6. INSTRUMENTS D'OPTIQUES LA LOUPE ET LE MICROSCOPE.

6.1 Généralités :

Un objet est vu avec un maximum de détails quand il est placé au punctum proximum **(PP)** de l'observateur, ce qui nécessite pour l'œil une accommodation maximale (fatigue de l'œil). Pour diminuer de cette accommodation on **remplace la vision directe** de l'objet par une **vision indirecte**, celle de l'image grossi par un système optique.

De nos jours les instruments d'optiques en médecine sont indispensables pour l'exploration le diagnostique et la thérapie des différentes pathologies.

Les instruments simples, tel que les loupes et les doublets, sont utilisées en dermatologie ou ils permettent de faire la différence entre les **dermatoses** et les **angiomes**. En médecine dentaire, ils simplifient **l'implantation dentaire)**, etc.…

Les microscopes optiques sont utilisés en chirurgie, en ophtalmologie et dans d'autres spécialités. Chez les **anatomistes pathologistes** on trouve surtout les **microscopes électroniques à transmissions** et les microscopes **électroniques à balayages**.

Vue à l'œil nu Vue à travers la loupe

L'image vue à travers ces systèmes optiques doit être **virtuelle droite**, **plus grande** que l'objet. Pour réduire **l'encombrement du système**, elle doit être **éloignée** de l'œil et pour minimiser de son **accommodation**.

Le **diamètre apparent** de l'image formée doit être **supérieur au pouvoir séparateur** de l'œil.

6.2. La Loupe Simple :

6.2.1. Définition :

La loupe est un **système optique** destiné à l'observation des détails d'objets non accessibles à l'œil nu. On y parvient grâce à l'utilisation des loupes qui sont des **systèmes fortement convergents**, constitués par une ou plusieurs lentilles convergentes. Dans le cas le plus simple, la loupe est une lentille **convergente** de focalité **très faible**, de l'ordre de quelques centimètres.

6.2.2. Principe et aspect géométrique :

Le principe consiste à placer **l'objet entre le foyer principal objet de la lentille et son centre optique**, de manière à obtenir une image droite très grande**.** Cette **image** sera considérée comme objet pour l'œil de l'observateur.

$$\overline{AB} + L_1 \rightarrow \overline{A_1'B_1'} + L_2 \rightarrow \overline{A_2'B_2'}$$

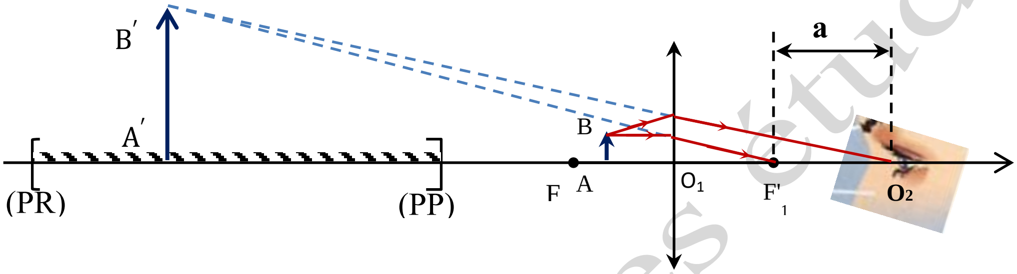
$\overline{AB}$: L'objet de taille très faible, ses détails ne sont pas visibles à l'œil nu.

L_1 : La loupe permettant de voir les détails de l'objet (AB).

$\overline{A_1'B_1'}$: L'image donnée par la loupe, objet pour l'observateur. Elle doit se trouver dans son champ de vision.

L_2 : Œil de l'observateur, la vision doit se faire avec un **minimum d'accommodation**.

$\overline{A_2'B_2'}$: L'image formée par l'œil se trouve sur la tache jaune.

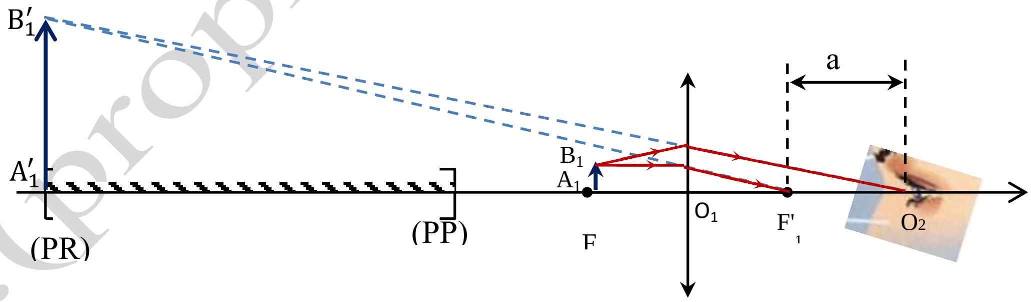


6.2.3 Mise au point :

Les images formées par la loupe, se trouvent dans le **champ de vision de l'observateur**. Elles possèdent deux positions limites.

a- La Première Position Limite :

La première position limite de l'image est lorsqu'elle se trouve sur le Punctum Remotum (PR) de l'observateur, pour cette position la vision se fait sans accommodation. Voir schéma ci-dessus



$$\overline{A_1B_1} + L_1 \rightarrow \overline{A_1'B_1'} \text{ sur le PR}$$

$\overline{A_1B_1}$: La première position de l'objet par rapport à la loupe.

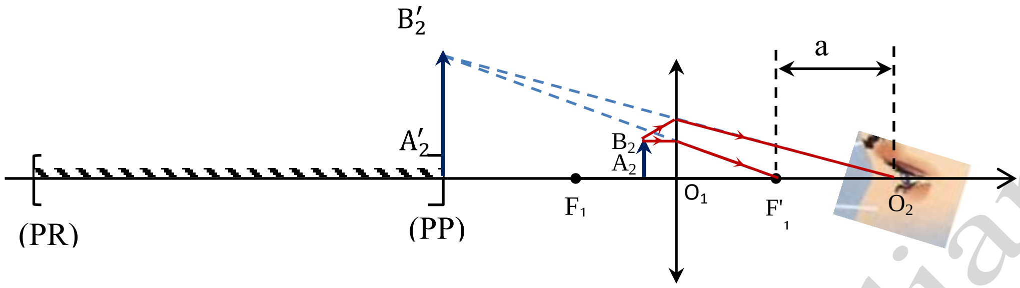
$\overline{A_1'B_1'}$: La position de l'image par rapport à la loupe, elle se trouve sur le PR. On peut écrire : $\overline{O_2A_1'} = \overline{O_2PR}$

L'équation de conjugaison pour cette vision s'écrit :

$$\frac{1}{\overline{O_1F_1'}} = \frac{1}{\overline{O_1A'}} - \frac{1}{\overline{O_1A}} \rightarrow \overline{O_1A'} = \overline{O_1PR} \rightarrow \frac{1}{\overline{O_1F_1'}} = \frac{1}{\overline{O_1PR}} - \frac{1}{\overline{O_1A_1}} \quad avec\ , O_1PR = O_1O_2 + O_2PR$$

b- La Deuxième Position Limite

La deuxième position limite de l'image est lorsqu'elle se trouve sur le Punctum Proximum (PP) de l'observateur, pour cette position la vision se fait avec accommodation maximale. Voir le schéma ci-dessus.



$$\overline{A_2B_2} + L_1 \rightarrow \overline{A'_2B'_2} \text{ sur le PP}$$

$\overline{A_2B_2}$: La deuxième position de l'objet par rapport à la loupe.

$\overline{A'_2B'_2}$: La position de l'image par rapport à la loupe, elle se trouver sur le PP, on peut écrire : $\overline{O_2A'_1} = \overline{O_2PP}$

L'équation de conjugaison pour cette vision s'écrit :

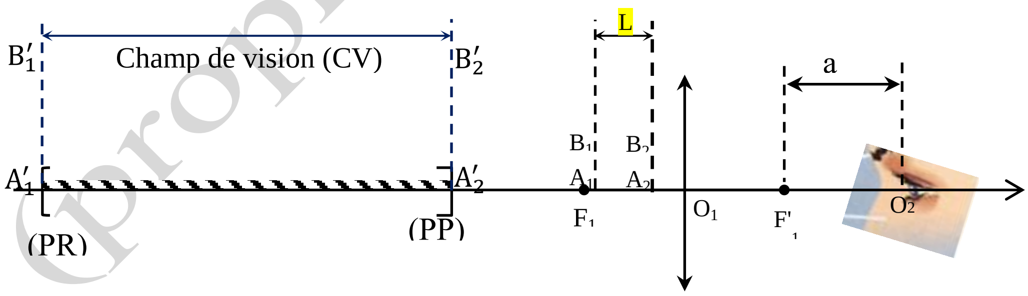
$$\frac{1}{\overline{O_1F'_1}} = \frac{1}{\overline{O_1A'}} - \frac{1}{\overline{O_1A}} \rightarrow \overline{O_1A'} = \overline{O_1PP} \rightarrow \frac{1}{\overline{O_1F'_1}} = \frac{1}{\overline{O_1PP}} - \frac{1}{\overline{O_1A_2}} \; avec\,, \overline{O_1PP} = \overline{O_1O_2} + \overline{O_2PP}$$

c- Remarque :

Ne pas oublier que le PP et le PR sont définis par rapport à l'œil (centre optique O_2), alors que le calcul des positions des objets se fait par rapport à la loupe (centre optique O_1).

6.2.3.1 Latitude De Mise Au Point :

La mise au point (L), consiste à déterminer les positions limites des objets qui donnent des positions limites des images dans le champ de vision de l'observateur, voir le schéma.



a- Expression De La Latitude De Mise Au Point :

La latitude de mise au point est l'espace précis (L) sur laquelle on doit placer l'objet pour obtenir une image vue nettement.

$$|L| = |(\overline{O_1A_1}) - (\overline{O_1A_2})|$$

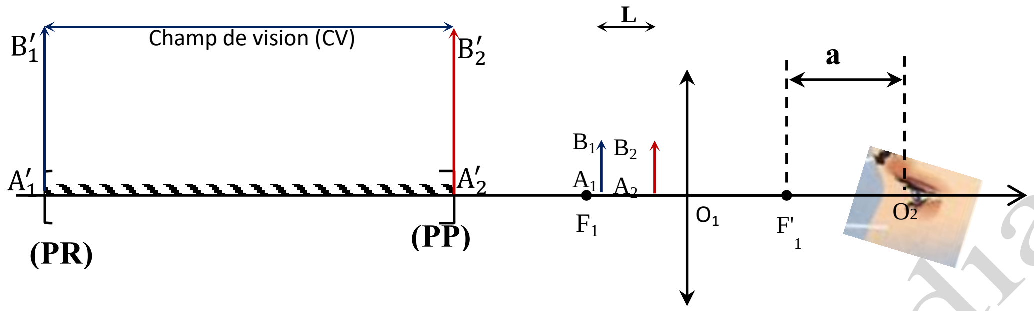
Avec $\overline{O_1A_1}$: La première position de l'objet donnant une image sur le PR de l'observateur.
Et $\overline{O_1A_2}$: la deuxième position de l'objet donnant une image sur le PP de l'observateur.

b- **La loi de newton :**

La loi de Newton permet de calculer la latitude de mise au point, elle dépend de la focalité de la lentille et des limites du champ de vision de l'observateur, son expression est :

$$|L| = \left(\overline{O_1F'_1}\right)^2 \times \left[\frac{1}{\overline{O_2PP}-a} - \frac{1}{\overline{O_2PR}-a}\right]$$

Démonstration De La Loi De Newton :



Vision au PR : déterminons l'expression de la position de l'objet lorsque la vision se fait au PR :

$$\frac{1}{\overline{O_1F'_1}} = \frac{1}{\overline{O_1PR}} - \frac{1}{\overline{O_1A_1}} \rightarrow \frac{1}{\overline{O_1A_1}} = \frac{1}{\overline{O_1PR}} - \frac{1}{\overline{O_1F'_1}} \rightarrow \overline{O_1A_1} = \frac{\overline{O_1F'_1} \times \overline{O_1PR}}{\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PR}}$$

Vision au PP : déterminons l'expression de la deuxième position de l'objet lorsque la vision se fait au PP :

$$\frac{1}{\overline{O_1F'_1}} = \frac{1}{\overline{O_1PP}} - \frac{1}{\overline{O_1A_2}} \rightarrow \frac{1}{\overline{O_1A_2}} = \frac{1}{\overline{O_1PP}} - \frac{1}{\overline{O_1F'_1}} \rightarrow \overline{O_1A_2} = \frac{\overline{O_1F'_1} \times \overline{O_1PP}}{\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PP}}$$

On remplace les deux expressions des deux positions de l'objet dans l'expression de la latitude de mise au point.

$$|L| = \left|\left(\overline{O_1A_1}\right) - \left(\overline{O_1A_2}\right)\right| \rightarrow |L| = \left|\frac{\overline{O_1F'_1} \times \overline{O_1PR}}{\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PR}} - \frac{\overline{O_1F'_1} \times \overline{O_1PP}}{\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PP}}\right|$$

$$|L| = \left(\overline{O_1F'_1}\right)\left(\frac{\overline{O_1PR}}{\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PR}} - \frac{\overline{O_1PP}}{\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PP}}\right) = \frac{\overline{O_1PR} \times \left(\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PP}\right) - \overline{O_1PP} \times \left(\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PR}\right)}{\left(\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PR}\right) \times \left(\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PP}\right)}$$

$$|L| = \left(\overline{O_1F'_1}\right)\left(\frac{\overline{O_1PR} \times \left(\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PP}\right) - \overline{O_1PP} \times \left(\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PR}\right)}{\left(\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PR}\right) \times \left(\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PP}\right)}\right) \rightarrow$$

$$|L| = \left(\overline{O_1F'_1}\right)\left(\frac{\overline{O_1PR} \times \overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PP} \times \overline{O_1PR} - \overline{O_1PP} \times \overline{O_1F'_1} + \overline{O_1PP} \times \overline{O_1PR}}{\left(\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PR}\right) \times \left(\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PP}\right)}\right) \rightarrow$$

$$|L| = \left(\overline{O_1F'_1}\right)\left(\frac{\overline{O_1PR} \times \overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PP} \times \overline{O_1F'_1}}{\left(\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PR}\right) \times \left(\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PP}\right)}\right) \rightarrow |L| = \left(\overline{O_1F'_1}\right)^2 \left(\frac{\overline{O_1PR} - \overline{O_1PP}}{\left(\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PR}\right) \times \left(\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PP}\right)}\right) \ldots\ldots\ldots (1).$$

Sachant que le PR et le PP sont définit par rapport à l'œil de l'observateur on aura : $\overline{O_1PP} = \overline{O_1O_2} + \overline{O_2PP}$, et $\overline{O_1PR} = \overline{O_1O_2} + \overline{O_2PR}$, lorsque l'on remplace ces deux expression dans l'équation (1) et lorsque l'on développe obtient :

$$|L| = \left(\overline{O_1F'_1}\right)^2 \left(\frac{\overline{O_1O_2} + \overline{O_2PR} - \overline{O_1O_2} - \overline{O_2PP}}{\left(\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PR}\right) \times \left(\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PP}\right)}\right) \rightarrow |L| = \left(\overline{O_1F'_1}\right)^2 \left(\frac{\overline{O_2PR} - \overline{O_2PP}}{\left(\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PR}\right) \times \left(\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1PP}\right)}\right)$$

$$|L| = \left(\overline{O_1F'_1}\right)^2 \left(\frac{\overline{O_2PR} - \overline{O_2PP}}{\left(\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1O_2} - \overline{O_2PR}\right) \times \left(\overline{O_1F'_1} - \overline{O_1O_2} - \overline{O_2PP}\right)}\right) \ldots\ldots (2)$$

D'un autre coté on peut écrire la distance focale par rapport au centre optique de l'œil (O_2) :

$$\overline{O_1F'_1} = \overline{O_1O_2} + \overline{O_2F'_1} \ldots\ldots (3)$$

On remplace maintenant l'équation (3) dans l'équation (2) et on obtient :

$$|L| = (\overline{O_1F_1'})^2 \left(\frac{\overline{O_2PR} - \overline{O_2PP}}{(\overline{O_1O_2} + \overline{O_2F_1'} - \overline{O_1O_2} - \overline{O_2PR}) \times (\overline{O_1O_2} + \overline{O_2F_1'} - \overline{O_1O_2} - \overline{O_2PP})}\right) \rightarrow$$

$$|L| = (\overline{O_1F_1'})^2 \left(\frac{\overline{O_2PR} - \overline{O_2PP}}{(\overline{O_2F_1'} - \overline{O_2PR}) \times (\overline{O_2F_1'} - \overline{O_2PP})}\right).$$

En fin on remplace $(\overline{O_2F_1'} = a)$, et au numérateur on rajoute et on enlève le même terme (a), on obtient :

$$|L| = (\overline{O_1F_1'})^2 \left(\frac{\overline{O_2PR} - \overline{O_2PP} + a - a}{(a - \overline{O_2PR}) \times (a - \overline{O_2PP})}\right) \rightarrow |L| = (\overline{O_1F_1'})^2 \left(\frac{(\overline{O_2PR} - a) - (\overline{O_2PP} - a)}{(a - \overline{O_2PR}) \times (a - \overline{O_2PP})}\right) \rightarrow$$

$$|L| = (\overline{O_1F_1'})^2 \left(\frac{(\overline{O_2PR} - a)}{(a - \overline{O_2PR}) \times (a - \overline{O_2PP})} - \frac{(\overline{O_2PP} - a)}{(a - \overline{O_2PR}) \times (a - \overline{O_2PP})}\right) \rightarrow$$

$$|L| = (\overline{O_1F_1'})^2 \left(\frac{-(a - \overline{O_2PR})}{(a - \overline{O_2PR}) \times (a - \overline{O_2PP})} - \frac{(a - \overline{O_2PP})}{(a - \overline{O_2PR}) \times (a - \overline{O_2PP})}\right) \rightarrow$$

$$|L| = (\overline{O_1F_1'})^2 \left(\frac{-1}{(a - \overline{O_2PP})} - \frac{-1}{(a - \overline{O_2PR})}\right) \rightarrow$$

$$|L| = (\overline{O_1F_1'})^2 \left(\frac{1}{(\overline{O_2PP} - a)} - \frac{-1}{(\overline{O_2PR} - a)}\right)$$

L'expression de la latitude de mise au point **(loi de newton)** est :

$$|L| = (\overline{O_1F_1'})^2 \times \left[\frac{1}{\overline{O_2PP} - a} - \frac{1}{\overline{O_2PR} - a}\right]$$

6.2.3.2 Exemple De Calcul De La Latitude De Mise Au Mise :

Calculer la latitude de mise au point pour un observateur normal dont le PP est à 25 (cm), utilisant une loupe de 5 cm de distance focale. Il place son œil à 5 (cm) derrière le foyer image de la loupe.

a- **Vision au PR.** $A_1B_1 + L_1 \rightarrow A_1'B_1'$ sur le PR.

Calcul de la première position de l'objet donnant une image sur le PR.

$$\frac{1}{\overline{O_1F_1'}} = \frac{1}{\overline{O_1PR}} - \frac{1}{\overline{O_1A_1}} \rightarrow \frac{1}{\overline{O_1A_1}} = \frac{1}{\overline{O_1PR}} - \frac{1}{\overline{O_1F_1'}} = \frac{1}{\infty} - \frac{1}{5} \rightarrow \overline{O_1A_1} = -5(cm)$$

b- **Vision au PP.** $A_2B_2 + L_1 \rightarrow A_2'B_2'$ sur le PP.

Calcul de la deuxième position de l'objet qui donne une image sur le PP.

$$\frac{1}{\overline{O_1F_1'}} = \frac{1}{\overline{O_1PP}} - \frac{1}{\overline{O_1A_2}} \rightarrow \frac{1}{\overline{O_1A_2}} = \frac{1}{\overline{O_1PP}} - \frac{1}{\overline{O_1F_1'}}$$

Calcul de $\overline{O_1PP}$: on a $\overline{O_1PP} = \overline{O_1O_2} + \overline{O_2PP} = (+10) + (-25) = -15(cm)$.

$$\frac{1}{\overline{O_1A_2}} = \frac{1}{-15} - \frac{1}{5} \rightarrow \overline{O_1A_2} = -3{,}75(cm)$$

On déduit que la latitude de mise au point est de : $|L| = \overline{O_1A_1} - \overline{O_1A_2} = 1{,}25\ (cm)$

On peut utiliser la relation de newton pour calculer la latitude de mise au point :

$$|L| = (5)^2 \times \left(\frac{1}{25 - 5} - \frac{1}{\infty}\right) = 1{,}25\ \text{cm})$$

6.2.4 Puissance Et Grossissement De La Loupe.

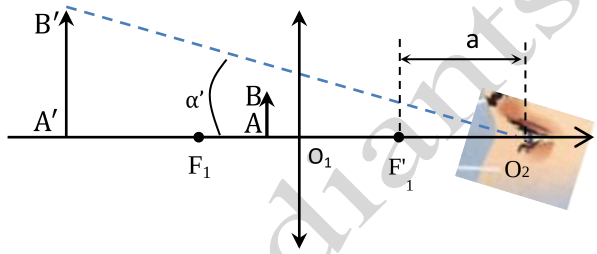
6.2.4.1 Puissance De La Loupe.

a- Définition.

On appelle puissance d'un système optique le rapport du diamètre apparent de l'image (α') sur la taille de l'objet (AB). Elle est notée (P), utilisée pour caractériser les instruments d'optiques.

b- Expression.

$$P = \frac{tg(\alpha')}{\overline{AB}}$$



Dans le cas des faibles incidences, $tg(\alpha') \cong \alpha'$, α' exprimé en radian. Ce qui donne :

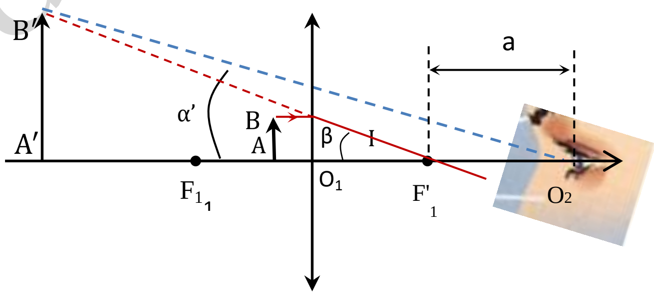
$$P = \frac{\alpha'}{\overline{AB}}$$

c- Remarque :

Dans le cas des faibles incidences, l'expression de la puissance de la loupe est :

$$P = \frac{1}{\overline{O_1F'_1}} \times \left(1 - \frac{a}{\overline{O_2A'}}\right)$$

Démonstration :



$\overline{AB}$: La taille de l'objet observé.
α' : Le diamètre apparent de l'image.
$\overline{O_1F'_1}$: La focalité de la loupe.
$a = \overline{O_2F'_1}$: La distance qui sépare l'œil de (F'_1).
$\overline{O_2A'}$: La position de l'image par rapport à l'œil.

La puissance (P) est définit par : $P = \frac{\alpha'}{\overline{AB}}$

Dans le triangle (A'B'O$_2$) on a : $tg(\alpha') \cong \alpha' = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A'O_2}} \rightarrow$: $P = \frac{\frac{\overline{A'B'}}{\overline{A'O_2}}}{\overline{AB}} \rightarrow P = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \times \frac{1}{\overline{A'O_2}} \ldots\ldots(1)$

Et dans le triangle (A'B'F'$_1$) on a : : $tg(\beta) = \frac{(\overline{OI}=\overline{AB})}{\overline{O_1F'_1}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A'F'_1}} \rightarrow \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'F'_1}}{\overline{O_1F'_1}} \ldots\ldots(2)$

Des deux équations (1) et (2) on obtient : $P = \frac{\overline{A'F'_1}}{\overline{O_1F'_1}} \times \frac{1}{\overline{A'O_2}} = \left(\frac{1}{\overline{O_1F'_1}}\right) \times \left(\frac{\overline{A'F'_1}}{\overline{A'O_2}}\right) \ldots(3).$

On sait que : $\overline{A'F'_1} = \overline{A'O_2} + \overline{O_2F'_1}$

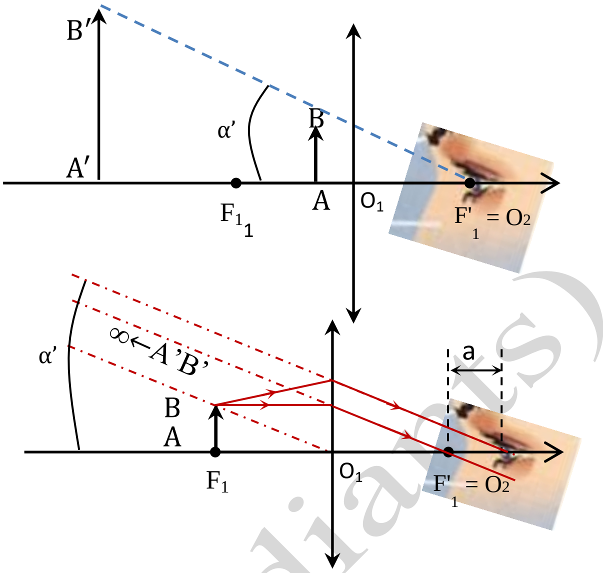
Ce qui nous donne : $P = \left(\frac{1}{\overline{O_1F'_1}}\right) \times \left(\frac{\overline{A'O_2}+\overline{O_2F'_1}}{\overline{A'O_2}}\right) \rightarrow P = \left(\frac{1}{\overline{O_1F'_1}}\right) \times \left(1 + \frac{\overline{O_2F'_1}}{\overline{A'O_2}}\right) \rightarrow$

$$P = \left(\frac{1}{\overline{O_1F'_1}}\right) \times \left(1 - \frac{a}{\overline{O_2A'}}\right)$$

d- Unités :

Dans le système international la puissance est exprimée en (m^{-1}) ou en dioptries (δ), la position de l'image $(\overline{O_1A'})$ et la taille de l'objet $(\overline{AB})$ doivent être en mètres (m).

e- Cas particuliers :



- 1^er cas particulier :
  Si l'observateur place son œil sur le foyer principal image de la loupe, (a = 0); la puissance est :

$$P = \frac{1}{\overline{O_1F'_1}} \times \left(1 - \frac{0}{\overline{O_2A'}}\right) \rightarrow \boxed{P = \frac{1}{\overline{O_1F'_1}} = C_{loupe}}$$

- 2^éme cas particulier :
  Si en plus l'œil est normal au repos, $\overline{O_2A'} = O_2PR = \infty$

$$P = \frac{1}{\overline{O_1F'_1}} \times \left(1 - \frac{a}{\infty}\right) \rightarrow \boxed{P = \frac{1}{\overline{O_1F'_1}} = C_{loupe}}$$

- Pour ces deux cas particuliers
  La puissance de la loupe est Intrinsèque ou Nominale, son expression est :

$$\boxed{P_{loupe} = P_{int} = \frac{1}{\overline{O_1F'_1}} = C_{loupe}}.$$

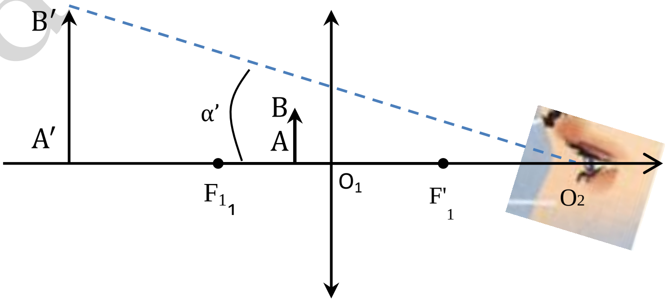
6.2.4.2 Grossissement.

a- Définition.

On appelle Grossissement d'un système optique, le rapport du diamètre apparent de l'image **(tg (α'))** sur le diamètre apparent de l'objet (tg (α)).

L'objet doit être placé sur le (PP) de l'observateur sans système optique.

b- Expression.

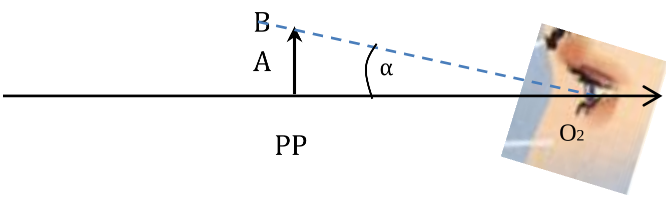


$$\boxed{G = \frac{tg(\alpha')}{tg(\alpha)}}$$

Dans le cas particuliers des faibles incidences, $tg(\alpha') \cong \alpha'$, et $tg(\alpha) \cong \alpha$ les angles α et α' sont exprimés en radians. Ce qui donne :

$$\boxed{G = \frac{\alpha'}{\alpha}}$$

c- Relation Entre Le Grossissement Et La Puissance :



On peut multiplier et diviser l'expression du grossissement par la taille de l'objet $\overline{AB}$ et on obtient :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} \times \frac{\overline{AB}}{\overline{AB}} = \frac{\alpha'}{\overline{AB}} \times \frac{\overline{AB}}{\alpha} = P \times |\overline{O_2PP}|.$$

$$\rightarrow \boxed{G = P \times |\overline{O_2PP}|}$$

Le grossissement dépend de la puissance de la loupe et du punctum proximum de l'observateur.

$\overline{AB}$: La taille de l'objet observé.
α' : L'angle sous lequel est vue l'image (le diamètre apparent de l'image).
α : L'angle sous lequel est vu l'objet placé sur le PP sans système optique (diamètre apparent de l'objet).

Le grossissement est adimensionnel.

d- Cas particuliers :

Dans le cas particulier ou la puissance est intrinsèque et que l'observateur est emmétrope (PP à 25 cm), on définit le grossissement commercial de la loupe, noté (G_C), son expression est :

$$G_c = P_{int} \times |\overline{O_2PP}| = C_{loupe} \times 0{,}25 \rightarrow G_c = \frac{C_{loupe}}{4}$$

6.2.5 Pouvoir séparateur.

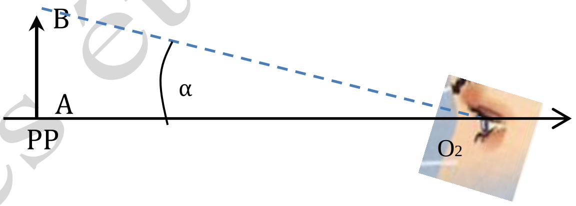
6.2.5.1 Définition :

En optique, le pouvoir de résolution ou le pouvoir séparateur d'un système optique désigne sa capacité à distinguer des détails fins de l'objet observé.

Il est défini comme étant la distance angulaire minimale entre deux points distincts d'un même objet qui donnent deux images distinctes; on dit dans ce cas que l'objet est résolu.

a- **Vision Sans Système Optique :**

Dans le cas d'un objet de taille minimale $(\overline{AB})_{min}$, l'angle (α) de l'objet placé sur le (PP) définit le pouvoir séparateur de l'œil nu, noté (ε) et donné par :



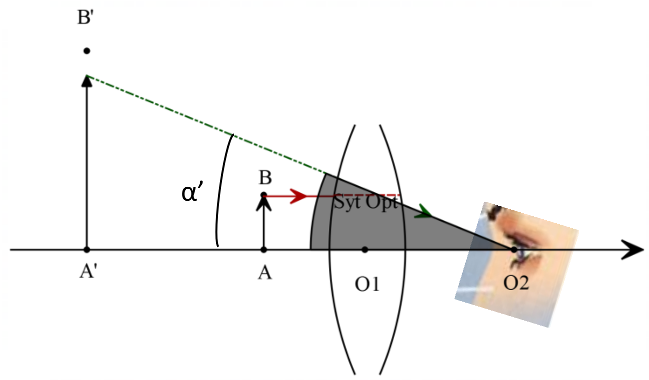
$$tg(\alpha) \cong tg(\varepsilon) \cong \varepsilon = \varepsilon = \frac{(AB)_{min}}{O_2PP}.$$

b- **Vision à Travers Un Système Optique :**

Dans le cas ou l'œil est muni d'un système optique, le pouvoir séparateur est la taille minimale de l'image vue nettement par l'observateur.

Il est noté aussi (ε), donné par :

$$P = \frac{(\alpha' = \varepsilon)}{(\overline{AB})_{min}}.$$

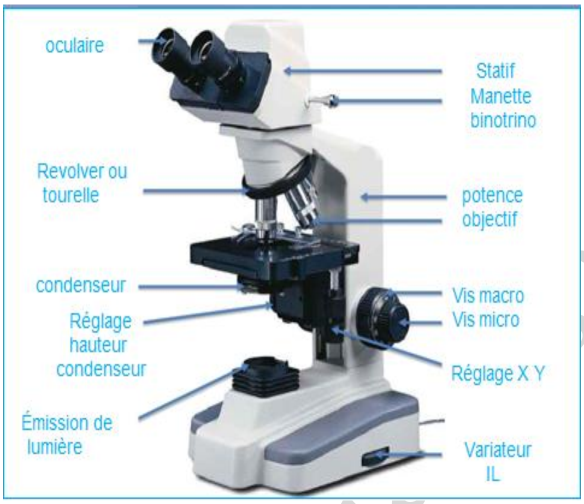


6.4 Microscope Simple :

6.3.1 Généralités :

Le nom microscope vient du grec **(Micros)** signifie (très petit) et évoque la mesure du micromètre, et **(Scope)** signifie (observer) et évoque la vision.

Lorsque l'œil muni d'une loupe ne peut distinguer les détails de l'objet on utilise un système optique plus puissant, un microscope.



On distingue trois types de microscopies :

a) La Microscopie Optique :

Un faisceau de lumière visible est utilisé pour éclairer un objet. La lumière diffusée par l'objet traverse le microscope formé de deux lentilles convergentes non accolées.

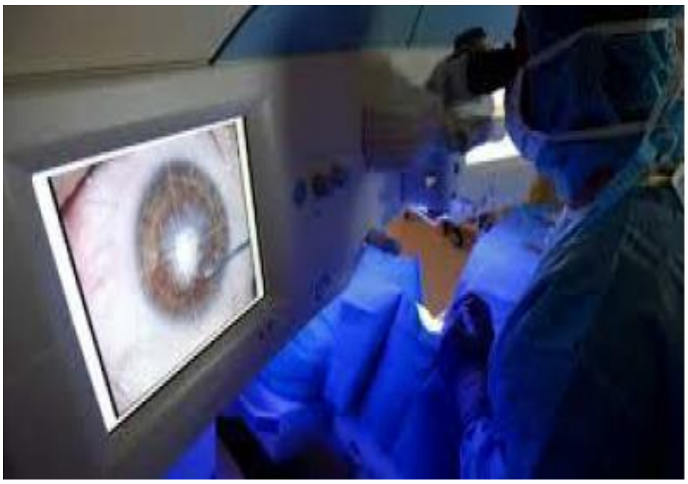
La lumière qui émerge du système est recueillie par un récepteur (l'œil, la caméra …), l'image formée est de très grande taille.

Le pouvoir de résolution des microscopes optiques, bien qu'il soit plus grand que ceux des loupes, sont très réduit comparé à d'autres types de microscopes.

b) La Microscopie Électronique :

Est un autre type de microscopie utilisant un faisceau d'électrons pour éclairer l'objet et former une image très grande.

Les microscopes électroniques ont un pouvoir de résolution plus grand que ceux des microscopes optiques qui utilisent de la lumière visible, ils peuvent obtenir des grossissements beaucoup plus élevés allant jusqu'à cinq **(5)** millions de fois, alors que les meilleurs microscopes optiques sont de **2000 fois plus grands**.



c) La Microscopie À Sonde Locale :

La microscopie à sonde locale est une technique de microscopie permettant de **cartographier** le relief à observer (nano-topographie) en balayant la surface à imager à l'aide d'une pointe très fine (la pointe est idéalement un cône se terminant par un seul atome).

La résolution obtenue par cette technique permet d'observer jusqu'à l'ordre des atomes, ce qui est physiquement impossible avec un microscope optique, ou électronique quel que soit son grossissement.

La microscopie est utilisée de nos jours dans plusieurs spécialités médicales surtout dans la chirurgie de précision, (micro chirurgie ou neurochirurgie), en anatomie-pathologie, dans la fécondation in vitro, en Oto-Rhino-Laryngologie, et dans bien d'autres spécialités médicales.

L'un des désavantages de celle-ci est le prix très élevé de l'installation ainsi que l'encombrement du système optique.

6.3.2 Définition D'un Microscope Simple :

Le microscope est un système optique formé de deux lentilles convergentes non accolées, il est destiné à l'observation des détails d'objets non accessibles à l'œil muni d'une loupe.

6.3.3 Principe Et Aspect Géométrique :

6.3.3.1 Principe :

Le principe consiste à placer l'objet $(\overline{AB})$ devant une première lentille (L_1) convergente de très faible focalité (quelques millimètres), appelée **objectif.** L'objectif forme une image $(\overline{A'B'})$ réelle renversée plus grande que l'objet $(\overline{AB})$, elle doit se trouver entre le foyer objet de (L_2) et son centre optique.

La deuxième lentille de vergence plus faible est dite **oculaire** joue le rôle d'une loupe pour l'image intermédiaire $(\overline{A'B'})$, elle forme de l'image intermédiaire, une image finale $(\overline{A"B"})$ virtuelle, renversée très grande.

Cette deuxième image sera considérée comme objet pour l'observateur, et doit se trouver dans son champ de vision, pour réduire l'encombrement du système, elle doit être éloignée de l'œil pour minimiser son l'accommodation.

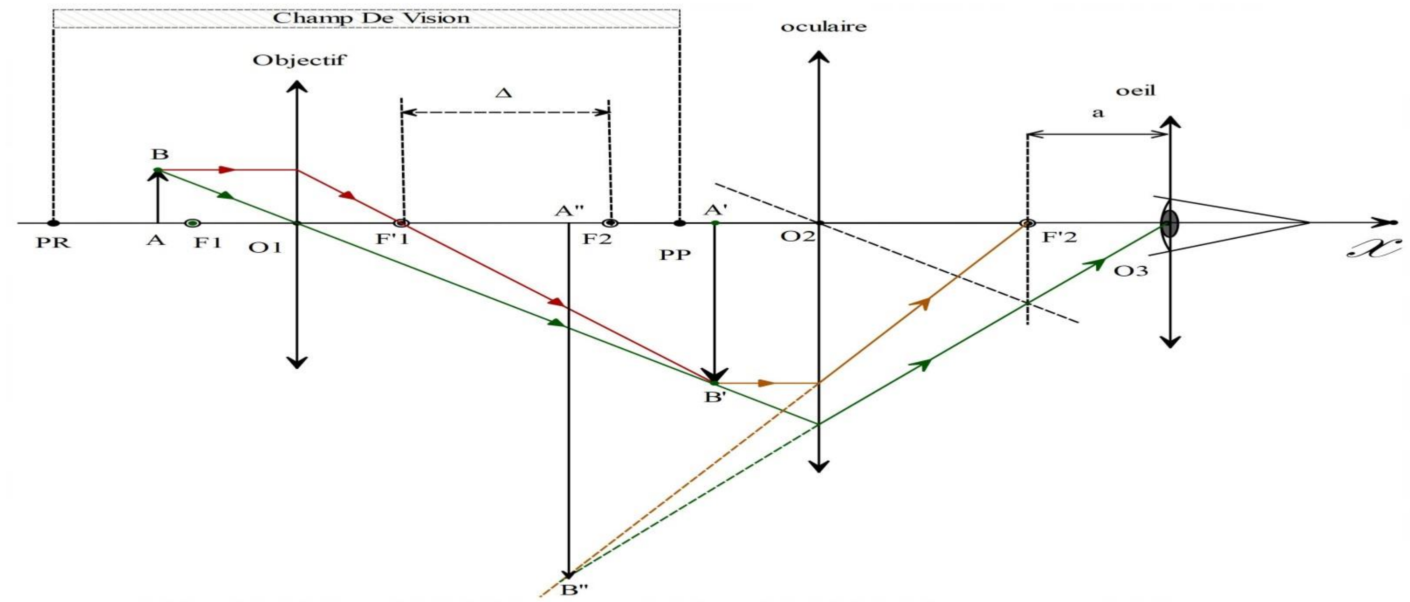
6.3.3.2 Aspect géométrique :

Le même schéma utilisé dans les cours précédents sera utilisé.

$$\overline{AB} + L_1 \to (\overline{A'B'}) + L_2 \to (\overline{A"B"}) + L_3 \to (\overline{A'''B'''})$$

$$\begin{cases} \overline{AB} : \text{l'objet, ses détails ne peuvent être distingués par l'oeil muni d'une loupe.} \\ L_1 : \text{ l'objectif est convergente, sa focalié est de quelque mm.} \\ (\overline{A'B'}) \text{ la première image formée par l'objectif.} \\ L_2 : \text{ l'oculaire est convergente et sa focalié est de quelque cm.} \\ (\overline{A"B"}) \text{ la deuxième image formée par l'oculaire.} \\ L_3 : \text{ l'oeil de l'observateur doit être au repos pour une vision sans accommodation.} \\ (\overline{A'''B'''}) \text{ l'image finale formée par l'oeil se trouve sur sa tache jaune.} \end{cases}$$

Voir le schéma ci-dessous.



Les rayons lumineux issus de l'objet $(\overline{AB})$ permettent de déterminer la position de l'image $(\overline{A''B''})$ vue par l'observateur.

6.3.3.3 Cercle Oculaire :

Lorsqu'on éclaire l'objectif d'un microscope avec un faisceau de rayons parallèles à l'axe principal, nous remarquons que la lumière émergente du microscope forme sur un écran placé perpendiculairement à l'axe principal une tache lumineuse circulaire. Le diamètre de cette tache lumineuse varie en fonction de la position de l'écran, et possède une valeur minimale.

Cette tache appelée **cercle oculaire** est **située** au voisinage du foyer principal image de l'oculaire. Son diamètre est plus petit que celui de la pupille.

L'observateur doit placer son œil au niveau du cercle oculaire, car toute la lumière issue de l'objet passe par ce cercle oculaire.

Le cercle oculaire représente l'image de l'objectif (L_1), par rapport à l'oculaire (L_2).

6.3.3.4 Remarque :

L'oculaire jouant le rôle d'une loupe pour l'image intermédiaire, toutes les relations de la loupe vues précédemment peuvent être appliquées à l'oculaire du microscope.

6.3.4 Mise Au Point :

Pour l'observateur, l'image $(\mathbf{\overline{A''B''}})$ doit se trouver dans son champ de vision. Cette image formée par le microscope, **possède deux positions limites**. Une première position limite sur le (PR) de l'observateur et une deuxième position limite sur son (PP).

La mise au point consiste à déterminer les deux positions limites des objets qui donnent ses positions limites des images.

6.3.4.1 La Latitude de Mise au point :

Pour déterminer la position de l'objet $(\overline{AB})$, on doit obligatoirement passer par le calcul de la position de l'image intermédiaire $(\overline{A'B'})$.

Les équations nécessaires pour déterminer la position de l'objet sont déduites de l'équation de conjugaison appliquée aux deux lentilles du microscope, l'objectif et l'oculaire. Elles sont données par le système suivant.

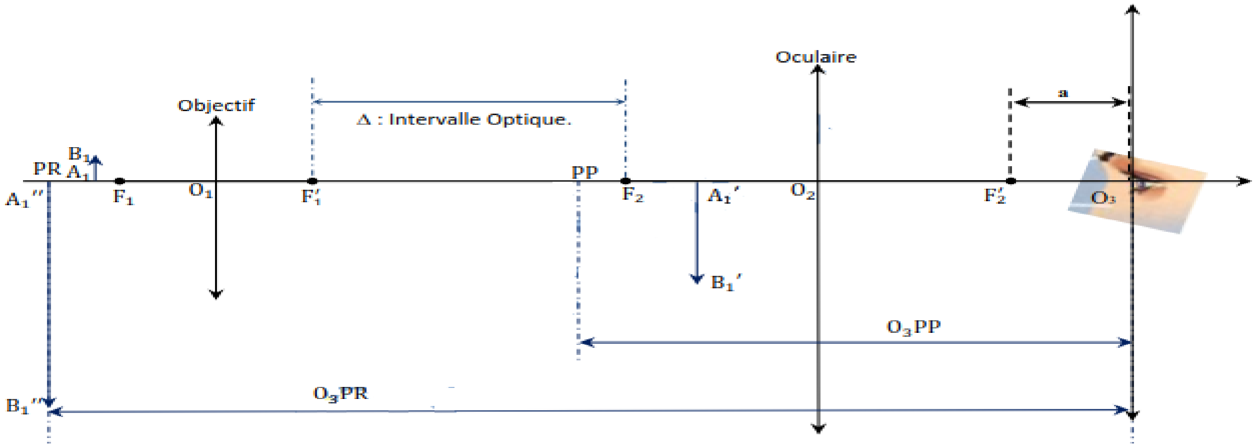
$$\begin{cases} \overline{AB} + L_1 \rightarrow (\overline{A'B'}) \rightarrow \dfrac{1}{\overline{O_1F'_1}} = \dfrac{1}{\overline{O_1A'}} - \dfrac{1}{\overline{O_1A}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (\text{équation } 1) \\ (\overline{A'B'}) + L_2 \rightarrow (\overline{A"B"}) \rightarrow \dfrac{1}{\overline{O_2F'_2}} = \dfrac{1}{\overline{O_2A"}} - \dfrac{1}{(\overline{O_2A'})} \ldots\ldots\ldots\ldots (\text{équation } 2) \end{cases}$$

6.3.4.2 Vision Sans Accommodation.

Déterminons la première position de l'objet $(\overline{O_1A_1})$ donnant une image $(\overline{\mathbf{A"B"}})_1$ sur le **Punctum Remotum.**

Le schéma suivant permet de déterminer cette position :

$$(\overline{AB})_1 + L_1 \rightarrow (\overline{A'B'})_1 + L_2 \rightarrow (\overline{A"B"})_1 \text{ sur le PR de l'oeil} + L_3 \rightarrow (\overline{A'''B'''})_1 \text{sur la tache jaune.}$$



Le système d'équation permettant de déterminer la première position de l'objet $(\overline{\mathbf{O_1A_1}})$ est :

Pour l'objectif on a :

$$\begin{cases} \overline{O_1A_1} : \text{La première position de l'objet par rapport à } (L_1). \\ \overline{O_1F'_1} : \text{ la focalité de l'objectif.} \\ \overline{O_1A'_1} \text{ la première position de l'image intermédiaire par rapport à } (L_1) \end{cases}$$

L'équation de conjugaison pour l'objectif est :

$$\frac{1}{\overline{O_1F'_1}} = \frac{1}{\overline{O_1A'_1}} - \frac{1}{\overline{O_1A_1}} \; \textit{équation } (1)$$

Pour l'oculaire on aura :

$$\begin{cases} \overline{O_2A'_1} : \text{La première position de l'image intermédiaire par rapport à } (L_2). \\ \overline{O_2F'_2} : \text{ la focalité de l'oculaire.} \\ \overline{O_2A"_1} : \text{ la première position de l'image finale par rapport à } (L_2). \end{cases}$$

L'équation de conjugaison pour l'oculaire est :

$$\frac{1}{\overline{O_2F'_2}} = \frac{1}{\overline{O_2A"_1}} - \frac{1}{\overline{O_2A'_1}} \rightarrow \textit{équation } (2)$$

Remarque : les étapes à suivre pour déterminer la première position de l'objet par rapport à l'objectif sont les suivantes :

- **1ère étape: la vision se fait sans accommodation :** On place l'image donnée par le microscope sur le (**PR**) de l'observateur.

On remplace $(\overline{O_3A_1''})$ par$(\overline{O_3PR})$, la relation de **Chasles** donne :

$$\overline{O_3A_1''} = \overline{O_3PR} \rightarrow \overline{O_2A_1''} = \overline{O_2O_3} + \overline{O_3PR}$$

- **2ème étape : on détermine la position de l'image intermédiaire** $(\overline{O_2A_1'})$ par rapport à (L_2) en utilisant l'équation (2), l'image intermédiaire est considérée comme objet pour (L_2) :

$$\frac{1}{\overline{O_2F_2'}} = \frac{1}{\overline{O_2A_1''}} - \frac{1}{\overline{O_2A_1'}} \rightarrow \overline{O_2A_1'}$$

- **3ème étape : on calcul $(\overline{O_1A_1'})$ la position de la première image** intermédiaire par rapport à (L_1) en utilisant la relation de **Chasles**. $\overline{O_1A_1'} = \overline{O_1O_2} + \overline{O_2A_1'}$

- **4ème étape : Cette dernière étape permet de calculer** $(\overline{O_1A_1})$, qui représente la première position de l'objet par rapport à l'objectif en utilisant la première équation :

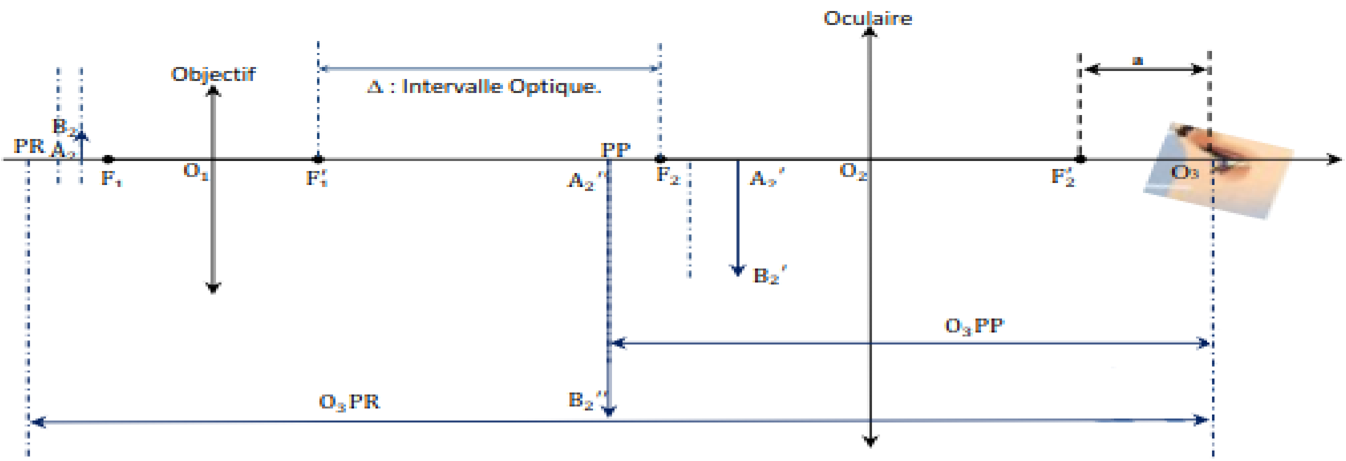
$$\frac{1}{\overline{O_1F_1'}} = \frac{1}{\overline{O_1A_1'}} - \frac{1}{\overline{O_1A_1}} \rightarrow \overline{O_1A_1}$$

$\overline{O_1A_1}$: Représente la première position de l'objet par rapport à l'objectif qui forme une première position de l'image sur le **Punctum Remotum** de l'observateur, celle-ci sera vue sans accommodation.

6.3.4.3 Vision Avec Accommodation Maximale.

Déterminons la deuxième position de l'objet $(\overline{O_1A_2})$ qui donne une deuxième image $(\overline{A''B''})_2$ sur le **Punctum Proximum** de l'observateur.

Comme dans le cas de la loupe on place l'image finale donnée par le microscope $(\overline{A''B''})_2$ sur le Punctum Proximum (**PP**) de l'observateur et on déduit la deuxième position de l'objet, voir le schéma :



$$(\overline{AB})_1 + L_1 \rightarrow (\overline{A'B'})_1 + L_2 \rightarrow (\overline{A''B''})_2 \text{ sur le PP de l'oeil} + L_3 \rightarrow (\overline{A'''B'''})_3 \textit{sur la tache jaune.}$$

Le système d'équation permettant de déterminer la deuxième position de l'objet $(\overline{O_1A_2})$ qui donne une deuxième position de l'image $(\overline{A''B''})_2$ sur le (**PP**) de l'observateur est :

Par rapport à l'objectif on a :

$$\begin{cases} \overline{O_1A_2} : \text{est la deuxième position de l'objet par rapport à l'objectif.} \\ (\overline{O_1F_1'}) : \text{ la focalité de l'objectif.} \\ (\overline{O_1A_2'}) : \text{ la deuxième position de l'image intermédiaire par rapport à l'objectif} \end{cases}$$

L'équation de conjugaison pour l'objectif sera donnée par : $\frac{1}{\overline{O_1F_1'}} = \frac{1}{\overline{O_1A_2'}} - \frac{1}{\overline{O_1A_2}}$ *équation* **(1)**

<u>Par rapport à l'oculaire on aura :</u>

$$\begin{cases} \overline{\mathbf{O_2A_2'}} : \text{deuxième position de l'image intermédiaire par rapport à l'oculaire.} \\ \left(\overline{\mathbf{O_2F_2'}}\right) : \text{la focalité de l'oculaire.} \\ \left(\overline{\mathbf{O_2A_2''}}\right) : \text{la deuxième position de l'image finale par rapport à l'oculaire.} \end{cases}$$

L'équation de conjugaison pour l'oculaire sera donnée par : $\frac{1}{\overline{O_2F_2'}} = \frac{1}{\overline{O_2A_2''}} - \frac{1}{\overline{O_2A_2'}} \rightarrow \textit{équation}\ (2)$

<u>Remarque :</u> les mêmes étapes précédentes permettent de déterminer la deuxième position de l'objet par rapport à l'objectif :

- **<u>1ére étape: la vision se fait avec accommodation maximale :</u>** On place la deuxième image donnée par le microscope sur le (**PP**) de l'observateur.

On remplace $\left(\overline{O_3A_2''}\right)$ par$\left(\overline{O_3PP}\right)$, la relation de **<u>Chasles</u>** donne :

$$\overline{O_3A_2''} = \overline{O_3PP} \rightarrow \overline{O_2A_2''} = \overline{O_2O_3} + \overline{O_3PP}$$

- **<u>2ème étape : on détermine la deuxième position de l'image intermédiaire</u>** $\left(\overline{\mathbf{O_2A_2'}}\right)$ par rapport à (L_2) en utilisant l'équation (2), la deuxième image intermédiaire est considérée comme un objet pour (L_2) :

$$\frac{1}{\overline{O_2F_2'}} = \frac{1}{\overline{O_2A_2''}} - \frac{1}{\overline{O_2A_2'}} \rightarrow \overline{O_2A_2'}$$

- **<u>3ème étape : on calcul $(\overline{O_1A_2'})$ la deuxième position de l'image</u>** intermédiaire par rapport à (L_1) en utilisant la relation de **Chasles**. $\overline{O_1A_2'} = \overline{O_1O_2} + \overline{O_2A_2'}$
- **4ème étape : <u>Cette dernière étape permet de calculer</u> $(\overline{\mathbf{O_1A_2}})$**, qui représente la deuxième position de l'objet par rapport à l'objectif en utilisant la première équation :

$$\frac{1}{\overline{O_1F_1'}} = \frac{1}{\overline{O_1A_2'}} - \frac{1}{\overline{O_1A_2}} \rightarrow \overline{O_1A_2}$$

$\overline{\mathbf{O_1A_2}}$: Représente la deuxième position de l'objet par rapport à l'objectif donnant une deuxième position de l'image sur le **Punctum Proximum** de l'observateur, celle-ci sera vue avec accommodation maximale.

<u>6.3.5 Exemple d'application</u> :

Un microscope est constitué d'un objectif et d'un oculaire de distances focales respectives de $\left(\overline{O_1F_1'} = 5\ mm\right)$ et $\left(\overline{O_2F_2'} = 2{,}5\ cm\right)$. Les deux lentilles sont séparées par une distance de (a = 16 cm). Un observateur normal dont le Punctum Proximum est 25 cm place sont œil à 2,5 cm derrière le foyer principal image de l'objectif.

Calculer la latitude de mise au point de ce microscope pour cet observateur.

<u>Solution :</u>

a) <u>Déterminons la première position de l'objet $(\overline{O_1A_1})$</u> qui donne une image $(A''B'')_1$ sur le PR de l'observateur normal. $\overline{O_3PR} = -\infty\,(cm)$.

$$(AB)_1 + L_1 \rightarrow (A'B')_1 + L_2 \rightarrow (A''B'')_1 \text{ sur le PR de l'oeil} + L_3 \rightarrow (A'''B''')_1 \textit{sur la tache jaune.}$$

Les étapes précédentes donnent :

- <u>1ére étape: la vision se fait sans accommodation :</u> On remplace$\left(\overline{O_3A_1''} = \overline{O_3PR} = -\infty\right)$.

La relation de <u>Chasles</u> donne : $\overline{O_3A_1''} = \overline{O_3PR} \rightarrow \overline{O_2A_1''} = \overline{O_2O_3} + \overline{O_3PR} \rightarrow \overline{O_2A_1''} = +(5\text{ cm}) + (-\infty) \rightarrow$

$$\overline{O_2A_1''} = -\infty$$

- <u>2ème étape : on détermine la première position de l'image intermédiaire</u> $\left(\overline{O_2A_1'}\right)$ par rapport à (L_2) en utilisant l'équation (2), l'image intermédiaire est considérée comme objet pour (L_2) :

$$\frac{1}{\overline{O_2F_2'}} = \frac{1}{\overline{O_2A_1''}} - \frac{1}{\overline{O_2A_1'}} \rightarrow \frac{1}{\overline{O_2A_1'}} = \frac{1}{\overline{O_2A_1''}} - \frac{1}{\overline{O_2F_2'}} \rightarrow \frac{1}{\overline{O_2A_1'}} = \frac{1}{(-\infty)} - \frac{1}{(+2{,}5\text{ cm})} \rightarrow \overline{O_2A_1'} = -2{,}5\,(cm)$$

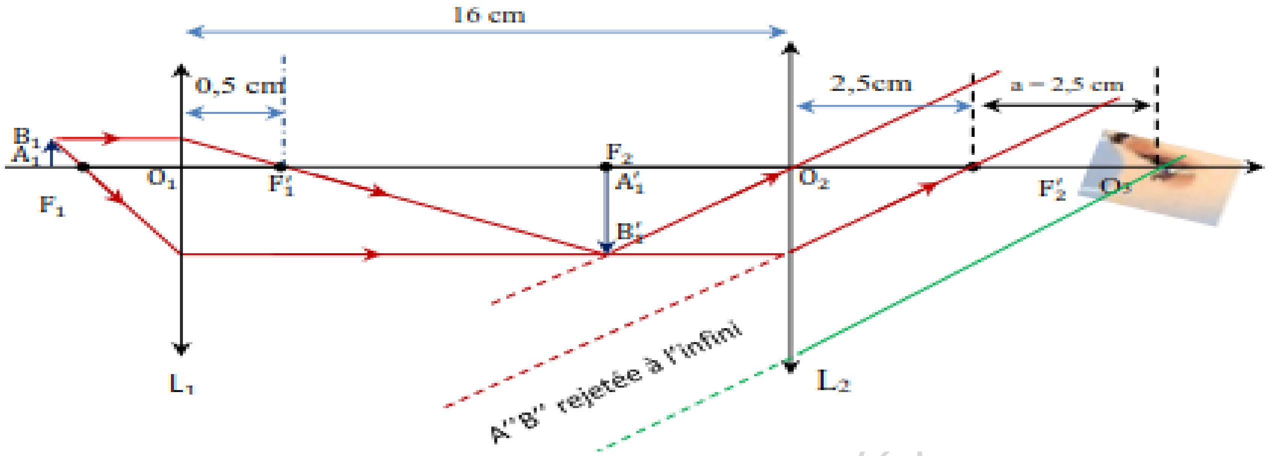
- <u>3ème étape : on calcul $(\overline{O_1A_1'})$ la position de la première image</u> intermédiaire par rapport à (L_1) en utilisant la relation de Chasles.

$$\overline{O_1A_1'} = \overline{O_1O_2} + \overline{O_2A_1'} \rightarrow \overline{O_1A_1'} = (+16\ cm) + (-2{,}5\ cm) \rightarrow \overline{O_1A_1'} = +13{,}5\ (cm)$$

➢ 4ème étape : Cette dernière étape permet de calculer $(\overline{O_1A_1})$, qui représente la première position de l'objet par rapport à l'objectif qui donne une première image sur le PR de l'observateur, en utilisant la première équation :

$$\frac{1}{\overline{O_1F_1'}} = \frac{1}{\overline{O_1A_1'}} - \frac{1}{\overline{O_1A_1}} \rightarrow \frac{1}{\overline{O_1A_1}} = \frac{1}{(+13{,}5\ \text{cm})} - \frac{1}{(+0{,}5\ \text{cm})} \rightarrow \overline{O_1A_1} = -0{,}51923\ (cm)$$

$\overline{O_1A_1} = -0{,}51923\ (cm)$: Représente la première position de l'objet par rapport à l'objectif qui donne une première position de l'image rejetée à l'infini, le **Punctum Remotum** de l'observateur normal.



b) Déterminons la deuxième position $(\overline{O_1A_2})$ qui donne une deuxième image $(\overline{A''B''})_2$ sur le PP de l'observateur: $\overline{O_3PP} = -25(cm)$.

$(\overline{AB})_2 + L_1 \rightarrow (\overline{A'B'})_2 + L_2 \rightarrow (\overline{A''B''})_2$ sur le PR de l'oeil $+ L_3 \rightarrow (\overline{A'''B'''})_2$ sur la tache jaune.

Les étapes à suivre sont les mêmes :

➢ 1ére étape: la vision se fait avec accommodation maximale :

On remplace $\left(\overline{O_3A_2''} = \overline{O_3PP} = -25\ (cm)\right)$. La relation de Chasles donne :

$$\overline{O_2A_2''} = \overline{O_2O_3} + \overline{O_3PP} \rightarrow \overline{O_2A_2''} = +(5\ \text{cm}) + (-25\ \text{cm}) \rightarrow \overline{O_2A_2''} = -20\ (cm)$$

➢ 2ème étape : on détermine la position de la deuxième image intermédiaire $\left(\overline{O_2A_2'}\right)$ par rapport à (L_2) en utilisant l'équation (2), la deuxième image intermédiaire est considérée comme objet pour (L_2) :

$$\frac{1}{\overline{O_2F_2'}} = \frac{1}{\overline{O_2A_2''}} - \frac{1}{\overline{O_2A_2'}} \rightarrow \frac{1}{\overline{O_2A_2'}} = \frac{1}{\overline{O_2A_2''}} - \frac{1}{\overline{O_2F_2'}} \rightarrow \frac{1}{\overline{O_2A_2'}} = \frac{1}{(-20\ \text{cm})} - \frac{1}{(+2{,}5\ \text{cm})}$$

$$\overline{O_2A_2'} = -2{,}2222\ (cm)$$

➢ 3ème étape : on calcul $(\overline{O_1A_2'})$ la position de la deuxième image intermédiaire par rapport à (L_1) en utilisant la relation de Chasles.

$$\overline{O_1A_2'} = \overline{O_1O_2} + \overline{O_2A_2'} \rightarrow \overline{O_1A_2'} = (+16\ cm) + (-2{,}2222\ cm) \rightarrow \overline{O_1A_2'} = +13{,}7778\ (cm)$$

➢ 4ème étape : Cette dernière étape permet de calculer $(\overline{O_1A_2})$, qui représente la deuxième position de l'objet par rapport à l'objectif. On utilise la première équation :

$$\frac{1}{\overline{O_1F_1'}} = \frac{1}{\overline{O_1A_2'}} - \frac{1}{\overline{O_1A_2}} \rightarrow \frac{1}{\overline{O_1A_2}} = \frac{1}{\overline{O_1A_2'}} - \frac{1}{\overline{O_1F_1'}} \rightarrow \frac{1}{\overline{O_1A_2}} = \frac{1}{(+13{,}7778\ \text{cm})} - \frac{1}{(+0{,}5\ \text{cm})}$$

$$\overline{O_1A_2} = -0{,}51883\ (cm)$$

On déduit la latitude de mise au point de ce microscope pour cet observateur normal par :

$$|L| = |(\overline{O_1A_1})| - |(\overline{O_1A_2})| = \left|\left(-0{,}51923\ (cm)\right) - \left(-0{,}51883\ (cm)\right)\right|$$

$$|L| = 4{,}0158 \times 10^{-4} (cm)$$

<u>6.3.6 Puissance et grossissement du microscope :</u>

<u>6.3.6.1 Puissance Du Microscope :</u>

a- **<u>Définition</u> :**

Elle est définie de la même manière que dans le cas de la loupe **<u>PAR LE RAPPORT</u>** du diamètre apparent de l'image finale donnée par le microscope sur la taille de l'objet, notée (**P**) son expression :

$$P_{mic} = \frac{\alpha''}{\overline{AB}}$$

α'': Est le diamètre apparent de l'image donnée par le microscope, son expression est :

$$\mathrm{tg}\,(\alpha'') = \alpha'' = \frac{\overline{A''B''}}{\overline{O_3A''}}$$

$\overline{AB}$: Est la taille de l'objet observé à travers le microscope.

$$P_{mic} = \frac{\alpha''}{\overline{AB}} = \frac{\alpha''}{\overline{A'B'}} \times \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \left(\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}\right) \times \left(\frac{\alpha''}{\overline{A'B'}}\right)$$

$$\gamma_{obj} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}, \text{ et } P_{Ocu} = \frac{\alpha''}{\overline{AB}}$$

Donc la deuxième expression de la puissance du microscope est :

$$P_{mic} = \left(\gamma_{obj}\right) \times (P_{ocu})$$

b- **<u>Cas particuliers :</u>**

Dans le cas particulier où l'image formée est rejetée à l'infini, la puissance du microscope est intrinsèque ou nominale. Son expression est donnée par :

$$P_{micros} = P_{intrinsèque} = (\Delta) \times (C_1) \times (C_2)$$

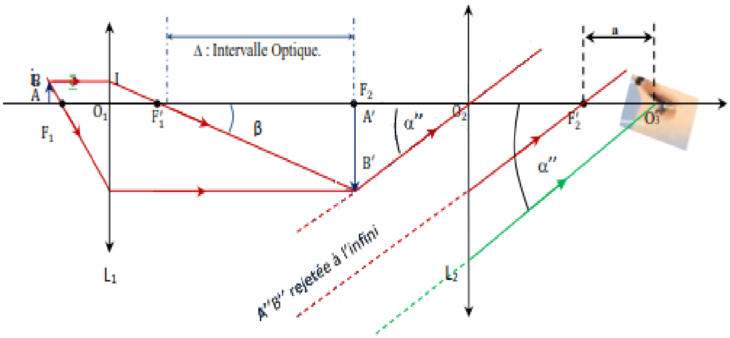
Δ : Est l'intervalle optique du microscope, c'est la distance qui sépare le foyer principal image de l'objectif du foyer principal objet de l'oculaire.

$$\Delta = \overline{F'_1F_2}\ ;\ C_1 = \frac{1}{\overline{O_1F'_1}}\ ;\ C_2 = \frac{1}{\overline{O_2F'_2}}$$

C_1 : la vergence de l'objectif, C_2 : Est la vergence de l'oculaire ,

c- **<u>Démonstration</u> :**

La puissance du microscope étant définit par :



$$P_{mic} = \frac{\alpha''}{\overline{AB}}\ ;$$

Avec : $\alpha'' = \frac{\overline{A''B''}}{\overline{O_3A''}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{O_2F_2}}$;

Ce qui donne : $P_{mic} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{O_2F_2}} \times \frac{1}{\overline{AB}} = \frac{\gamma_{obj}}{\overline{O_2F_2}}$

D'un autre coté on a aussi (voir le schéma) : $\mathrm{tg}\,(\beta) = \frac{(\overline{O_1I}=\overline{AB})}{\overline{O_1F'_1}} = \frac{\overline{A'B'}}{(\Delta=\overline{F'_1F_2})} \rightarrow \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \gamma_{objectif} = \frac{\Delta}{\overline{O_1F'_1}}$

Sachant que : $|\overline{O_2F'_2}| = |\overline{O_2F_2}|$, on déduit que :

$$P_{micros} = \frac{\Delta}{\overline{O_1F'_1}} \times \frac{1}{\overline{O_2F'_2}} \rightarrow P_{mic} = \Delta \times C_1 \times C_2$$

Les puissances des microscopes optiques sont habituellement comprises entre 100 (δ) et 1000 (δ) dioptries. Elles peuvent atteindre exceptionnellement 10000 (δ) et 12000 (δ) dioptries dans des conditions bien précises d'éclairages.

6.3.6.2 Grossissement d'un microscope :

a- **Définition :**

Le Grossissement d'un microscope est définit de la même manière que dans le cas de la loupe, par le rapport du diamètre apparent de l'image finale ($tg\,(\alpha'')$) sur le diamètre apparent de l'objet($tg\,(\alpha)$).

Le diamètre apparent de l'objet est l'angle formé par l'objet, qui doit être placé sur le PP de l'œil de l'observateur sans système optique, et l'œil de l'observateur.

Son expression dans le cas des faibles incidences est **:**

$$G_{mic} = \frac{tg(\alpha'')}{tg(\alpha)} \rightarrow G_{mic} = \frac{\alpha''}{\alpha}$$

b- **Relation entre le grossissement et la puissance du microscope :**

L'expression du grossissement peut être multipliée par la taille de l'objet, on obtient :

$$G_{mic} = \frac{\alpha''}{\alpha} \times \frac{\overline{AB}}{\overline{AB}} = \frac{\alpha''}{\overline{AB}} \times \frac{\overline{AB}}{\alpha} \rightarrow G_{mic} = P_{mic} \times |\overline{O_3PP}|$$

($\overline{AB}$) : La taille de l'objet observé.
(α'') : Le diamètre apparent de l'image.
(α) : Le diamètre apparent de l'objet.

c- **Cas particuliers :**

Dans le cas particulier ou la puissance du microscope est intrinsèque ou nominale et que l'observateur est emmétrope, ($|PP| = 0{,}25\,(m)$), on définit le grossissement commercial du microscope, son expression est :

$$G_{mic}^{com} = (P_{mic}^{int}) \times |\overline{O_3PP}| \rightarrow G_{mic}^{com} = \frac{P_{mic}^{int}}{4} \rightarrow G_{micros}^{commer} = \frac{\Delta \times C_1 \times C_2}{4}$$

6.3.7 Pouvoir Séparateur Du Microscope :

Le pouvoir est défini de la même manière pour tous les systèmes optiques, comme étant la distance angulaire minimale entre deux éléments d'un même objet qui permet d'en obtenir deux images distincte séparées.

Le schéma suivant donne un ordre de grandeurs des dimensions des tailles d'objets observés.

6.3.8 Conclusion et remarques :

- Le dispositif grossissant le plus simple est la loupe. Pour avoir de forts grossissements, il est nécessaire d'employer une loupe de très faible distance focale. Mais la nature ondulatoire de la lumière et les lois de l'optique imposent à ces loupes des conditions d'éclairages et une position de l'œil (distances loupe-objet et loupe-œil très courtes) qui rendent leur utilisation inconfortable.

- Le microscope est constitué d'une association de lentilles. L'image est observée à travers ce système, la pupille se trouvant sur le cercle oculaire, perçoit donc cette image de l'objet grossie, virtuelle, et inversée.

- Un microscope classique d'observation en transmission comporte, outre l'oculaire et l'objectif, plusieurs autres lentilles (peut contenir jusqu'à dix lentilles), peut améliorer le pouvoir de résolution. Mais ce système nécessite des conditions d'éclairage particulières mais aussi d'autres éléments d'optique (encombrement).

- Les meilleurs microscopes optiques ne peuvent dépasser un grossissement pratique de 2000. Cette limite est imposée par la nature ondulatoire de la lumière. L'emploi de l'optique électronique à la place de l'optique lumineuse a permis de repousser la limite de résolution.