

Détermination expérimentale des expressions de la puissance d'un microscope et du grandissement de son objectif

par Jacques SENEZ
Lycée Faidherbe - 59000 Lille

1. MATÉRIEL

C'est le matériel en usage dans tous les lycées.

Banc de focométrie et ses accessoires : source à lampe à filament incandescent, deux jeux de lentilles Morez, deux supports de lentilles et un support d'écran, tous trois coulissant sur le banc focométrique et possédant un index repérant leur position sur le rail.

L'écran est un rectangle de dimensions 15×10 cm, découpé dans du carton rigide et recouvert d'une feuille de papier millimétré.

2. PRINCIPE

Le microscope est simulé par deux systèmes de deux lentilles minces accolées, de vergences $+ 8$ et $+ 2$ pour l'objectif, et $+ 3$ et $+ 2$ pour l'oculaire.

L'œil est remplacé par une lentille de vergence $+ 3$ dioptries et l'écran.

L'objet est une diapositive, photographie d'une graduation millimétrique réduite, scotchée sur la source lumineuse.

On fait varier l'intervalle optique $\Delta = F'_1 F_2$, en déplaçant l'objectif par rapport à l'objet. Pour chaque position de la source, on détermine celle de l'image $A'B'$ donnée par l'objectif et l'on place l'oculaire de façon que son plan focal objet coïncide avec $A'B'$.

Le microscope donne alors une image virtuelle inversée, à l'infini, vue, du foyer image F'_2 de l'oculaire, sous l'angle α' .

On fait coïncider le foyer objet F_3 de la lentille simulatrice de l'œil, de vergence C_3 avec le foyer image F'_2 de l'oculaire.

Si les réglages sont bien réalisés, on obtient sur l'écran, quelque soit sa position, une image réelle $A''B''$, droite, de grandeur indépendante de la position de l'écran.

De la mesure de $A'B'$, on en déduit le grandissement γ_1 de l'objectif.

De la grandeur de $A''B''$, on détermine directement $\alpha' = A''B'' * C_3$ et la puissance $P = \alpha' / AB$ du microscope.

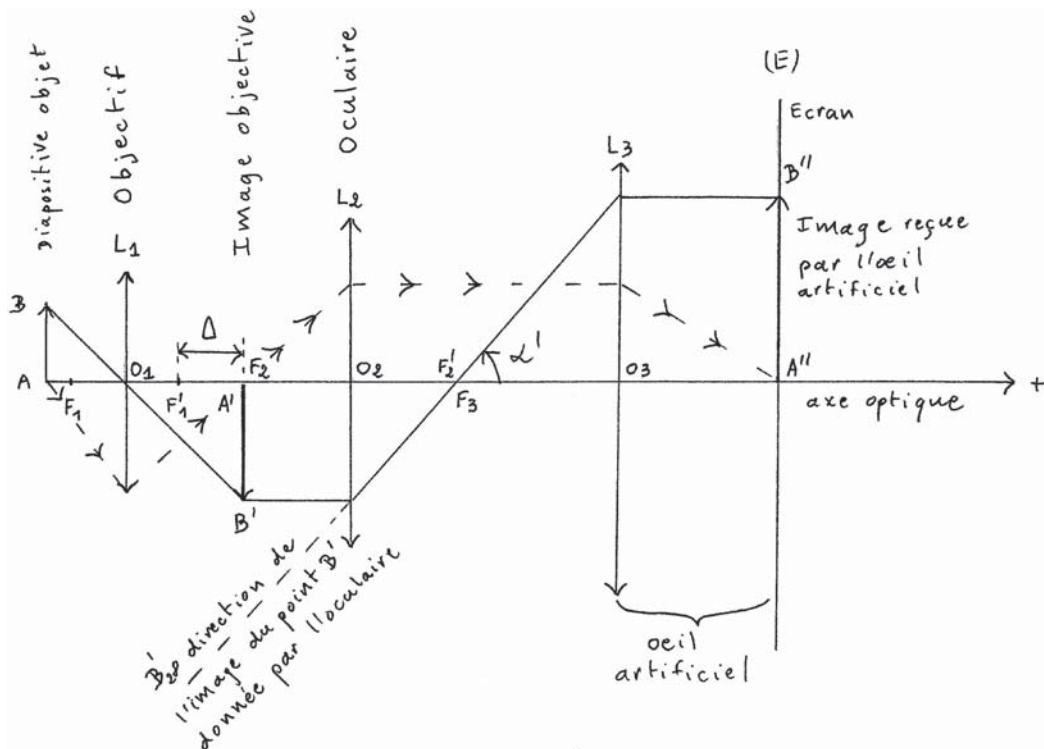


Figure 1

3. MANIPULATION

Mesurer, avec précision, la largeur visible L de l'échelle graduée, sur la diapositive.

Compter le nombre n de graduations correspondantes. En déduire le facteur de réduction $r = L/n$, qui est la largeur d'une division.

En complétant le schéma, montrer que α' est bien l'angle sous lequel, l'œil voit l'image à travers le microscope. Justifier le fait que la grandeur de l'image $A''B''$ soit indépendante de la position de l'écran, et en s'appuyant sur la construction de l'image B'' du point objet B , que le diamètre apparent de l'image, vue à travers le microscope est : $\alpha' = A''B'' * C_3$.

α' en radians ; $A''B''$ en mètres ; C_3 en dioptries.

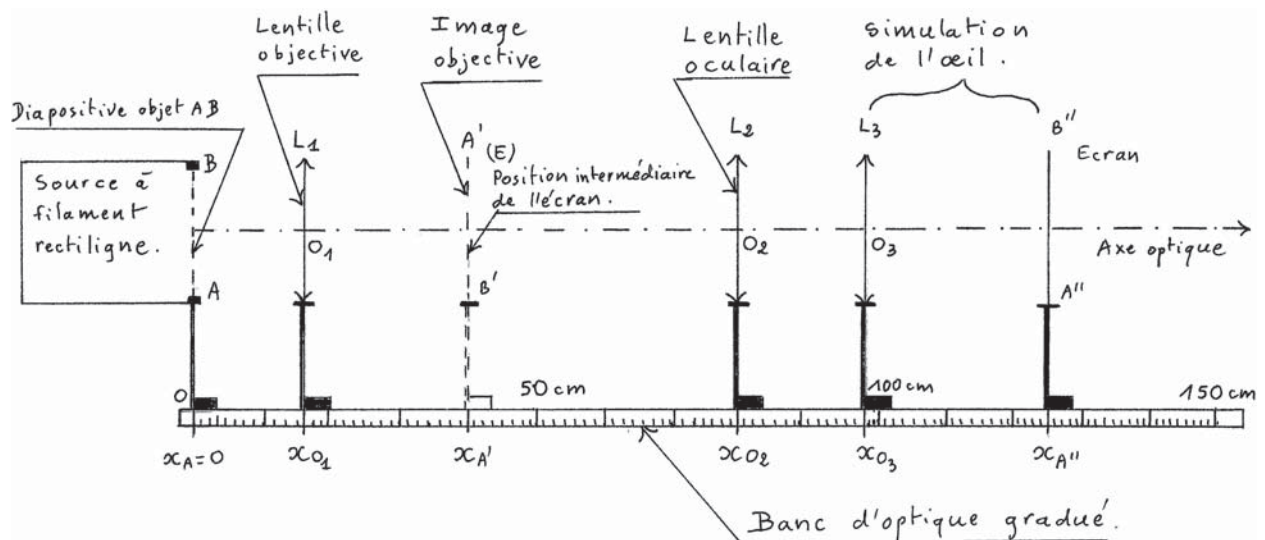


Figure 2

Appliquer contre la fente source, avec du ruban adhésif, la diapositive qui est l'objet AB.

Ajuster d'abord le plan de la diapositive à la graduation zéro du banc focométrique : le zéro coïncide avec la position du point objet A.

Placer ensuite le centre optique de l'objectif O_1 à une position telle, qu'il donne de l'objet AB, une image réelle $A'B'$ sur le petit écran.

Mesurer les distances AO_1 , O_1A' et la grandeur $A'B'$ d'un nombre n' de divisions millimétriques de l'objet.

Déterminer l'intervalle optique $\Delta = O_1A' - f_1$ et calculer le grandissement objectif $\gamma_1 = A'B' / (n' * r)$.

Justifier cette relation, si $A'B'$ est exprimée en millimètres.

Placer l'oculaire, de centre optique O_2 , sur le banc focométrique. Faire coïncider le plan focal objet de l'oculaire avec l'image $A'B'$ et le foyer objet F_3 de la lentille simulatrice de l'œil avec le foyer image F'_2 de l'oculaire.

Disposer l'écran pour obtenir une image nette $A''B''$.

Mesurer la grandeur $A''B''$ d'un nombre n'' de divisions millimétriques de l'objet.

Calculer l'angle $\alpha' = 10^{-3} A''B'' * C_3$, sous lequel l'œil, placé au foyer image F'_2 de l'oculaire, voit l'image A_1B_1 à travers le microscope. $A''B''$ est mesuré en millimètres.

En déduire la puissance $P = \alpha' / AB = 10^3 \alpha' / (n'' * r)$ du microscope réduit. Justifier cette dernière expression.

Pourquoi les valeurs du grandissement de l'objectif γ_1 et de la puissance P du microscope sont-elles indépendantes du choix des nombres de divisions millimétriques n' et n'' qui définissent la grandeur de l'objet AB ?

Réaliser plusieurs mesures différentes, en déplaçant la lentille objective par rapport à l'objet AB , ce qui entraîne une variation de l'intervalle optique.

Établir le tableau de mesure suivant :

AO_1 cm	
O_1A' cm	
$\Delta = (O_1A' - f_1)$	
$A'B'$ mm	
n'	
$\gamma_1 = A'B'/n' * r$	
$A''B''$ mm	
n''	
$\alpha' = 10^{-3} A''B'' * C_3$	
$P = 10^3 \alpha' / (n'' * r)$	

Représenter les courbes de variation de la puissance et du grandissement de l'objectif en fonction de l'intervalle optique : $P = f(\Delta)$ et $\gamma_1 = h(\Delta)$.

Vérifier que l'on obtient deux droites et déterminer leur coefficient directeur.

Comparer le coefficient directeur de la courbe $P = f(\Delta)$ au produit des vergences $C_1 * C_2$ de l'objectif et de l'oculaire. En déduire une expression de la puissance d'un microscope réduit en fonction de ses caractéristiques.

Comparer le coefficient directeur de la courbe $\gamma_1 = h(\Delta)$ à la vergence C_1 de l'objectif. En déduire une expression du grandissement de l'objectif d'un microscope en fonction de l'intervalle optique.

Montrer que la puissance P d'un microscope réduit peut s'exprimer en fonction du grandissement de son objectif et d'une caractéristique de son oculaire.

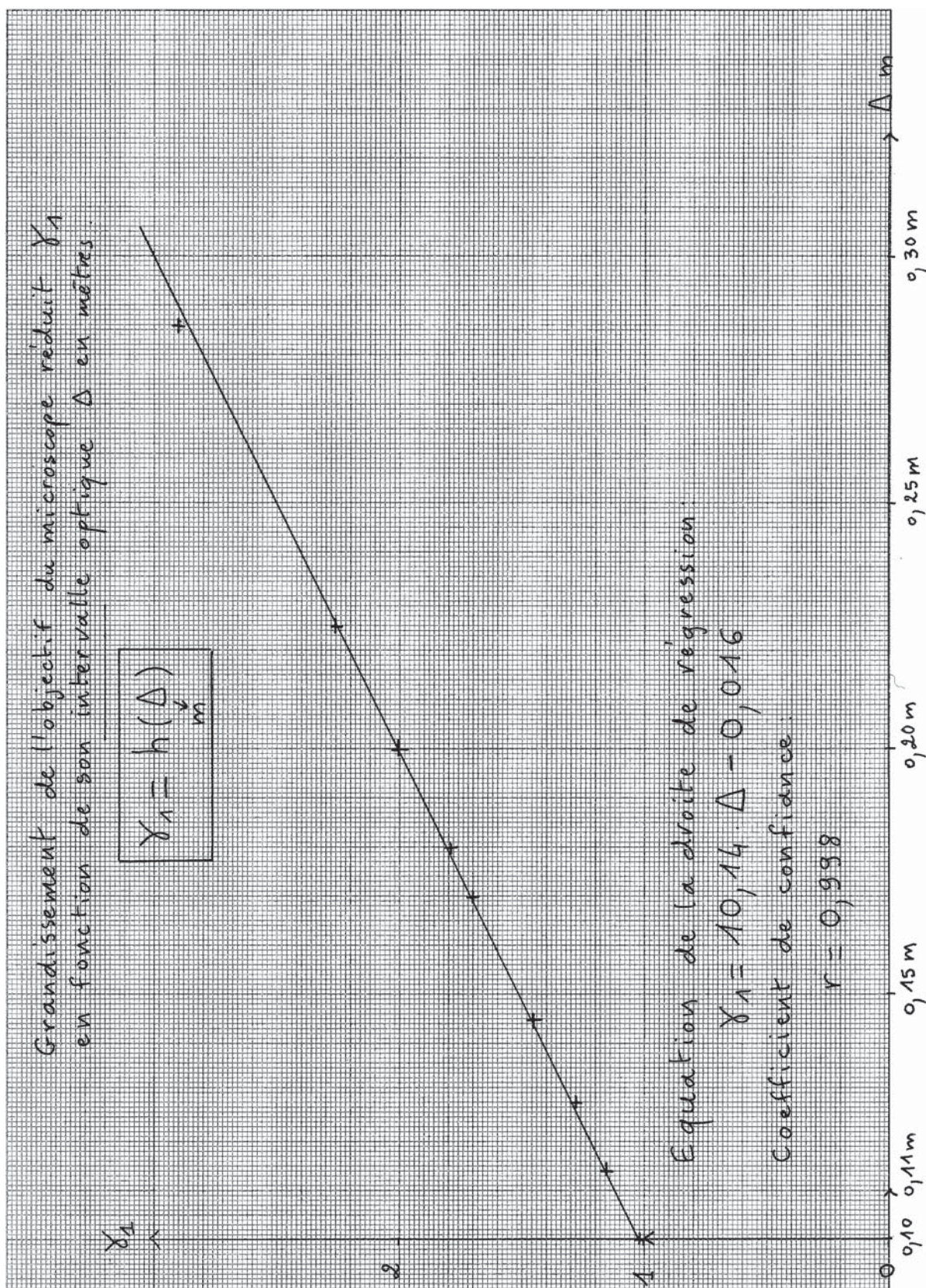


Figure 3

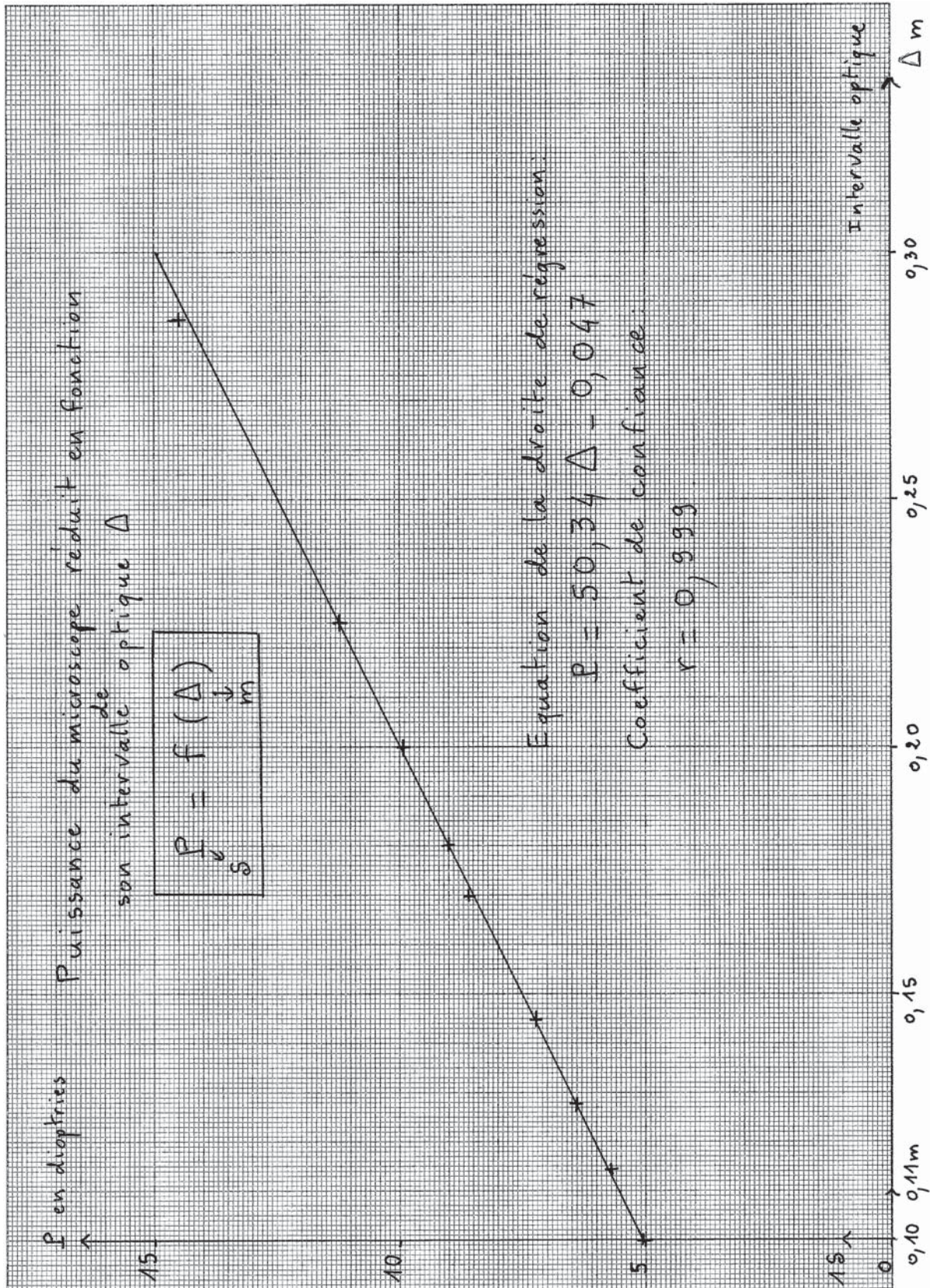


Figure 4

4. RÉSULTATS

$L = 34,5 \text{ mm}$; $n = 73 \text{ divisions}$; $r = 0,472 \text{ mm/division}$

$AO_1 \text{ cm}$	13,5	14,5	15	15,5	16	17	18	19	20
$O_1A' \text{ cm}$	38,6	32,5	30	28	27	24,5	22,8	21,4	20
$\Delta = (O_1A' - f_1)$	28,6	22,5	20	18	17	14,5	12,8	11,4	10
$A'B' \text{ mm}$	68	53	47	42	40	34	30	27	24
n'	50	50	50	50	50	50	50	50	50
$\gamma_1 = A'B'/n' * r$	2,90	2,26	2,00	1,79	1,70	1,45	1,28	1,15	1,02
$A''B'' \text{ mm}$	34,0	35,0	31,0	28,2	27	22,5	20,0	18,0	15,8
n''	15	20	20	20	20	20	20	20	20
$\alpha' = 10^{-3} A''B'' * C_3$	0,102	0,105	0,093	0,0846	0,081	0,0675	0,060	0,054	0,0474
$P = 10^3 \alpha' / (n'' * r)$	14,46	11,2	9,9	9	8,6	7,18	6,38	5,75	5,04
$P/\Delta \text{ en } \delta \cdot m^{-1}$	50,6	49,8	49,5	50	50,6	49,5	49,8	50,4	50,4

Les courbes de variation de la puissance P et du grandissement γ_1 de l'objectif, en fonction de l'intervalle optique sont des droites (cf. aux deux graphes correspondants).

La valeur $a = (15 - 5,01)/(0,301 - 0,10) = 49,70 \delta * m^{-1}$ du coefficient directeur de la courbe $P = f(\Delta)$ est, aux erreurs expérimentales près, égale au produit $C_1 * C_2 = 50$ des vergences de l'objectif et de l'oculaire du microscope réduit.

L'équation de la droite de régression linéaire :

$$P = 50,34 * \Delta - 0,047 = 50,34 (\Delta - 0,047/50,34)$$

permet, avec une précision du 1 % de conclure que la puissance du microscope réduit étudié a pour expression :

$$P = 50 * \Delta$$

La puissance d'un microscope réduit s'exprime en fonction de son intervalle optique Δ suivant la loi :

$$P = C_1 * C_2 * \Delta$$

La valeur $a' = (3 - 1,02)/(0,30 - 0,10) = 9,90$, du coefficient directeur de la droite $\gamma_1 = h(\Delta)$, coïncide, avec une précision également de l'ordre de 1 %, avec celle de la vergence $C_1 = 10 \delta$ de l'objectif.

La droite de régression linéaire :

$$\gamma_1 = 10,14 * \Delta - 0,016 = 10,14 (\Delta - 0,016/10,14)$$

permet, avec une précision, de l'ordre de 2 %, de déduire que pour le microscope étudié :

$$\gamma_1 = 10 * \Delta$$

Le grandissement d'un microscope a pour expression générale :

$$\gamma_1 = C_1 * \Delta$$

Le quotient $P/\gamma_1 = (C_1 * C_2 * \Delta)/(C_1 * \Delta) = C_2$ ne dépend que de la vergence de l'oculaire, donc de sa puissance intrinsèque p_2 , exprimée en dioptries.

La puissance d'un microscope est égale au produit de la puissance de son oculaire par le grandissement linéaire de son objectif :

$$P = p_2 * \gamma_1$$

C'est le grand avantage du microscope par rapport à la loupe.

Remarques : En réalité, les expressions de la puissance et du grandissement du microscope sont négatives : l'image objective et celle vue à travers le microscope sont renversées par rapport à l'objet.

Cette méthode expérimentale est très souple et très facile à mettre en œuvre : elle permet de varier à loisir les vergences de l'objectif et de l'oculaire et d'étudier la variation de la puissance d'un microscope en fonction, soit de la vergence de l'objectif, soit de la puissance de l'oculaire. On peut aussi d'une manière très précise suivre l'évolution du champ en largeur en fonction de la puissance du microscope.