



Intérêt et limites de l'acuité visuelle décimale

Olivier Touzeau

Si l'échelle décimale de Monoyer est très précise pour mesurer les acuités élevées, elle manque de sensibilité pour les basses acuités. Une échelle logarithmique est préférable pour décrire la fonction visuelle et facilite les statistiques.

L'échelle de Monoyer est habituellement utilisée pour quantifier l'acuité visuelle de loin en raison de sa simplicité et de sa rapidité. Définie par l'inverse de l'angle de résolution, cette échelle décimale est très précise pour les acuités élevées mais manque de sensibilité pour les basses acuités. L'intervalle irrégulier entre les lignes rend difficile les calculs d'une variation d'acuité ou d'une moyenne. Une échelle logarithmique décrit mieux la fonction visuelle du fait de sa progression géométrique et le caractère arithmétique de cette échelle facilite les statistiques. À défaut d'une mesure directe avec une échelle logarithmique, les acuités décimales peuvent toutefois être exploitées statistiquement après une transformation en unité logarithmique.

L'acuité visuelle décimale est égale à l'inverse de l'angle de résolution

L'acuité visuelle mesure le pouvoir séparateur de l'œil à contraste maximal. Ceci consiste en pratique à déterminer la taille angulaire minimale permettant de distinguer un test. Cet angle est appelé « angle minimal de résolution » (ou *Minimal Angle of Resolution*, MAR). Les échelles d'acuité visuelle utilisent des optotypes de taille angulaire variable, les autres paramètres susceptibles d'influer la mesure étant constants (distance, luminance, contraste...) ou non pris en compte (durée d'exposition du test). Depuis les travaux de Helmholtz, la valeur d'une minute d'arc (soit 1/60° de degré) a été universellement choisie comme référence de normalité. En effet, la quasi-totalité des jeunes emmétropes (ou correctement corrigés) est capable de distinguer des détails d'une minute d'angle. L'acuité visuelle décimale a été définie comme l'inverse de l'angle minimal de résolution exprimé en minute d'arc :

$$\text{Acuité visuelle décimale} = \frac{1}{\text{Angle minimal de résolution (minute)}}$$

avec la correspondance suivante :

- angle de 1 minute : acuité décimale = 1,
- angle de 10 minutes : acuité décimale = 0,1.

L'échelle de Monoyer (1875), habituellement utilisée dans les pays francophones pour quantifier l'acuité de loin, est une échelle décimale avec une expression des résultats en fraction décimale (de 1/10^e à 10/10^e).

L'échelle décimale a pour principal inconvénient d'avoir un pas irrégulier

La fonction inverse qui définit l'acuité visuelle décimale n'étant pas une fonction linéaire, l'intervalle entre les lignes (ou pas de l'échelle) n'est pas constant sur toute l'étendue de l'échelle (figure 1). Ainsi, une même différence de 1/10^e n'a pas la même signification selon l'endroit de l'échelle où l'on se trouve. La différence entre 9/10^e et 10/10^e est minime, voire non significative. Au contraire, l'écart entre 1/10^e et 2/10^e est majeur puisqu'il correspond au passage d'un angle de 10 minutes à un angle de 5 minutes. Avec une échelle décimale, on ne peut donc

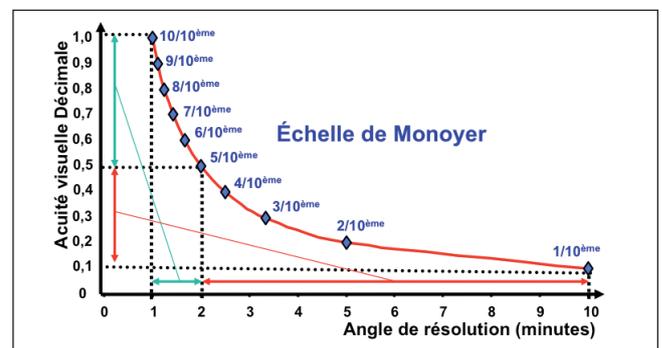


Figure 1. Échelle de Monoyer : relations entre l'acuité visuelle décimale et l'angle de résolution. La relation entre l'acuité décimale et l'angle de résolution n'est pas linéaire (fonction inverse) d'où un intervalle variable entre les lignes sur l'étendue de l'échelle. L'échelle de Monoyer est très précise pour les acuités élevées puisque plus de la moitié de l'étendue de l'échelle concerne les angles compris entre 1 et 2 minutes d'arc (asymptote verticale). Le reste de l'échelle concerne les angles compris entre 2 et 10 minutes d'où un manque de sensibilité pour les basses acuités visuelles (asymptote horizontale).

CHNO des Quinze-Vingts, Paris

Optique

pas quantifier une variation d'acuité visuelle par une simple soustraction, même pour un œil donné. Pour la réalisation de statistiques, l'irrégularité de l'intervalle entre les lignes entraîne des difficultés similaires. Ainsi, il n'est également pas licite de calculer l'acuité visuelle moyenne en faisant la moyenne arithmétique des acuités décimales. De plus, l'échelle de Monoyer qui est très précise pour les acuités visuelles élevées manque nettement de sensibilité pour les basses acuités visuelles.

Une échelle logarithmique reflète mieux les propriétés visuelles

Des arguments physiologiques ont montré qu'une fonction logarithme était plus pertinente pour quantifier la fonction visuelle (figure 2). Pour la plupart des fonctions sensorielles (toucher, audition, vision), l'intensité de la sensation varie avec le logarithme de l'intensité de la stimulation (loi de Weber-Fechner). Ainsi, l'intensité acoustique est également quantifiée dans une échelle logarithmique (décibel).

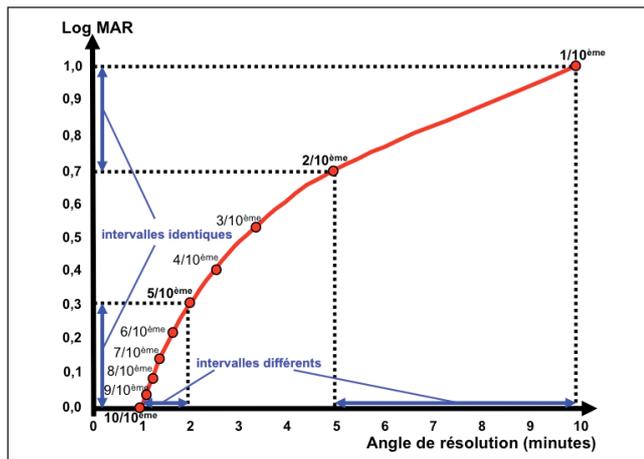


Figure 2. Intérêt d'une échelle d'acuité visuelle logarithmique. La fonction visuelle est mieux décrite par une variable ayant une progression logarithmique. Ainsi, contrairement à ce que suggère l'échelle de Monoyer, le passage d'une acuité visuelle de 5/10^e à 10/10^e et le passage d'une acuité de 1/10^e à 2/10^e correspondent en fait à une progression similaire (division par 2 de l'angle de résolution). L'opérateur « logarithme » a rendu identique les deux intervalles initialement inégaux (flèches bleues).

Le logarithme qui est utilisé pour quantifier l'acuité visuelle est le logarithme décimal de l'angle minimal de résolution (MAR).

Acuité LogMAR = Log (angle minimal de résolution)

$$= \text{Log} \left(\frac{1}{\text{AV décimale}} \right)$$

$$= -\text{Log}(\text{AV décimale})$$

La transformation de l'acuité visuelle décimale en acuité visuelle LogMAR s'obtient facilement à l'aide des deux formules suivantes :

$$\text{LogMAR} = -\text{Log}(\text{acuité décimale})$$

$$\text{Acuité décimale} = 10^{-\text{LogMAR}}$$

avec la correspondance suivante :

$$- \text{AV décimale} = 1 \text{ (10/10}^{\text{e}}) \leftrightarrow \text{LogMAR} = 0$$

$$- \text{AV décimale} = 0,1 \text{ (1/10}^{\text{e}}) \leftrightarrow \text{LogMAR} = +1$$

Les acuités visuelles supranormales sont négatives. Il n'est pas possible de quantifier une acuité nulle en unité LogMAR car le logarithme de 0 n'est pas défini.

Une échelle logarithmique permet une quantification plus rigoureuse de l'acuité visuelle

Chaque fois que l'on veut quantifier rigoureusement l'acuité visuelle, il est préférable de la mesurer directement à l'aide d'une échelle logarithmique. C'est le cas d'études scientifiques nécessitant des statistiques portant sur l'acuité visuelle ou quand on a affaire à des basses acuités visuelles (maculopathie) pour lesquelles l'échelle de Monoyer manque de précision. Il existe plusieurs échelles logarithmiques qui présentent cependant les caractéristiques communes suivantes (figure 3) :

- une graduation de 0,1 unité LogMAR,
- une progression géométrique de la taille des optotypes entre chaque ligne : variation d'un facteur 1,2589 (soit 10^{0,1}),

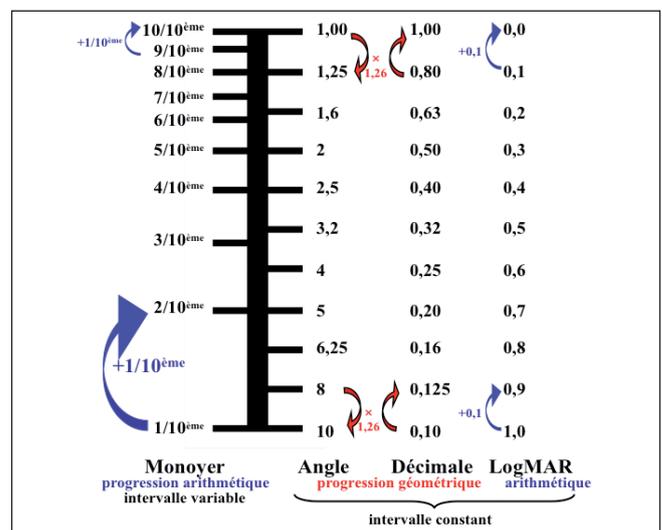


Figure 3. Caractéristiques des différentes échelles d'acuité visuelle. Le logarithme a transformé la progression géométrique de l'angle et de l'échelle décimale en progression arithmétique tout en conservant un intervalle constant entre les lignes de l'échelle LogMAR (+0,1 unité). La progression arithmétique (+1/10^e) de l'échelle de Monoyer n'est qu'artificielle et n'a pu être obtenue qu'au prix d'une variation de l'intervalle entre les lignes.

- un intervalle entre les lignes constant sur toute l'étendue de l'échelle.

L'échelle logarithmique la plus employée est l'échelle de l'*Early Treatment Diabetic Retinopathy Study* (ETDRS). Elle comporte trois planches d'acuité visuelle comportant 14 lignes de cinq lettres. Une feuille d'évaluation permet d'établir un score (notamment en nombre de lettres). Il est également possible d'établir une quantification en unité LogMAR (chaque lettre correctement lue correspond à 0,02 unité LogMAR).

La quantification de l'acuité visuelle avec une échelle logarithmique a l'inconvénient d'être plus longue et plus complexe qu'avec une échelle décimale. De plus, le caractère abstrait du logarithme rend le résultat beaucoup moins intuitif d'où une utilisation restreinte en pratique courante. À défaut d'une mesure directe de l'acuité visuelle par une échelle logarithmique, il est toutefois possible d'exploiter statistiquement les données d'acuités décimales à condition d'effectuer préalablement une transformation en unité LogMAR. L'utilisation de l'échelle de Monoyer est évidemment d'autant plus licite que l'on se trouve dans une zone d'acuité visuelle élevée pour laquelle cette échelle est très sensible.

Faire la moyenne arithmétique des acuités décimales est incorrect

Il n'est pas possible de calculer l'acuité visuelle moyenne en faisant la moyenne arithmétique des valeurs d'acuité décimales du fait de l'irrégularité de l'intervalle entre les lignes de cette échelle. Calculer l'acuité moyenne à partir des données d'acuités décimales nécessite de procéder en trois étapes successives :

1. transformer les acuités décimales en unités LogMAR,
2. calculer la moyenne arithmétique des acuités LogMAR,
3. transformer la moyenne LogMAR en acuité décimale pour obtenir un résultat plus compréhensible.

Exemple numérique (figure 4) :

• Quelle est l'acuité visuelle moyenne de 1/10^e et 4/10^e ?
 [0,1 ; 0,4] ↔ [(-Log(0,1)) ; (-Log(0,4))]

$$\text{Moyenne LogMAR} = [(-\text{Log}0,1) + (-\text{Log}0,4)] / 2$$

$$= [+1 + 0,398] / 2 \approx 0,699$$

$$10^{-\text{logMAR}} = 10^{-0,699} \approx 0,2$$

L'acuité visuelle moyenne est finalement de 2/10^e.

La moyenne arithmétique des acuités décimales aurait donné le résultat erroné de 2,5/10^e : [(0,1)+[0,4)] / 2 = 0,25.

• Quelle est l'acuité visuelle moyenne de 1/10^e et 9/10^e ?
 Moyenne LogMAR = [(-Log0,1) + (-Log0,9)] / 2 ≈ 0,523

$$10^{-\text{logMAR}} = 10^{-0,523} \approx 0,3$$

L'acuité visuelle moyenne est de 3/10^e et non de 5/10^e

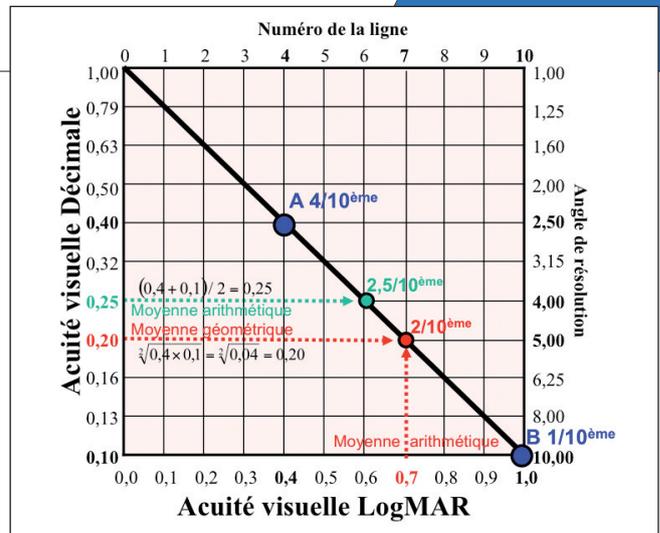


Figure 4. Comparaison des moyennes arithmétique et géométrique de l'acuité visuelle décimale. L'acuité visuelle moyenne doit être impérativement calculée par la moyenne arithmétique des LogMAR ou par la moyenne géométrique des acuités décimales. La moyenne arithmétique des acuités décimales donnerait un résultat erroné et surestimé. Ainsi, l'acuité visuelle moyenne des yeux A (4/10^e) et B (1/10^e) est égale à 2/10^e et non pas à 2,5/10^e.

comme le donnerait la moyenne arithmétique des acuités décimales (0,1 + 0,9)/2.

Le logarithme possède la propriété de transformer les sommes en produit :

$$(\text{Log } x_1) + (\text{Log } x_2) + \dots + (\text{Log } x_n) = \text{Log } (x_1 \times x_2 \times \dots \times x_n).$$

Faire la moyenne arithmétique des acuités LogMAR équivaut en fait à faire la moyenne géométrique des acuités décimales.

La moyenne géométrique est la racine n^e du produit des n valeurs :

$$\text{AV décimale} = \sqrt[n]{x_1 \times x_2 \times \dots \times x_n}$$

Ainsi, dans les deux exemples précédents, les mêmes valeurs de moyenne auraient été trouvées en effectuant la moyenne géométrique des acuités décimales :

$$0,1 \text{ et } 0,4 \rightarrow \sqrt[3]{0,1 \times 0,4} = \sqrt[3]{0,04} = 0,2 \text{ (soit } 2/10^e)$$

$$0,1 \text{ et } 0,9 \rightarrow \sqrt[3]{0,1 \times 0,9} = \sqrt[3]{0,09} = 0,3 \text{ (soit } 3/10^e)$$

La moyenne géométrique étant toujours inférieure à la moyenne arithmétique, le calcul erroné de la moyenne arithmétique des acuités décimales entraîne donc une surestimation de la valeur de l'acuité visuelle par rapport à sa valeur réelle.

Une variation d'acuité ne peut pas se calculer par une soustraction d'acuités décimales

Une variation (ou une différence) d'acuité visuelle ne peut pas se calculer par une simple soustraction des acuités décimales du fait de l'irrégularité de l'intervalle entre les lignes de cette échelle. Seule une échelle logarithmique permet de quantifier la variation de l'acuité par

Optique

une simple soustraction du fait de l'intervalle constant entre les lignes. Après transformation en unité LogMAR, la variation de l'acuité (exprimée en lignes) est calculée par une soustraction entre la valeur finale et la valeur initiale multipliée par un facteur -10. Le signe négatif s'explique par l'inversion de l'ordre engendré par la transformation en LogMAR et le facteur 10 par le fait que 0,1 unité LogMAR représente une ligne.

Variation d'acuité =

$$\begin{aligned}
 &= [\text{LogMAR}_{\text{Finale}} - \text{Log MAR}_{\text{Initiale}}] \times (-10) \\
 &= [(\text{Log}(\text{AV décimale}_{\text{Finale}})) - (\text{Log}(\text{AV décimale}_{\text{Initiale}}))] \times 10 \\
 &= \left[\text{Log} \left(\frac{\text{AV décimale}_{\text{Finale}}}{\text{AV décimale}_{\text{Initiale}}} \right) \right] \times 10
 \end{aligned}$$

La variation d'acuité visuelle (exprimée en ligne) est aussi égale au logarithme du rapport des acuités décimales multiplié par 10.

Exemples numériques

Le passage d'une acuité visuelle décimale de 0,1 (1/10^e) à 0,2 (2/10^e) donne un gain d'acuité visuelle d'environ 3 lignes.

$$\text{Variation de l'acuité} = \left[\text{Log} \left(\frac{0,2}{0,1} \right) \right] \times 10 = [\text{Log}(2)] \times 10 \approx +3,01$$

Le passage d'une acuité visuelle décimale de 0,5 (5/10^e) à 1,0 (10/10^e) donne également le même gain d'acuité visuelle.

$$\text{Variation de l'acuité} = \left[\text{Log} \left(\frac{1,0}{0,5} \right) \right] \times 10 = [\text{Log}(2)] \times 10 \approx +3,01$$

Le passage de l'acuité visuelle de 1/10^e à 2/10^e représente donc numériquement la même variation d'acuité que le passage de l'acuité de 5/10^e à 10/10^e. Ce résultat est logique puisque les deux variations correspondent à une même division par 2 de l'angle de résolution (figure 5). D'une manière générale, dans toutes les échelles d'acuité visuelle logarithmique, une variation d'acuité visuelle de 3 lignes et une variation d'acuité visuelle de 10 lignes correspondent respectivement à une variation de l'angle minimal de résolution d'un facteur d'environ 2 et d'un facteur 10.

$$\begin{aligned}
 \Delta 1 \text{ ligne} &\leftrightarrow \text{facteur } 10^{0,1} \approx 1,2589 \\
 \Delta 3 \text{ lignes} &\leftrightarrow \text{facteur } (10^{0,1})^3 = 10^{0,3} \approx 1,995 \\
 \Delta 10 \text{ lignes} &\leftrightarrow \text{facteur } (10^{0,1})^{10} = 10
 \end{aligned}$$

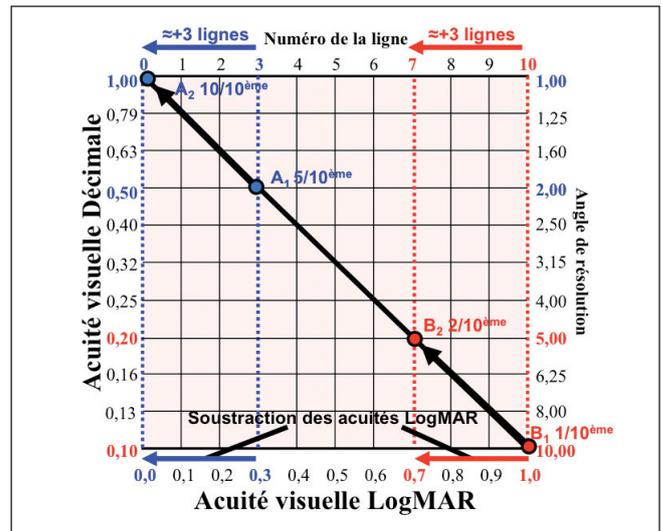


Figure 5. Calcul d'une variation d'acuité visuelle avec l'échelle LogMAR. La différence des acuités visuelles LogMAR multipliée par un facteur -10 quantifie la variation d'acuité visuelle (exprimée en lignes). Ainsi, une variation d'acuité visuelle de 5/10^e (A₁) à 10/10^e (A₂) correspond à un gain d'environ +3 lignes. Le passage d'une acuité visuelle 1/10^e (B₁) à 2/10^e (B₂), qui correspond également à une division de l'angle par 2, représente aussi un gain d'environ +3 lignes. L'échelle LogMAR n'est pas adaptée au calcul d'une variation d'acuité visuelle car l'intervalle entre les lignes n'est pas constant. La soustraction des acuités Monoyer donnerait ici des résultats erronés (gains respectifs de 5/10^e et 1/10^e).

Les tests statistiques paramétriques ne doivent pas être réalisés sur les acuités décimales

La transformation des acuités visuelles décimales en unité LogMAR est indispensable avant l'utilisation des tests statistiques dits « paramétriques » sous peine d'obtenir des résultats erronés. Ces tests qui supposent une distribution gaussienne décrivent totalement la population à l'aide de deux paramètres (la moyenne et l'écart-type), d'où leur dénomination. Les tests statistiques « non paramétriques » (Spearman, Wilcoxon, Mann-Whitney, Kruskal-Wallis, Friedman...) sont les seuls utilisables si la distribution n'est pas gaussienne ou si l'effectif est trop faible. Ils n'utilisent pas les données numériques des variables mais leurs rangs respectifs de classement. La transformation logarithmique ne modifiant pas l'ordre respectif des valeurs, les tests non paramétriques donnent des résultats identiques que l'on utilise les acuités visuelles décimales ou les acuités visuelles LogMAR.

Bibliographie

Holladay JT, Prager TC. Mean visual acuity. Am J Ophthalmol. 1991; 111(3):372-4. / Holladay JT. Proper method for calculating average visual acuity. J Refract Surg. 1997;13(4):388-91. / Roth A, Gomez A, Péchereau A. La réfraction de l'œil : du diagnostic à l'équipement optique. Atlas en ophtalmologie. Paris:Elsevier Masson, 2007. / Touzeau O. Calculs de l'acuité visuelle moyenne et de la variation d'acuité visuelle à partir d'une échelle décimale. J Fr Ophtalmol. 2003;26(6):586-90. / Touzeau O, Costantini E, Montard R, Borderie V, Laroche L. Analyses statistiques de l'acuité visuelle. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Ophtalmologie, 21-030-A-12, 2009.