

OG 1 : FORMATION DES IMAGES EN OPTIQUE

- Objectifs :
- Connaître les différents éléments d'un système optique
 - Introduire le vocabulaire de l'optique :
Notion de stigmatisme et d'aplanétisme, d'objet, d'image, de réalité et de virtualité
 - Présenter le cadre d'étude des lentilles et miroirs :

Les systèmes centrés dans l'approximation de Gauss

TP

I - SOURCES ET DÉTECTEURS

- 1 - Les sources de lumières
- 2 - Les détecteurs ou récepteurs de lumière

II - SYSTÈMES OPTIQUES ET STIGMATISME

- 1 - Système optique
- 2 - Objets et images
- 3 - Réalité et virtualité

III - SYSTÈMES CENTRÉS DANS L'APPROXIMATION DE GAUSS

- 1 - Les conditions de Gauss
- 2 - Conséquences des conditions de Gauss

R2P : Résolution de Problème

On considère un disque de rayon R , parallèle au sol à une hauteur h , et son ombre projetée par le soleil que l'on suppose à la verticale de façon à ce que l'ombre soit elle aussi circulaire.

Discuter l'influence de la hauteur h sur la taille de l'ombre projetée au sol ; faire le lien avec le caractère source ponctuelle ou source étendue du soleil que l'on considère être à l'infini.

Plus concrètement :

Peut-on toujours distinguer la forme d'un avion à partir de son ombre projetée sur le sol ?



Plane shadow over halophile blooms Lake Natron, Tanzania

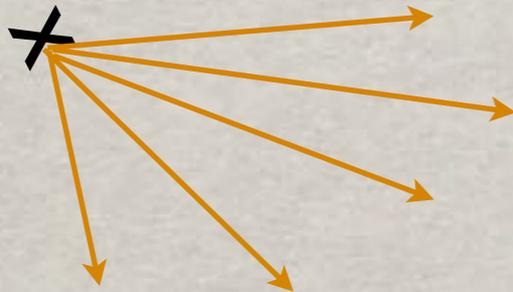
I SOURCES ET DÉTECTEURS

1 - Les sources de lumières

Définition d'un source :

On appelle source, de façon générique, un objet physique dont chaque point émet des rayons de lumière.

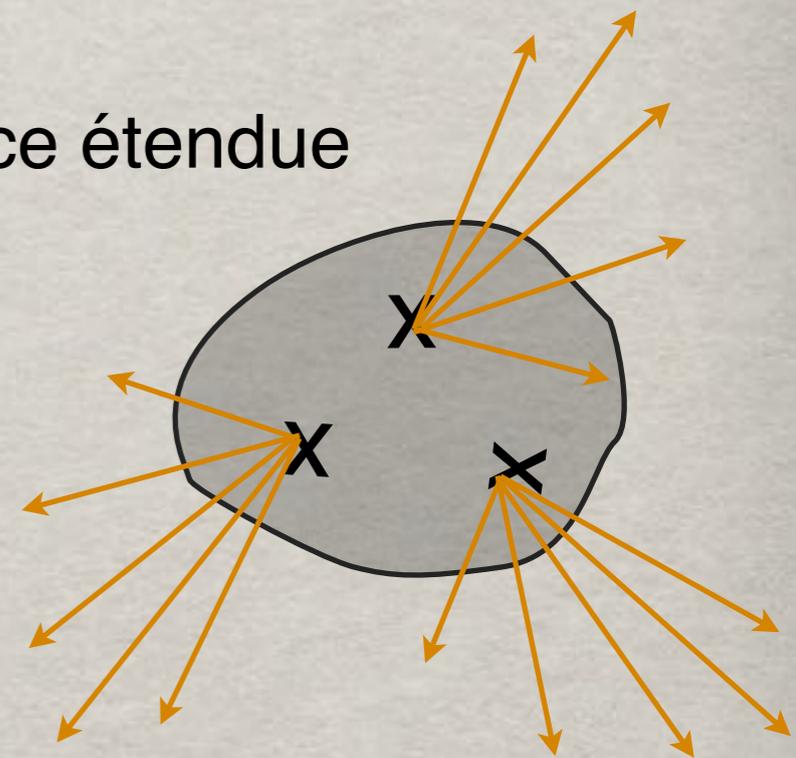
Source ponctuelle



=> On peut «voir» la source.

Contre-exemple :

Source étendue



RQ: Une source étendue est une collection d'une infinité de sources ponctuelles

On caractérise les sources de lumière, par leur spectre principalement, mais aussi par leur étendue, par leur intensité

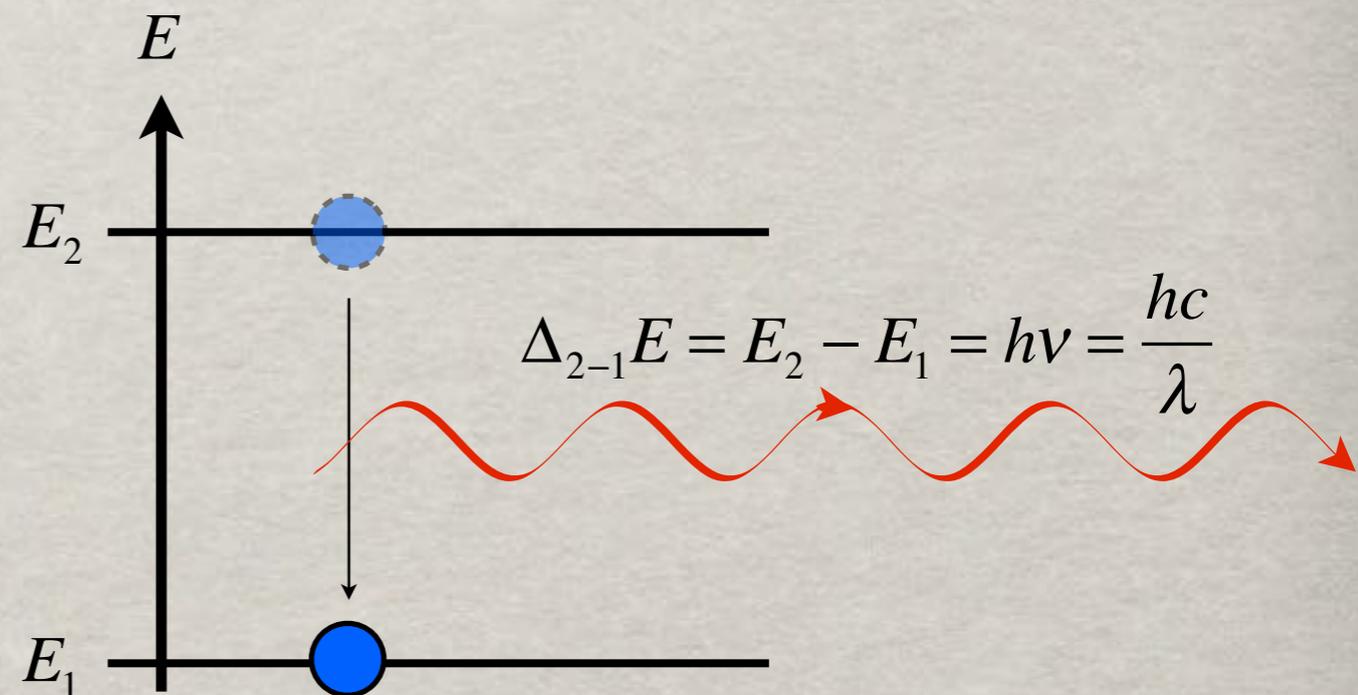
α - EXEMPLES DE SOURCES

* La lampe spectrale

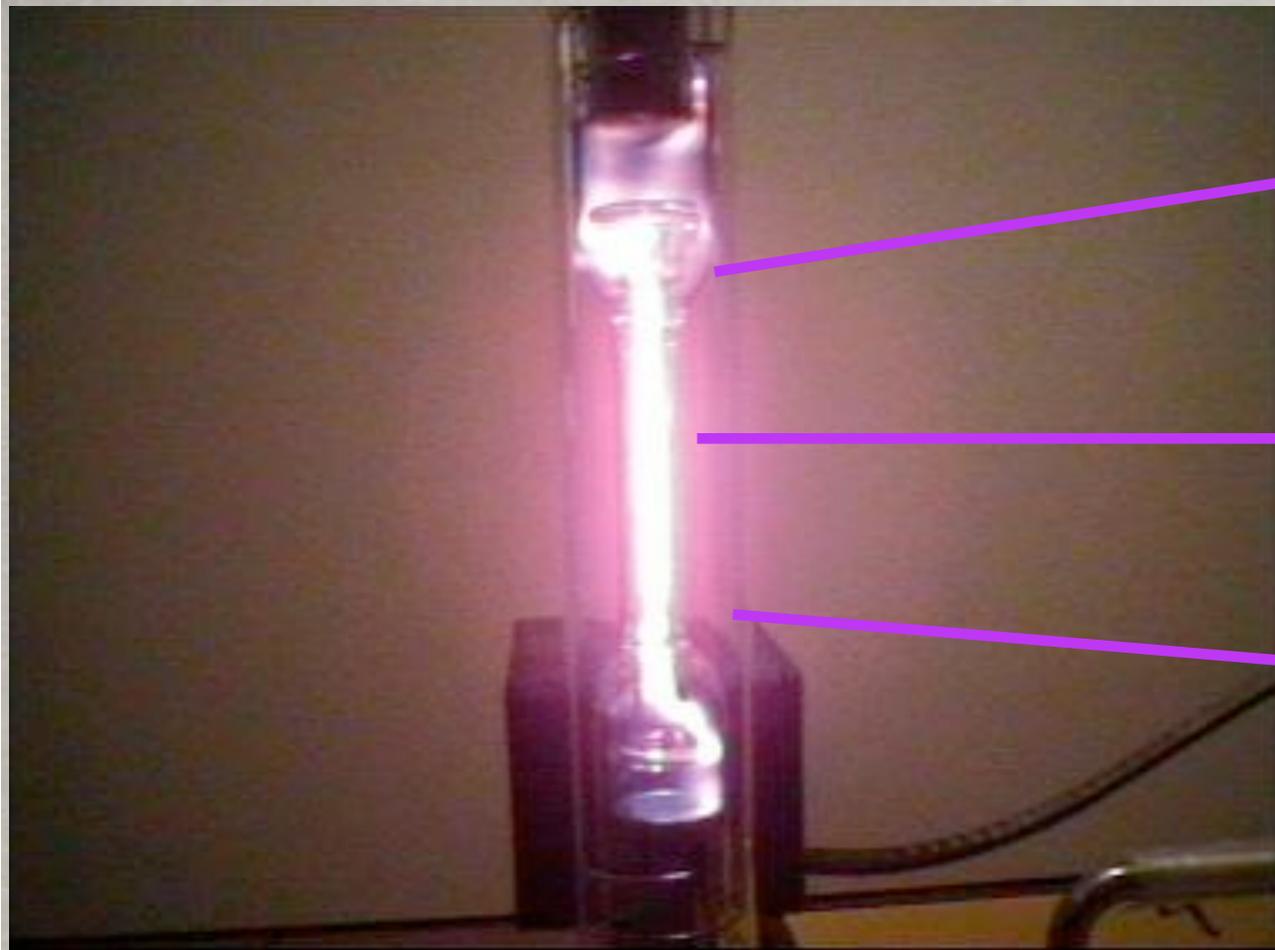
Des décharges électriques excitent le passage d'un électron d'une orbitale basse à une orbitale de plus haute en énergie.

Mécanisme d'émission :

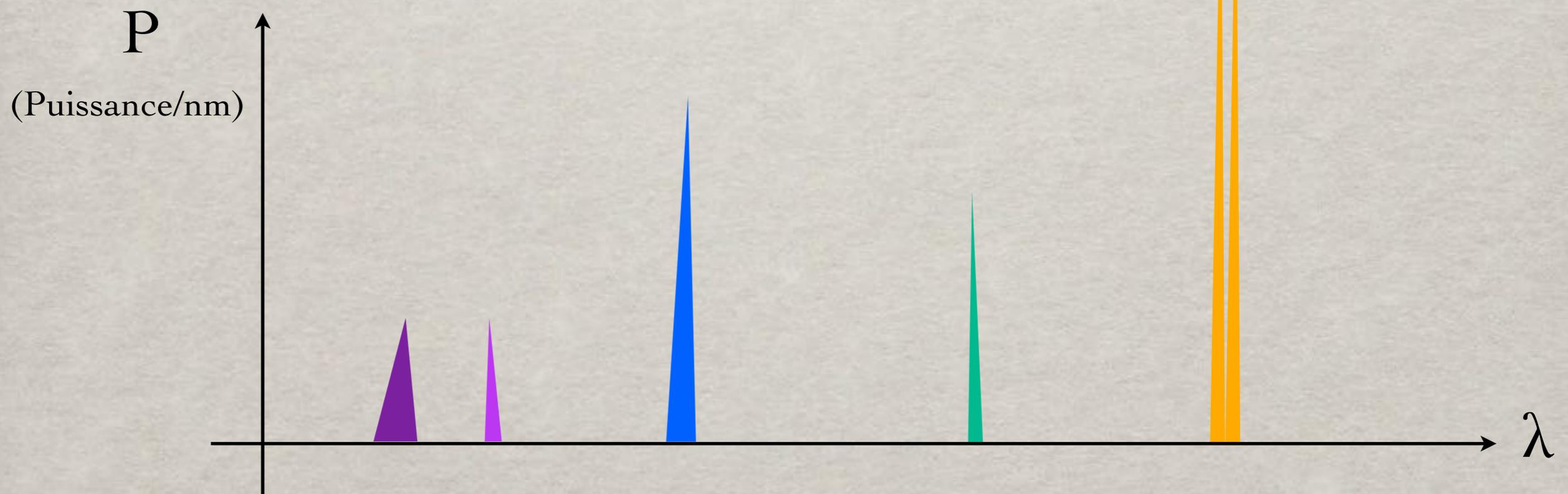
Le changement d'état induit l'émission spontanée d'un photon.



Seule la fréquence du photon est connue d'après la loi d'Einstein, qui traduit la conservation de l'énergie : $E = h\nu$



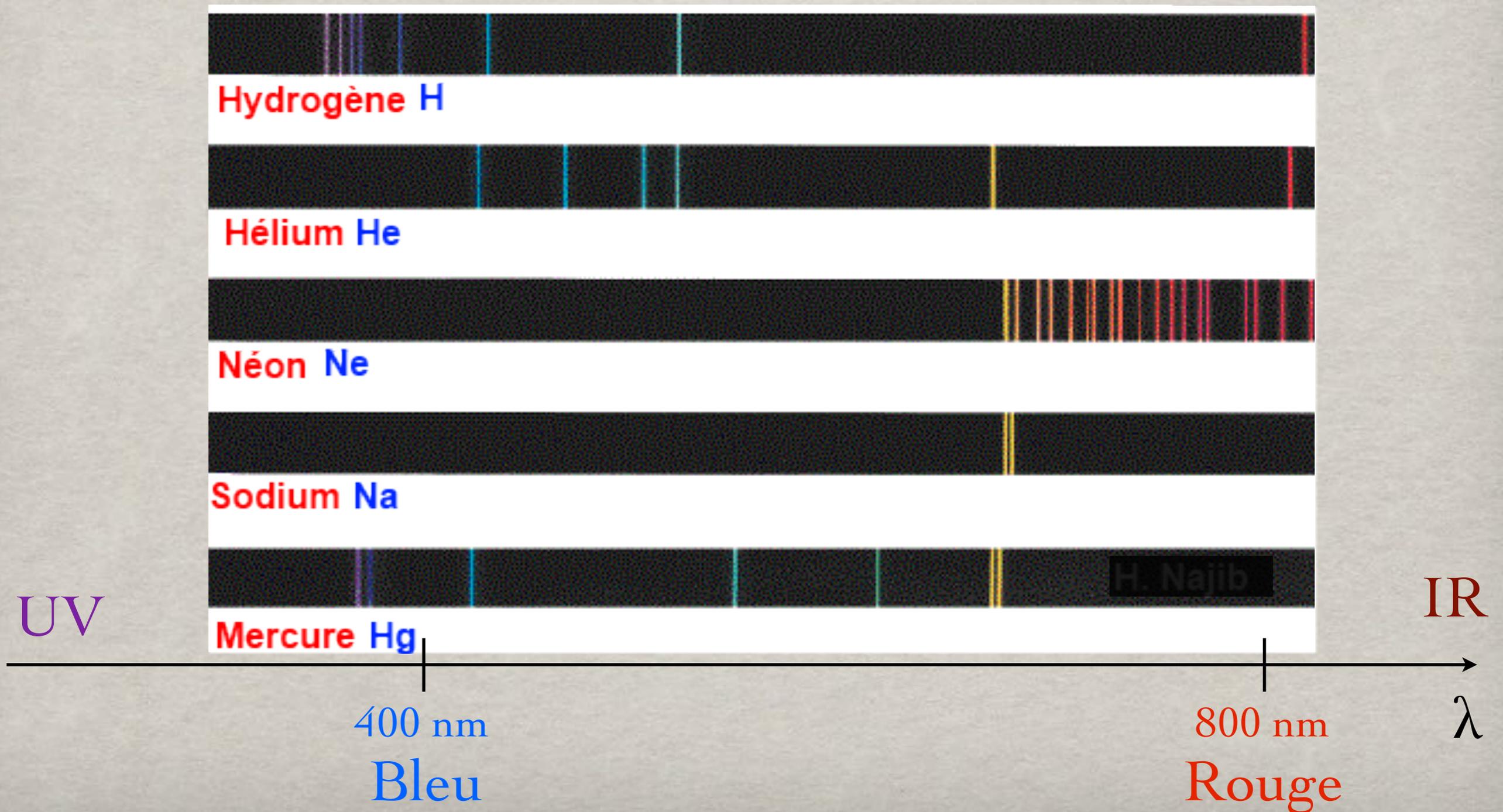
Réseau
+ capteur CCD



Spectre : Puissance lumineuse en fonction de la longueur d'onde

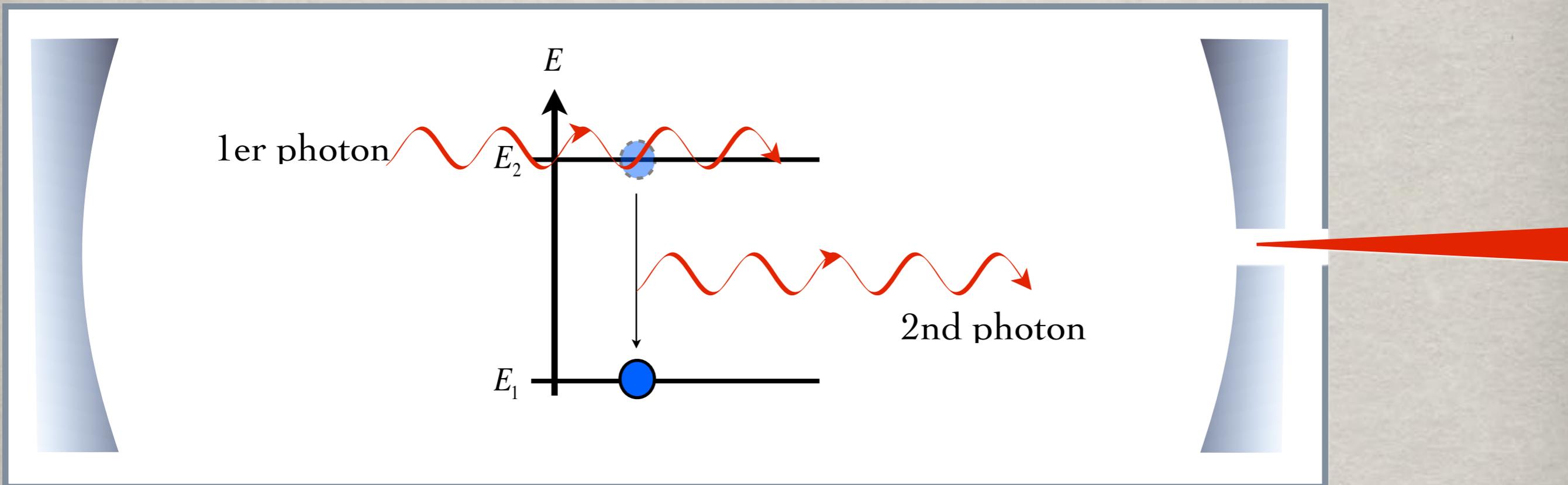
Chaque élément chimique est caractérisé par son spectre :
on dit que c'est sa signature spectrale

Ex : cette signature permet d'identifier la présence d'un élément chimique dans
la queue d'une comète, ou même hors du système solaire (Nébuleuse, étoile).



* Le laser [Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation]

Mécanisme d'émission différent



Emission stimulée :

Le premier photon stimule l'émission d'un second photon exactement identique [direction, fréquence, polarisation]. Et ainsi de suite.

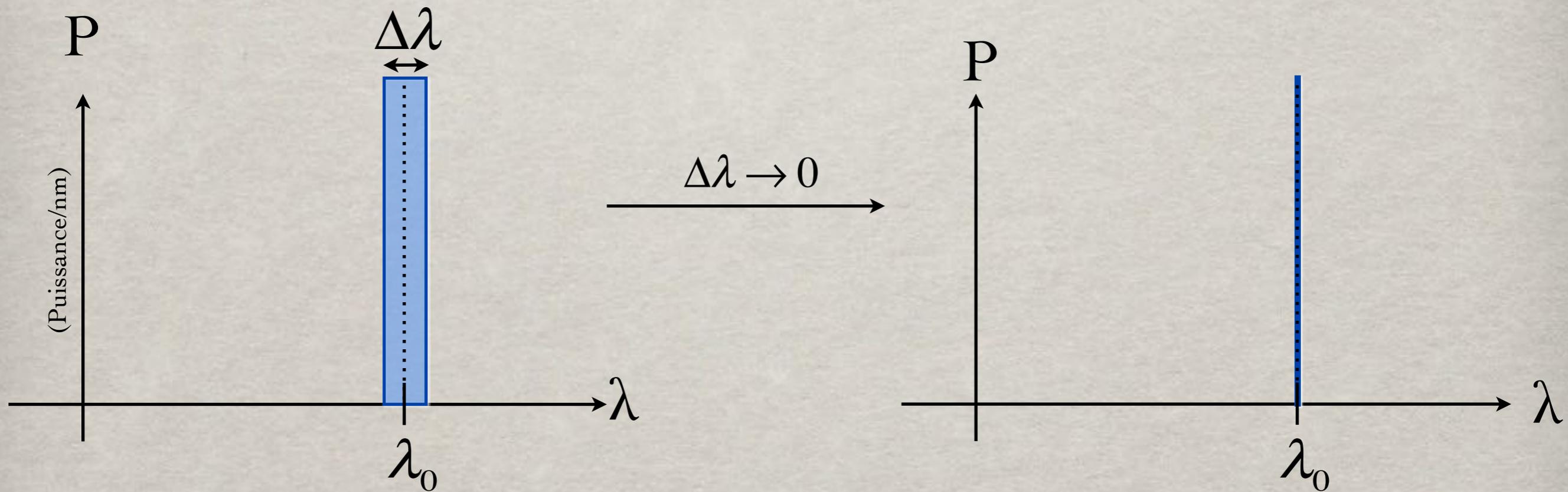
Cavité résonante : amplification

La cavité sélectionne et concentre les photons entre les deux miroirs, car sa longueur est un multiple entier de la longueur d'onde.

*Modèle de la source ponctuelle monochromatique

Une source est considérée monochromatique lorsque l'on peut négliger la largeur de la raie : $\Delta\lambda \rightarrow 0$

- Le mouvement d'agitation thermique du gaz tend à élargir le profil de raie
- Pour des raisons quantiques liées à l'inégalité d'Heisenberg une raie a toujours une largeur non nulle : on peut la relier à la durée totale de l'onde. (cf MQ)

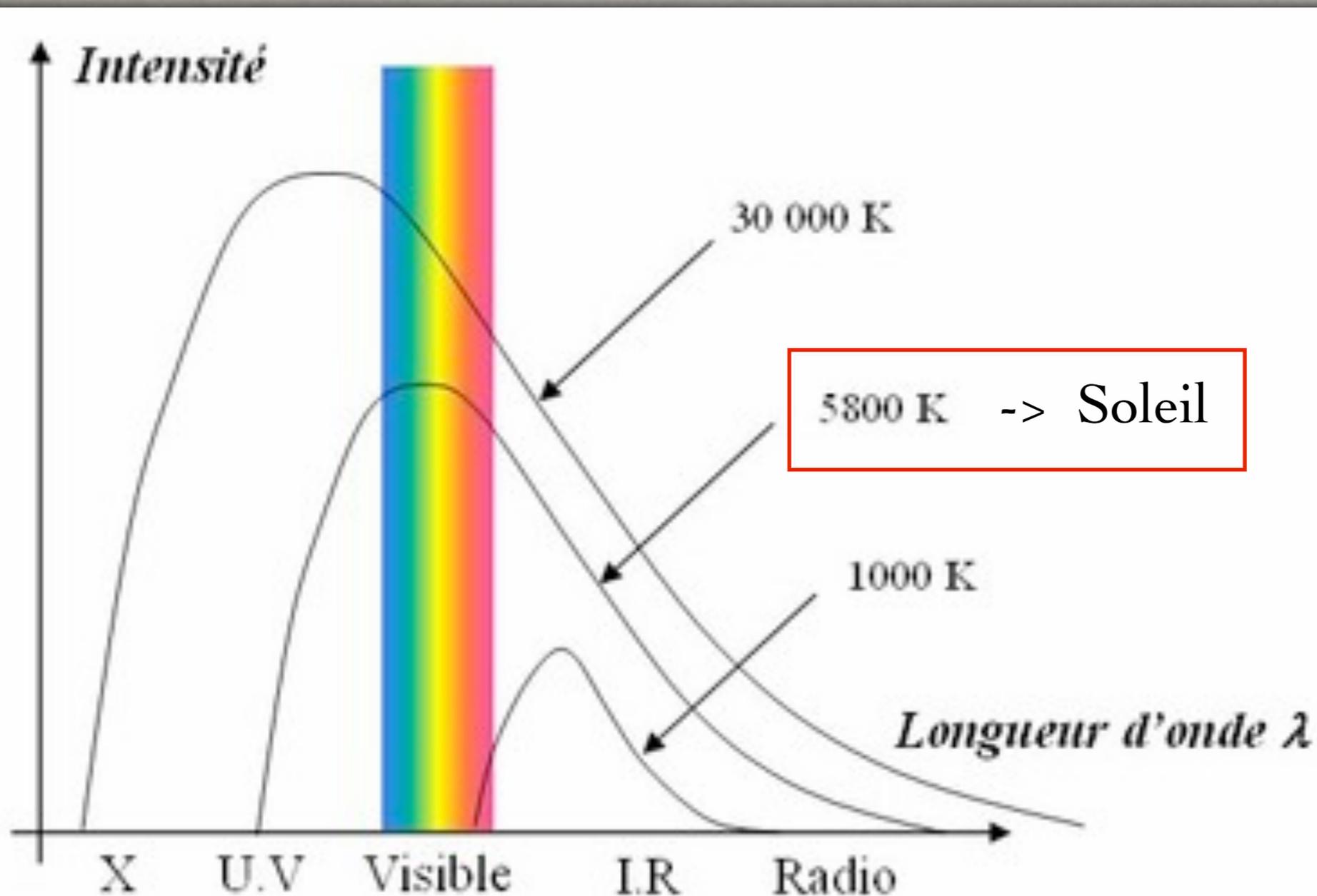


Le laser a un spectre très monochromatique.

* La lampe a incandescence

Le passage du courant dans un fil chauffe celui-ci qui rayonne alors selon un modèle proche de celui du corps-noir [Max Planck].

On obtient dans ce cas un spectre continue avec un maximum, pour une longueur d'onde qui dépend de la température.



β - SOURCES PRIMAIRES ET SECONDAIRES

Exemples dans le visible :

Primaire

I	- Soleil
	- Ampoule
	- Laser

Un mécanisme
physique **produit**
la lumière

Secondaire

II	- Lune
	- le ciel
	- Mur

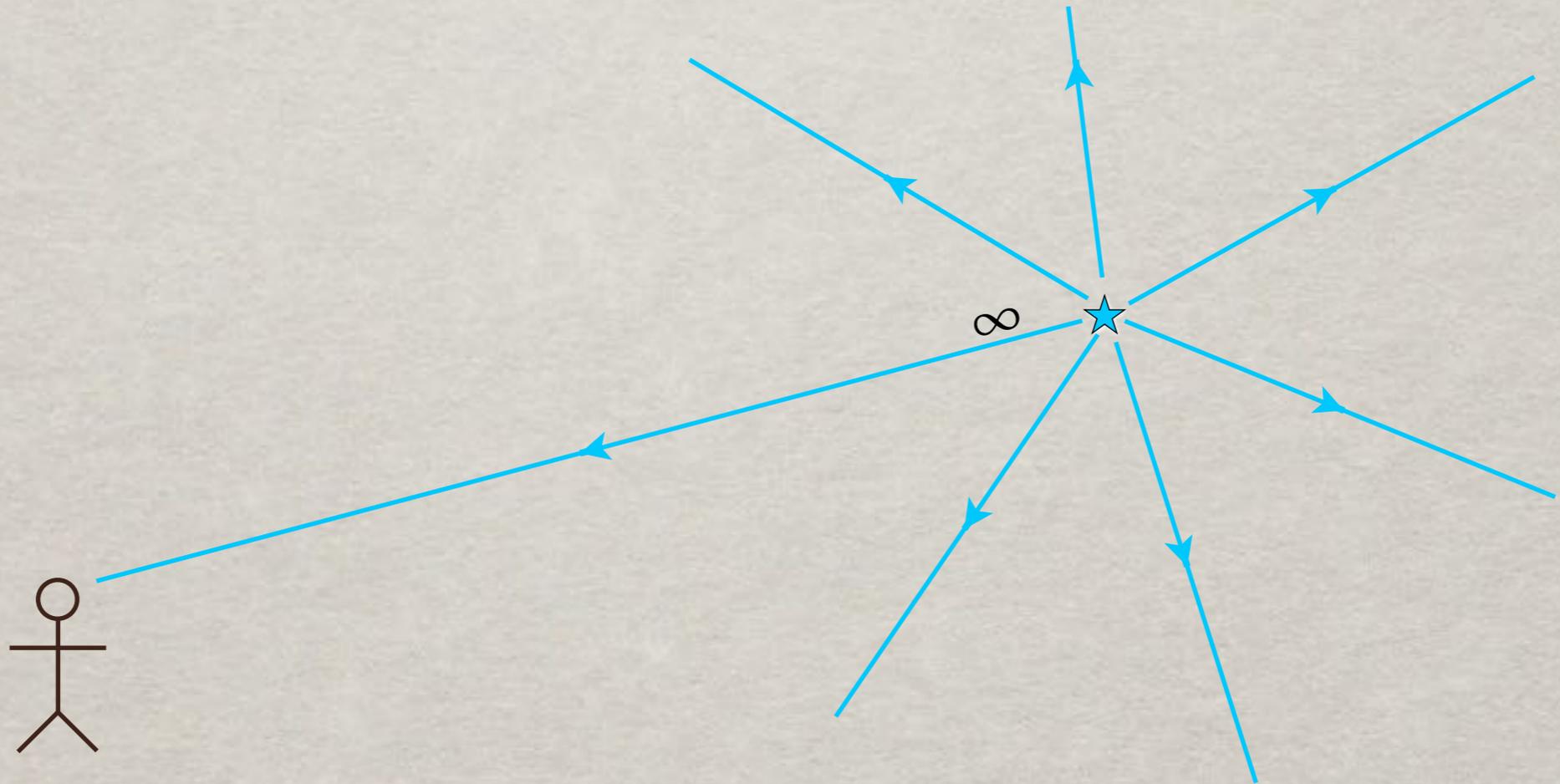
Un mécanisme physique
réfléchit, diffuse et altère
la lumière

Un miroir est-il une source secondaire ?

γ - Sources ponctuelles et étendues

On parle de source ponctuelle lorsque les rayons partent tous d'un même point.

Ex : une étoile lointaine vue de la terre



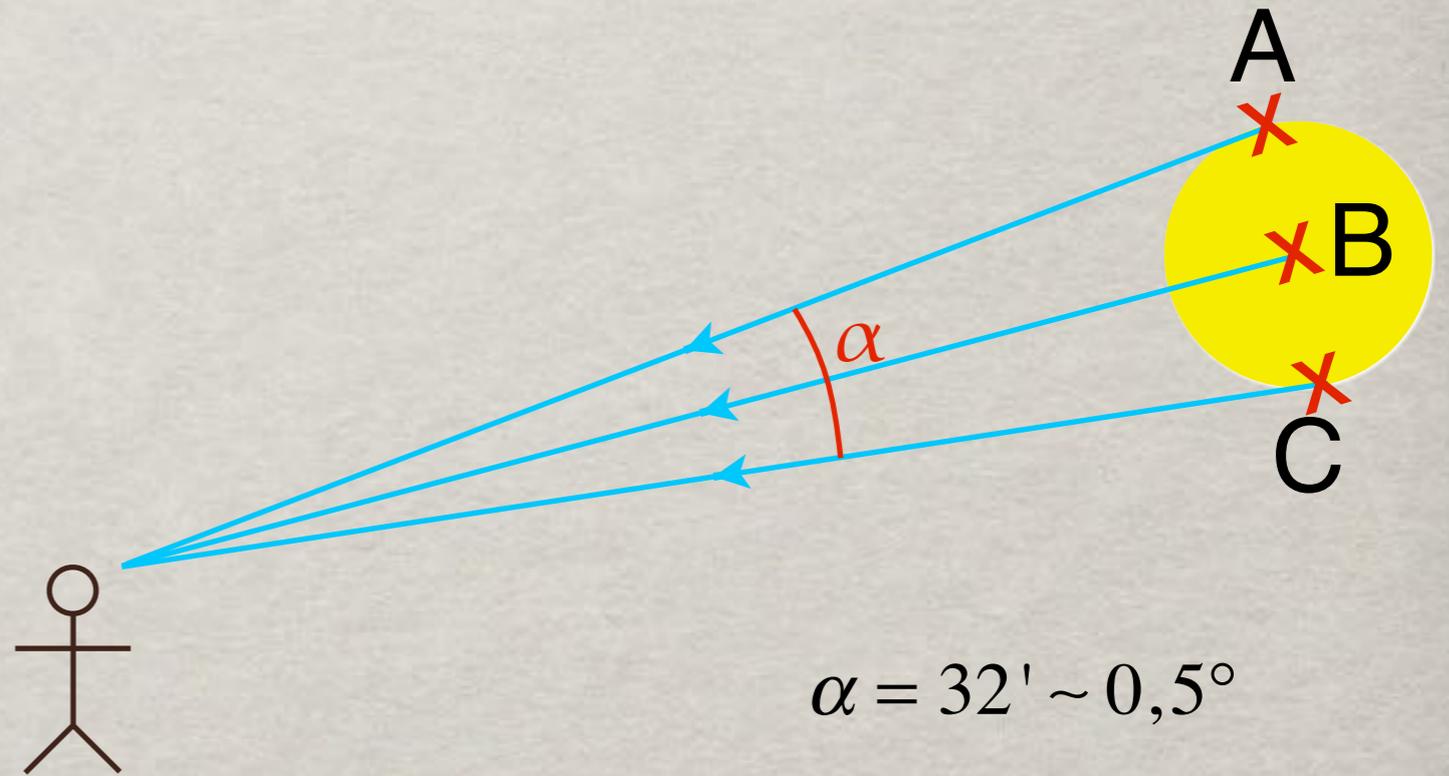
La source ponctuelle a une extension angulaire nulle : je vois un point brillant

On parle de source étendue lorsque l'objet émetteur a une extension angulaire non nulle :
c-à-d que l'on voit cet objet sous un angle α non nul.

Une source étendue est une collection d'une infinité de sources ponctuelles :

Ex : Le soleil vue de la terre

-> je vois un disque lumineux



Exercices d'application sur la source étendue

1 - La lune

Chercher sur internet la distance de la lune et son diamètre.

Sous quel angle voit-on la lune ? [en radians puis en minutes]

2 - La tour Eiffel

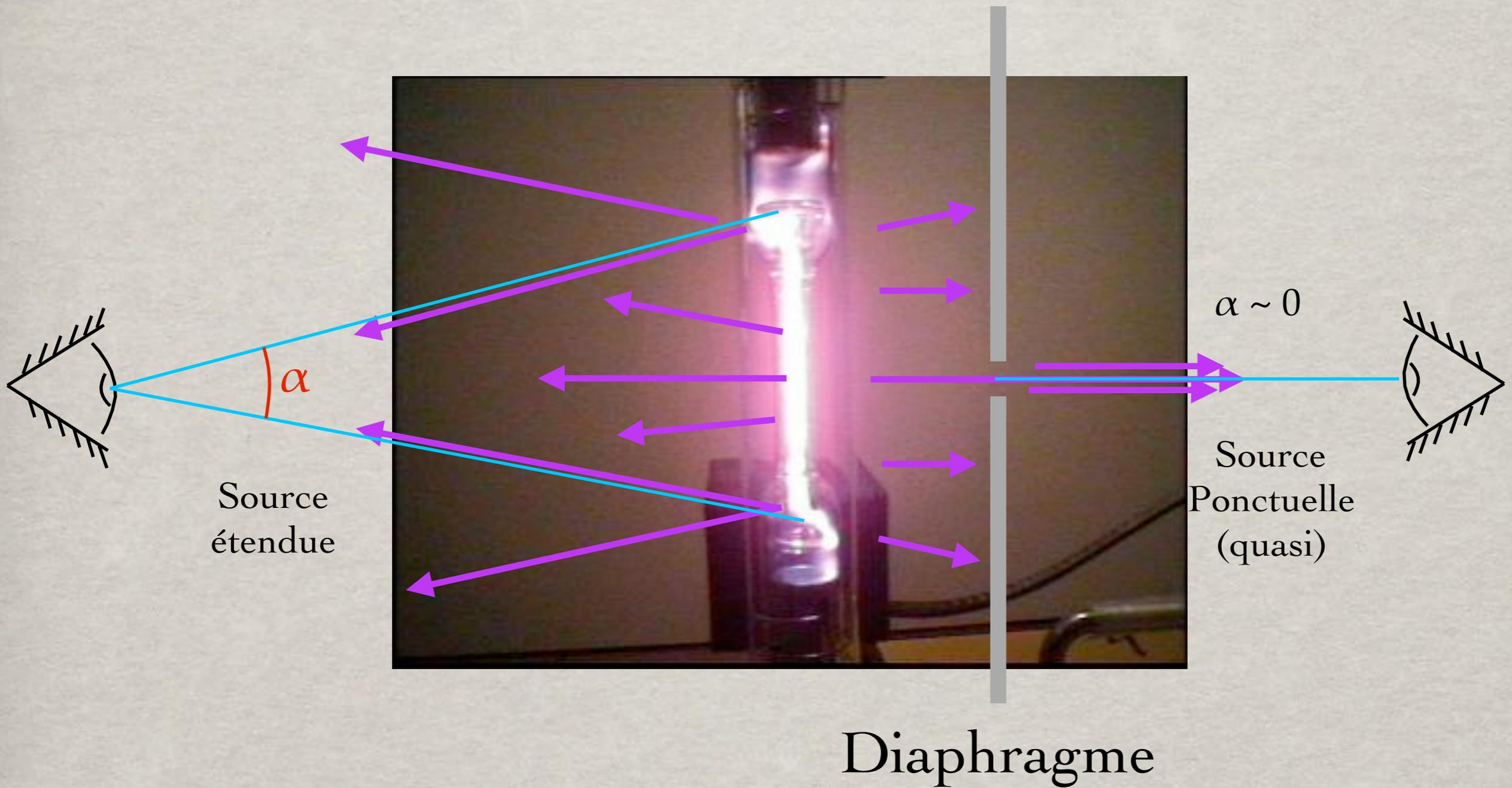
a - Chercher sur internet la hauteur de la tour Eiffel.

A quelle distance doit-on se placer pour la voir sous le même angle que la lune ?
Faire un schéma de la photo obtenue

b - A quelle distance a été prise la photo ci-contre ?



Exemple en TP : la lampe spectrale



R2P : Résolution de Problème

Quelle est la différence entre une planète et une étoile lorsqu'on les observe la nuit ?

Planète signifie en grec astre « errant » car elles se déplacent par rapport aux étoiles
Dès l'antiquité on avait bien fait la différence entre planètes et étoiles.

Il existe pourtant une autre différence fondamentale, mais de nature optique cette fois.
Celle-ci était aussi bien connue dès l'antiquité :

- L'étoile brille comme le savent bien les enfants : « twinkle twinkle little star »
- Mais pas les planètes

Pourquoi ?

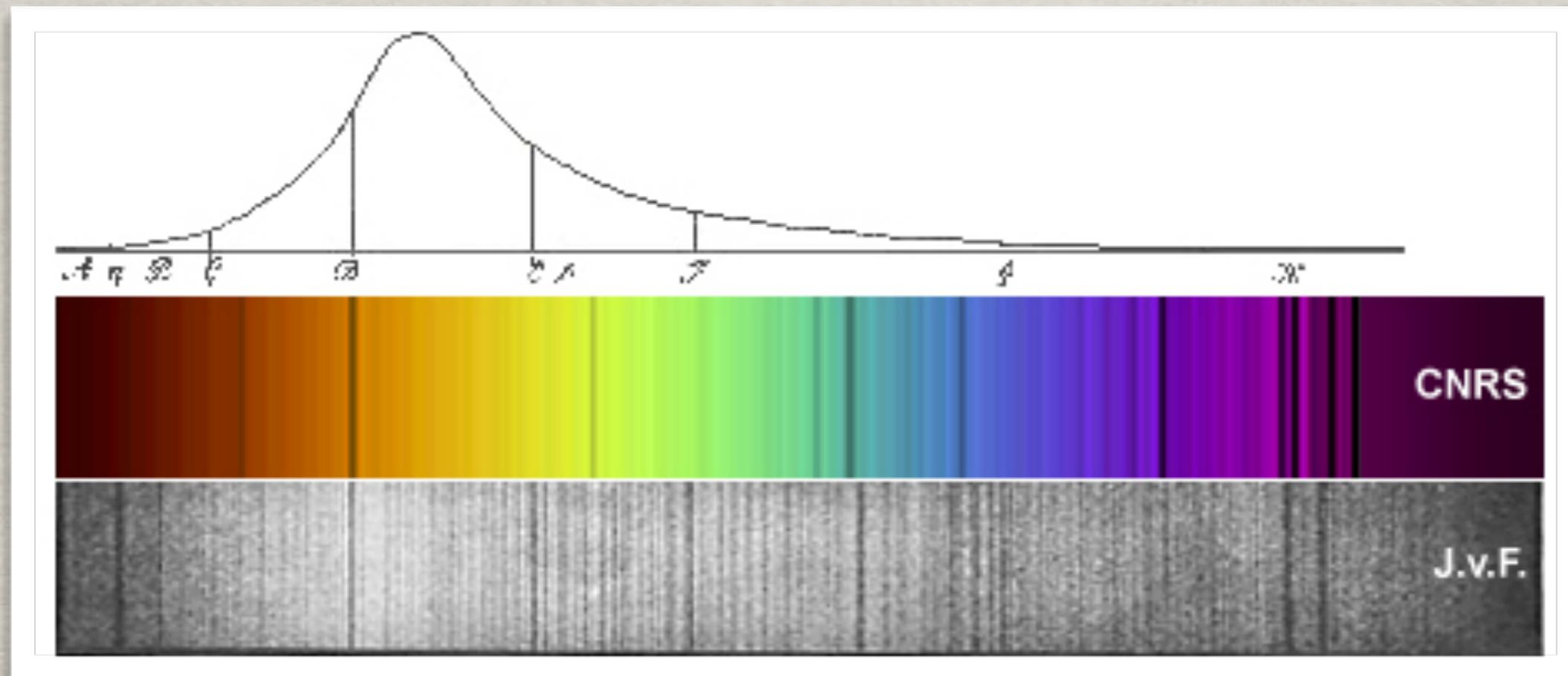
Proposer une explication sur la base des éléments que nous venons de voir.

On prendra aussi en compte le fait que l'atmosphère terrestre est turbulente à haute altitude ce qui altère sensiblement le trajet des rayons lumineux.

Les domaines de la vision

Vision humaine : Spectre visible

Domaine de vision distincte



Le premier spectre solaire obtenu
par J.von Fraunhofer en 1817

2 - Les détecteurs ou récepteurs de lumière

Ils ont pour fonction de collecter la lumière en des points précis

Ex :

Oeil -> cellules de la rétine

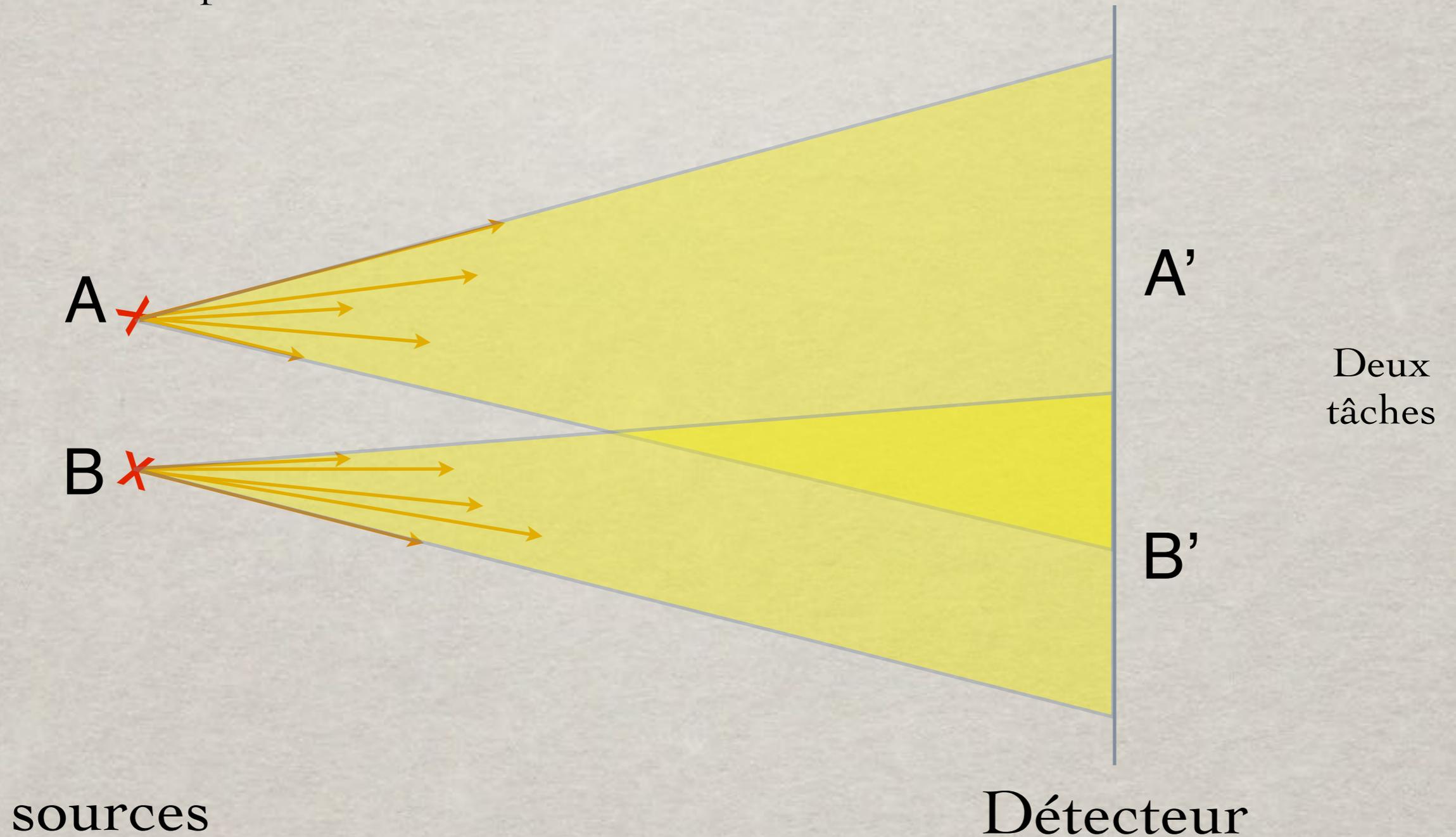
Ecran -> chaque point devient une source secondaire observable

CCD -> cellules photosensibles

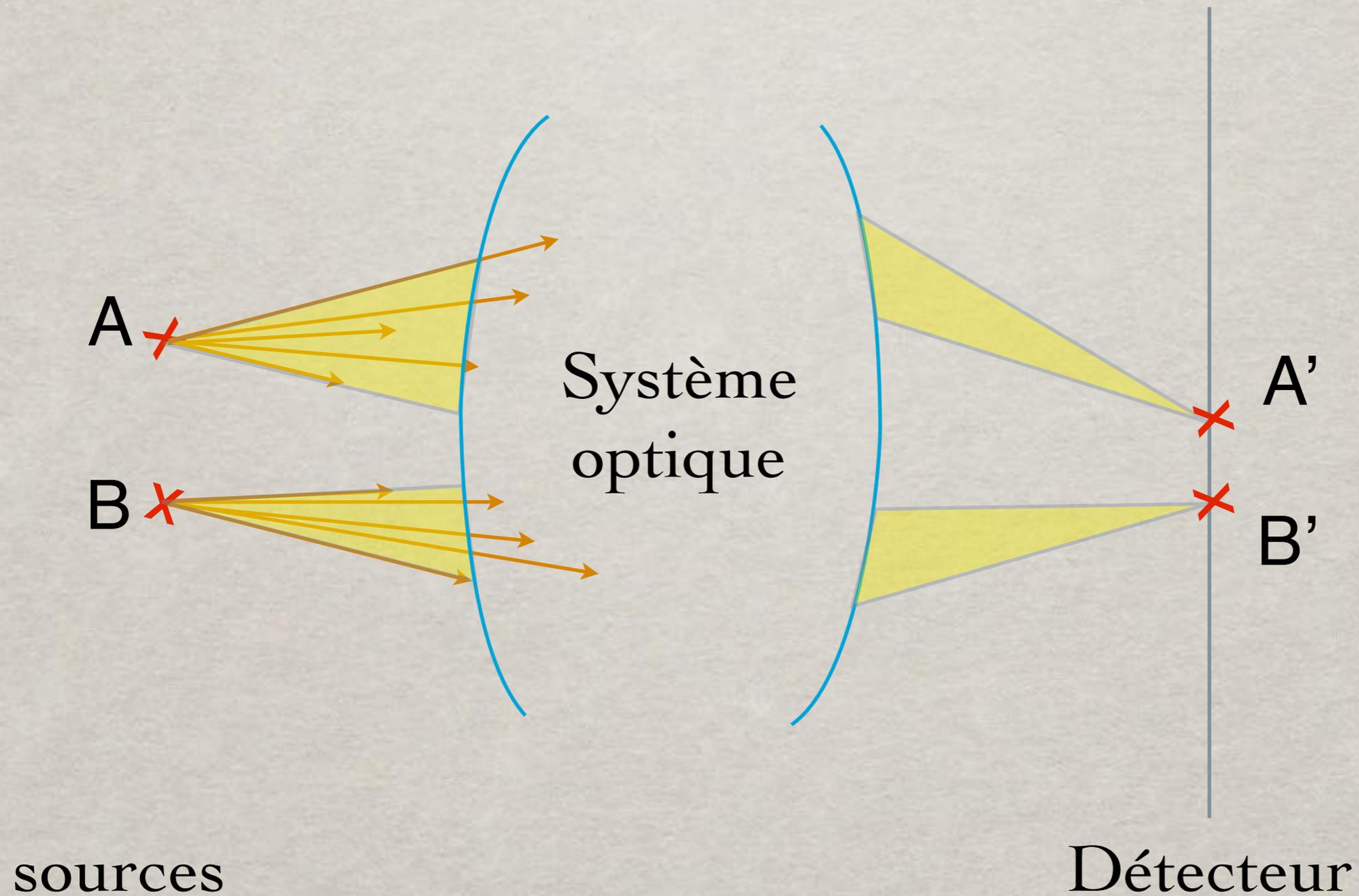
Pellicule photographique -> la lumière induit une réaction chimique

Contrainte majeure :

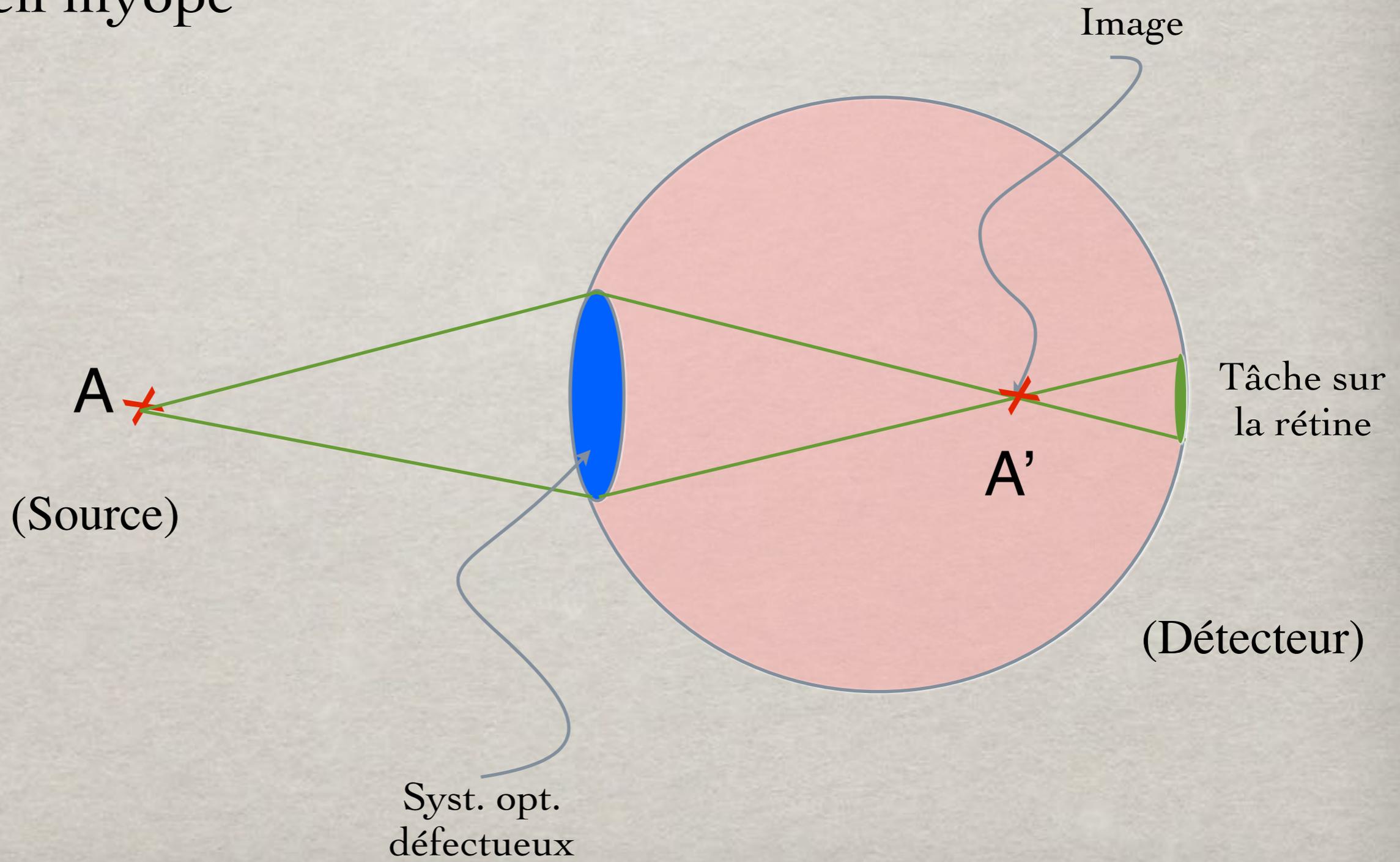
Le détecteur ne fonctionne que si l'image d'une source ponctuelle est ponctuelle sur le détecteur :



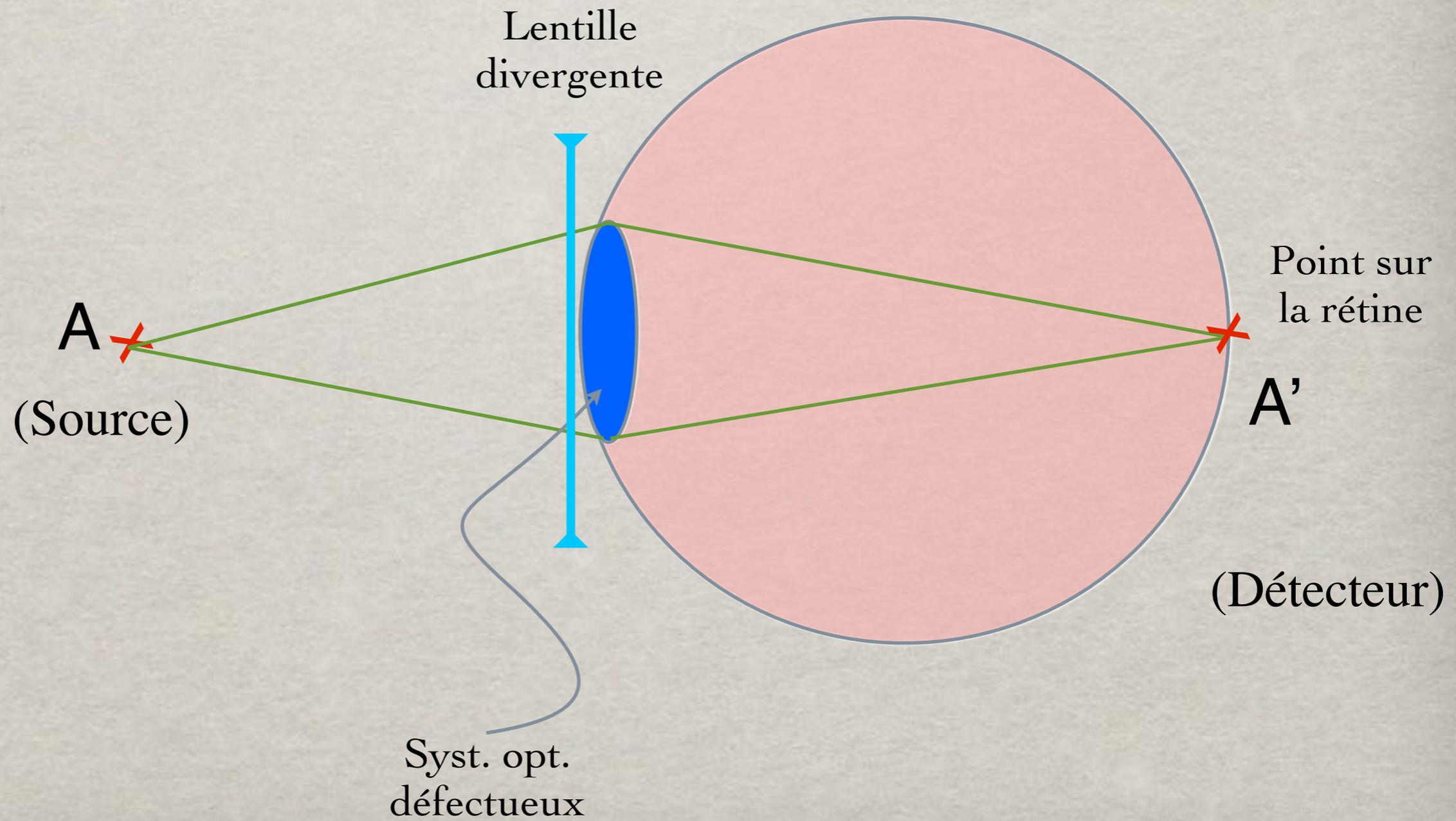
Il faut un système optique pour focaliser les rayons issus d'un point objet vers un point image : sinon c'est flou !



Ex : L'oeil myope



Ex : L'oeil myope



II - SYSTÈMES OPTIQUES ET STIGMATISME

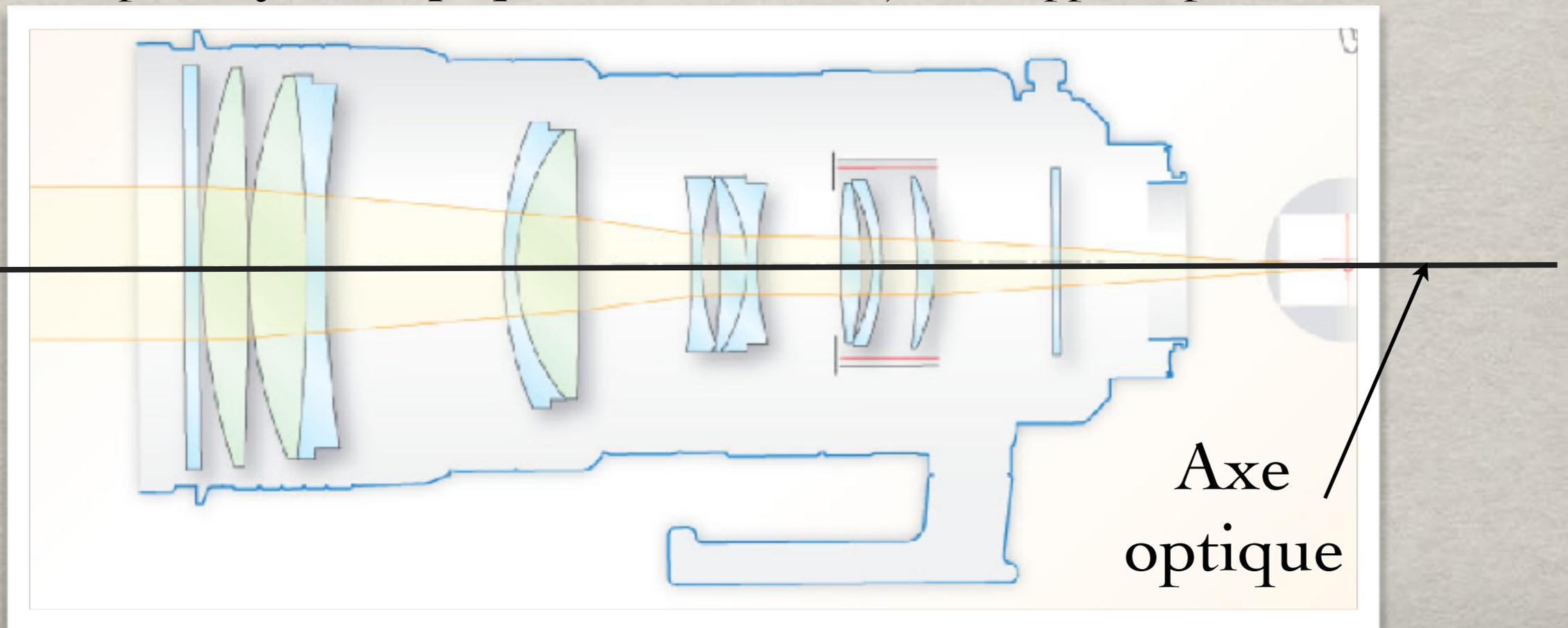
1 - Système optique

Définition d'un système optique :

On appelle système optique, un ensemble de milieux THH, séparés par des surfaces géométriquement simples (dioptries et miroirs)

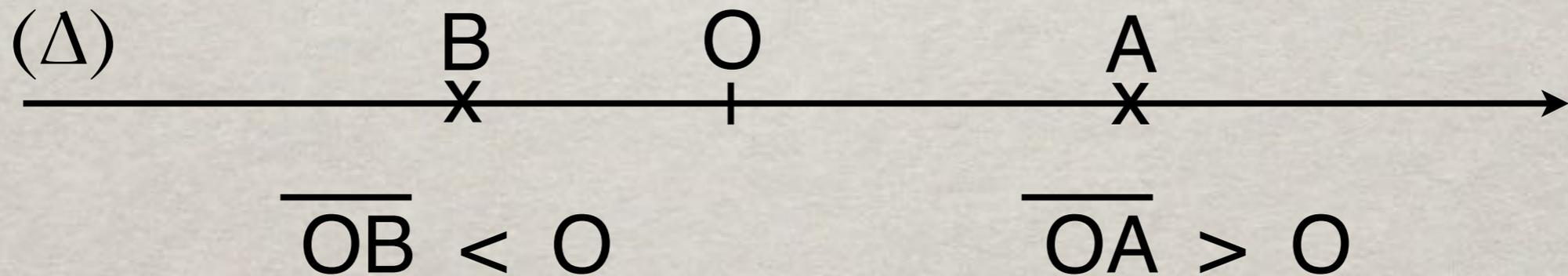
Exemple de système optique centré : un téléobjectif d'appareil photo

(Δ)



Définition : Le système optique est dit centré si les surfaces sont de révolution autour d'un axe privilégié

Propriété : l'axe optique est orienté positif dans le sens de propagation de la lumière incidente



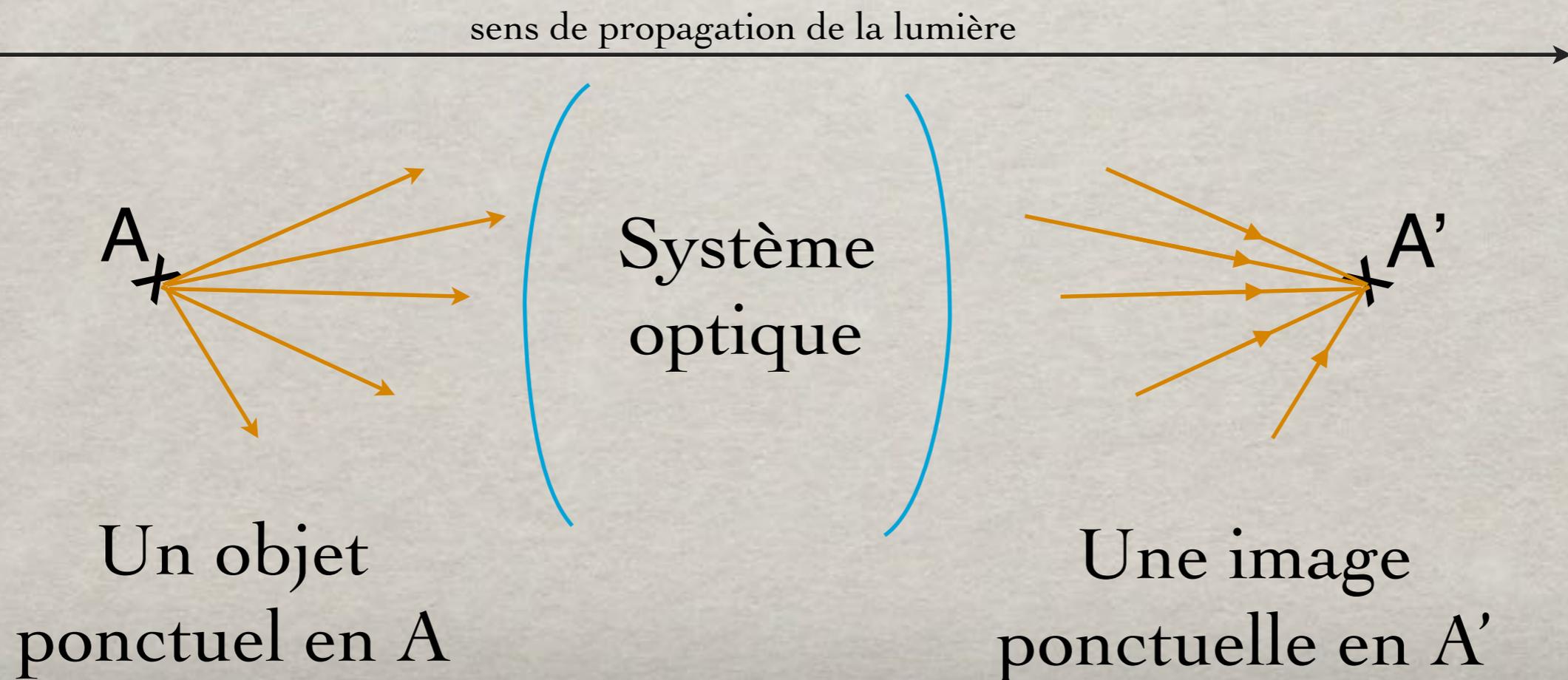
(On note avec une barre les distances algébriques sur l'axe optique)

2 - Objets et images

α - DÉFINITIONS

On appelle objet ponctuel, un point de l'espace d'où divergent les rayons de lumière.

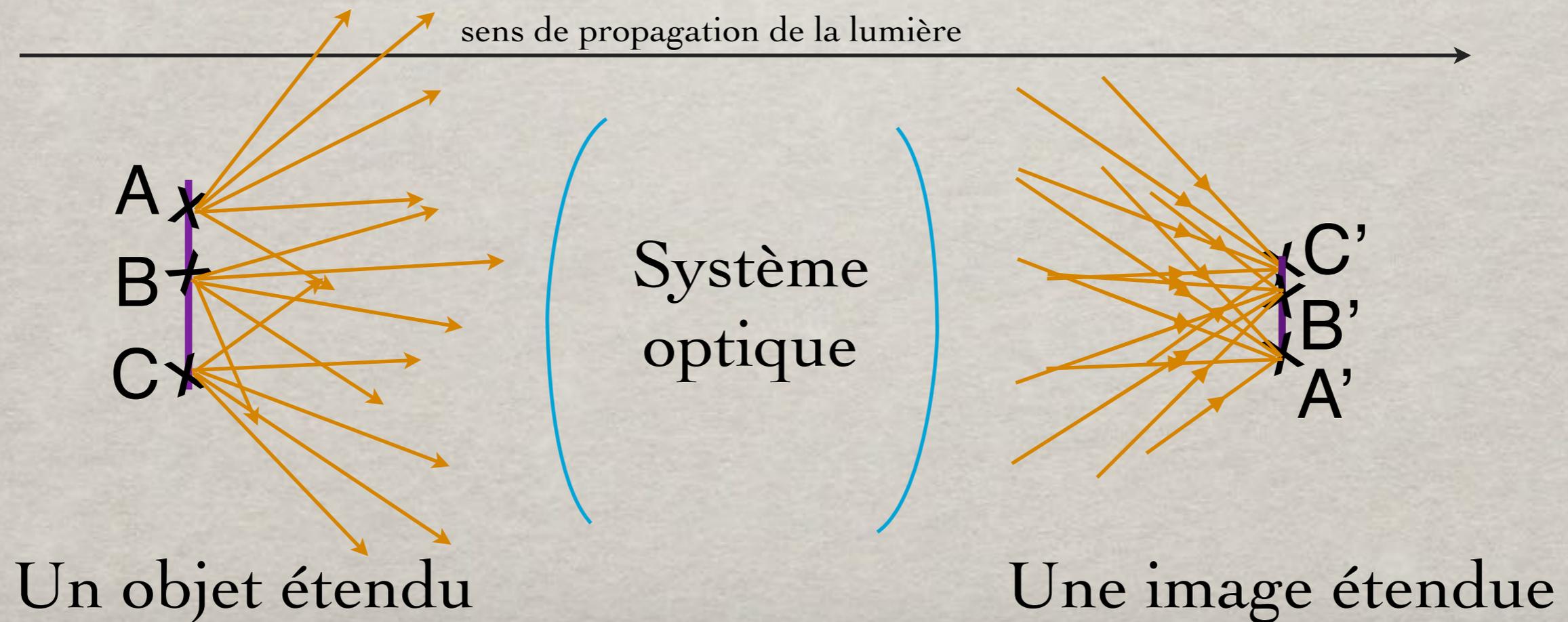
On appelle image ponctuelle, un point de l'espace où convergent les rayons de lumière.



Définitions :

Un objet étendu est un ensemble continu d'objets ponctuels

Une image étendue est un ensemble continu d'images ponctuelles



β - STIGMATISME

Abréviations :

\forall : pour tout

\exists : il existe

Définition :

Le système optique est dit stigmatique lorsque :

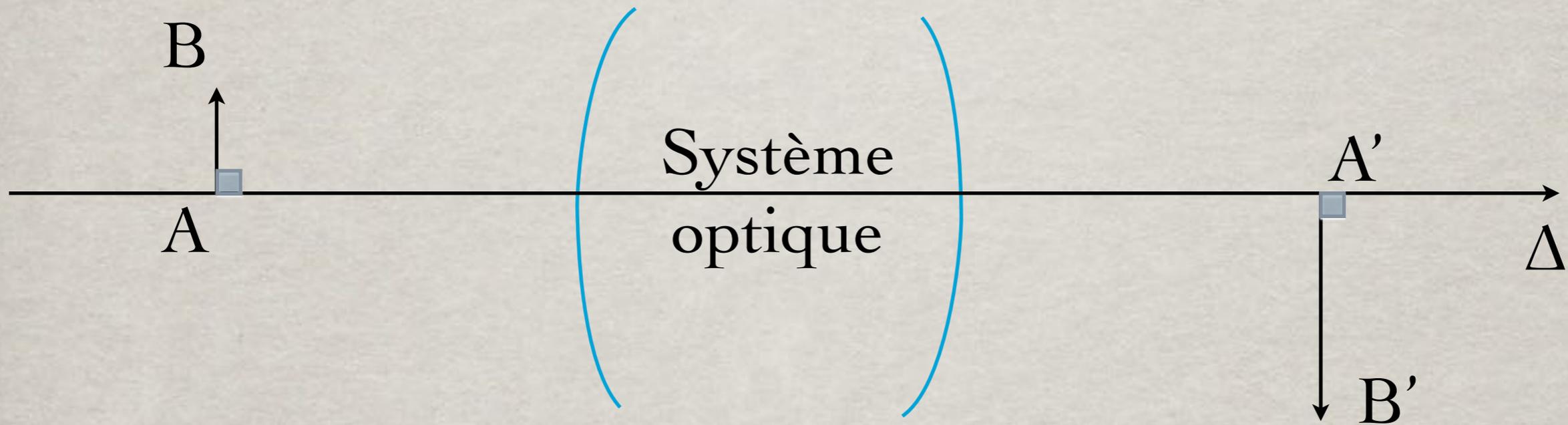
\forall objet ponctuel A , \exists une unique image A' ponctuelle, telle que \forall rayon passant par A et traversant le système optique, le rayon sortant passe par A'

L'objet A et l'image A' sont alors dits conjugués

RQ : En réalité cette propriété n'est vérifiée que dans une région d'étendue limitée.
On parle alors de stigmatisme approché.

γ - APLANÉTISME

On considère un système centré d'axe optique (Δ)

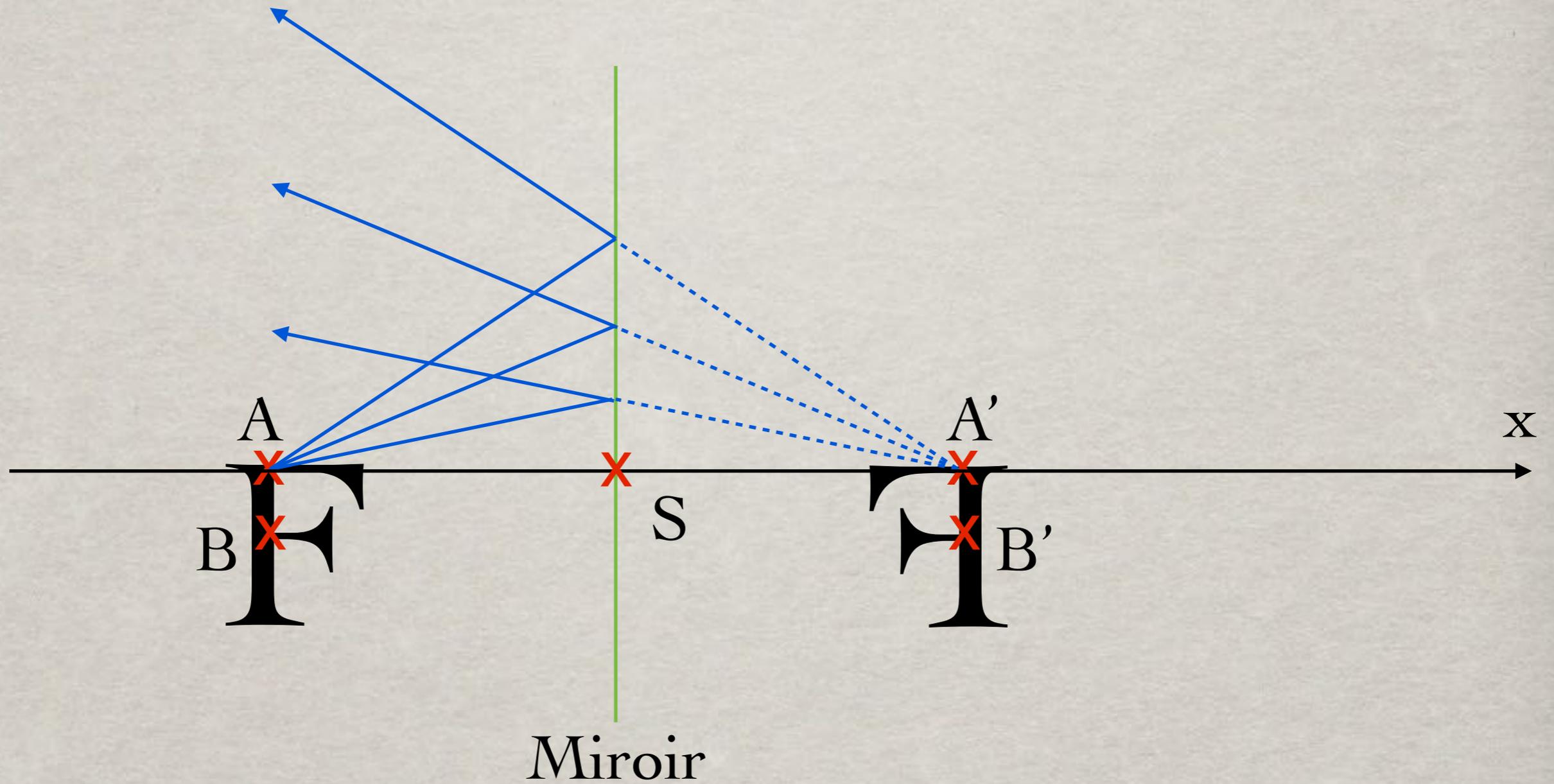


Définition : on dit qu'il y a aplanétisme, lorsque :

\forall point A tel qu' \exists un unique conjugué A' ,
et \forall point B tel que $(AB) \perp (\Delta)$:

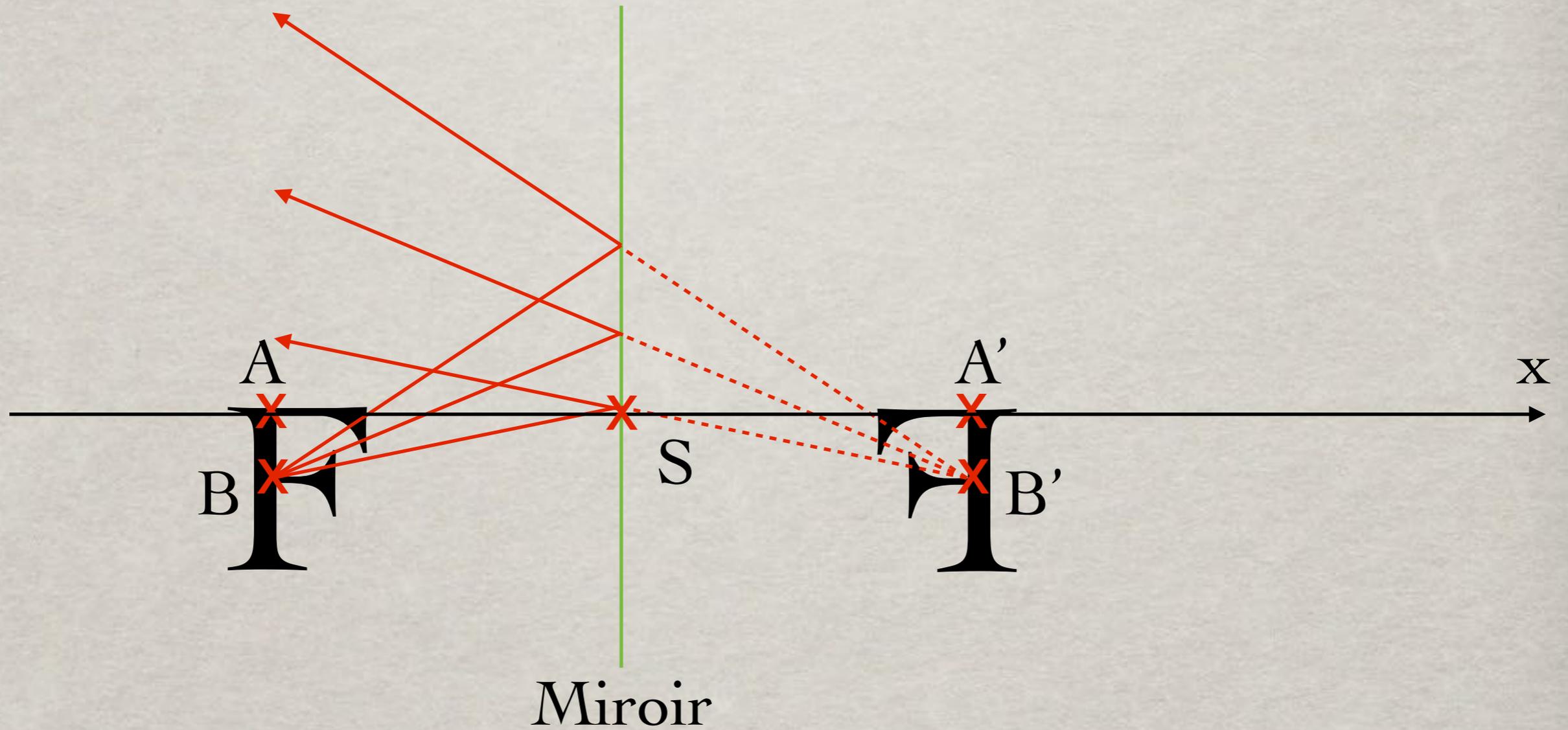
- \exists une unique image B' conjuguée de B
- $(A'B') \perp (\Delta)$

ETUDE DU MIROIR PLAN



- Stigmatisme rigoureux

Le miroir plan



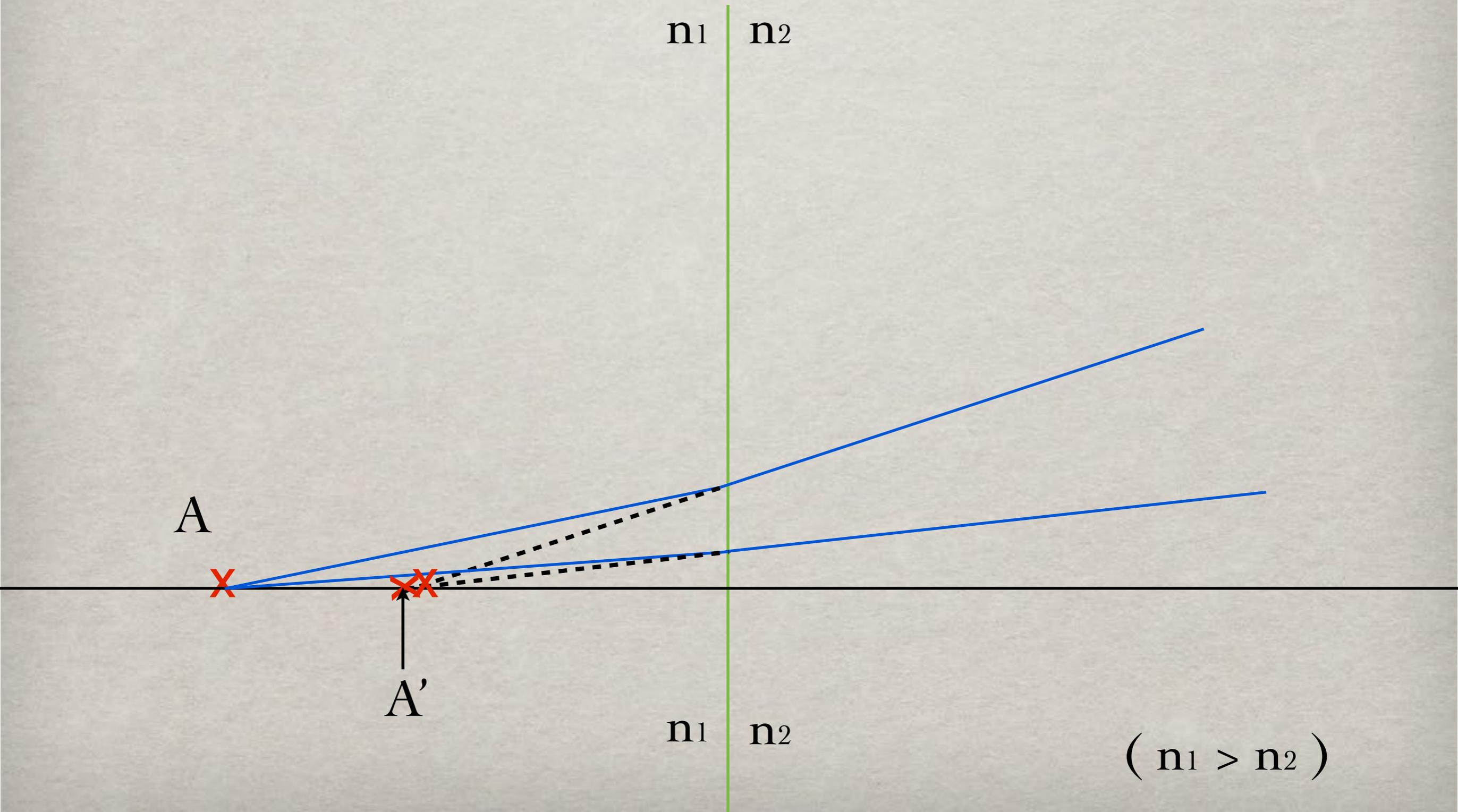
- Stigmatisme rigoureux
- Aplanétisme rigoureux

Relation de conjugaison du miroir plan :

Soit S le sommet du miroir : [intersection avec l'axe optique]

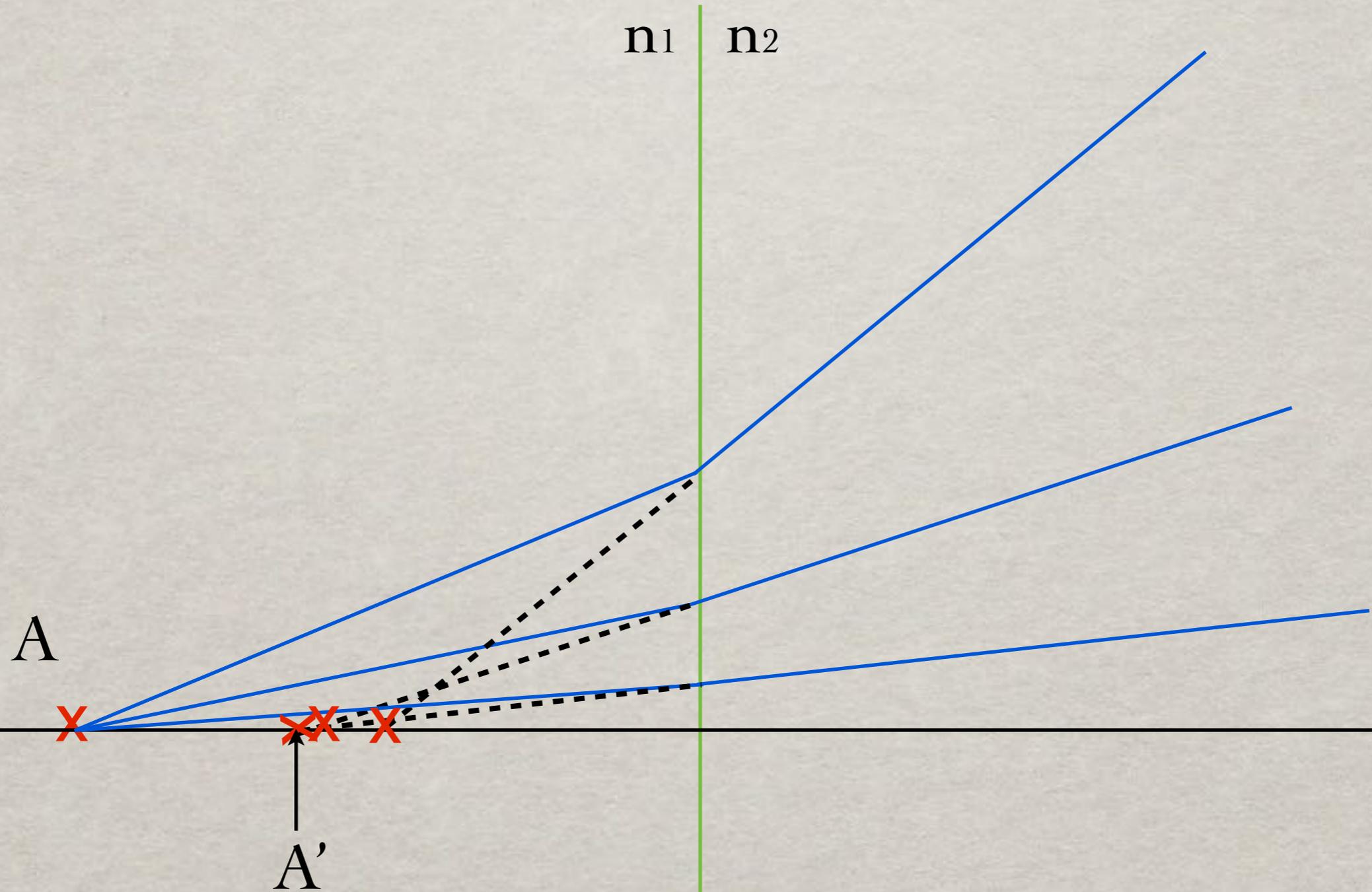
$$\overline{SA'} = -\overline{SA}$$

Le dioptre plan (Cf TD)



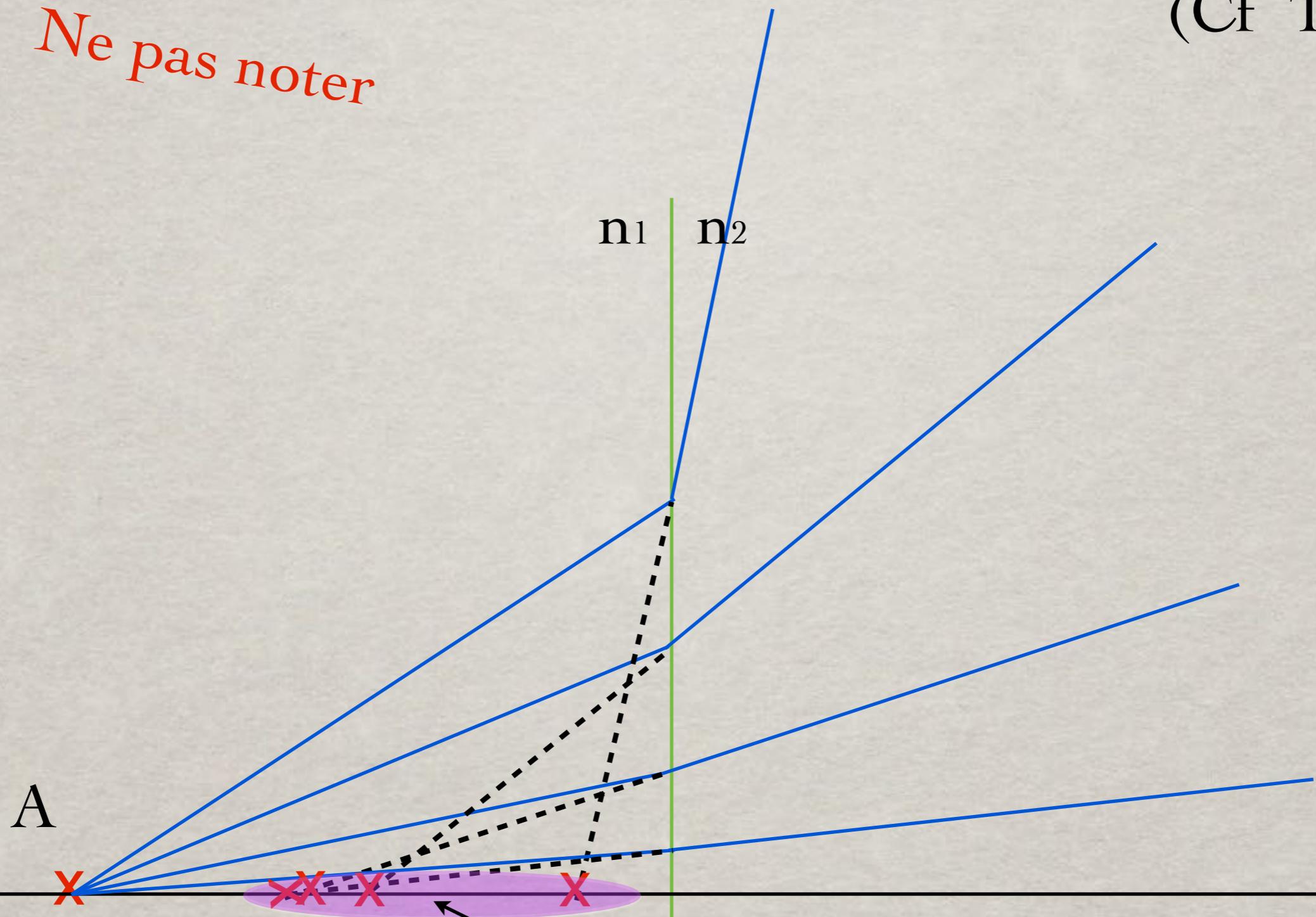
Le dioptre plan (Cf TD)

Ne pas noter



Le dioptre plan (Cf TD)

Ne pas noter



? A' ?

Perte du caractère stigmatique aux
grands angles d'incidence :
- L'image A' s'étale et se brouille

Ne pas noter

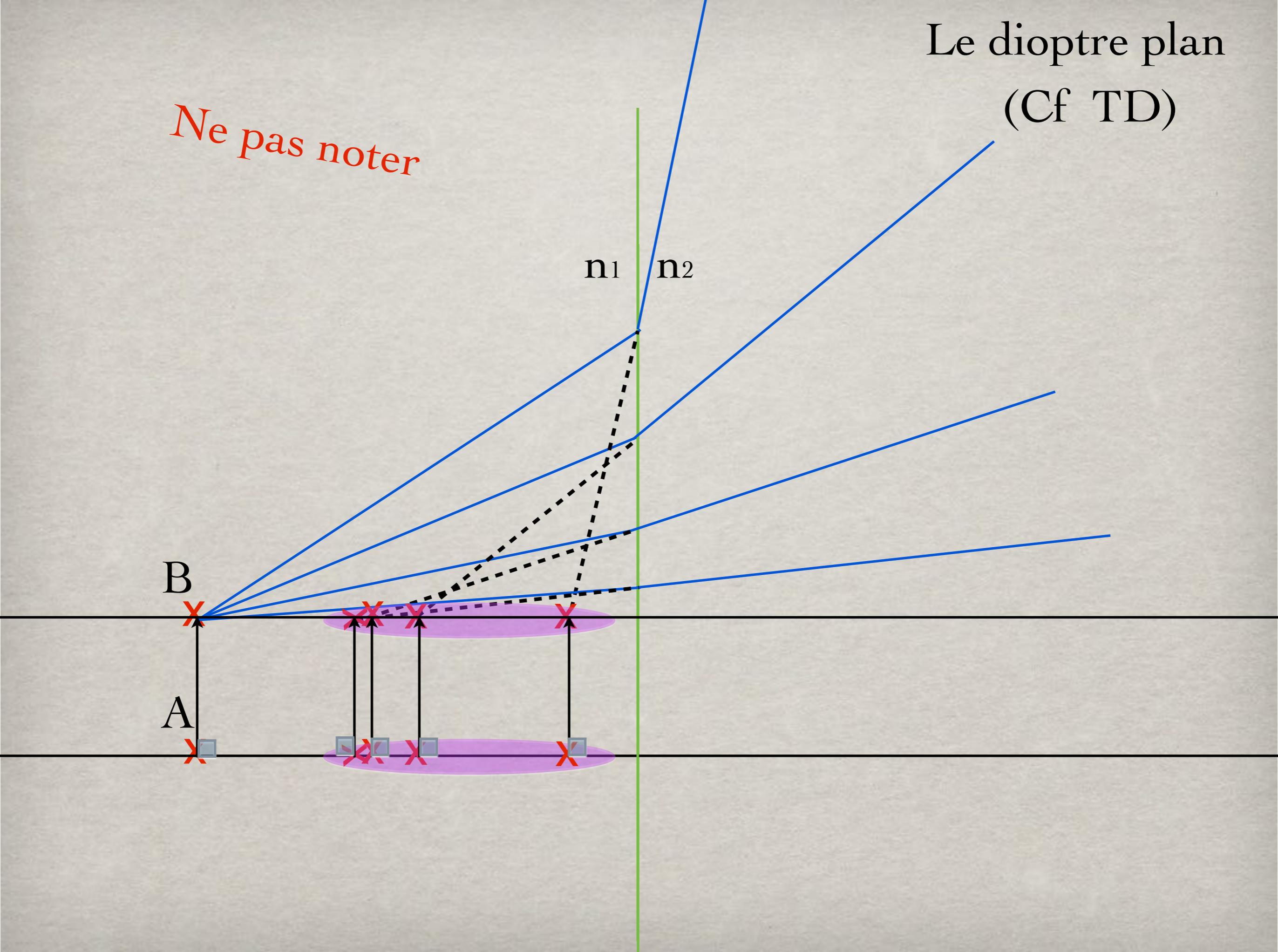
Le dioptré plan
(Cf TD)

B

A

n_1

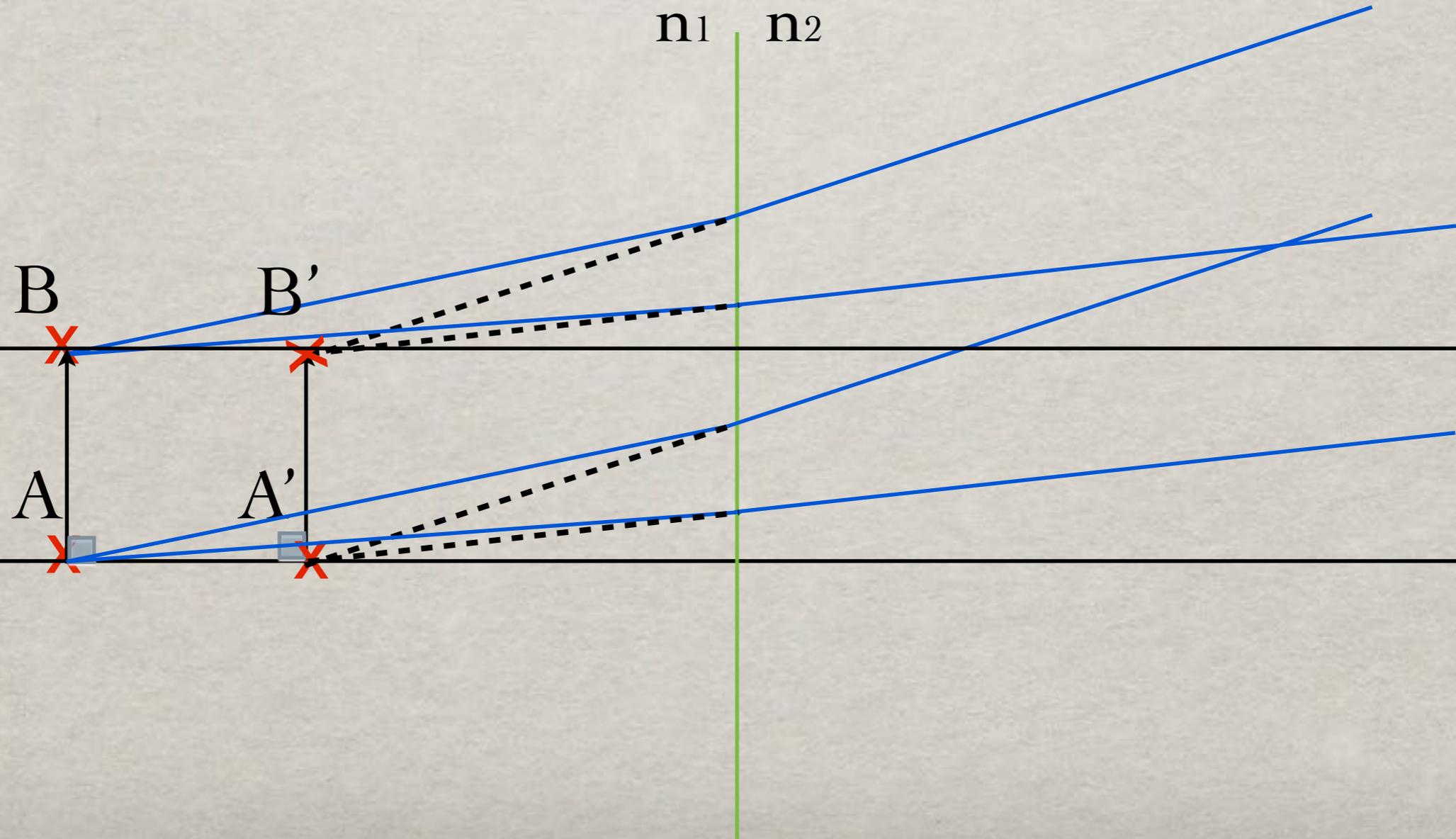
n_2



Le dioptre plan (Cf TD)

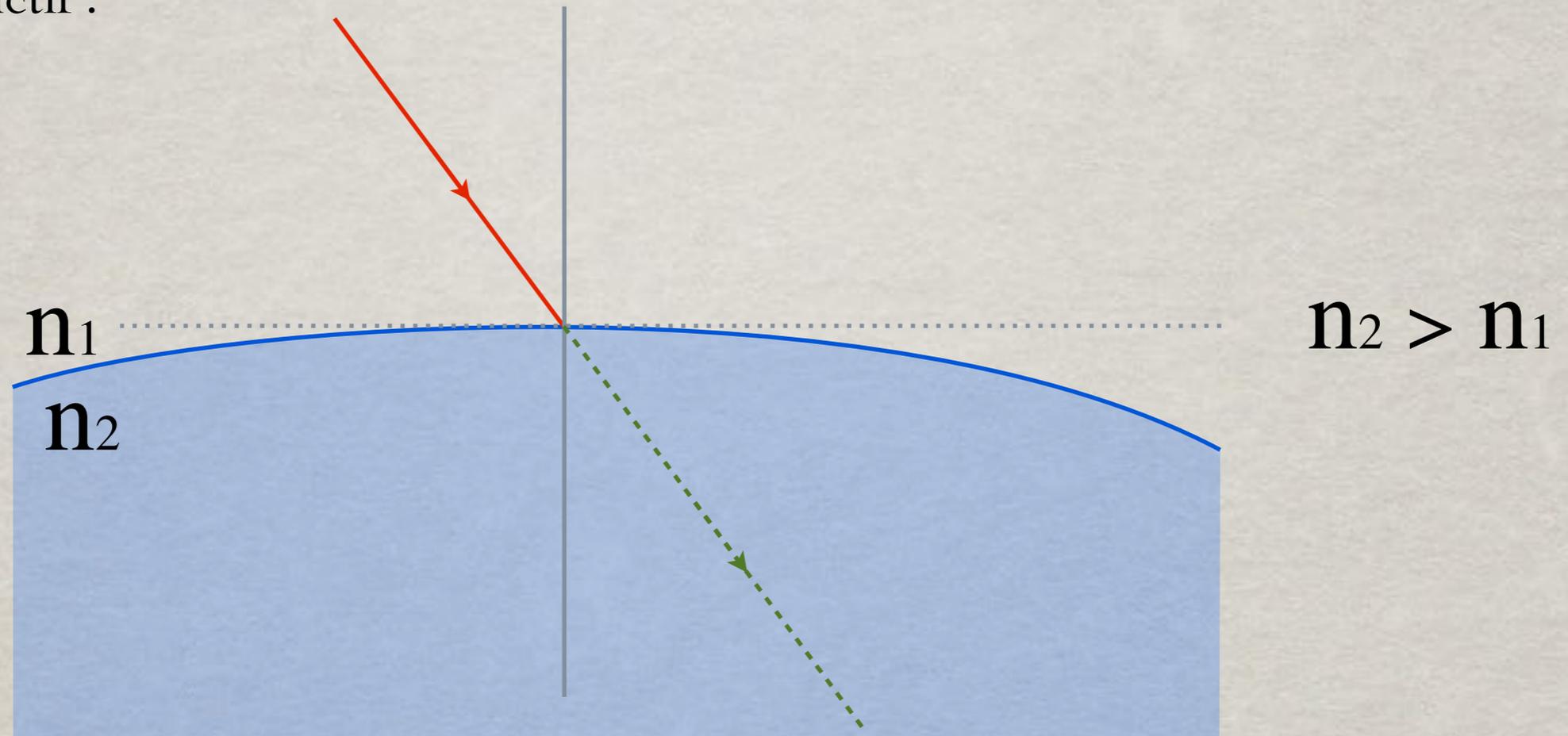
On a donc stigmatisme et aplanétisme,
mais que de façon approchée :

Ne pas noter



3 - Réalité et virtualité

Exemple introductif :



—— Parties réelles des rayons :

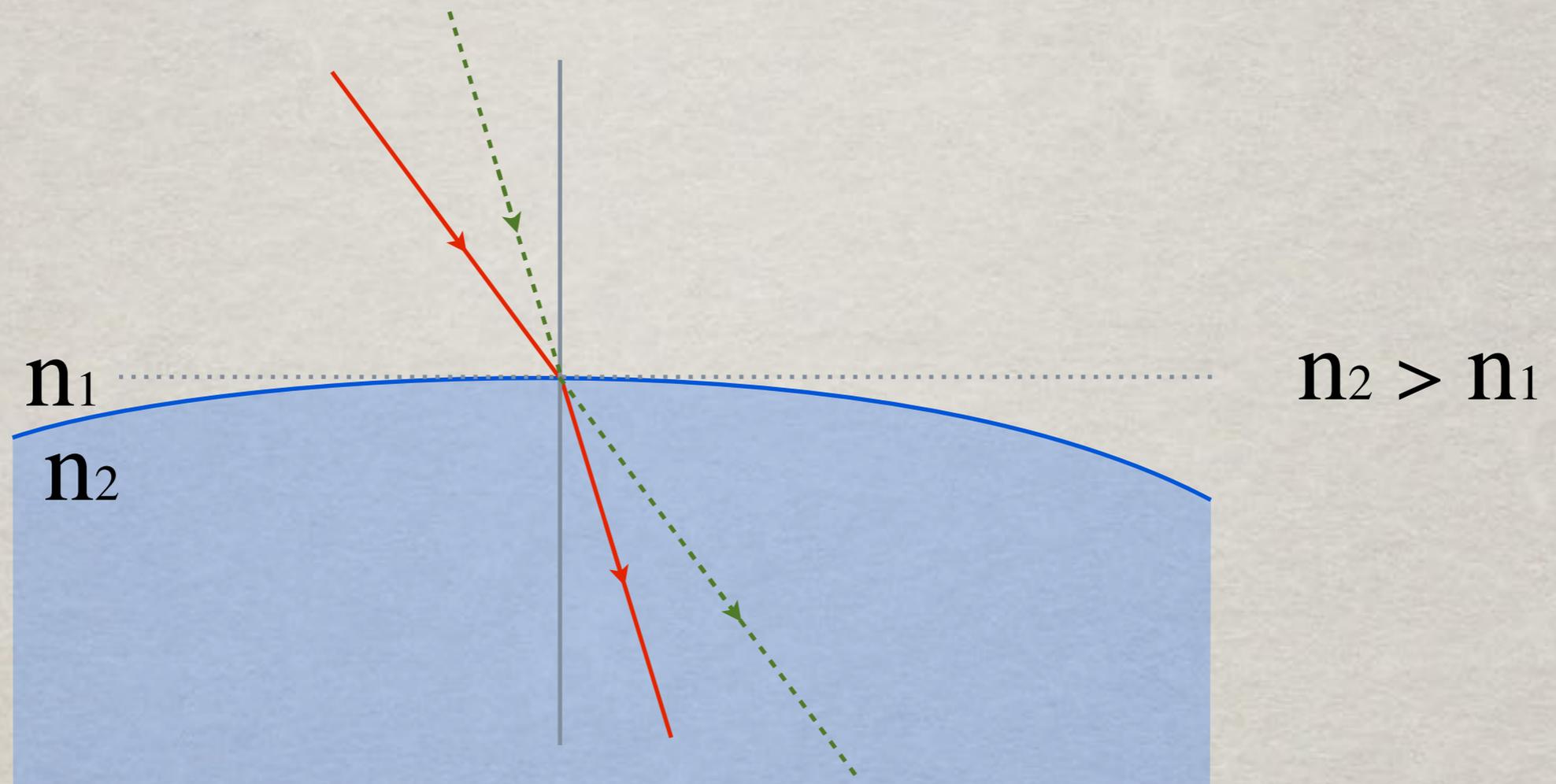
∃ une intensité, un flux d'énergie lumineuse mesurable et propre au rayon en ces points

..... Parties imaginaires des rayons :

∄ d'énergie associée au rayon en ces points

3 - Réalité et virtualité

Exemple :



—— Parties réelles des rayons :

∃ une intensité, un flux d'énergie lumineuse mesurable et propre au rayon en ces points

..... Parties imaginaire des rayons :

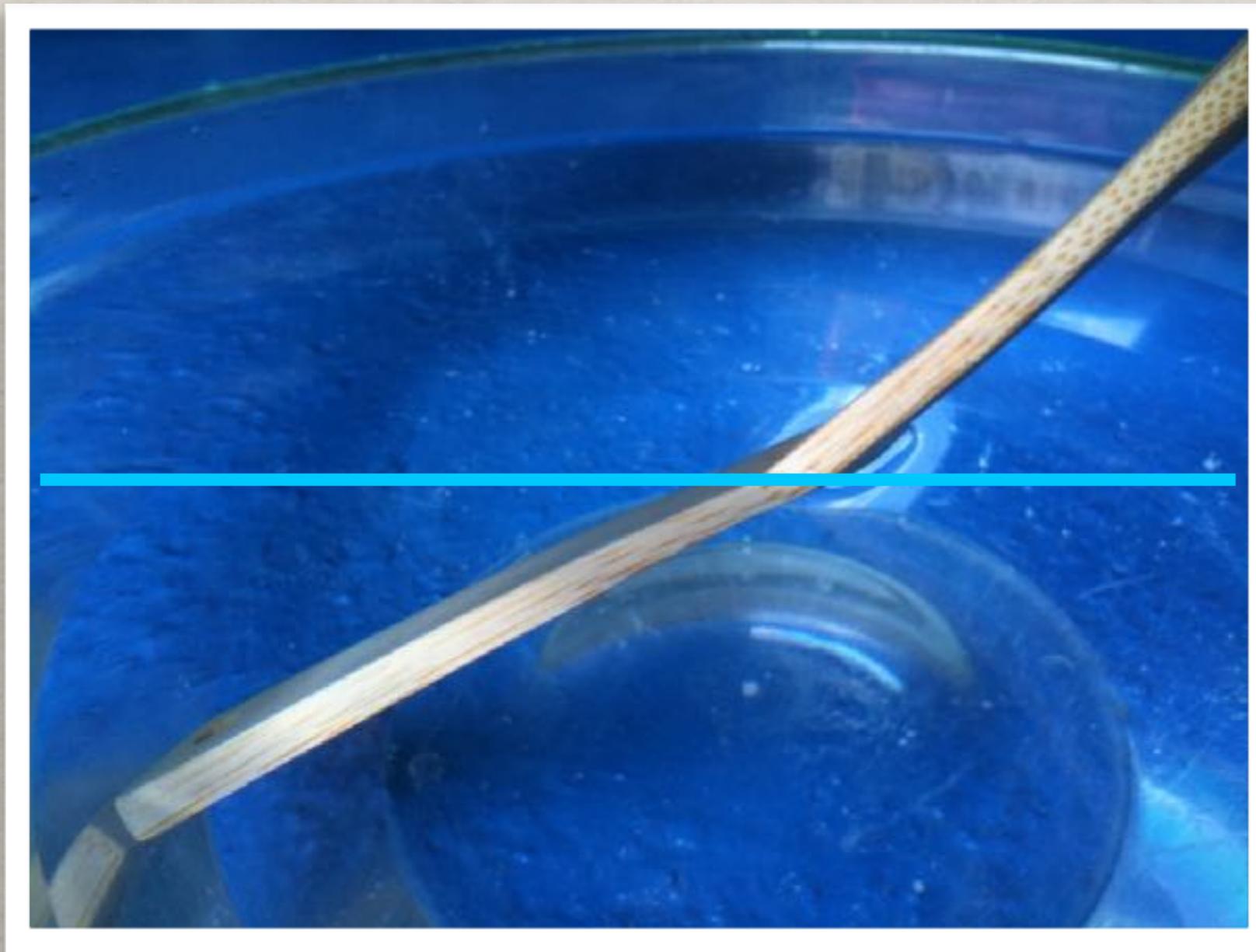
∄ d'énergie associée au rayon en ces points

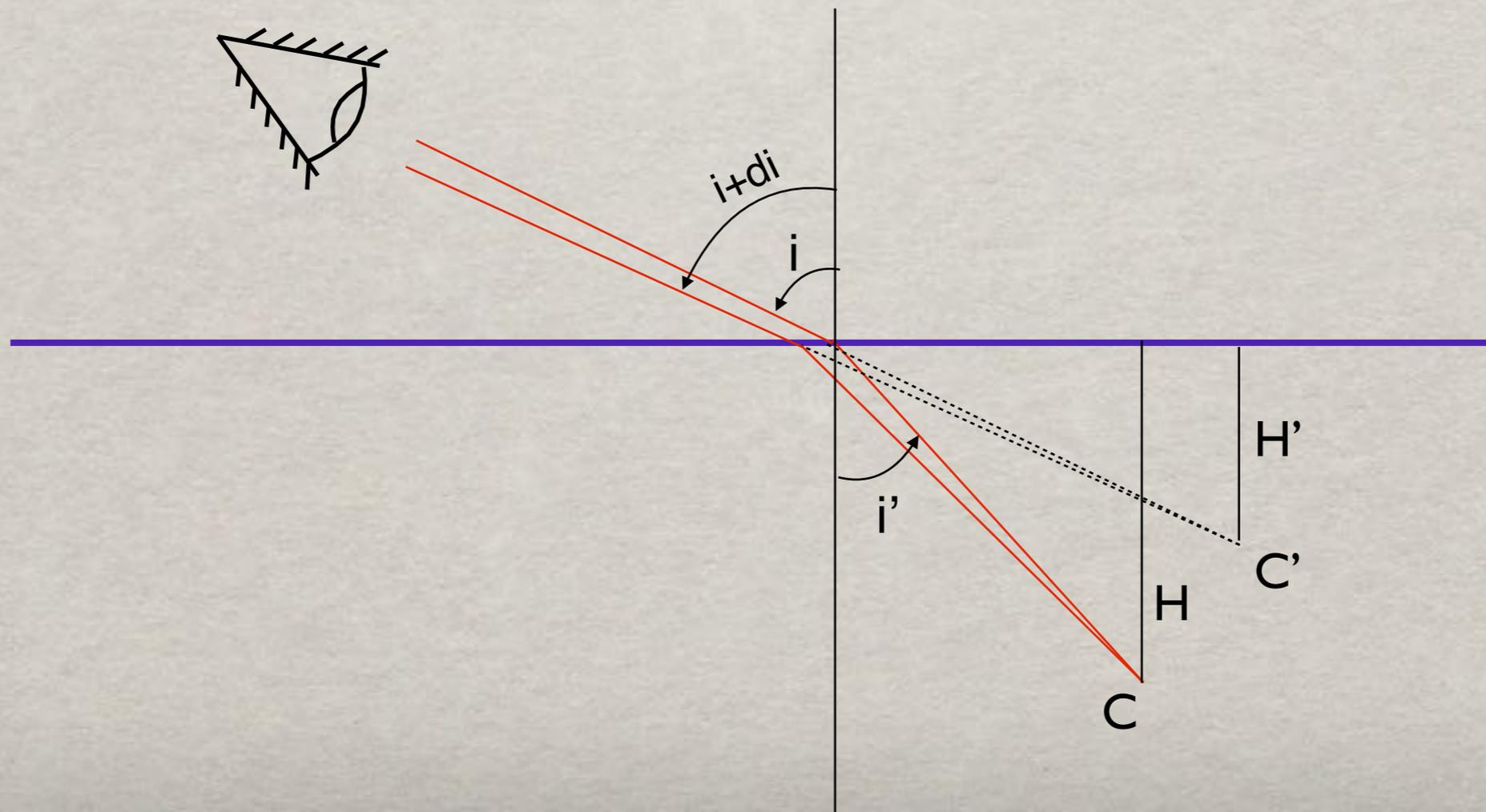
R2P : l'expérience du bâton brisé

Expliquer ce que l'on voit !



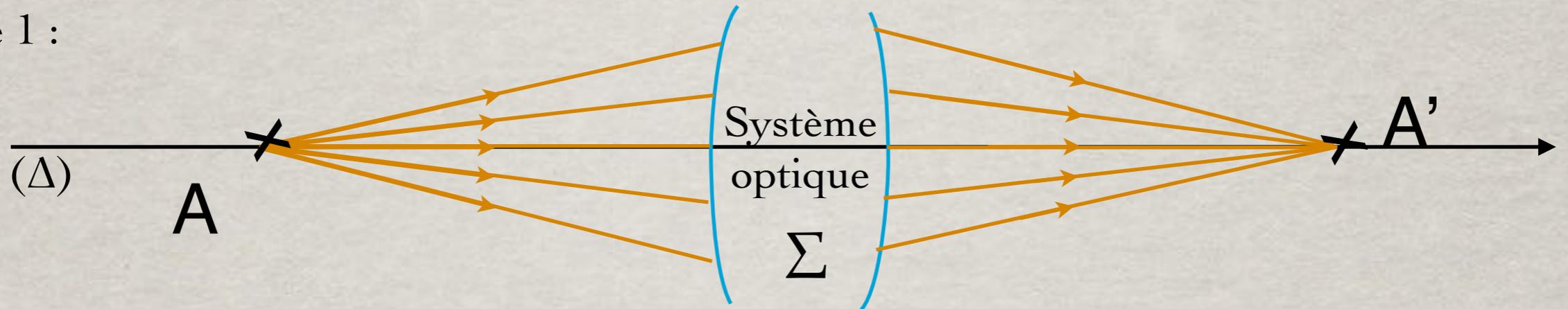
surface de l'eau





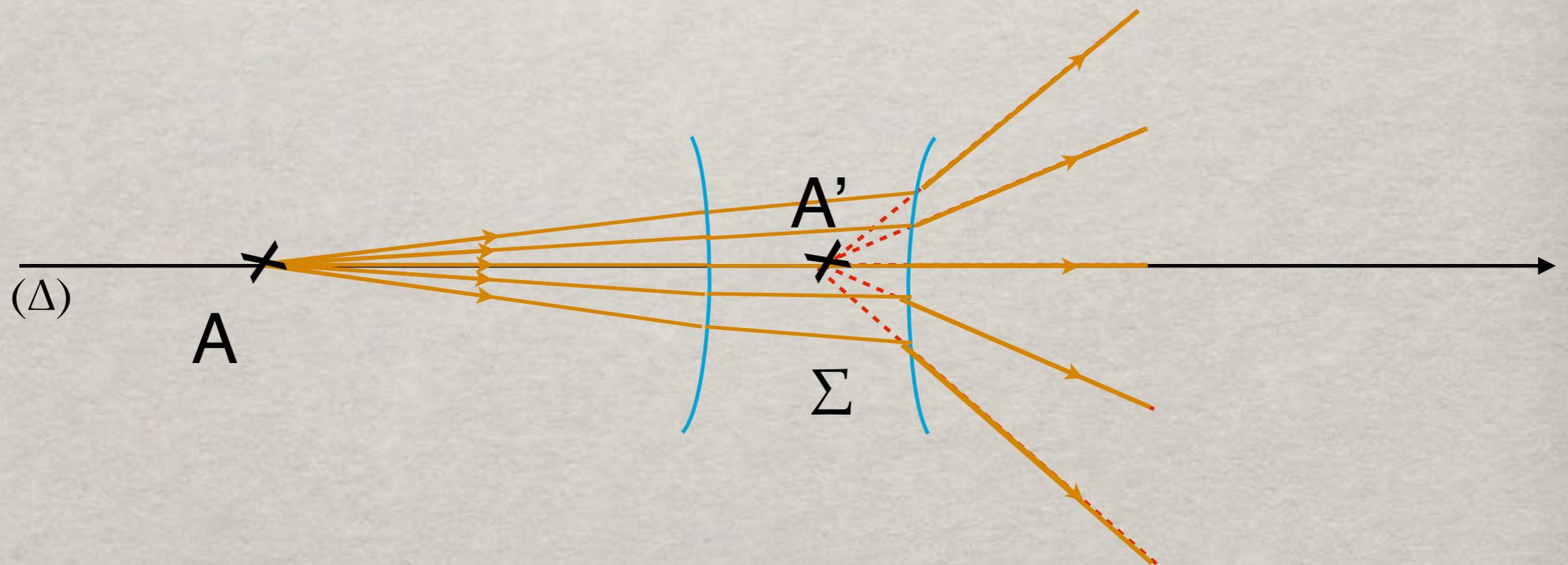
α - OBJETS ET IMAGES RÉELS OU VIRTUELS

Exemple 1 :



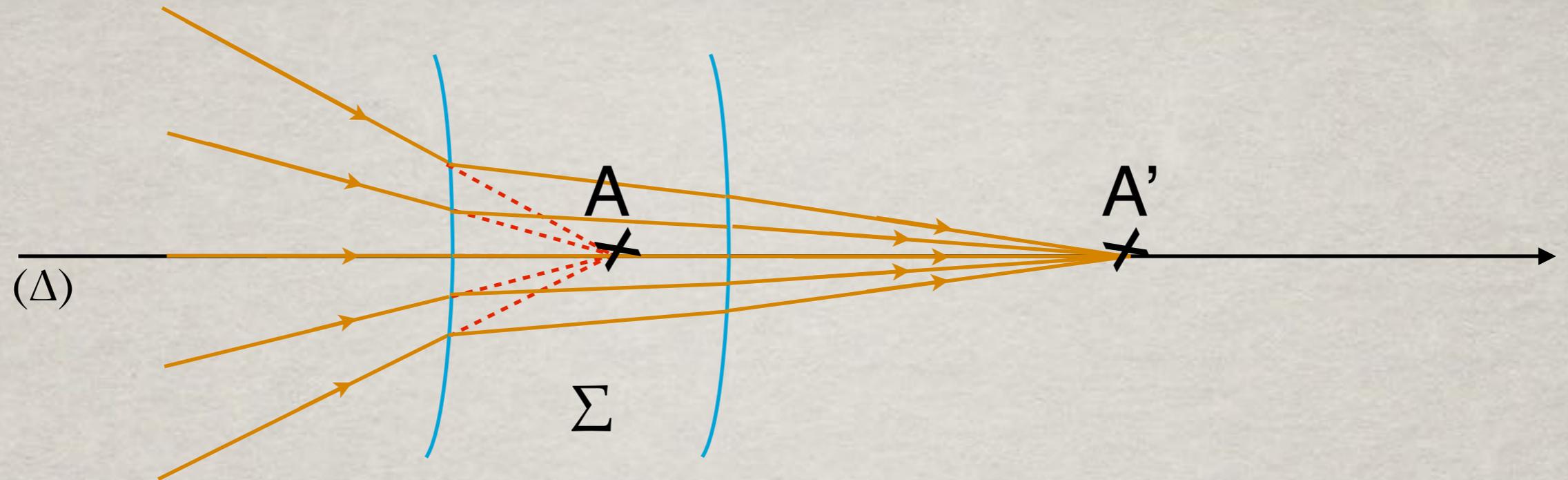
A objet réel pour Σ et A' image réelle de A par Σ

Exemple 2 :



A objet réel pour Σ et A' image virtuelle de A par Σ

Exemple 3 :

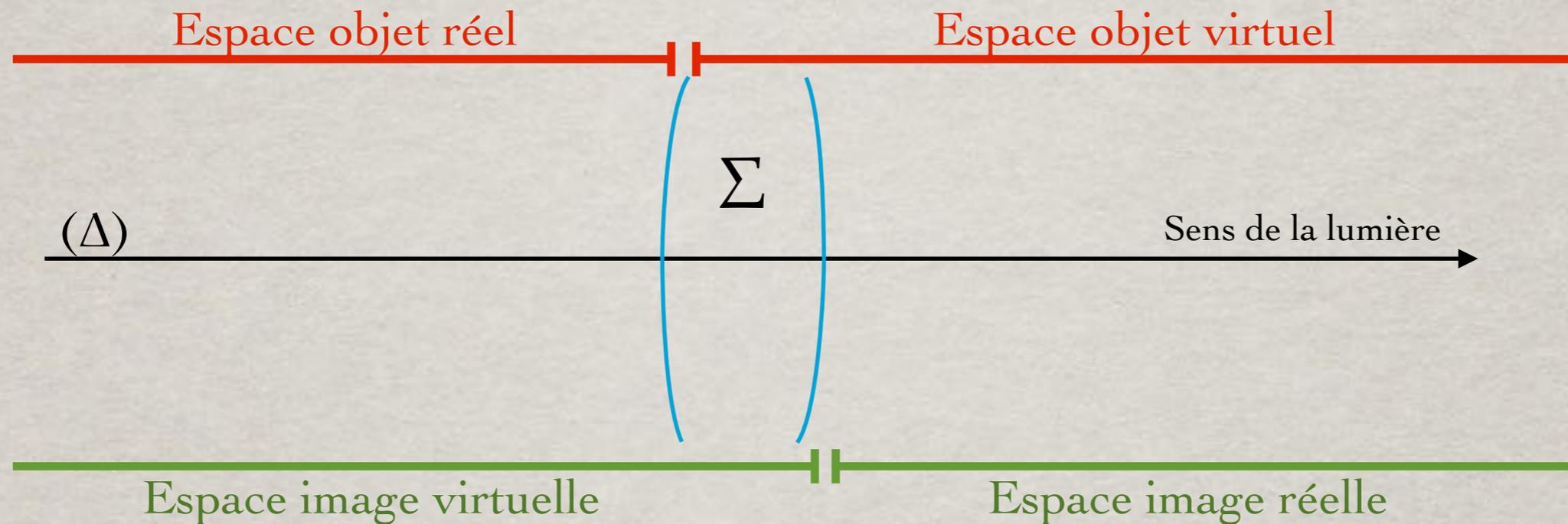


A objet virtuel pour Σ et A' image réelle de A par Σ

On doit se demander :

Est-ce que je peux mettre un écran en A (ou en A') pour voir l'objet (ou l'image) sur l'écran ?

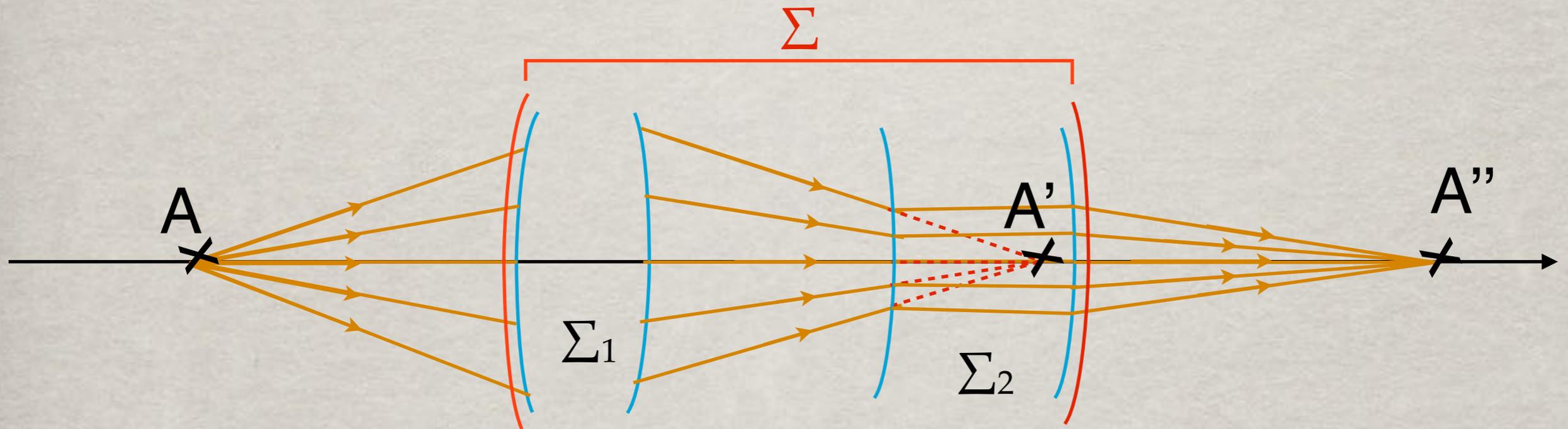
B - RÉSUMÉ



Attention : - le sens de propagation de la lumière joue ici un rôle primordial.
- ces définitions sont relatives à Σ

Exercice : => Refaire ce schéma mais dans le cas du miroir plan !

Application directe :



A

pour Σ_1 et Σ

A

pour Σ_2

A'

pour Σ_2

A'

de A par Σ_1

A''

de A' par Σ_2

A''

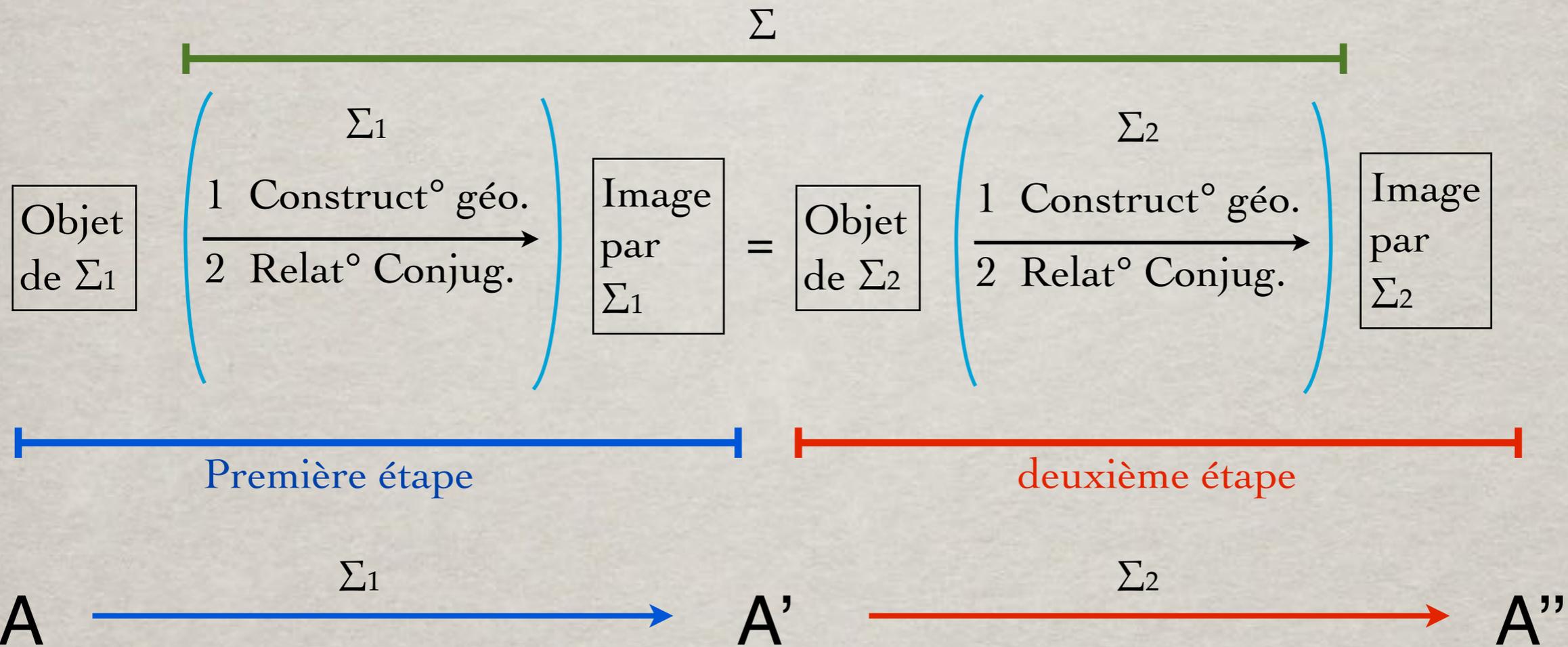
de A par Σ

A''

pour Σ_1

γ - USAGE DES OBJETS ET IMAGES

Que ce soit du pt. de vue de la construct° géo. ou du calcul (relat° de conjugaison).
 On peut utiliser un obj. et une im. virtuels tout comme s'ils étaient réels. On n'a donc pas besoin de préciser la nature réelle ou virtuelle.



On pourra toujours décomposer le pb. en deux étapes indépendantes.



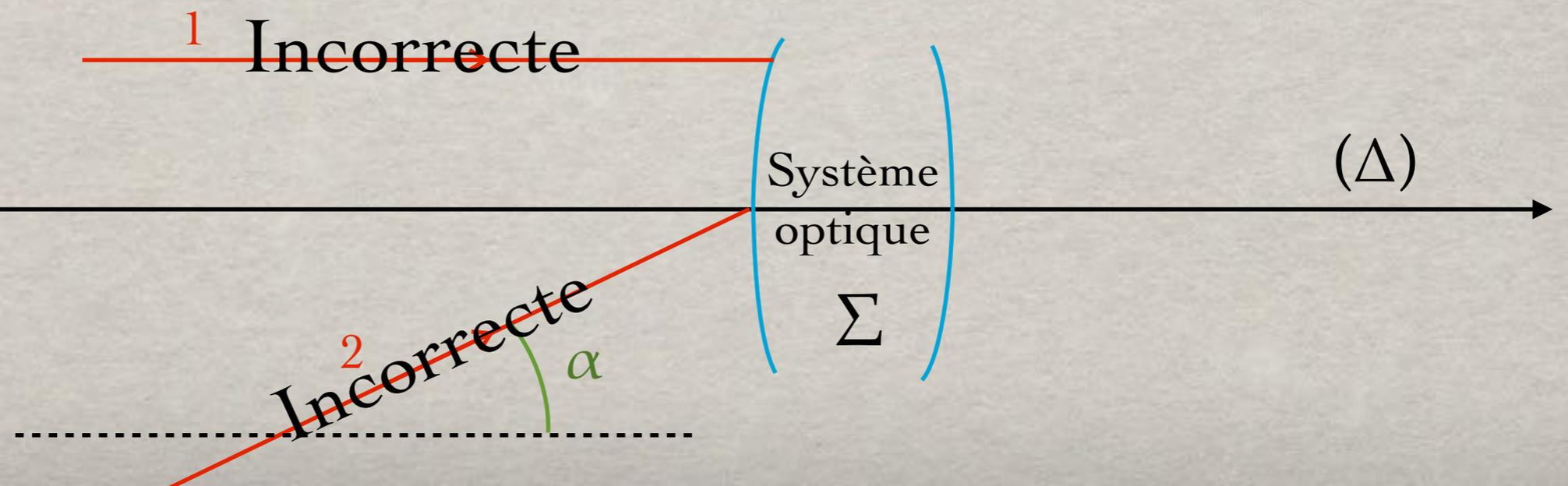
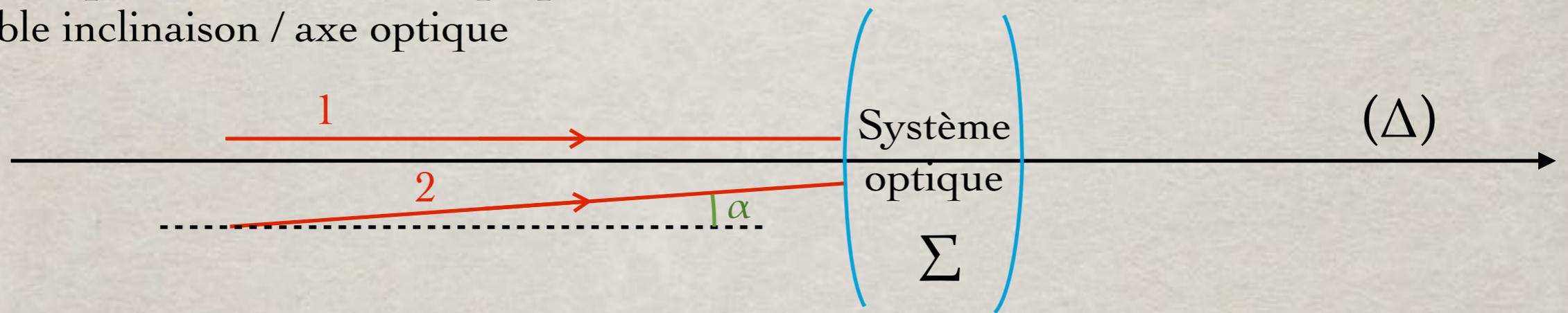
III - SYSTÈMES CENTRÉS DANS L'APPROX. DE GAUSS

1 - LES CONDITIONS DE GAUSS

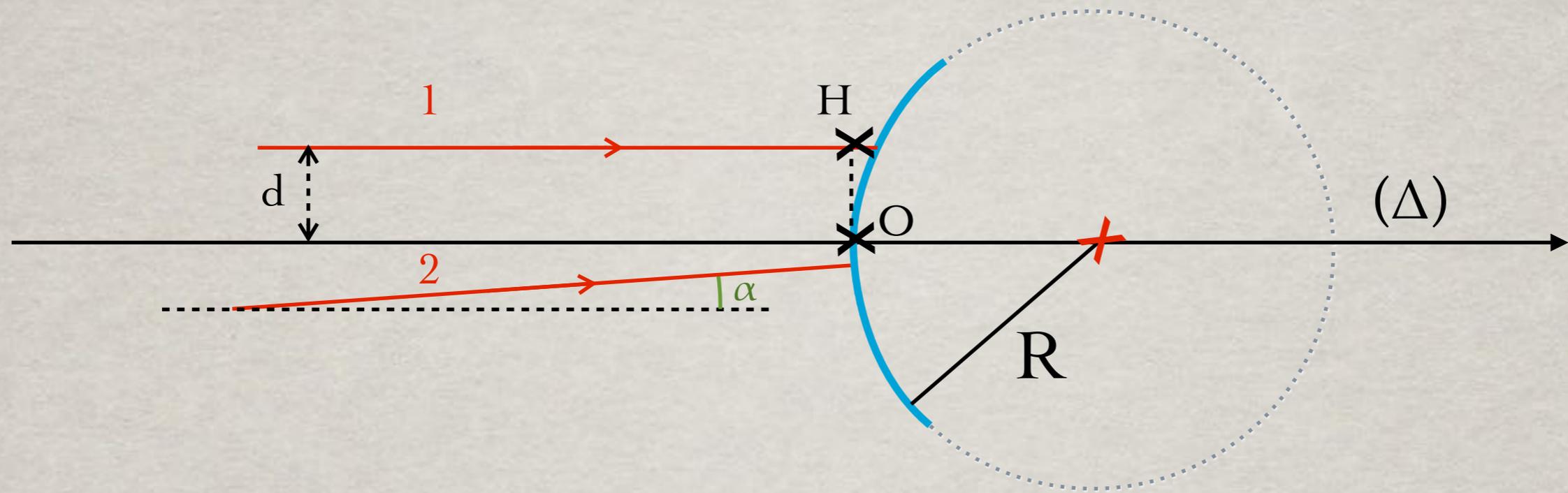
On ne considèrera que des syst. opt. dits centrés

Conditions de Gauss : (C'est l'approximation des rayons paraxiaux)

- 1 - Rayons peu écartés de l'axe optique
- 2 - Faible inclinaison / axe optique



Concrètement :



R : Rayon de courbure
du dioptre

Conditions de Gauss :

1 - Rayons peu écartés de l'axe optique

$$d = OH \ll R$$

2 - Faible inclinaison / axe optique

$$\alpha \ll 1$$

2 - CONSÉQUENCES DES CONDITIONS DE GAUSS

Les conditions de Gauss nous garantissent :

- Le stigmatisme approché
- L'aplanétisme approché

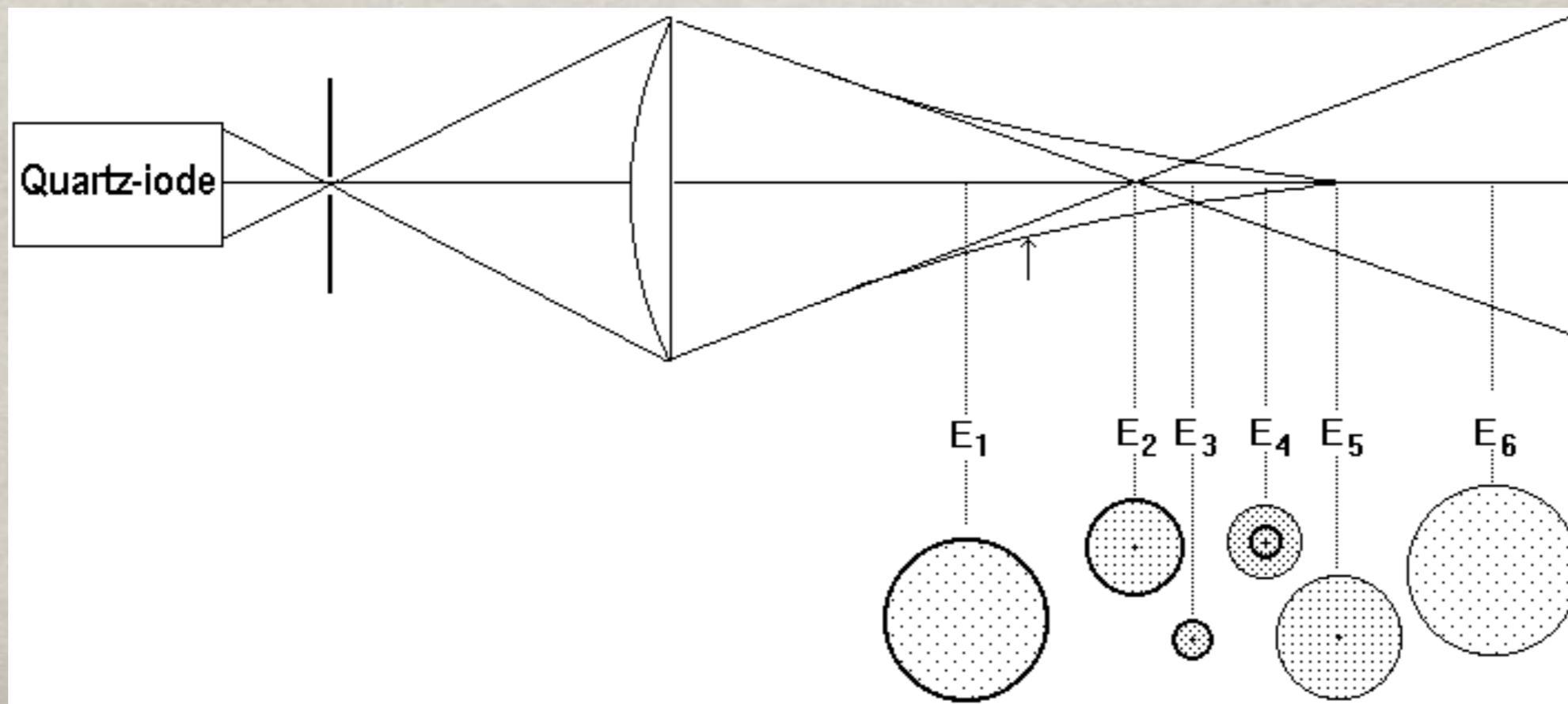
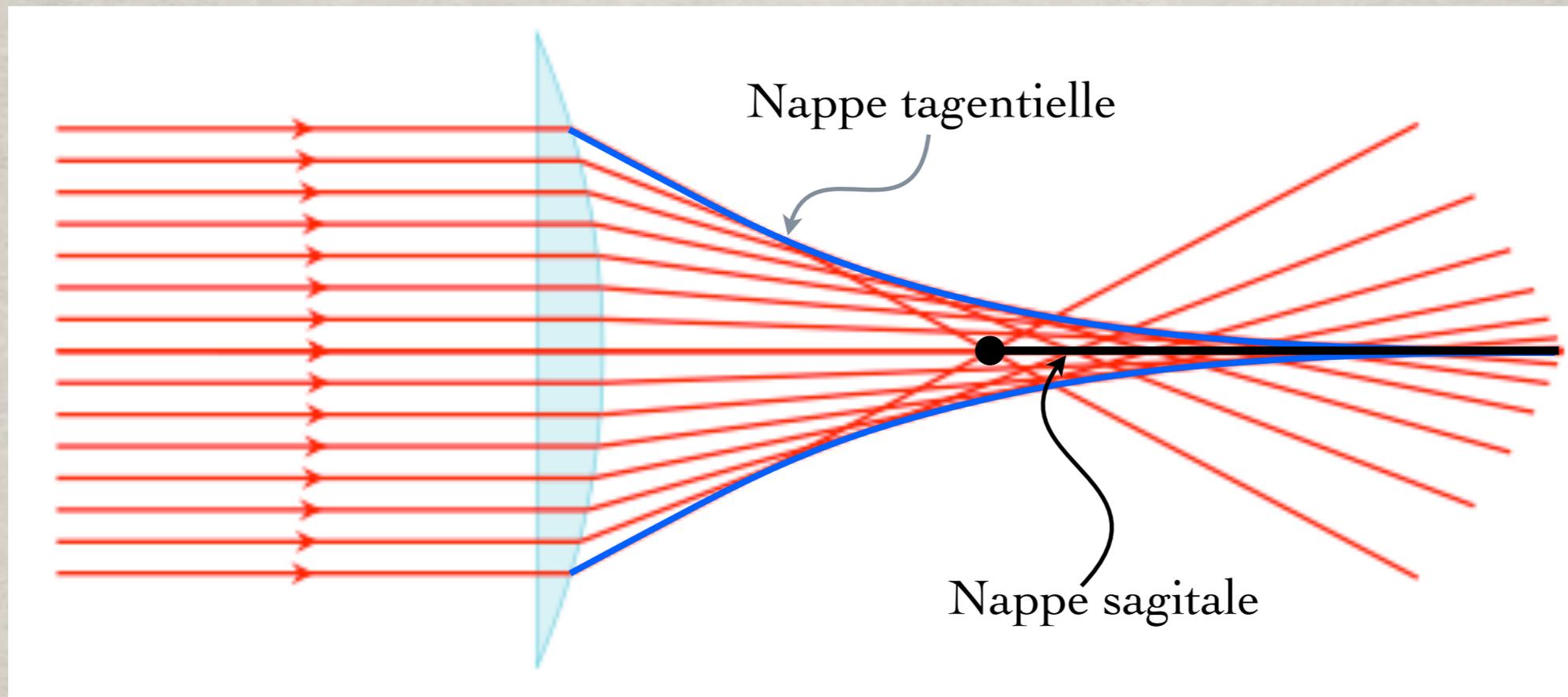
Hors des conditions de Gauss :

Le stigmatisme et l'aplanétisme ne sont plus garantis

=> Aberrations / Distorsion multiples

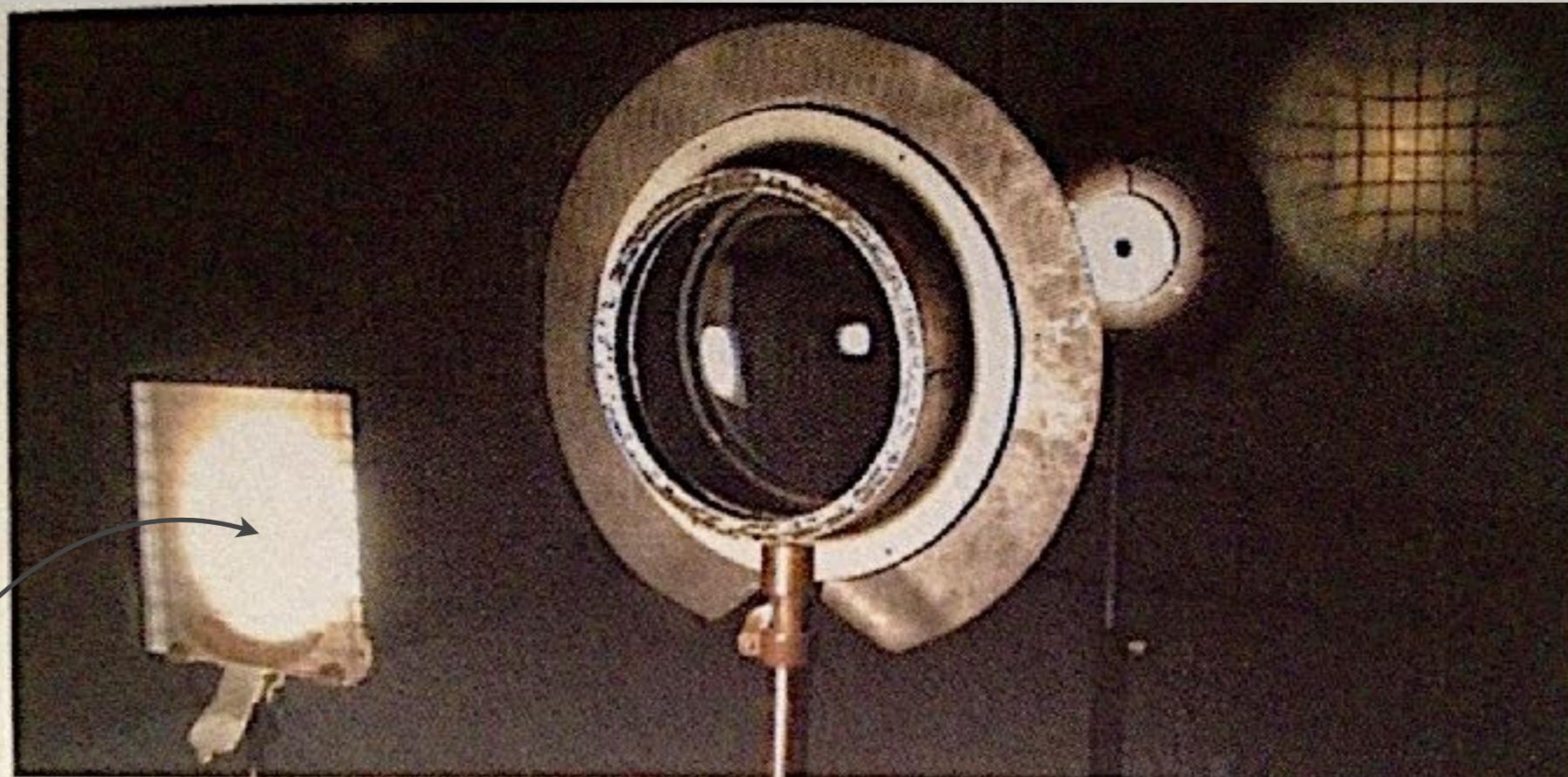
Cf - Fiche aberration

Ex 1 : Aberrations sphériques

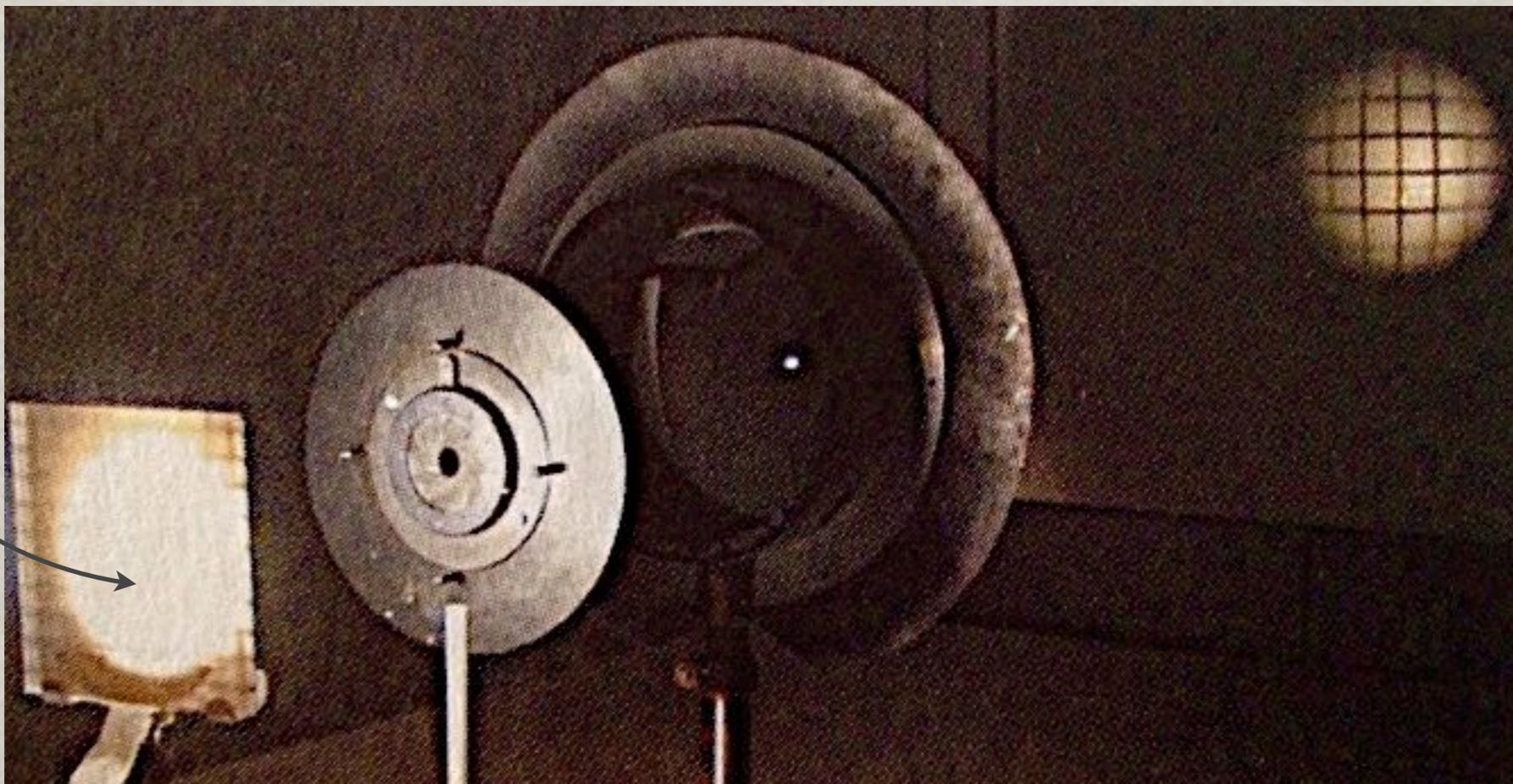


Objet :

grille



Distorsion
croissant



Distorsion
Barillet

Simulation numérique en Python :

Les rayons réfléchis se croisent, formant ainsi une zone d'accumulation de lumière non stigmatique appelée « caustique »

