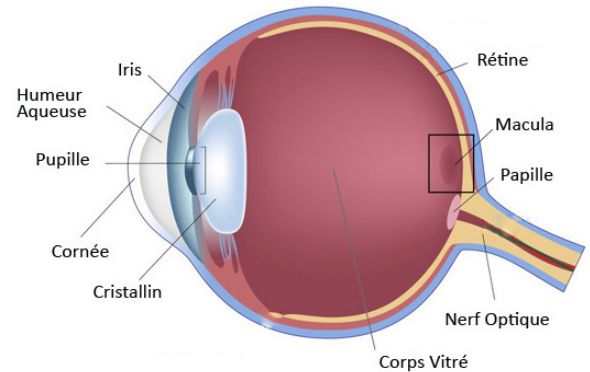


Chapitre 2.9 – La correction de la vue

L'œil humain

L'œil est un organe permettant à l'humain d'analyser la lumière ce qui permet d'analyser l'environnement dans lequel il est situé.

- La **rétilne** est comparable à un **écran de fond** sur laquelle les rayons forment des images. Lorsqu'un groupe de rayons issus d'un objet forme un faisceau convergent sur un point de la rétilne, une image nette est alors interprétée par le cerveau.
- La **cornée** correspond à une **surface rigide** permettant de faire converger les rayons de lumière.
- Le **cristallin** correspond à une **lentille souple** qui est déformable grâce aux **muscles ciliaires**.

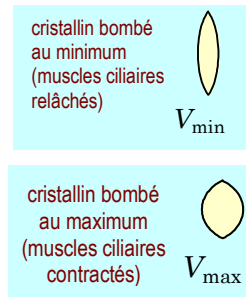


<http://essor.eu/anatomie-de-loeil/>
Représentation artistique d'un œil.

L'amplitude d'accommodation

L'accommodation est la capacité de l'œil à faire varier sa vergence. Cela se réalise grâce à la déformation du cristallin. Puisque l'œil possède une vergence toujours positive pouvant varier entre une valeur minimale V_{\min} et une valeur maximale V_{\max} , l'amplitude d'accommodation A_{acc} correspond à la différence de ces deux valeurs :

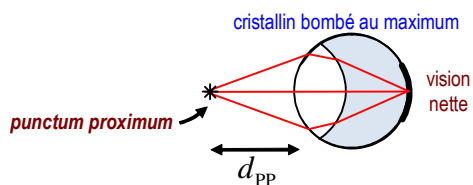
$$A_{\text{acc}} = V_{\max} - V_{\min}$$



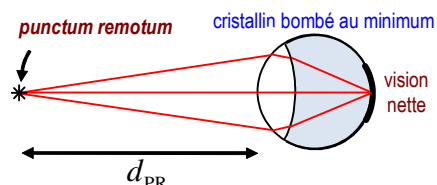
- où A_{acc} : L'amplitude d'accommodation de l'œil (D).
 V_{\min} : Vergence minimale de l'œil (D).
 V_{\max} : Vergence maximale de l'œil (D).

Le champ de vision

Le champ de vision correspond à la zone où l'œil est apte à visualiser des objets afin qu'il se forme des images nettes sur sa rétilne. Cette zone est délimitée par deux distances :



d_{pp} : Distance minimale du champ de vision (**punctum proximum**).



d_{pr} : Distance maximale d_{pr} du champ de vision de l'œil au repos (**punctum remotum**).

Le lien entre l'amplitude d'accommodation et le champ de vision

Puisque la vergence de l'œil influence la capacité de l'œil à voir des images nettes à différente distance, on peut établir un lien¹ avec l'amplitude d'accommodation et le champ de vision lorsque l'œil est dans un milieu extérieur d'indice de réfraction n_{ext} à l'aide de l'équation suivante :

$$A_{\text{acc}} = n_{\text{ext}} \left(\frac{1}{d_{\text{PP}}} - \frac{1}{d_{\text{PR}}} \right)$$

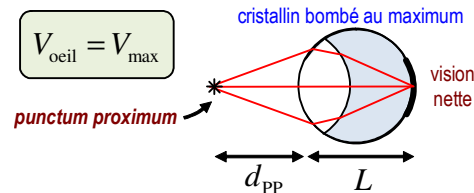
où A_{acc} : L'amplitude d'accommodation de l'œil (D). d_{PP} : Le *punctum proximum* de l'œil (m).
 n_{ext} : Indice de réfraction à l'extérieur de l'œil. d_{PR} : Le *punctum remotum* de l'œil (m).

Preuve :

Considérons la situation où il y a formation d'une image nette sur la rétine d'un œil et que la distance entre le système cornée-cristallin et la rétine est égale à L . Attribuons un indice de réfraction à l'extérieur de l'œil de n_{ext} et un indice de réfraction à l'intérieur de l'œil (corps vitré) de n_{oeil} . Lorsque la vergence de l'œil est maximale, l'œil permet de visualiser des objets situés au d_{PP} ce qui donne l'équation

$$\frac{n_{\text{ext}}}{d_{\text{PP}}} + \frac{n_{\text{oeil}}}{L} = V_{\text{max}}$$

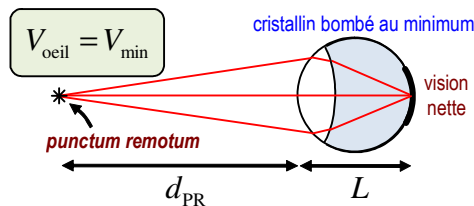
(avec usage de l'équation $\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{q} = V$)



et lorsque la vergence de l'œil est minimale, l'œil permet de visualiser des objets situés au d_{PR} ce qui donne l'équation

$$\frac{n_{\text{ext}}}{d_{\text{PR}}} + \frac{n_{\text{oeil}}}{L} = V_{\text{min}}$$

(avec usage de l'équation $\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{q} = V$)



Si l'on applique la relation de l'amplitude d'accommodation, nous avons alors la relation suivante :

$$A_{\text{acc}} = V_{\text{max}} - V_{\text{min}} \quad \Rightarrow \quad A_{\text{acc}} = \left(\frac{n_{\text{ext}}}{d_{\text{PP}}} + \frac{n_{\text{oeil}}}{L} \right) - \left(\frac{n_{\text{ext}}}{d_{\text{PR}}} + \frac{n_{\text{oeil}}}{L} \right) \quad (\text{Remplacer } V_{\text{max}} \text{ et } V_{\text{min}})$$

$$\Rightarrow \quad A_{\text{acc}} = n_{\text{ext}} \left(\frac{1}{d_{\text{PP}}} - \frac{1}{d_{\text{PR}}} \right) \quad \blacksquare \quad (\text{Simplifier } \frac{n_{\text{oeil}}}{L})$$

¹ Bien que $A_{\text{acc}} = V_{\text{max}} - V_{\text{min}}$ et $A_{\text{acc}} = n_{\text{ext}} \left(\frac{1}{d_{\text{PP}}} - \frac{1}{d_{\text{PR}}} \right)$, nous ne pouvons pas affirmer que $V_{\text{max}} = \frac{n_{\text{ext}}}{d_{\text{PP}}}$ et $V_{\text{min}} = \frac{n_{\text{ext}}}{d_{\text{PR}}}$

puisque la relation établie dépend d'une différence des deux valeurs.

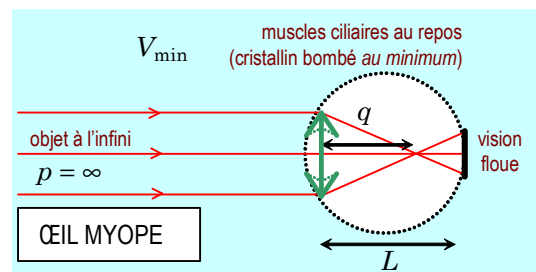
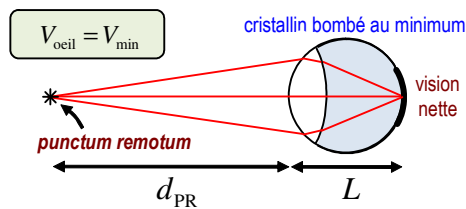
La vision de loin

On attribue au *punctum remotum* la distance d_{PR} entre l'objet et l'œil afin que l'œil puisse voir une image nette lorsque l'œil est au repos. L'œil est alors à sa vergence minimale V_{min} . Idéalement, un œil devrait pouvoir voir des objets à très grande distance ($d_{PR} = \infty$) sans vision floue ce qui correspond à un d_{PR} égal à l'infini.

Par contre, on distingue trois type de d_{PR} chez l'humain :

- $d_{PR} > 0$: L'œil **myope**

L'œil est considéré comme étant myope lorsque sa vision de loin est limitée. Puisque l'œil converge trop la lumière au repos, un faisceau parallèle provenant de l'infini converge dans l'œil avant la rétine ce qui génère une image floue.

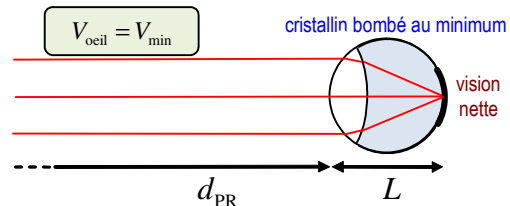


- $d_{PR} = \infty$: L'œil **emmétrope**.

L'œil est considéré comme emmétrope lorsque sa vision de loin est idéale. L'œil peut voir à l'infini sans « forcer ». L'œil au repos fait converger la lumière adéquatement sur la rétine. Il y a alors un réglage parfait entre la vergence minimale de l'œil V_{min} , la longueur de l'œil L et l'indice de réfraction du corps vitré (dans l'œil).

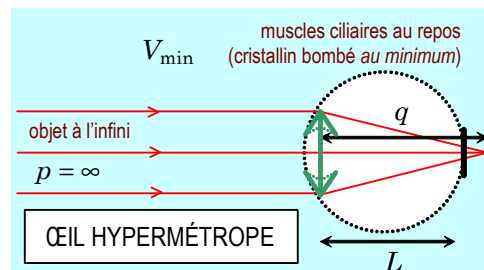
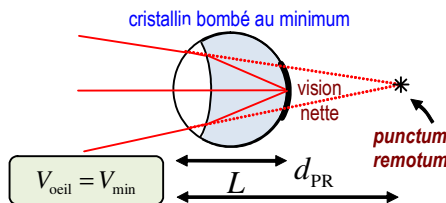
$$\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{q} = V \Rightarrow \frac{(1)}{(\infty)} + \frac{n_{oeil}}{L} = V_{min}$$

(équation de la position de l'image pour un œil emmétrope)

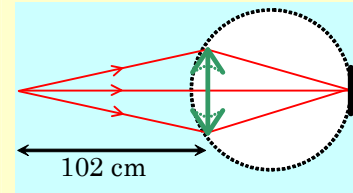


- $d_{PR} < 0$: L'œil **hypermétrope**

L'œil est considéré comme hypermétrope, car sa vision de loin est limitée. Puisque l'œil converge pas assez la lumière au repos, un faisceau parallèle provenant de l'infini converge dans l'œil après la rétine ce qui génère une image floue.

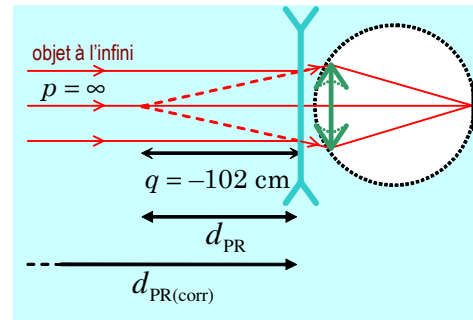


Situation 4 : La correction de la myopie. Le *punctum remotum* de l'œil de Mylène est à 102 cm de distance. On veut corriger sa myopie en plaçant une lentille de correction devant son œil et on désire (a) déterminer la vergence qu'elle doit avoir et (b) le champ de vision de l'œil. On suppose que la distance entre la lentille de correction et l'œil de Mylène est négligeable et que le *punctum proximum* de l'œil est de 25 cm.



Pour corriger la myopie, il faut corriger le $d_{PR} = 102 \text{ cm}$ afin d'obtenir un $d_{PR(\text{corr})} = \infty$.

Ainsi, on utilise une **lentille divergente** afin de réduire le *surplus de convergence* de l'œil au repos.



Pour obtenir la prescription du verre correcteur, il faut qu'un objet à l'infini ($d_{PR(\text{corr})}$) puisse former sous l'influence du verre correcteur une **image virtuelle** à la position du d_{PR} de l'œil au repos. Cela se calcule à l'aide de la formule suivante : (avec verre correcteur *dans l'air*)

$$\begin{aligned} \frac{1}{p} + \frac{1}{q} &= V \\ \Rightarrow \frac{1}{d_{PR(\text{corr})}} + \frac{1}{-|d_{PR}|} &= V_{\text{verre}} \\ \Rightarrow \frac{1}{(\infty)} + \frac{1}{-(1,02)} &= V_{\text{verre}} \\ \Rightarrow \boxed{V_{\text{verre}} = -0,980 \text{ D}} & \quad \text{(a)} \end{aligned}$$

Évaluons l'amplitude d'accommodation de l'œil *dans l'air* :

$$A_{\text{acc}} = n_{\text{ext}} \left(\frac{1}{d_{PP}} - \frac{1}{d_{PR}} \right) \Rightarrow A_{\text{acc}} = (1) \left(\frac{1}{(0,25)} - \frac{1}{(1,02)} \right) \Rightarrow \boxed{A_{\text{acc}} = 3,02 \text{ D}}$$

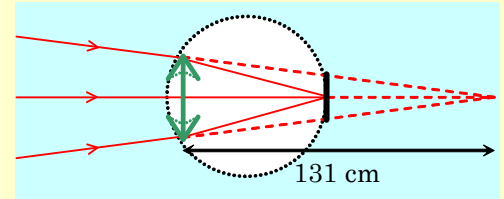
Puisque la distance entre la lentille de correction et l'œil de Mylène est négligeable, évaluons le $d_{PP(\text{corr})}$ de l'œil avec le verre correcteur *dans l'air* en utilisant la formule de l'amplitude d'accommodation :

$$A_{\text{acc}} = \frac{1}{d_{PP(\text{corr})}} - \frac{1}{d_{PR(\text{corr})}} \Rightarrow (3,02) = \frac{1}{d_{PP(\text{corr})}} - \frac{1}{(\infty)} \Rightarrow \boxed{d_{PP(\text{corr})} = 33,11 \text{ cm}}$$

Voici le champ de vision de l'œil : (b)

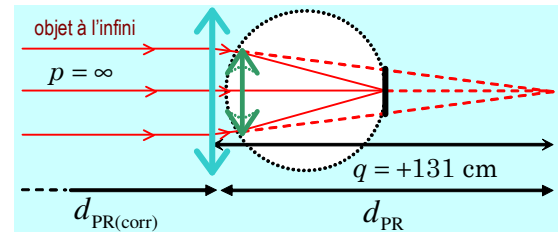
- Sans lunette : vision [25 cm ... 102 cm] (donc mauvaise vision de loin)
- Avec lunette : vision [33,11 cm ... ∞] (donc moins bonne vision de près)

Situation 5 : La correction de l'hypermétropie. L'œil d'Hippolyte possède un *punctum remotum* virtuel à -131 cm. On veut corriger son hypermétropie en plaçant une lentille de correction devant son œil et on désire **(a)** déterminer la vergence qu'elle doit avoir et **(b)** le champ de vision de l'œil. On suppose que la distance entre la lentille de correction et l'œil d'Hippolyte est négligeable et que l'amplitude d'accommodation de l'œil est de $2,6$ D.



Pour corriger l'hypermétropie, il faut corriger le $d_{PR} = -131$ cm afin d'obtenir un $d_{PR(\text{corr})} = \infty$.

Ainsi, on utilise une **lentille convergente** afin d'augmenter la *maque de convergence* de l'œil au repos.



Pour obtenir la prescription du verre correcteur, il faut qu'un objet à l'infini ($d_{PR(\text{corr})}$) puisse former sous l'influence du verre correcteur une **image réelle** à la position du d_{PR} de l'œil au repos. Cela se calcule à l'aide de la formule suivante : (avec verre correcteur *dans l'air*)

$$\begin{aligned} \frac{1}{p} + \frac{1}{q} = V & \Rightarrow \frac{1}{d_{PR(\text{corr})}} + \frac{1}{+|d_{PR}|} = V_{\text{verre}} \\ & \Rightarrow \frac{1}{(\infty)} + \frac{1}{+|(-1,31)|} = V_{\text{verre}} \\ & \Rightarrow \boxed{V_{\text{verre}} = 0,763 \text{ D}} \quad \text{(a)} \end{aligned}$$

Évaluons le d_{PP} de l'œil *dans l'air* avec la formule de l'amplitude d'accommodation :

$$A_{\text{acc}} = \frac{1}{d_{PP}} - \frac{1}{d_{PR}} \Rightarrow (2,6) = \frac{1}{d_{PP}} - \frac{1}{(-1,31)} \Rightarrow \boxed{d_{PP} = 54,45 \text{ cm}}$$

Puisque la distance entre la lentille de correction et l'œil d'Hippolyte est négligeable, évaluons le $d_{PP(\text{corr})}$ de l'œil avec le verre correcteur *dans l'air* en utilisant la formule de l'amplitude d'accommodation : (distance lentille-œil négligeable)

$$A_{\text{acc}} = \frac{1}{d_{PP(\text{corr})}} - \frac{1}{d_{PR(\text{corr})}} \Rightarrow (2,6) = \frac{1}{d_{PP(\text{corr})}} - \frac{1}{(\infty)} \Rightarrow \boxed{d_{PP(\text{corr})} = 38,46 \text{ cm}}$$

Puisque $A_{\text{acc}} > V_{\text{verre}}$, **l'œil peut accommoder légèrement pour voir à l'infini** ce qui permet à Hippolyte de voir tout de même bien à l'infini sauf en **forçant les yeux**.

Voici le champ de vision de l'œil : **(b)**

- Sans lunette : vision [$54,45 \text{ cm} \dots \infty$] (donc vision de loin en forçant les yeux)
- Avec lunette : vision [$38,46 \text{ cm} \dots \infty$] (donc vision de près et de loin est améliorée)

La vision de près et l'amplitude d'accommodation

On attribue au *punctum proximum* la distance d_{pp} entre l'objet et l'œil afin que l'œil puisse voir une image nette lorsque l'œil force au maximum. L'œil est alors à sa vergence maximale V_{\max} . Idéalement, un œil devrait pouvoir voir des objets à une distance² de 25 cm ($d_{pp} = 0,25 \text{ m}$) sans vision floue.

Puisque c'est l'amplitude d'accommodation A_{acc} qui permet de faire varier la vergence de l'œil, cette dernière a une grande influence sur la valeur de d_{pp} . Avec le vieillissement, l'amplitude d'accommodation A_{acc} chute en raison du durcissement du cristallin ce qui réduit la vergence maximale de l'œil et augmente d_{pp} .

On distingue deux types d'amplitude d'accommodation chez l'œil emmétrype (lorsque $d_{PR} = \infty$) :

$A_{\text{acc}} \geq 4 \text{ D}$: L'œil avec **vision de près idéale**.

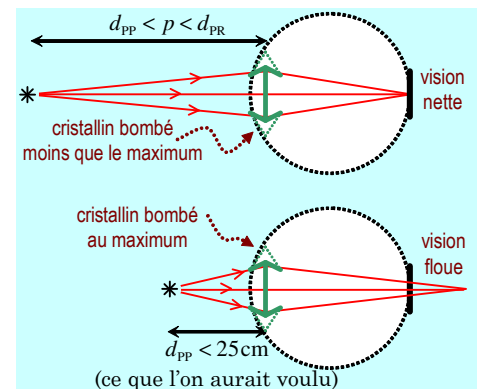
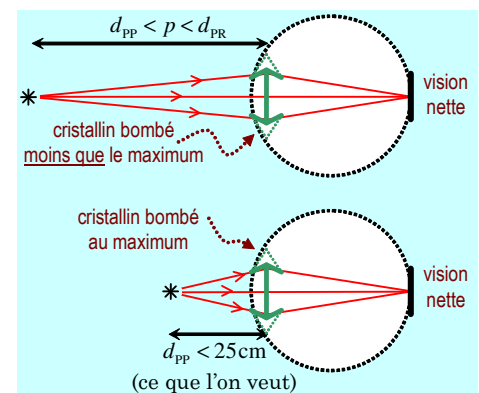
La vision de près est considérée comme idéale lorsque le *punctum proximum* est inférieur à 25 cm ($d_{pp} < 0,25 \text{ m}$). Pour l'œil emmétrype *dans l'air*, cela correspond à une amplitude d'accommodation de 4 D car

$$A_{\text{acc}} = n_{\text{ext}} \left(\frac{1}{d_{pp}} - \frac{1}{d_{PR}} \right) \Rightarrow (4 \text{ D}) = (1) \left(\frac{1}{(0,25 \text{ m})} - \frac{1}{(\infty)} \right).$$

(preuve calculatoire)

$A_{\text{acc}} < 4 \text{ D}$: L'œil **presbyte** (pour l'œil emmétrype).

L'œil est considéré comme **presbyte** lorsque la capacité d'accommoder est trop faible. Si A_{acc} est petit, alors l'éloignement du d_{pp} par rapport au d_{PR} est peu prononcé ce qui donne une zone de floue trop grande entre l'œil et le d_{pp} . On constate que la presbytie se **développe avec l'âge**, car l'amplitude d'accommodation A_{acc} a tendance à diminuer avec le vieillissement (voir tableau ici-bas).

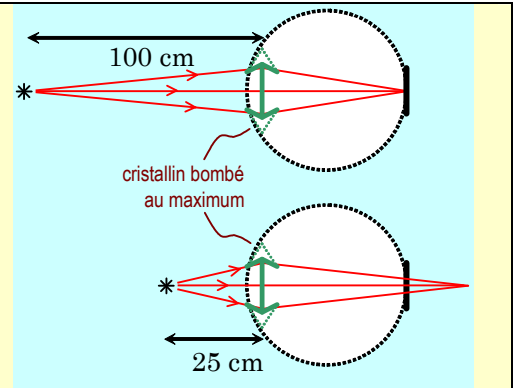


Distance typique du punctum proximum pour un œil emmétrype en fonction de l'âge

Âge	20 ans	40 ans	50 ans	70 ans
A_{acc}	10 D	5 D	1,67 D	1 D
Distance du PP (pour œil emmétrype)	10 cm	20 cm	60 cm	100 cm

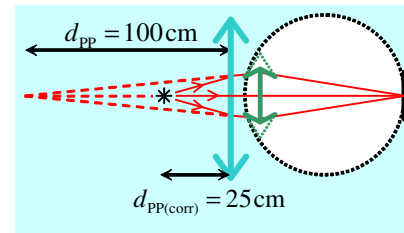
² Un d_{pp} de 25 cm est une référence en lien avec une distance de confort pour effectuer de la lecture. Certains optométristes peuvent avoir une autre référence que celle-ci.

Situation 3 : La correction de la presbytie. Priscilla a 70 ans et souffre de presbytie : son *punctum proximum* est à 100 cm de distance. Afin de corriger sa presbytie, on désire placer une lentille de correction devant son œil afin de ramener son PP à 25 cm. On désire déterminer **(a)** la vergence que doit avoir la lentille et **(b)** le champ de vision de l'œil. On suppose que la distance entre la lentille de correction et l'œil de Priscilla est négligeable et que le *punctum remotum* de l'œil est de 300 cm.



Pour corriger la presbytie, il faut corriger le $d_{pp} = 100$ cm afin d'obtenir un $d_{pp(\text{corr})} = 25$ cm.

Ainsi, on utilise une **lentille convergente** afin d'augmenter le *maque de convergence* de l'œil lorsqu'il est à sa vergence maximale V_{max} .



Pour obtenir la prescription du verre correcteur, il faut qu'un objet à 25 cm ($d_{pp(\text{corr})}$) puisse former sous l'influence du verre correcteur une **image virtuelle** à la position du d_{pp} de l'œil à vergence maximale. Cela se calcul à l'aide de la formule suivante : (avec verre correcteur *dans l'air*)

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = V \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{d_{pp(\text{corr})}} + \frac{1}{-|d_{pp}|} = V_{\text{verre}}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{1}{(0,25)} + \frac{1}{-(1,00)} = V_{\text{verre}}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{V_{\text{verre}} = 3 \text{ D}} \quad \text{(a)}$$

Évaluons l'amplitude d'accommodation A_{acc} à l'aide de d_{pp} et d_{pr} :

$$A_{\text{acc}} = \frac{1}{d_{pp}} - \frac{1}{d_{pr}} \quad \Rightarrow \quad A_{\text{acc}} = \frac{1}{(1,00)} - \frac{1}{(3,00)} \quad \Rightarrow \quad \boxed{A_{\text{acc}} = 0,666 \text{ D}}$$

On remarque que $A_{\text{acc}} < 4 \text{ D}$ ce qui confirme une faible accommodation et l'état de presbytie.

Évaluons le $d_{pr(\text{corr})}$ à l'aide du verre correcteur : (distance lentille-œil négligeable)

$$A_{\text{acc}} = \frac{1}{d_{pp(\text{corr})}} - \frac{1}{d_{pr(\text{corr})}} \quad \Rightarrow \quad (0,666) = \frac{1}{(0,25)} - \frac{1}{d_{pr(\text{corr})}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{d_{pr(\text{corr})} = 29,99 \text{ cm}}$$

Voici le champ de vision de l'œil : **(b)**

- Sans lunette : vision [100,00 cm ... 300,00 cm] (donc mauvaise vision de près et de loin)
- Avec lunette : vision [25,00 cm ... 29,99] (donc champ de vision très réduit)

