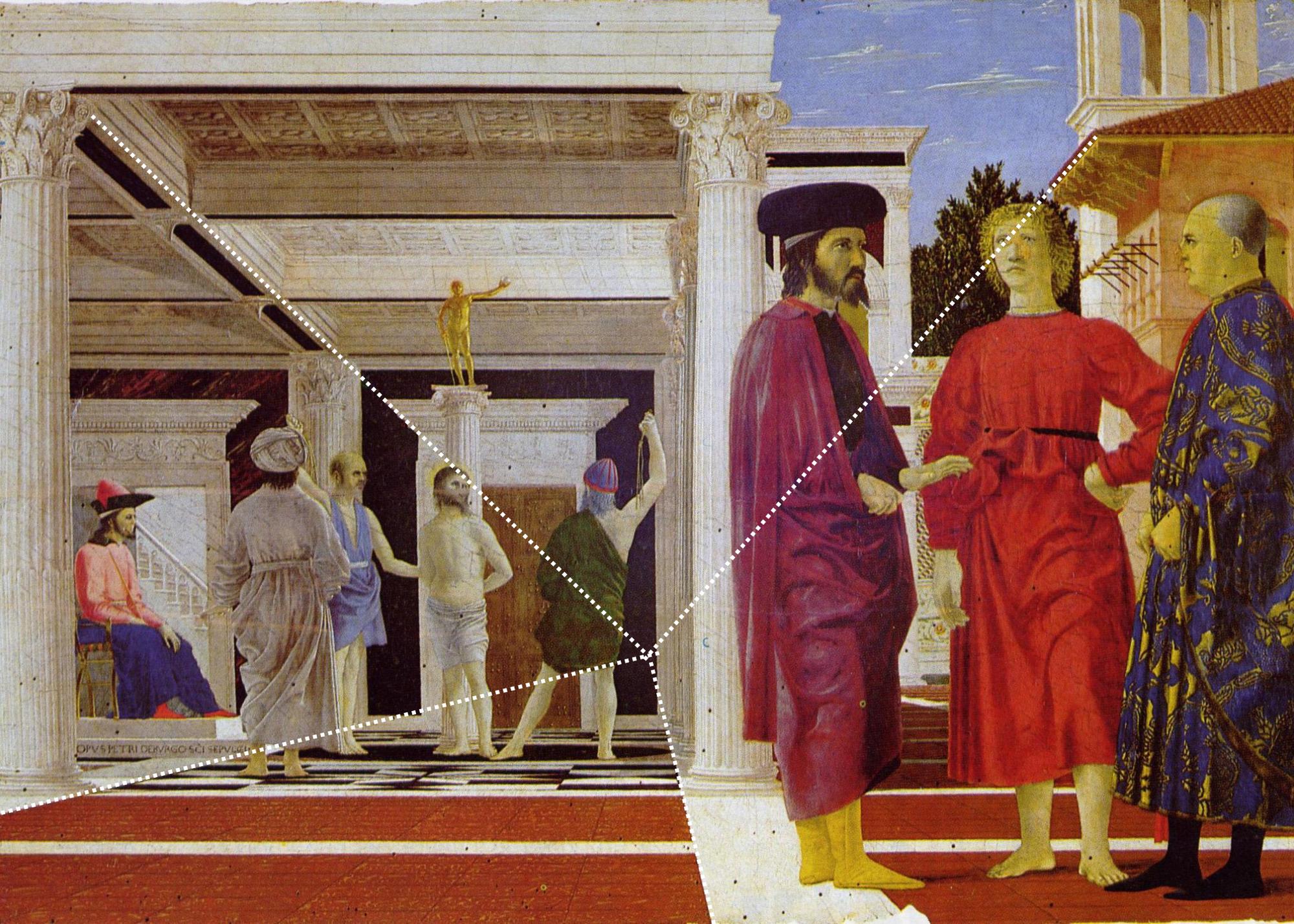
# Perspective conique



$$X' = \frac{D}{Z} X$$

$$\begin{aligned} X &= X_0 \\ Z &= u \\ X' &= \frac{D}{u} X_0 \end{aligned}$$

Une ligne *perpendiculaire au plan image* et donc parallèle à la direction d'observation donne une ligne avec des distances qui vont en  $\frac{D}{u}$



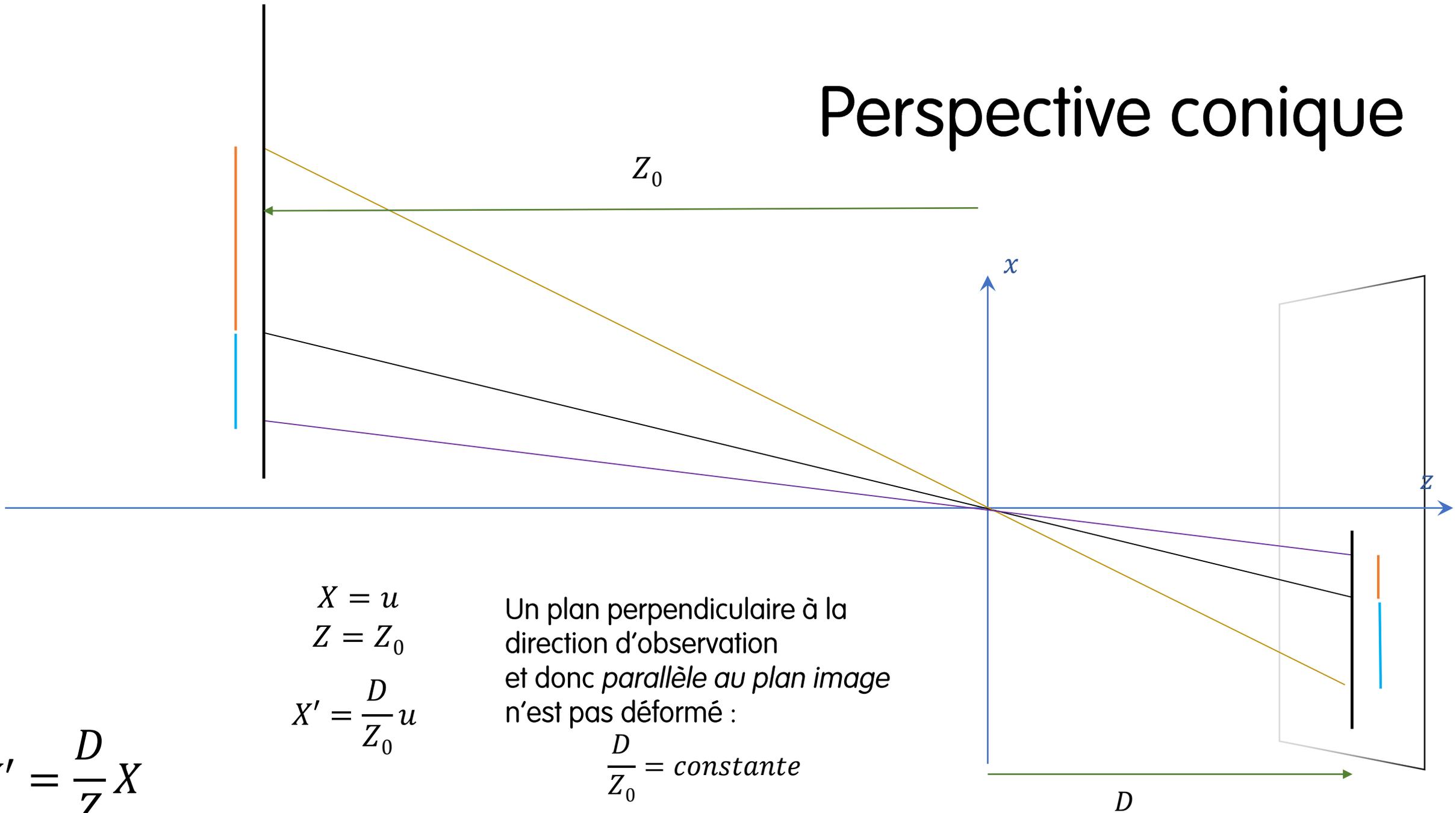
# Perspective

Les tailles des personnages réduisent avec la distance.

Les lignes parallèles dans l'espace représenté se rejoignent au point de fuite dans le plan du tableau.

Piero della Francesca  
**Flagellation du Christ**  
(1459-1460)  
*Galleria Nazionale delle Marche - Urbino*

# Perspective conique



$$X = u$$

$$Z = Z_0$$

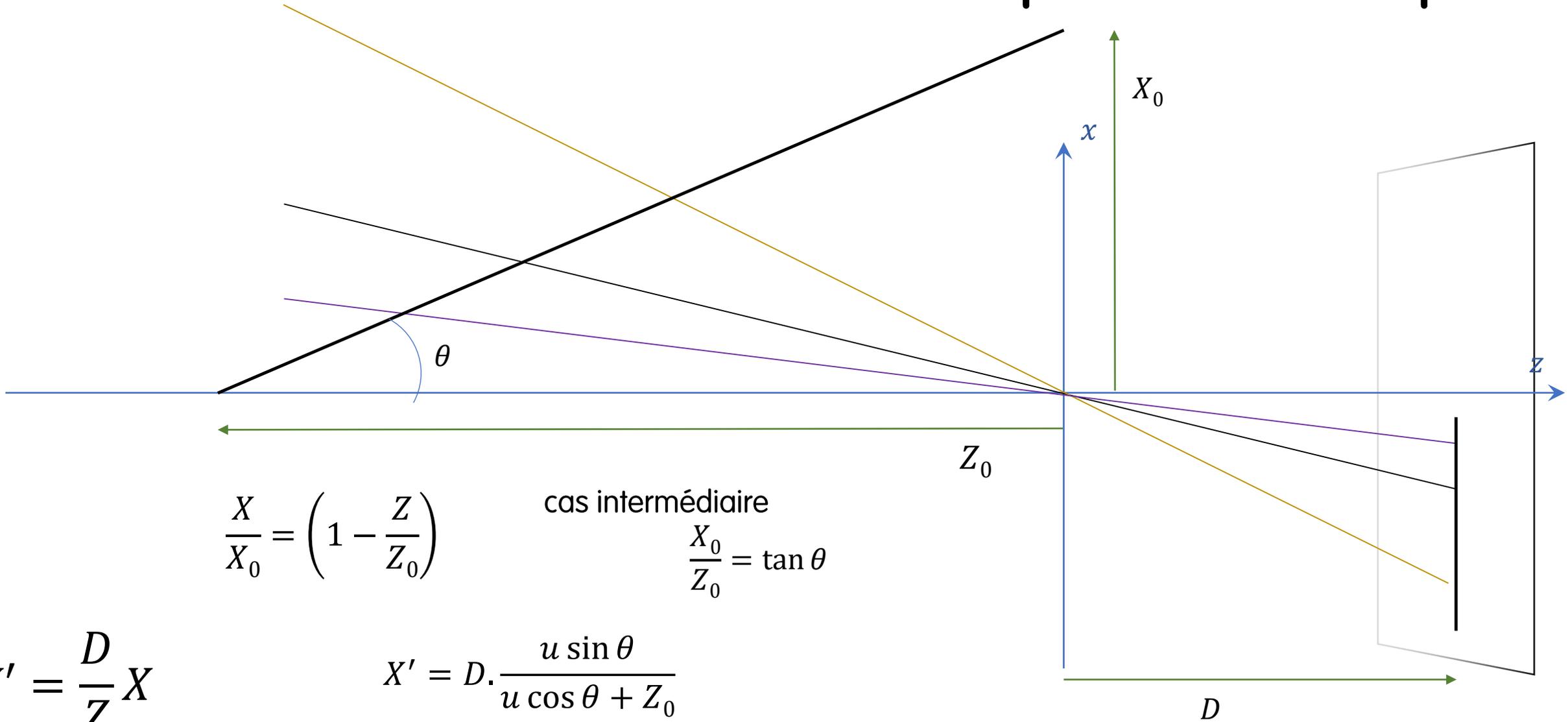
$$X' = \frac{D}{Z_0} u$$

$$X' = \frac{D}{Z} X$$

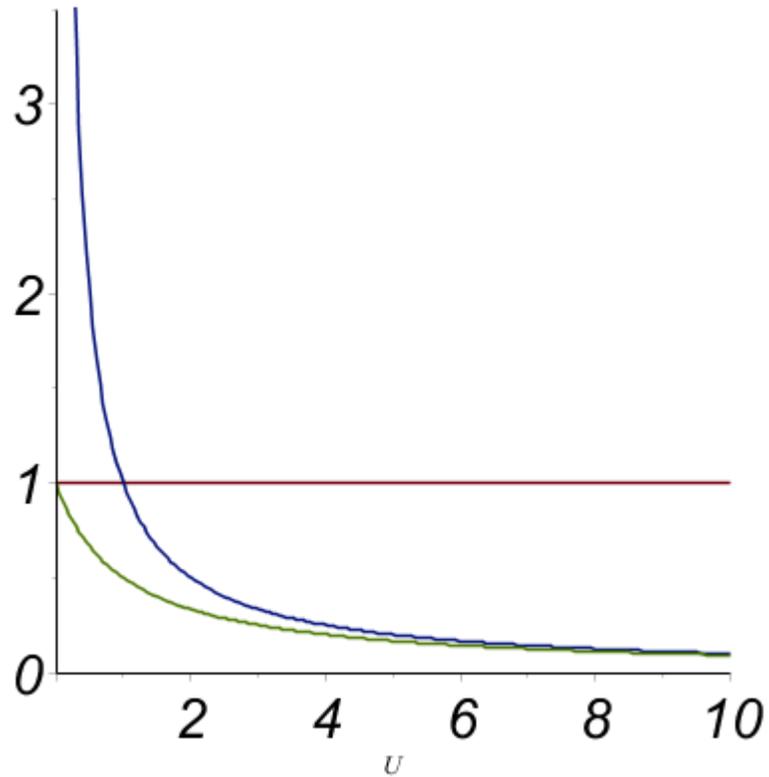
Un plan perpendiculaire à la direction d'observation et donc *parallèle au plan image* n'est pas déformé :

$$\frac{D}{Z_0} = \text{constante}$$

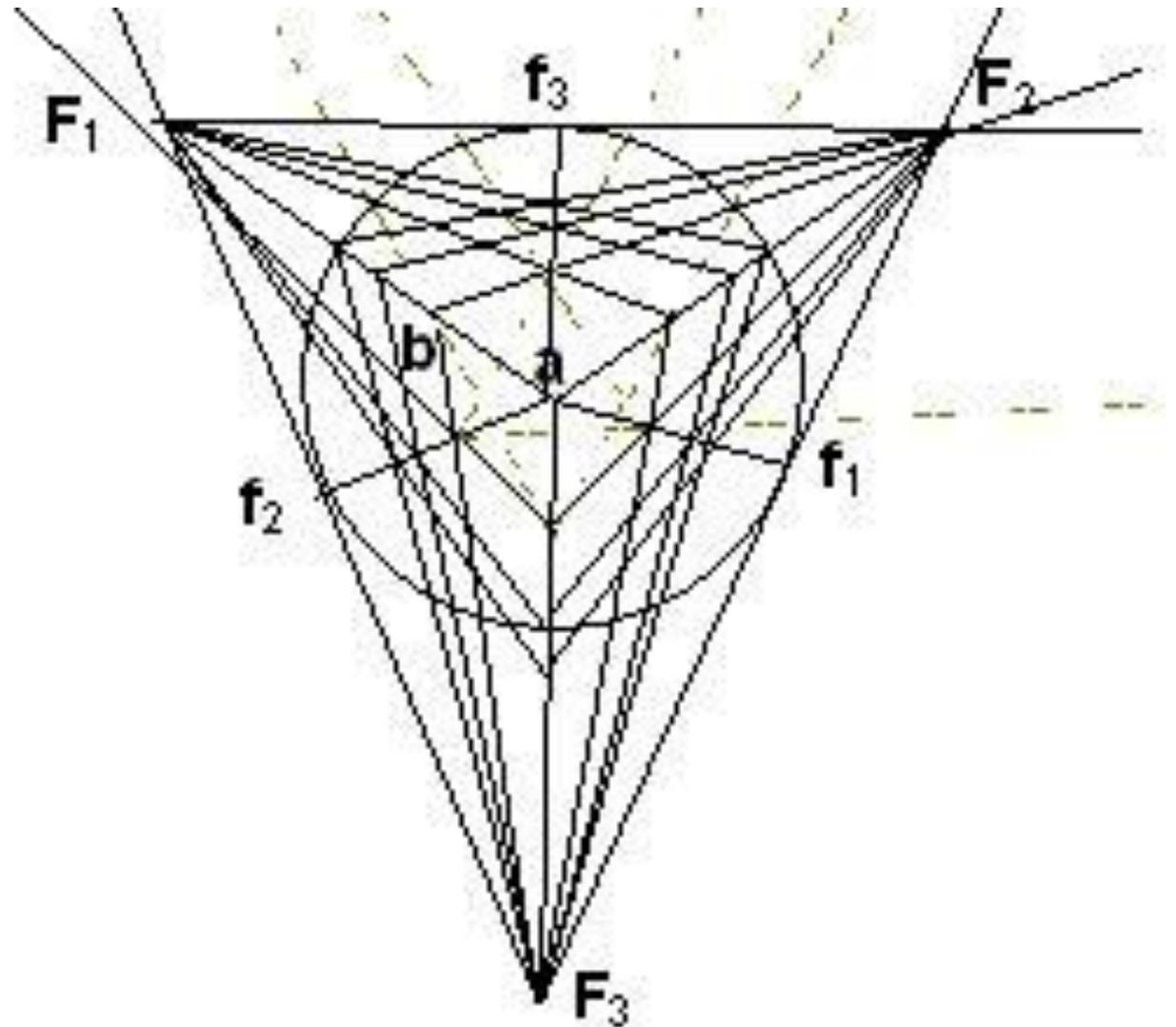
# Perspective conique



# Points de fuite & lignes de fuite

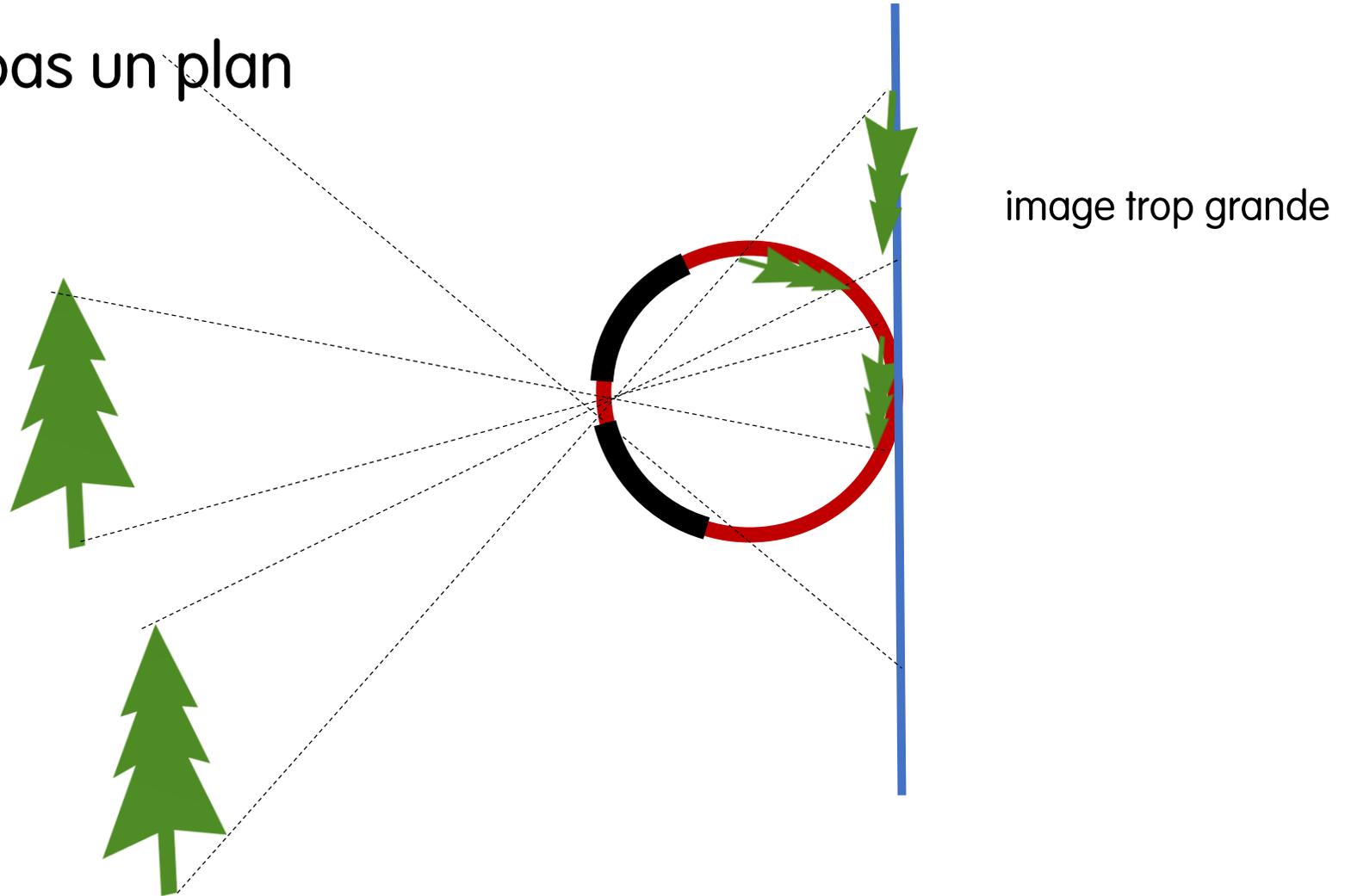


$$X' = d \cdot \frac{u \sin \theta}{u \cos \theta + z_0}$$



# Perspective curviligne

La rétine n'est pas un plan





# Perspective curviligne

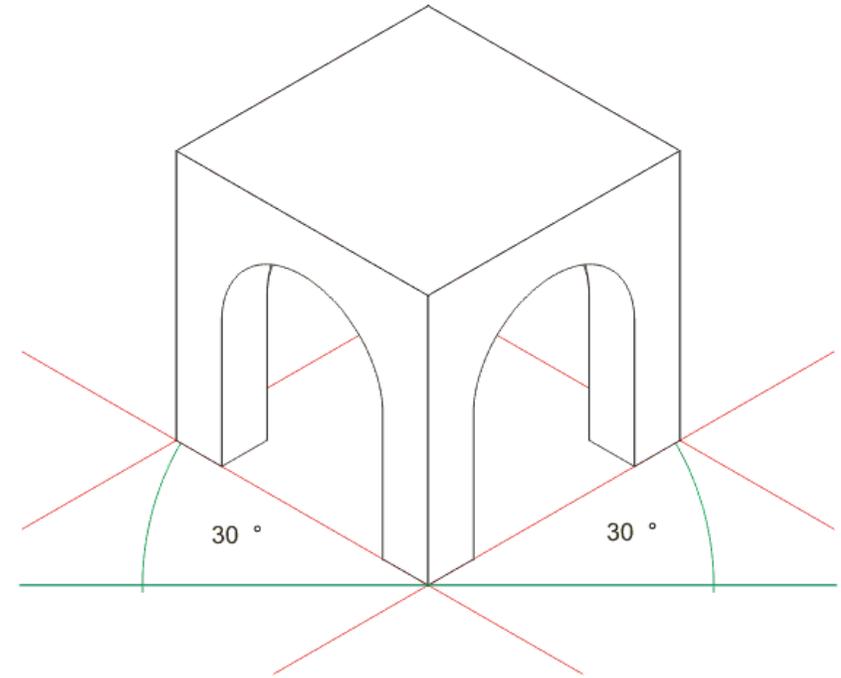
Jean Fouquet  
Entrée de l'empereur  
Charles IV à Saint-  
Denis  
(vers 1455-1460)  
*BnF - Paris*

# Perspective isométrique

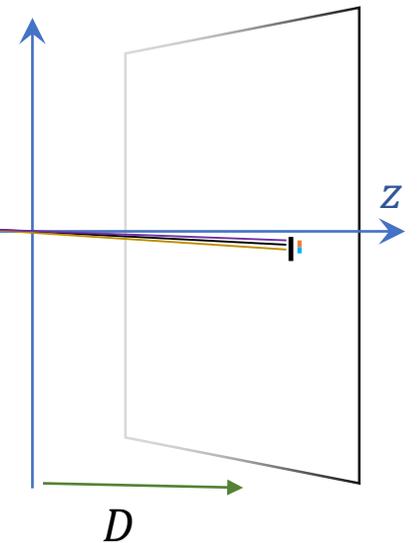
pas de fuite  
(prise de vue de très loin avec téléobjectif)

$$X' = \frac{D}{u} X_0$$

$$dX' = \frac{D}{u^2} X_0 dU$$



$x$

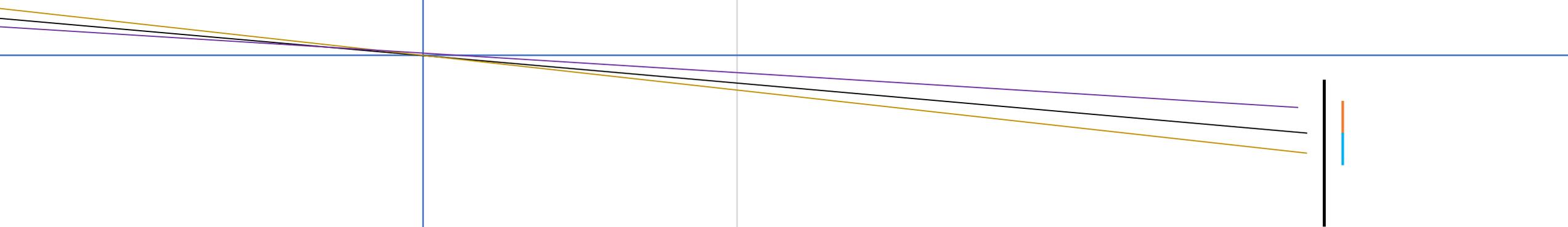
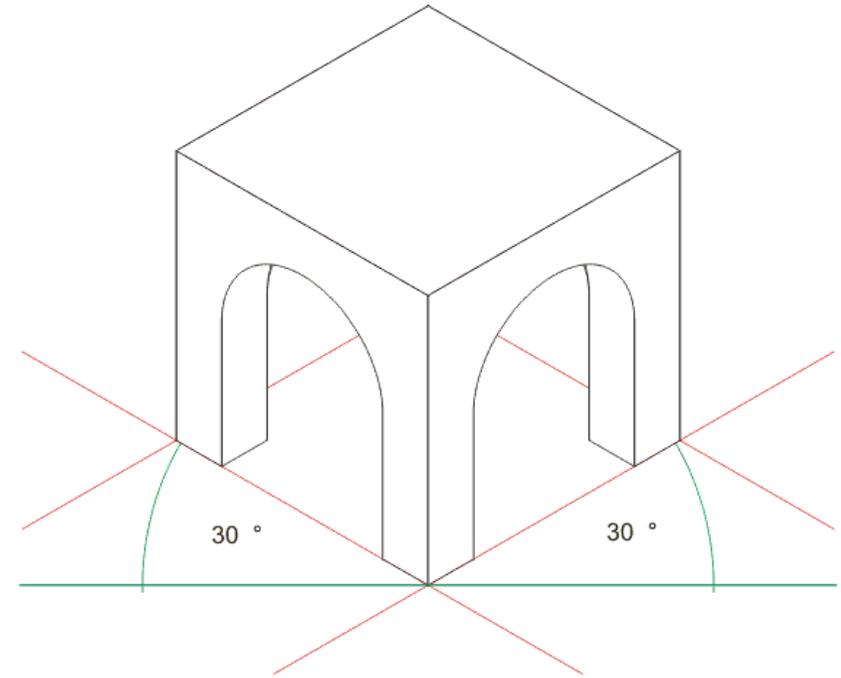


# Persopective isométrique

pas de fuite  
(prise de vue de très loin avec téléobjectif)

$$X' = \frac{D}{u} X_0$$

$$dX' = \frac{D}{u^2} X_0 du$$



dans le prochain épisode

## **Audio et video**

le disque



dans le prochain épisode ...

## Audio et video

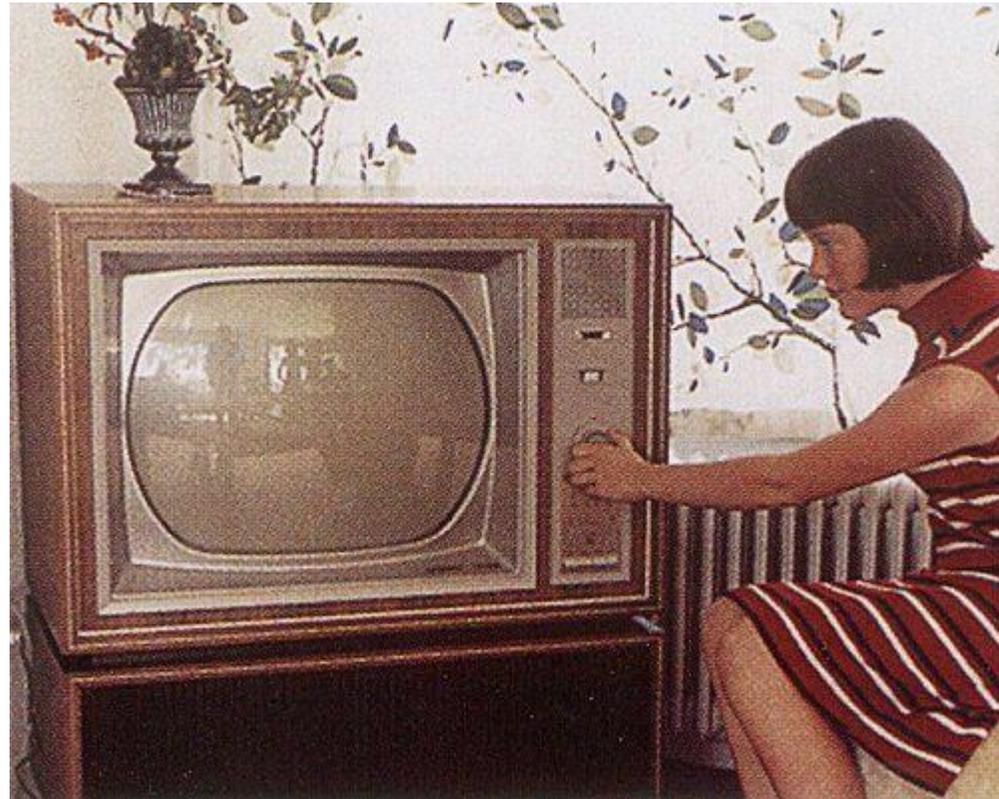
la stéréo



dans le prochain épisode ...

## Audio et vidéo

la télé

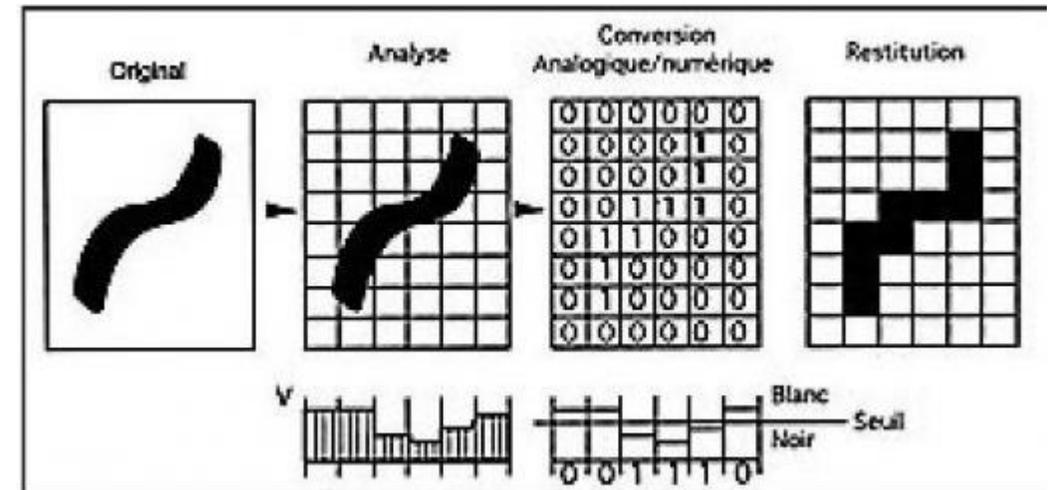


dans le prochain épisode ...

## Audio et vidéo



l'analogique  
et le  
numérique



dans le prochain épisode ...

## **Audio et vidéo**

la compression  
de  
l'information  
et l'internet



dans le prochain épisode ...

## **Audio et vidéo**

Comment enregistrer, diffuser, reproduire  
les sons et les images?