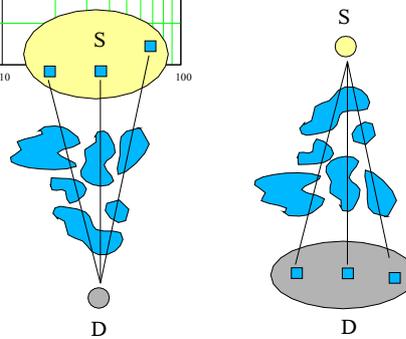
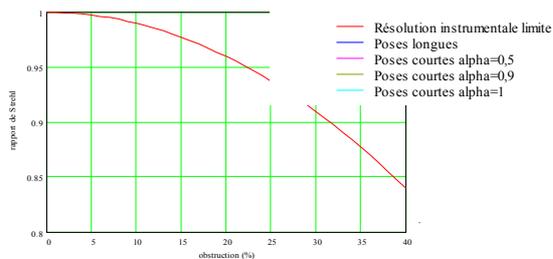
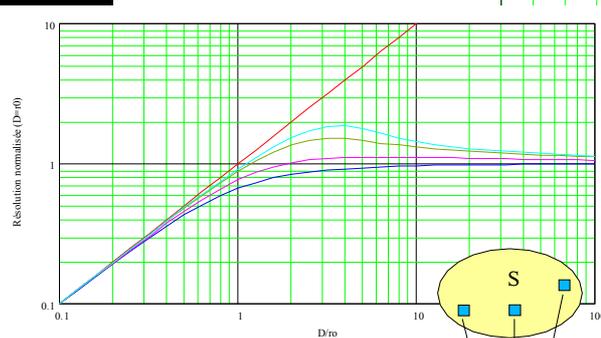
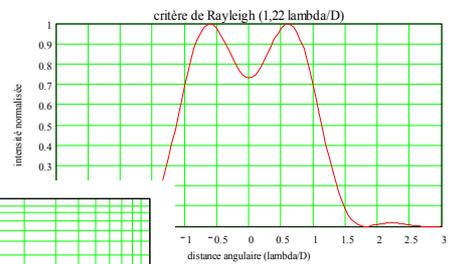
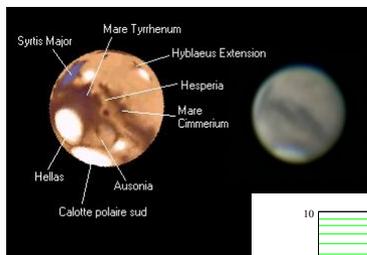


Observation visuelle des planètes



Didier Levasseur
le 31 janvier 2007

Observation visuelle des planètes

Introduction

Lors de mon premier séjour à l'observatoire du Pic de Château Renard en 1997, à la faveur d'une semaine exceptionnelle avec une turbulence systématiquement imperceptible toutes les nuits entre 0 h et 2 h TU, j'avais découvert les possibilités de mon Newton 125/720 qui, pour la première fois et la dernière d'ailleurs, me montrait la Grande Tache Rouge sur Jupiter ainsi que des détails dans les bandes équatoriales, les 2 bandes tropicales et la bande équatoriale centrale. Cela m'avait décidé à l'époque de passer à un diamètre supérieur. Mais quel instrument acheter? J'avais pu lire que, dans le domaine de l'observation planétaire, les lunettes étaient très supérieures aux télescopes à cause de leur obstruction centrale nulle. Cependant j'avais pu constater lors de cette même semaine que mon Newton n'était absolument pas ridicule face à une prestigieuse lunette apochromatique de diamètre 105 mm. Certes cette lunette donnait des images meilleures mais j'avais estimé que mon petit Newton de fabrication japonaise devait être comparable à une très bonne lunette apochromatique de 80 mm tout en restant bien meilleur marché. Il est vrai que l'argument de l'obstruction centrale liée à la présence du miroir secondaire ne m'avait jamais convaincu : l'objectif pour le planétaire n'est pas d'obtenir la meilleure résolution pour un diamètre donné mais bien la meilleure résolution pour un budget donné. Autre grande question dont les conséquences financières ne sont pas à négliger vu le coût d'un oculaire de qualité : quel grossissement utiliser et dans quelles circonstances? Il est souvent affirmé que le grossissement maximal est égal à deux fois et demi le diamètre de l'instrument exprimé en millimètres à cause de la nature ondulatoire de la lumière. Cette explication qui n'en est pas une ne m'a jamais satisfait : la lumière se comporte effectivement comme une onde mais cela n'explique en rien le fait qu'un grossissement trop élevé dégrade les images visuelles. Dernier point et non des moindres : quelle est l'influence de la qualité instrumentale et de la turbulence atmosphérique sur ces paramètres?

Comment répondre à toutes ces questions? Heureusement pour nous, l'optique physique et l'optique statistique nous fournissent un certain nombre d'outils utiles à une première approche du problème. La turbulence atmosphérique est d'ailleurs un sujet sur lequel un certain nombre d'esprits figurant parmi les plus brillants du 20^{ème} siècle se sont penchés.

Résumé

Voici rapidement avant de nous lancer dans une étude approfondie, les grandes lignes des résultats auxquels je suis parvenu en supposant des instruments parfaitement collimatés :

- L'obstruction d'un télescope, qui est définie comme le rapport des diamètres des miroirs secondaire et primaire, n'est pas un obstacle à l'obtention d'images de qualité même si à qualité optique et diamètre égaux un instrument non obstrué donnera toujours de meilleures images.
- L'obstruction agit comme un levier sur les défauts du front d'onde, qu'ils soient d'origine instrumentale ou atmosphérique, mais elle n'est pas rédhibitoire en dessous de 33%. Un instrument pour amateur obstrué à 40% paraît en revanche plutôt orienté ciel profond tant il devient sensible à la qualité du front d'onde, notamment sur les détails de contraste moyen, par rapport à un instrument obstrué à 33%, et donc difficile à réaliser correctement. Les effets de l'obstruction sont franchement négligeables jusqu'à 20%.

- La qualité optique est le point le plus crucial. Le critère de Rayleigh dit de réflexion spéculaire, spécifiant un front d'onde de $\lambda/13,5$ rms ou $\lambda/4$ ptv, est habituellement considéré comme définissant un instrument de qualité astronomique. Ce critère n'est cependant pas suffisant pour définir un instrument performant pour l'observation planétaire, un tel instrument étant en particulier très sensible à la pente de l'erreur de front d'onde. Les instruments entre $\lambda/20$ rms ($\lambda/6$ ptv) et $\lambda/28$ rms ($\lambda/8$ ptv) sont beaucoup moins sensibles à la pente de l'erreur de front d'onde et sont idéaux pour la haute résolution : à $\lambda/6$ ptv une longueur de corrélation des défauts supérieure au dixième du diamètre est cependant préférable tandis qu'à $\lambda/8$ ptv ce paramètre n'a plus d'influence décelable. Au delà de $\lambda/8$ ptv, l'amélioration en observation planétaire n'a pas d'intérêt en regard du surcoût induit. La notion d'aberration transversale réduite n'étant pas manipulable en pratique on lui préférera celle de longueur de corrélation du front d'onde instrumental.
- A qualité du front d'onde égale et dans la gamme des diamètres inférieurs à 200 mm, il est toujours possible de trouver un instrument obstrué délivrant une image de qualité équivalente à celle d'un instrument non obstrué. Ainsi un télescope de 150 mm de diamètre à $\lambda/20$ rms pour une obstruction de 33% ne donnera jamais une image moins bonne qu'une lunette apochromatique de 105 mm supposée également à $\lambda/20$ rms, et ceci quelles que soient les conditions de turbulence atmosphérique, tout en restant meilleur marché dans un rapport 2 environ. L'intérêt des lunettes apochromatiques est à rechercher ailleurs : compacité, transportabilité, universalité, esthétique, collimation, extension et planéité du champ utilisable...
- En présence d'une turbulence atmosphérique négligeable (diamètre de Fried supérieur au diamètre de l'instrument), le grossissement optimal en observation planétaire se situe en proportion du contraste du sujet entre 1,5 et 4 fois le diamètre physique de l'instrument exprimé en millimètres, si cet instrument respecte le critère de qualité de Rayleigh précédemment évoqué. Pour un télescope obstrué à moins de 33%, on n'hésitera pas à utiliser des grossissements compris entre 1,5 et 2 fois le diamètre pour les contrastes faibles (surfaces planétaires) et jusqu'à 4 fois le diamètre pour les contrastes forts (terminateur lunaire). Tandis que pour une lunette, on poussera jusqu'à des grossissements compris entre 2 et 2,5 fois le diamètre pour les contrastes faibles et toujours jusqu'à 4 fois le diamètre pour les contrastes forts. Les grossissements doivent être adaptés aux conditions d'observation et à l'objet observé : l'utilisation de grossissements trop élevés n'apporte pas de détail supplémentaire, mais au contraire dégrade la résolution globale de l'image. Le grossissement optimal diminue bien évidemment avec le niveau de turbulence et on exploitera de manière courante le segment inférieur de la gamme de grossissement précédemment définie, soit en pratique des grossissements allant de 1 à 2 fois le diamètre de l'instrument exprimé en millimètres.
- Ces ordres de grandeur restent valables pour un instrument obstrué à 40% présentant un état de surface d'onde meilleur que $\lambda/20$ rms.
- Le grossissement optimal est celui qui harmonise, en terme de résolution c'est à dire de cycles par radians, le contenu spectral de l'image avec la réponse de l'œil. Un grossissement trop faible comme un grossissement trop élevé va positionner les plus petits détails transmis par l'instrument en dehors de la plage de résolution accessible à l'œil et ainsi fournir une image moins résolue. Lorsque l'on augmente progressivement le grossissement pour un objet donné, l'image commence par présenter des détails de plus en plus fins jusqu'à ce que l'on atteigne le grossissement optimal, puis la finesse de l'image diminue de façon relativement modérée et régulière jusqu'à ce que l'on atteigne le grossissement de coupure au delà duquel la résolution de l'image s'effondre brutalement.
- Donc l'amateur intéressé par l'observation planétaire s'orientera vers des instruments d'obstruction inférieure ou égale à 33% et présentant un état de surface d'onde de l'ordre de $\lambda/20$ rms ($\lambda/6$ ptv) à $\lambda/28$ rms ($\lambda/8$ ptv). Inutile d'investir dans une qualité optique supérieure à $\lambda/28$ rms ($\lambda/8$ ptv), l'amélioration des images planétaires ne serait pas en rapport avec l'effort financier supplémentaire consenti. Les oculaires utilisés en planétaire pourront en pratique être choisis égaux à 10/10, 15/10, et 20/10, voire pour une lunette uniquement 25/10 fois le diamètre réel de l'instrument exprimé en mm, et complétés par une lentille de Barlow x2.

Voilà donc brièvement les conclusions de mes travaux. Jusqu'ici je n'ai pas trouvé d'élément venant contredire ces affirmations, mais il est vrai que faute de temps et d'opportunités je ne suis pas un observateur assidu et que les comptes rendus d'observation circonstanciés sont rares. Le présent document fournit une description de ce qu'est un instrument astronomique du point de vue de la théorie des systèmes linéaires avant de conclure par les réponses aux questions posées, en tenant compte de la turbulence atmosphérique et en se limitant au cas des observations visuelles. L'accent a été mis sur les obstructions 0%, 20%, 33% et 40% et les niveaux de qualité optique suivants :

- instruments limités par la diffraction
- instruments de classe professionnelle : état de surface d'onde $\lambda/28$ rms ($\lambda/8$ ptv)
- instruments de classe haute résolution : état de surface d'onde $\lambda/20$ rms ($\lambda/6$ ptv)
- instruments de classe astronomique : état de surface d'onde $\lambda/13,5$ rms ($\lambda/4$ ptv)
- instruments de classe standard : état de surface d'onde $\lambda/10$ rms ($\lambda/3$ ptv)

La correspondance entre les valeurs rms et ptv données suppose une répartition des défauts de surface d'onde selon une loi uniforme : en pratique, cette hypothèse est pessimiste et on tiendra compte de préférence des valeurs rms lorsqu'elles sont disponibles.

Il est très difficile de connaître l'état de surface d'onde d'un instrument : seuls quelques instruments très haut de gamme sont livrés avec un véritable bulletin de contrôle. C'est pourtant une information qui devrait accompagner tout matériel prétendant être sérieux, témoignant de plus du souci du fabricant d'une réelle maîtrise de la qualité de production. Néanmoins, en croisant les informations collectées dans les divers salons, sur internet et dans les revues d'astronomie, j'ai pu arriver à dresser le panorama suivant, très incomplet mais justifiant la classification précédente et à considérer avec toute la prudence qui s'impose, tout ceci n'excluant pas les mauvaises surprises :

- un fabricant européen de lunettes apochromatiques de prestige annonce un état de surface d'onde de 30 nm rms (donc $\lambda/20$ rms à $\lambda = 550$ nm), résultat que l'on pourra étendre à tous les instruments du même type
- les fabricants russes de Maksutov annoncent une gamme standard à $\lambda/6$ ptv
- ces mêmes fabricants annoncent une gamme luxe à $\lambda/8$ ptv
- les Schmidt-Cassegrain de production de masse ne semblent jamais faire moins bien que $\lambda/10$ rms, certains particulièrement excellents affichant presque $\lambda/30$ rms

On recherchera les informations suivantes pour caractériser la qualité optique d'un instrument :

- interférogramme
- erreur de front d'onde rms
- statistique de l'erreur de front d'onde comparée à un gabarit gaussien
- longueur de corrélation de l'erreur de front d'onde

L'étude du niveau de qualité optique requis pour l'observation planétaire repose en particulier sur l'analyse de la réponse des instruments à une mire représentative d'un objet planétaire et sur le calcul du rapport de Strehl.

Pour finir, la comparaison des instruments suivants a été réalisée :

- lunettes de diamètres 105, 130 et 150 mm, classe haute résolution ($\lambda/20$ rms)
- télescopes obstrués à 20% de diamètres 150, 180 et 200 mm, classe haute résolution ($\lambda/20$ rms)
- télescopes obstrués à 33% de diamètres 150, 180 et 200 mm, classe haute résolution ($\lambda/20$ rms)
- télescopes obstrués à 33% de diamètres 200, 250 et 300 mm, classes astronomique ($\lambda/13,5$ rms) et standard ($\lambda/10$ rms)

La comparaison repose sur le calcul d'un diamètre effectif qui est celui de l'instrument non obstrué limité par la diffraction donnant une image équivalente. Le calcul du diamètre effectif dépend donc de l'objet observé et du capteur d'image, soit l'œil humain en ce qui nous concerne. Deux critères d'équivalence ont été appliqués sur des mires de barres sinusoïdales de contraste 2, 5 et 10% : un critère dit de résolution effective caractérisant plutôt le rendu général de l'image et un critère dit de fréquence de coupure effective caractérisant plutôt le plus petit détail perceptible. Ces deux critères donnent un classement et des ordres de grandeur comparables : le critère de résolution effective apparaît logiquement plus sévère et donne des diamètres effectifs légèrement plus faibles. J'ai retenu au final le [critère de résolution effective appliqué à une mire de contraste 2% \(Annexe H en particulier\)](#) qui donne des résultats très proches de mon expérience d'observateur.

Bibliographie :

[R1] Edward L. O'Neill, Introduction to Statistical Optics, Addison-Wesley Publishing Company, 1963

[R2] Joseph Goodman, Statistical Optics, Wiley Interscience

[R3] F. G. Smith (Editor), Atmospheric Propagation of Radiation, The Infrared & Electro-Optical Systems Handbook Volume 2

[R4] F. Roddier, The Effects of Atmospheric Turbulence in Optical Astronomy, Progress in Optics Vol. XIX - E. Wolf (Editor), North-Holland Publishing Company (1981)

Instruments limités par la diffraction

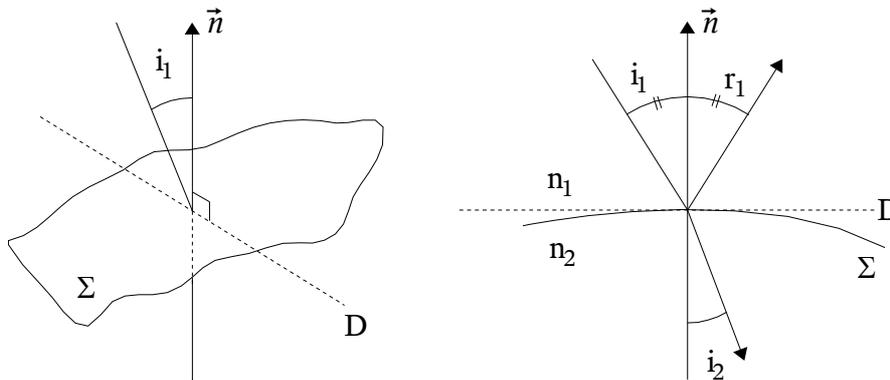
Une optique limitée par la diffraction est une optique ne présentant aucun défaut chromatique ou géométrique, supposant donc un polissage parfait des surfaces optiques et fournissant de ce fait les meilleures images qu'il soit possible d'obtenir pour un diamètre et une obstruction donnés.

Limitations de l'optique géométrique

L'optique géométrique repose sur l'hypothèse que, dans un milieu transparent homogène, la lumière se propage selon une trajectoire rectiligne appelée rayon lumineux.

La loi de Descartes décrit la réfraction et la réflexion d'un rayon lumineux lors du passage d'un milieu 1 à un milieu 2 séparés par la surface Σ :

- le rayon réfléchi et le rayon réfracté restent dans le plan défini par le rayon incident et la normale \vec{n} à la surface Σ
- l'angle de réflexion r_1 est égal à l'angle d'incidence i_1
- la valeur de l'angle i_2 du rayon réfracté est donnée par la relation $n_1 \cdot \sin(i_1) = n_2 \cdot \sin(i_2)$, n_1 et n_2 étant respectivement les indices de réfraction des milieux 1 et 2



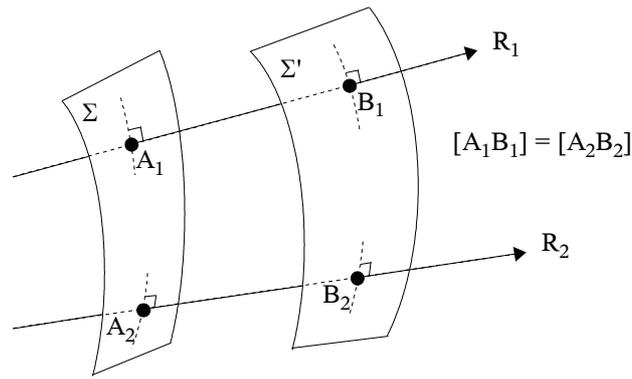
Réfraction et réflexion d'un rayon lumineux

L'optique géométrique est un modèle valable au premier ordre qui ne rend pas compte d'un certain nombre d'observations comme les franges d'interférence de l'expérience de Fresnel et la figure de diffraction formée lors de l'observation d'une étoile. L'image d'une étoile est selon les principes de l'optique géométrique parfaitement ponctuelle.

Pour rendre compte des phénomènes de diffraction, il faut tenir compte de la nature ondulatoire de la lumière introduite par l'optique physique : la lumière monochromatique est une onde sinusoïdale de fréquence ν dont la longueur d'onde λ prend dans le vide la valeur $\lambda_0 = c/\nu$. Dans un milieu isotrope, les rayons lumineux sont confondus avec les normales aux surfaces d'onde (Théorème de Malus et Dupin).

Le principe de l'égalité des chemins optiques stipule que les chemins optiques le long des rayons lumineux entre 2 surfaces d'onde sont égaux entre eux. Le chemin optique le long d'une trajectoire Γ entre 2 points A et B est donné par l'expression $[AB] = \int_{\Gamma} n dl$ et se traduit pour un milieu homogène et une trajectoire rectiligne par $[AB] = n \cdot L$, où L est la distance euclidienne entre les points A et B. Les surfaces d'onde sont donc des surfaces équiphasés et la différence de phase entre 2 surfaces d'onde Σ et Σ' , contenant respectivement les points A et B, s'écrit

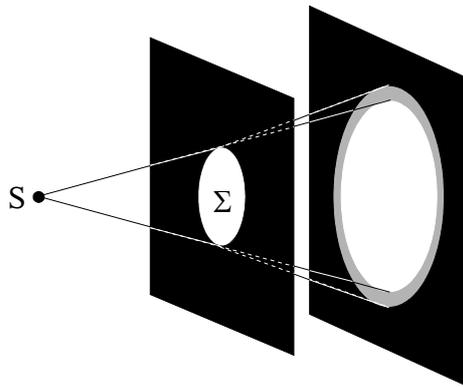
$$\Delta \Phi_{\Sigma\Sigma'} = \Phi(B) - \Phi(A) = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda_0} \cdot [AB] \cdot$$



Principe d'égalité des chemins optiques

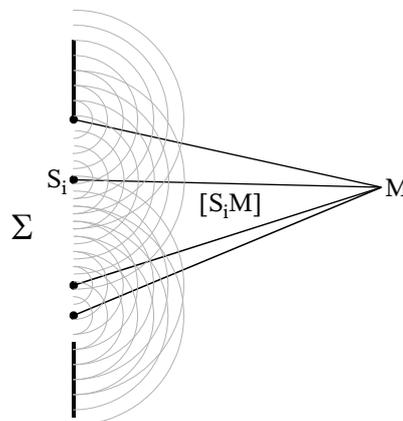
Optique physique

La diffraction est un phénomène de déviation des rayons lumineux qui apparaît lorsque la lumière rencontre un obstacle et qui ne peut s'expliquer ni par une réflexion, ni par une réfraction.



Diffraction par une ouverture Σ

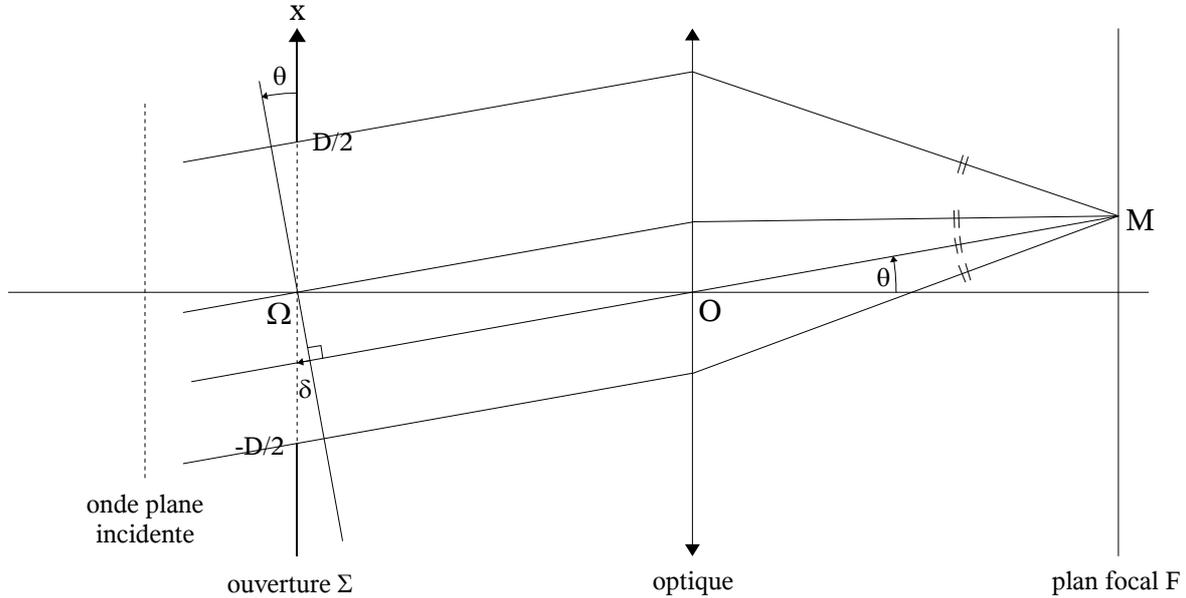
Le principe d'Huyghens-Fresnel, qui permet de déterminer la diffraction d'une onde par une ouverture Σ de forme quelconque, stipule que chaque point de l'ouverture Σ – a fortiori donc si l'ouverture coïncide avec une surface d'onde – peut être considéré comme une source ponctuelle secondaire émettant une ondelette, sphérique lorsque le milieu est homogène, en phase avec l'onde incidente. Les sources secondaires sont mutuellement cohérentes.



**Principe d'Huyghens-Fresnel
Construction de l'onde résultante en un point M**

Figure de diffraction normalisée et figure de diffraction corrigée

En appliquant le principe d'Huyghens-Fresnel à une optique d'ouverture circulaire, il est très aisé de déterminer l'intensité dans le plan image pour une source ponctuelle placée à l'infini en profitant de la symétrie de révolution du problème :



Principe d'Huyghens-Fresnel appliqué à une optique d'ouverture circulaire

L'intensité $i(\theta)$ est donnée pour une onde incidente d'amplitude unité par la relation :

$$i(\theta) = \left| \int_0^{2\pi} \int_{Ob}^1 e^{-j \cdot \pi \cdot \theta \cdot \rho \cdot \cos(\phi)} \cdot \rho \cdot d\rho \cdot d\phi \right|^2 \tag{1}$$

où Ob représente l'obstruction, toujours comprise entre 0 et 1.

L'intensité $i(\theta)$ définit une intensité normalisée $i_n(\theta)$ telle que :

$$i_n(\theta) = \frac{i(\theta)}{i(0)} \tag{2}$$

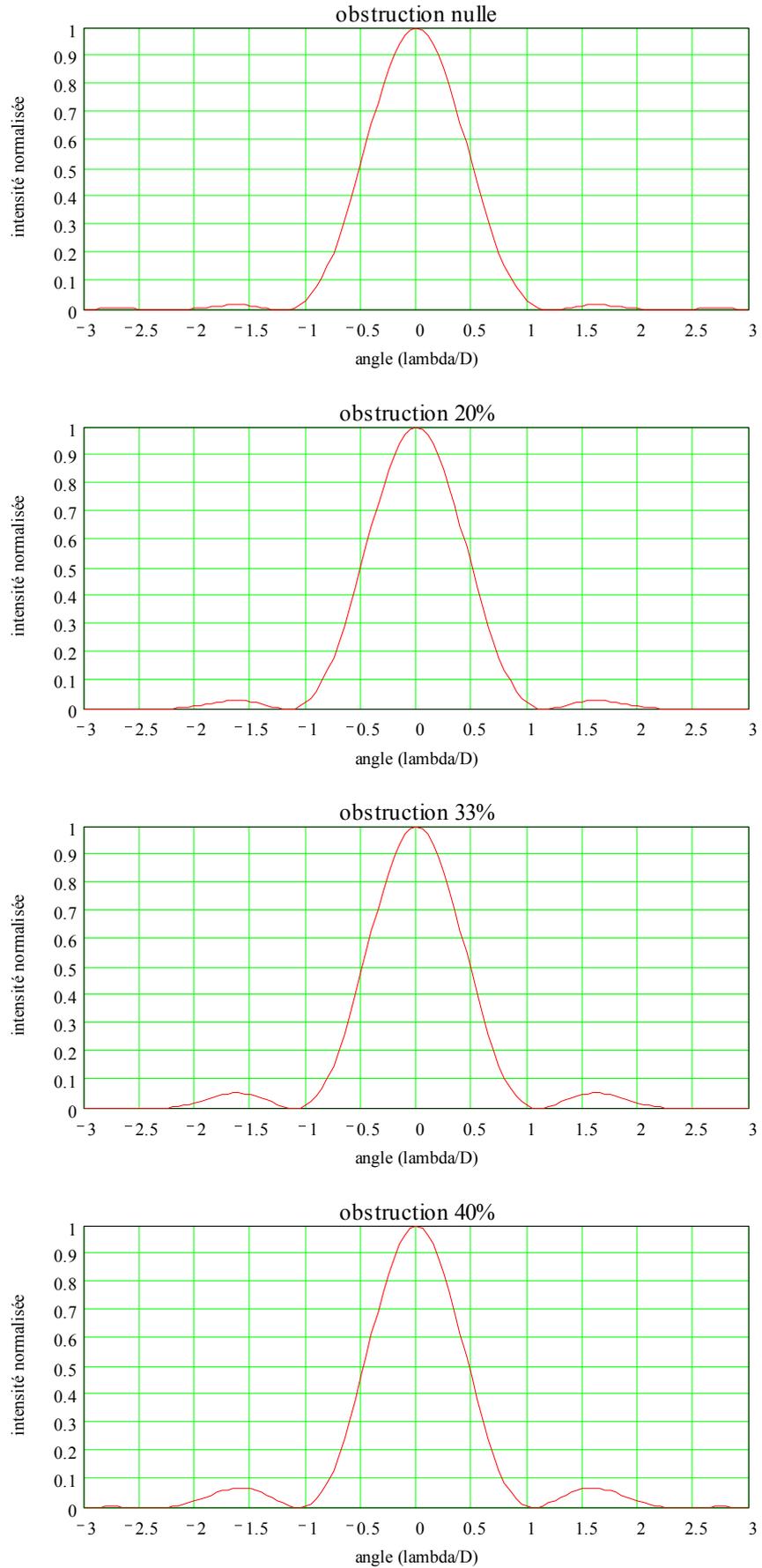
On peut pour les systèmes obstrués introduire une intensité corrigée $i_c(\theta)$ dont on précisera la signification par la suite :

$$i_c(\theta) = \frac{i(\theta)}{i_r(0)} \cdot S_r \tag{3}$$

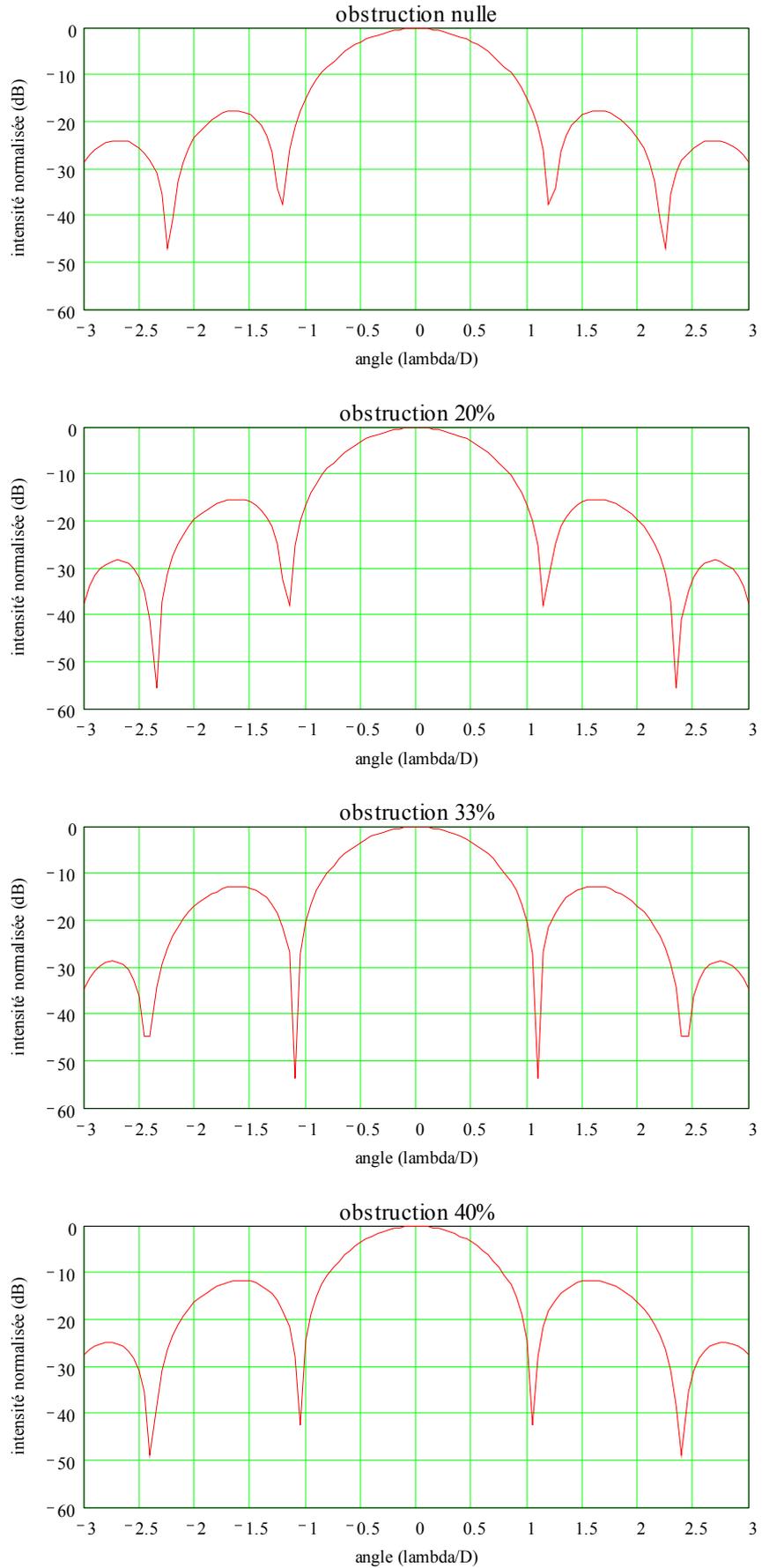
où

- $i_r(\theta)$ est l'intensité obtenue pour une obstruction nulle
- S_r est le rapport des surfaces entre un système non obstrué et le système obstrué, soit $1/(1-Ob^2)$

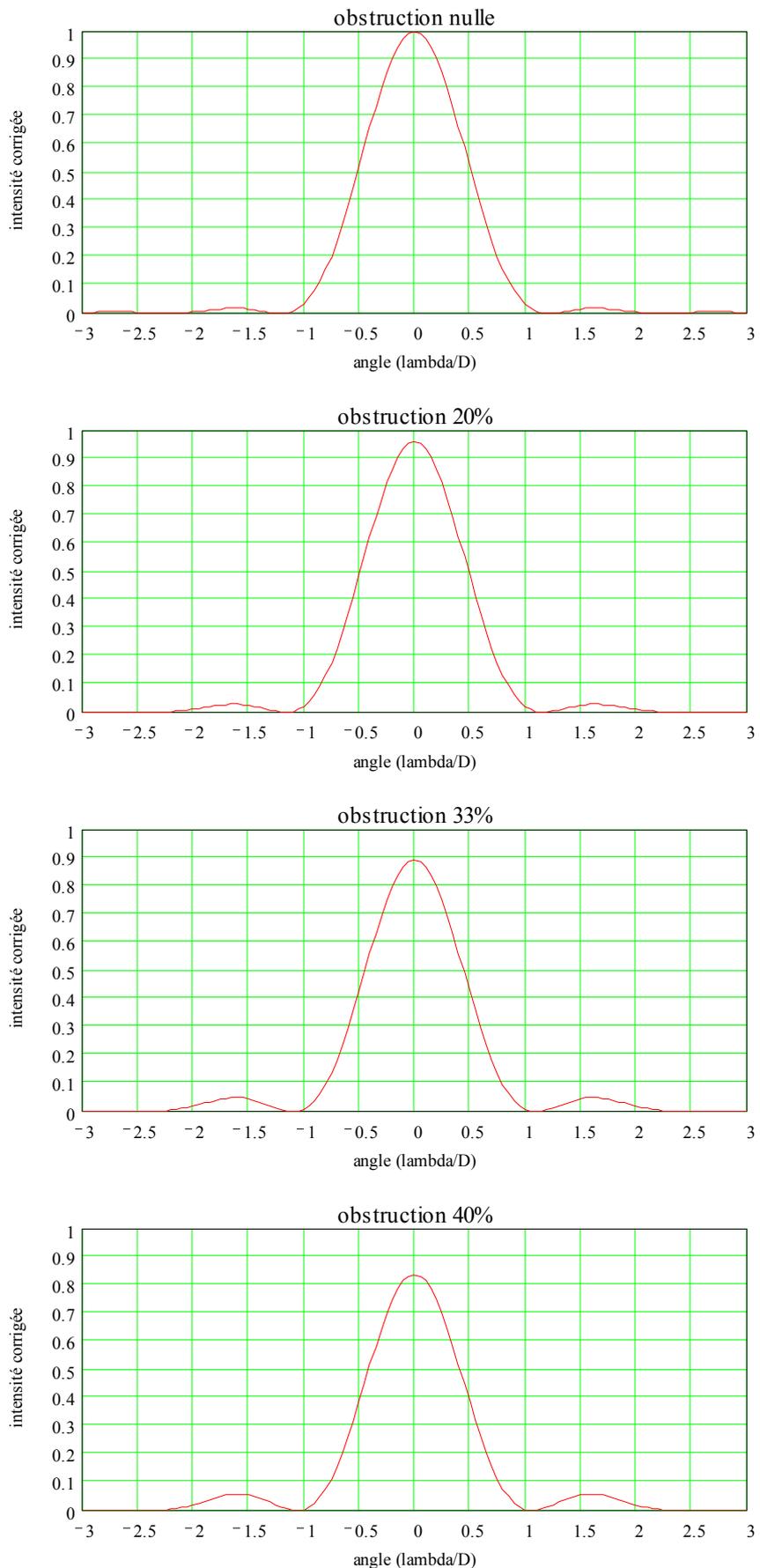
Les intensités normalisée et corrigée sont données pour quelques valeurs caractéristiques de l'obstruction selon une échelle linéaire et une échelle logarithmique, montrant que l'image d'une source ponctuelle n'est pas ponctuelle mais forme ce que l'on appelle la tache de diffraction.



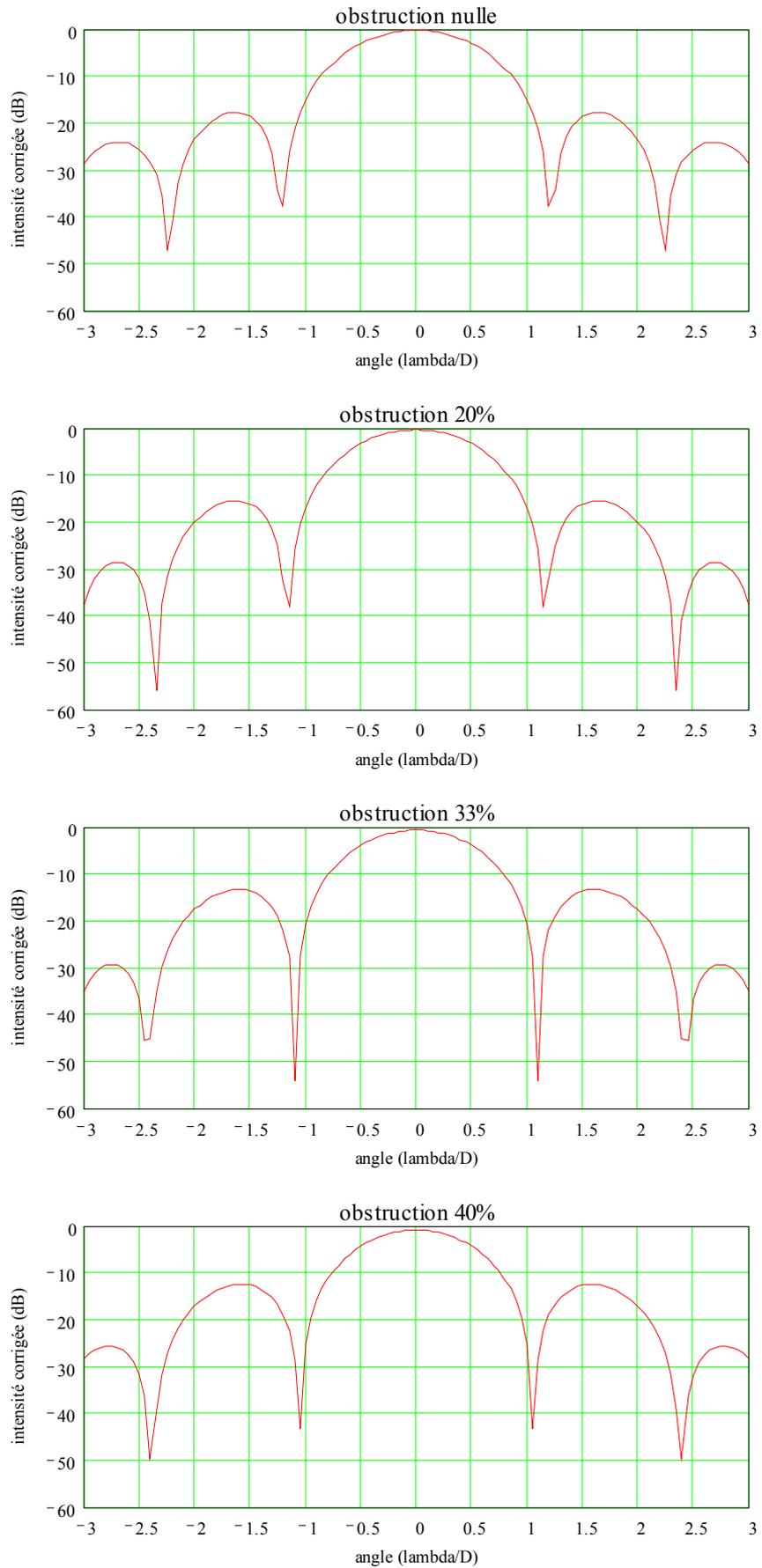
Tache de diffraction normalisée pour différentes obstructions
Échelle linéaire



Tache de diffraction normalisée pour différentes obstructions
Échelle logarithmique



**Tache de diffraction corrigée pour différentes obstructions
Échelle linéaire**

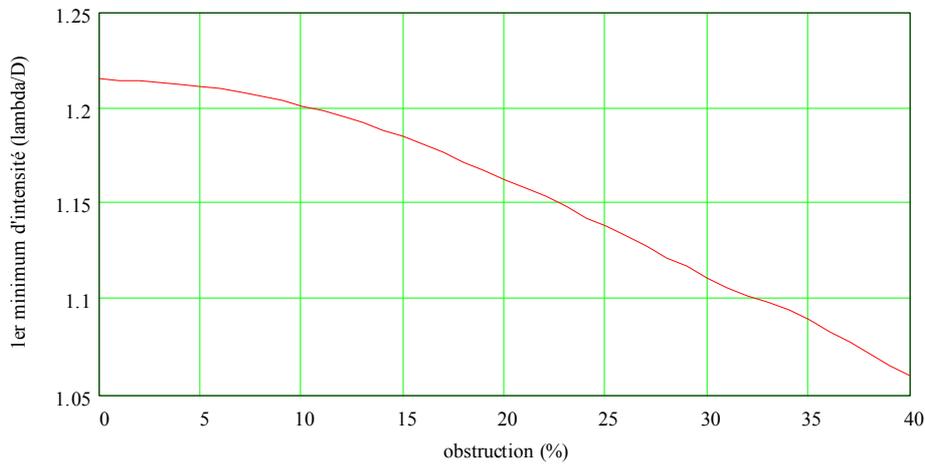


Tache de diffraction corrigée pour différentes obstructions
Échelle logarithmique

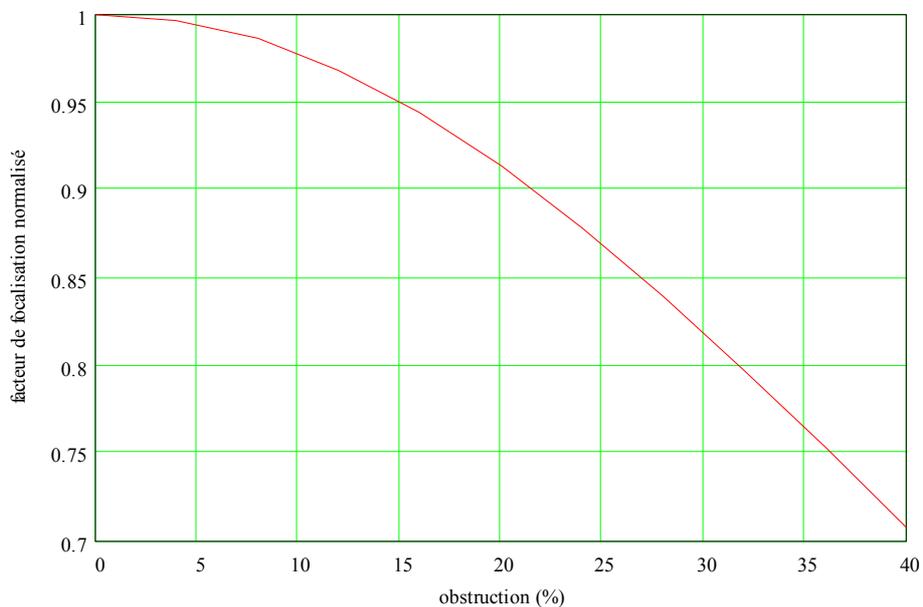
Influence de l'obstruction

Les profils d'intensité montrent les 2 grandes conséquences de l'obstruction :

- un resserrement du premier minimum d'intensité (anneau sombre)
- une augmentation de la luminosité relative des anneaux par rapport à la tache centrale ou disque d'Airy (84% de l'énergie est concentrée dans cette tache centrale lorsque l'obstruction est nulle, et ce pourcentage diminue avec l'obstruction)



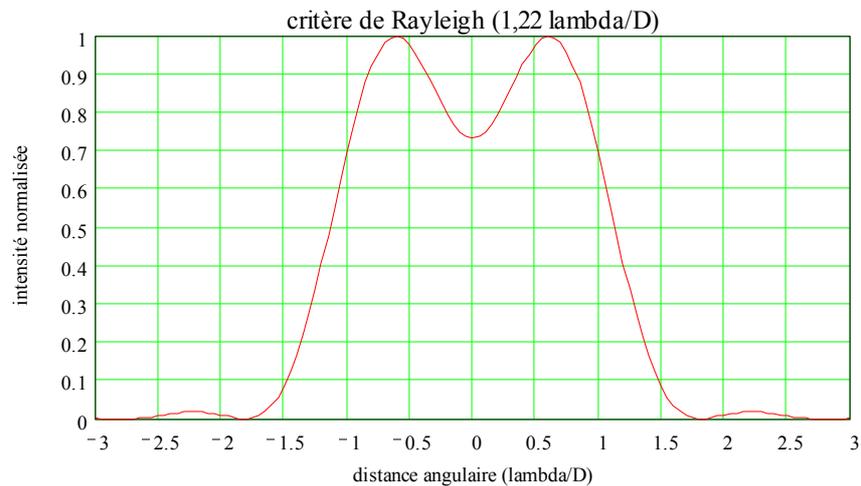
Position du premier zéro d'intensité en fonction de l'obstruction



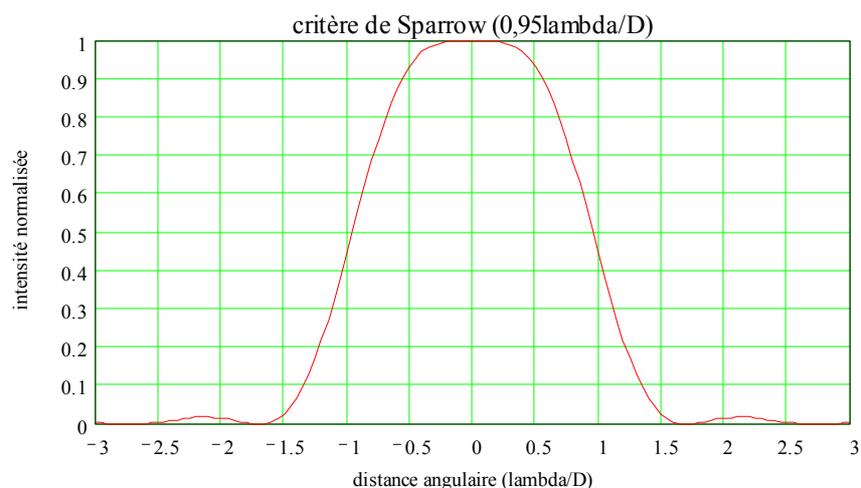
**Facteur de focalisation normalisé en fonction de l'obstruction
(Énergie relative encerclée dans un disque de rayon 1,22 λ/D)**

Pouvoir séparateur : critères de Rayleigh et de Sparrow pour un instrument d'obstruction nulle

Il est généralement admis que l'on peut séparer deux sources ponctuelles de même intensité lorsque le maximum du disque d'Airy de l'une correspond au premier minimum de la tache de diffraction de l'autre. Le critère de résolution dit de Rayleigh énonce ainsi que deux sources de même intensité peuvent être résolues par un système optique non obstrué de diamètre D si leur séparation angulaire est supérieure ou égale à $1,22 \cdot \lambda/D$.

**Critère de Rayleigh pour une obstruction nulle**

La chute relative d'intensité entre les deux sources est de l'ordre de 25% et le critère de résolution de Rayleigh est en pratique plutôt pessimiste : un observateur entraîné est capable de résoudre deux sources ponctuelles même sans aucune chute d'intensité entre les deux images. Le critère de résolution dit de Sparrow énonce ainsi que deux sources de même intensité peuvent être résolues par un système optique non obstrué de diamètre D si leur séparation angulaire est supérieure ou égale à $0,95 \cdot \lambda/D$.

**Critère de Sparrow pour une obstruction nulle**



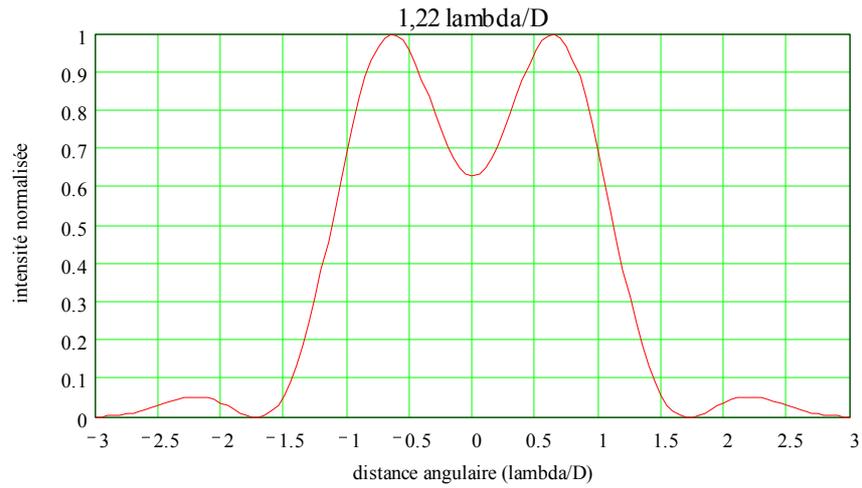
**Pouvoir séparateur selon le critère de Rayleigh
En fonction de l'ouverture pour une obstruction nulle**



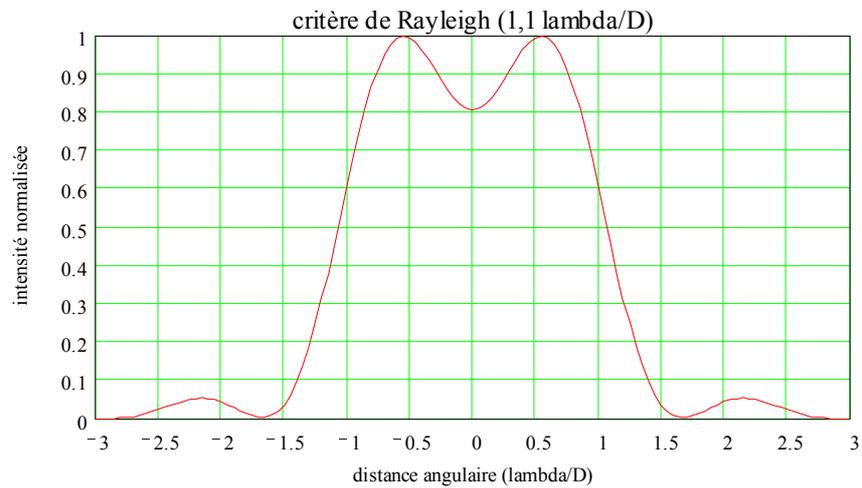
**Pouvoir séparateur selon le critère de Sparrow
En fonction de l'ouverture pour une obstruction nulle**

Critères de Rayleigh et de Sparrow pour un instrument d'obstruction 33%

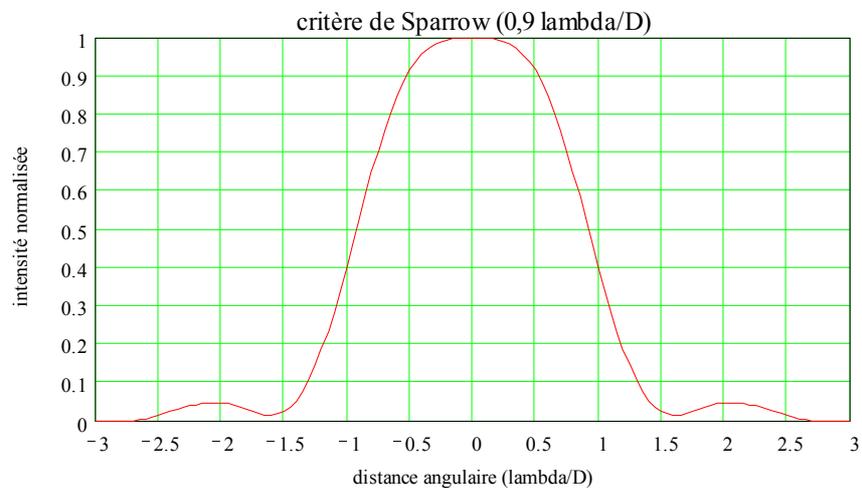
Lorsque l'on s'intéresse à un système optique obstrué, il apparaît que pour une séparation angulaire de $1,22 \cdot \lambda/D$ entre deux sources ponctuelles de même intensité, la chute d'intensité entre les deux sources augmente, pour atteindre par exemple environ 35% pour un système obstrué à 33%. L'obstruction améliore donc le pouvoir séparateur dans le cas de sources ponctuelles de même intensité, sans que bien entendu ce résultat puisse être étendu à tout autre contexte : ceci s'explique simplement par la diminution du diamètre du disque d'Airy avec l'obstruction. Les critères de résolution de Rayleigh et de Sparrow établissent respectivement pour une obstruction de 33% les écarts angulaires $1,1 \cdot \lambda/D$ et $0,9 \cdot \lambda/D$.



Amélioration du pouvoir séparateur par l'obstruction



Critère de Rayleigh pour une obstruction de 33%



Critère de Sparrow pour une obstruction de 33%



**Pouvoir séparateur selon le critère de Rayleigh
En fonction de l'ouverture pour une obstruction de 33%**



**Pouvoir séparateur selon le critère de Sparrow
En fonction de l'ouverture pour une obstruction de 33%**

Critère astronomique

Dans les ouvrages à destination des astronomes amateurs, le pouvoir séparateur d'un instrument de diamètre D est classiquement donné en secondes d'arc par la relation $120 / D$ où D est exprimé en millimètres et sans faire d'ailleurs référence à l'obstruction de l'instrument. Cette expression n'apparaît fondée sur aucun critère physique mais est néanmoins un moyen simple de calculer l'ordre de grandeur du pouvoir séparateur dans le cas de l'observation d'étoiles doubles dont les composantes sont de luminosité comparable.



**Pouvoir séparateur selon le critère astronomique
En fonction de l'ouverture pour une obstruction de 33%**

Représentation fréquentielle de la tache de diffraction

Les résultats précédents laissent entrevoir que l'obstruction est une source de perte de résolution bien que le pouvoir séparateur s'en trouve paradoxalement amélioré. Il est d'ailleurs bien difficile de quantifier les effets de l'obstruction en se tenant à l'étude de la figure de diffraction dont la manipulation est peu aisée. Une astuce consiste alors à étudier la réponse des instruments optiques dans le domaine fréquentiel. La tache de diffraction est la réponse de l'instrument à une source lumineuse ponctuelle, soit à une distribution de Dirac bidimensionnelle : la tache de diffraction est donc équivalente du point de vue de la théorie des systèmes linéaires à une réponse impulsionnelle et la transformée de Fourier bidimensionnelle de la tache de diffraction caractérise alors la réponse fréquentielle de l'instrument ou en d'autres termes sa fonction de transfert.

La Transformée de Fourier bidimensionnelle est décrite par les relations suivantes où le terme en majuscule S exprime la représentation fréquentielle et le terme en minuscule s exprime la représentation angulaire :

$$\begin{aligned}
 S(\nu_x, \nu_y) &= \iint_{R^2} s(\theta_x, \theta_y) \cdot e^{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot (\nu_x \cdot \theta_x + \nu_y \cdot \theta_y)} \cdot d\theta_x \cdot d\theta_y \\
 s(\theta_x, \theta_y) &= \iint_{R^2} S(\nu_x, \nu_y) \cdot e^{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot (\nu_x \cdot \theta_x + \nu_y \cdot \theta_y)} \cdot d\nu_x \cdot d\nu_y
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

soit respectivement pour les grandeurs à l'origine correspondantes :

$$\begin{aligned}
 S(0,0) &= \iint_{R^2} s(\theta_x, \theta_y) \cdot d\theta_x \cdot d\theta_y \\
 s(0,0) &= \iint_{R^2} S(\nu_x, \nu_y) \cdot d\nu_x \cdot d\nu_y
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

En termes plus littéraires, la Transformée de Fourier décompose le signal d'origine en signaux sinusoïdaux dont la somme redonne ce signal d'origine.

Lorsque l'on applique ces relations à la distribution d'intensité $i(\theta_x, \theta_y)$ dans le plan image d'un instrument optique liée à une source ponctuelle, il vient immédiatement :

$$I(v_x, v_y) = \iint_{R^2} i(\theta_x, \theta_y) \cdot e^{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot (v_x \cdot \theta_x + v_y \cdot \theta_y)} \cdot d\theta_x \cdot d\theta_y \tag{6}$$

$$i(\theta_x, \theta_y) = \iint_{R^2} I(v_x, v_y) \cdot e^{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot (v_x \cdot \theta_x + v_y \cdot \theta_y)} \cdot dv_x \cdot dv_y$$

Le calcul du spectre $I(v_x, v_y)$ montre que la composante spectrale de plus grande intensité est toujours en pratique le terme continu $I(0,0)$.

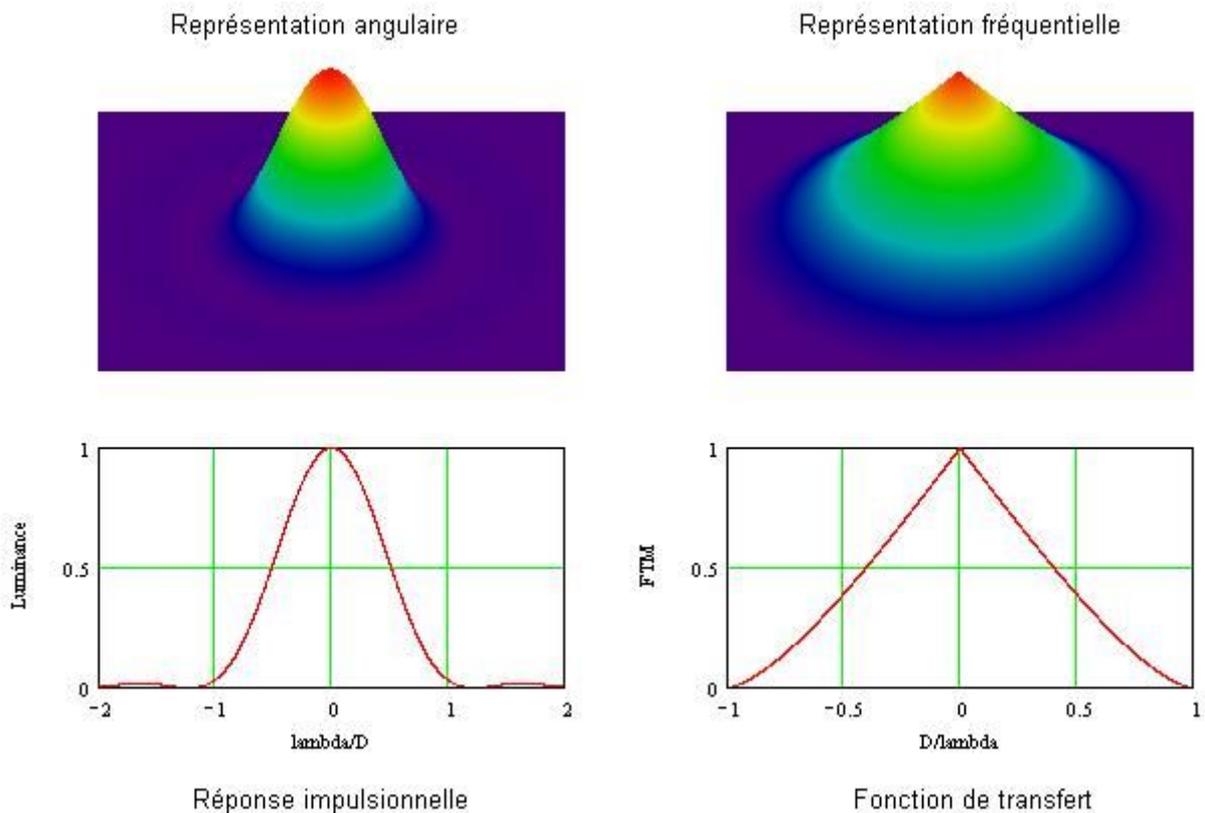
Lorsque l'on normalise la représentation fréquentielle de la tache de diffraction par rapport à son terme continu on obtient la Fonction de Transfert Optique :

$$FTO(v_x, v_y) = \frac{I(v_x, v_y)}{I(0,0)} \tag{7}$$

La Fonction de Transfert Optique est une fonction complexe dont le module définit la Fonction de Transfert de Modulation :

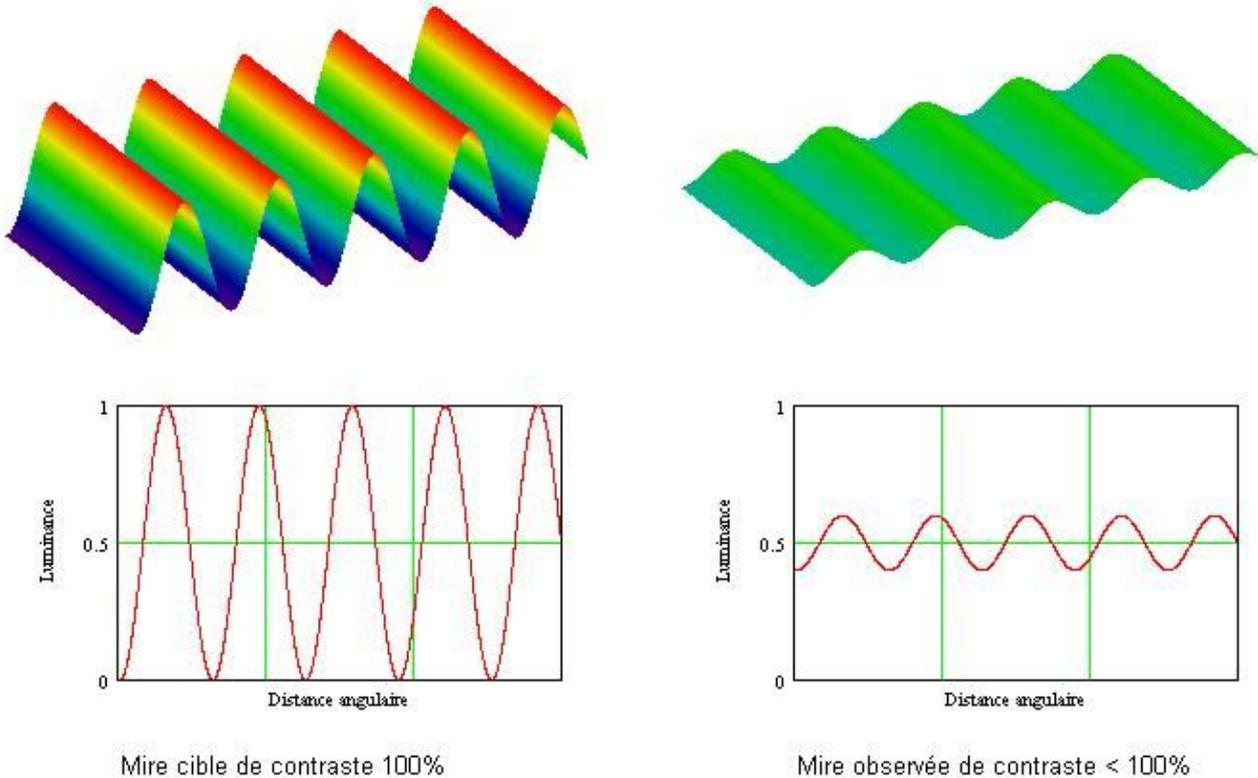
$$FTM(v_x, v_y) = |FTO(v_x, v_y)| \tag{8}$$

Lorsque la tache de diffraction présente une symétrie de révolution, la FTO est une fonction réelle présentant elle aussi une symétrie de révolution.



Représentations angulaire et fréquentielle

L'optique ondulatoire appliquée à la formation des images montre que la FTO correspond à la fonction d'autocorrélation de la fonction pupille du système. Dans ce même cadre la FTM s'interprète comme le contraste à la sortie du système en réponse à une mire de franges sinusoidales de contraste 100%, soit alternativement noires et blanches.



Réponse à une mire sinusoidale de contraste 100%

Un moyen couramment employé pour évaluer la qualité d'une optique est d'ailleurs d'observer un jeu de mires constituées de raies plus ou moins serrées : on constate alors systématiquement que plus les raies sont rapprochées et plus l'image délivrée par l'optique perd en contraste, l'écart relatif d'intensité entre les raies claires et sombres diminuant. Tout instrument d'optique constitue donc un filtre spatial passe-bas de réponse impulsionnelle définie par la tache de diffraction et de réponse fréquentielle définie par la FTO. Ce filtre agit sur le contraste C défini par la relation :

$$C = \frac{i_{max} - i_{min}}{i_{max} + i_{min}} \quad [9]$$

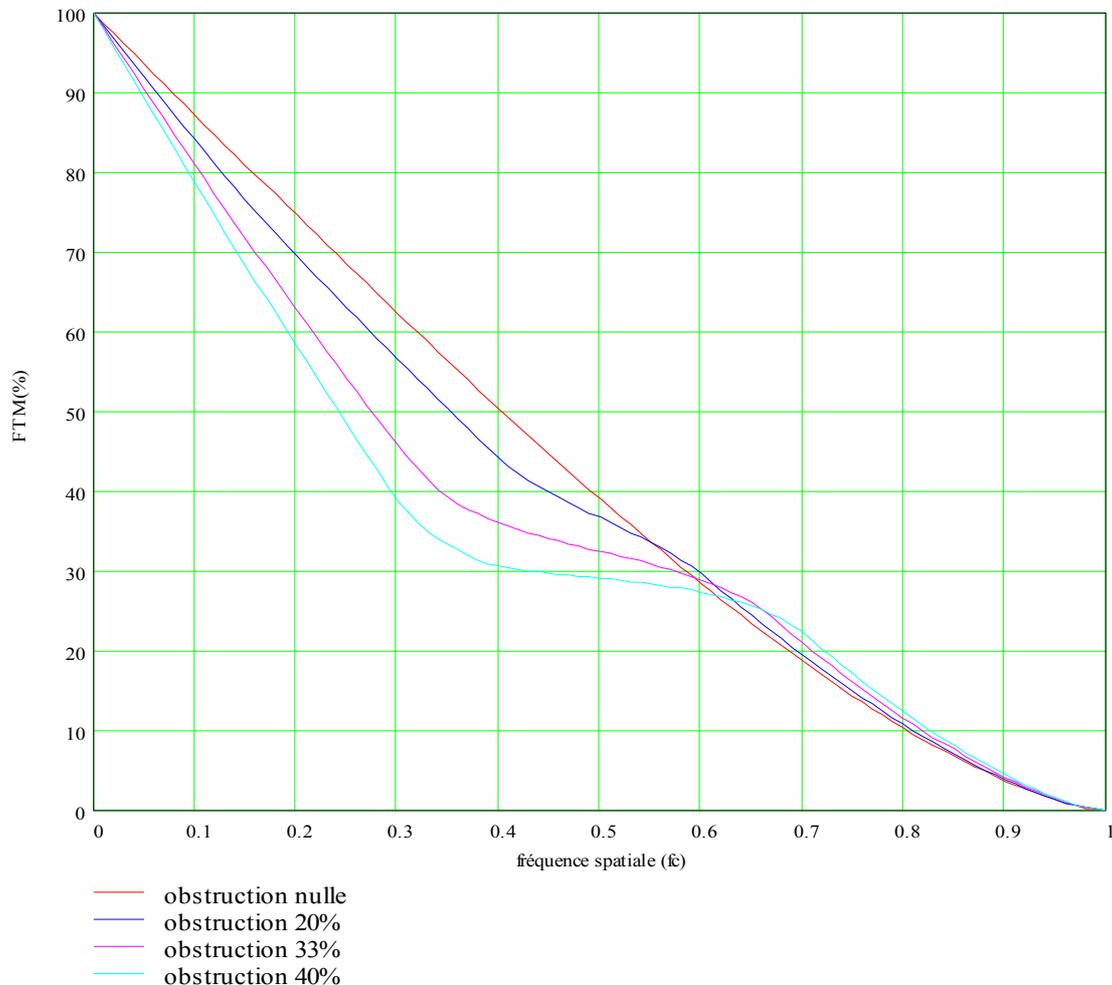
où

- i_{max} est l'intensité maximale du motif sinusoidal
- i_{min} est l'intensité minimale du motif sinusoidal

Pour une optique limitée par la diffraction, la fonction pupille est réelle, constante et égale à l'unité sur toute la pupille d'entrée de l'instrument. En dehors de la pupille d'entrée et notamment au niveau de la partie obstruée, la fonction pupille est nulle. FTO et FTM sont identiques et leur calcul se résume à un simple calcul de géométrie analytique qui ne présente aucune difficulté particulière.

Pour un instrument supposé de niveau astronomique et en particulier sur l'axe optique, la FTM présente, à l'instar de la tache de diffraction, une symétrie de révolution. La suite de l'analyse se place dans le cadre de cette hypothèse, et on considère alors la fonction FTMR(ν) réduite à une dimension telle que :

$$FTMR(\nu) = FTM(\nu_x = \nu, \nu_y = 0) \quad [10]$$



Fonction de Transfert de Modulation d'instruments limités par la diffraction

La figure précédente donne la FTM réduite à une dimension pour diverses obstructions dans le cas d'instruments limités par la diffraction, et fait ressortir 4 points remarquables :

- une fréquence de coupure $\nu_c = \frac{D}{\lambda}$ indépendante de l'obstruction, fréquence spatiale au-delà de laquelle l'optique ne transmet aucune composante spectrale
- l'augmentation du diamètre instrumental se traduit non seulement par l'apparition de nouveaux détails dans l'image mais aussi par le renforcement des détails déjà existants
- une transmission du contraste aux fréquences élevées (au-delà de $\nu_c/2$) améliorée par l'obstruction, à mettre en relation avec la diminution du diamètre du premier anneau sombre de la tache de diffraction
- une transmission du contraste aux fréquences basses (en deçà de $\nu_c/2$) dégradée par l'obstruction d'un facteur $(1 - \text{obstruction})$ correspondant à l'écart de pente relatif des FTM à l'origine, à mettre en relation avec la diminution relative d'énergie concentrée dans le disque d'Airy

Critères de comparaison des instruments

Une grandeur caractérisant la capacité d'un instrument à transmettre une image fidèle à l'objet réel est le volume compris sous la FTM. On définit alors la résolution **R** d'un instrument comme le volume compris dans l'enveloppe définie par la FTM :

$$R = \iint_{R^2} FTM(v_x, v_y) \cdot d v_x \cdot d v_y \tag{11}$$

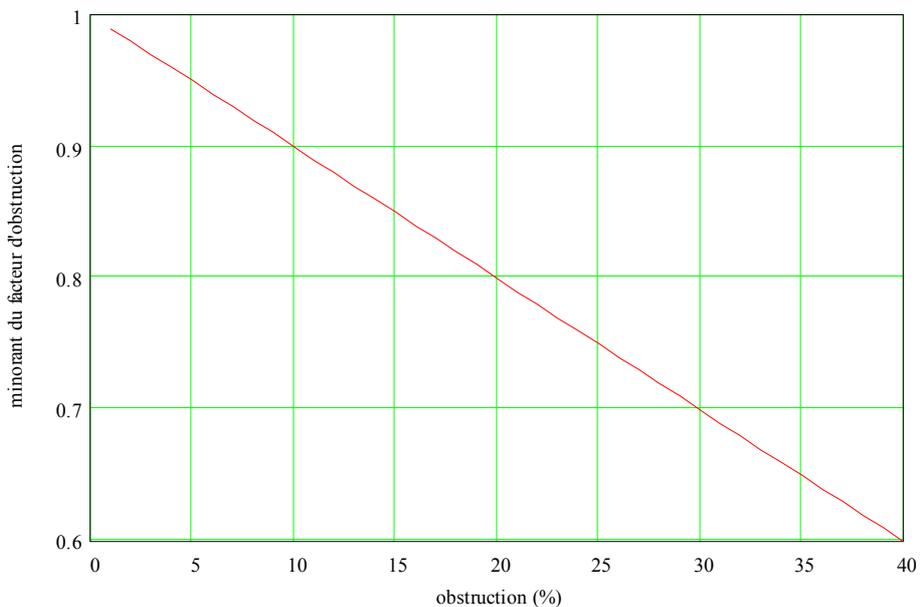
soit en tenant compte de la symétrie de révolution de la FTM

$$R = 2 \cdot \pi \cdot \int_0^{v_c} v \cdot FTMR(v) \cdot d v \tag{12}$$

Diamètre effectif – facteur d'obstruction

Pour pouvoir comparer plus facilement les instruments entre eux, nous pouvons introduire la notion de diamètre effectif d'un instrument qui est le diamètre de l'instrument non obstrué et limité par la diffraction donnant une image équivalente. Le diamètre effectif dépend des caractéristiques de l'objet observé qui peut ne pas présenter toutes les fréquences spatiales théoriquement transmissibles par l'instrument : en particulier, si la cible utilisée pour l'évaluation du diamètre effectif ne contient pas les fréquences pour lesquelles l'instrument est défaillant, les défauts en question ne sont pas mis en évidence. Le calcul du diamètre effectif dépend donc du critère de comparaison utilisé : comme nous le verrons par la suite plusieurs critères peuvent être employés pour mettre en relief des paramètres d'imagerie différents.

Le facteur d'obstruction est alors défini comme étant le coefficient de réduction du diamètre effectif introduit par la présence d'un miroir secondaire sur l'axe optique : le calcul des FTM d'instruments limités par la diffraction montre que le facteur d'obstruction est, quel que soit le critère retenu, au pire égal à l'écart de pente relatif des FTM à l'origine, soit $(1 - obstruction)$. Cette valeur, à retenir uniquement pour l'observation de formations très peu contrastées, est en pratique pessimiste.



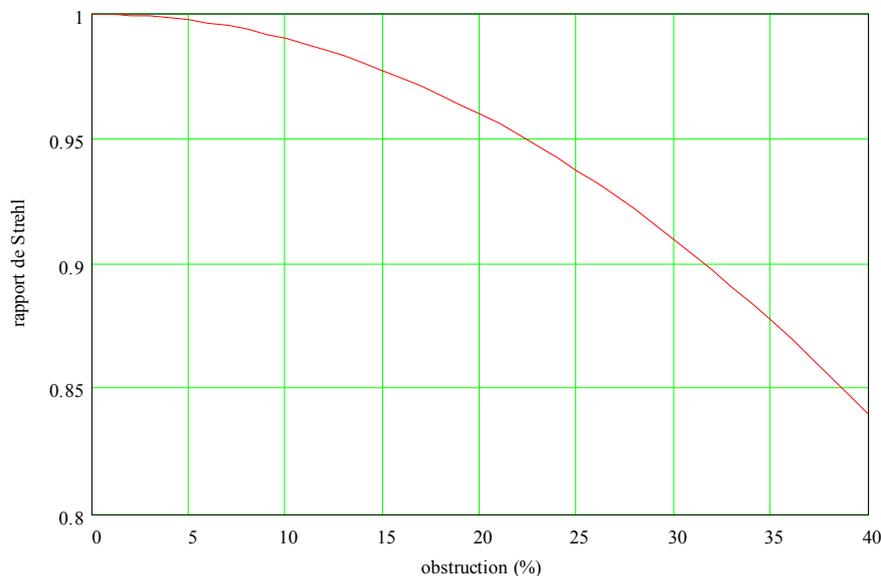
Influence maximale de l'obstruction sur le diamètre effectif

Rapport de Strehl

Le rapport de Strehl **SR** d'un instrument est par définition le rapport de la résolution **R** sur la résolution **R_r** d'un instrument de même diamètre non obstrué et limité par la diffraction :

$$SR = \frac{\iint_{R^2} FTM(v_x, v_y) \cdot d v_x \cdot d v_y}{\iint_{R^2} FTM_r(v_x, v_y) \cdot d v_x \cdot d v_y} \tag{13}$$

Les valeurs associées données par la figure suivante montrent que la résolution **R** est relativement peu affectée par l'obstruction : le rapport de Strehl définit un facteur d'obstruction selon un critère de rendu global de l'image plutôt optimiste qui ne tient pas compte des effets de seuil liés à l'observation visuelle.



Influence de l'obstruction sur le rapport de Strehl SR

La définition de la Transformée de Fourier bidimensionnelle permet d'écrire le rapport de Strehl dans le domaine angulaire :

$$SR = \frac{ftm(0,0)}{ftm_r(0,0)} \tag{14}$$

Le numérateur et le dénominateur sont respectivement liés à la tache de diffraction par les expressions :

$$ftm(0,0) = i(0,0) / I(0,0) \tag{15}$$

$$ftm_r(0,0) = i_r(0,0) / I_r(0,0) \tag{15''}$$

qui donnent par remplacement dans [14] :

$$SR = \frac{i(0,0)}{i_r(0,0)} \cdot \frac{I_r(0,0)}{I(0,0)} \tag{16}$$

Le terme $\frac{I_r(0,0)}{I(0,0)}$ étant égal au rapport des surfaces collectrices, il vient pour finir :

$$SR = \frac{i(0,0)}{i_r(0,0)} \cdot \frac{1}{1 - ob^2} \quad [17]$$

qui montre que le rapport de Strehl peut aussi s'exprimer comme l'intensité corrigée au centre de la tache de diffraction.

En pratique, on retiendra la définition exprimant le rapport de Strehl dans le domaine fréquentiel, dont l'interprétation physique est immédiate. Sa transcription dans le domaine angulaire n'a pas de réel intérêt théorique mais peut en revanche être exploitée pour la caractérisation des instruments.

L'œil humain

L'œil est un système optique regroupant un objectif formé de la cornée, l'iris et le cristallin associé à un capteur d'image, la rétine, qui est constituée de cellules sensibles à la lumière. Au voisinage de l'axe optique de l'œil, on trouve des cellules en forme de cônes qui sont sensibles aux couleurs et répondent uniquement pour des éclaircissements relativement importants, formant la vision photopique dont la réponse est centrée sur le vert à 555 nm. Le champ périphérique est couvert par des cellules en forme de bâtonnets, monochromes mais adaptées aux éclaircissements faibles, formant la vision scotopique dont la réponse est centrée sur le bleu à 507 nm. La rétine contient environ 6 millions de cônes de dimension de 1 à 1,5 μm essentiellement concentrés au centre du champ de vision à raison d'une densité typique d'approximativement 147 000 cellules par mm^2 et 120 millions de bâtonnets. On s'intéresse pour l'observation des planètes à la vision photopique sur l'axe optique de l'œil, là où la résolution de l'œil est la plus élevée.

Le pouvoir séparateur défini par 10 dixièmes en ophtalmologie correspond à la discrimination de deux points séparés d'un angle d'une minute d'arc. Il s'agit là de l'acuité visuelle moyenne d'un œil humain, certains individus à la vue particulièrement perçante étant dotés d'une acuité visuelle de 15 à 20 dixièmes : la différence d'acuité s'expliquant par une meilleure qualité optique de l'œil et non par une densité de cellules rétiniennes supérieure.

Le pouvoir séparateur de l'œil tel que défini précédemment ne suffit pas pour quantifier le rendu d'une optique en observation visuelle : il faut être plus précis et tenir compte de la sensibilité de l'œil au contraste. L'œil humain est classiquement caractérisé par le contraste minimal détectable en fonction de la fréquence spatiale d'un motif de luminance sinusoïdal, définissant ainsi la fonction de sensibilité au contraste (CSF) comme étant l'inverse du contraste minimal détectable. En pratique, la fonction de sensibilité au contraste dépend des conditions d'éclaircissement de la rétine ainsi que du champ couvert par le motif d'excitation, et est déterminée par relevé statistique sur des échantillons de population suivant des protocoles visant à ne pas influencer le sujet examiné. Le seuil de détection minimal est typiquement obtenu pour une fréquence spatiale d'environ 5 cycles par degré (période de 12 minutes d'arc) et s'établit à une valeur typique inférieure à 0,5% dans des conditions normales d'observation : là encore il y a une relative dispersion selon les individus et les courbes suivantes ne doivent être considérées que comme représentatives d'un individu « moyen » possédant un œil emmétrope.

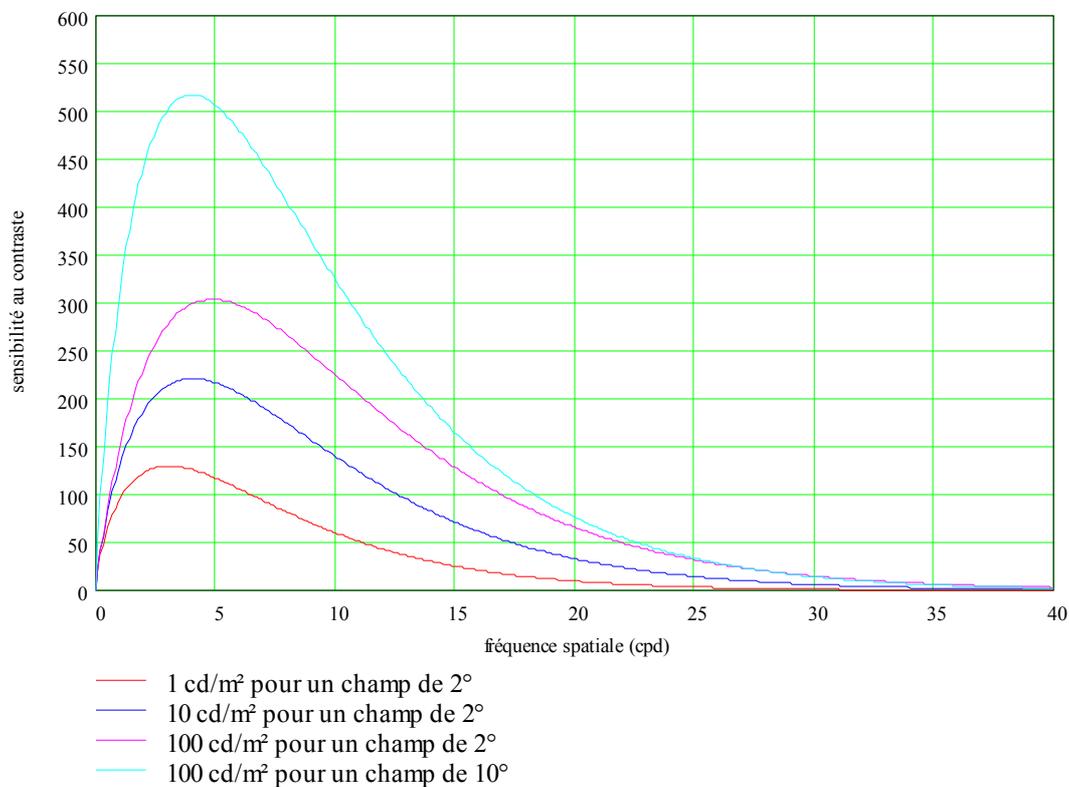
Les courbes de fonction de sensibilité au contraste sont établies à partir de relevés expérimentaux plaqués sur le modèle paramétrique de Movshon défini en fonction de la fréquence spatiale ν_{OC} en cycles par degré par l'équation :

$$CSF(\nu_{OC}) = a \cdot \nu_{OC}^c \cdot e^{-b \cdot \nu_{OC}} \quad [18]$$

Les valeurs des 3 paramètres a , b et c sont déterminées empiriquement pour coller au mieux avec les relevés en question pour les valeurs de luminance de 1, 10 et 100 cd/m^2 . Cette approche empirique est largement suffisante compte tenu de la dispersion de la CSF selon les individus et que l'objectif de l'étude est la comparaison des instruments et la détermination des ordres de grandeurs du grossissement optimal.

<i>Luminance (cd/m^2)</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
1 @ 2°	120	0,23	0,7
10 @ 2°	160	0,2	0,81
100 @ 2°	180	0,19	0,9
100 @ 10°	380	0,2	0,81

Valeurs des paramètres du modèle de Movshon utilisées



Fonction de sensibilité au contraste

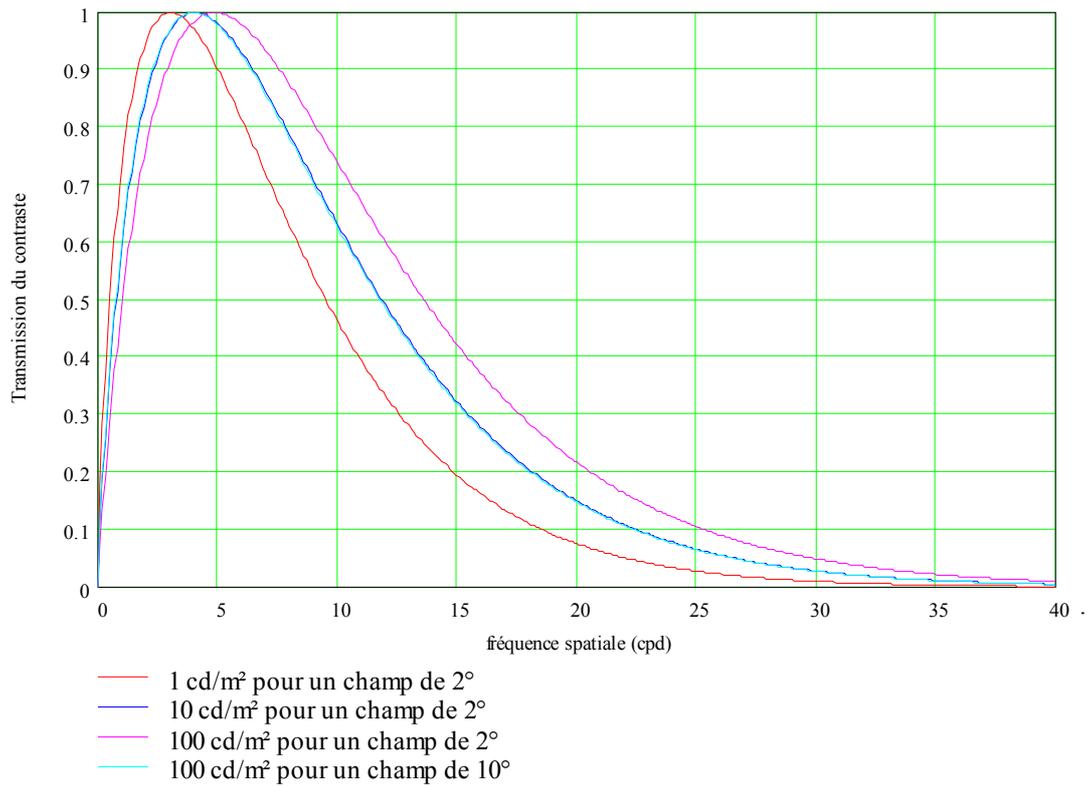
La variation de la sensibilité au contraste en fonction de la fréquence spatiale peut être facilement mise en évidence en observant une mire de contraste 100% composée de barres noires et blanches dont on s'éloigne progressivement : l'écart de luminance entre les barres noires et blanches s'atténue progressivement, les barres noires tournent au gris foncé tandis que les barres blanches tournent au gris clair pour finir par former une surface uniformément grise. Pour une première approche nous pouvons alors considérer l'œil comme un filtre de contraste suivi d'un détecteur calé sur le seuil de contraste défini par le pic de la fonction de sensibilité au contraste. En toute rigueur il faudrait tenir compte du bruit neuronal, bâtir un modèle bien plus complexe et travailler sur le rapport signal sur bruit. On remarquera au passage que l'œil humain est en termes de résolution un piètre système optique, très éloigné de la limite imposée par la diffraction.

La fonction de transfert du filtre oculaire $FTMR_{OC}$ s'exprime facilement à partir de la CSF comme :

$$FTMR_{OC}(v_{OC}) = \frac{CSF(v_{OC})}{\max[CSF(v_{OC})]} \tag{19}$$

Le seuil de détection C_{DET} est directement donné par le pic de la CSF :

$$C_{DET} = \frac{1}{\max[CSF(v_{OC})]} \tag{20}$$



Fonction de transfert du filtre oculaire

<i>Luminance (cd/m²)</i>	<i>Contraste minimal</i>
1 @ 2°	1,00%
10 @ 2°	0,50%
100 @ 2°	0,30%
100 @ 10°	0,20%

Seuil de détection du contraste

La détermination de la courbe de sensibilité au contraste à exploiter passe par l'estimation de la luminance apparente des objets planétaires. La luminance apparente dépend du grossissement G utilisé et son ordre de grandeur est donné lorsque la pupille de sortie est inférieure à la pupille oculaire – ce qui en pratique est toujours le cas en observation planétaire – par la relation :

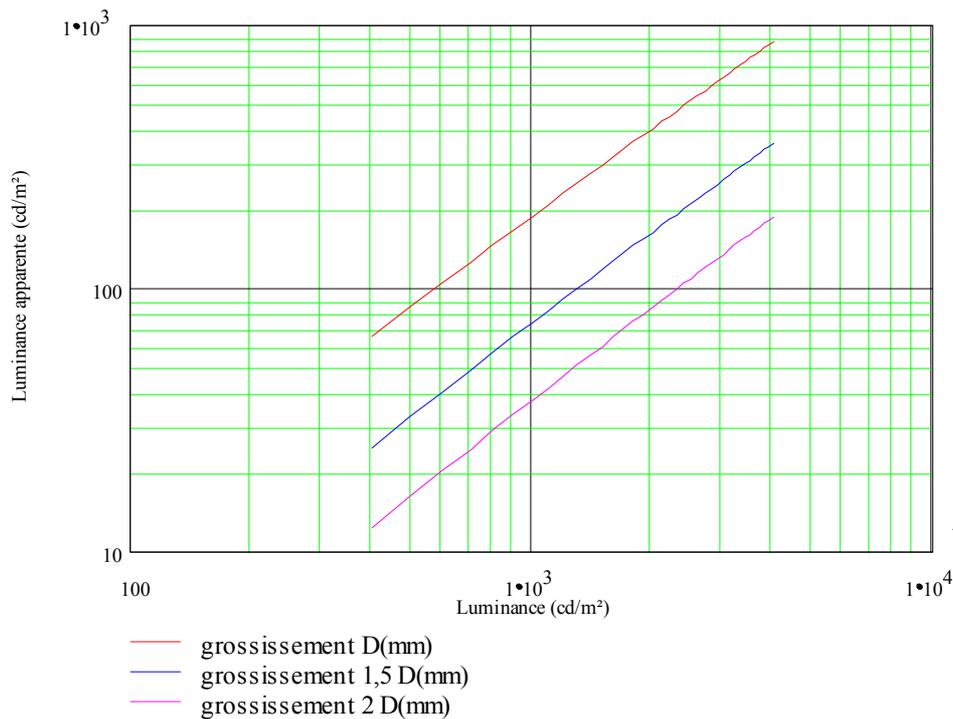
$$L_a = \frac{D^2}{E p_{oc}^2 \cdot G^2} \cdot L_p \tag{21}$$

où

- D est le diamètre de l'instrument
- G est le grossissement utilisé
- L_p est la luminance de la surface planétaire considérée
- $E p_{oc}$ est le diamètre de la pupille oculaire lorsque la luminance de la mire observée est L_a

avec $E p_{oc}$ exprimé en millimètres en fonction de la luminance L_a en cd/m^2 par la relation :

$$E p_{oc} = 4,9 - 3 \cdot \tanh(0,4 \cdot (\log L_a + 1)) \tag{22}$$



Luminance apparente en fonction du grossissement utilisé

<i>Objet</i>	<i>Luminance réelle</i>	<i>Grossissement D</i>	<i>Grossissement 1,5 D</i>	<i>Grossissement 2 D</i>
Lune	3000 cd/m^2	635 cd/m^2	260 cd/m^2	135 cd/m^2
Mars	2400 cd/m^2	500 cd/m^2	200 cd/m^2	105 cd/m^2
Jupiter	600 cd/m^2	105 cd/m^2	40 cd/m^2	20 cd/m^2

Luminance apparente des surfaces planétaires

Les surfaces des objets planétaires sont vues sous les grossissements habituels avec des luminances apparentes comprises entre une dizaine et quelques centaines de cd/m^2 . On retiendra pour dresser le modèle utilisé dans la présente étude les courbes de sensibilité au contraste pour une luminance de 100 cd/m^2 sur un champ de 10° et de 10 cd/m^2 sur un champ de 2° qui définissent des FTM identiques : elles sont respectivement représentatives de la réponse de l'œil pour une observation de la Lune et pour une observation de Jupiter. La courbe de sensibilité à 100 cd/m^2 sur un champ de 10° reste de toute façon représentative du comportement de l'œil pour une mire de luminance allant jusqu'à 1000 cd/m^2 sur un champ de 50° , et les courbes de FTM présentent d'une manière générale des différences peu significatives dans la plage des luminances relative à la vision photopique.

Critères de comparaison et grossissement optimal

La détermination de la plage des fréquences spatiales des composantes sinusoïdales détectables à l'œil est à la base de la comparaison des instruments : la plage des fréquences détectables dépend à la fois des caractéristiques optiques intrinsèques de l'instrument, du contraste brut C_e du motif d'excitation et du grossissement utilisé G , seuls les motifs sinusoïdaux donnant à la sortie de l'instrument un contraste supérieur au seuil de détection étant comptabilisés.

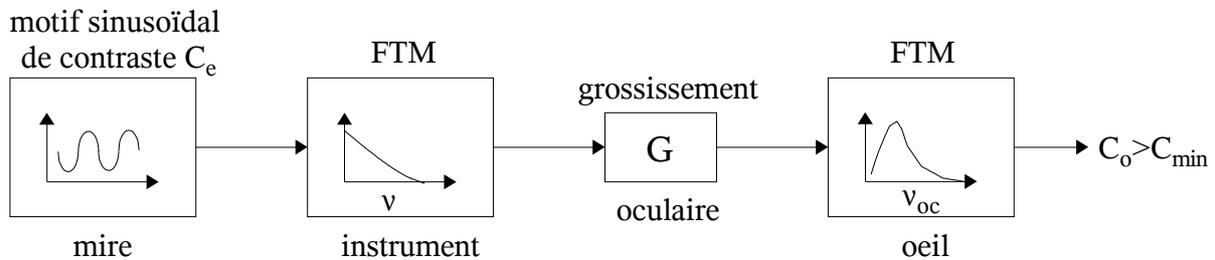


Schéma de comparaison utilisé

On peut considérer que la FTM de l'œil précédemment définie reste applicable derrière un oculaire : d'une part, bien qu'il ne faille pas tenir compte deux fois de la diffraction, la FTM de l'œil corrigée de la diffraction n'est significativement pas différente de cette FTM intrinsèque ; d'autre part, la petitesse de la pupille de sortie de l'instrument fait que seule la région centrale de la pupille oculaire est exploitée, or cette région présente des défauts optiques moindres, et il est de plus raisonnable de considérer des défauts d'autant plus faibles que la surface optique en jeu est petite. Dans ces conditions, la combinaison des réponses de l'instrument et de l'œil à travers un grossissement G définit dans le domaine des fréquences spatiales instrumentales une FTM combinée :

$$FTMR_{COMB}(\nu) = FTMR(\nu) \cdot FTMR_{OC}\left(\frac{\pi}{180} \cdot \frac{\nu}{G}\right) \quad [23]$$

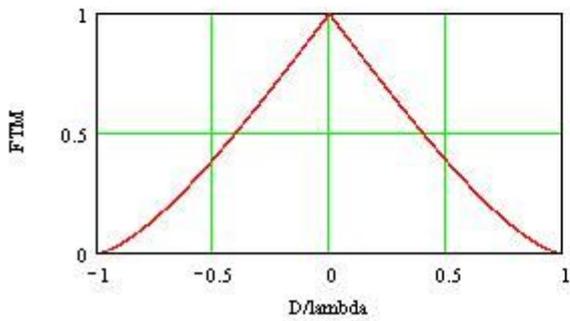
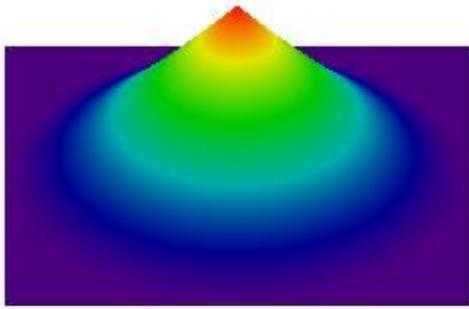
En exprimant le grossissement relatif Gr comme la fraction du grossissement par rapport au diamètre instrumental exprimé en millimètres :

$$G = Gr \cdot D \cdot 10^3 \quad [24]$$

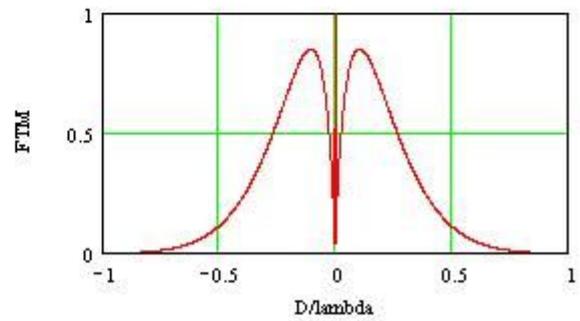
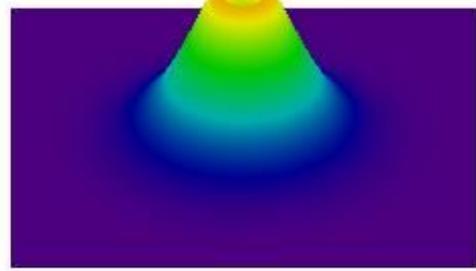
puis en normalisant les fréquences spatiales par rapport à la fréquence de coupure ν_c en posant $r = \nu / \nu_c$ où $\nu_c = D / \lambda$ est considérée à la longueur d'onde $\lambda = 550 \text{ nm}$ correspondant au maximum de sensibilité spectrale de la vision photopique, il vient :

$$FTMR_{COMB}(r) = FTMR(r) \cdot FTMR_{OC}\left(\frac{10 \pi}{Gr} \cdot r\right) \quad [25]$$

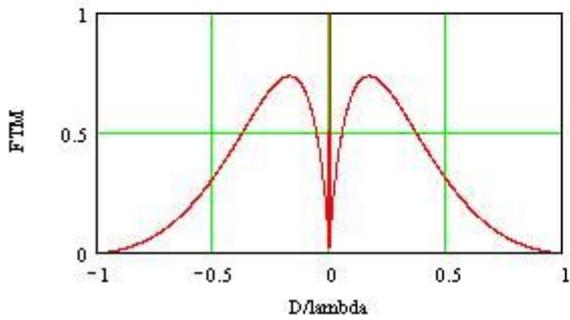
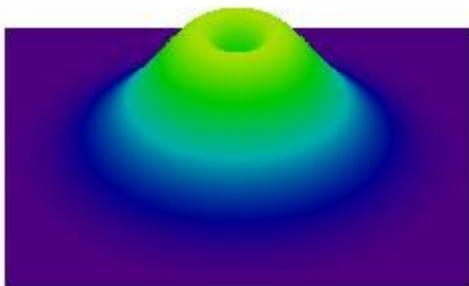
FTM instrumentale



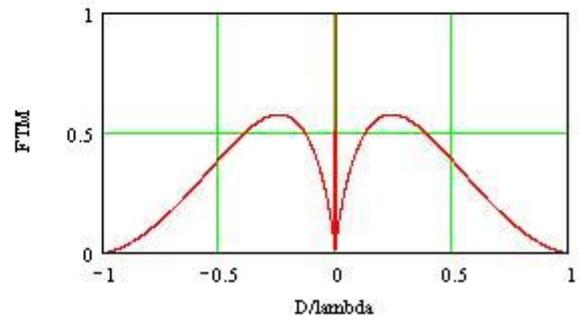
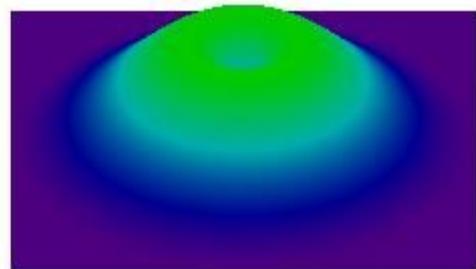
FTM combinée - grossissement D



FTM combinée - grossissement 2D



FTM combinée - grossissement 4D



FTM combinée en fonction du grossissement pour une lunette limitée par la diffraction

La prise en compte du seuil de détection du contraste définit plusieurs critères de comparaison des instruments illustrés par la figure suivante :

- un critère de résolution effective portant sur le volume compris dans l'enveloppe définie par la FTM combinée et les fréquences spatiales pour lesquelles le contraste en sortie est supérieur au seuil de détection
- un critère de bande passante effective portant sur la surface définie par les fréquences spatiales pour lesquelles le contraste en sortie est supérieur au seuil de détection
- un critère de fréquence de coupure effective portant sur l'écart entre la fréquence spatiale la plus élevée et la plus faible pour lesquelles le contraste en sortie est supérieur au seuil de détection

L'application de chacun de ces critères donne une valeur dépendante du contraste d'excitation : la comparaison des instruments donnera donc des résultats différents en fonction du contraste de la mire d'excitation et du grossissement utilisés, les contrastes faibles étant bien évidemment plus dimensionnants. Les critères eux-mêmes présentent des degrés de sévérité différents : nous retiendrons pour l'étude le plus sévère et le moins sévère, soit respectivement le critère de résolution effective et le critère de fréquence de coupure effective.

Nous allons baser la comparaison des instruments sur le calcul du diamètre effectif des instruments selon les deux critères retenus. Nous rappelons que le diamètre effectif d'un instrument est le diamètre de l'instrument non obstrué et limité par la diffraction donnant une image équivalente, soit la même résolution effective ou le même écart entre les fréquences de coupure effectives.

La résolution effective Re d'un instrument s'écrit dans l'hypothèse d'une FTM présentant une symétrie de révolution :

$$Re = 2 \cdot \pi \cdot \int_{\nu_L}^{\nu_H} \nu \cdot FTMR_{COMB}(\nu) \cdot d\nu \quad [26]$$

où ν_H et ν_L sont respectivement les fréquences de coupure haute et basse définies par le seuil de détection en contraste de l'œil.

Pour l'instrument de référence constitué par une lunette limitée par la diffraction, la résolution Re_{ref} s'écrit :

$$Re_{ref} = 2 \cdot \pi \cdot \int_{\nu_{Lref}}^{\nu_{Href}} \nu \cdot FTMR_{COMBref}(\nu) \cdot d\nu \quad [27]$$

où ν_{Href} et ν_{Lref} sont respectivement les fréquences de coupure haute et basse définies par le seuil de détection en contraste de l'œil.

En appliquant respectivement dans les expressions [26] et [27] les changements de variable normalisant l'espace des fréquences $r = \nu/\nu_C$ et $r = \nu/\nu_{Cref}$, il vient :

$$Re = 2 \cdot \pi \cdot \nu_C^2 \cdot \int_{r_L}^{r_H} r \cdot FTMR_{COMB}(r) \cdot dr \quad [28]$$

$$Re_{ref} = 2 \cdot \pi \cdot \nu_{Cref}^2 \cdot \int_{r_{Lref}}^{r_{Href}} r \cdot FTMR_{COMBref}(r) \cdot dr \quad [29]$$

L'égalité $\mathbf{Re}=\mathbf{Re}_{ref}$ permet de définir le diamètre effectif de l'instrument, le terme \mathbf{Re} étant relatif à son diamètre physique D introduit par ν_C avec $\nu_C=D/\lambda$ et le terme \mathbf{Re}_{ref} étant relatif à son diamètre effectif De introduit par $\nu_{Cref}=De/\lambda$.

Il vient alors de façon particulièrement évidente l'expression du diamètre effectif relatif à l'application du critère de résolution effective en fonction du diamètre physique :

$$\frac{De}{D} = \left[\frac{\int_{r_L}^{r_H} r \cdot FTMR_{COMB}(r) \cdot dr}{\int_{r_{Lref}}^{r_{Href}} r \cdot FTMR_{COMBref}(r) \cdot dr} \right]^{1/2} \quad [30]$$

où le calcul de la FTM combinée de référence considère la FTM instrumentale réduite à une dimension dans l'espace des fréquences normalisées :

$$FTMR_{ref}(r) = \frac{-2 \cdot \sqrt{1-r^2} \cdot r - 2 \cdot \arcsin(r) + \pi}{\pi} \quad [31]$$

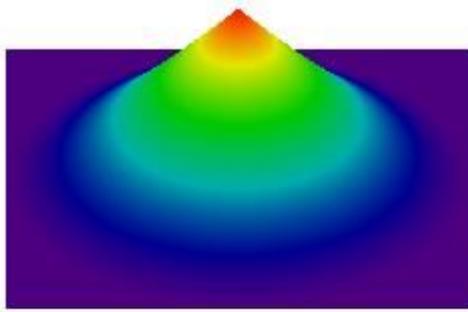
Une démarche similaire conduit de façon immédiate à l'expression du diamètre effectif relatif à l'application du critère de fréquence de coupure effective en fonction du diamètre physique :

$$\frac{De}{D} = \frac{r_H - r_L}{r_{Href} - r_{Lref}} \quad [32]$$

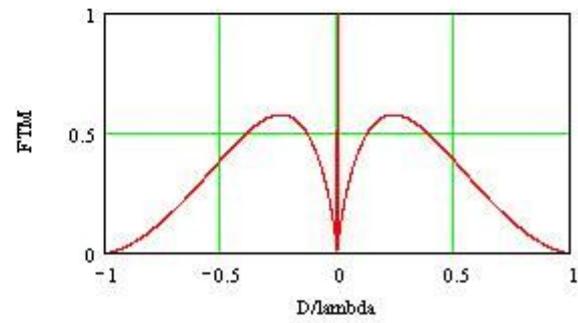
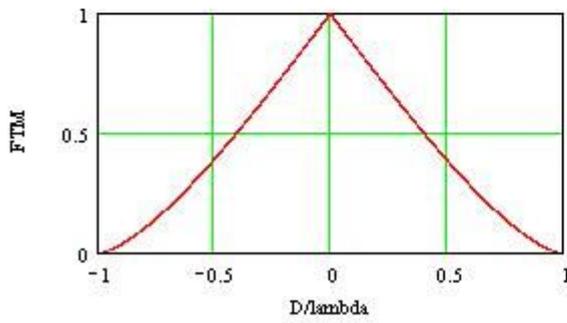
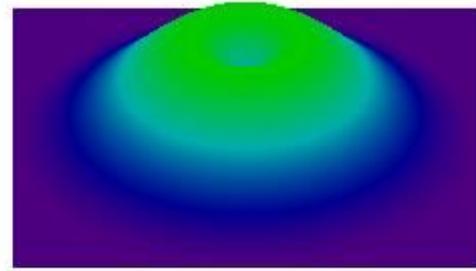
Le diamètre effectif normalisé par rapport au diamètre physique D est calculé en recherchant le grossissement relatif Gr qui maximalise le terme au numérateur définissant ainsi le grossissement optimal, tout en déterminant le grossissement relatif Gr_{ref} qui maximalise le dénominateur caractérisant ainsi la meilleure image au sens du critère de résolution utilisé qu'il soit possible d'obtenir avec un instrument de diamètre D . Le grossissement optimal est celui qui harmonise le contenu spectral de l'image avec la réponse de l'œil selon le critère de résolution utilisé. Un grossissement trop faible comme un grossissement trop élevé va positionner les plus petits détails transmis par l'instrument en dehors de la plage de résolution accessible à l'œil et ainsi fournir une image moins résolue.

Les calculs du diamètre effectif et du grossissement normalisé optimal sont menés pour des contrastes d'excitation de 10% (contraste fort), 5% (contraste moyen) et 2% (contraste faible).

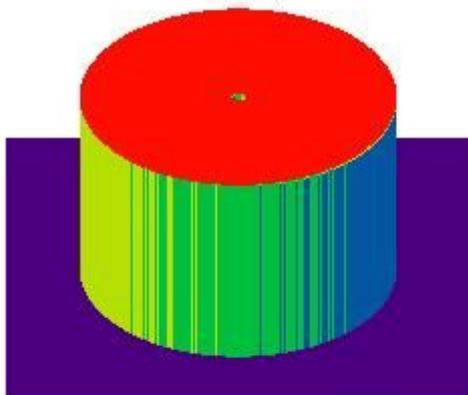
FTM instrumentale



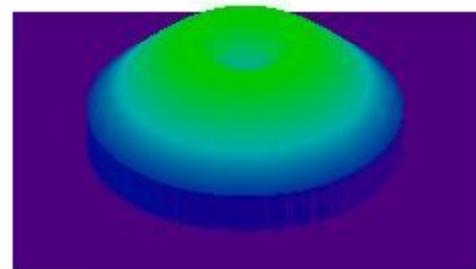
FTM combinée - grossissement 4D



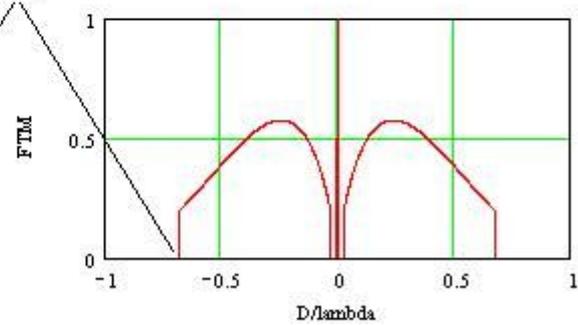
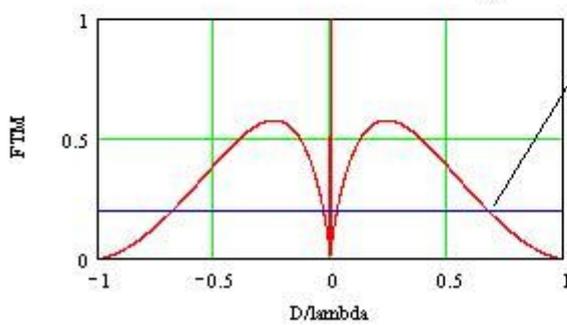
FTM combinée - bande passante effective



FTM combinée - résolution effective



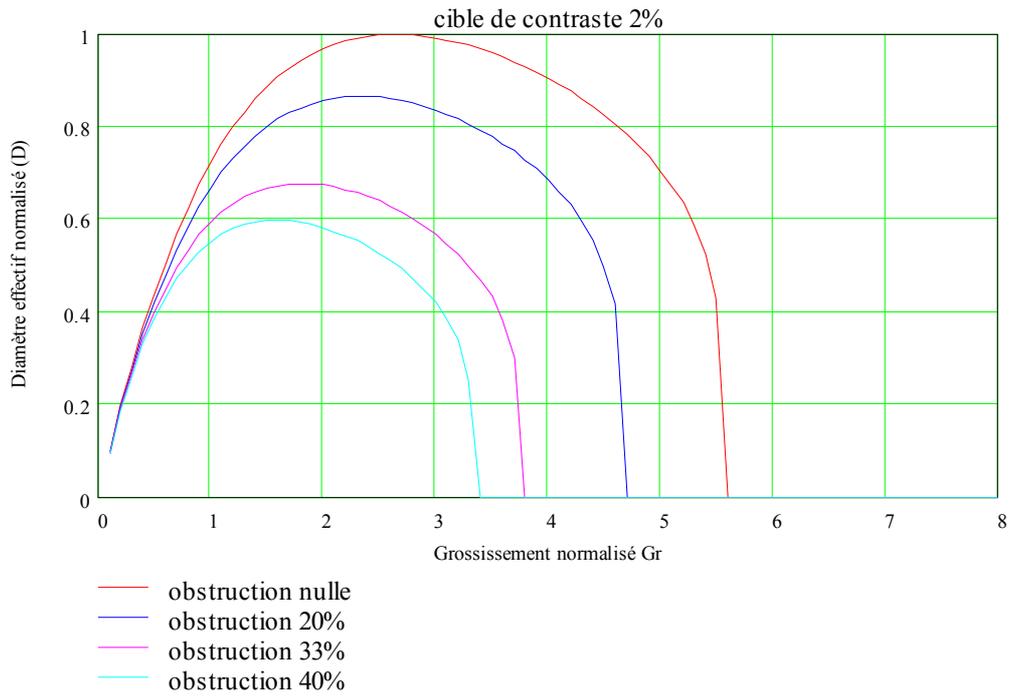
fréquence de coupure effective



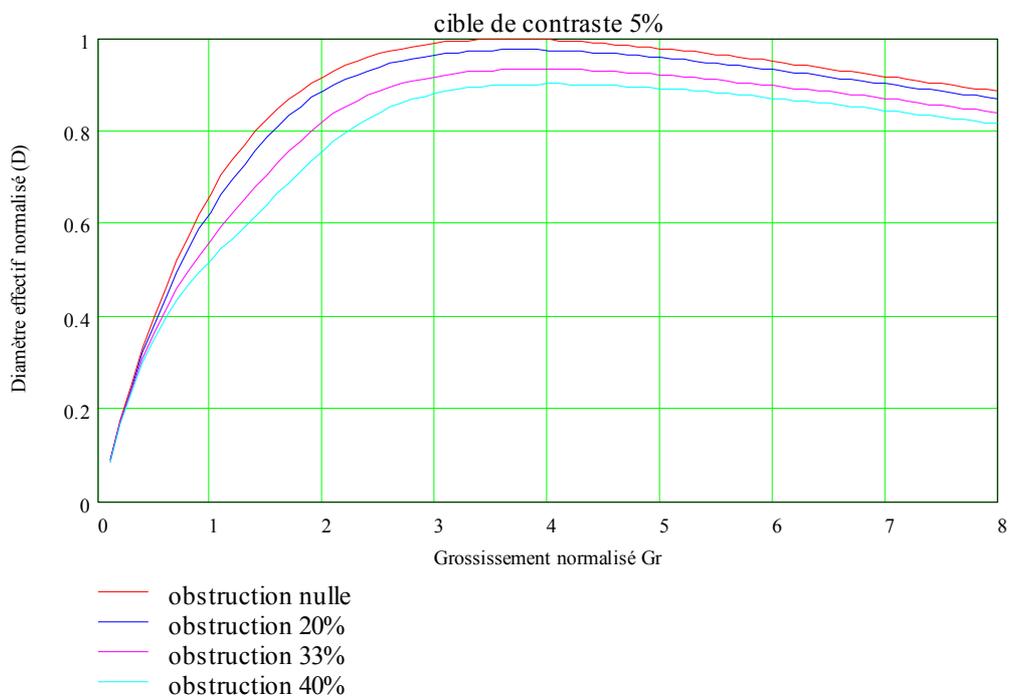
Contraste d'excitation 5% - Seuil de détection 1% - grossissement 4D

**Critères de comparaison
Application pour une lunette limitée par la diffraction**

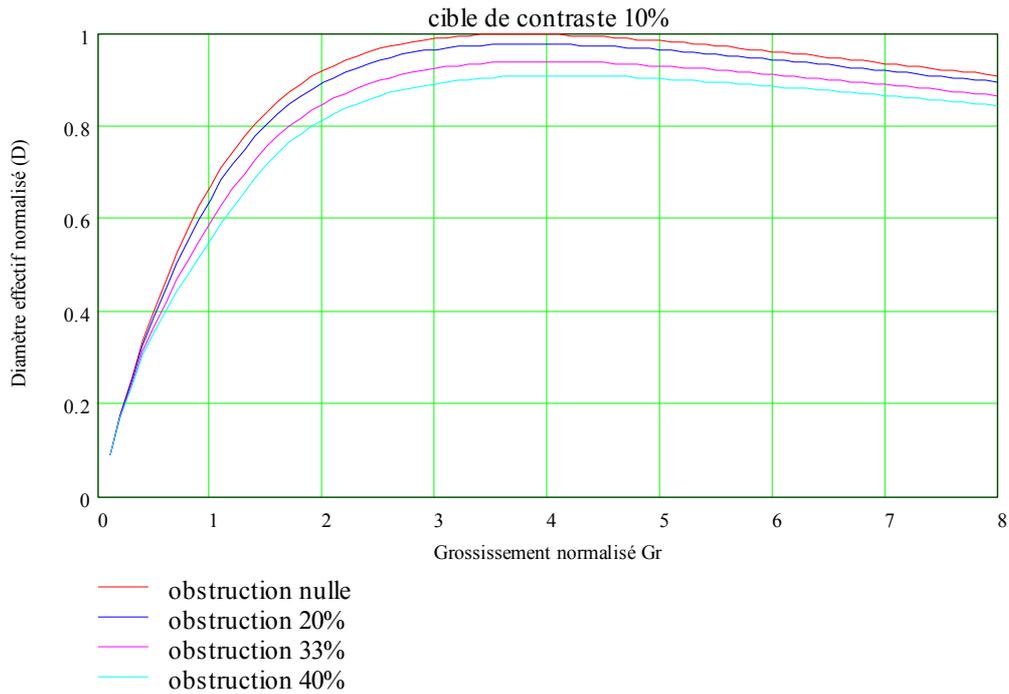
Critère de résolution effective appliqué aux instruments limités par la diffraction



Diamètre effectif visuel normalisé sur mire de contraste 2%

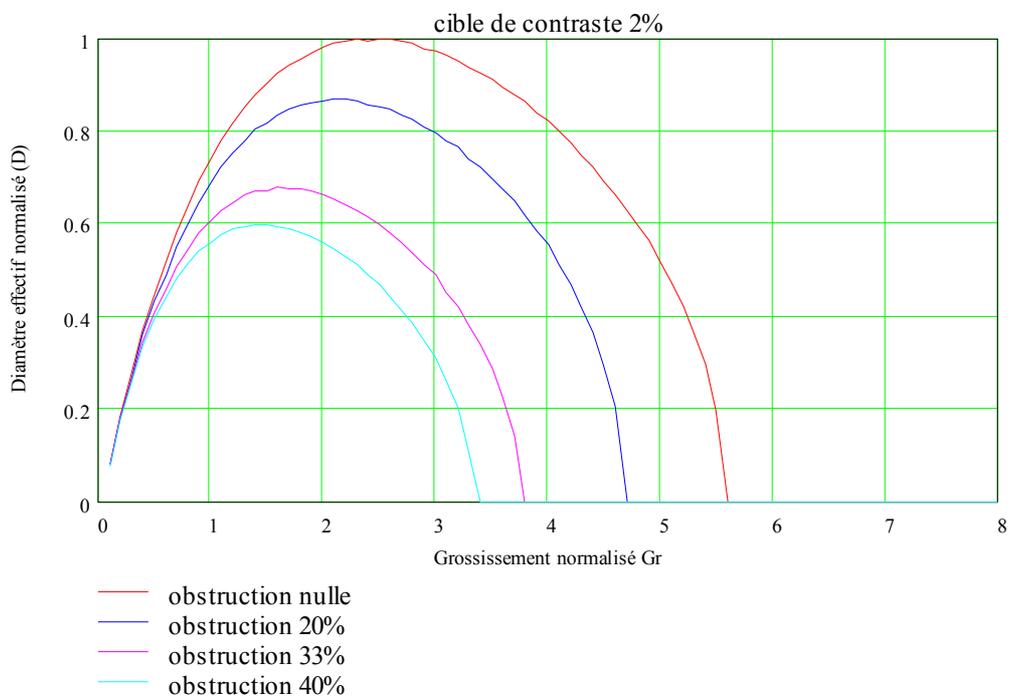


Diamètre effectif visuel normalisé sur mire de contraste 5%

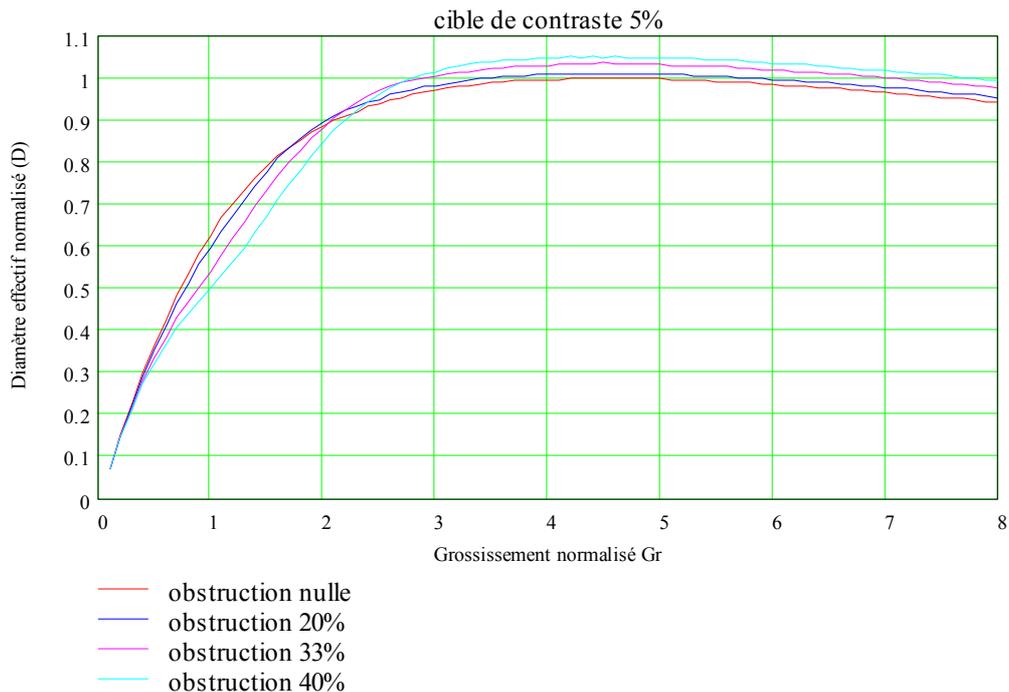


Diamètre effectif visuel normalisé sur mire de contraste 10%

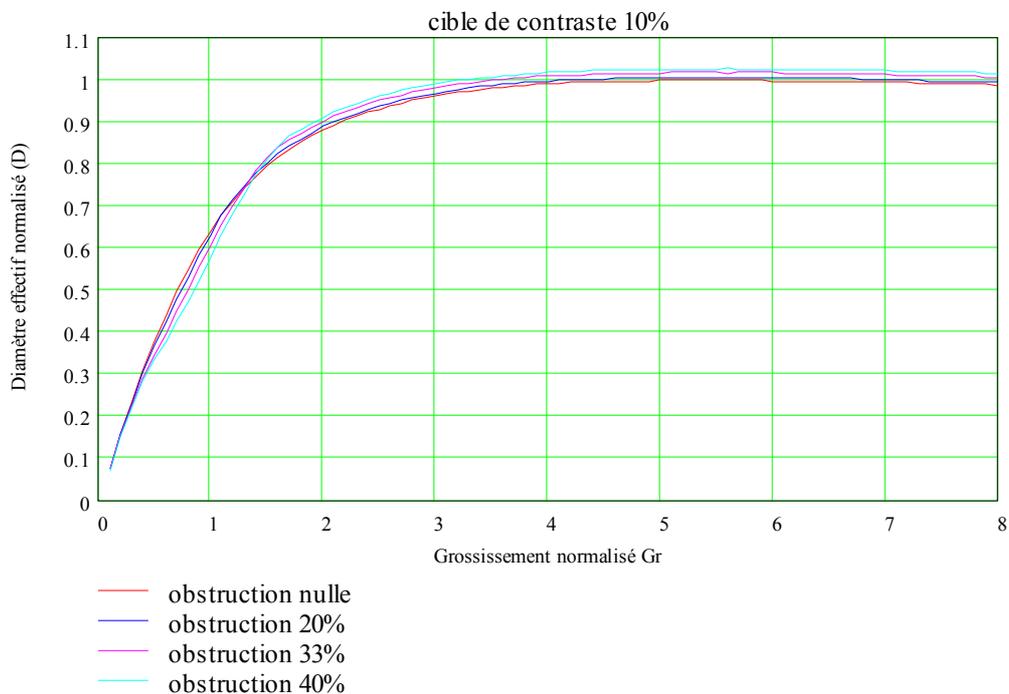
Critère de fréquence de coupure effective appliqué aux instruments limités par la diffraction



Diamètre effectif visuel sur mire de contraste 2%



Diamètre effectif visuel sur mire de contraste 5%



Diamètre effectif visuel sur mire de contraste 10%

Influence de l'obstruction et grossissement optimal

Lorsque l'on augmente progressivement le grossissement pour un objet donné, le modèle prédit que l'image commence logiquement par présenter des détails de plus en plus fins jusqu'à ce que l'on atteigne le grossissement optimal, puis la finesse de l'image diminue jusqu'à ce que l'on atteigne le grossissement de coupure au delà duquel la résolution de l'image devient nulle. Le grossissement optimal et le grossissement de coupure sont des notions qui sont particulièrement évidentes avec des contrastes faibles pour lesquels grossissement optimal et grossissement de coupure sont proches de sorte que la dégradation de résolution entre le grossissement optimal et le grossissement de coupure est relativement régulière. En revanche pour les contrastes moyens et forts, la résolution commence par diminuer de façon modérée avant de s'effondrer brutalement à l'approche du grossissement de coupure. Cette différence de comportement s'explique par le fait que la région de la FTM instrumentale exploitée par l'œil dépend du contraste brut du motif d'excitation : notamment pour les contrastes faibles, la région de la FTM concernée est la plage inférieure des fréquences spatiales transmises, où la pente de la FTM est la plus forte, tandis que pour les contrastes élevés, l'œil exploite avec le grossissement adéquat la plage supérieure des fréquences spatiales transmises, où la pente de la FTM est la plus faible.

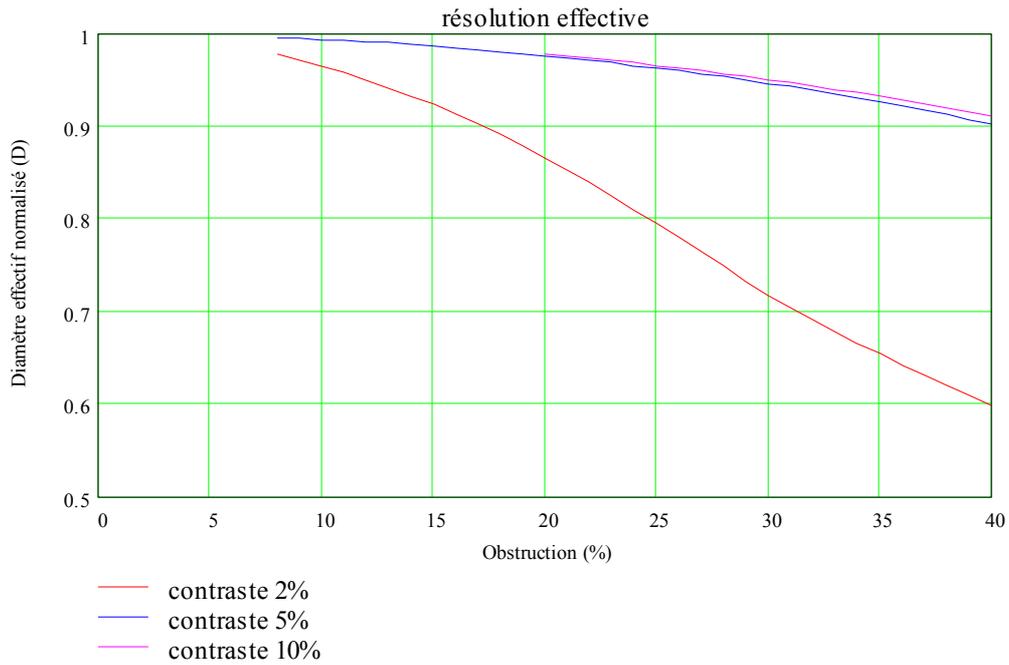
Dans le cas d'instruments limités par la diffraction, une estimation du diamètre effectif Dep propre à l'instrument est donnée en fonction du diamètre physique D par les relations suivantes :

- $Dep \approx (1 - ob) \cdot D$, pour les contrastes faibles [33']
- $Dep \approx D$, pour les contrastes forts [33"]

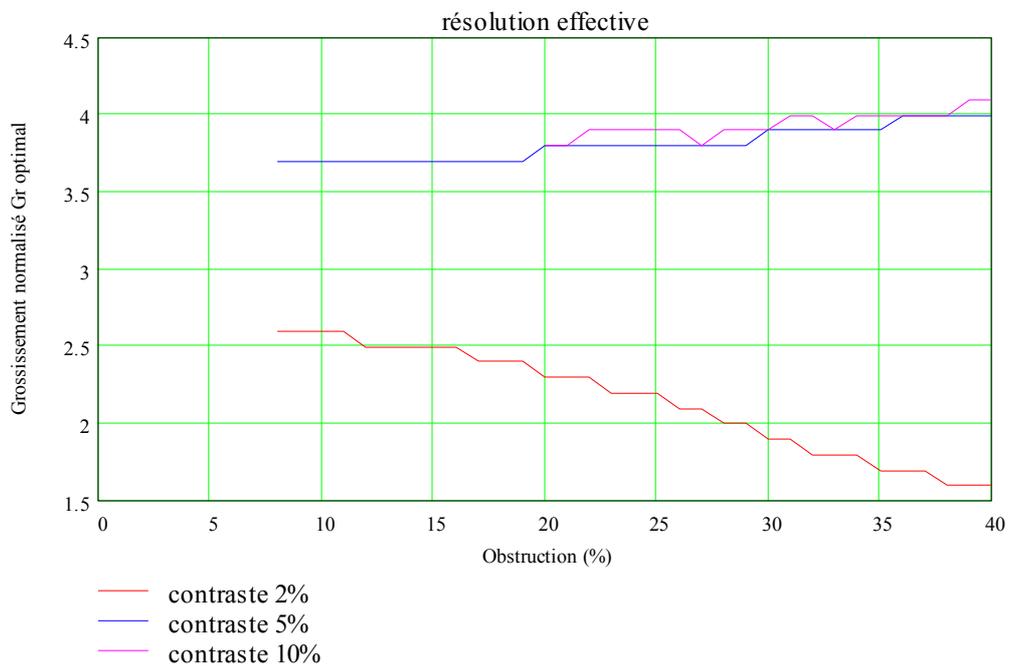
En particulier, l'influence d'une obstruction inférieure à 20% peut être considérée comme négligeable tant sur le diamètre effectif propre que sur le grossissement optimal. Lorsque l'on considère le critère de fréquence de coupure effective, on constate même que l'obstruction améliore le diamètre effectif aux contrastes moyens et élevés, traduisant le fait que l'obstruction augmente légèrement la FTM dans la plage supérieure des fréquences spatiales transmises. L'obstruction n'est donc pas un facteur rédhibitoire pour l'observation planétaire à haute résolution : certes, elle diminue le diamètre effectif pour les contrastes faibles, mais cette diminution peut être avantageusement compensée par l'augmentation du diamètre physique, le coût d'acquisition d'un télescope restant à performance égale très inférieur à celui d'une lunette. La similitude des résultats obtenus avec les deux critères est un bon indicateur de la pertinence des calculs.

Le grossissement optimal est compris entre 2,5 et 4 fois le diamètre effectif propre de l'instrument exprimé en millimètres et est largement supérieur au grossissement dit résolvant exprimé dans la littérature pour amateurs comme la moitié du diamètre physique en millimètres, sauf à considérer des instruments fortement obstrués et de surcroît de mauvaise qualité : soit un grossissement relatif de 2,5 corrigé de l'obstruction pour observer des objets faiblement contrastés à un grossissement relatif de 4 pour observer des objets fortement contrastés. Un instrument astronomique de qualité utilisé à un grossissement relatif de $\frac{1}{2}$ sera donc en tout état de cause largement sous exploité. On peut d'ores et déjà conclure qu'il faut utiliser les instruments à des grossissements beaucoup plus élevés que ceux habituellement indiqués dans la littérature, à condition que la qualité instrumentale comme la turbulence atmosphérique le permettent.

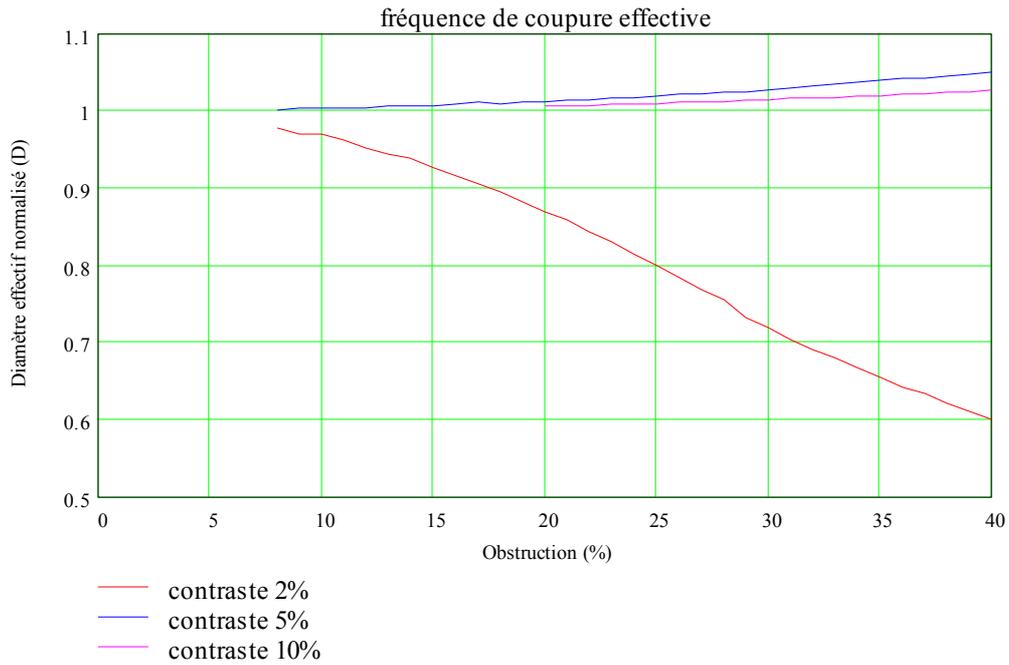
Le diamètre effectif propre devra être corrigé ultérieurement du facteur d'état de surface pour tenir compte des défauts de polissage de l'optique dans le cas d'instruments réels. Nous verrons au chapitre suivant comment déterminer ce facteur d'état de surface à partir du front d'onde instrumental. Puis pour finir nous prendrons en compte la turbulence atmosphérique dans le calcul du diamètre effectif apparent et du grossissement optimal correspondant.



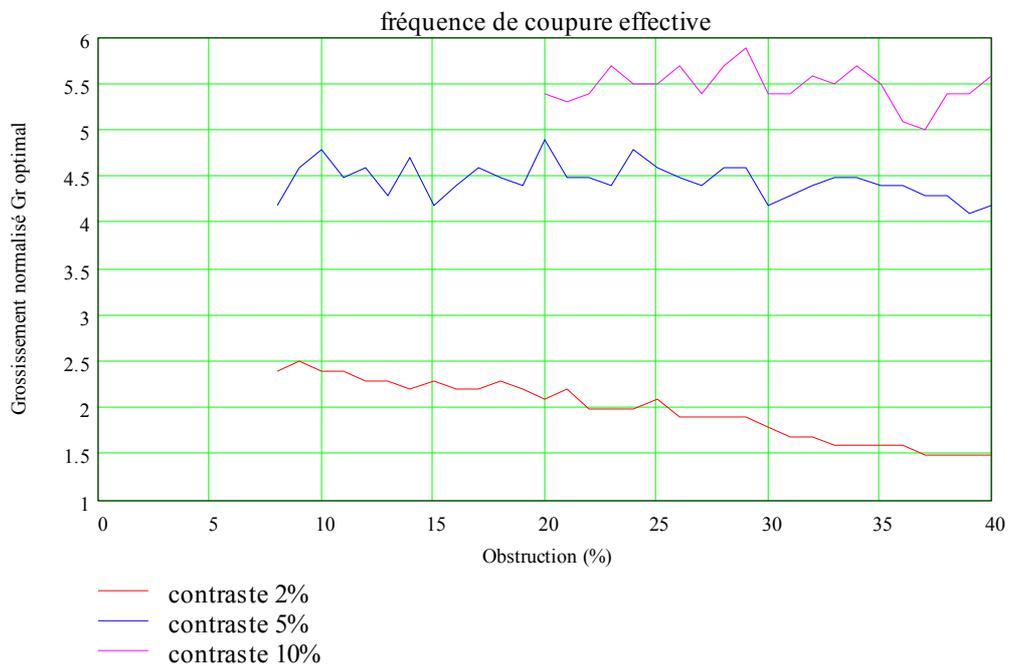
Diamètre effectif visuel normalisé en fonction de l'obstruction
Critère de résolution effective appliqué aux instruments limités par la diffraction



Grossissement optimal visuel normalisé en fonction de l'obstruction
Critère de résolution effective appliqué aux instruments limités par la diffraction



Diamètre effectif visuel normalisé en fonction de l'obstruction
Critère de fréquence de coupure effective appliqué aux instruments limités par la diffraction



Grossissement optimal visuel normalisé en fonction de l'obstruction
Critère de fréquence de coupure effective appliqué aux instruments limités par la diffraction

Instruments réels

Aucun instrument n'est en réalité limité par la diffraction. Il y a toujours des défauts optiques résiduels qui font que les instruments sur lesquels l'analyse a porté jusqu'à présent constituent un idéal théorique impossible à atteindre en pratique. Par contre, il est possible de s'approcher de cet idéal théorique et on peut déterminer quel est le niveau de qualité optique nécessaire en fonction du niveau de qualité d'image recherché, autrement dit de relier des paramètres mesurant la qualité d'une optique à la notion de diamètre effectif déjà évoquée précédemment.

Critères de qualité optique courants

Trois critères sont en général référencés dans la littérature astronomique : le critère de Danjon-Couder DC1, le critère de Rayleigh ou critère de Danjon-Couder DC2 et le critère de Françon. Nous allons en rappeler les définitions puis mener une rapide analyse critique avant de présenter une approche moderne unifiée, moins restrictive et plus cohérente, menée exclusivement sur l'analyse du front d'onde au niveau de la pupille de sortie de l'instrument. En effet, ces 3 critères reposent sur des travaux déjà anciens dont les fondements apparaissent essentiellement empiriques, et un minimum de réflexion s'impose donc d'autant qu'une grande confusion règne à ce sujet parmi les astronomes amateurs.

Le critère DC1 stipule que l'aberration transversale réduite ATR doit être inférieure à 1 : une aberration transversale réduite inférieure à 1 impose que les rayons lumineux issus de la pupille convergent tous à l'intérieur du disque d'Airy, soit à l'intérieur du disque défini par le premier anneau sombre de la tache de diffraction, ou plus rigoureusement que la valeur absolue de la pente du front d'onde émergent reste toujours inférieure à la valeur $1,22 \cdot \lambda / D$.

Le critère DC2 stipule que l'erreur de front d'onde résultante doit être inférieure à $\lambda/4$ ptv (peak-to-valley pour crête à creux). A noter que le critère de Rayleigh définit également la limite de Maréchal de $\lambda/13,5$ rms, les grandeurs rms étant reliées aux grandeurs ptv par un facteur $\sqrt{12}$ lorsque l'on considère une répartition statistique uniforme des défauts.

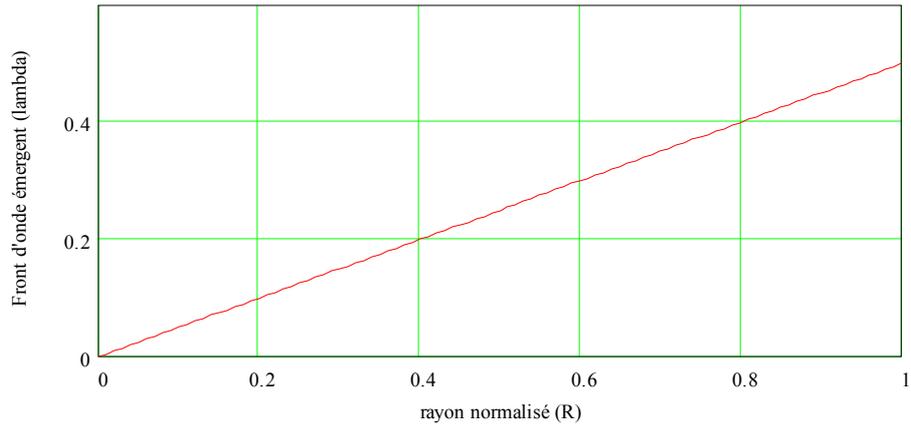
Le critère de Françon stipule que l'erreur de front d'onde résultante doit être inférieure à $\lambda/16$ ptv.

Il est généralement admis qu'un instrument doit satisfaire simultanément les critères DC1 et DC2 pour pouvoir être considéré comme un instrument de qualité astronomique, satisfaisant un rapport de Strehl après correction de l'obstruction – soit un facteur d'état de surface tel que défini par la suite – meilleur que 0,8. Il est également admis qu'un instrument doit satisfaire le critère de Françon pour transmettre une image sans perte de contraste perceptible.

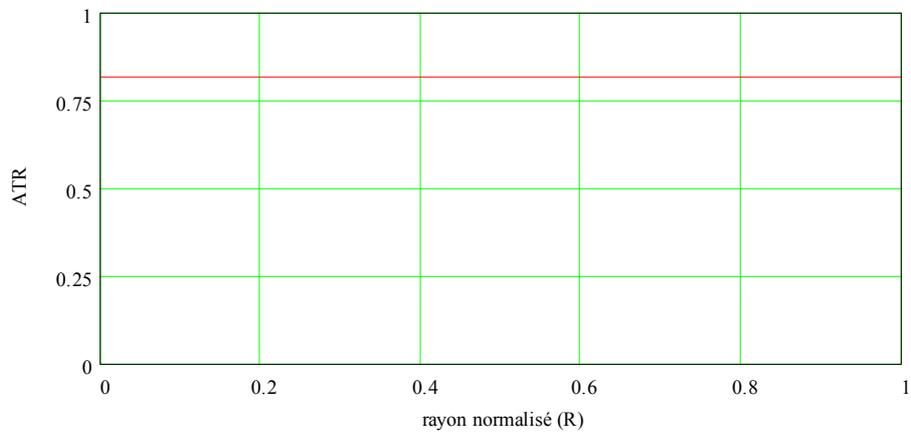
Analyse préliminaire

L'analyse préliminaire est menée par calcul du rapport de Strehl et de la réponse d'une optique non obstruée à une mire représentative d'un objet planétaire, pour les cas particuliers suivants :

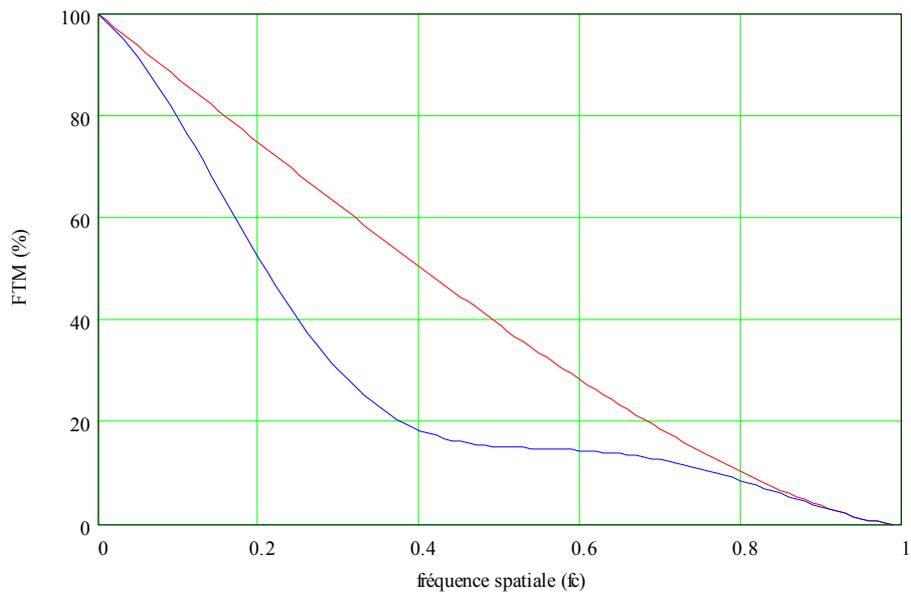
- optique limitée par la diffraction
- optique avec erreur de front d'onde émergent ΔW conique d'amplitude $\lambda/2$
- optique avec erreur de front d'onde émergent ΔW sphérique d'amplitude λ contrebalancée à $\lambda/4$
- optique avec erreur de front d'onde émergent ΔW radiale sinusoïdale d'amplitude $\lambda/4$ et de période $0,644 D$



Front d'onde avec une erreur conique d'amplitude $\lambda/2$



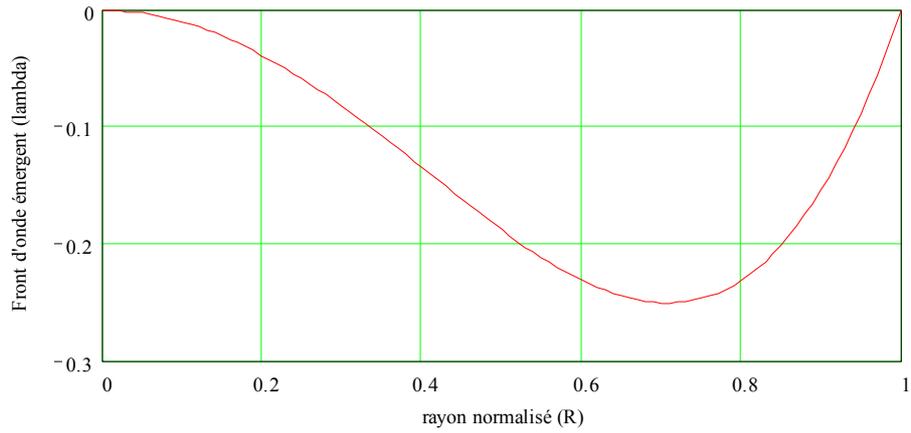
ATR avec une erreur conique d'amplitude $\lambda/2$



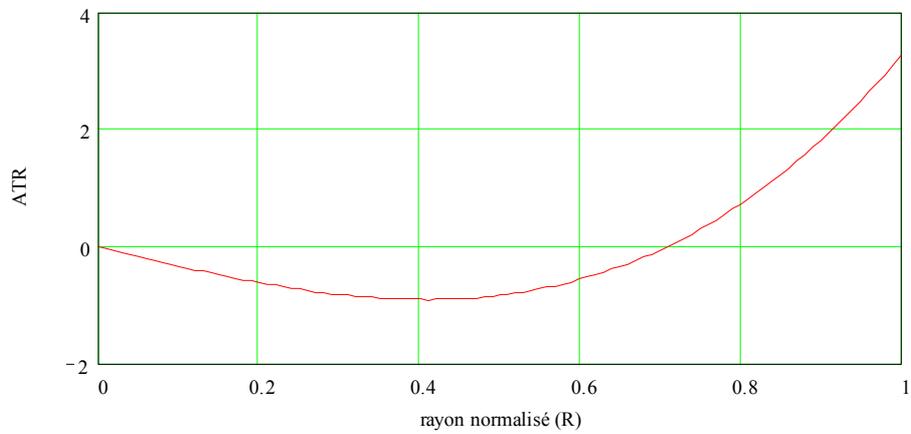
- optique de référence limitée par la diffraction
- aberration conique d'amplitude $\lambda/2$

FTM avec erreur conique d'amplitude $\lambda/2$

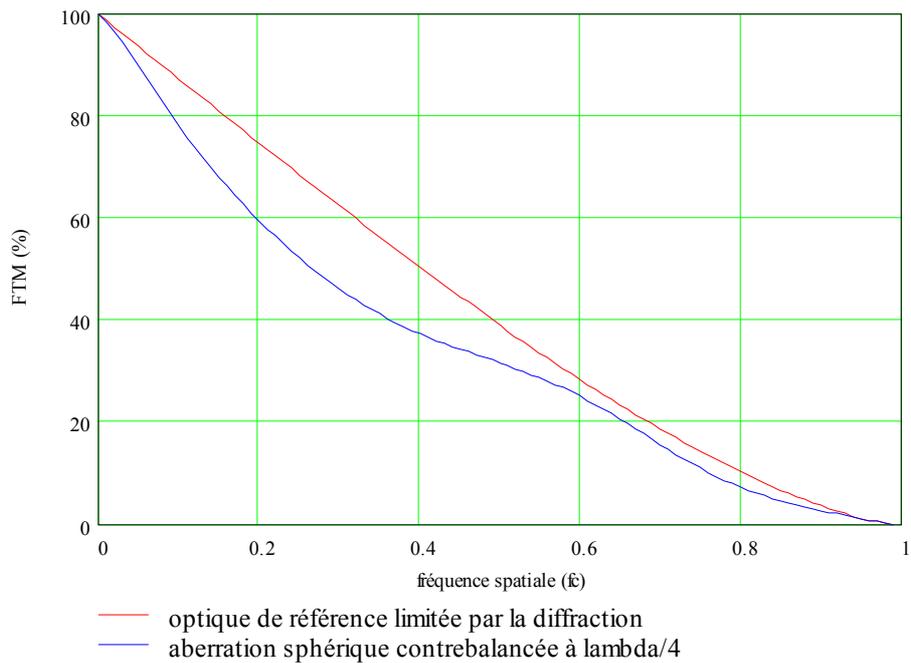
$$ATR = 0,82 - \Delta W_0 = \lambda/2 - SR = 0,57$$



Front d'onde avec une erreur sphérique d'amplitude λ contrebalancée à $\lambda/4$

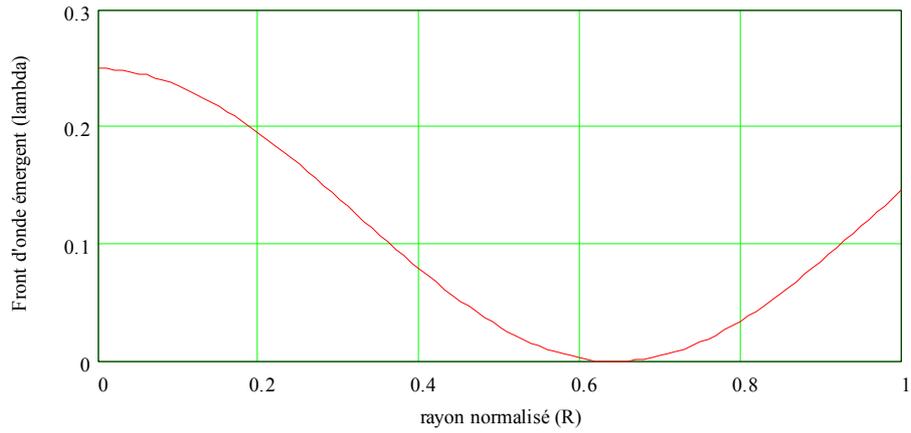


ATR avec une erreur sphérique d'amplitude λ contrebalancée à $\lambda/4$

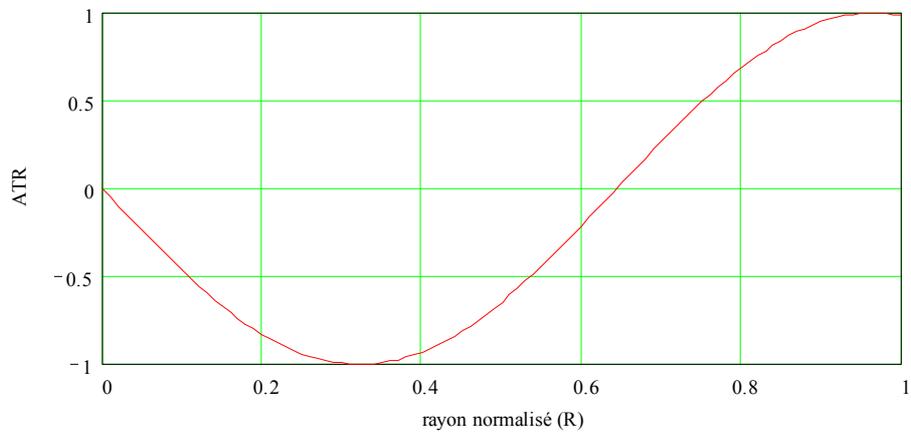


FTM avec une erreur sphérique d'amplitude λ contrebalancée à $\lambda/4$

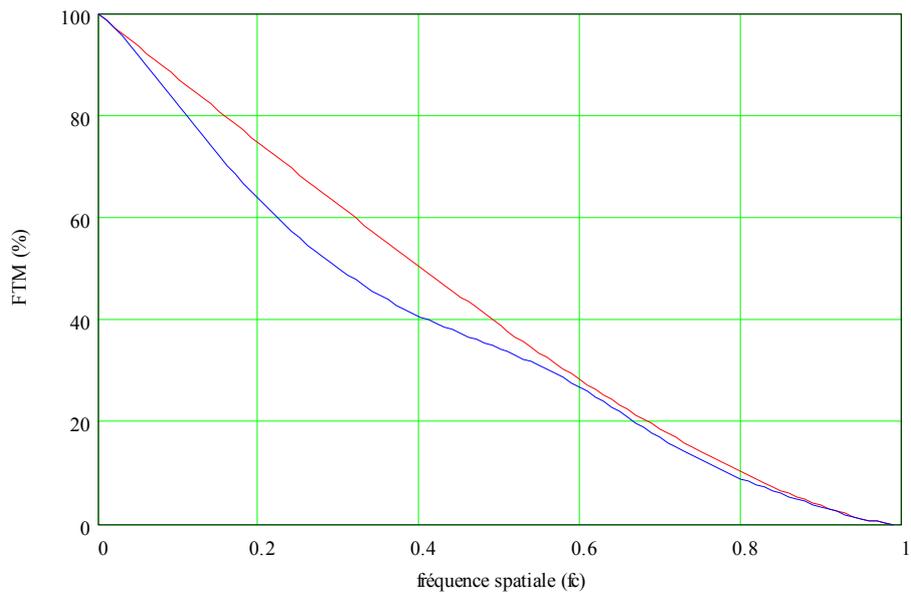
$$ATR = 3,3 - \Delta W_0 = \lambda/4 - SR = 0,8$$



Front d'onde avec une erreur radiale sinusoïdale d'amplitude $\lambda/4$ et de période 0,644 D



ATR avec une erreur radiale sinusoïdale d'amplitude $\lambda/4$ et de période 0,644 D

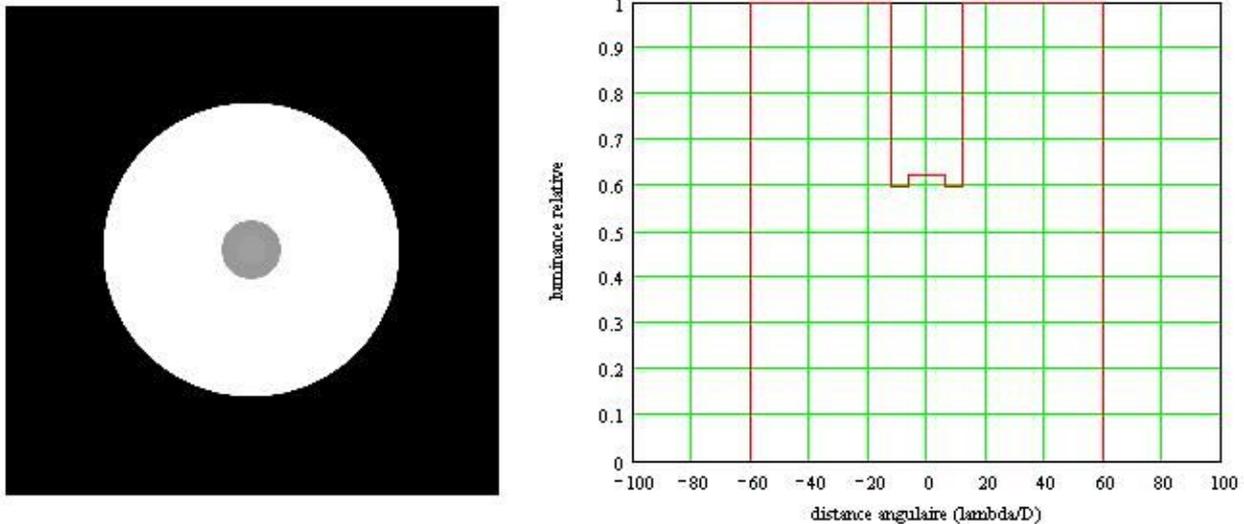


- optique de référence limitée par la diffraction
- aberration radiale sinusoïdale d'amplitude $\lambda/4$

FTM avec une erreur radiale sinusoïdale d'amplitude $\lambda/4$ et de période 0,644 D

$$ATR = 1 - \Delta W_0 = \lambda/4 - SR = 0,87$$

Les surfaces planétaires sont caractérisées par des contrastes faibles, dans la plupart des cas inférieurs à 25%. L'imagerie planétaire est une imagerie à faible dynamique et la mire canonique utilisée pour l'analyse est constituée de trois disques concentriques de diamètres respectifs $120\lambda/D$, $24\lambda/D$ et $12\lambda/D$, définissant deux transitions de contraste -25% et +2%. Une simulation réalisée a posteriori sur Jupiter montre que cette mire est un sujet d'observation exigeant et à ce titre bien représentatif d'un objet planétaire. Pour la caractérisation des optiques, on s'intéresse à la transmission de la transition de contraste +2%.



Mire canonique 120/24/12@-25/+2 représentative d'un objet planétaire

Le tableau suivant synthétise les éléments rassemblés pour l'analyse préliminaire portant sur les critères de qualité optique courants.

Cas	Type d'erreur	ΔW_0	ATR	SR	Contraste transmis	DC1	DC2
1	Aucune	0	0	1	1,62%	oui	oui
2	Conique	$\lambda/2$	0,82	0,57	1,25%	oui	non
3	Sphérique contrebalancée	$\lambda/4$	3,3	0,8	1,26%	non	oui
4	Radiale sinusoïdale	$\lambda/4$	1	0,87	1,43%	oui	oui

Analyse préliminaire

Les résultats obtenus montrent que les critères DC1 et DC2 ne sont pas assez précis pour en conclure qu'ils forment à eux deux une condition nécessaire et suffisante pour définir une optique de qualité astronomique. Il apparaît clairement et logiquement que l'amplitude des défauts de front d'onde est une caractéristique primordiale alors que la pente des défauts n'intervient qu'au second ordre : en particulier, le gain sur le rapport de Strehl et le contraste transmis n'est que de 10 % entre le cas 3 (ATR < 3,3) et le cas 4 (ATR < 1) pour une amplitude des défauts identique de $\lambda/4$. DC1 n'est donc pas un critère déterminant même si à amplitude des défauts de front d'onde égale une optique respectant DC1 sera bien évidemment toujours meilleure.

Les raisonnements conduisant à justifier DC1 avec des arguments géométriques n'ont aucun fondement physique et sont erronés : l'optique géométrique est insuffisante pour traiter le problème car elle ne tient pas compte de la nature ondulatoire de la lumière. Il faut mener l'analyse selon les principes de l'optique ondulatoire et de l'optique statistique.

Aberrations du front d'onde

L'écart front d'onde émergent ΔW d'une optique par rapport à la sphère de référence est la signature de tous les défauts de cette optique : défauts de principe et défauts de fabrication. Certains de ces défauts lorsqu'ils ont un caractère déterministe définissent ce que l'on appelle les aberrations géométriques. La décomposition polynomiale de l'erreur de front d'onde donne en particulier les aberrations géométriques d'ordre 3 dites aberrations de Seidel qui sont les plus simples et sont modélisées en coordonnées polaires ρ et ϕ par les polynômes définis dans le tableau suivant.

Type d'aberration	Coefficient d'aberration	Forme de l'erreur de front d'onde ΔW	Amplitude maximale de l'erreur ΔW_0
sphérique	c_1	$\Delta W = c_1 \cdot \rho^4$	c_1
astigmatisme	c_2	$\Delta W = c_2 \cdot h^2 \cdot \rho^2 \cdot \cos^2 \phi$	$c_2 h^2$
courbure de champ	c_3	$\Delta W = c_3 \cdot h^2 \cdot \rho^2$	$c_3 h^2$
distorsion	c_4	$\Delta W = c_4 \cdot h^3 \cdot \rho \cdot \cos \phi$	$c_4 h^3$
coma	c_5	$\Delta W = c_5 \cdot h \cdot \rho^3 \cdot \cos \phi$	$c_5 h$

Aberrations de Seidel

Les erreurs de front d'onde ΔW peuvent d'une manière générale être décomposées en un terme déterministe ΔW_C et un terme aléatoire ΔW_R . Pour tous les instruments de qualité, on peut considérer que le terme déterministe est nul, en particulier dans l'axe optique.

Erreur de front d'onde déterministe

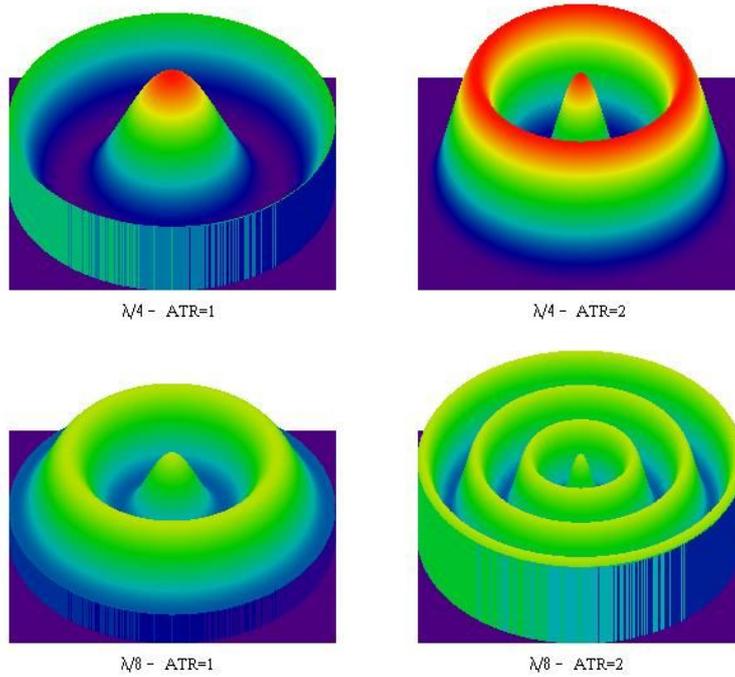
Pour déterminer l'impact de l'erreur de front d'onde, il faut utiliser la théorie de la formation des images par la diffraction. Cette théorie définit dans le cas d'une erreur déterministe la FTM comme le produit de convolution normalisé suivant :

$$FTM(v_x, v_y) = \frac{\iint_{-\infty}^{+\infty} F(x, y) \cdot F^*(x - \lambda \cdot v_x, y - \lambda \cdot v_y) \, dx \, dy}{\iint_{-\infty}^{+\infty} |F(x, y)|^2 \, dx \, dy} \tag{34}$$

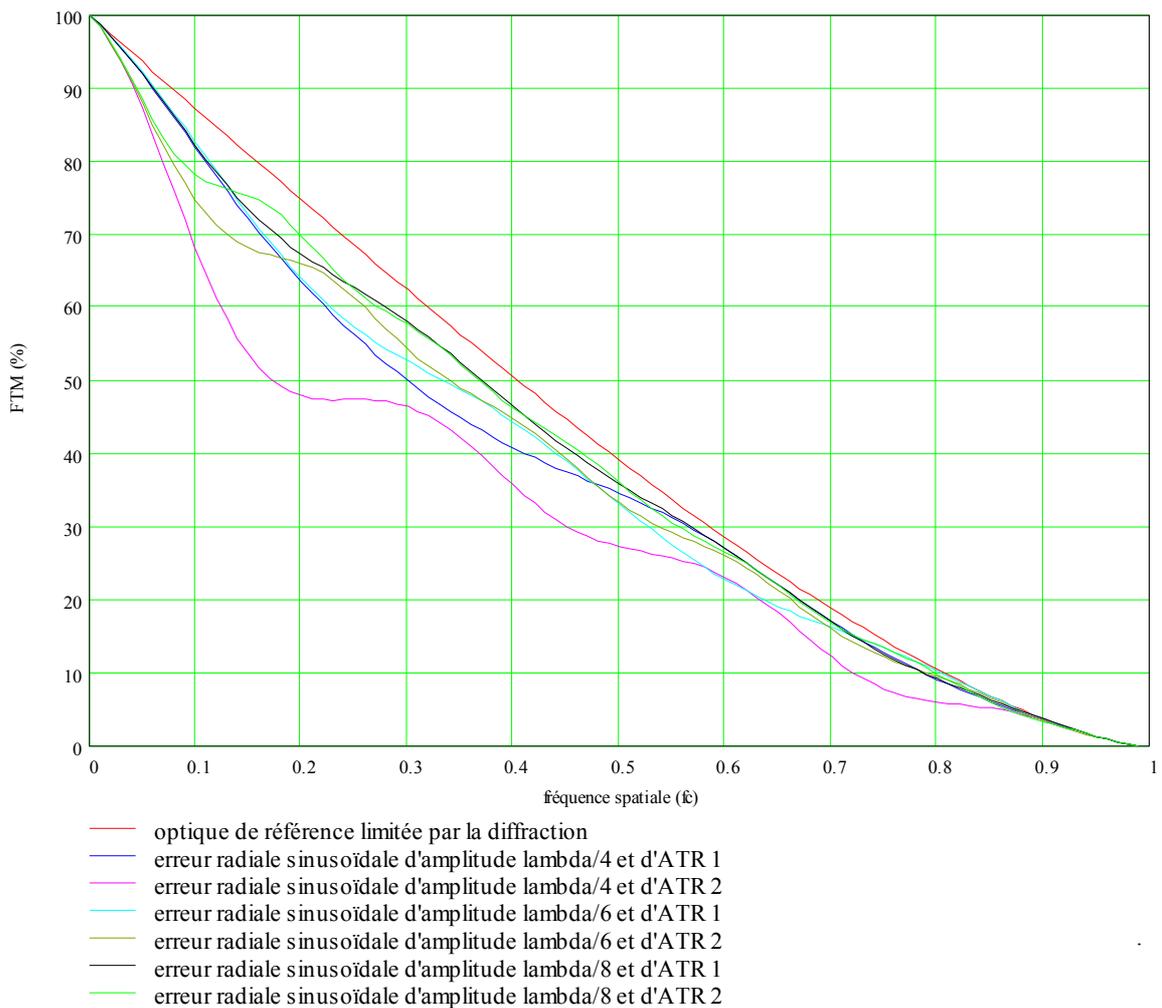
où $F(x,y)$ est la fonction pupille de l'instrument s'écrivant comme la combinaison du terme d'amplitude $A(x,y)$ et du terme de phase $\Delta W_C(x,y)$:

$$F(x, y) = A(x, y) \cdot e^{j\Delta W_C(x, y)} \tag{35}$$

On s'intéresse au cas particulier des motifs périodiques : les deux figures suivantes illustrent respectivement dans le cas d'un front d'onde instrumental avec une erreur radiale sinusoïdale l'influence de l'amplitude des défauts et de l'ATR crête sur l'aspect général du front d'onde et sur la FTM d'un instrument non obstrué.



Exemples de front d'onde affecté d'une erreur radiale sinusoidale



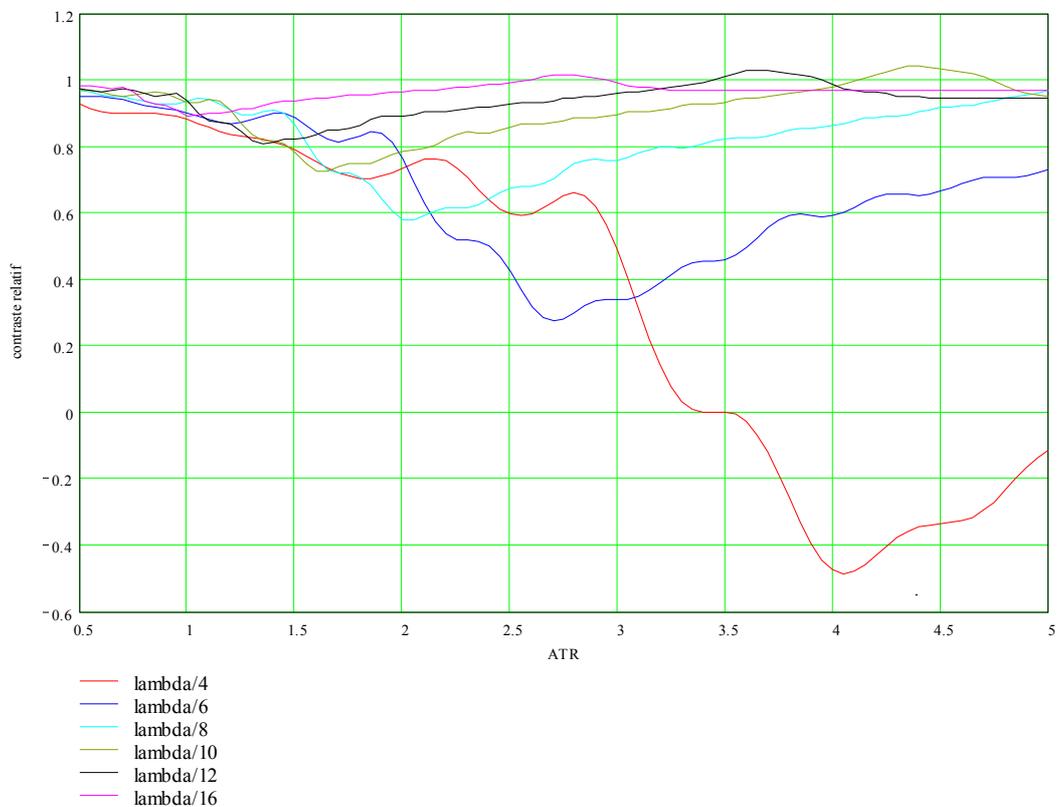
FTM d'un instrument non obstrué en fonction des paramètres du front d'onde pour une erreur radiale sinusoidale

Les éléments de l'analyse en fonction de l'amplitude et de l'ATR crête d'une erreur de front d'onde de nature radiale sinusoïdale sont rassemblés dans le tableau et la figure suivants, soit respectivement dans le cas de la mire canonique 120/24/12@-25/+2 :

- rapport de Strehl et contraste transmis
- coefficient de transmission du contraste

ΔW_0	ATR	SR	Contraste transmis	DC1	DC2
$\lambda/4$	1	0,87	1,43%	oui	oui
$\lambda/4$	2	0,75	1,19%	non	oui
$\lambda/6$	1	0,87	1,46%	oui	oui
$\lambda/6$	2	0,88	1,23%	non	oui
$\lambda/8$	1	0,92	1,52%	oui	oui
$\lambda/8$	2	0,92	0,94%	non	oui
$\lambda/10$	1	0,95	1,51%	oui	oui
$\lambda/10$	2	0,95	1,27%	non	oui
$\lambda/12$	1	0,97	1,52%	oui	oui
$\lambda/12$	2	0,97	1,44%	non	oui
$\lambda/16$	1	0,98	1,44%	oui	oui
$\lambda/16$	2	0,98	1,56%	non	oui

**Rapport de Strehl et contraste transmis
en fonction des paramètres d'un front d'onde instrumental de type radial sinusoïdal**



**Coefficient de transmission du contraste
en fonction des paramètres d'un front d'onde instrumental de type radial sinusoïdal**

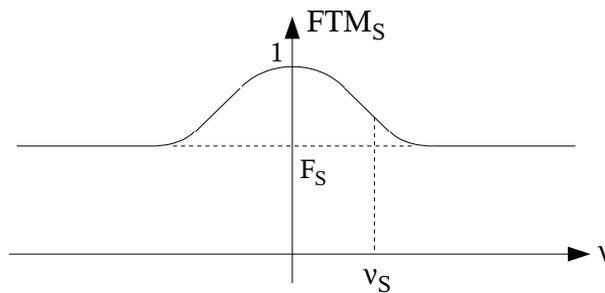
Erreur de front d'onde aléatoire

Pour déterminer l'impact de l'erreur de front d'onde, il faut utiliser la théorie de la formation des images par la diffraction. Cette théorie définit la FTM moyenne d'un écran déphaseur aléatoire comme le moment statistique de premier ordre suivant :

$$\overline{FTM}_S(\nu_x, \nu_y) = E \left[e^{j \Delta W_R(x, y)} \cdot e^{-j \Delta W_R(x - \lambda \nu_x, y - \lambda \nu_y)} \right] \tag{36}$$

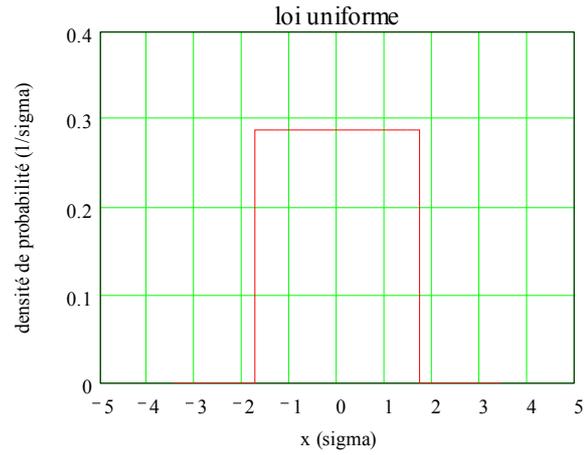
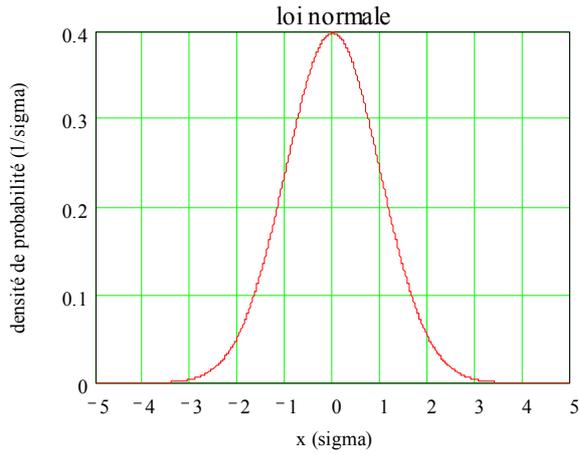
La FTM d'un écran déphaseur aléatoire prend la forme générale décrite par la figure suivante qui fait ressortir 2 caractéristiques fondamentales :

- une valeur asymptotique s'établissant aux fréquences élevées et définissant le facteur d'état de surface F_S
- une fréquence de coupure ν_S à partir de laquelle la FTM prend la valeur $F_S \frac{e-1}{e}$ et dont la valeur ne dépend que de la longueur de corrélation r_S des défauts selon la relation $\nu_S = \frac{r_S}{\lambda}$.



Forme générale de la FTM d'un écran déphaseur aléatoire

La valeur du facteur d'état de surface dépend des paramètres de la variable aléatoire décrivant l'erreur de front d'onde, soit l'écart type sigma et la loi statistique suivie. On considère ici 2 lois type qui sont la loi normale ou loi gaussienne, et la loi uniforme. La loi normale, qui est typique de défauts générés par des processus nombreux et indépendants, est naturellement plus représentative des défauts d'une optique manufacturée selon l'état de l'art : les quelques interférogrammes d'instruments du commerce qu'il est possible de rassembler vont effectivement dans ce sens. Les défauts sont dans le cas de la loi normale compris à hauteur de 68,3% dans l'intervalle $[-\sigma ; \sigma]$, de 95,4% dans l'intervalle $[-2 \sigma ; 2 \sigma]$ et de 99,7% dans l'intervalle $[-3 \sigma ; 3 \sigma]$. Dans le cas d'une loi uniforme, les défauts sont équirépartis dans l'intervalle $[-\sqrt{3} \sigma ; \sqrt{3} \sigma]$.



Statistique gaussienne et statistique uniforme

Le facteur d'état de surface est donné pour une loi normale d'écart type σ_S exprimé en radians par :

$$F_S = e^{-\sigma_S^2} \quad [37]$$

Le facteur d'état de surface est donné pour une loi uniforme d'écart type σ_S exprimé en radians par :

$$F_S = \frac{\sin(\sqrt{6} \sigma_S)}{\sqrt{6} \sigma_S} \quad [38]$$

La valeur rms σ_S étant dans ce cas relié à la valeur crête à creux ϵ_{ptv} exprimée aussi en radians par :

$$\sigma_S = \frac{\epsilon_{ptv}}{\sqrt{12}} \quad [39]$$

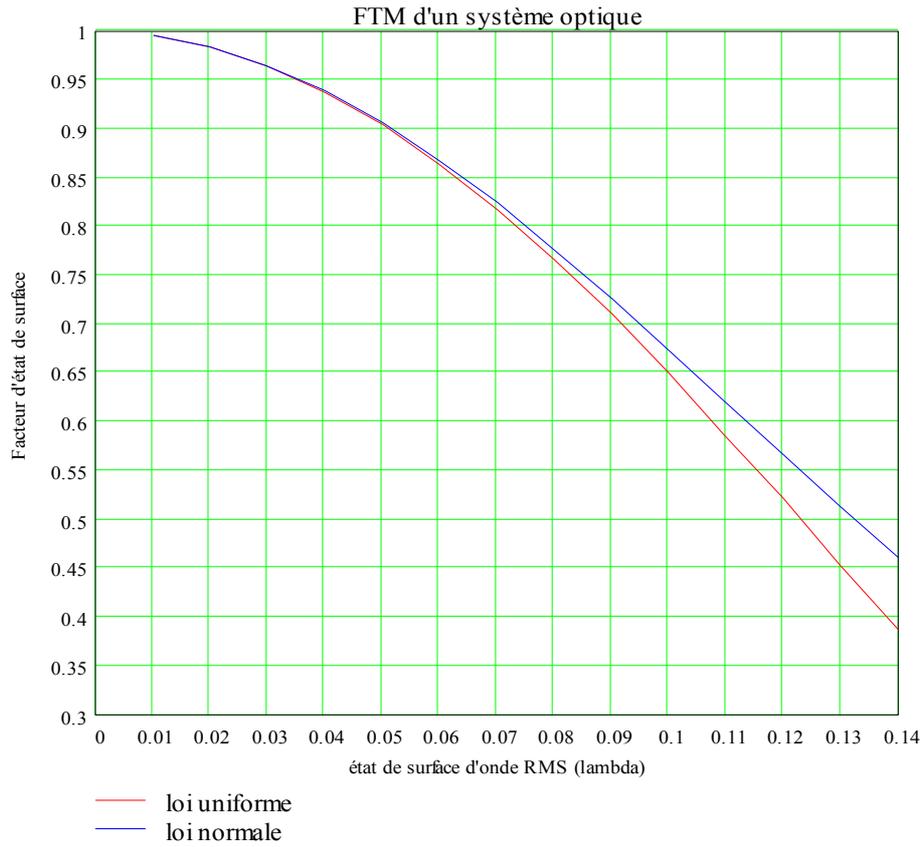
La FTM d'un écran déphaseur aléatoire s'écrit :

$$- \overline{FTM}_S(v_x, v_y) = e^{-\sigma_S^2 + \gamma_S(\lambda v_x, \lambda v_y) \cdot \sigma_S^2} \quad , \text{ pour une loi normale} \quad [40]$$

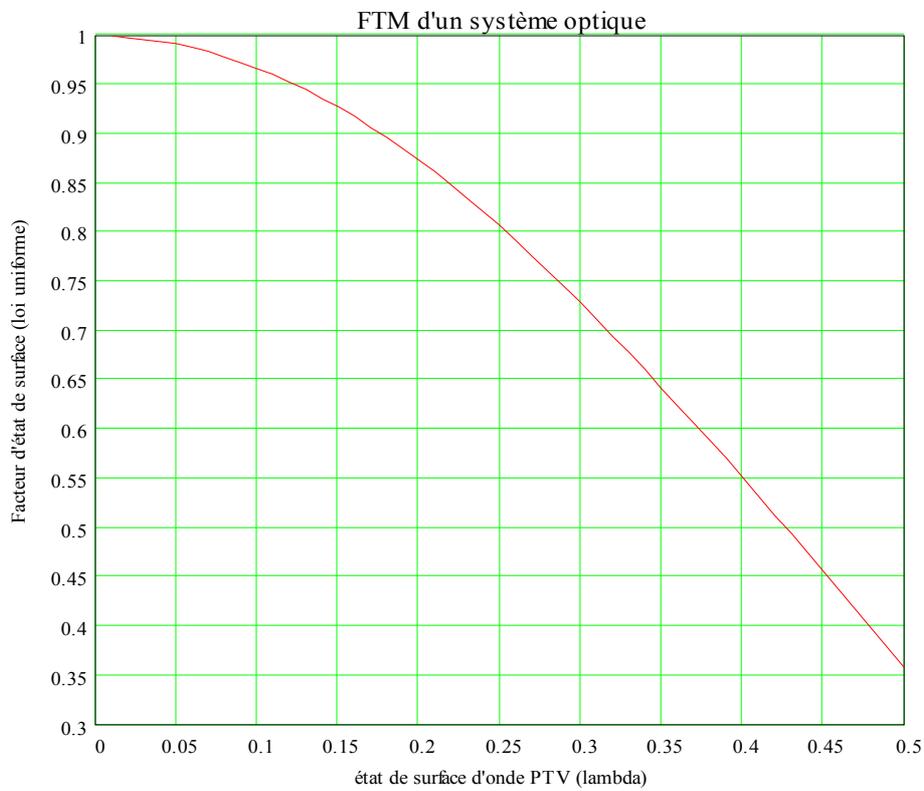
$$- \overline{FTM}_S(v_x, v_y) = \frac{\sin\left(\sqrt{6 \cdot (\sigma_S^2 - \gamma_S(\lambda v_x, \lambda v_y) \cdot \sigma_S^2)}\right)}{\sqrt{6 \cdot (\sigma_S^2 - \gamma_S(\lambda v_x, \lambda v_y) \cdot \sigma_S^2)}} \quad , \text{ pour une loi uniforme} \quad [41]$$

où $\gamma_S(\Delta_x, \Delta_y)$ est la fonction d'autocorrélation normalisée de l'écran déphaseur possédant les propriétés remarquables suivantes : $\gamma_S(0,0)=1$, $\gamma_S(\infty, \Delta_y)=0$, $\gamma_S(\Delta_x, \infty)=0$.

La valeur du facteur d'état de surface est quasiment indépendante de la loi statistique considérée. On s'intéressera par la suite exclusivement à une statistique gaussienne qui est caractéristique d'un processus de fabrication bien maîtrisé donc d'un instrument de qualité.

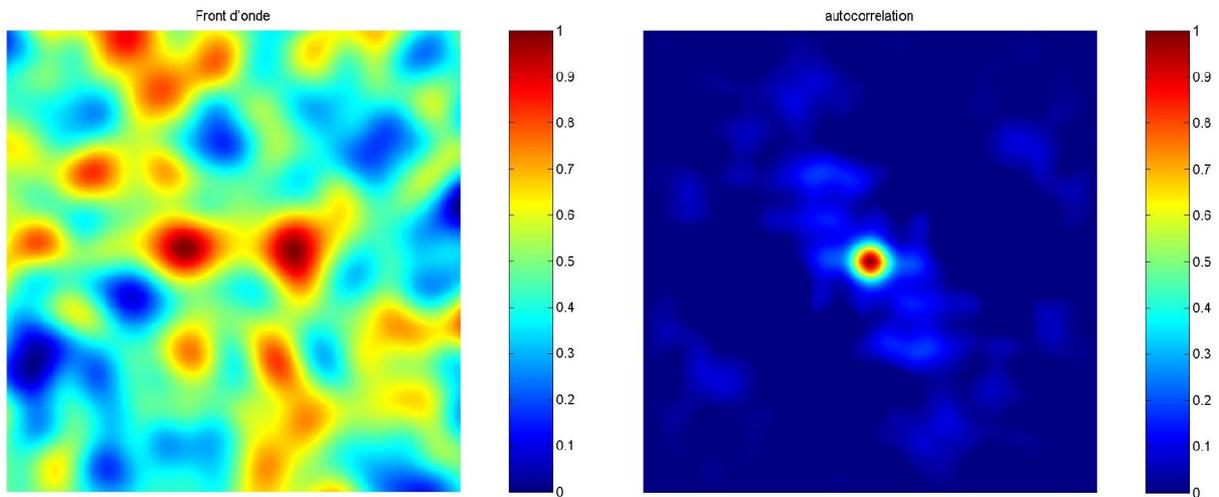


Facteur d'état de surface en fonction de l'erreur de surface d'onde RMS

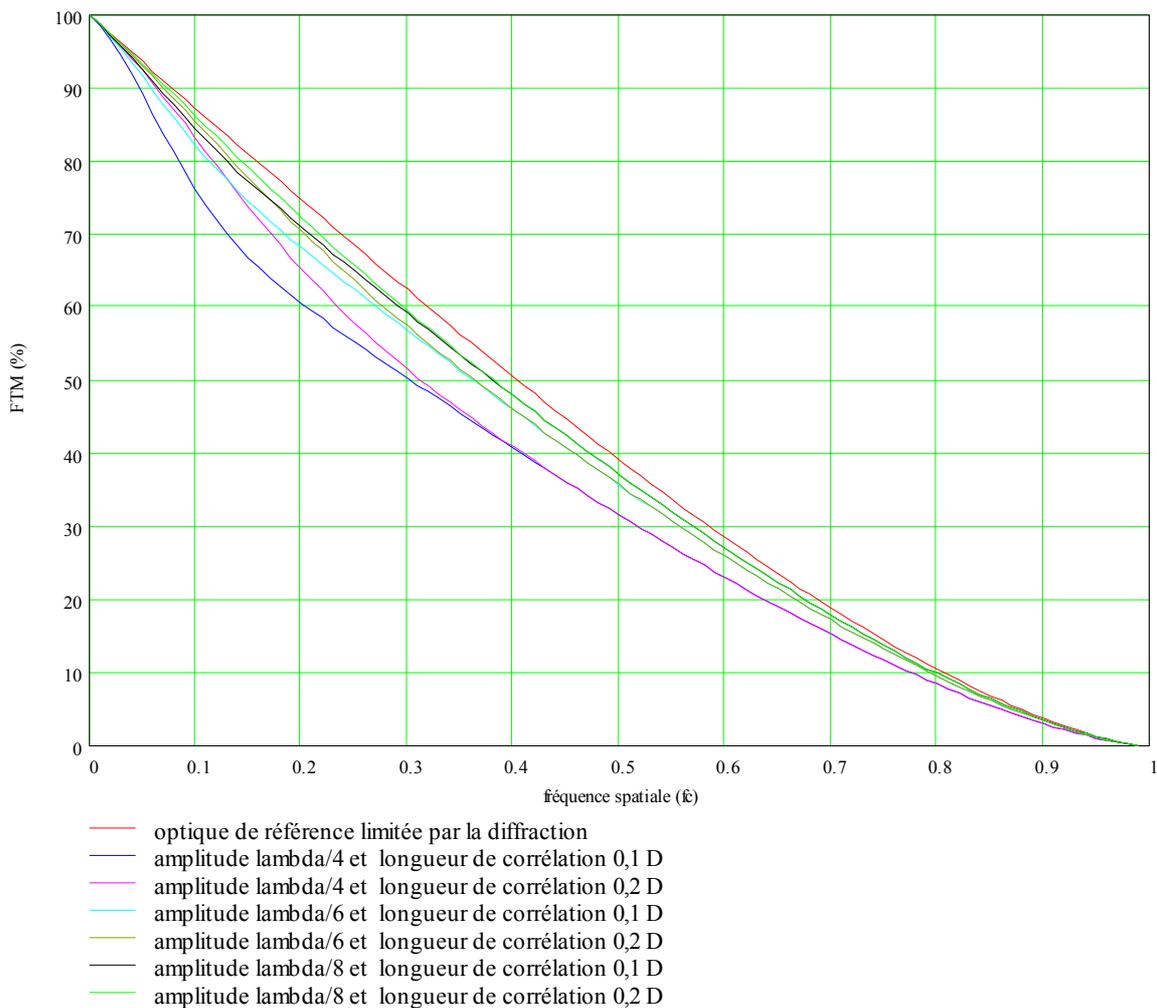


Facteur d'état de surface en fonction de l'erreur de surface d'onde PTV

Les deux figures suivantes illustrent respectivement dans le cas d'un front d'onde instrumental de statistique gaussienne l'influence de la longueur de corrélation des défauts sur l'aspect général du front d'onde et sur la FTM d'un instrument non obstrué :



Exemple de front d'onde et de fonction d'autocorrélation associée pour un écran déphaseur aléatoire gaussien de longueur de corrélation 0,1 D



FTM d'un instrument non obstrué en fonction des paramètres d'un front d'onde instrumental de type gaussien

Les éléments de l'analyse correspondant à une erreur de front d'onde aléatoire gaussienne sont rassemblés dans les deux tableaux et la figure suivants, soit respectivement dans le cas de la mire canonique 120/24/12@-25/+2 :

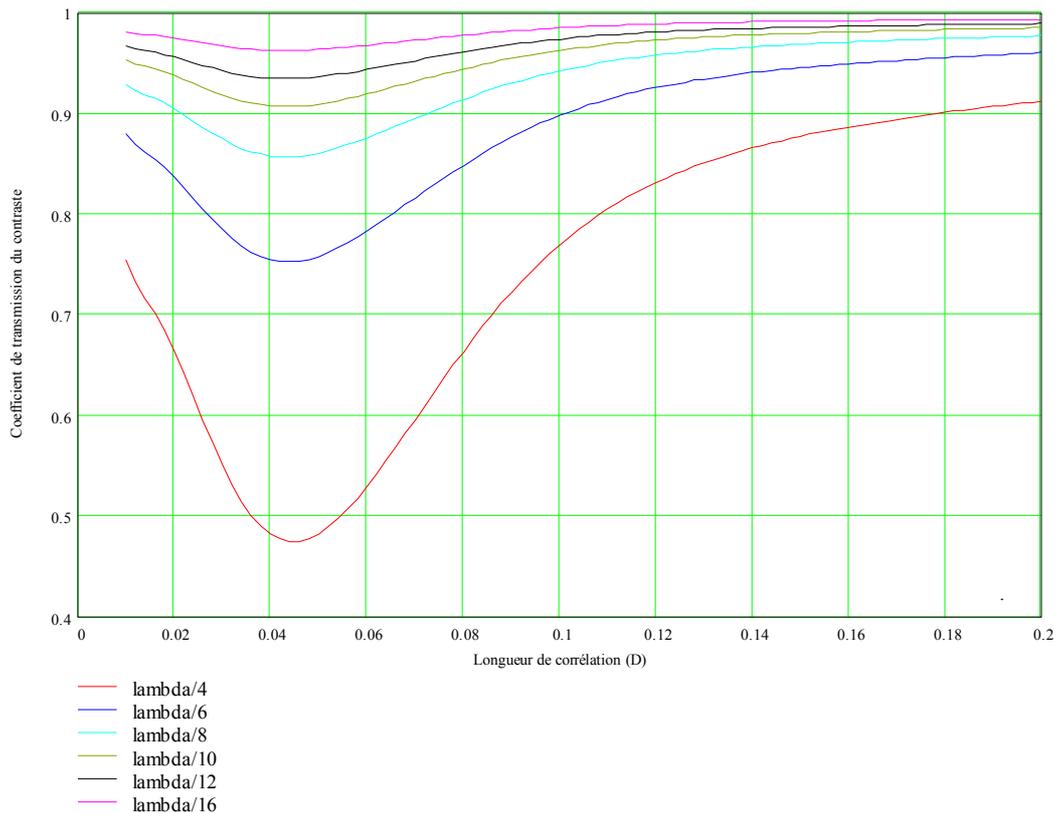
- rapport de Strehl et contraste transmis en fonction de l'amplitude et de la longueur de corrélation de l'erreur de front d'onde
- longueur de corrélation en fonction de l'amplitude de l'erreur de front d'onde et du coefficient de transmission du contraste
- coefficient de transmission du contraste en fonction de l'amplitude et de la longueur de corrélation de l'erreur de front d'onde

ΔW_0	$r_s(D)$	F_s	SR	<i>contraste</i>
$\lambda/4$	0,1	0,807	0,81	1,24%
$\lambda/4$	0,2	0,807	0,83	1,48%
$\lambda/6$	0,1	0,911	0,91	1,45%
$\lambda/6$	0,2	0,911	0,92	1,55%
$\lambda/8$	0,1	0,949	0,95	1,52%
$\lambda/8$	0,2	0,949	0,96	1,58%
$\lambda/10$	0,1	0,967	0,97	1,56%
$\lambda/10$	0,2	0,967	0,97	1,59%
$\lambda/12$	0,1	0,977	0,98	1,58%
$\lambda/12$	0,2	0,977	0,98	1,60%
$\lambda/16$	0,1	0,987	0,99	1,59%
$\lambda/16$	0,2	0,987	0,99	1,61%

**Rapport de Strehl et contraste transmis
en fonction des paramètres d'un front d'onde instrumental de type gaussien**

ΔW_0	F_s	<i>coefficient de transmission du contraste</i>			
		80%	90%	95%	99%
$\lambda/4$	0,807	0,11	0,18	0,3	0,65
$\lambda/6$	0,911	0,07	0,1	0,16	0,45
$\lambda/8$	0,949	-	0,07	0,11	0,34
$\lambda/10$	0,967	-	-	0,09	0,25
$\lambda/12$	0,977	-	-	0,07	0,19
$\lambda/16$	0,987	-	-	-	0,12

**Longueur de corrélation d'un front d'onde instrumental de type gaussien
en fonction de l'amplitude de l'erreur et du coefficient de transmission du contraste**



Coefficient de transmission du contraste en fonction des paramètres d'un front d'onde instrumentale de type gaussien

Facteur d'état de surface et classes d'instruments pour l'observation planétaire

On recherchera donc les informations suivantes pour caractériser la qualité optique d'un instrument :

- interférogramme
- erreur de front d'onde rms
- statistique de l'erreur de front d'onde comparée à un gabarit gaussien
- longueur de corrélation de l'erreur de front d'onde

L'état de surface d'onde des instruments pour amateur n'est malheureusement quasiment jamais fourni : à part quelques fabricants de matériel très haut de gamme, c'est une information qui n'accompagne jamais un télescope ou une lunette. Il est vrai que la mesure fiable du front d'onde nécessite un matériel et un savoir-faire particuliers, et est de ce fait une opération coûteuse. Le test de Foucault est en général le seul qui est à la portée des amateurs : cependant les écarts de mesure du front d'onde obtenus entre un test de Foucault et un relevé interférométrique, mis en évidence dans certaines études expérimentales, inspirent une certaine méfiance vis à vis du test de Foucault.

Néanmoins, en croisant les informations collectées dans les divers salons, sur internet et dans les revues d'astronomie, j'ai pu arriver à dresser le panorama suivant, très incomplet et à considérer avec prudence sachant que les mauvaises surprises ne sont pas à exclure :

- un fabricant européen de lunettes apochromatiques de prestige annonce un état de surface d'onde de 30 nm rms (soit $\lambda/20$ rms à $\lambda = 550$ nm), résultat extensible aux instruments du même type
- les fabricants russes de Maksutov annoncent une gamme standard à $\lambda/6$ ptv
- ces mêmes fabricants annoncent une gamme luxe à $\lambda/8$ ptv
- les Schmidt-Cassegrain de production de masse ne semblent jamais faire moins bien que $\lambda/10$ rms, certains particulièrement excellents affichant presque $\lambda/30$ rms

La classification suivante peut alors être arbitrairement définie pour la qualification des instruments dans la suite de cette étude :

- classe professionnelle à $\lambda/28$ rms ($\lambda/8$ ptv) avec un facteur d'état de surface 0,95
- classe haute résolution à $\lambda/20$ rms ($\lambda/6$ ptv) avec un facteur d'état de surface 0,91
- classe astronomique à $\lambda/13,5$ rms ($\lambda/4$ ptv) avec un facteur d'état de surface 0,8
- classe standard à $\lambda/10$ rms ($\lambda/3$ ptv) avec un facteur d'état de surface 0,67

Il est à noter que le critère de Françon définit un instrument proche de la limite imposée par la diffraction avec un facteur d'état de surface d'onde de 0,99.

En conclusion, l'amplitude des défauts de front d'onde est le paramètre primordial à prendre en compte tandis que l'aberration transversale réduite (ATR) ou plus rigoureusement la longueur de corrélation des défauts reste un paramètre secondaire. En particulier, la dégradation du diamètre effectif est bornée par le facteur d'état de surface qui ne dépend que de l'amplitude et de la statistique des défauts de front d'onde. Les erreurs périodiques, très pénalisantes, doivent en particulier être évitées et une répartition aléatoire des défauts doit être recherchée. D'une manière générale, on prendra en compte la valeur rms des défauts en considérant une répartition gaussienne : la valeur rms permet de prendre en compte le fait qu'un accident ponctuel n'a pas de conséquence réelle sur les images tandis que la répartition gaussienne est représentative d'un processus de réalisation bien maîtrisé. Le respect du critère de Rayleigh (classe astronomique à $\lambda/4$ ptv ou $\lambda/13,5$ rms) est un minimum pour un instrument d'observation planétaire de qualité à condition que la longueur de corrélation du front d'onde soit supérieure au dixième du diamètre instrumental. Pour la haute résolution on s'orientera vers des instruments affichant un front d'onde compris entre $\lambda/6$ ptv ou $\lambda/20$ rms (classe haute résolution) et $\lambda/8$ ptv ou $\lambda/28$ rms (classe professionnelle) nettement moins exigeants quant à la longueur du front d'onde instrumental : toutefois pour les instruments à $\lambda/6$ ptv on continuera à rechercher une longueur de corrélation du front d'onde supérieure au dixième du diamètre instrumental. Au delà de $\lambda/8$ ptv, l'amélioration des images planétaires est modeste et rend l'intérêt d'un tel investissement inutile compte tenu du surcoût engendré.

Pour finir, l'analyse de l'erreur de front d'onde propre pourrait être conduite à partir de la théorie des fonctions de structure [R1, R2, R3] qui est utilisée pour l'étude de la turbulence atmosphérique. Dans le cadre de la théorie des écrans déphaseurs aléatoires gaussiens, on peut écrire :

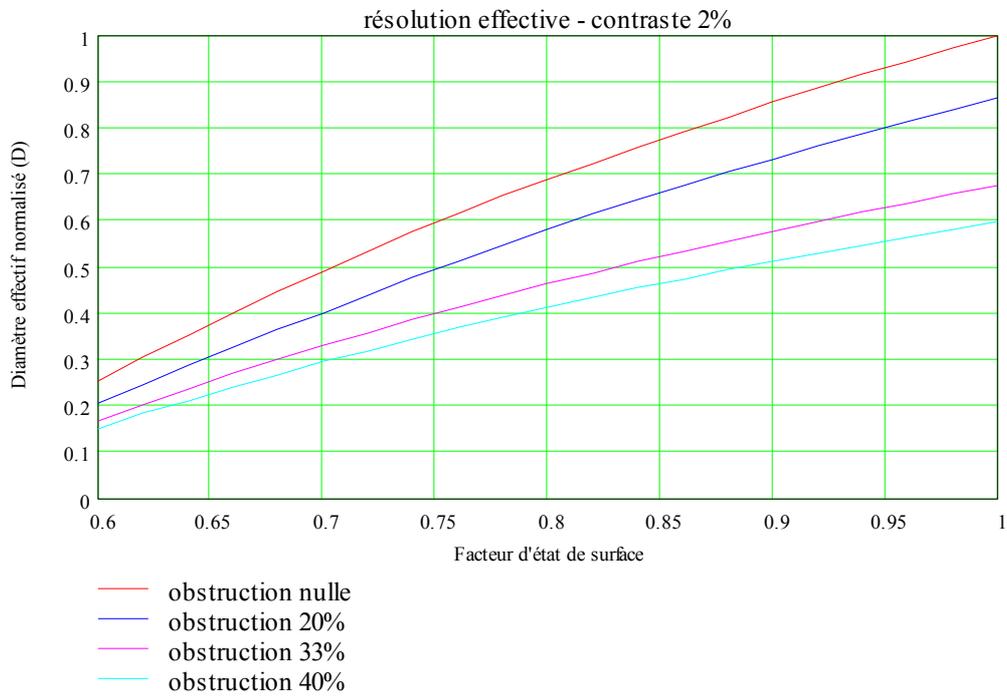
$$\overline{FTM}_S(v_x, v_y) = e^{-\frac{1}{2} \cdot D_S(\lambda v_x, \lambda v_y)} \quad [42]$$

où la fonction de structure $D_S(\Delta x, \Delta y)$ possède les propriétés remarquables suivantes :

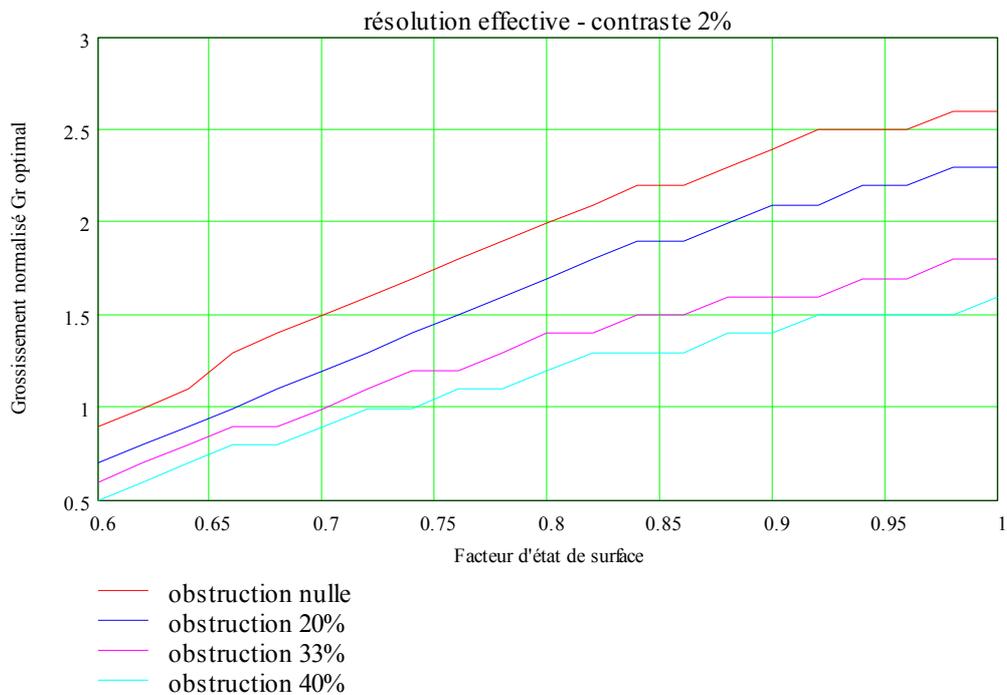
$$- D_S(0,0) = 0 \quad [43']$$

$$- D_S(\infty, \Delta y) = D_S(\Delta x, \infty) = 2 \cdot \sigma_S^2 \quad [43'']$$

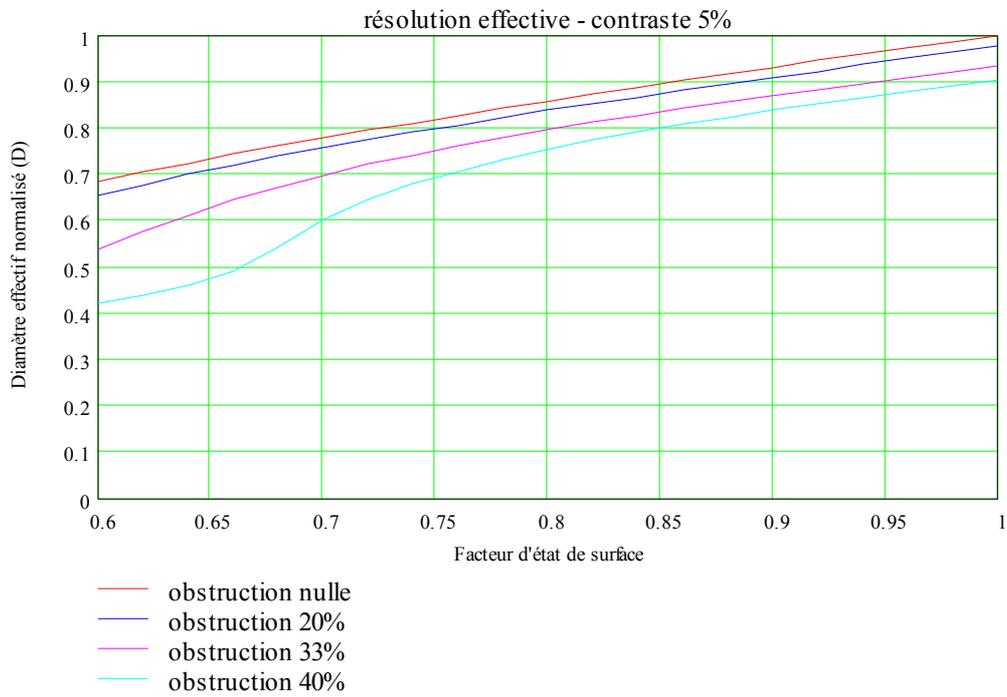
Influence du facteur d'état de surface et grossissement optimal



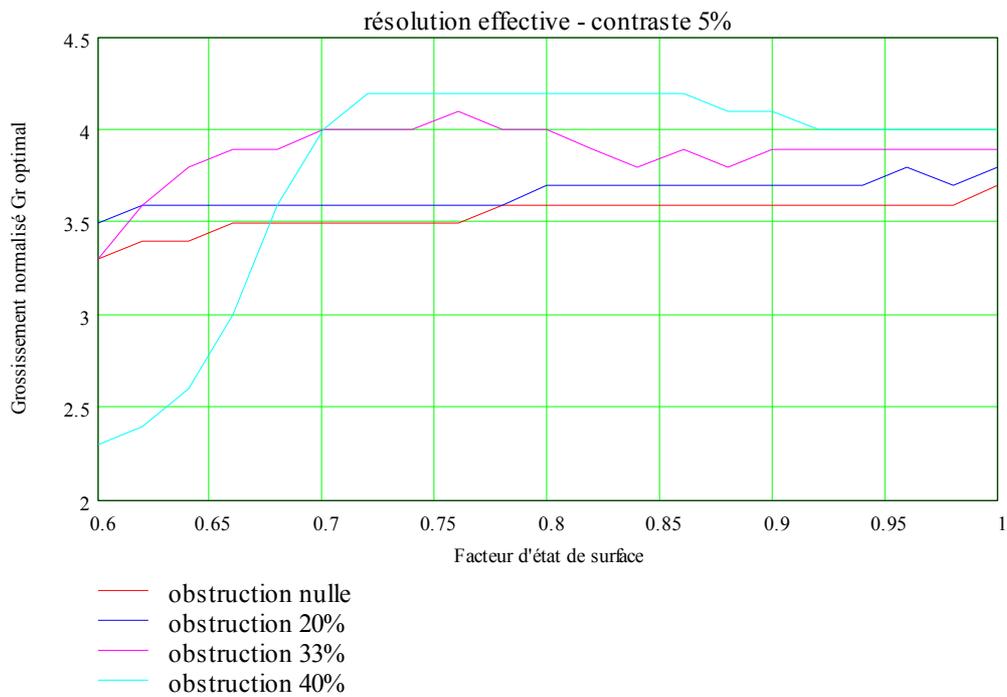
Diamètre effectif visuel normalisé en fonction du facteur d'état de surface
Critère de résolution effective avec mire sinusoïdale de contraste 2%



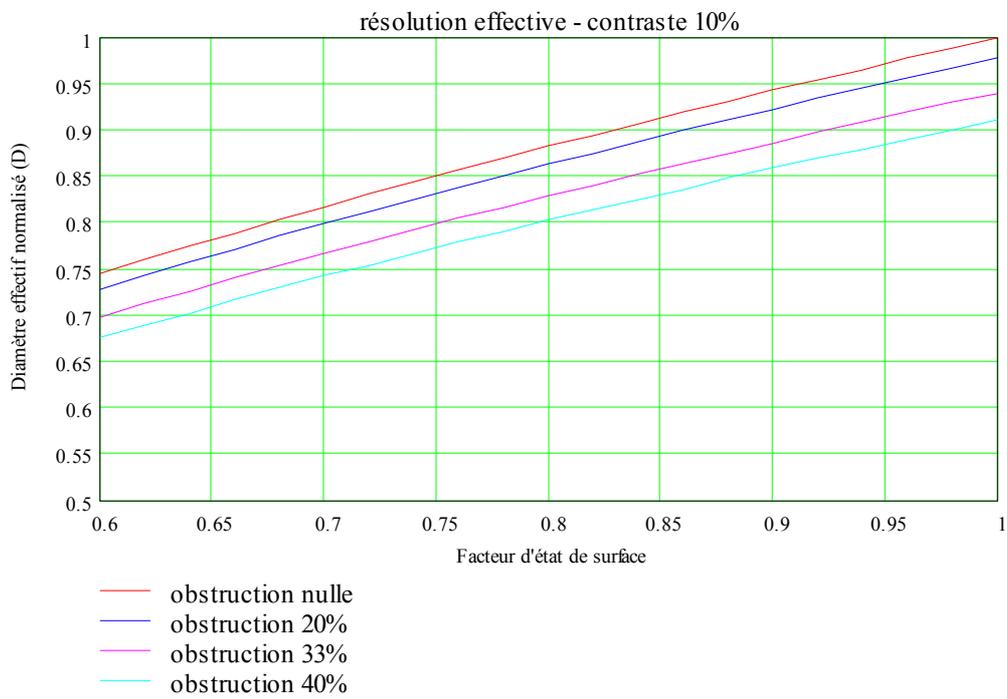
Grossissement optimal visuel normalisé en fonction du facteur d'état de surface
Critère de résolution effective avec mire sinusoïdale de contraste 2%



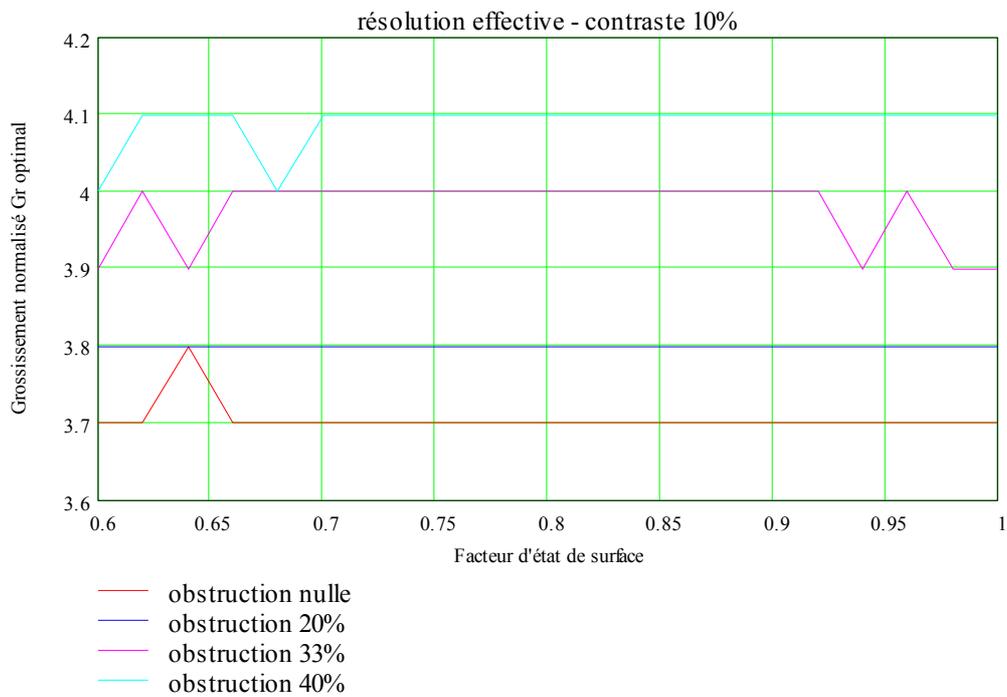
Diamètre effectif visuel normalisé en fonction du facteur d'état de surface
Critère de résolution effective avec mire sinusoïdale de contraste 5%



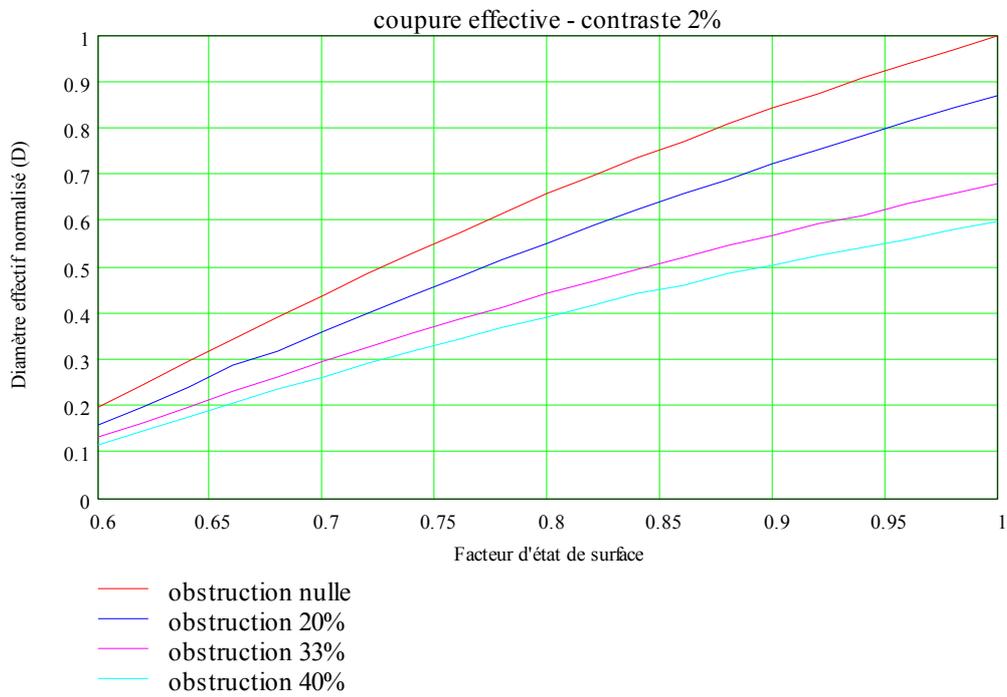
Grossissement optimal visuel normalisé en fonction du facteur d'état de surface
Critère de résolution effective avec mire sinusoïdale de contraste 5%



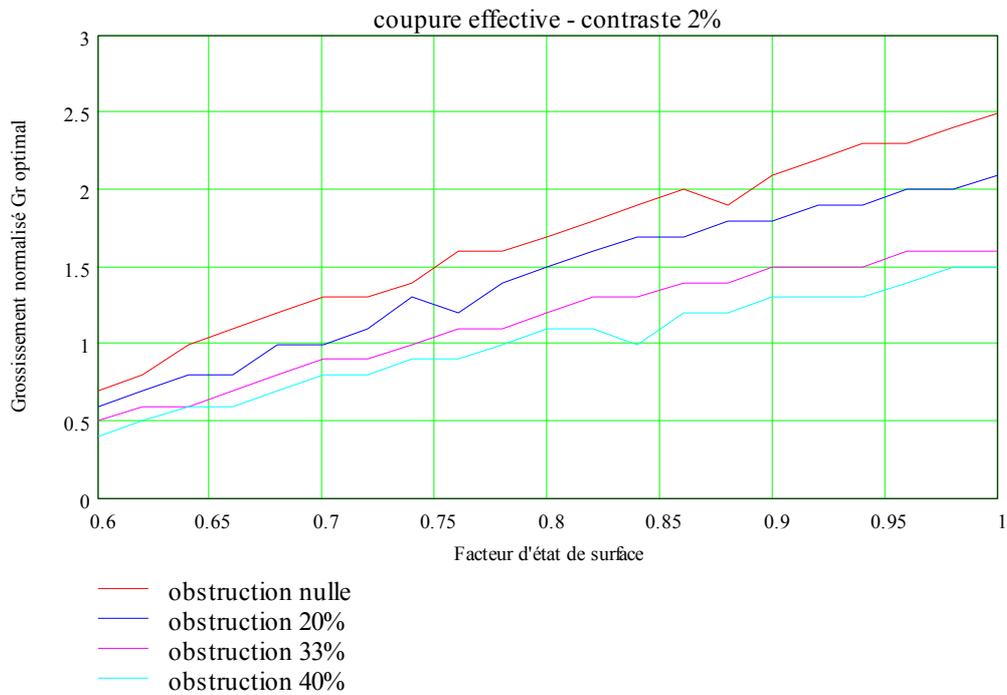
Diamètre effectif visuel normalisé en fonction du facteur d'état de surface
Critère de résolution effective avec mire sinusoïdale de contraste 10%



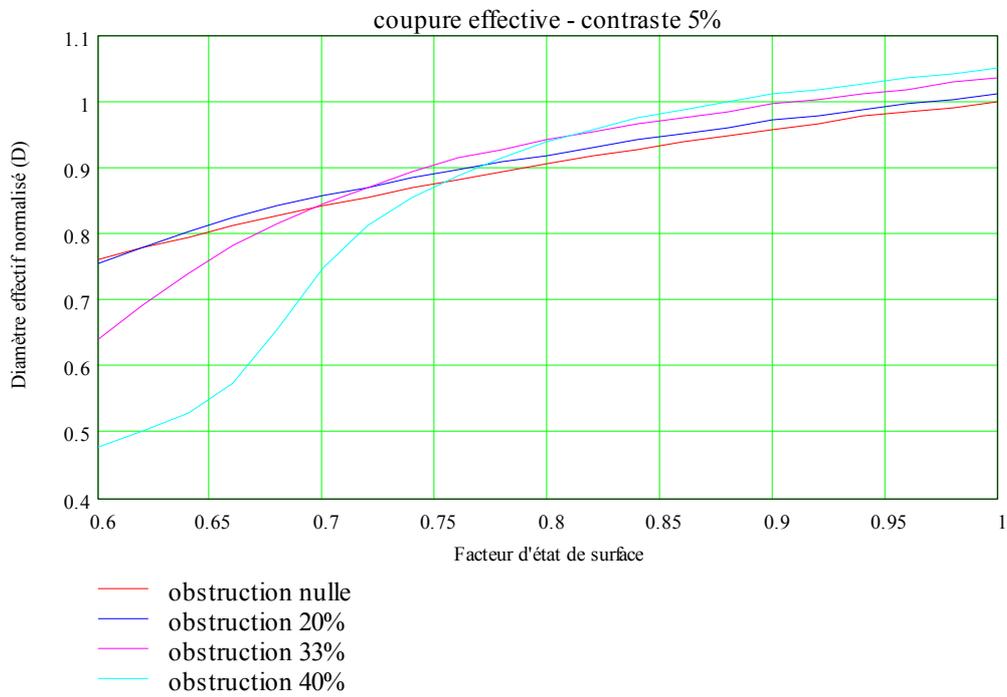
Grossissement optimal visuel normalisé en fonction du facteur d'état de surface
Critère de résolution effective avec mire sinusoïdale de contraste 10%



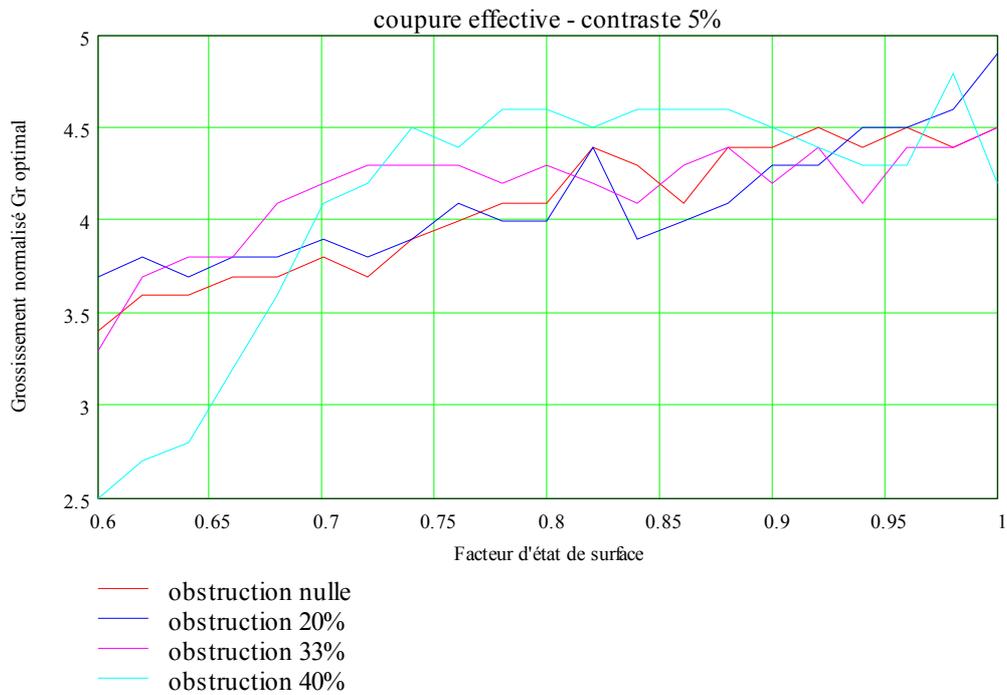
Diamètre effectif visuel normalisé en fonction du facteur d'état de surface
Critère de fréquence de coupure effective avec mire sinusoïdale de contraste 2%



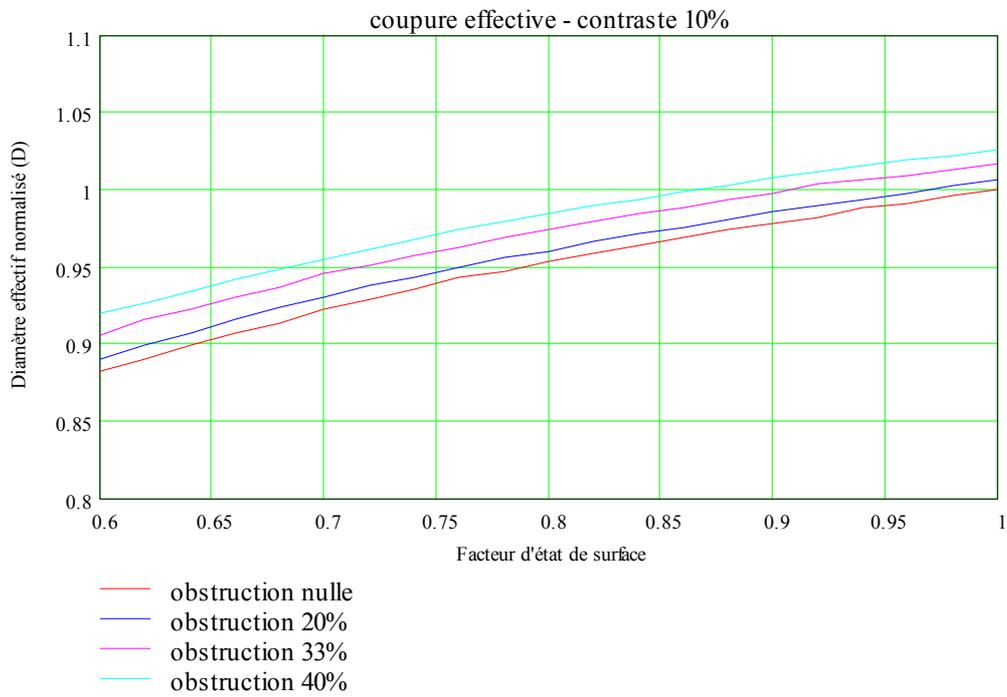
Grossissement optimal visuel normalisé en fonction du facteur d'état de surface
Critère de fréquence de coupure effective avec mire sinusoïdale de contraste 2%



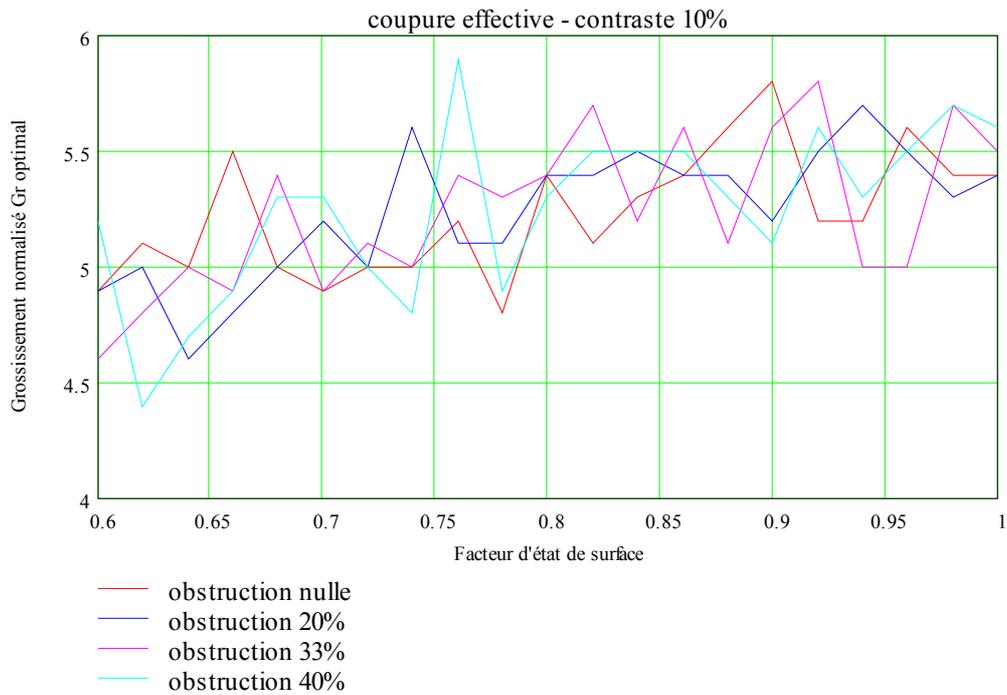
Diamètre effectif visuel normalisé en fonction du facteur d'état de surface
Critère de fréquence de coupe effective avec mire sinusoïdale de contraste 5%



Grossissement optimal visuel normalisé en fonction du facteur d'état de surface
Critère de fréquence de coupe effective avec mire sinusoïdale de contraste 5%

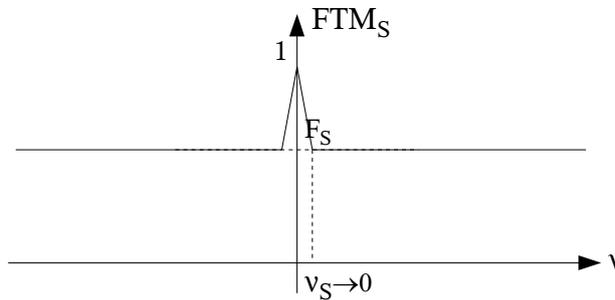


Diamètre effectif visuel normalisé en fonction du facteur d'état de surface
Critère de fréquence de coupure effective avec mire sinusoïdale de contraste 10%



Grossissement optimal visuel normalisé en fonction du facteur d'état de surface
Critère de fréquence de coupure effective avec mire sinusoïdale de contraste 10%

Le modèle utilisé pour l'estimation du diamètre effectif propre d'un instrument réel considère une longueur de corrélation des défauts de front d'onde nulle, soit une FTM correspondante égale à 1 à l'origine et égale au facteur d'état de surface F_S partout ailleurs :



Forme de la FTM de l'écran déphaseur aléatoire considéré

Dans le cas d'instruments réels, une estimation du diamètre effectif Dep est approximativement donné en fonction de l'obstruction et du facteur d'état de surface par les relations suivantes :

- $Dep \approx (1 - ob) \cdot (1 + \sqrt{2} \ln(F_S)) \cdot D$, pour les contrastes faibles, quel que soit le critère [44']
- $Dep \approx D$, pour les contrastes forts avec le critère de coupure effective [44'']
- $Dep \approx \sqrt{F_S} \cdot D$, pour les contrastes forts avec le critère de résolution effective [44''']

En particulier, une obstruction inférieure à 20% peut être considérée comme négligeable tant sur le diamètre effectif propre que sur le grossissement optimal. Lorsque l'on considère le critère de fréquence de coupure effective, on constate toujours que l'obstruction améliore le diamètre effectif aux contrastes moyens et élevés, traduisant le fait que la FTM augmente légèrement avec l'obstruction dans la plage supérieure des fréquences spatiales transmises. On peut si l'on cherche à établir un résultat intermédiaire entre les critères de résolution effective et de fréquence de coupure effective considérer pour simplifier un diamètre effectif moyen de la forme :

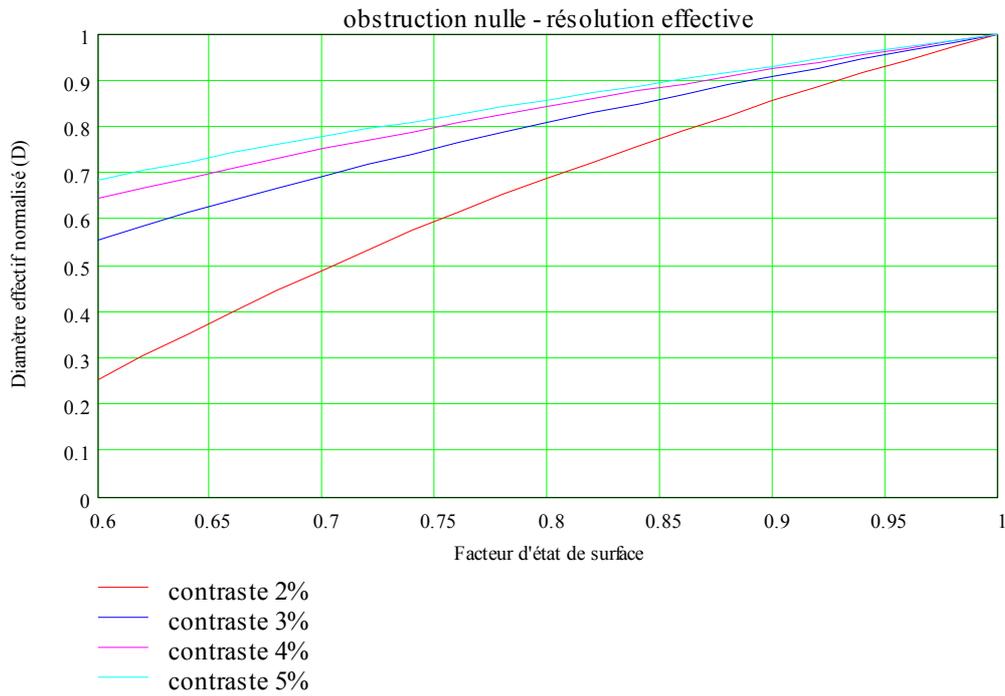
$$\overline{Dep} = (1 - ob) \cdot F_S \cdot D \tag{45}$$

L'influence du facteur d'état de surface sur le diamètre effectif confirme que le niveau minimal de qualité pour un instrument astronomique est le critère de Rayleigh définissant la classe astronomique à $\lambda/13,5$ rms précédemment évoquée. Toutefois pour la haute résolution en observation planétaire, les instruments entre $\lambda/20$ rms et $\lambda/28$ rms doivent impérativement être recherchés, sans qu'il soit intéressant d'investir dans une optique de qualité supérieure.

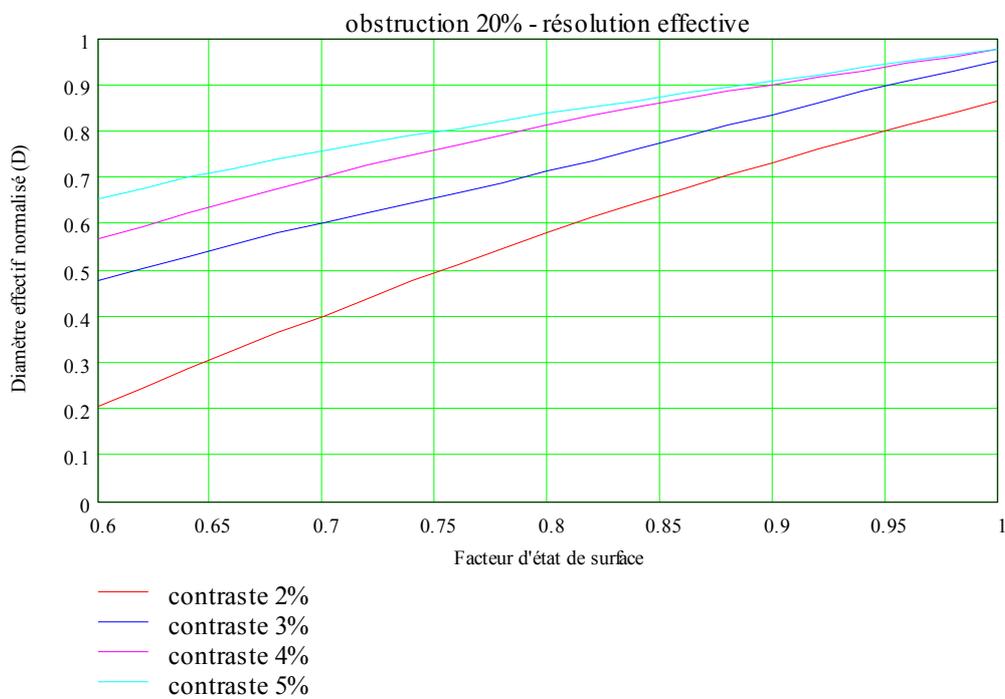
Le grossissement optimal reste toujours compris entre 2,5 et 4 fois le diamètre effectif propre de l'instrument exprimé en millimètres : soit, pour un instrument de qualité adaptée aux observations planétaires, un grossissement relatif de 2,5 corrigé de l'obstruction pour observer des objets faiblement contrastés à un grossissement relatif de 4 pour observer des objets fortement contrastés.

Un point remarquable à mettre en relief est l'influence de l'obstruction et du facteur d'état de surface sur la transition de diamètre effectif entre contraste fort et contraste faible. Les courbes suivantes montrent que le diamètre effectif aux contrastes moyens est particulièrement sensible au facteur d'état de surface pour une obstruction de 40%, et une obstruction de 33% apparaît dans ces conditions comme une limite raisonnable dans l'optique des observations planétaires.

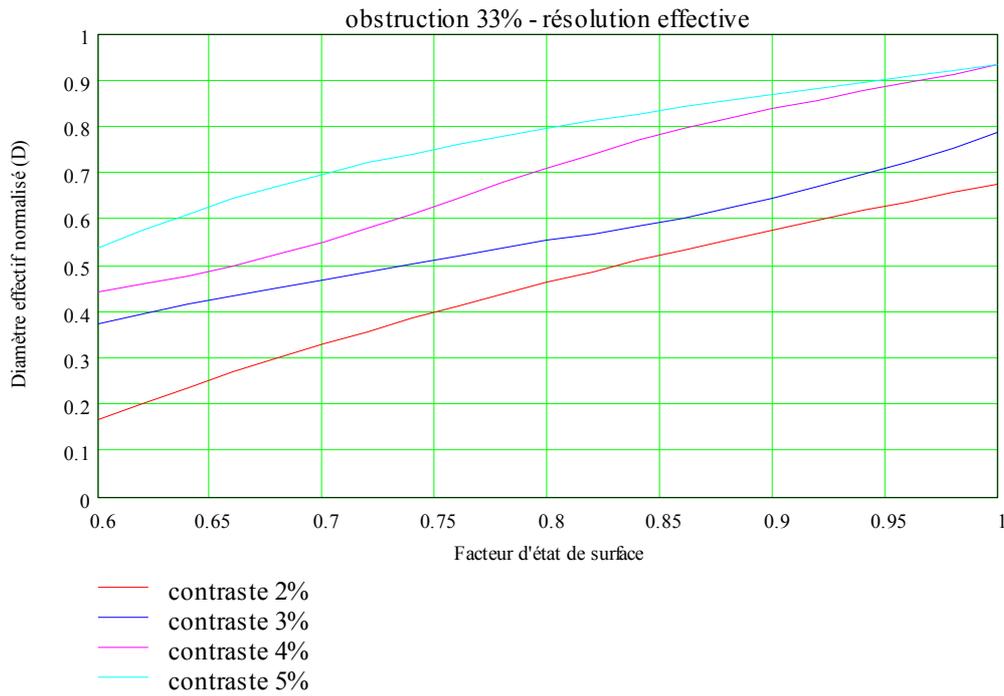
Pour finir, le calcul de l'erreur de front d'onde doit inclure tous les éléments optiques, y compris l'oculaire qui dans tous les cas se doit d'être d'excellente qualité : les surfaces optiques concernées étant faibles, l'impact d'un oculaire de qualité est considéré comme négligeable pour la présente étude.



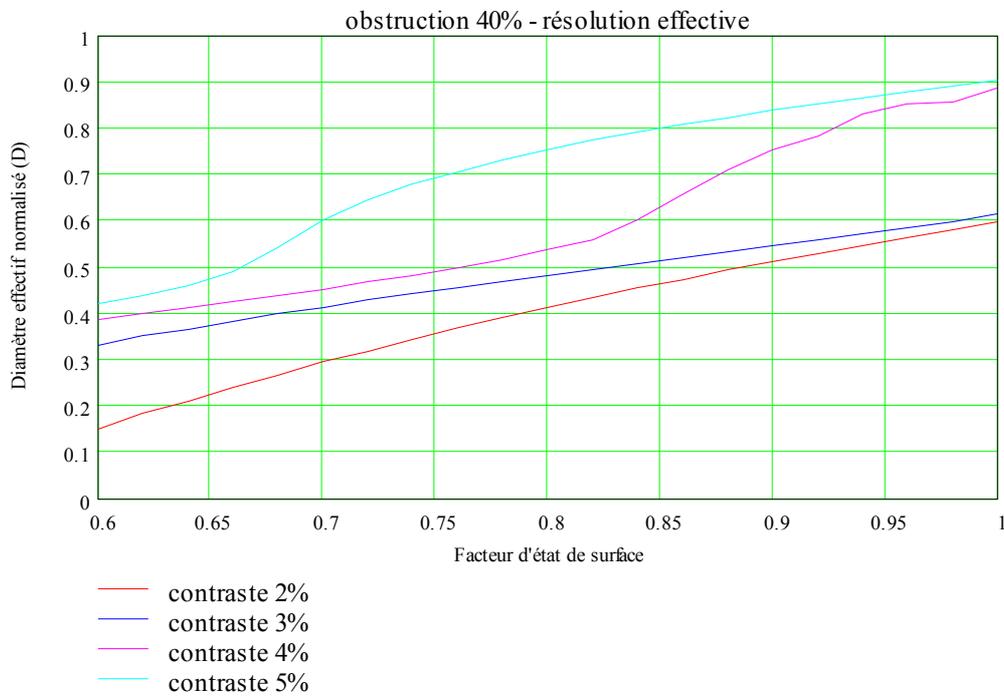
**Évolution du diamètre effectif normalisé avec le contraste et le facteur d'état de surface
Critère de résolution effective appliqué à un instrument d'obstruction nulle**



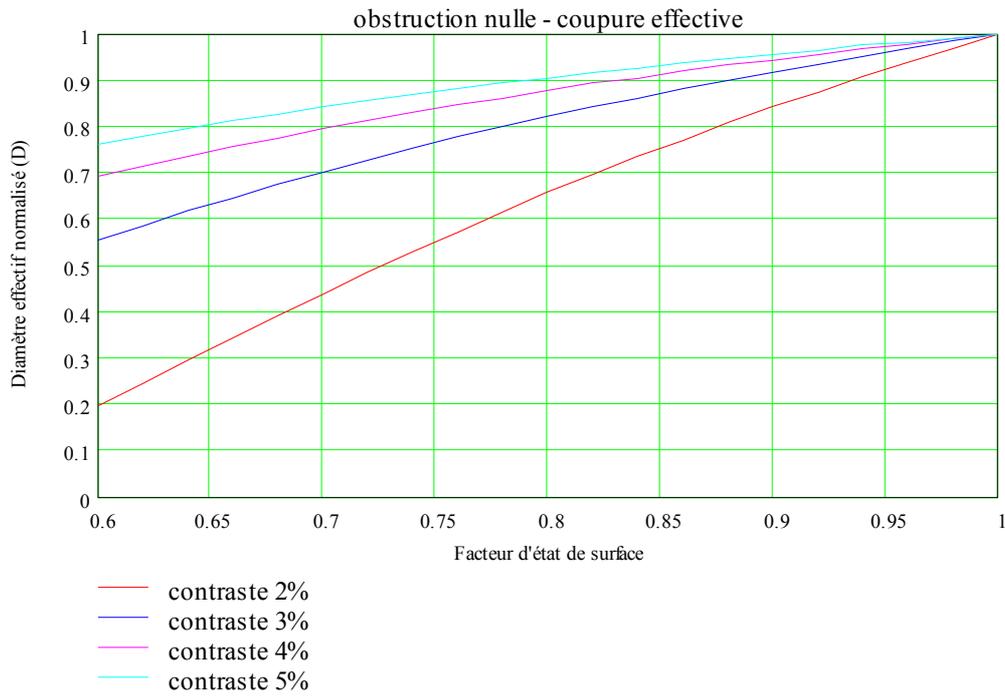
**Évolution du diamètre effectif normalisé avec le contraste et le facteur d'état de surface
Critère de résolution effective appliqué à un instrument d'obstruction 20%**



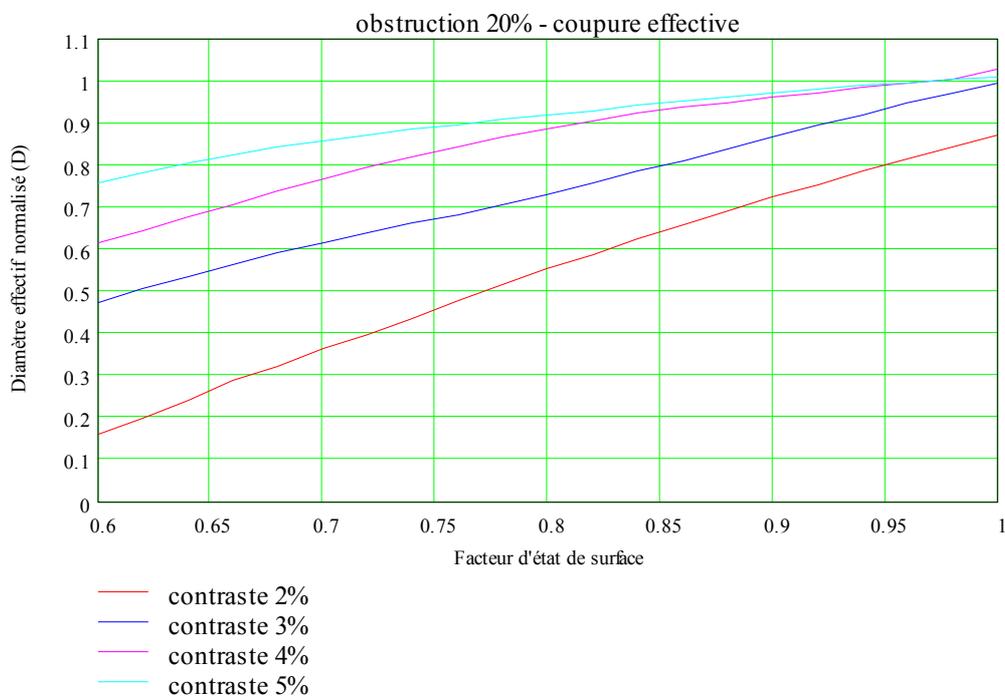
**Évolution du diamètre effectif normalisé avec le contraste et le facteur d'état de surface
Critère de résolution effective appliqué à un instrument d'obstruction 33%**



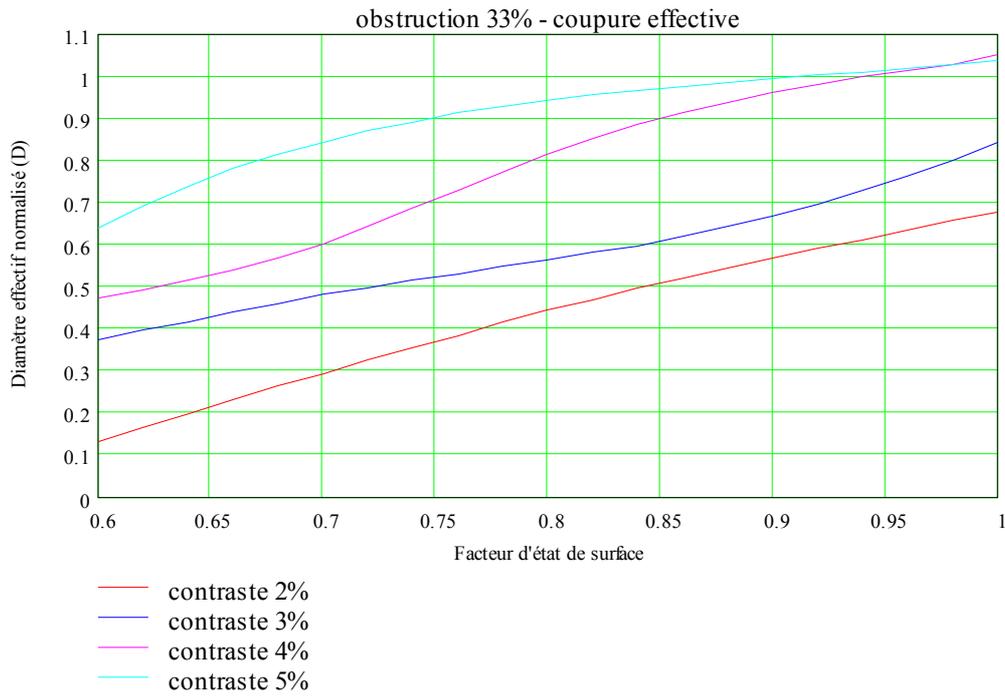
**Évolution du diamètre effectif normalisé avec le contraste et le facteur d'état de surface
Critère de résolution effective appliqué à un instrument d'obstruction 40%**



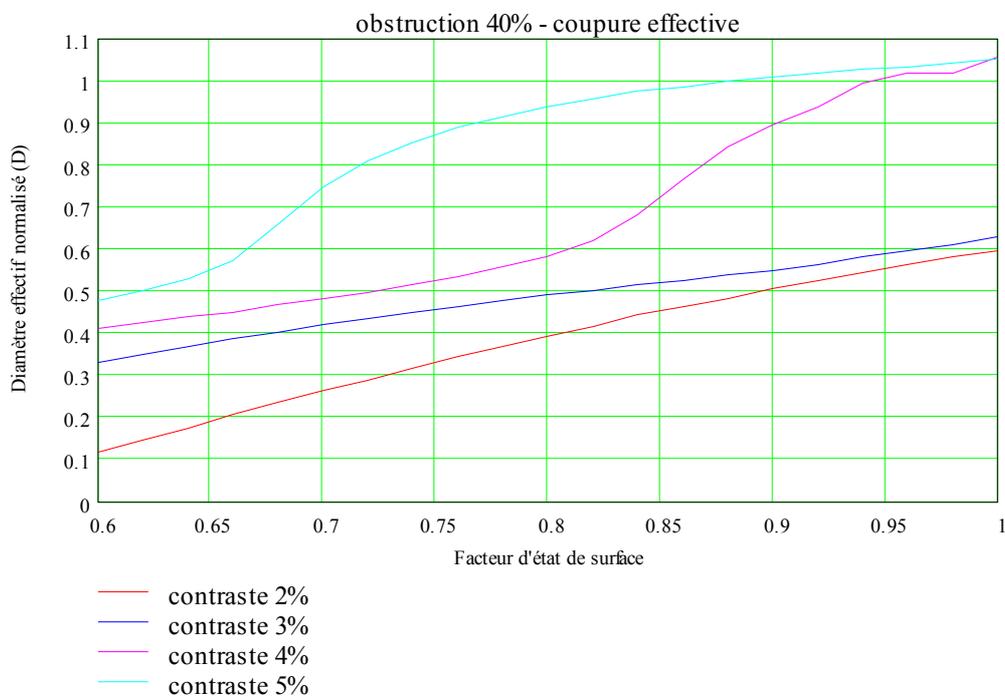
Évolution du diamètre effectif normalisé avec le contraste et le facteur d'état de surface
Critère de fréquence de coupure effective appliqué à un instrument d'obstruction nulle



Évolution du diamètre effectif normalisé avec le contraste et le facteur d'état de surface
Critère de fréquence de coupure effective appliqué à un instrument d'obstruction 20%



Évolution du diamètre effectif normalisé avec le contraste et le facteur d'état de surface
Critère de fréquence de coupure effective appliqué à un instrument d'obstruction 33%



Évolution du diamètre effectif normalisé avec le contraste et le facteur d'état de surface
Critère de fréquence de coupure effective appliqué à un instrument d'obstruction 40%

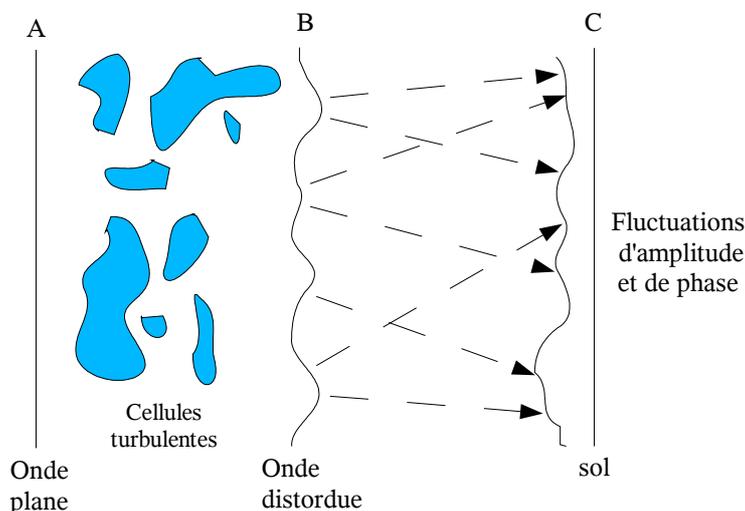
Turbulence atmosphérique

La propagation de la lumière dans l'atmosphère est perturbée par des variations aléatoires de l'indice de réfraction provoquées le long du chemin optique par la turbulence atmosphérique. La turbulence atmosphérique est un phénomène mécanique qui apparaît lorsque la vitesse d'écoulement de l'air dépasse une valeur critique au-delà de laquelle l'écoulement passe de l'état laminaire à l'état turbulent caractérisé par l'apparition de tourbillons. Dans l'atmosphère, la turbulence mécanique transporte des fluctuations de température donc d'indice de réfraction : la turbulence optique prend donc naissance lorsque la turbulence mécanique brasse des couches d'air dont les températures sont différentes.

La propagation des ondes optiques dans l'atmosphère turbulente a donné des développements mathématiques particulièrement complexes fondés sur la théorie des fonctions de structure établie par Kolmogorov qui décrit les propriétés statistiques de la vitesse d'un écoulement turbulent. Elle repose sur la description par Richardson de la cascade d'énergie au travers de laquelle l'énergie initiale due au vent ou à la convection se transmet des tourbillons les plus grands vers les plus petits pour s'y dissiper par viscosité sous forme de chaleur. La turbulence optique est présentée ici sous un angle essentiellement qualitatif, les ouvrages cités en référence permettant d'approfondir la question.

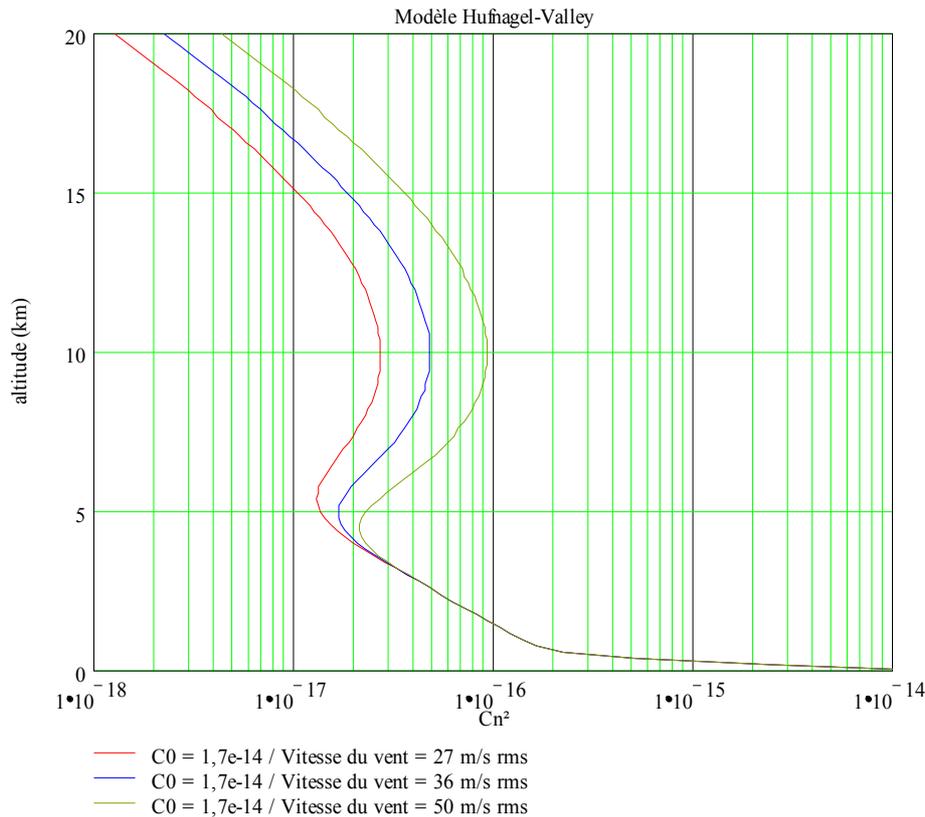
Les fluctuations de l'indice de réfraction causées par les variations de température sont des fonctions aléatoires du temps et de l'espace. Pour simplifier, ces fluctuations peuvent être représentées par des cellules d'indice de réfraction variable que l'on peut assimiler à des lentilles bien qu'il n'y ait pas dans la réalité de discontinuités de l'indice de réfraction. L'atmosphère peut alors être modélisée par un réseau de lentilles de formes et de dimensions variables se déplaçant à une vitesse fluctuant aléatoirement autour de la vitesse moyenne de l'air en mouvement. La taille l_0 des petites cellules est de l'ordre du cm et peut descendre à quelques millimètres à proximité du sol, la taille L_0 des grandes cellules croît avec l'altitude z selon la relation $0,4 \cdot z$ pour se stabiliser entre quelques dizaines de mètres et 100 m en atmosphère libre.

Les variations aléatoires de l'indice de réfraction induisent des fluctuations de vitesse de propagation de l'onde et donc des fluctuations de phase qui déforment le front d'onde au fur et à mesure que l'onde se propage dans l'atmosphère. Ceci se traduit par des effets de focalisation et défocalisation, des déviations locales dans la direction de propagation de l'onde qui provoquent par interférence des variations temporelles d'intensité au niveau d'un détecteur ponctuel placé au sol, comme la scintillation des étoiles, mais aussi la translation et le brouillage des images qui se forment au foyer des instruments astronomiques, limitant ainsi leur résolution.



Perturbation d'une onde plane par la turbulence atmosphérique

Le paramètre fondamental pour caractériser la turbulence optique est la constante de structure d'indice C_n^2 qui quantifie l'amplitude des fluctuations d'indice de réfraction en fonction de l'altitude. Ce paramètre est toujours donné pour un trajet vertical. La figure suivante, représentative du comportement macroscopique de C_n^2 pour un site continental situé à une latitude moyenne, met en évidence les 2 zones de forte turbulence que sont près du sol la couche limite et à l'altitude de 10 km la tropopause. La couche limite est la région basse de l'atmosphère dominée par l'interaction et les échanges de chaleur avec la surface terrestre, tandis que la tropopause, au niveau de laquelle circulent les jet-streams, est la frontière entre la troposphère et la stratosphère.



Caractérisation de la turbulence optique en fonction de l'altitude

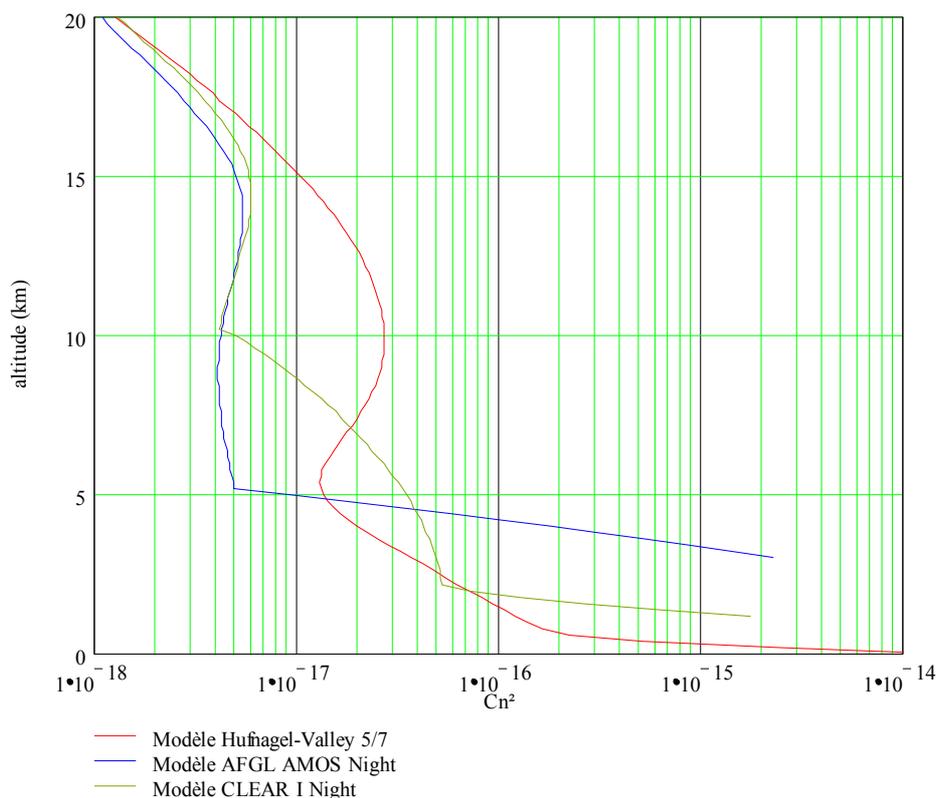
Le paramètre C_n^2 dans la couche limite est très élevé du fait que cette couche est une région de forts gradients de température mais décroît avec l'altitude au fur et à mesure que le niveau d'interaction avec le sol diminue. L'influence de la surface définit 3 régimes qui sont un régime instable apparaissant le jour sous l'effet de la convection lorsque la température du sol est supérieure à la température de l'air, un régime stable qui apparaît la nuit sous l'effet du refroidissement du sol par rayonnement qui provoque le phénomène d'inversion de température caractérisé par une température du sol inférieure à la température de l'air, et pour finir un régime neutre apparaissant le soir et le matin lorsque les températures du sol et de l'air sont égales. Le C_n^2 suit donc un cycle journalier passant par un maximum en association avec le régime instable, un plateau où il fluctue autour d'une valeur moyenne en association avec le régime stable et un minimum, hélas fugitif, aux alentours du coucher et du lever du Soleil en association avec le régime neutre.

La valeur du C_n^2 nocturne est typiquement dans la couche limite inférieure d'un ordre de grandeur à celle du C_n^2 diurne mais reste très variable, essentiellement en fonction du relief, de la rugosité de la surface et du vent. Notamment, l'inversion de température est responsable, dans les quelques dizaines ou centaines de mètres au-dessus du sol, d'un fort gradient de température qui

engendre sous l'effet du vent un important accroissement du C_n^2 et ce jusqu'à des vitesses de 4 à 5 m/s, au-delà le brassage engendré par la turbulence mécanique uniformise la température et inverse la tendance. La hauteur de cette couche limite nocturne est elle-même très variable : elle peut monter jusqu'à 3 km au-dessus d'un désert plat ou à l'inverse être très peu développée au sommet d'une montagne. En particulier, la couche d'inversion n'arrive pas à se former au sommet d'une montagne, l'air froid plus dense descendant systématiquement vers le fond des vallées. La turbulence optique s'y développe beaucoup moins qu'en plaine, mais là encore tout dépend de la force du vent et de sa direction par rapport au relief.

L'atmosphère est en dehors de l'influence de la surface terrestre divisée en couches de quelques centaines de mètres d'épaisseur. Le paramètre C_n^2 en atmosphère libre est caractéristique de cette stratification et présente un caractère chaotique avec des variations de un ou deux ordres de grandeur d'une couche à l'autre. Il en ressort néanmoins une tendance à une turbulence optique plus forte au niveau de la tropopause qui est une région de brusques gradients de température dans laquelle circulent les courants-jets.

La figure suivante permet la comparaison du paramètre C_n^2 pour un site continental US typique en plaine (modèle Hufnagel-Valley 5/7), le site du Mont Haleakala d'une altitude de 3000 m à Hawaï (modèle AFGL AMOS Night) et pour le désert du Nouveau Mexique à l'altitude de 1000 m (modèle CLEAR I Night).



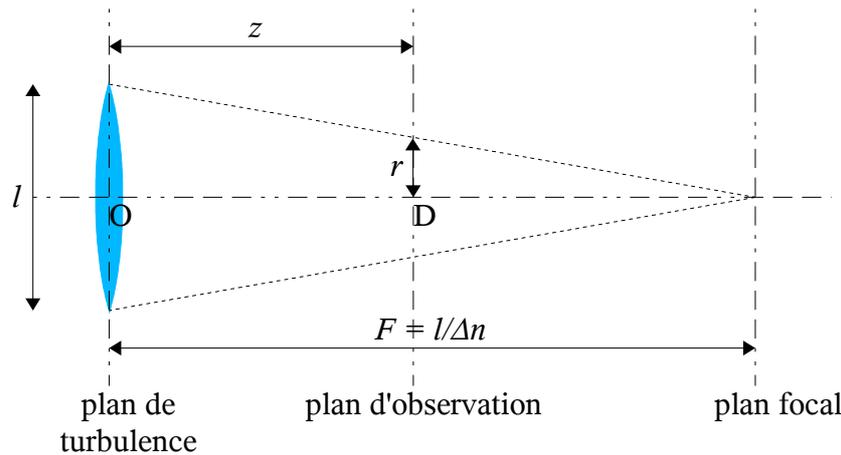
Paramètre C_n^2 pour quelques sites caractéristiques

Turbulence et scintillation

La manifestation la plus évidente de la turbulence optique est la scintillation des étoiles. Il ne faut cependant pas croire que la turbulence atténue la lumière, il y a conservation de l'énergie : l'intensité moyenne (moyenne spatiale ou temporelle) est la même avec ou sans turbulence ; donc si un

observateur A voit l'éclat d'une étoile diminuer sous l'influence de la turbulence optique, il y aura forcément un observateur B placé en un endroit différent qui verra au même instant l'éclat de cette même étoile augmenter.

Nous pouvons, pour une analyse grossière, considérer une cellule de turbulence comme une lentille de diamètre l placée à une distance z d'un observateur équipé d'un détecteur ponctuel D. Cette cellule, qui est constituée d'air d'indice de réfraction normalisé $1 + \Delta n$, forme une lentille de longueur focale F égale à $l/\Delta n$, convergente pour $\Delta n > 0$ ou divergente pour $\Delta n < 0$ selon la géométrie décrite par la figure suivante dans le cas d'une source placée à l'infini.



Mécanisme des fluctuations d'amplitude dans l'hypothèse de l'optique géométrique

La conservation de l'énergie entre le plan de turbulence et le plan de l'observateur permet d'écrire :

$$A_0^2 \cdot \left(\frac{l}{2}\right)^2 = A^2 \cdot r^2 \tag{46}$$

où A_0 et A sont respectivement l'amplitude de l'onde au niveau de la cellule turbulente et au niveau de l'observateur.

La variation relative d'amplitude dans le plan de l'observateur définie par $\Delta A/A_0 = (A - A_0)/A_0$ s'écrit alors dans l'hypothèse, en pratique toujours vérifiée, où $z/F \ll 1$:

$$\frac{\Delta A}{A_0} = \frac{z}{F} \tag{47}$$

soit en tenant compte de l'expression de F :

$$\frac{\Delta A}{A_0} = \frac{z}{l} \cdot \Delta n \tag{48}$$

exprimant donc logiquement le fait que :

- $\Delta n > 0$, la lumière est focalisée, l'éclat de l'étoile augmente
- $\Delta n < 0$, la lumière est défocalisée, l'éclat de l'étoile diminue

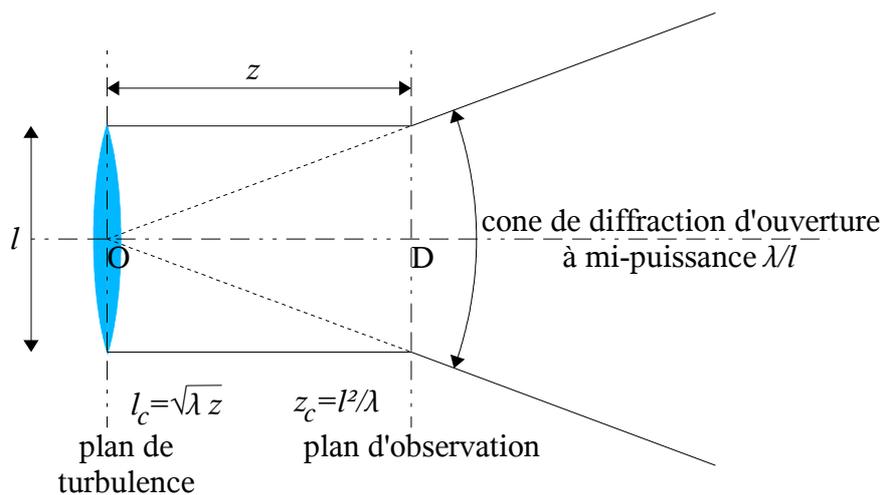
Les variations d'indice de réfraction sont données par la fonction de structure d'indice D_n définie par $D_n = \overline{\Delta n^2}$, soit dans le cadre du processus de la cascade d'énergie :

- $D_n = C_n^2 \cdot l^2 \cdot I_0^{-4/3}$, pour $1 \ll l_0$ [49']
- $D_n = C_n^2 \cdot l^{2/3}$, pour $l_0 \ll 1 \ll L_0$ [49'']
- $D_n = C_n^2 \cdot L_0^{2/3}$, pour $1 \gg L_0$ [49''']

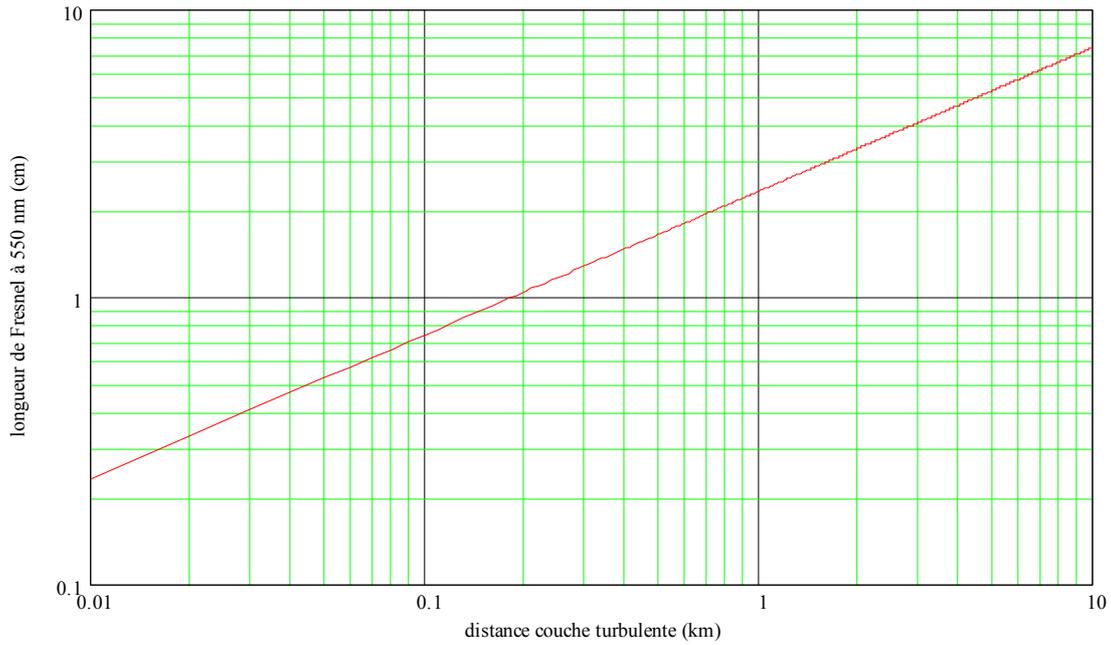
Il vient immédiatement l'expression de la valeur moyenne des fluctuations relatives d'intensité pour la cellule de turbulence décrite précédemment :

- $\left(\frac{\Delta A}{A_0}\right)^2 = z^2 \cdot C_n^2 \cdot I_0^{-4/3}$, pour $1 \ll l_0$ [50']
- $\left(\frac{\Delta A}{A_0}\right)^2 = z^2 \cdot C_n^2 \cdot l^{-4/3}$, pour $l_0 \ll 1 \ll L_0$ [50'']
- $\left(\frac{\Delta A}{A_0}\right)^2 = z^2 \cdot C_n^2 \cdot l^{-2} \cdot L_0^{2/3}$, pour $1 \gg L_0$ [50''']

Pour un niveau de turbulence donné, la scintillation d'une source ponctuelle est donc dominée par les cellules turbulentes de petite taille éloignées du détecteur. La taille minimale des cellules contribuant à la scintillation est limitée soit par l_0 , soit par les conditions d'application de l'optique géométrique : en effet, lorsque la diffraction devient prépondérante, les effets des fluctuations de l'indice de réfraction sont gommés et le phénomène de scintillation disparaît. L'optique géométrique s'applique tant que la taille des cellules est supérieure à la longueur de Fresnel $\sqrt{\lambda \cdot z}$ qui définit, comme la figure suivante le montre compte tenu des valeurs de l_0 et L_0 , la dimension des cellules dominant en pratique la scintillation : on remarquera que dans ce cas précis l'amplitude des fluctuations d'intensité croît avec la distance en $z^{4/3}$.



Domaine de validité de l'optique géométrique pour la scintillation



Dimension des cellules dominantes dans le phénomène de la scintillation

La résolution des équations de propagation, dans le cadre d'une approche supposant une turbulence modérée, montre que l'amplitude *A* comme l'intensité *I* de l'onde associée à une source ponctuelle telle qu'une étoile suivent une loi log-normale :

- $A = e^{\chi}$ [51']
- $I = A^2 = e^{2 \cdot \chi}$ [51'']

χ étant une loi normale telle que :

- $\sigma_{\chi}^2 = \frac{0,56 \cdot k^{7/6}}{\cos^{11/6}(\gamma)} \cdot \int_0^{Z_0} C_n^2(z) \cdot z^{5/6} dz$ [52']
- $m_{\chi} = -\sigma_{\chi}^2$ [52'']

avec :

$$k = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \text{ , nombre d'onde} \tag{53}$$

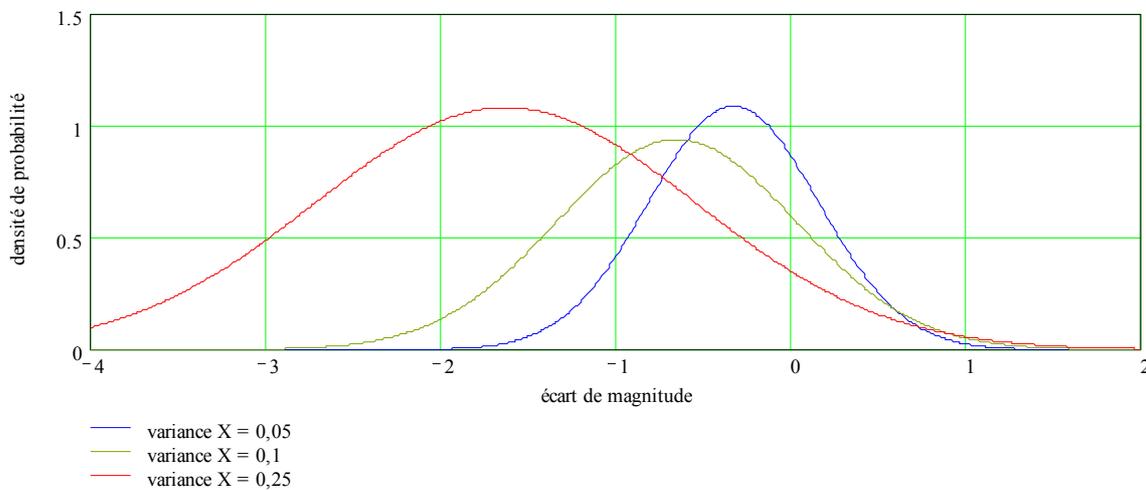
où :

- γ est l'angle zénithal
- λ est la longueur d'onde en mètres
- Z_0 est l'épaisseur de l'atmosphère en mètres

La loi de probabilité décrivant la statistique de l'intensité *I* s'écrit alors :

$$p_I(i) = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma_{\chi} \cdot i} \cdot e^{-\frac{\left(\frac{1}{2} \cdot \ln(i) - m_{\chi}\right)^2}{2 \cdot \sigma_{\chi}^2}} \tag{54}$$

donnant les courbes suivantes pour diverses valeurs de σ_x^2 , lorsque l'intensité est convertie en magnitude relative :



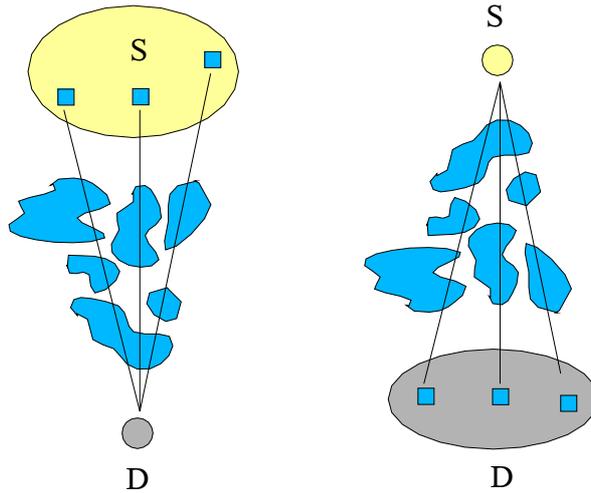
Statistique de l'intensité exprimée en magnitude relative

L'hypothèse de la turbulence faible est en pratique toujours valable pour les trajets espace-sol. En particulier, les prédictions du modèle sont conformes aux mesures pour σ_x^2 inférieur à 0,3 qui constitue une valeur extrême pour une observation astronomique. Pour des valeurs théoriques supérieures, les mesures montrent clairement un phénomène de saturation que la théorie classique ne met pas en évidence.

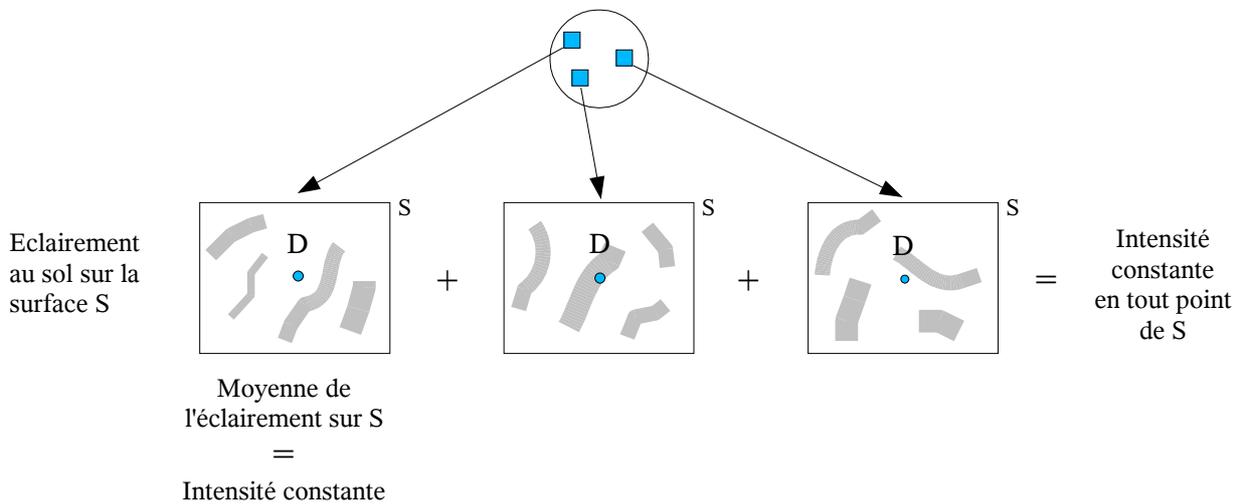
Nous allons pour terminer examiner les cas particuliers des planètes et de l'observation des étoiles au télescope.

Les planètes ne scintillent pas à l'œil nu car elles constituent une source étendue. Chaque élément de surface de la planète est vu par l'observateur à travers un empilement de cellules turbulentes différent et engendre un motif d'éclairement particulier : la somme des éclaircissements en un point D quelconque est alors constante puisque les motifs d'éclairement sont indépendants. Ces motifs d'éclairement sont constitués de grains dont la dimension est de l'ordre de quelques centimètres : ces grains sont visibles lors des éclipses totales de Soleil sous la forme dite des ombres volantes dans la minute précédant la totalité ou au télescope sur une étoile fortement défocalisée. Vénus constitue cependant une exception puisqu'on peut la voir scintiller assez fortement lorsqu'elle est basse sur l'horizon : ceci peut s'expliquer par le fait qu'étant une planète intérieure elle se présente dans certaines conditions, à l'instar du Soleil pendant une éclipse totale, sous la forme d'un fin croissant ; le moyennage angulaire des fluctuations d'intensité est alors nettement moins important et il existe une scintillation résiduelle perceptible à l'œil nu.

Les étoiles ne scintillent pas au télescope car la moyenne spatiale de l'éclairement est constante et les grains des motifs d'éclairement sont de dimension très inférieure à la pupille du télescope : le moyennage spatial réalisé par la pupille d'entrée du télescope est d'autant plus puissant que le diamètre de celui-ci est élevé ; cependant il reste toujours une scintillation résiduelle qui, par exemple, est encore perceptible pour une étoile choisie basse sur l'horizon avec un instrument de 12 centimètres de diamètre.



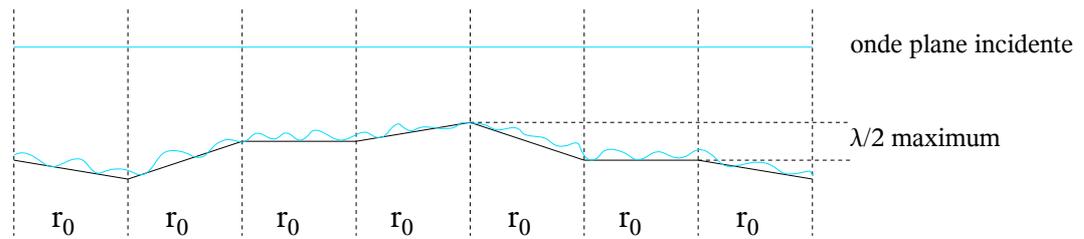
Cas d'une source S étendue ou d'un détecteur D non ponctuel



Moyennage angulaire et spatial des fluctuations d'intensité

Turbulence et imagerie

La formation des images est essentiellement affectée par les fluctuations de phase de l'onde. Ces fluctuations de phase se traduisent par un mouvement aléatoire de la tache image (translation) lorsque la turbulence est faible, et par un éclatement de cette tache avec formation de speckles (tavelures) lorsque la turbulence augmente, correspondant en observation planétaire à une disparition progressive de détails potentiellement visibles. L'amplitude des fluctuations d'indice de réfraction étant maximale aux fréquences spatiales basses, la formation des images est dominée par les fluctuations d'indice à l'échelle des cellules de dimension L_0 responsables des mouvements de la tache image, et compte tenu des profils de C_n^2 , il est clair que les cellules de turbulence situées près du sol sont les principaux contributeurs de la dégradation des images. Les effets visibles dépendent à la fois du diamètre instrumental et de la rapidité du capteur d'image.



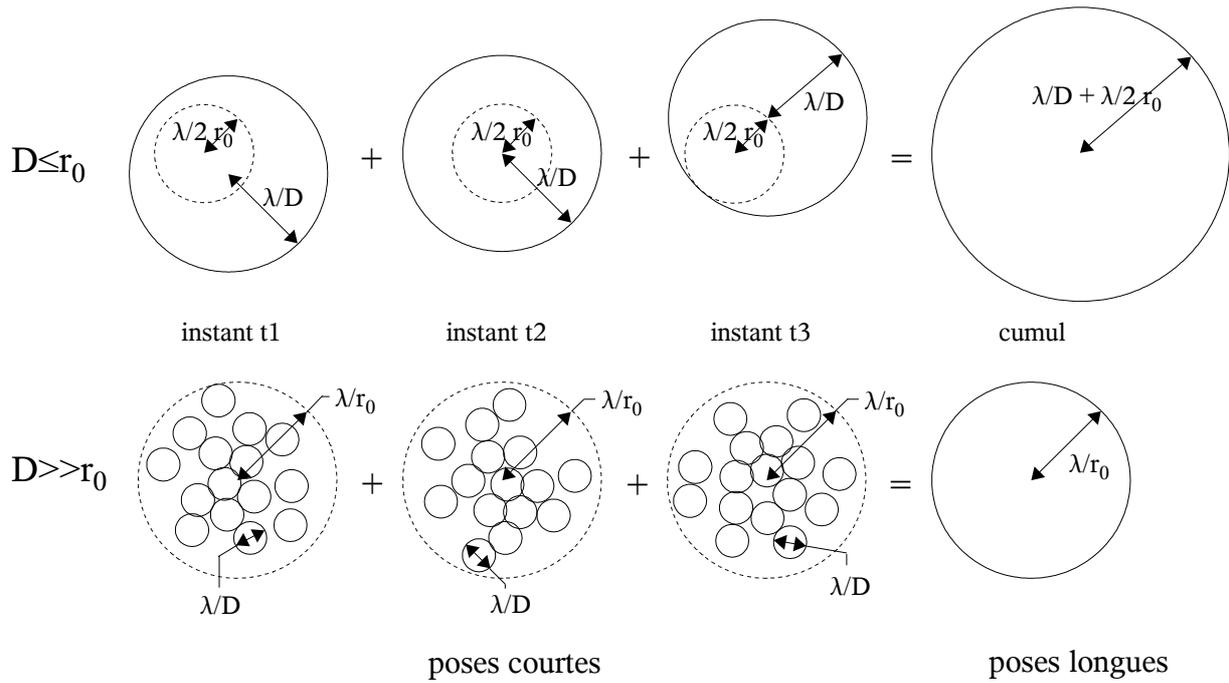
Décomposition du front d'onde en surfaces élémentaires

Considérons tout d'abord un capteur d'image dont le temps de pose est négligeable devant la constante de temps des fluctuations de phase : un tel capteur permet de figer les effets de la turbulence et de prendre un instantané du front d'onde. Le front d'onde peut être décomposé en surfaces élémentaires de dimension moyenne r_0 , pour lesquelles la distorsion du front reste inférieure à $\lambda/4$. Nous pouvons alors facilement distinguer 3 cas en fonction du diamètre D d'un instrument observant une étoile :

- Lorsque le diamètre instrumental est très petit devant r_0 , la turbulence reste bien évidemment sans effet sur l'aspect de la tache de diffraction.
- A l'autre extrémité, lorsque le diamètre instrumental est très grand devant r_0 , l'image formée sur le capteur est la résultante des interférences entre les différentes surfaces élémentaires composant le front d'onde en faisant apparaître 2 motifs remarquables : un motif primaire de rayon λ/r_0 lié au disque central de la figure de diffraction d'une ouverture circulaire de diamètre r_0 et un motif secondaire constitué de grains (speckles) de diamètre λ/D lié aux interférences entre les différentes surfaces élémentaires interceptées par l'ouverture instrumentale de diamètre D .
- Pour les diamètres instrumentaux voisins de r_0 , la turbulence optique se manifeste principalement par un mouvement aléatoire de la tache image. Ceci s'explique par le fait que les fluctuations d'indice et par conséquent de phase sont plus importantes à grande échelle qu'à petite échelle, sous l'effet des cellules de turbulence les plus grandes. En particulier, lorsque le diamètre instrumental est égal à r_0 , le front d'onde peut être vu comme la superposition d'une composante principale sous la forme d'une surface plane d'inclinaison aléatoire au maximum égale à $\pm 0,5 \cdot \lambda/r_0$, et d'une composante résiduelle, d'amplitude plus faible, rassemblant les fluctuations d'échelle inférieure à r_0 .

Les effets temporels, comme le mouvement aléatoire de la tache image ou les fluctuations dans la structure des speckles, sont intégrés par le capteur d'image pour les temps de pose longs. Là encore, nous pouvons facilement distinguer 3 cas en fonction du diamètre D d'un instrument observant une étoile :

- Lorsque le diamètre instrumental est très petit devant r_0 , la turbulence reste également bien évidemment sans effet sur l'aspect de la tache de diffraction.
- A l'autre extrémité, lorsque le diamètre instrumental est très grand devant r_0 , l'image formée sur le capteur est un disque de rayon λ/r_0 correspondant à la partie centrale de la figure de diffraction d'une ouverture circulaire de diamètre r_0 .
- Pour les diamètres instrumentaux voisins de r_0 , la turbulence optique se manifeste par un étalement plus ou moins marqué de la tache image propre de l'instrument. En particulier, lorsque le diamètre instrumental est égal à r_0 , la tache image résultante possède un rayon égal à $1,5 \cdot \lambda/r_0$ correspondant à l'enveloppe de la tache image propre de l'instrument, de rayon λ/r_0 , animée d'un mouvement aléatoire d'amplitude $\pm 0,5 \cdot \lambda/r_0$: la résolution effective de l'instrument est dans ces conditions égale aux deux tiers de sa résolution théorique.



Influence du diamètre instrumental et du temps de pose

Les développements théoriques concernant l'imagerie à travers un milieu turbulent permettent de mieux comprendre un certain nombre de points et surtout d'estimer les performances d'imagerie accessibles en présence de turbulence optique.

Le diamètre de cohérence atmosphérique ou diamètre de Fried r_0 , distance sur laquelle l'onde reste sensiblement plane, s'exprime en mètres en fonction de la constante de structure d'indice par :

$$r_0 = 2,1 \cdot \left[\frac{1,46 \cdot k^2}{\cos(\gamma)} \cdot \int_0^{Z_0} C_n^2(z) dz \right]^{-3/5} \tag{55}$$

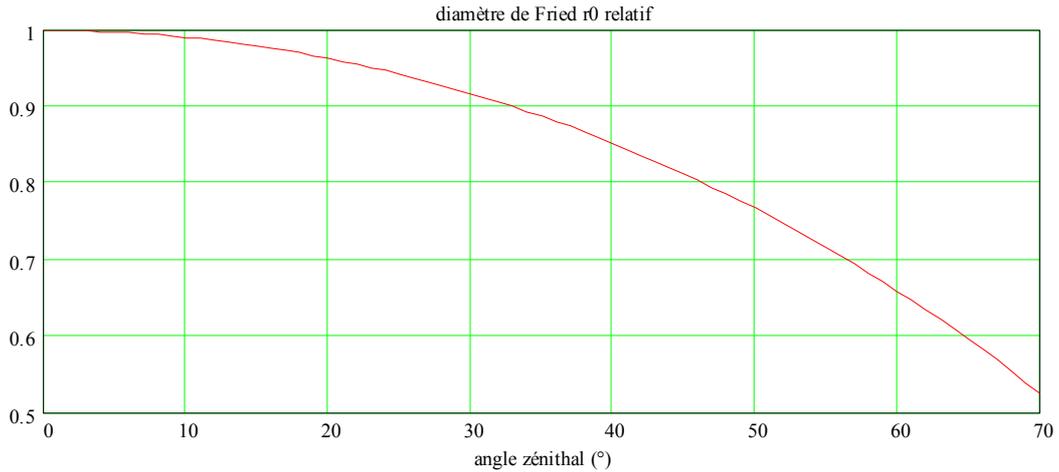
avec :

$$k = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \text{ , nombre d'onde} \tag{56}$$

où :

- γ est l'angle zénithal
- λ est la longueur d'onde en mètres
- Z_0 est l'épaisseur de l'atmosphère en mètres

Comme la pratique le confirme, l'influence de l'angle zénithal sur la qualité des images est considérable. La figure suivante, qui représente le diamètre de Fried relatif à sa valeur au zénith, montre qu'il est capital pour l'imagerie planétaire d'observer à des hauteurs supérieures à 45°.

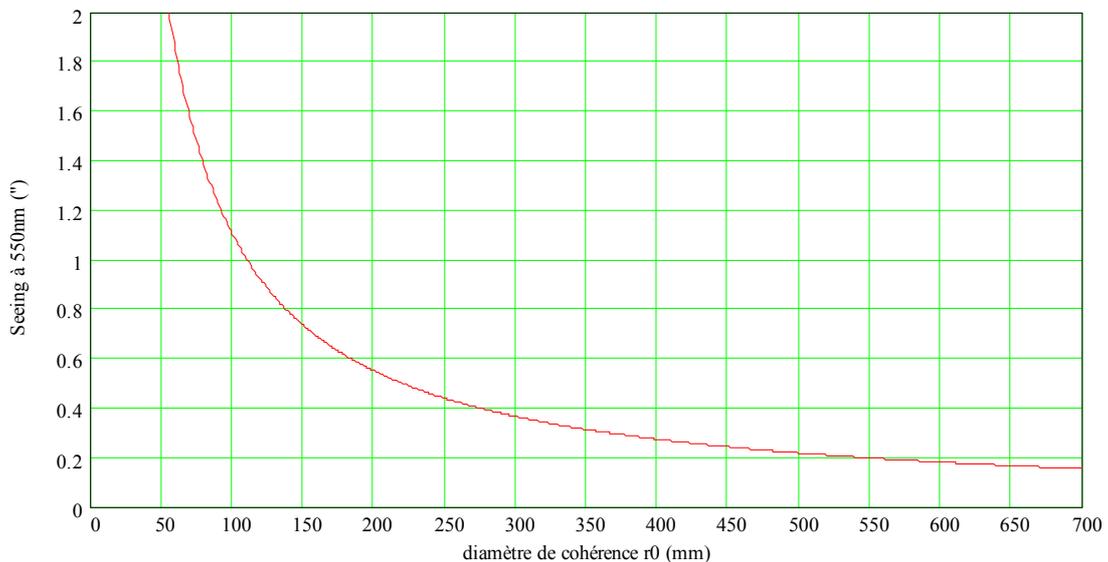


Influence de l'angle zénithal sur le diamètre de Fried

La notion de seeing est en pratique souvent utilisée à la place du diamètre de Fried. Le seeing correspond à la largeur à mi-hauteur (Full Width Half Maximum) de la tâche de diffraction dans le cas d'une pose longue avec un télescope de diamètre très supérieur à r_0 , donc n'influant pas sur la dimension de la tâche de diffraction mesurée. Le seeing ϵ est donné en secondes d'arc par la relation suivante :

$$\epsilon = 2,02 \cdot 10^5 \cdot \frac{\lambda}{r_0} \tag{57}$$

où λ est la longueur d'onde et r_0 le diamètre de Fried tous les deux exprimés en mètres.



Relation entre seeing et diamètre de Fried

On rappelle que la résolution apparente R_a d'un système peut être définie comme le volume sous la Fonction de Transfert de Modulation tenant compte de l'atmosphère, soit dans l'hypothèse d'une optique sans astigmatisme :

$$Ra = 2 \cdot \pi \cdot \int_0^{\infty} \nu \cdot FTMR_o(\nu) \cdot FTMR_a(\nu) d\nu \quad [58]$$

où :

- $FTMR_o(\nu)$ est la FTM réduite de l'instrument
- $FTMR_a(\nu)$ est la FTM réduite de l'atmosphère

La FTM réduite de l'instrument s'écrit dans le cas d'une lunette de diamètre D limitée par la diffraction :

$$FTMR_o(\nu) = \frac{-2 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\nu}{\nu_c}\right)^2} \cdot \frac{\nu}{\nu_c} - 2 \cdot \arcsin\left(\frac{\nu}{\nu_c}\right) + \pi}{\pi}, \nu \leq \nu_c \quad [59]$$

où ν_c est la fréquence spatiale de coupure de l'instrument qui définit la fréquence à partir de laquelle la FTM est nulle :

$$\nu_c = \frac{D}{\lambda} \quad [60]$$

La FTM réduite de l'atmosphère est donnée par l'équation :

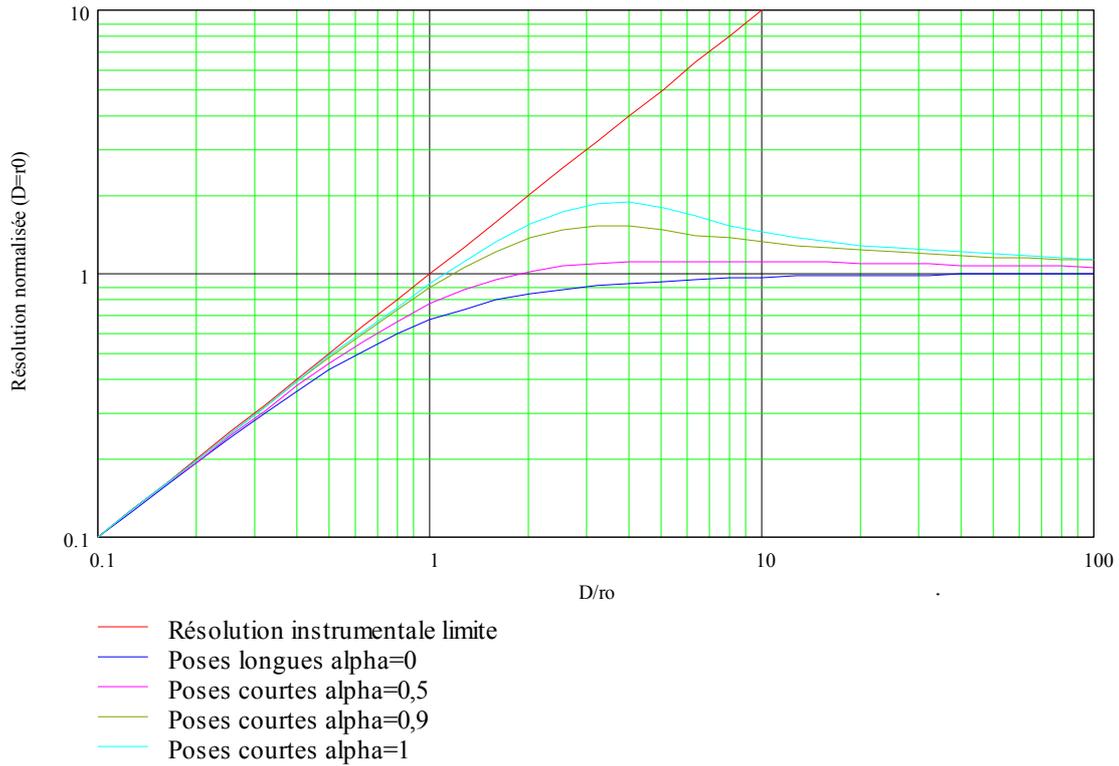
$$FTMR_a(\nu) = e^{-3,44 \cdot \left(\frac{D}{r_0} \cdot \frac{\nu}{\nu_c}\right)^{\frac{5}{3}} \cdot \left[1 - \alpha \cdot \left(\frac{\nu}{\nu_c}\right)^{\frac{1}{3}}\right]} \quad [61]$$

où α est un paramètre qui définit les conditions d'application du modèle :

- $\alpha = 0$, poses longues
- $\alpha = \frac{1}{2}$, poses courtes – dégradation des images due à part égale aux effets sur la phase et l'amplitude de l'onde (couches turbulentes éloignées de l'instrument)
- $\alpha = 1$, poses courtes – dégradation des images due uniquement aux effets sur la phase de l'onde (couches turbulentes proches de l'instrument)

Dans le cas des observations astronomiques, les effets de la turbulence sur l'amplitude sont minoritaires par rapport aux effets sur la phase. Un calcul grossier permet d'évaluer la valeur typique de α à 0,9 tandis qu'une estimation du pire cas, correspondant à un niveau de turbulence très important provoquant la saturation des effets sur l'amplitude, donne la valeur 0,8. Les courbes données annexes G à I montrent que la valeur du paramètre α n'influe pratiquement pas sur le classement des instruments.

Il vient alors pour la résolution apparente R_a en fonction du rapport D/r_0 la figure suivante selon les conditions d'application définies par α :



Résolution normalisée d'une lunette limitée par la diffraction pour les 3 modèles canoniques de turbulence atmosphérique et les conditions standard pour les observations astronomiques

La courbe de résolution associée aux poses longues correspond au majorant des effets de la turbulence optique cumulant à la fois les effets de mouvement et d'éclatement de la tache image liés aux perturbations de la phase et de l'amplitude de l'onde. Les courbes de résolution associées aux poses courtes correspondent à une turbulence optique corrigée des effets de mouvement de la tache image selon le critère des moindres carrés. Un des résultats remarquable de l'analyse relative aux poses courtes est qu'elle fait apparaître un diamètre instrumental optimal d'environ 4 r₀ pour lequel la résolution est maximale : au-delà d'un diamètre de 4 r₀ le speckle devient prédominant sur les effets de translation de la tache image. La notion de pose courte est en elle-même assez floue : un ordre de grandeur de la constante de temps de la turbulence optique est donnée par la relation $\tau_0 = r_0 / V$ où V est la vitesse du vent ; la valeur typique de cette constante de temps s'établit autour de 10 ms pour un site astronomique tandis que 500 μs apparaît comme une valeur minimale qui n'est atteinte que lorsque la turbulence est particulièrement importante (r₀=2,5 cm et V=50 m/s).

$$\tau_0 = \left[\frac{2,91 \cdot k^2}{\cos(\gamma)} \cdot \int_0^{Z_0} C_n^2(z) V^{\frac{5}{3}}(z) dz \right]^{-\frac{3}{5}} \tag{62}$$

avec :

$$k = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \text{ , nombre d'onde} \tag{63}$$

où :

- γ est l'angle zénithal
- λ est la longueur d'onde en mètres
- Z₀ est l'épaisseur de l'atmosphère en mètres

Ces résultats sont uniquement valables pour l'observation d'un objet ponctuel tel qu'une étoile. Lorsque l'on observe un objet étendu comme une planète, il faut considérer l'angle d'isoplanétisme qui définit le domaine angulaire à l'intérieur duquel la turbulence optique produit des effets identiques (même déplacement et même éclatement de la tache image) :

$$\theta_0 = 1,7 \cdot \left[\frac{2,91 \cdot k^2}{\cos(\gamma)^{8/5}} \cdot \int_0^{z_0} C_n^2(z) \cdot z^{5/3} dz \right]^{-3/5} \quad [64]$$

où le coefficient 1,7 est introduit pour prendre en compte le fait que l'angle d'isoplanétisme est plus élevé lorsque l'optique utilisée n'est pas une optique adaptative (car si une optique adaptative améliore les images autour de l'objet de référence, elle les dégrade partout ailleurs).

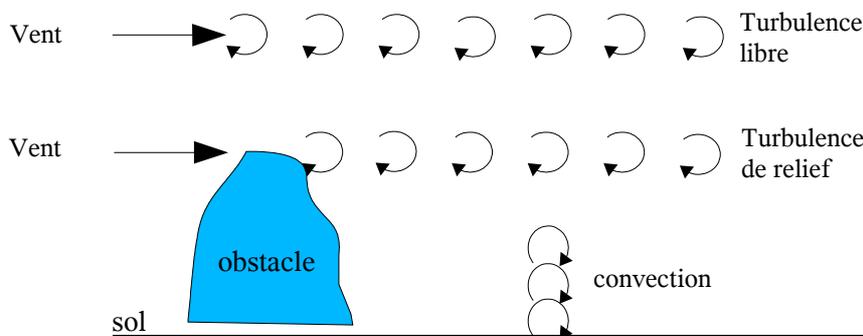
La formule précédente montre que l'angle d'isoplanétisme est typiquement de l'ordre de quelques secondes d'arc et est donc malheureusement beaucoup plus petit que le diamètre angulaire d'une planète : en pratique les mesures donnent des valeurs supérieures, aux alentours de 4 secondes d'arc. L'anisoplanétisme se traduit notamment par une distorsion des images planétaires dont les différentes parties sont affectées de mouvements différents : cette manifestation de la turbulence est particulièrement évidente sur les films planétaires pris avec une webcam.

Le phénomène de la turbulence optique est donc extrêmement nuisible en imagerie. Cependant, il faut garder à l'esprit que toutes les notions présentées ont un caractère stochastique : le diamètre de Fried comme l'angle d'isoplanétisme varient aléatoirement dans le temps. En particulier, il existe des trous de turbulence pendant lesquels tous les deux présentent des valeurs nettement supérieures à leur moyennes statistiques : l'angle d'isoplanétisme est dans ces trous de turbulence de 10 à 15 fois supérieur à sa valeur moyenne, et le diamètre de cohérence également fortement augmenté par rapport à sa valeur moyenne.

Sur le terrain

La turbulence optique prend naissance pour l'astronome amateur en dehors des problèmes de mise en température des instruments :

- par convection thermique au-dessus d'éléments dégageant de la chaleur, comme les habitations par exemple
- par perturbation de l'écoulement d'air par un obstacle lorsque le lieu d'observation est situé sous le vent
- par perturbation de la couche d'inversion par un vent de basse atmosphère
- par perturbation de l'atmosphère libre par les courants-jets

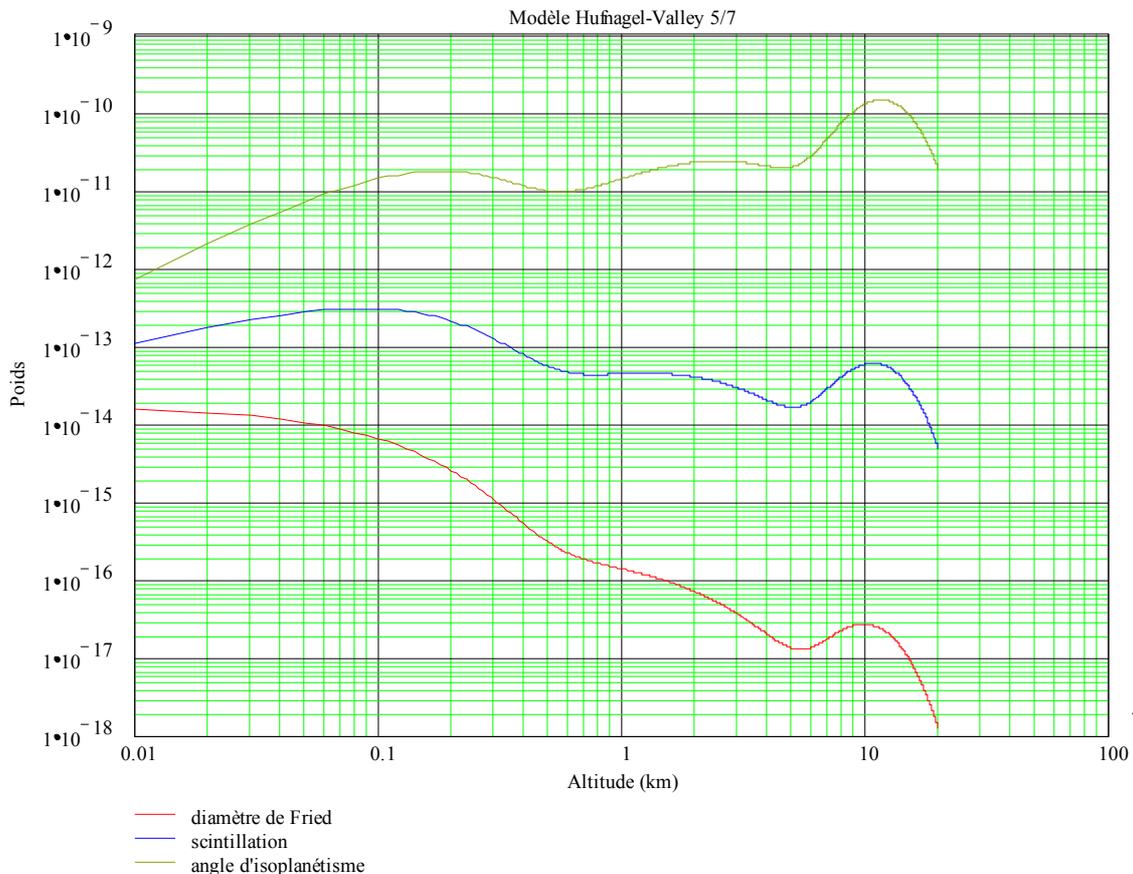


Sources de turbulence atmosphérique

D'une manière générale il est préférable d'observer en altitude et le site astronomique idéal est le sommet d'une montagne conique isolée au milieu d'une grande étendue d'eau (Hawaï, Les Canaries) ou un sommet en avant d'une chaîne montagneuse, face aux vents dominants (Pic du Midi, La Silla). Le Dôme C en Antarctique est également très prometteur, bien que nettement moins accessible. L'astronome amateur doit malheureusement se contenter en général d'un lieu d'observation plus modeste, et attendre l'établissement du régime neutre ou stable dans la couche limite (arrêt de la convection thermique) ainsi que les jours sans vent avant de pouvoir faire de bonnes images. A ce titre, les nuits proches des équinoxes de printemps et d'automne sont en général plus favorables, essentiellement après une période de temps froid lors d'un redoux qui peut donner un ciel légèrement voilé mais extrêmement stable. Le diamètre de Fried est en général compris entre 5 et 15 centimètres pour une visée verticale sur un site astronomique, et peut atteindre des valeurs de 30 à 40 centimètres lors de certaines nuits exceptionnelles sur des sites comme le Pic du Midi ou le Mauna Kea.

La figure suivante donne le poids relatif des différentes couches atmosphériques dans les grandeurs caractérisant la turbulence atmosphérique. On remarquera en particulier que :

- les basses couches de l'atmosphère et notamment les 300 à 400 premiers mètres sont prépondérants pour le diamètre de Fried, d'où l'intérêt d'un site d'observation en altitude
- les couches à l'altitude de 10 km sont prépondérantes pour l'angle d'isoplanétisme, d'où l'intérêt d'un site d'observation éloigné des courants-jets
- malgré une progression en $z^{5/6}$ les basses couches de l'atmosphère sont prépondérantes dans le phénomène de scintillation



Contribution des différentes couches atmosphérique à la turbulence

Compte tenu de la grande sensibilité du diamètre de Fried à l'angle zénithal, il est fortement conseillé, conformément à l'expérience, d'observer les planètes à des hauteurs angulaires supérieures à 45° . Bien évidemment, il est préférable pour l'observation des planètes de profiter de leur passage au méridien et de ne pas rater les années où l'opposition a lieu à une période éloignée du solstice d'été. Les amateurs d'imagerie numérique pourront composer après détranslation des séries d'images réalisées en poses courtes afin de filtrer le plus possible la composante basse fréquence de la turbulence optique. Pour figer les effets des fluctuations temporelles d'indice de réfraction, il est nécessaire de réaliser des poses très courtes de l'ordre de 10 ms, valeur typique de la constante de temps des fluctuations de phase obtenue pour un diamètre de Fried de 10 cm et une vitesse du vent de 10 m/s.

Pour finir, la turbulence étant un phénomène intermittent, des améliorations (comme des dégradations d'ailleurs) significatives pouvant survenir rapidement, il faut montrer une grande patience afin de profiter des moments d'accalmie. Sachant que la couche d'inversion s'établit en général avant le coucher du Soleil, que la turbulence optique liée à cette couche d'inversion paraît dépendre principalement de la météorologie synoptique, et ayant souvent constaté une dégradation des images dans l'heure précédant le lever du Soleil, j'aurais tendance à penser que le milieu de nuit permet de meilleures images. Quoiqu'il en soit, une nuit commencée dans de mauvaises conditions ne se transformera jamais en une nuit exceptionnelle. Toutefois, les techniques de sélection d'images associées aux poses courtes sont un outil extrêmement puissant largement utilisé par les amateurs pour obtenir des clichés d'une qualité incomparable par rapport aux anciens clichés argentiques qui demandaient des poses de plusieurs secondes, et même par rapport à une observation visuelle : un taux de sélection de 10% permet déjà d'atteindre la résolution théorique d'un instrument de diamètre égal à $3 r_0$ avec une optique de diamètre $5 r_0$. Les techniques de restauration d'image anisoplanétique avec déconvolution en aveugle donnent des résultats absolument étonnants, mais ne sont pas encore à la portée des amateurs.

Concernant l'observation visuelle, l'utilisation du modèle de turbulence atmosphérique poses courtes avec un paramètre α de valeur 1 comme de valeur $9/10$, quel que soit le critère de résolution utilisé, montre que l'obstruction n'est en aucun cas un facteur déterminant, contrairement à ce qui est souvent avancé parmi les astronomes amateurs. Il n'y a pas non plus de phénomène délétère mystérieux lié à la réflexion de la lumière par un miroir. S'il est vrai qu'à qualité optique et diamètre égaux, une lunette donnera toujours une image meilleure qu'un télescope, on pourra toujours trouver un télescope de diamètre supérieur donnant une image au moins équivalente sinon supérieure à la condition d'une qualité optique minimale. L'important est d'obtenir la meilleure image pour un budget donné et à ce jeu l'avantage est indéniablement au télescope avec un rapport performance-prix au minimum deux fois supérieur. En fait, l'excellente réputation des lunettes apochromatiques en matière d'observation planétaire est uniquement liée à leur très bonne qualité optique par rapport à des télescopes en général moins soignés car majoritairement destinés à un marché de masse.

Il apparaît toutefois qu'une obstruction trop importante contraint à une qualité optique irréprochable et rend l'instrument très sensible à tous les défauts du front d'onde pour les contrastes moyens, en particulier à la turbulence atmosphérique. L'obstruction maximale pour l'observation planétaire est de l'ordre de 33% et un instrument obstrué à 40% doit être plutôt réservé au ciel profond, même si là encore il n'y a pas de règle absolue. Un état de surface d'onde de $\lambda/20$ rms ou $\lambda/6$ ptv correspond au niveau de qualité minimal requis pour la haute résolution. Rien ne sert cependant d'investir dans un niveau de qualité supérieur à $\lambda/28$ rms ou $\lambda/8$ ptv, le gain pour l'observation planétaire étant absolument insignifiant et sans rapport avec le surcoût induit. Le tableau suivant donne le diamètre d'un télescope obstrué à 33% procurant au minimum, quelles que soient les conditions d'observation, la même image qu'une lunette, les deux instruments étant supposés présenter le même état de surface d'onde : on remarquera le rapport $2/3$ entre les diamètres, caractéristique de la comparaison d'instruments sur des cibles de contraste faible et correspondant à la grandeur « 1 – obstruction », rapport des pentes des FTM à l'origine.

<i>Diamètre de la lunette de référence (mm)</i>	<i>Diamètre du télescope équivalent obstrué à 33% (mm)</i>
105	150
130	200
150	230

Diamètre du télescope équivalent à une lunette

Pour finir, on pourra choisir des oculaires correspondant à des grossissements de 10/10, 15/10, 20/10, voire 25/10 du diamètre de l'instrument exprimé en millimètres, pour des instruments obstrués à moins de 33% et présentant un état de surface meilleur que $\lambda/4$ pTV (classe astronomique au minimum). Ces grossissements doivent être employés à bon escient en fonction des conditions de turbulence et du contraste de l'objet observé :

- le grossissement 10/10 sera réservé aux observations en présence d'une turbulence forte (relativement au diamètre de l'instrument) et pourra être partagé avec l'observation de certains objets du ciel profond comme les amas globulaires et certaines nébuleuses planétaires.
- les grossissements 15/10 et 20/10, complétés par 25/10 pour une lunette uniquement, seront réservés aux observations en présence d'une turbulence « normale » à faible ; ces grossissements seront utilisés du plus faible au plus élevé proportionnellement au contraste de l'objet observé.

Les grossissements suivants seront utilisés en complément :

- le grossissement 5/10, habituel en ciel profond, sera réservé aux observations en présence d'une turbulence très forte, ce qui est malheureusement trop souvent le cas
- les grossissements compris entre 30/10 et 40/10 seront réalisés avec une lentille de Barlow et réservés aux observations en présence d'une turbulence « normale » à faible pour des objets fortement contrastés uniquement

Il n'y a pas en fait de règle autre que « plus l'objet est contrasté et la turbulence faible, plus le grossissement utilisé peut et doit être important, dans la limite d'environ 3 à 4 fois le diamètre physique exprimé en millimètres ». Les grossissements doivent être adaptés aux conditions d'observation et à l'objet observé : l'utilisation de grossissements trop élevés n'apporte pas de détail supplémentaire, et, au contraire, diminue la netteté globale de l'image. Pour mon télescope Newton de 125 mm de diamètre, dont j'estime le diamètre effectif propre Dep à 60 mm pour les contrastes faibles, j'avais établi la règle suivante :

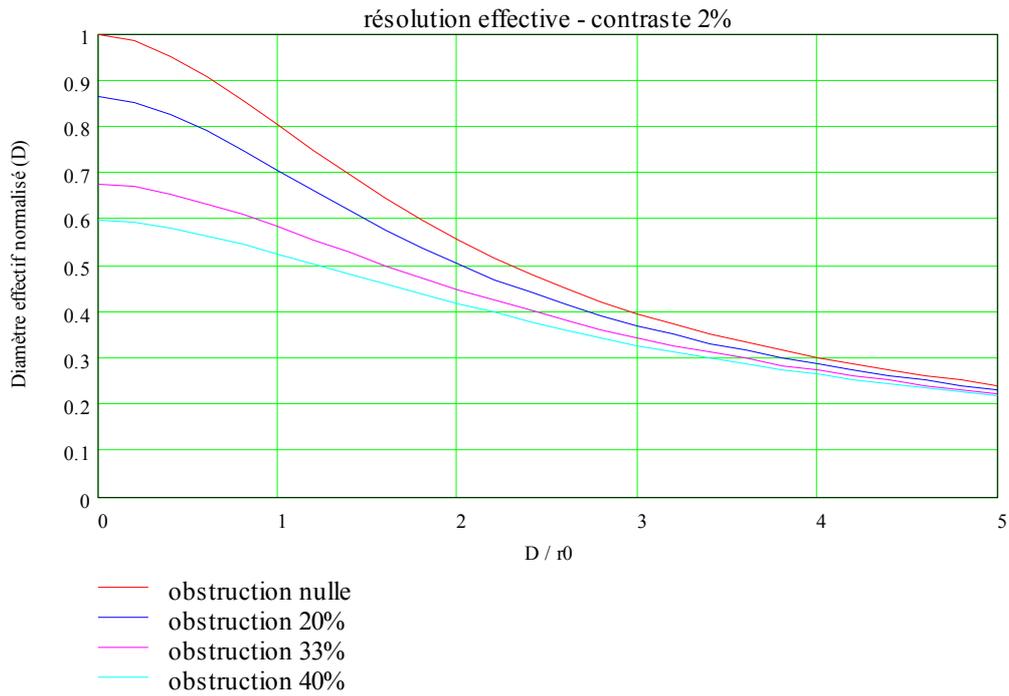
- 80 x (2 à $4 r_0$), en standard pour tous les objets planétaires lorsque les conditions de turbulence ne permettent que l'accès aux contrastes forts (soit $r_0 \sim Dep/2$)
- 120 x ($\sim 2 Dep$), pour Jupiter avec une turbulence faible à extrêmement faible donnant accès aux contrastes les plus faibles
- 160 x ($\sim 2,5 Dep$), pour Saturne avec une turbulence faible à extrêmement faible – dans les mêmes conditions à 240 x ($\sim 4 Dep$), la division de Cassini apparaissait moins fine et moins contrastée

Les annexes A à I donnent les résultats des calculs de diamètre effectif apparent Dea (diamètre effectif établi en présence de turbulence atmosphérique, à rapprocher du diamètre effectif propre Dep établi hors milieu de propagation) et du grossissement optimal normalisé Gro en fonction du rapport diamètre physique D sur diamètre de Fried r_0 . Ces calculs sont effectués pour les 3 valeurs du paramètre α de 1, 9/10 et 0 : on retiendra pour l'observation visuelle les données correspondant à la valeur 9/10.

Annexe A

**Turbulence en poses courtes – paramètre alpha égal à 1
Diamètre effectif et grossissement optimal normalisés
calculés par application du critère de résolution effective**

Instruments limités par la diffraction sur cible de contraste 2%

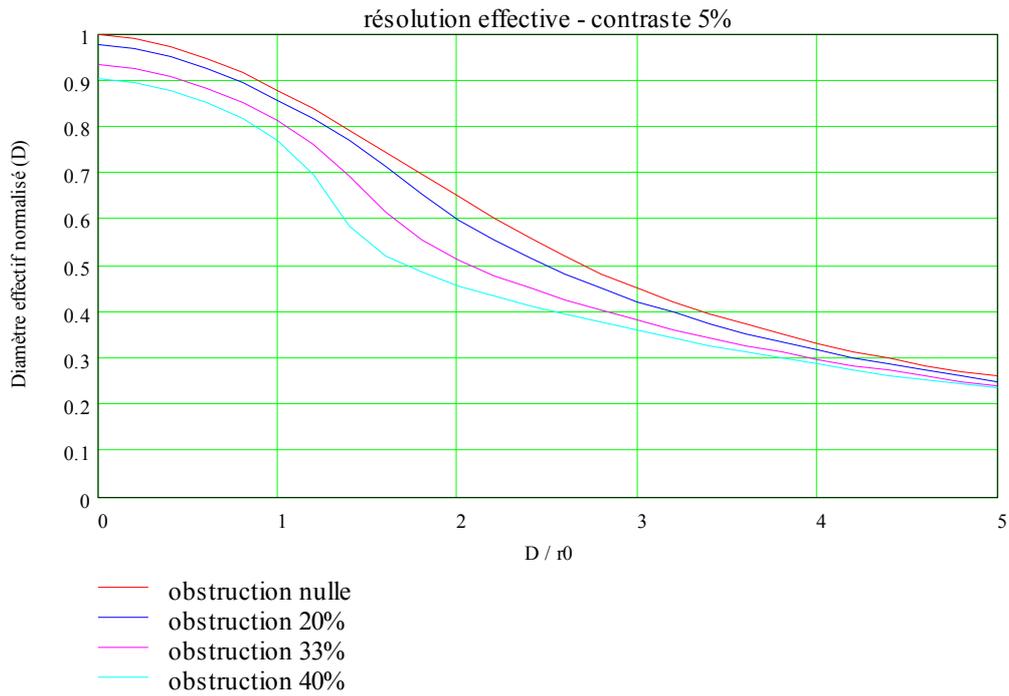


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	1,00	2,6	0,87	2,3	0,68	1,8	0,60	1,6
0,2	0,99	2,6	0,85	2,3	0,67	1,8	0,59	1,6
0,4	0,95	2,5	0,83	2,3	0,66	1,8	0,58	1,5
0,6	0,91	2,4	0,79	2,2	0,64	1,7	0,57	1,5
0,8	0,86	2,3	0,75	2,0	0,61	1,6	0,55	1,5
1	0,81	2,2	0,71	1,9	0,58	1,6	0,53	1,4
1,2	0,75	2,0	0,66	1,8	0,56	1,5	0,51	1,4
1,4	0,70	1,9	0,62	1,7	0,53	1,4	0,48	1,3
1,6	0,65	1,8	0,58	1,6	0,50	1,3	0,46	1,2
1,8	0,60	1,6	0,54	1,5	0,47	1,3	0,44	1,2
2	0,56	1,5	0,50	1,4	0,45	1,2	0,42	1,1
2,2	0,52	1,4	0,47	1,3	0,43	1,1	0,40	1,1
2,4	0,48	1,3	0,44	1,2	0,40	1,1	0,38	1,0
2,6	0,45	1,2	0,42	1,1	0,38	1,0	0,36	1,0
2,8	0,42	1,1	0,39	1,1	0,36	1,0	0,34	0,9
3	0,40	1,1	0,37	1,0	0,35	0,9	0,33	0,9
3,2	0,38	1,0	0,35	0,9	0,33	0,9	0,31	0,8
3,4	0,35	1,0	0,33	0,9	0,31	0,8	0,30	0,8
3,6	0,34	0,9	0,32	0,8	0,30	0,8	0,29	0,8
3,8	0,32	0,8	0,30	0,8	0,29	0,8	0,28	0,7
4	0,30	0,8	0,29	0,8	0,27	0,7	0,27	0,7
4,2	0,29	0,8	0,28	0,7	0,26	0,7	0,25	0,7
4,4	0,28	0,7	0,26	0,7	0,25	0,7	0,24	0,7
4,6	0,26	0,7	0,25	0,7	0,24	0,6	0,24	0,6
4,8	0,25	0,7	0,24	0,6	0,23	0,6	0,23	0,6
5	0,24	0,6	0,23	0,6	0,23	0,6	0,22	0,6

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments limités par la diffraction sur cible de contraste 5%

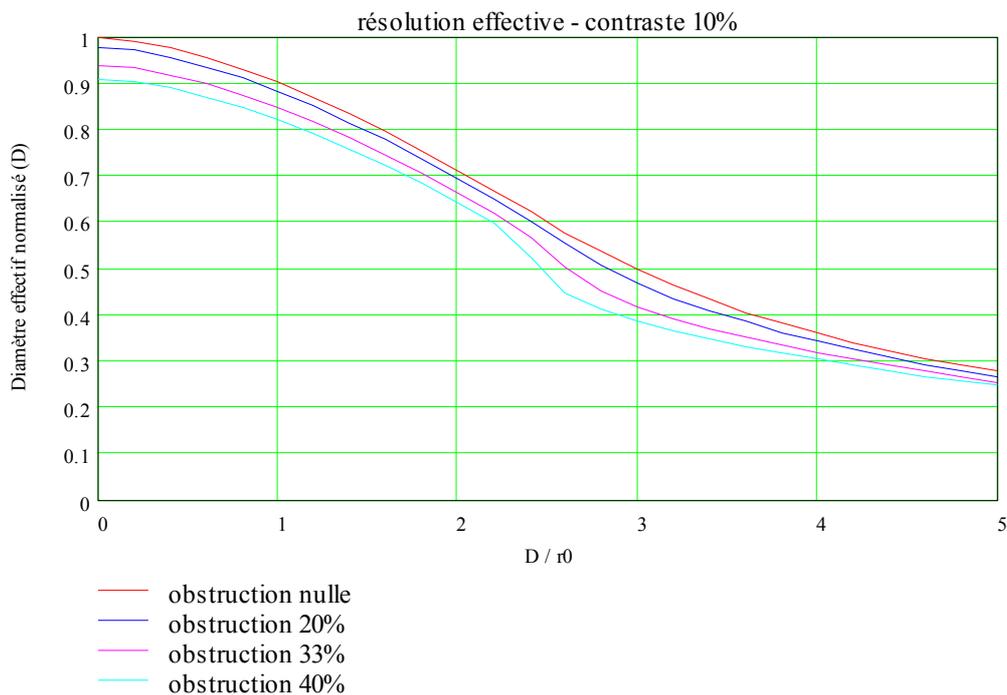


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	1,00	3,7	0,98	3,8	0,94	3,9	0,90	4,0
0,2	0,99	3,6	0,97	3,7	0,93	3,9	0,90	4,0
0,4	0,97	3,6	0,95	3,7	0,91	3,8	0,88	4,0
0,6	0,95	3,6	0,93	3,7	0,88	3,8	0,85	4,0
0,8	0,92	3,6	0,89	3,6	0,85	3,8	0,82	4,2
1	0,88	3,5	0,86	3,6	0,82	4,0	0,77	4,2
1,2	0,84	3,4	0,82	3,5	0,76	4,0	0,70	4,2
1,4	0,79	3,3	0,77	3,5	0,70	3,8	0,59	3,3
1,6	0,75	3,2	0,71	3,4	0,62	3,3	0,52	2,5
1,8	0,70	3,0	0,65	3,1	0,56	2,7	0,49	2,2
2	0,65	2,8	0,60	2,8	0,51	2,4	0,46	2,0
2,2	0,60	2,6	0,55	2,5	0,48	2,1	0,44	1,8
2,4	0,56	2,5	0,52	2,2	0,45	1,9	0,42	1,7
2,6	0,52	2,3	0,48	2,1	0,43	1,8	0,40	1,6
2,8	0,48	2,1	0,45	2,0	0,40	1,7	0,38	1,6
3	0,45	1,9	0,42	1,8	0,38	1,6	0,36	1,5
3,2	0,42	1,8	0,40	1,7	0,36	1,5	0,34	1,4
3,4	0,40	1,7	0,38	1,6	0,35	1,4	0,33	1,4
3,6	0,37	1,5	0,35	1,5	0,33	1,4	0,31	1,3
3,8	0,35	1,5	0,34	1,4	0,31	1,3	0,30	1,2
4	0,33	1,4	0,32	1,3	0,30	1,2	0,29	1,2
4,2	0,32	1,3	0,30	1,3	0,29	1,2	0,28	1,1
4,4	0,30	1,2	0,29	1,2	0,27	1,1	0,26	1,1
4,6	0,29	1,2	0,27	1,1	0,26	1,1	0,25	1,0
4,8	0,27	1,1	0,26	1,1	0,25	1,0	0,24	1,0
5	0,26	1,1	0,25	1,0	0,24	1,0	0,23	1,0

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments limités par la diffraction sur cible de contraste 10%

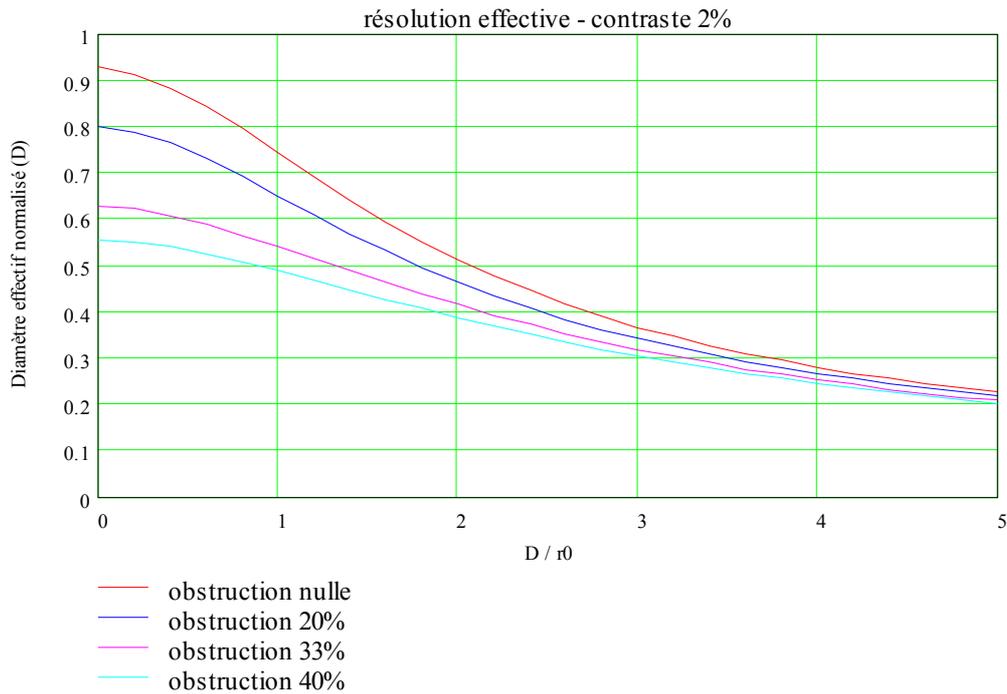


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	1,00	3,7	0,98	3,8	0,94	3,9	0,91	4,1
0,2	0,99	3,7	0,97	3,8	0,93	4,0	0,90	4,1
0,4	0,98	3,7	0,96	3,8	0,92	4,0	0,89	4,1
0,6	0,96	3,7	0,94	3,8	0,90	4,0	0,87	4,1
0,8	0,93	3,7	0,91	3,8	0,88	3,9	0,85	4,1
1	0,90	3,7	0,88	3,8	0,85	3,9	0,82	4,0
1,2	0,87	3,6	0,85	3,8	0,82	3,9	0,79	4,0
1,4	0,84	3,6	0,82	3,7	0,78	3,9	0,76	4,0
1,6	0,80	3,6	0,78	3,7	0,75	3,9	0,72	4,0
1,8	0,76	3,5	0,74	3,6	0,71	3,8	0,68	3,9
2	0,71	3,4	0,69	3,5	0,66	3,7	0,64	3,9
2,2	0,67	3,3	0,65	3,5	0,62	3,6	0,60	4,0
2,4	0,62	3,2	0,61	3,3	0,57	3,8	0,52	4,2
2,6	0,58	3,0	0,56	3,2	0,50	3,3	0,45	2,8
2,8	0,54	2,7	0,51	2,8	0,45	2,6	0,41	2,1
3	0,50	2,5	0,47	2,5	0,42	22,0	0,39	1,9
3,2	0,47	2,3	0,44	2,2	0,39	1,9	0,37	1,7
3,4	0,43	2,1	0,41	2,0	0,37	1,8	0,35	1,6
3,6	0,41	2,0	0,39	1,8	0,35	1,6	0,33	1,5
3,8	0,38	1,8	0,36	1,8	0,34	1,6	0,32	1,4
4	0,36	1,7	0,34	1,6	0,32	1,5	0,31	1,4
4,2	0,34	1,6	0,33	1,5	0,31	1,4	0,29	1,3
4,4	0,32	1,5	0,31	1,4	0,29	1,3	0,28	1,3
4,6	0,31	1,4	0,29	1,4	0,28	1,2	0,27	1,2
4,8	0,29	1,3	0,28	1,3	0,27	1,2	0,26	1,2
5	0,28	1,3	0,27	1,2	0,26	1,2	0,25	1,1

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe professionnelle sur cible de contraste 2%

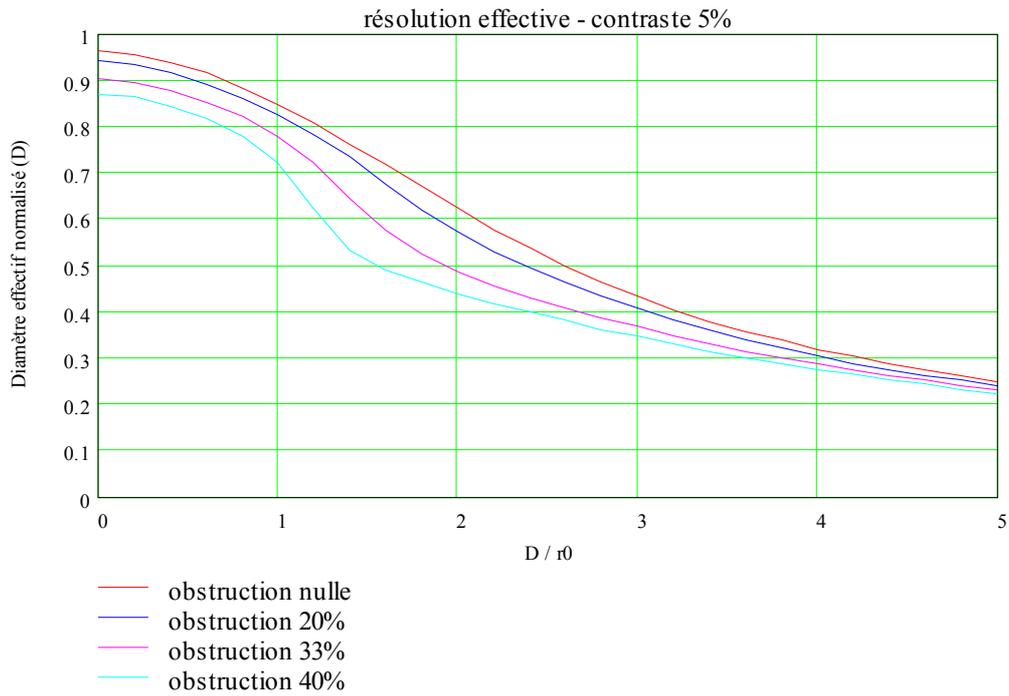


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,93	2,5	0,80	2,2	0,63	1,7	0,56	1,5
0,2	0,92	2,5	0,79	2,2	0,62	1,7	0,55	1,5
0,4	0,88	2,4	0,77	2,1	0,61	1,7	0,54	1,5
0,6	0,84	2,3	0,73	2,0	0,59	1,6	0,53	1,4
0,8	0,80	2,2	0,69	1,9	0,57	1,5	0,51	1,4
1	0,74	2,1	0,65	1,8	0,54	1,5	0,49	1,3
1,2	0,69	1,9	0,61	1,7	0,52	1,4	0,47	1,3
1,4	0,64	1,8	0,57	1,6	0,49	1,3	0,45	1,2
1,6	0,60	1,7	0,53	1,5	0,46	1,3	0,43	1,2
1,8	0,55	1,5	0,50	1,4	0,44	1,2	0,41	1,1
2	0,51	1,4	0,46	1,3	0,42	1,1	0,39	1,1
2,2	0,48	1,3	0,44	1,2	0,39	1,1	0,37	1,0
2,4	0,45	1,2	0,41	1,1	0,37	1,0	0,35	1,0
2,6	0,42	1,1	0,39	1,1	0,35	1,0	0,34	0,9
2,8	0,39	1,1	0,36	1,0	0,34	0,9	0,32	0,9
3	0,37	1,0	0,34	0,9	0,32	0,9	0,31	0,8
3,2	0,35	0,9	0,33	0,9	0,30	0,8	0,29	0,8
3,4	0,33	0,9	0,31	0,8	0,29	0,8	0,28	0,8
3,6	0,31	0,9	0,29	0,8	0,28	0,8	0,27	0,7
3,8	0,30	0,8	0,28	0,8	0,27	0,7	0,26	0,7
4	0,28	0,8	0,27	0,7	0,26	0,7	0,25	0,7
4,2	0,27	0,7	0,26	0,7	0,24	0,7	0,24	0,6
4,4	0,26	0,7	0,25	0,7	0,23	0,6	0,23	0,6
4,6	0,25	0,7	0,24	0,6	0,23	0,6	0,22	0,6
4,8	0,24	0,6	0,23	0,6	0,22	0,6	0,21	0,6
5	0,23	0,6	0,22	0,6	0,21	0,6	0,20	0,6

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe professionnelle sur cible de contraste 5%

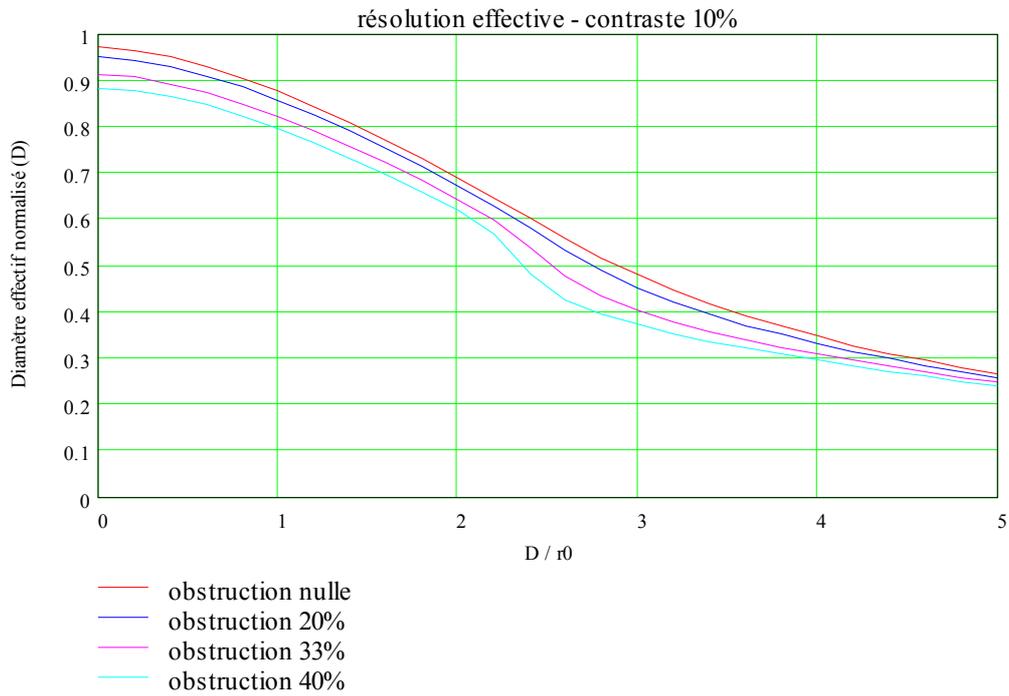


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,97	3,6	0,94	3,7	0,90	3,9	0,87	4,0
0,2	0,96	3,6	0,94	3,7	0,90	3,9	0,86	4,0
0,4	0,94	3,6	0,92	3,7	0,88	3,9	0,85	4,1
0,6	0,92	3,6	0,89	3,7	0,85	3,9	0,82	4,2
0,8	0,89	3,5	0,86	3,6	0,82	3,9	0,78	4,2
1	0,85	3,5	0,83	3,6	0,78	4,0	0,72	4,2
1,2	0,81	3,4	0,79	3,5	0,72	3,9	0,63	3,8
1,4	0,76	3,3	0,74	3,5	0,65	3,5	0,54	2,9
1,6	0,72	3,1	0,68	3,3	0,58	3,0	0,49	2,3
1,8	0,67	3,0	0,62	3,0	0,53	2,5	0,46	2,1
2	0,62	2,8	0,57	2,6	0,49	2,2	0,44	1,9
2,2	0,58	2,6	0,53	2,4	0,46	2,0	0,42	1,7
2,4	0,54	2,4	0,50	2,2	0,43	1,9	0,40	1,6
2,6	0,50	2,2	0,46	2,1	0,41	1,7	0,38	1,6
2,8	0,46	2,0	0,43	1,9	0,39	1,7	0,36	1,5
3	0,43	1,9	0,41	1,8	0,37	1,6	0,35	1,5
3,2	0,41	1,8	0,38	1,7	0,35	1,5	0,33	1,4
3,4	0,38	1,7	0,36	1,6	0,33	1,4	0,32	1,3
3,6	0,36	1,5	0,34	1,5	0,32	1,3	0,30	1,3
3,8	0,34	1,4	0,32	1,4	0,30	1,3	0,29	1,2
4	0,32	1,3	0,31	1,3	0,29	1,2	0,28	1,2
4,2	0,30	1,3	0,29	1,2	0,28	1,2	0,27	1,1
4,4	0,29	1,2	0,28	1,2	0,26	1,1	0,25	1,1
4,6	0,28	1,2	0,26	1,1	0,25	1,1	0,24	1,0
4,8	0,26	1,1	0,25	1,0	0,24	1,0	0,23	1,0
5	0,25	1,1	0,24	1,0	0,23	1,0	0,23	0,9

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe professionnelle sur cible de contraste 10%

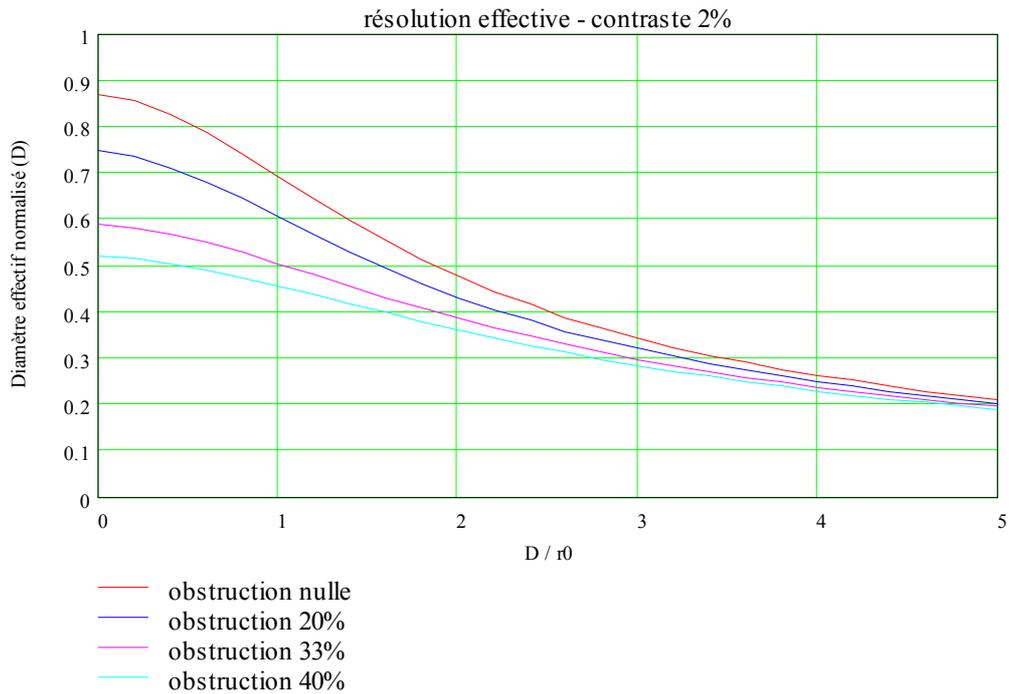


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,97	3,7	0,95	3,8	0,91	4,0	0,89	4,1
0,2	0,97	3,7	0,94	3,8	0,91	4,0	0,88	4,1
0,4	0,95	3,7	0,93	3,8	0,89	4,0	0,87	4,1
0,6	0,93	3,7	0,91	3,8	0,87	4,0	0,85	4,1
0,8	0,91	3,7	0,89	3,8	0,85	3,9	0,82	4,1
1	0,88	3,7	0,86	3,8	0,82	3,9	0,80	4,0
1,2	0,85	3,7	0,83	3,8	0,79	3,9	0,77	4,0
1,4	0,81	3,6	0,79	3,7	0,76	3,9	0,73	4,0
1,6	0,77	3,6	0,75	3,7	0,72	3,8	0,70	4,0
1,8	0,73	3,5	0,71	3,6	0,68	3,8	0,66	3,9
2	0,69	3,4	0,67	3,6	0,64	3,7	0,62	3,8
2,2	0,65	3,3	0,63	3,4	0,60	3,7	0,57	4,2
2,4	0,60	3,1	0,58	3,3	0,54	3,7	0,48	3,6
2,6	0,56	2,9	0,53	3,1	0,48	3,0	0,43	2,6
2,8	0,52	2,7	0,49	2,7	0,44	2,5	0,40	2,1
3	0,48	2,5	0,45	2,4	0,40	2,1	0,37	1,9
3,2	0,45	2,3	0,42	2,1	0,38	1,9	0,36	1,7
3,4	0,42	2,1	0,40	2,0	0,36	1,7	0,34	1,5
3,6	0,39	1,9	0,37	1,8	0,34	1,6	0,32	1,5
3,8	0,37	1,8	0,35	1,8	0,32	1,5	0,31	1,4
4	0,35	1,7	0,33	1,6	0,31	1,5	0,30	1,3
4,2	0,33	1,6	0,32	1,5	0,30	1,4	0,28	1,3
4,4	0,31	1,5	0,30	1,4	0,28	1,3	0,27	1,2
4,6	0,30	1,4	0,29	1,4	0,27	1,3	0,26	1,2
4,8	0,28	1,3	0,27	1,3	0,26	1,2	0,25	1,1
5	0,27	1,2	0,26	1,2	0,25	1,1	0,24	1,1

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe haute résolution sur cible de contraste 2%

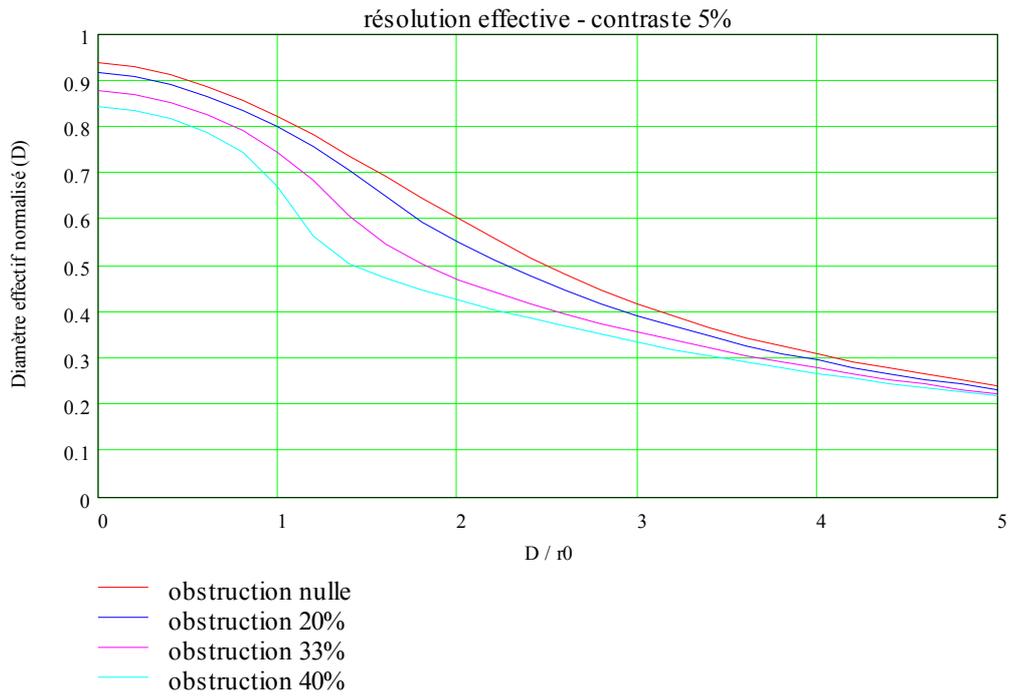


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,87	2,4	0,75	2,1	0,59	1,6	0,52	1,4
0,2	0,86	2,4	0,74	2,1	0,58	1,6	0,52	1,4
0,4	0,83	2,3	0,71	2,0	0,57	1,6	0,51	1,4
0,6	0,79	2,2	0,68	1,9	0,55	1,5	0,49	1,4
0,8	0,74	2,1	0,64	1,8	0,53	1,5	0,48	1,3
1	0,69	1,9	0,61	1,7	0,51	1,4	0,46	1,3
1,2	0,65	1,8	0,57	1,6	0,48	1,3	0,44	1,2
1,4	0,60	1,7	0,53	1,5	0,46	1,3	0,42	1,2
1,6	0,55	1,6	0,49	1,4	0,43	1,2	0,40	1,1
1,8	0,51	1,5	0,46	1,3	0,41	1,1	0,38	1,1
2	0,48	1,3	0,43	1,2	0,39	1,1	0,36	1,0
2,2	0,45	1,2	0,41	1,1	0,37	1,0	0,35	1,0
2,4	0,42	1,1	0,38	1,1	0,35	1,0	0,33	0,9
2,6	0,39	1,1	0,36	1,0	0,33	0,9	0,31	0,9
2,8	0,37	1,0	0,34	0,9	0,31	0,9	0,30	0,8
3	0,34	1,0	0,32	0,9	0,30	0,8	0,29	0,8
3,2	0,33	0,9	0,30	0,8	0,29	0,8	0,27	0,8
3,4	0,31	0,8	0,29	0,8	0,27	0,7	0,26	0,7
3,6	0,29	0,8	0,28	0,8	0,26	0,7	0,25	0,7
3,8	0,28	0,8	0,26	0,7	0,25	0,7	0,24	0,7
4	0,26	0,7	0,25	0,7	0,24	0,7	0,23	0,6
4,2	0,25	0,7	0,24	0,7	3,23	0,6	0,22	0,6
4,4	0,24	0,7	0,23	0,6	3,22	0,6	0,21	0,6
4,6	0,23	0,6	0,22	0,6	3,21	0,6	0,21	0,6
4,8	0,22	0,6	0,21	0,6	0,20	0,6	0,20	0,5
5	0,21	0,6	0,20	0,6	0,20	0,5	0,19	0,5

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instrument de classe haute résolution sur cible de contraste 5%

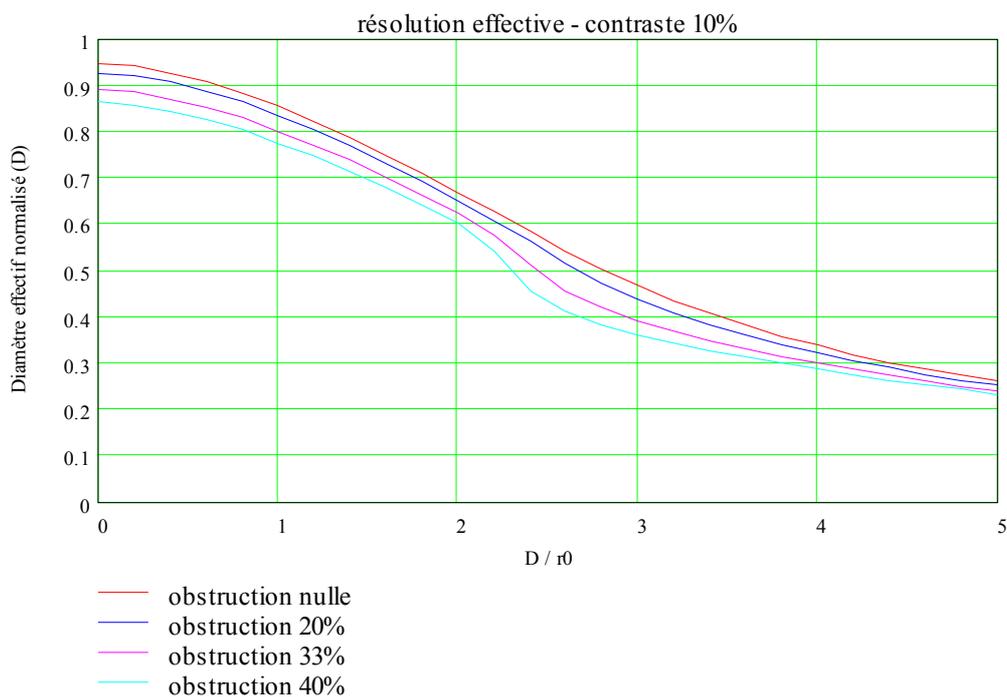


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,94	3,7	0,92	3,7	0,88	3,9	0,85	4,0
0,2	0,93	3,6	0,91	3,7	0,87	3,9	0,84	4,1
0,4	0,91	3,6	0,89	3,7	0,85	3,9	0,82	4,2
0,6	0,89	3,6	0,87	3,7	0,83	3,9	0,79	4,3
0,8	0,86	3,5	0,84	3,6	0,79	3,9	0,74	4,3
1	0,82	3,4	0,80	3,5	0,75	3,9	0,67	4,1
1,2	0,78	3,3	0,76	3,6	0,68	3,8	0,57	3,3
1,4	0,74	3,3	0,71	3,5	0,61	3,3	0,51	2,5
1,6	0,69	3,1	0,65	3,2	0,55	2,8	0,47	2,2
1,8	0,65	2,9	0,60	2,9	0,50	2,4	0,45	2,0
2	0,60	2,7	0,55	2,5	0,47	2,1	0,42	1,8
2,2	0,56	2,6	0,51	2,3	0,44	1,9	0,41	1,7
2,4	0,52	2,3	0,48	2,2	0,42	1,8	0,39	1,6
2,6	0,48	2,2	0,45	2,0	0,40	1,7	0,37	1,6
2,8	0,45	2,0	0,42	1,9	0,38	1,7	0,35	1,5
3	0,42	1,9	0,39	1,7	0,36	1,5	0,34	1,4
3,2	0,39	1,7	0,37	1,6	0,34	1,5	0,32	1,4
3,4	0,37	1,6	0,35	1,6	0,32	1,4	0,31	1,3
3,6	0,35	1,5	0,33	1,4	0,31	1,3	0,29	1,2
3,8	0,33	1,4	0,31	1,3	0,29	1,3	0,28	1,2
4	0,31	1,3	0,30	1,3	0,28	1,2	0,27	1,1
4,2	0,29	1,3	0,28	1,2	0,27	1,1	0,26	1,1
4,4	0,28	1,2	0,27	1,2	0,25	1,1	0,25	1,0
4,6	0,27	1,1	0,26	1,1	0,24	1,0	0,24	1,0
4,8	0,25	1,1	0,24	1,1	0,23	1,0	0,23	1,0
5	0,24	1,0	0,23	1,0	0,23	1,0	0,22	0,9

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe haute résolution sur cible de contraste 10%

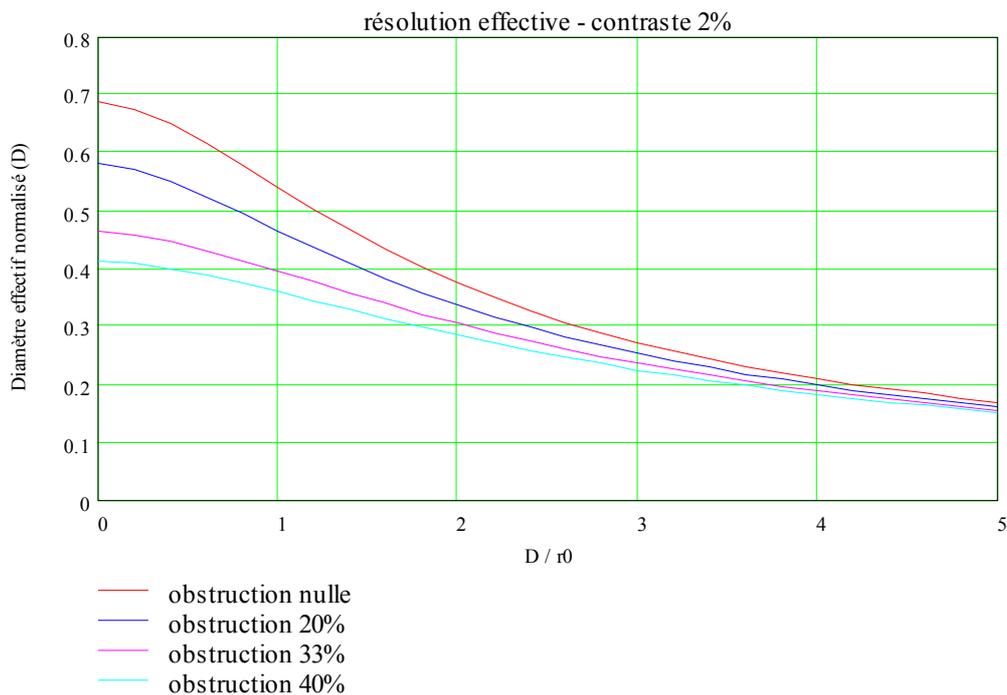


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,95	3,7	0,93	3,8	0,89	4,0	0,86	4,1
0,2	0,94	3,7	0,92	3,8	0,89	4,0	0,86	4,1
0,4	0,93	3,7	0,91	3,8	0,87	4,0	0,85	4,1
0,6	0,91	3,7	0,89	3,8	0,85	3,9	0,83	4,0
0,8	0,88	3,7	0,86	3,8	0,83	3,9	0,80	4,0
1	0,86	3,7	0,84	3,7	0,80	3,9	0,78	4,1
1,2	0,82	3,6	0,81	3,8	0,77	3,9	0,75	4,0
1,4	0,79	3,6	0,77	3,7	0,74	3,9	0,72	4,0
1,6	0,75	3,5	0,73	3,6	0,70	3,9	0,68	4,0
1,8	0,71	3,5	0,69	3,6	0,66	3,8	0,64	3,9
2	0,67	3,4	0,65	3,5	0,62	3,7	0,60	4,0
2,2	0,63	3,3	0,61	3,4	0,58	3,8	0,54	4,2
2,4	0,58	3,1	0,57	3,3	0,51	3,6	0,46	3,2
2,6	0,54	2,9	0,52	3,1	0,46	2,8	0,41	2,4
2,8	0,50	2,7	0,47	2,6	0,42	2,4	0,38	2,0
3	0,47	2,4	0,44	2,3	0,39	2,0	0,36	1,8
3,2	0,44	2,3	0,41	2,1	0,37	1,9	0,35	1,7
3,4	0,41	2,1	0,38	1,9	0,35	1,7	0,33	1,5
3,6	0,38	1,9	0,36	1,8	0,33	1,6	0,31	1,5
3,8	0,36	1,8	0,34	1,7	0,32	1,6	0,30	1,4
4	0,34	1,7	0,32	1,6	0,30	1,4	0,29	1,4
4,2	0,32	1,6	0,31	1,5	0,29	1,4	0,28	1,3
4,4	0,30	1,5	0,29	1,4	0,27	1,3	0,26	1,2
4,6	0,29	1,4	0,28	1,3	0,26	1,2	0,25	1,2
4,8	0,27	1,3	0,26	1,3	0,25	1,2	0,24	1,1
5	0,26	1,3	0,25	1,2	0,24	1,1	0,23	1,1

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe astronomique sur cible de contraste 2%

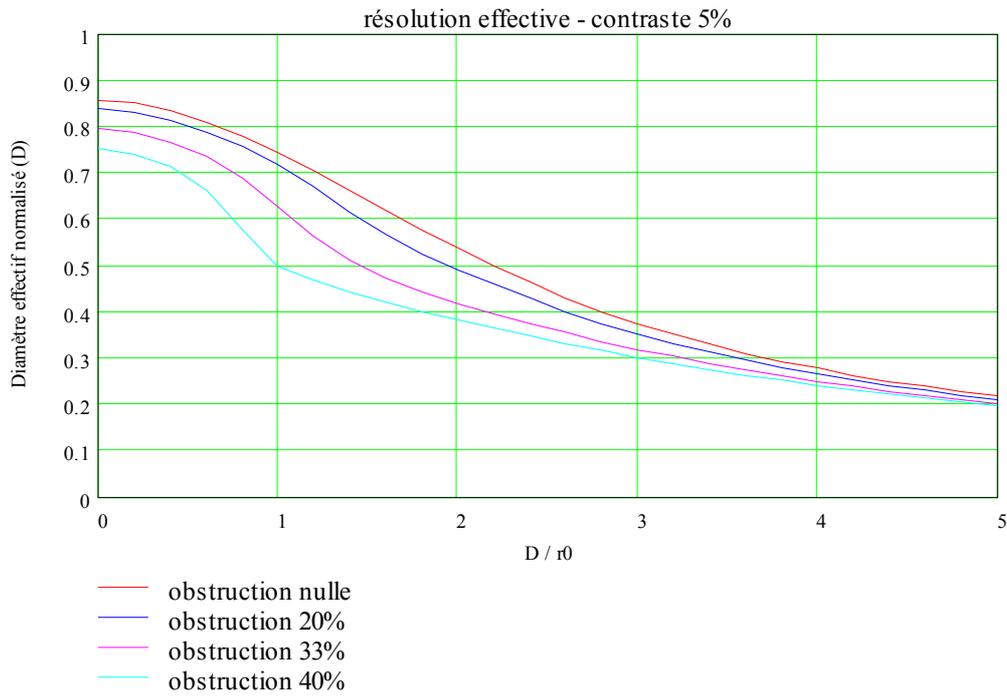


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,69	2,0	0,58	1,7	0,46	1,4	0,41	1,2
0,2	0,68	2,0	0,57	1,7	0,46	1,3	0,41	1,2
0,4	0,65	1,9	0,55	1,6	0,45	1,3	0,40	1,2
0,6	0,62	1,8	0,53	1,6	0,43	1,3	0,39	1,1
0,8	0,58	1,7	0,50	1,5	0,42	1,2	0,38	1,1
1	0,54	1,6	0,47	1,4	0,40	1,2	0,36	1,1
1,2	0,50	1,5	0,44	1,3	0,38	1,1	0,35	1,0
1,4	0,47	1,4	0,41	1,2	0,36	1,0	0,33	1,0
1,6	0,43	1,3	0,38	1,1	0,34	1,0	0,31	0,9
1,8	0,40	1,2	0,36	1,0	0,32	0,9	0,30	0,9
2	0,38	1,1	0,34	1,0	0,31	0,9	0,29	0,8
2,2	0,35	1,0	0,32	0,9	0,29	0,8	0,27	0,8
2,4	0,33	1,0	0,30	0,9	0,28	0,8	0,26	0,8
2,6	0,31	0,9	0,28	0,8	0,26	0,8	0,25	0,7
2,8	0,29	0,8	0,27	0,8	0,25	0,7	0,24	0,7
3	0,27	0,8	0,25	0,7	0,24	0,7	0,23	0,7
3,2	0,26	0,8	0,24	0,7	0,23	0,7	0,22	0,6
3,4	0,24	0,7	0,23	0,7	0,22	0,6	0,21	0,6
3,6	0,23	0,7	0,22	0,6	0,21	0,6	0,20	0,6
3,8	0,22	0,6	0,21	0,6	0,20	0,6	0,19	0,5
4	0,21	0,6	0,20	0,6	0,19	0,6	0,18	0,5
4,2	0,20	0,6	0,19	0,6	0,18	0,5	0,18	0,5
4,4	0,19	0,6	0,18	0,5	0,18	0,5	0,17	0,5
4,6	0,19	0,5	0,18	0,5	0,17	0,5	0,16	0,5
4,8	0,18	0,5	0,17	0,5	0,16	0,5	0,16	0,5
5	0,17	0,5	0,16	0,5	0,16	0,5	0,15	0,4

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe astronomique sur cible de contraste 5%

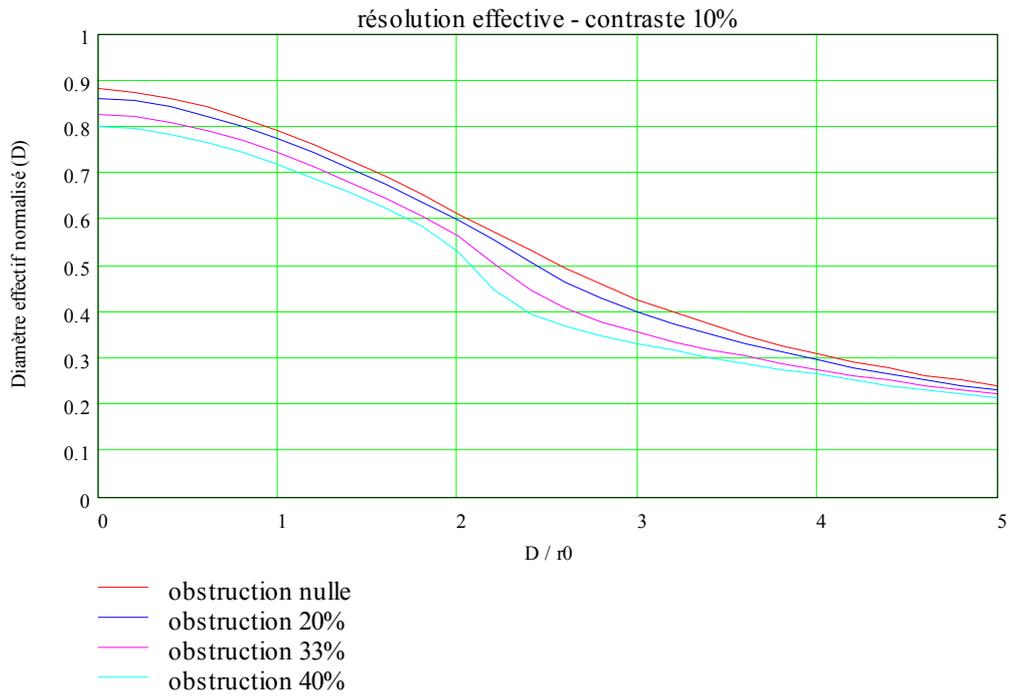


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,86	3,6	0,84	3,7	0,80	4,0	0,75	4,2
0,2	0,85	3,5	0,83	3,7	0,79	4,0	0,74	4,2
0,4	0,83	3,5	0,81	3,6	0,77	4,0	0,71	4,3
0,6	0,81	3,5	0,79	3,6	0,74	4,0	0,67	4,2
0,8	0,78	3,4	0,76	3,6	0,69	3,9	0,58	3,6
1	0,75	3,3	0,72	3,6	0,63	3,6	0,50	2,8
1,2	0,71	3,2	0,67	3,4	0,56	3,2	0,47	2,3
1,4	0,67	3,1	0,62	3,2	0,51	2,7	0,44	2,1
1,6	0,62	2,9	0,57	2,8	0,47	2,3	0,42	2,0
1,8	0,58	2,7	0,53	2,5	0,44	2,1	0,40	1,8
2	0,54	2,5	0,49	2,3	0,42	1,9	0,38	1,7
2,2	0,50	2,4	0,46	2,2	0,40	1,8	0,37	1,6
2,4	0,46	2,2	0,43	2,0	0,38	1,7	0,35	1,6
2,6	0,43	2,0	0,40	1,9	0,36	1,6	0,33	1,5
2,8	0,40	1,9	0,38	1,7	0,34	1,6	0,32	1,4
3	0,38	1,8	0,35	1,6	0,32	1,5	0,30	1,4
3,2	0,35	1,6	0,33	1,6	0,30	1,4	0,29	1,3
3,4	0,33	1,5	0,31	1,4	0,29	1,3	0,28	1,2
3,6	0,31	1,4	0,30	1,4	0,28	1,3	0,26	1,2
3,8	0,29	1,3	0,28	1,3	0,26	1,2	0,25	1,2
4	0,28	1,3	0,27	1,2	0,25	1,1	0,24	1,1
4,2	0,26	1,2	0,25	1,1	0,24	1,1	0,23	1,0
4,4	0,25	1,1	0,24	1,1	0,23	1,0	0,22	1,0
4,6	0,24	1,1	0,23	1,0	0,22	1,0	0,21	1,0
4,8	0,23	1,0	0,22	1,0	0,21	0,9	0,21	0,9
5	0,22	1,0	0,21	1,0	0,20	0,9	0,20	0,9

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe astronomique sur cible de contraste 10%

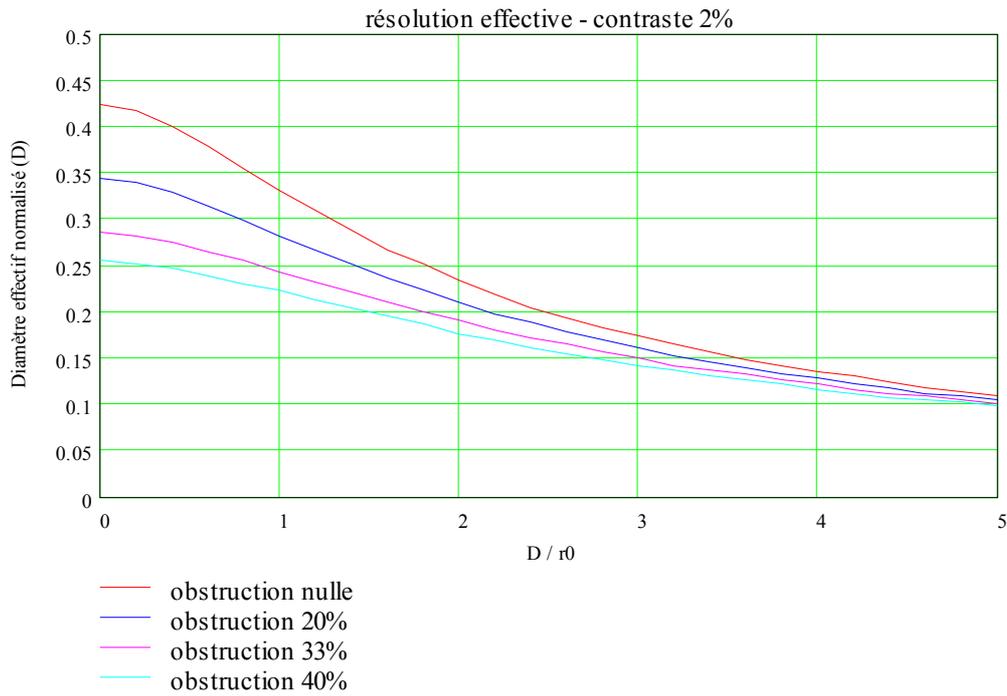


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,88	3,7	0,86	3,8	0,83	4,0	0,80	4,1
0,2	0,88	3,7	0,86	3,8	0,82	4,0	0,80	4,1
0,4	0,86	3,7	0,84	3,8	0,81	3,9	0,78	4,1
0,6	0,84	3,6	0,83	3,8	0,79	4,0	0,77	4,1
0,8	0,82	3,7	0,80	3,8	0,77	3,9	0,75	4,1
1	0,79	3,7	0,78	3,8	0,74	3,9	0,72	4,0
1,2	0,76	3,7	0,75	3,7	0,71	3,9	0,69	4,0
1,4	0,73	3,6	0,71	3,7	0,68	3,8	0,66	4,0
1,6	0,69	3,5	0,68	3,6	0,65	3,8	0,62	3,9
1,8	0,65	3,4	0,64	3,5	0,61	3,8	0,59	4,0
2	0,61	3,3	0,60	3,4	0,57	3,9	0,53	4,3
2,2	0,57	3,1	0,56	3,4	0,51	3,7	0,45	3,3
2,4	0,53	3,0	0,51	3,2	0,45	3,0	0,40	2,5
2,6	0,50	2,7	0,46	2,8	0,41	2,4	0,37	2,1
2,8	0,46	2,5	0,43	2,4	0,38	2,1	0,35	1,9
3	0,43	2,3	0,40	2,2	0,36	1,9	0,33	1,7
3,2	0,40	2,1	0,38	2,0	0,34	1,7	0,32	1,6
3,4	0,37	2,0	0,35	1,9	0,32	1,6	0,30	1,5
3,6	0,35	1,8	0,33	1,7	0,31	1,6	0,29	1,4
3,8	0,33	1,7	0,31	1,6	0,29	1,5	0,28	1,4
4	0,31	1,6	0,30	1,5	0,28	1,4	0,27	1,3
4,2	0,29	1,5	0,28	1,5	0,26	1,4	0,25	1,3
4,4	0,28	1,4	0,27	1,4	0,25	1,3	0,24	1,2
4,6	0,26	1,3	0,25	1,3	0,24	1,2	0,23	1,1
4,8	0,25	1,3	0,24	1,2	0,23	1,2	0,22	1,1
5	0,24	1,2	0,23	1,2	0,22	1,1	0,22	1,1

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe standard sur cible de contraste 2%

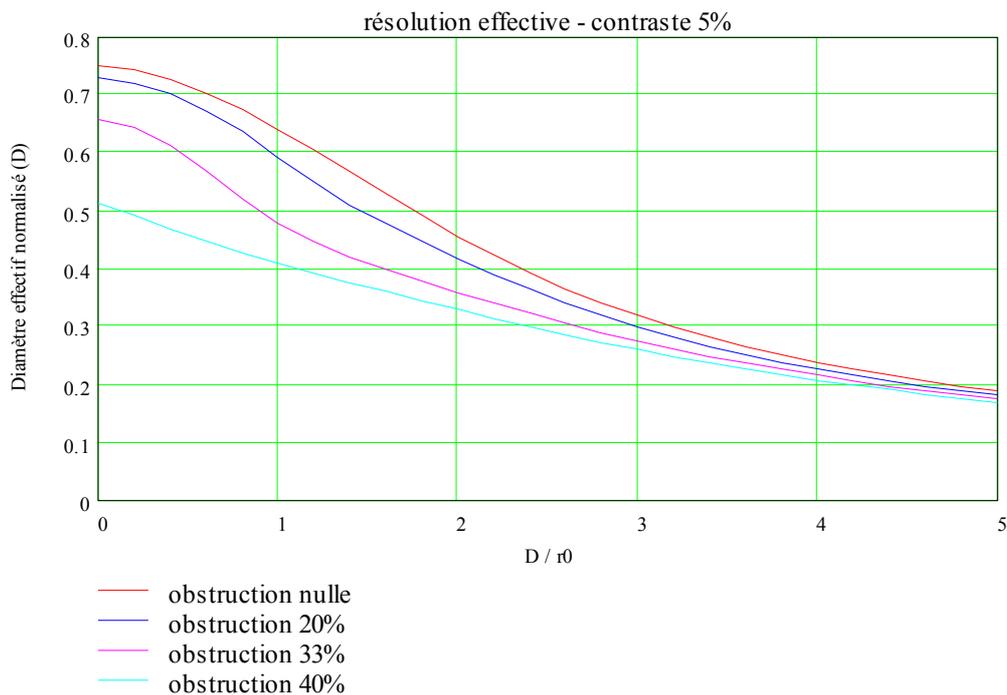


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,43	1,3	0,35	1,1	0,29	0,9	0,26	0,8
0,2	0,42	1,3	0,34	1,1	0,28	0,9	0,25	0,8
0,4	0,40	1,3	0,33	1,0	0,28	0,9	0,25	0,8
0,6	0,38	1,2	0,32	1,0	0,27	0,8	0,24	0,8
0,8	0,36	1,1	0,30	0,9	0,26	0,8	0,23	0,7
1	0,33	1,0	0,28	0,9	0,24	0,8	0,22	0,7
1,2	0,31	1,0	0,27	0,8	0,23	0,7	0,21	0,7
1,4	0,29	0,9	0,25	0,8	0,22	0,7	0,20	0,6
1,6	0,27	0,8	0,24	0,7	0,21	0,7	0,20	0,6
1,8	0,25	0,8	0,22	0,7	0,20	0,6	0,19	0,6
2	0,23	0,7	0,21	0,7	0,19	0,6	0,18	0,6
2,2	0,22	0,7	0,20	0,6	0,18	0,6	0,17	0,5
2,4	0,21	0,6	0,19	0,6	0,17	0,5	0,16	0,5
2,6	0,20	0,6	0,18	0,6	0,17	0,5	0,16	0,5
2,8	0,18	0,6	0,17	0,5	0,16	0,5	0,15	0,5
3	0,17	0,5	0,16	0,5	0,15	0,5	0,14	0,4
3,2	0,17	0,5	0,15	0,5	0,14	0,4	0,14	0,4
3,4	0,16	0,5	0,15	0,5	0,14	0,4	0,13	0,4
3,6	0,15	0,5	0,14	0,4	0,13	0,4	0,13	0,4
3,8	0,14	0,4	0,13	0,4	0,13	0,4	0,12	0,4
4	0,14	0,4	0,13	0,4	0,12	0,4	0,12	0,4
4,2	0,13	0,4	0,12	0,4	0,12	0,4	0,11	0,3
4,4	0,13	0,4	0,12	0,4	0,11	0,3	0,11	0,3
4,6	0,12	0,4	0,11	0,4	0,11	0,3	0,11	0,3
4,8	0,11	0,4	0,11	0,3	0,11	0,3	0,10	0,3
5	0,11	0,3	0,11	0,3	0,10	0,3	0,10	0,3

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe standard sur cible de contraste 5%

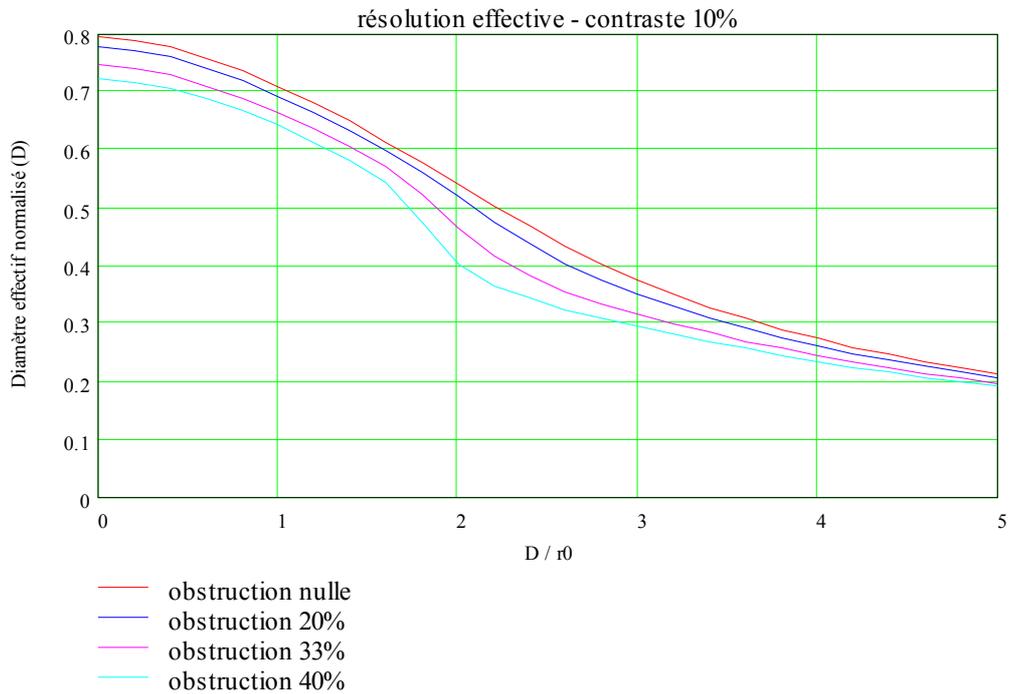


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,75	3,4	0,73	3,6	0,66	3,9	0,51	3,3
0,2	0,75	3,4	0,72	3,6	0,65	3,8	0,49	3,0
0,4	0,73	3,4	0,70	3,6	0,61	3,7	0,47	2,6
0,6	0,70	3,3	0,67	3,6	0,57	3,4	0,45	2,4
0,8	0,68	3,2	0,64	3,4	0,52	3,0	0,43	2,2
1	0,64	3,1	0,59	3,2	0,48	2,6	0,41	2,0
1,2	0,61	3,0	0,55	2,9	0,45	2,4	0,39	2,0
1,4	0,57	2,8	0,51	2,6	0,42	2,1	0,38	1,8
1,6	0,53	2,7	0,48	2,4	0,40	2,0	0,36	1,7
1,8	0,49	2,5	0,45	2,2	0,38	1,9	0,35	1,7
2	0,46	2,3	0,42	2,2	0,36	1,8	0,33	1,6
2,2	0,42	2,2	0,39	2,0	0,34	1,7	0,32	1,5
2,4	0,39	1,9	0,36	1,9	0,32	1,6	0,30	1,5
2,6	0,37	1,8	0,34	1,7	0,31	1,5	0,29	1,4
2,8	0,34	1,7	0,32	1,6	0,29	1,4	0,27	1,3
3	0,32	1,6	0,30	1,5	0,27	1,3	0,26	1,3
3,2	0,30	1,5	0,28	1,4	0,26	1,3	0,25	1,2
3,4	0,28	1,4	0,27	1,3	0,25	1,3	0,24	1,2
3,6	0,27	1,3	0,25	1,3	0,24	1,2	0,23	1,1
3,8	0,25	1,2	0,24	1,2	0,23	1,1	0,22	1,1
4	0,24	1,2	0,23	1,1	0,22	1,0	0,21	1,0
4,2	0,23	1,1	0,22	1,1	0,21	1,0	0,20	1,0
4,4	0,22	1,1	0,21	1,0	0,20	1,0	0,19	0,9
4,6	0,21	1,0	0,20	1,0	0,19	0,9	0,18	0,9
4,8	0,20	1,0	0,19	0,9	0,18	0,9	0,18	0,9
5	0,19	0,9	0,18	0,9	0,18	0,8	0,17	0,8

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe standard sur cible de contraste 10%



Diamètre effectif apparent

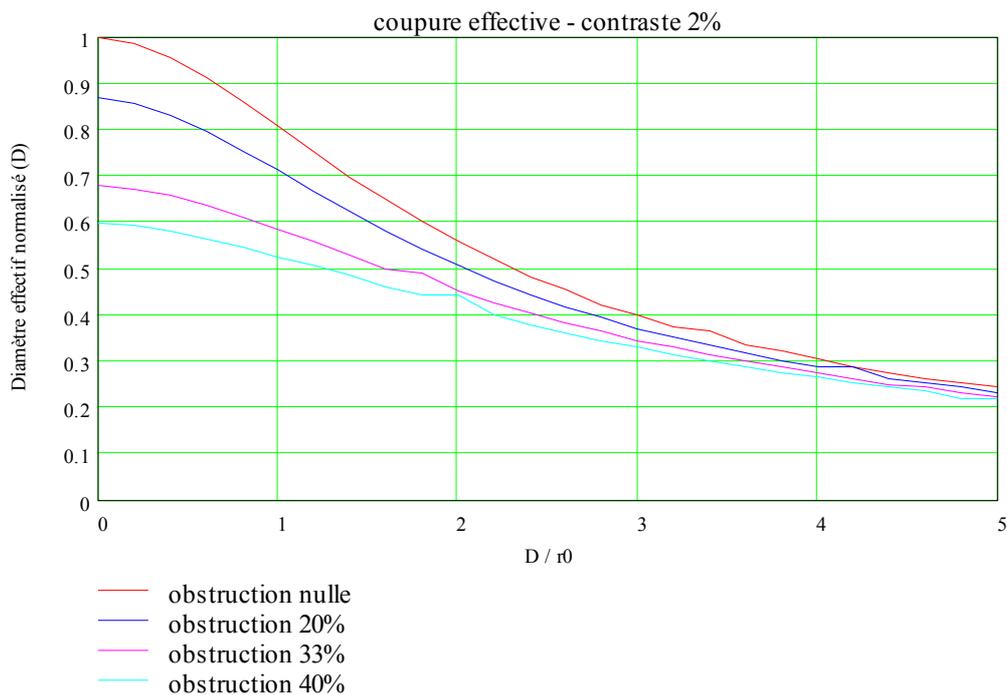
Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,80	3,6	0,78	3,8	0,75	4,0	0,72	4,0
0,2	0,79	3,7	0,77	3,8	0,74	4,0	0,72	4,0
0,4	0,78	3,7	0,76	3,8	0,73	4,0	0,71	4,0
0,6	0,76	3,7	0,74	3,7	0,71	3,9	0,69	4,0
0,8	0,74	3,6	0,72	3,7	0,69	3,9	0,67	4,0
1	0,71	3,6	0,69	3,7	0,67	3,9	0,64	4,0
1,2	0,68	3,6	0,67	3,7	0,64	3,9	0,62	3,9
1,4	0,65	3,5	0,63	3,6	0,61	3,9	0,58	4,0
1,6	0,62	3,4	0,60	3,5	0,57	3,8	0,54	4,1
1,8	0,58	3,3	0,56	3,5	0,53	3,9	0,48	4,1
2	0,54	3,2	0,52	3,4	0,47	3,5	0,40	3,0
2,2	0,50	3,0	0,48	3,1	0,42	2,9	0,37	2,3
2,4	0,47	2,8	0,44	2,8	0,38	2,4	0,34	2,0
2,6	0,43	2,6	0,40	2,4	0,35	2,1	0,33	1,8
2,8	0,40	2,4	0,38	2,2	0,33	1,9	0,31	1,7
3	0,38	2,2	0,35	2,0	0,32	1,8	0,30	1,6
3,2	0,35	2,0	0,33	1,9	0,30	1,7	0,28	1,5
3,4	0,33	1,9	0,31	1,8	0,28	1,6	0,27	1,5
3,6	0,31	1,7	0,29	1,7	0,27	1,5	0,26	1,4
3,8	0,29	1,7	0,28	1,5	0,26	1,5	0,25	1,3
4	0,27	1,5	0,26	1,5	0,25	1,3	0,24	1,2
4,2	0,26	1,4	0,25	1,4	0,23	1,3	0,23	1,2
4,4	0,25	1,4	0,24	1,3	0,22	1,2	0,22	1,2
4,6	0,24	1,3	0,23	1,2	0,21	1,2	0,21	1,1
4,8	0,22	1,2	0,22	1,2	0,21	1,1	0,20	1,1
5	0,21	1,2	0,21	1,1	0,20	1,1	0,19	1,0

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Annexe B

**Turbulence en poses courtes – paramètre alpha égal à 1
Diamètre effectif et grossissement optimal normalisés
calculés par application du critère de fréquence de coupure effective**

Instruments limités par la diffraction sur cible de contraste 2%

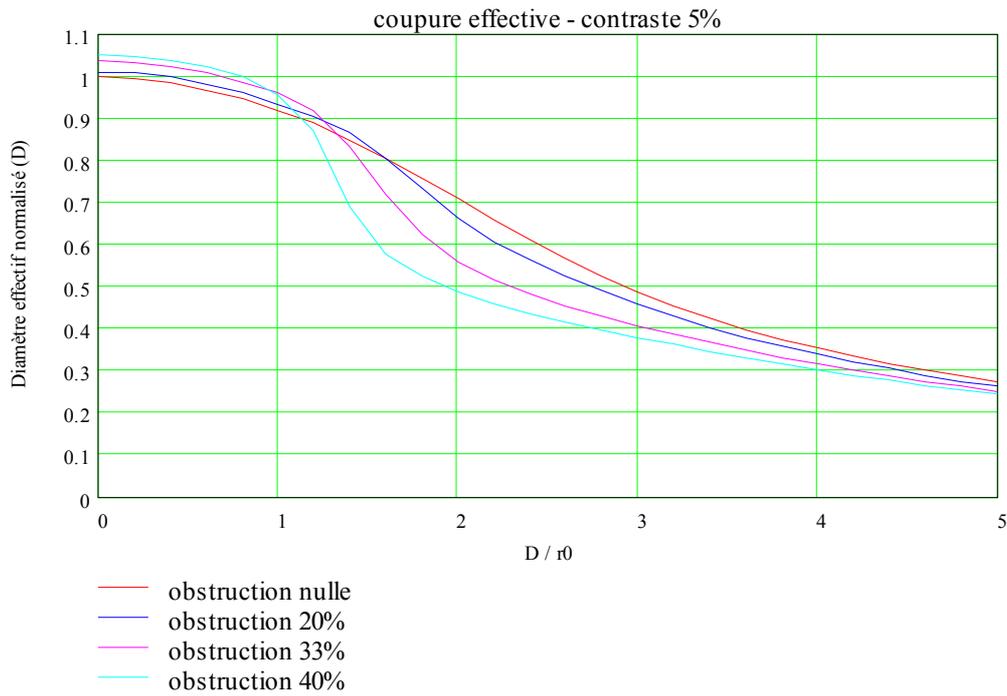


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	1,00	2,5	0,87	2,1	0,68	1,6	0,60	1,5
0,2	0,99	2,4	0,86	2,0	0,67	1,6	0,59	1,5
0,4	0,95	2,4	0,83	2,1	0,66	1,6	0,58	1,5
0,6	0,91	2,2	0,80	1,9	0,64	1,6	0,57	1,3
0,8	0,86	2,1	0,76	1,8	0,61	1,5	0,55	1,3
1	0,81	2,0	0,71	1,8	0,59	1,5	0,53	1,4
1,2	0,75	1,8	0,67	1,7	0,56	1,3	0,51	1,2
1,4	0,70	1,8	0,62	1,5	0,53	1,3	0,49	1,2
1,6	0,65	1,6	0,58	1,5	0,50	1,1	0,46	1,2
1,8	0,60	1,5	0,54	1,3	0,49	1,0	0,44	0,9
2	0,56	1,4	0,51	1,2	0,45	1,1	0,42	1,0
2,2	0,52	1,3	0,47	1,1	0,43	1,0	0,40	1,0
2,4	0,48	1,2	0,45	1,1	0,41	1,0	0,38	1,0
2,6	0,46	1,2	0,42	1,1	0,38	1,0	0,36	0,9
2,8	0,42	1,1	0,40	1,0	0,37	0,9	0,35	0,8
3	0,40	1,0	0,37	0,9	0,35	0,8	0,33	0,8
3,2	0,38	0,9	0,35	0,9	0,33	0,8	0,32	0,8
3,4	0,37	0,9	0,33	0,8	0,31	0,8	0,30	0,7
3,6	0,34	0,8	0,32	0,8	0,30	0,7	0,29	0,7
3,8	0,32	0,8	0,30	0,8	0,29	0,7	0,28	0,7
4	0,30	0,7	0,29	0,7	0,28	0,7	0,27	0,6
4,2	0,29	0,7	0,28	0,6	0,26	0,6	0,26	0,6
4,4	0,28	0,7	0,27	0,6	0,25	0,7	0,25	0,6
4,6	0,26	0,7	0,25	0,7	0,24	0,7	0,24	0,6
4,8	0,25	0,6	0,24	0,6	0,23	0,6	0,22	0,7
5	0,24	0,6	0,23	0,6	0,23	0,6	0,22	0,5

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments limités par la diffraction sur cible de contraste 5%

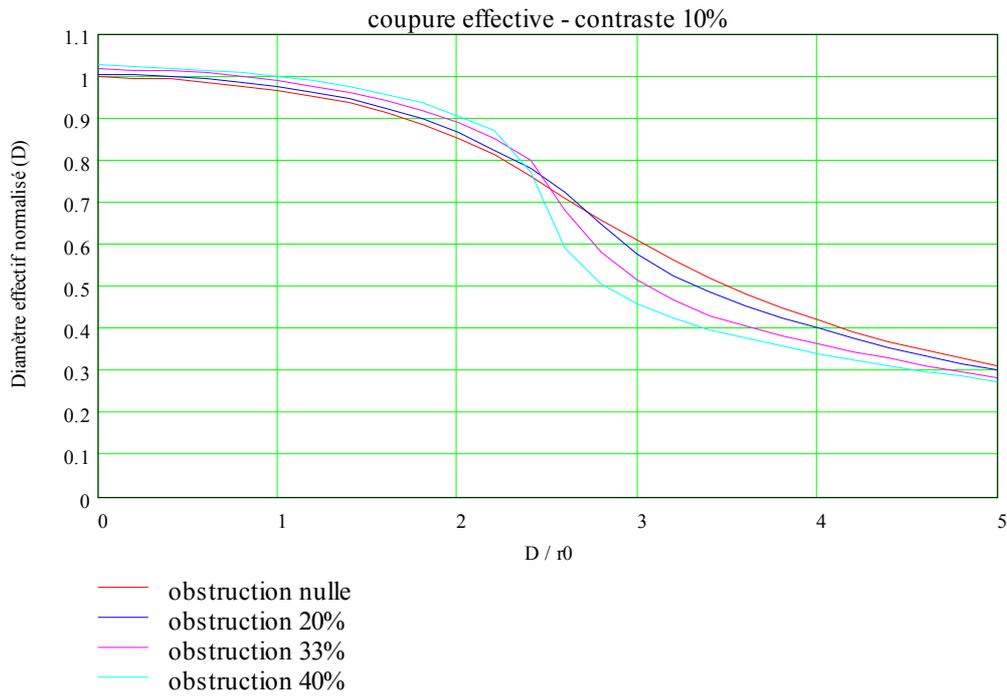


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	1,00	4,5	1,01	4,9	1,04	4,5	1,05	4,2
0,2	0,99	4,3	1,01	4,5	1,03	4,5	1,05	4,2
0,4	0,98	4,1	1,00	4,4	1,02	4,5	1,04	4,2
0,6	0,97	4,4	0,98	4,6	1,01	4,5	1,02	4,2
0,8	0,95	4,4	0,96	4,3	0,99	4,4	1,00	4,7
1	0,92	4,4	0,94	4,4	0,96	4,4	0,96	4,8
1,2	0,89	4,0	0,91	4,1	0,92	4,4	0,87	4,5
1,4	0,85	3,9	0,87	4,2	0,83	4,4	0,69	3,8
1,6	0,81	3,8	0,81	3,8	0,72	3,8	0,58	2,8
1,8	0,76	3,8	0,73	3,6	0,63	3,2	0,53	2,6
2	0,71	3,5	0,66	3,3	0,56	2,9	0,49	2,4
2,2	0,66	3,1	0,61	2,9	0,52	2,5	0,46	2,3
2,4	0,61	3,1	0,56	2,7	0,48	2,2	0,44	2,0
2,6	0,57	2,8	0,53	2,6	0,46	2,1	0,42	2,0
2,8	0,53	2,7	0,49	2,3	0,43	2,1	0,40	1,9
3	0,49	2,3	0,46	2,3	0,41	1,9	0,38	1,8
3,2	0,46	2,1	0,43	2,0	0,39	1,8	0,36	1,8
3,4	0,43	2,1	0,40	2,0	0,37	1,6	0,35	1,7
3,6	0,40	2,0	0,38	1,9	0,35	1,6	0,33	1,6
3,8	0,38	1,7	0,36	1,6	0,33	1,6	0,32	1,5
4	0,36	1,7	0,34	1,6	0,32	1,6	0,30	1,4
4,2	0,34	1,6	0,32	1,6	0,30	1,5	0,29	1,4
4,4	0,32	1,5	0,31	1,6	0,29	1,5	0,28	1,4
4,6	0,30	1,5	0,29	1,5	0,28	1,4	0,27	1,4
4,8	0,29	1,4	0,28	1,4	0,26	1,4	0,26	1,3
5	0,28	1,4	0,26	1,3	0,25	1,3	0,24	1,3

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments limités par la diffraction sur cible de contraste 10%

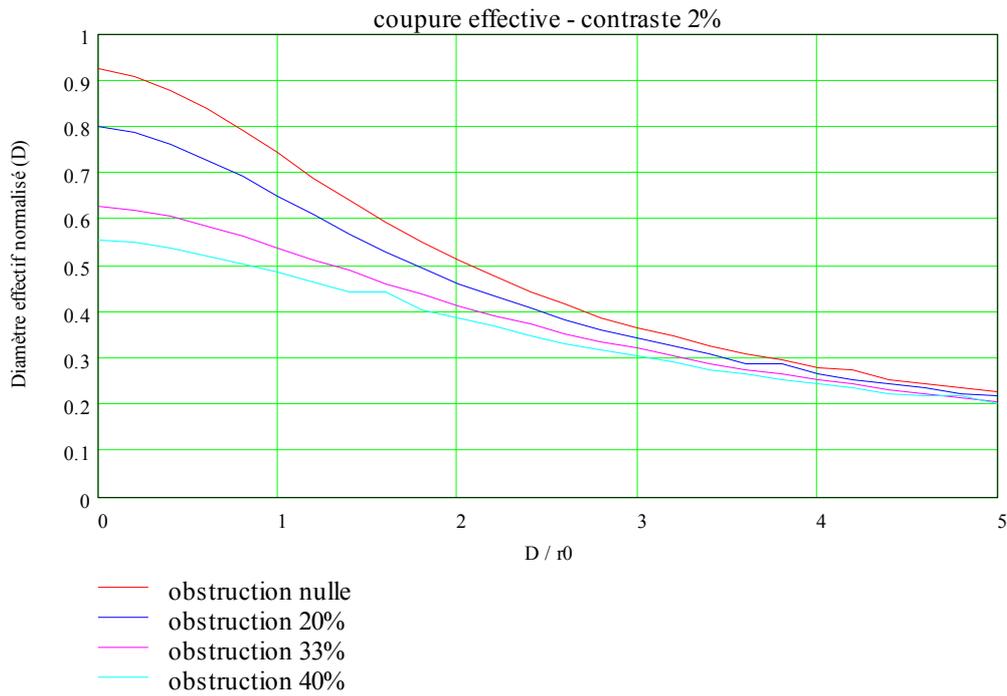


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	1,00	5,4	1,01	5,4	1,02	5,5	1,03	5,6
0,2	1,00	5,4	1,00	5,4	1,02	5,5	1,02	5,5
0,4	0,99	5,4	1,00	5,4	1,01	5,5	1,02	5,3
0,6	0,99	5,8	0,99	5,1	1,01	5,2	1,02	5,6
0,8	0,98	5,7	0,99	5,3	1,00	5,5	1,01	5,3
1	0,97	5,5	0,98	5,7	0,99	5,5	1,00	5,5
1,2	0,95	5,3	0,96	5,1	0,98	5,5	0,99	5,5
1,4	0,94	5,5	0,95	5,2	0,96	5,6	0,98	5,3
1,6	0,91	5,5	0,93	5,4	0,94	5,5	0,96	5,3
1,8	0,89	5,1	0,90	5,4	0,92	5,3	0,94	5,4
2	0,85	4,7	0,87	5,1	0,89	4,9	0,91	5,3
2,2	0,81	4,9	0,83	5,0	0,85	4,8	0,87	5,3
2,4	0,77	4,5	0,78	4,6	0,80	4,7	0,77	4,8
2,6	0,71	4,3	0,72	4,5	0,68	4,3	0,59	3,7
2,8	0,66	4,1	0,65	4,1	0,58	3,4	0,51	3,1
3	0,61	3,6	0,58	3,6	0,52	3,1	0,46	2,9
3,2	0,56	3,2	0,53	3,3	0,47	3,1	0,43	2,6
3,4	0,52	3,1	0,49	3,1	0,43	2,7	0,40	2,5
3,6	0,48	3,1	0,46	3,1	0,41	2,6	0,38	2,3
3,8	0,45	2,8	0,43	2,6	0,38	2,4	0,36	2,3
4	0,42	2,6	0,40	2,5	0,36	2,3	0,34	1,8
4,2	0,39	2,5	0,38	2,3	0,35	2,1	0,33	1,9
4,4	0,37	2,3	0,36	2,2	0,33	2,0	0,31	1,9
4,6	0,35	2,2	0,34	1,9	0,31	1,9	0,30	1,6
4,8	0,33	2,0	0,32	1,8	0,30	1,9	0,29	1,7
5	0,31	2,0	0,30	1,7	0,29	1,7	0,28	1,7

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe professionnelle sur cible de contraste 2%

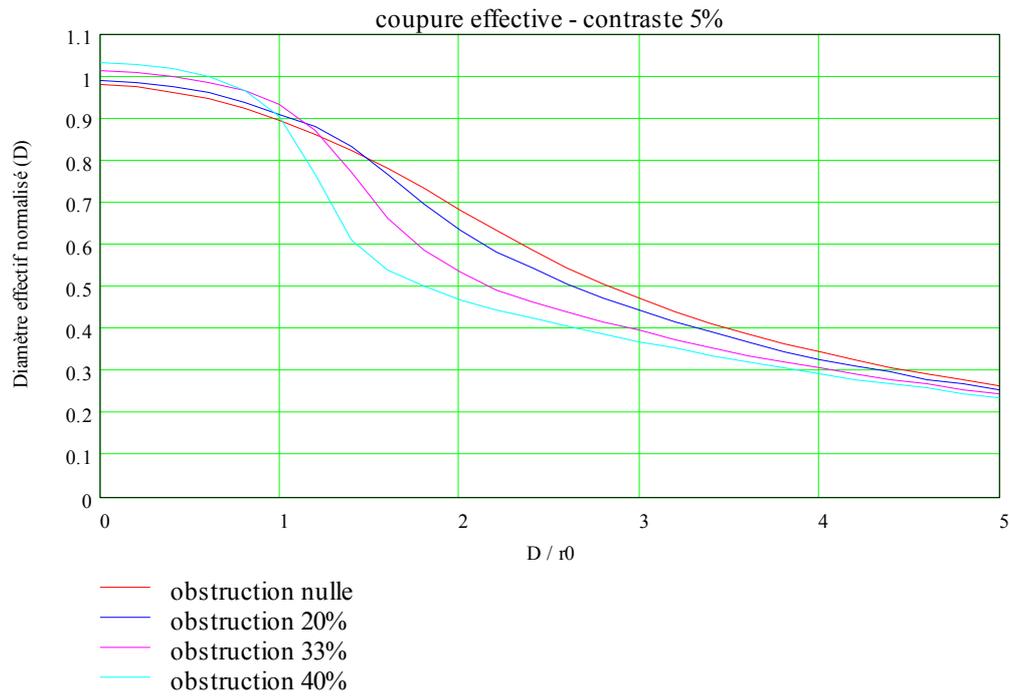


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,93	2,3	0,80	2,1	0,63	1,6	0,55	1,5
0,2	0,91	2,3	0,79	2,0	0,62	1,5	0,55	1,3
0,4	0,88	2,2	0,76	1,9	0,61	1,5	0,54	1,3
0,6	0,84	2,0	0,73	1,8	0,59	1,5	0,52	1,3
0,8	0,79	1,9	0,69	1,7	0,56	1,4	0,51	1,2
1	0,75	1,9	0,65	1,6	0,54	1,3	0,49	1,2
1,2	0,69	1,7	0,61	1,6	0,51	1,3	0,47	1,2
1,4	0,64	1,6	0,57	1,4	0,49	1,5	0,44	0,9
1,6	0,60	1,5	0,53	1,4	0,46	1,2	0,43	1,2
1,8	0,55	1,5	0,50	1,3	0,44	1,1	0,41	1,0
2	0,51	1,3	0,46	1,1	0,42	1,0	0,39	1,0
2,2	0,48	1,2	0,44	1,1	0,39	1,0	0,37	0,9
2,4	0,45	1,1	0,41	1,1	0,37	0,9	0,35	0,9
2,6	0,42	1,0	0,38	1,0	0,35	0,9	0,33	0,8
2,8	0,39	0,9	0,36	0,9	0,34	0,8	0,32	0,8
3	0,37	0,8	0,34	0,8	0,32	0,8	0,30	0,7
3,2	0,35	0,9	0,33	0,8	0,31	0,7	0,29	0,7
3,4	0,33	0,8	0,31	0,8	0,29	0,7	0,28	0,7
3,6	0,31	0,8	0,29	0,7	0,28	0,7	0,27	0,6
3,8	0,30	0,7	0,28	0,7	0,27	0,7	0,26	0,6
4	0,28	0,7	0,27	0,6	0,25	0,6	0,24	0,6
4,2	0,28	0,7	0,25	0,7	0,24	0,5	0,24	0,6
4,4	0,25	0,7	0,25	0,6	0,23	0,6	0,23	0,5
4,6	0,25	0,6	0,24	0,6	0,22	0,6	0,22	0,5
4,8	0,24	0,6	0,22	0,6	0,21	0,6	0,21	0,5
5	0,23	0,6	0,22	0,5	0,21	0,5	0,20	0,5

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe professionnelle sur cible de contraste 5%

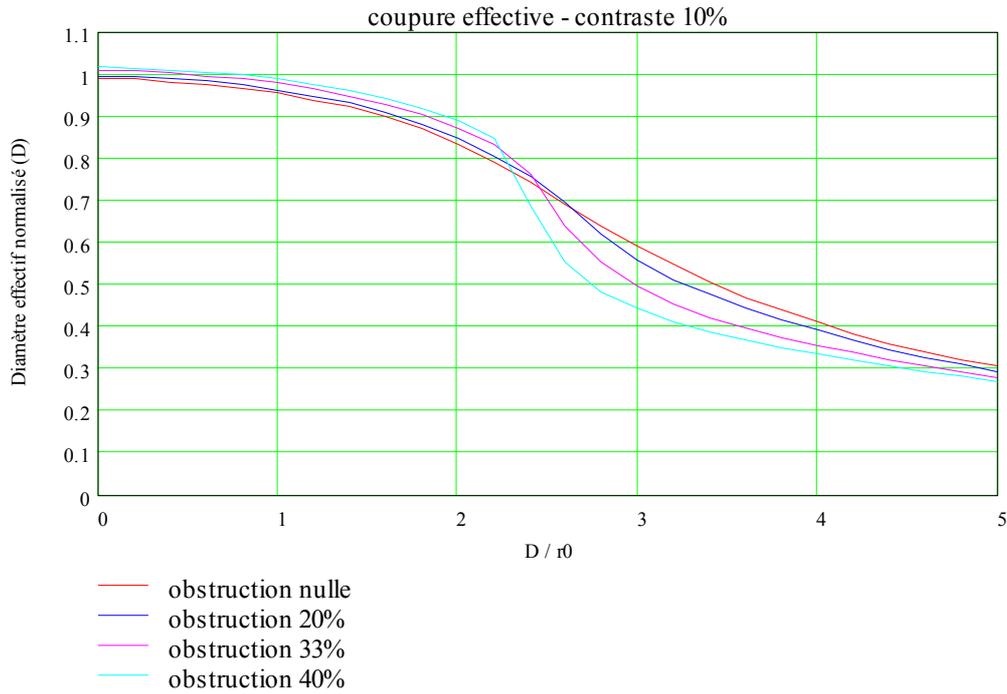


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,98	4,2	0,99	4,6	1,02	4,2	1,03	4,5
0,2	0,98	4,5	0,99	4,6	1,01	4,2	1,03	3,9
0,4	0,96	4,6	0,98	4,6	1,00	4,1	1,02	4,4
0,6	0,95	4,4	0,96	4,5	0,99	4,1	1,00	4,5
0,8	0,93	4,3	0,94	4,4	0,97	4,2	0,97	4,8
1	0,90	4,4	0,91	4,2	0,93	4,4	0,91	4,7
1,2	0,86	4,1	0,88	4,1	0,87	4,5	0,77	4,0
1,4	0,83	4,1	0,83	4,1	0,77	4,1	0,61	3,2
1,6	0,78	3,5	0,77	3,8	0,66	3,4	0,54	2,7
1,8	0,73	3,5	0,70	3,5	0,59	3,0	0,50	2,6
2	0,68	3,5	0,63	3,1	0,53	2,8	0,47	2,3
2,2	0,64	3,3	0,58	2,7	0,49	2,3	0,45	2,2
2,4	0,59	2,8	0,54	2,5	0,47	2,2	0,43	1,9
2,6	0,55	2,7	0,51	2,5	0,44	2,1	0,41	1,9
2,8	0,51	2,4	0,47	2,3	0,42	2,0	0,39	1,6
3	0,47	2,5	0,44	2,2	0,40	1,9	0,37	1,8
3,2	0,44	2,2	0,42	2,0	0,38	1,6	0,35	1,7
3,4	0,41	2,0	0,39	2,0	0,36	1,7	0,34	1,6
3,6	0,39	1,7	0,37	1,7	0,34	1,6	0,32	1,5
3,8	0,36	1,7	0,35	1,5	0,32	1,5	0,31	1,5
4	0,34	1,6	0,33	1,5	0,31	1,5	0,29	1,5
4,2	0,33	1,6	0,31	1,5	0,29	1,5	0,28	1,4
4,4	0,31	1,4	0,30	1,5	0,28	1,4	0,27	1,4
4,6	0,29	1,4	0,28	1,4	0,27	1,4	0,26	1,3
4,8	0,28	1,3	0,27	1,4	0,26	1,3	0,25	1,2
5	0,27	1,4	0,26	1,2	0,25	1,2	0,24	1,3

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe professionnelle sur cible de contraste 10%

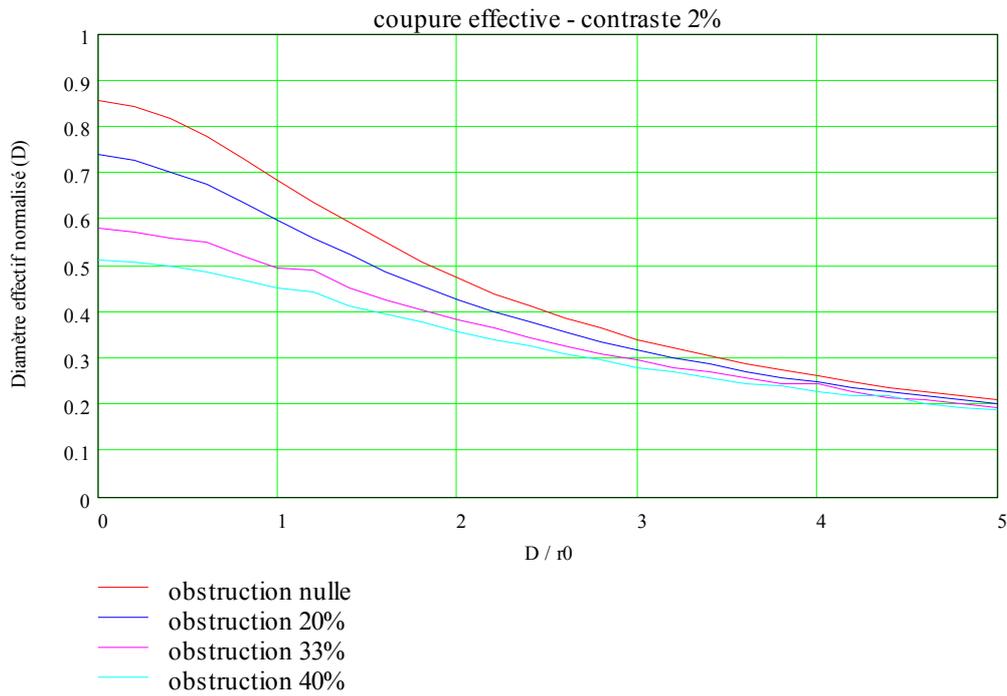


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,99	4,9	1,00	5,6	1,01	4,8	1,02	5,4
0,2	0,99	5,3	0,99	5,6	1,01	5,0	1,02	5,4
0,4	0,98	5,6	0,99	5,7	1,00	6,1	1,01	5,4
0,6	0,98	5,5	0,98	5,6	1,00	5,4	1,01	5,6
0,8	0,97	5,7	0,98	5,5	0,99	5,4	1,00	5,3
1	0,96	5,3	0,96	5,5	0,98	5,6	0,99	5,5
1,2	0,94	5,5	0,95	5,1	0,97	5,5	0,98	5,5
1,4	0,92	5,5	0,93	5,3	0,95	5,2	0,96	5,4
1,6	0,90	5,2	0,91	5,4	0,93	5,1	0,94	5,4
1,8	0,87	5,3	0,88	4,8	0,90	4,9	0,92	5,0
2	0,84	5,0	0,85	5,0	0,87	5,1	0,89	5,1
2,2	0,79	4,4	0,81	4,8	0,83	5,1	0,85	5,2
2,4	0,75	4,3	0,76	4,4	0,76	4,7	0,69	4,3
2,6	0,69	4,2	0,70	4,1	0,64	4,0	0,55	3,4
2,8	0,64	4,0	0,62	3,8	0,55	3,4	0,48	3,1
3	0,59	3,6	0,56	3,3	0,50	3,1	0,44	2,8
3,2	0,55	3,4	0,51	3,1	0,45	2,9	0,41	2,4
3,4	0,51	3,1	0,48	3,1	0,42	2,6	0,39	2,3
3,6	0,47	3,1	0,45	3,1	0,40	2,4	0,37	2,3
3,8	0,44	2,8	0,42	2,6	0,38	2,3	0,35	2,2
4	0,41	2,5	0,39	2,5	0,36	2,2	0,34	2,1
4,2	0,39	2,4	0,37	2,0	0,34	2,1	0,32	1,9
4,4	0,36	2,0	0,35	2,1	0,32	2,1	0,31	1,9
4,6	0,34	2,1	0,33	1,9	0,31	1,9	0,29	1,8
4,8	0,32	2,0	0,31	1,9	0,29	1,8	0,28	1,7
5	0,31	1,9	0,30	1,7	0,28	1,5	0,27	1,6

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe haute résolution sur cible de contraste 2%

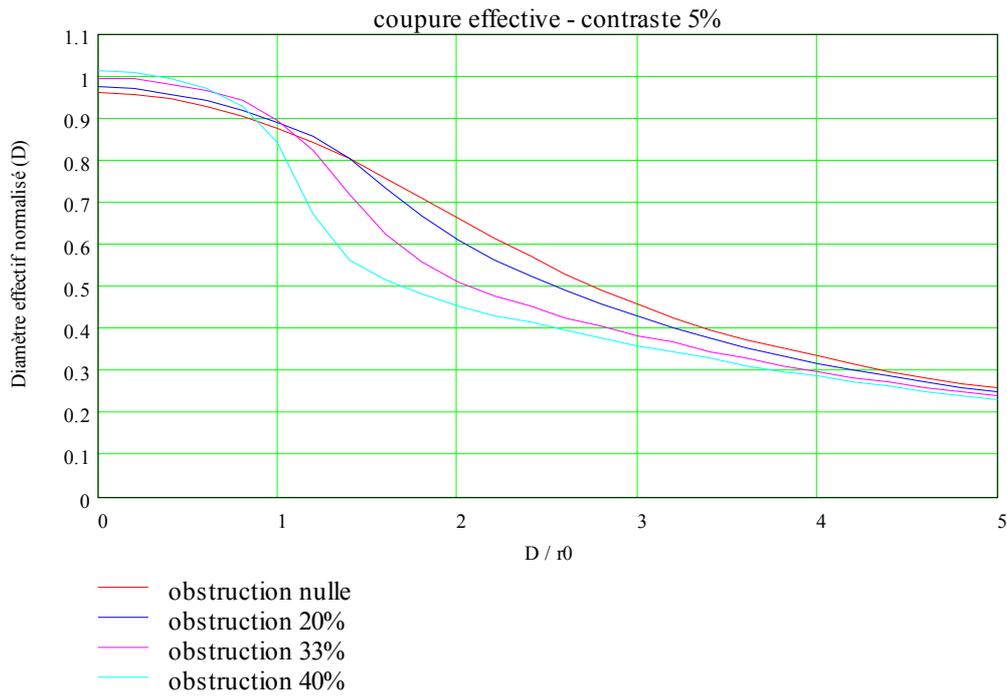


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,86	2,2	0,74	1,9	0,58	1,5	0,51	1,3
0,2	0,85	2,2	0,73	1,9	0,58	1,5	0,51	1,3
0,4	0,82	2,1	0,70	1,9	0,56	1,4	0,50	1,1
0,6	0,78	2,0	0,68	1,8	0,55	1,4	0,49	1,2
0,8	0,73	1,9	0,64	1,6	0,52	1,3	0,47	1,2
1	0,68	1,8	0,60	1,5	0,50	1,2	0,45	1,1
1,2	0,64	1,6	0,56	1,4	0,48	1,2	0,44	0,9
1,4	0,60	1,5	0,53	1,3	0,45	1,1	0,42	1,0
1,6	0,55	1,4	0,49	1,2	0,43	1,0	0,40	1,0
1,8	0,51	1,3	0,46	1,2	0,41	1,0	0,38	0,9
2	0,47	1,2	0,43	1,1	0,39	0,9	0,36	0,9
2,2	0,44	1,1	0,40	1,1	0,37	1,0	0,34	0,9
2,4	0,41	1,0	0,38	1,0	0,35	0,9	0,33	0,8
2,6	0,39	1,0	0,36	0,9	0,33	0,8	0,31	0,8
2,8	0,37	0,8	0,34	0,8	0,31	0,8	0,30	0,7
3	0,34	0,9	0,32	0,8	0,30	0,8	0,28	0,8
3,2	0,32	0,9	0,30	0,8	0,28	0,7	0,27	0,7
3,4	0,30	0,8	0,29	0,7	0,27	0,7	0,26	0,6
3,6	0,29	0,7	0,27	0,7	0,26	0,6	0,25	0,6
3,8	0,28	0,7	0,26	0,6	0,24	0,7	0,24	0,6
4	0,26	0,7	0,25	0,6	0,24	0,5	0,23	0,6
4,2	0,25	0,6	0,24	0,6	0,23	0,6	0,22	0,6
4,4	0,24	0,6	0,23	0,6	0,22	0,6	0,21	0,6
4,6	0,23	0,5	0,22	0,5	0,21	0,5	0,20	0,5
4,8	0,22	0,6	0,21	0,5	0,20	0,5	0,20	0,5
5	0,21	0,5	0,20	0,5	0,19	0,5	0,19	0,5

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe haute résolution sur cible de contraste 5%

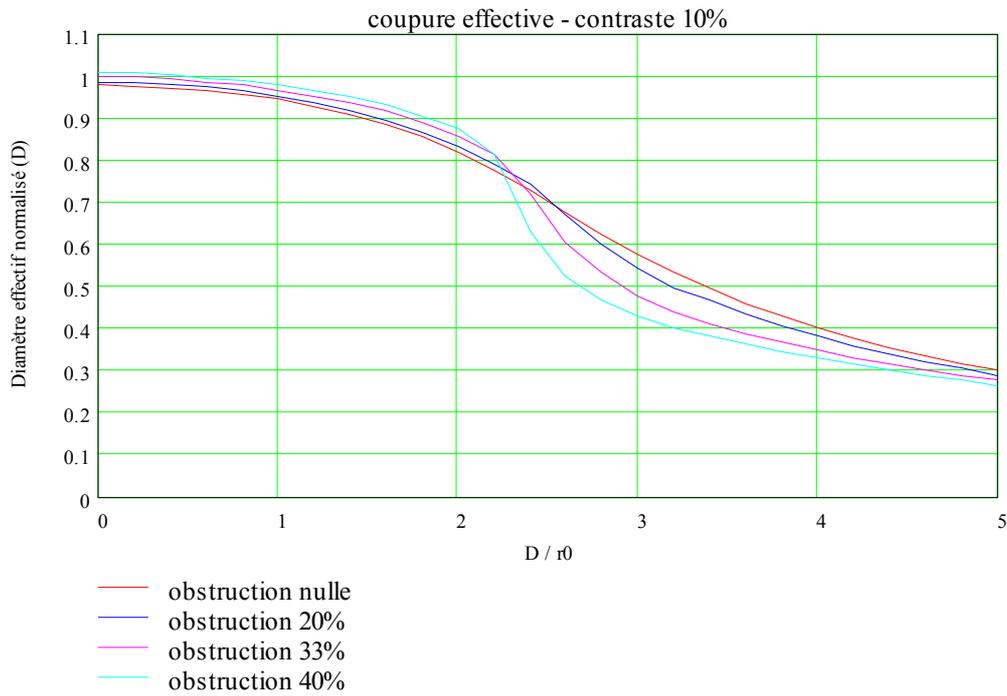


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,96	4,4	0,98	4,3	1,00	4,3	1,02	4,5
0,2	0,96	4,2	0,97	4,3	1,00	4,3	1,01	4,6
0,4	0,95	4,2	0,96	4,3	0,98	4,5	1,00	4,6
0,6	0,93	4,2	0,94	4,2	0,97	4,3	0,97	4,8
0,8	0,91	4,2	0,92	4,3	0,94	4,6	0,93	4,6
1	0,88	4,4	0,89	4,3	0,90	4,4	0,84	4,5
1,2	0,84	3,9	0,86	4,2	0,82	4,1	0,67	3,6
1,4	0,80	3,9	0,81	3,9	0,72	3,9	0,57	2,9
1,6	0,76	3,5	0,74	3,8	0,62	3,2	0,52	2,5
1,8	0,71	3,3	0,67	3,3	0,56	2,9	0,48	2,5
2	0,66	3,3	0,61	2,9	0,51	2,4	0,46	2,2
2,2	0,62	3,1	0,57	2,9	0,48	2,3	0,43	2,2
2,4	0,57	2,8	0,53	2,5	0,45	2,2	0,42	1,8
2,6	0,53	2,6	0,49	2,4	0,43	1,8	0,40	1,9
2,8	0,49	2,3	0,46	2,1	0,41	1,9	0,38	1,8
3	0,46	2,3	0,43	2,1	0,39	1,8	0,36	1,5
3,2	0,43	2,0	0,40	1,9	0,37	1,6	0,34	1,6
3,4	0,40	2,0	0,38	1,9	0,35	1,6	0,33	1,7
3,6	0,38	1,8	0,36	1,8	0,33	1,5	0,31	1,5
3,8	0,35	1,7	0,34	1,6	0,31	1,5	0,30	1,4
4	0,33	1,6	0,32	1,6	0,30	1,5	0,29	1,3
4,2	0,32	1,5	0,30	1,4	0,29	1,3	0,28	1,3
4,4	0,30	1,4	0,29	1,3	0,27	1,3	0,26	1,3
4,6	0,29	1,4	0,27	1,4	0,26	1,2	0,25	1,1
4,8	0,27	1,3	0,26	1,3	0,25	1,2	0,24	1,3
5	0,26	1,3	0,25	1,3	0,24	1,3	0,23	1,2

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe haute résolution sur cible de contraste 10%

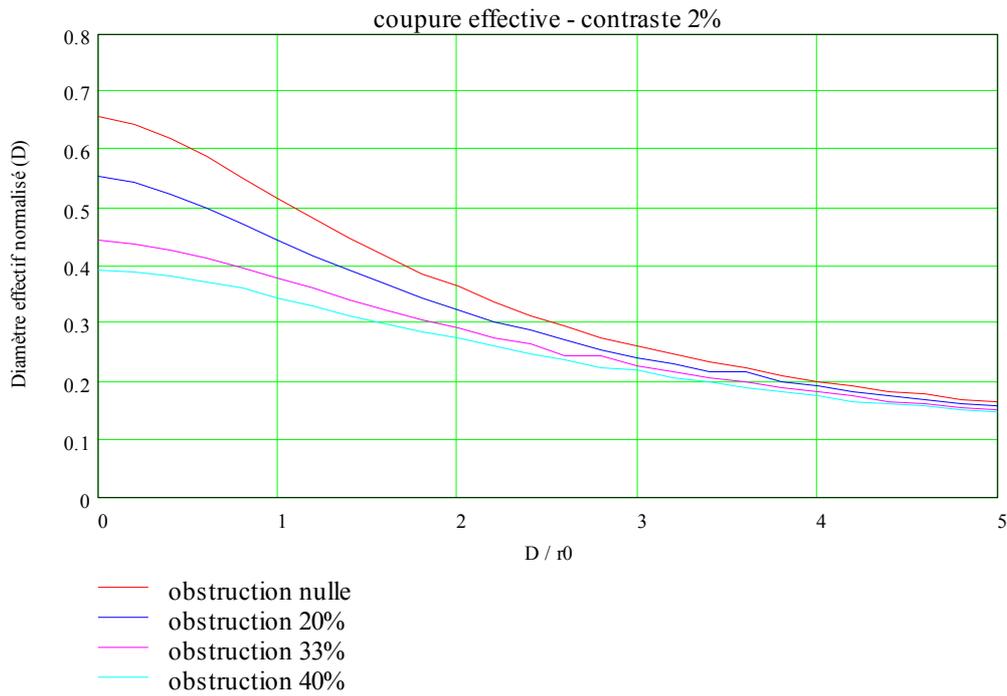


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,98	5,6	0,99	5,3	1,00	5,5	1,01	5,6
0,2	0,98	5,6	0,99	5,2	1,00	5,6	1,01	5,1
0,4	0,97	5,1	0,98	5,3	0,99	5,2	1,00	5,1
0,6	0,97	5,5	0,98	5,3	0,99	5,3	1,00	5,5
0,8	0,96	5,7	0,97	5,6	0,98	5,2	0,99	5,4
1	0,95	5,7	0,95	5,5	0,97	5,4	0,98	5,5
1,2	0,93	5,5	0,94	5,1	0,96	5,0	0,97	5,5
1,4	0,91	4,7	0,92	5,2	0,94	5,4	0,95	5,4
1,6	0,89	5,0	0,90	5,2	0,92	5,3	0,93	5,7
1,8	0,86	5,0	0,87	5,2	0,89	5,3	0,91	5,3
2	0,82	5,0	0,83	4,9	0,86	4,9	0,88	5,1
2,2	0,78	4,5	0,79	4,7	0,82	4,9	0,81	5,1
2,4	0,73	4,5	0,74	4,3	0,72	4,5	0,63	4,0
2,6	0,68	4,0	0,67	4,1	0,61	3,8	0,53	3,3
2,8	0,63	3,9	0,60	3,6	0,53	3,4	0,47	3,1
3	0,58	3,4	0,54	3,4	0,48	3,1	0,43	2,7
3,2	0,54	3,3	0,50	3,1	0,44	2,8	0,40	2,5
3,4	0,50	3,1	0,47	3,1	0,41	2,4	0,38	2,3
3,6	0,46	3,1	0,44	2,7	0,39	2,5	0,36	2,2
3,8	0,43	2,7	0,41	2,5	0,37	2,3	0,35	1,8
4	0,40	2,5	0,38	2,2	0,35	2,2	0,33	2,1
4,2	0,38	2,4	0,36	2,2	0,33	2,1	0,32	1,9
4,4	0,36	2,2	0,34	2,1	0,32	1,9	0,30	1,9
4,6	0,34	2,1	0,32	2,0	0,30	1,8	0,29	1,8
4,8	0,32	1,9	0,31	1,9	0,29	1,9	0,28	1,7
5	0,30	1,9	0,29	1,8	0,28	1,7	0,27	1,7

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe astronomique sur cible de contraste 2%

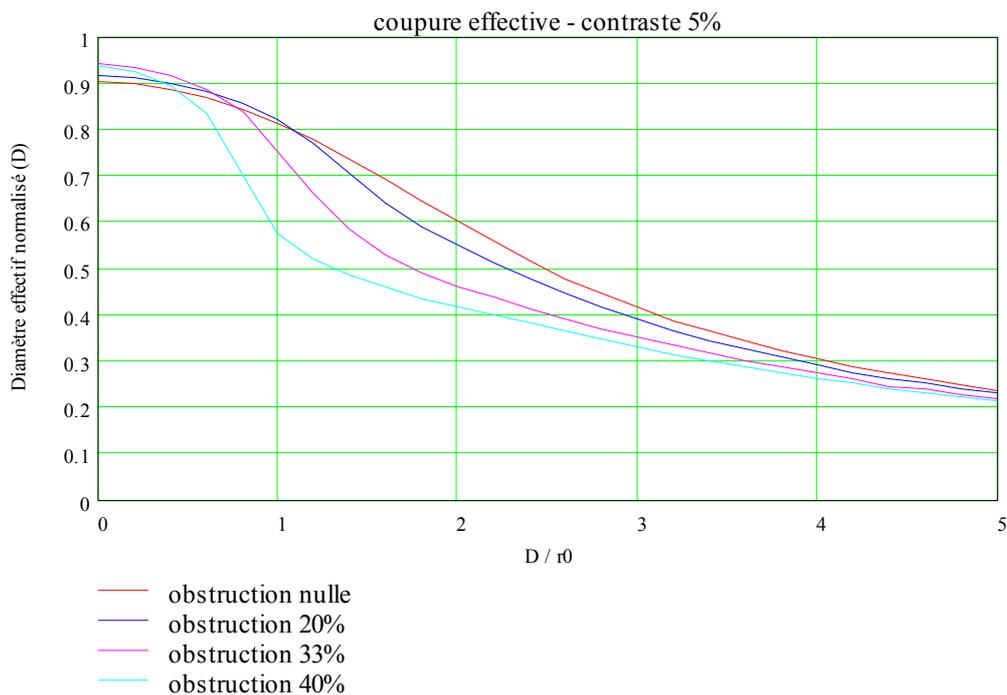


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,66	1,7	0,55	1,5	0,44	1,2	0,39	1,1
0,2	0,65	1,7	0,54	1,5	0,44	1,2	0,39	1,0
0,4	0,62	1,7	0,52	1,4	0,43	1,1	0,38	1,0
0,6	0,59	1,6	0,50	1,3	0,41	1,1	0,37	1,0
0,8	0,55	1,5	0,47	1,3	0,40	1,1	0,36	1,0
1	0,52	1,4	0,45	1,2	0,38	1,0	0,34	0,9
1,2	0,48	1,3	0,42	1,1	0,36	1,0	0,33	0,9
1,4	0,45	1,2	0,39	1,0	0,34	0,9	0,32	0,8
1,6	0,42	1,1	0,37	1,0	0,33	0,9	0,30	0,8
1,8	0,39	1,0	0,34	0,9	0,31	0,8	0,29	0,7
2	0,37	0,8	0,32	0,9	0,29	0,8	0,28	0,7
2,2	0,34	0,9	0,30	0,8	0,28	0,7	0,26	0,7
2,4	0,31	0,8	0,29	0,7	0,26	0,7	0,25	0,7
2,6	0,30	0,8	0,27	0,7	0,24	0,7	0,24	0,6
2,8	0,28	0,7	0,26	0,7	0,24	0,7	0,23	0,6
3	0,26	0,7	0,24	0,6	0,23	0,6	0,22	0,5
3,2	0,25	0,7	0,23	0,6	0,22	0,6	0,21	0,5
3,4	0,24	0,6	0,22	0,5	0,21	0,6	0,20	0,5
3,6	0,22	0,6	0,22	0,5	0,20	0,5	0,19	0,5
3,8	0,21	0,6	0,20	0,5	0,19	0,5	0,18	0,5
4	0,20	0,6	0,19	0,5	0,18	0,4	0,18	0,5
4,2	0,19	0,5	0,18	0,5	0,18	0,5	0,17	0,4
4,4	0,18	0,4	0,18	0,5	0,17	0,4	0,16	0,4
4,6	0,18	0,5	0,17	0,4	0,16	0,4	0,16	0,4
4,8	0,17	0,4	0,16	0,4	0,16	0,4	0,15	0,4
5	0,16	0,4	0,16	0,4	0,15	0,4	0,15	0,4

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe astronomique sur cible de contraste 5%

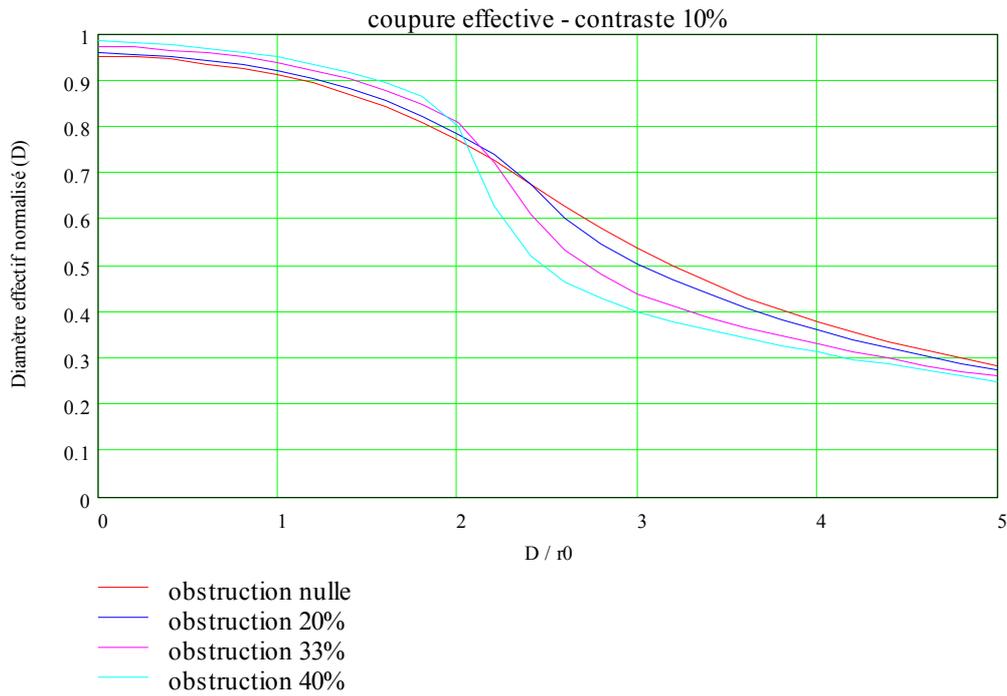


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,91	4,1	0,92	4,0	0,94	4,3	0,94	4,6
0,2	0,90	4,1	0,91	4,0	0,94	4,3	0,93	4,6
0,4	0,89	3,9	0,90	4,0	0,92	4,3	0,90	4,6
0,6	0,87	4,3	0,88	4,0	0,89	4,4	0,84	4,4
0,8	0,84	4,0	0,86	3,9	0,84	4,1	0,70	3,8
1	0,81	4,0	0,82	3,8	0,76	4,0	0,58	3,0
1,2	0,78	3,9	0,77	3,6	0,66	3,3	0,52	2,5
1,4	0,74	3,4	0,70	3,4	0,58	3,0	0,49	2,5
1,6	0,69	3,2	0,64	3,2	0,53	2,7	0,46	2,1
1,8	0,65	3,2	0,59	2,8	0,49	2,5	0,44	2,1
2	0,60	2,8	0,55	2,8	0,46	2,1	0,42	2,0
2,2	0,56	2,8	0,51	2,4	0,44	1,9	0,40	1,8
2,4	0,52	2,6	0,48	2,4	0,41	1,9	0,38	1,8
2,6	0,48	2,3	0,45	2,1	0,39	1,8	0,36	1,7
2,8	0,45	2,1	0,42	2,0	0,37	1,8	0,35	1,6
3	0,42	2,0	0,39	1,9	0,35	1,7	0,33	1,5
3,2	0,39	1,9	0,37	1,8	0,34	1,5	0,32	1,5
3,4	0,36	1,9	0,35	1,6	0,32	1,5	0,30	1,5
3,6	0,34	1,6	0,33	1,5	0,30	1,5	0,29	1,4
3,8	0,32	1,4	0,31	1,6	0,29	1,3	0,28	1,3
4	0,31	1,4	0,29	1,4	0,28	1,5	0,26	1,3
4,2	0,29	1,3	0,28	1,4	0,26	1,2	0,25	1,2
4,4	0,28	1,2	0,26	1,3	0,25	1,0	0,24	1,1
4,6	0,26	1,3	0,25	1,3	0,24	1,1	0,23	1,0
4,8	0,25	1,1	0,24	1,1	0,23	1,1	0,22	1,0
5	0,24	1,1	0,23	1,1	0,22	1,1	0,22	1,1

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe astronomique sur cible de contraste 10%

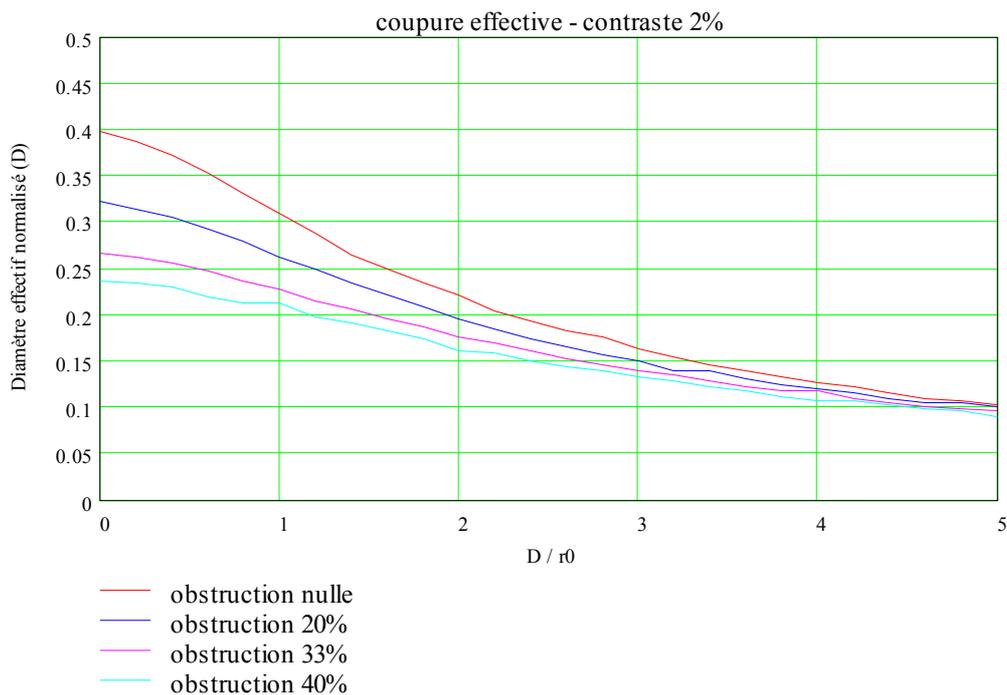


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,95	5,4	0,96	5,4	0,97	5,4	0,98	5,3
0,2	0,95	4,9	0,96	5,0	0,97	5,3	0,98	5,0
0,4	0,95	4,9	0,95	5,3	0,97	5,3	0,98	5,2
0,6	0,94	5,2	0,95	5,3	0,96	5,3	0,97	5,3
0,8	0,93	4,9	0,94	5,1	0,95	5,2	0,96	5,2
1	0,91	4,9	0,92	5,3	0,94	4,8	0,95	5,3
1,2	0,89	5,3	0,90	4,9	0,92	5,1	0,94	5,2
1,4	0,87	4,9	0,88	5,0	0,90	5,2	0,92	5,2
1,6	0,85	4,9	0,86	4,9	0,88	5,1	0,90	5,2
1,8	0,81	4,9	0,82	5,0	0,85	5,1	0,87	5,2
2	0,77	4,6	0,79	4,3	0,81	4,8	0,80	4,9
2,2	0,73	4,2	0,74	4,4	0,72	4,5	0,63	3,9
2,4	0,68	4,0	0,68	4,0	0,61	3,8	0,52	3,3
2,6	0,63	3,7	0,61	3,8	0,53	3,2	0,47	2,9
2,8	0,58	3,5	0,55	3,3	0,48	3,0	0,43	2,5
3	0,54	3,2	0,50	2,9	0,44	2,7	0,40	2,5
3,2	0,50	2,9	0,47	2,9	0,41	2,4	0,38	2,4
3,4	0,47	2,9	0,44	2,8	0,39	2,5	0,36	2,1
3,6	0,43	2,6	0,41	2,6	0,37	2,1	0,35	2,0
3,8	0,40	2,3	0,38	2,1	0,35	2,1	0,33	2,1
4	0,38	2,3	0,36	2,2	0,33	1,8	0,31	1,9
4,2	0,36	2,2	0,34	2,1	0,32	1,9	0,30	1,6
4,4	0,34	2,1	0,32	2,0	0,30	1,9	0,29	1,7
4,6	0,32	2,0	0,30	1,7	0,29	1,7	0,28	1,6
4,8	0,30	1,9	0,29	1,6	0,27	1,7	0,26	1,6
5	0,29	1,7	0,28	1,7	0,26	1,7	0,25	1,5

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe standard sur cible de contraste 2%

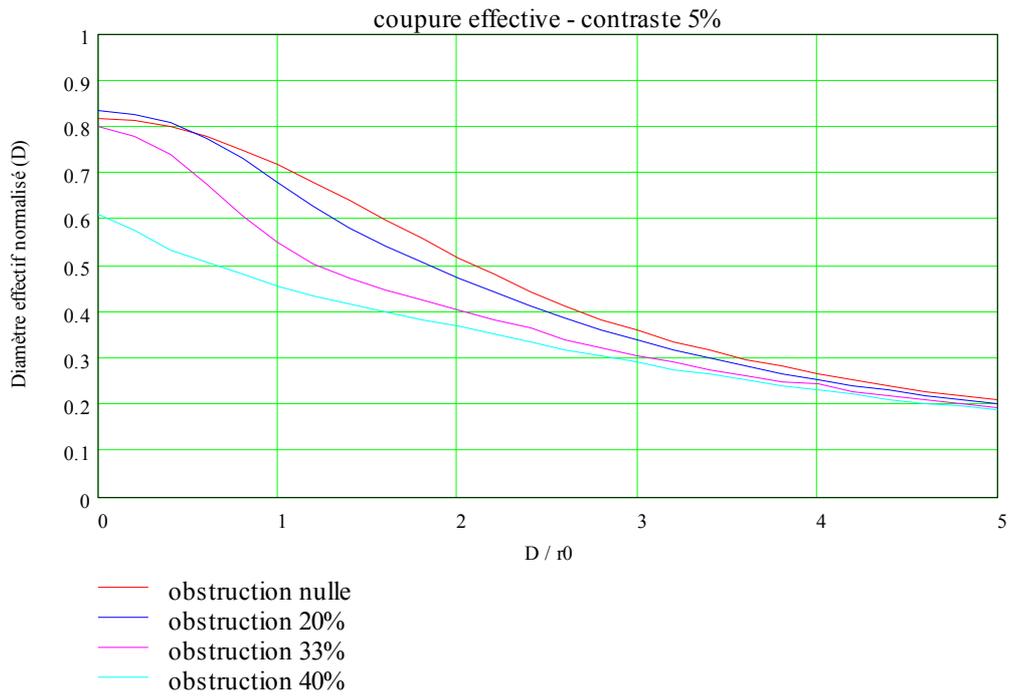


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,40	1,2	0,32	1,0	0,27	0,8	0,24	0,7
0,2	0,39	1,2	0,32	1,0	0,26	0,8	0,23	0,7
0,4	0,37	1,1	0,31	0,9	0,26	0,8	0,23	0,7
0,6	0,35	0,9	0,29	0,9	0,25	0,8	0,22	0,6
0,8	0,33	1,0	0,28	0,8	0,24	0,7	0,21	0,7
1	0,31	0,9	0,26	0,8	0,23	0,7	0,21	0,6
1,2	0,29	0,9	0,25	0,8	0,22	0,7	0,20	0,6
1,4	0,27	0,8	0,23	0,7	0,21	0,6	0,19	0,6
1,6	0,25	0,8	0,22	0,7	0,20	0,6	0,18	0,6
1,8	0,24	0,7	0,21	0,6	0,19	0,6	0,17	0,5
2	0,22	0,6	0,20	0,6	0,18	0,6	0,16	0,6
2,2	0,21	0,6	0,19	0,6	0,17	0,5	0,16	0,5
2,4	0,19	0,6	0,18	0,5	0,16	0,5	0,15	0,5
2,6	0,18	0,6	0,17	0,5	0,15	0,5	0,15	0,4
2,8	0,18	0,6	0,16	0,5	0,15	0,4	0,14	0,4
3	0,16	0,5	0,15	0,4	0,14	0,4	0,13	0,4
3,2	0,16	0,5	0,14	0,4	0,14	0,4	0,13	0,4
3,4	0,15	0,4	0,14	0,4	0,13	0,4	0,12	0,4
3,6	0,14	0,4	0,13	0,4	0,12	0,4	0,12	0,4
3,8	0,13	0,4	0,13	0,4	0,12	0,3	0,11	0,3
4	0,13	0,4	0,12	0,4	0,11	0,3	0,11	0,3
4,2	0,12	0,4	0,12	0,3	0,11	0,3	0,10	0,3
4,4	0,12	0,3	0,11	0,3	0,11	0,3	0,10	0,3
4,6	0,11	0,4	0,11	0,3	0,10	0,3	0,10	0,3
4,8	0,11	0,3	0,10	0,3	0,10	0,3	0,10	0,3
5	0,10	0,3	0,10	0,3	0,10	0,3	0,09	0,3

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe standard sur cible de contraste 5%

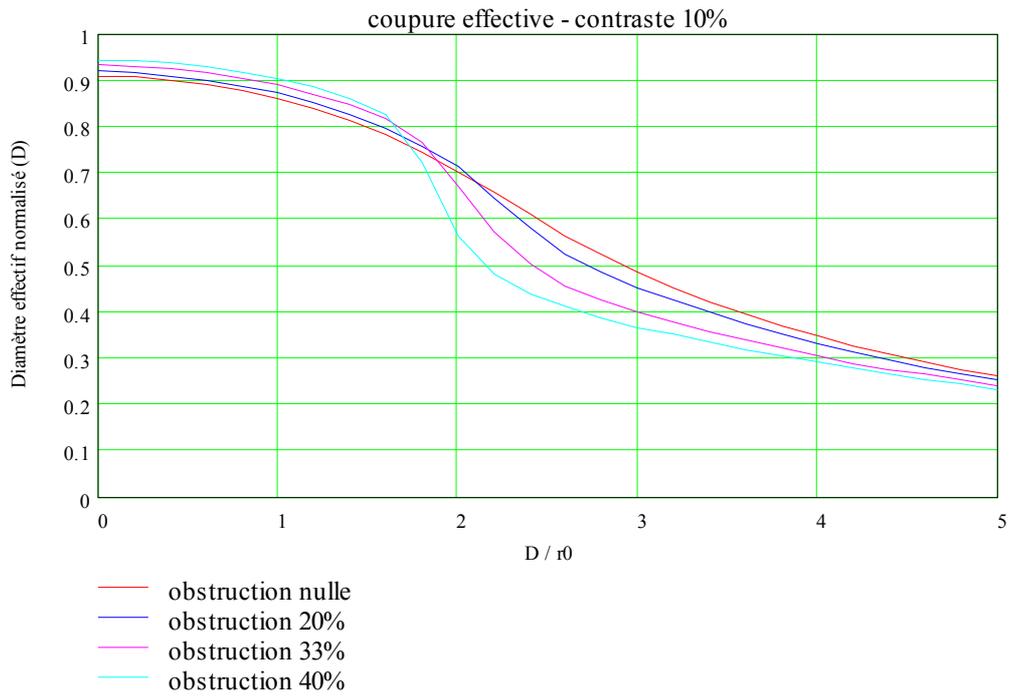


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,82	3,7	0,83	4,0	0,80	4,0	0,61	3,4
0,2	0,81	3,7	0,83	3,7	0,78	3,9	0,58	3,1
0,4	0,80	3,6	0,81	3,7	0,74	3,9	0,54	2,8
0,6	0,78	3,6	0,78	3,7	0,68	3,6	0,51	2,4
0,8	0,75	3,5	0,73	3,6	0,61	3,1	0,48	2,4
1	0,72	3,3	0,68	3,3	0,55	2,9	0,46	2,4
1,2	0,68	3,1	0,63	3,2	0,51	2,5	0,44	2,0
1,4	0,64	3,0	0,58	2,8	0,47	2,4	0,42	1,9
1,6	0,60	2,7	0,54	2,7	0,45	2,1	0,40	1,8
1,8	0,56	2,7	0,51	2,5	0,43	2,0	0,39	1,8
2	0,52	2,5	0,47	2,3	0,40	2,0	0,37	1,7
2,2	0,48	2,2	0,44	2,1	0,38	1,8	0,35	1,6
2,4	0,45	2,1	0,41	1,9	0,37	1,6	0,33	1,5
2,6	0,41	2,1	0,39	1,9	0,34	1,6	0,32	1,6
2,8	0,39	1,8	0,36	1,8	0,32	1,5	0,31	1,5
3	0,36	1,8	0,34	1,6	0,31	1,4	0,29	1,4
3,2	0,34	1,6	0,32	1,6	0,29	1,4	0,28	1,5
3,4	0,32	1,5	0,30	1,4	0,28	1,4	0,27	1,2
3,6	0,30	1,5	0,28	1,3	0,26	1,3	0,25	1,2
3,8	0,28	1,4	0,27	1,2	0,25	1,3	0,24	1,1
4	0,27	1,3	0,25	1,2	0,25	1,5	0,23	1,1
4,2	0,25	1,0	0,24	1,1	0,23	1,0	0,22	1,5
4,4	0,24	1,1	0,23	1,1	0,22	1,1	0,21	1,0
4,6	0,23	1,0	0,22	1,0	0,21	1,0	0,20	1,0
4,8	0,22	1,1	0,21	0,9	0,20	0,9	0,20	0,9
5	0,21	1,0	0,20	0,9	0,20	0,9	0,19	0,9

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe standard sur cible de contraste 10%



Diamètre effectif apparent

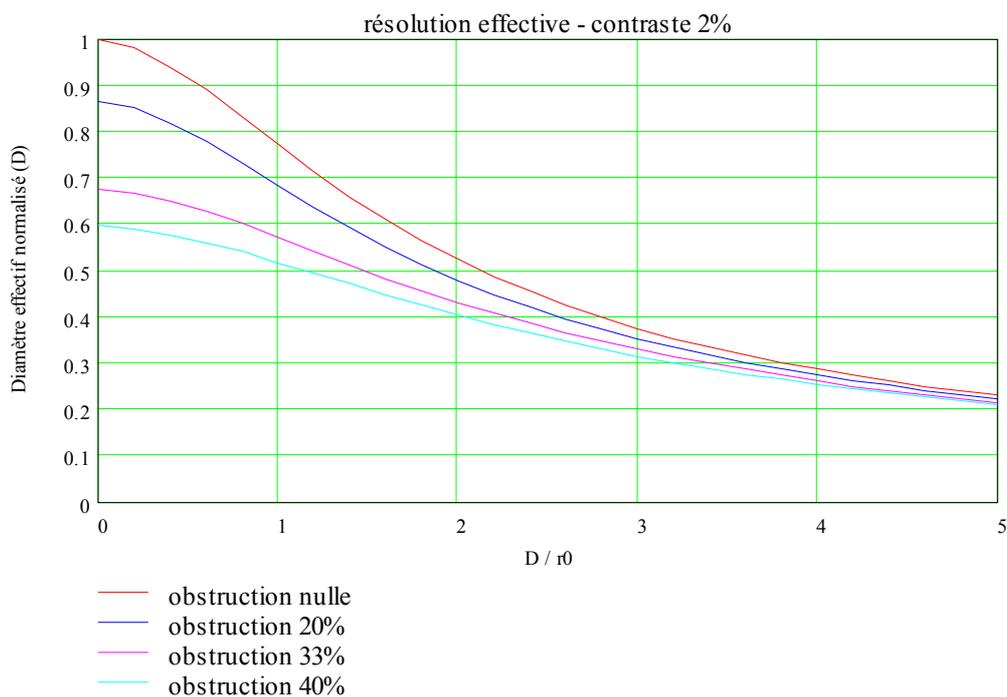
Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,91	4,8	0,92	4,9	0,93	5,2	0,95	5,1
0,2	0,91	5,3	0,92	4,9	0,93	4,8	0,94	5,0
0,4	0,90	4,7	0,91	4,9	0,93	5,0	0,94	5,1
0,6	0,89	4,8	0,90	4,9	0,92	5,0	0,93	4,5
0,8	0,88	4,9	0,89	4,8	0,91	4,8	0,92	5,1
1	0,86	4,7	0,87	4,9	0,89	4,8	0,90	4,8
1,2	0,84	4,6	0,85	4,8	0,87	5,0	0,89	4,9
1,4	0,81	4,5	0,83	4,6	0,85	4,9	0,86	4,8
1,6	0,78	4,5	0,80	4,7	0,82	4,6	0,83	4,9
1,8	0,75	4,2	0,76	4,2	0,77	4,7	0,72	4,5
2	0,70	4,1	0,71	4,5	0,67	4,3	0,56	3,5
2,2	0,66	3,9	0,65	3,8	0,57	3,5	0,48	3,0
2,4	0,61	3,8	0,58	3,5	0,50	3,1	0,44	2,8
2,6	0,57	3,4	0,53	3,2	0,46	2,9	0,41	2,5
2,8	0,52	3,2	0,49	3,1	0,42	2,4	0,39	2,3
3	0,49	2,9	0,45	2,6	0,40	2,3	0,37	2,2
3,2	0,45	2,7	0,43	2,4	0,38	2,1	0,35	2,1
3,4	0,42	2,3	0,40	2,3	0,36	2,2	0,34	2,1
3,6	0,39	2,3	0,37	2,4	0,34	2,1	0,32	2,0
3,8	0,37	2,3	0,35	2,1	0,32	2,0	0,31	1,9
4	0,35	2,1	0,33	2,1	0,31	1,9	0,29	1,8
4,2	0,33	2,1	0,31	1,9	0,29	1,6	0,28	1,7
4,4	0,31	1,9	0,30	1,8	0,28	1,5	0,27	1,7
4,6	0,29	1,9	0,28	1,7	0,27	1,7	0,25	1,5
4,8	0,28	1,8	0,27	1,7	0,25	1,5	0,24	1,5
5	0,26	1,6	0,25	1,5	0,24	1,5	0,23	1,5

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Annexe C

**Turbulence en poses courtes – paramètre alpha égal à 0,9
Diamètre effectif et grossissement optimal normalisés
calculés par application du critère de résolution effective**

Instruments limités par la diffraction sur cible de contraste 2%

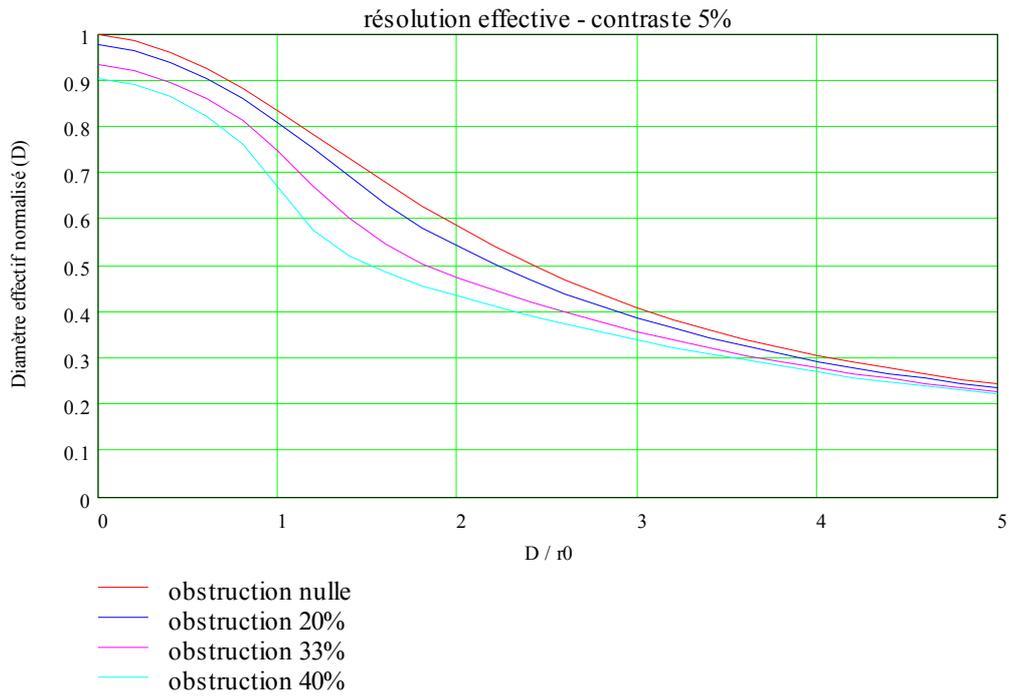


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	1,00	2,6	0,87	2,3	0,68	1,8	0,60	1,6
0,2	0,98	2,6	0,85	2,3	0,67	1,8	0,59	1,6
0,4	0,94	2,5	0,82	2,2	0,65	1,7	0,58	1,5
0,6	0,89	2,4	0,78	2,1	0,63	1,7	0,56	1,5
0,8	0,83	2,2	0,73	2,0	0,60	1,6	0,54	1,4
1	0,77	2,1	0,69	1,9	0,57	1,5	0,52	1,4
1,2	0,72	1,9	0,64	1,7	0,54	1,5	0,50	1,3
1,4	0,66	1,8	0,59	1,6	0,51	1,4	0,47	1,3
1,6	0,61	1,6	0,55	1,5	0,48	1,3	0,45	1,2
1,8	0,56	1,5	0,51	1,4	0,46	1,2	0,43	1,1
2	0,52	1,4	0,48	1,3	0,43	1,2	0,41	1,1
2,2	0,49	1,3	0,45	1,2	0,41	1,1	0,39	1,0
2,4	0,45	1,2	0,42	1,1	0,39	1,0	0,37	1,0
2,6	0,43	1,1	0,40	1,1	0,37	1,0	0,35	0,9
2,8	0,40	1,1	0,37	1,0	0,35	0,9	0,33	0,9
3	0,38	1,0	0,35	0,9	0,33	0,9	0,32	0,8
3,2	0,35	0,9	0,33	0,9	0,32	0,8	0,30	0,8
3,4	0,34	0,9	0,32	0,8	0,30	0,8	0,29	0,8
3,6	0,32	0,8	0,30	0,8	0,29	0,8	0,28	0,7
3,8	0,30	0,8	0,29	0,8	0,27	0,7	0,27	0,7
4	0,29	0,8	0,28	0,7	0,26	0,7	0,25	0,7
4,2	0,28	0,7	0,26	0,7	0,25	0,7	0,24	0,7
4,4	0,26	0,7	0,25	0,7	0,24	0,6	0,24	0,6
4,6	0,25	0,7	0,24	0,6	0,23	0,6	0,23	0,6
4,8	0,24	0,6	0,23	0,6	0,22	0,6	0,22	0,6
5	0,23	0,6	0,22	0,6	0,22	0,6	0,21	0,6

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments limités par la diffraction sur cible de contraste 5%

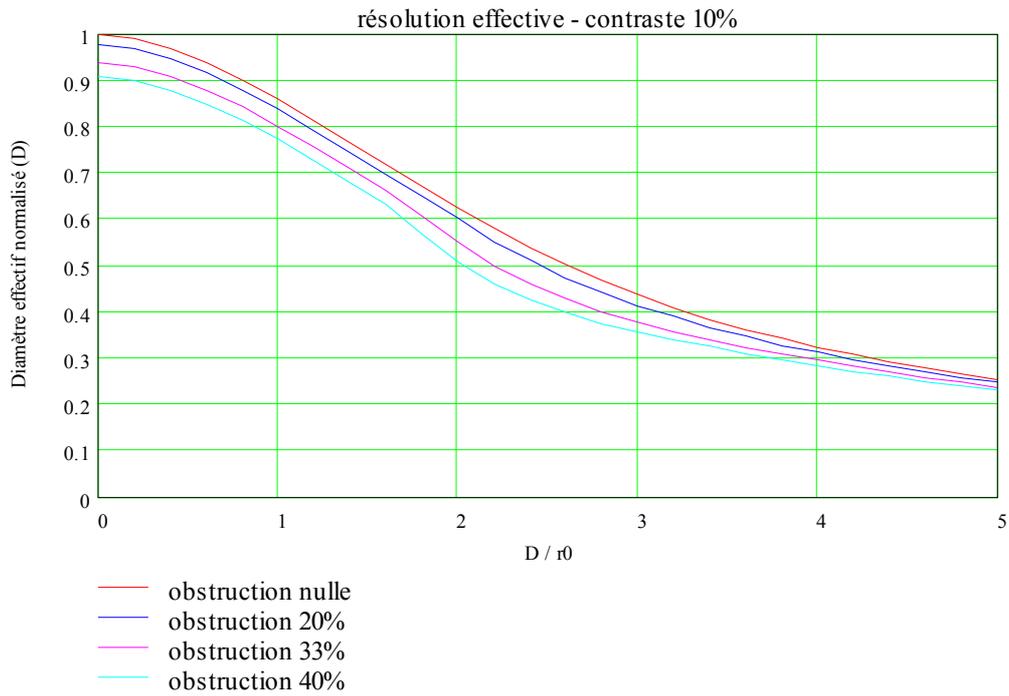


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	1,00	3,7	0,98	3,8	0,94	3,9	0,90	4,0
0,2	0,99	3,6	0,96	3,7	0,92	3,8	0,89	4,0
0,4	0,96	3,6	0,94	3,7	0,90	3,8	0,86	4,0
0,6	0,93	3,5	0,90	3,6	0,86	3,8	0,82	4,2
0,8	0,88	3,4	0,86	3,5	0,81	3,9	0,76	4,1
1	0,84	3,3	0,81	3,4	0,75	3,8	0,67	3,8
1,2	0,78	3,1	0,75	3,3	0,67	3,4	0,58	3,1
1,4	0,73	3,0	0,69	3,1	0,60	3,0	0,52	2,4
1,6	0,68	2,8	0,63	2,8	0,55	2,5	0,49	2,1
1,8	0,63	2,6	0,58	2,5	0,51	2,2	0,46	1,9
2	0,58	2,4	0,54	2,3	0,47	2,0	0,43	1,8
2,2	0,54	2,3	0,51	2,1	0,45	1,8	0,41	1,7
2,4	0,50	2,1	0,47	2,0	0,42	1,7	0,39	1,6
2,6	0,47	1,9	0,44	1,9	0,40	1,6	0,38	1,5
2,8	0,44	1,8	0,41	1,7	0,38	1,5	0,36	1,4
3	0,41	1,7	0,39	1,6	0,36	1,5	0,34	1,4
3,2	0,38	1,6	0,37	1,5	0,34	1,4	0,32	1,3
3,4	0,36	1,5	0,35	1,4	0,32	1,3	0,31	1,2
3,6	0,34	1,4	0,33	1,3	0,31	1,3	0,30	1,2
3,8	0,32	1,3	0,31	1,3	0,29	1,2	0,28	1,1
4	0,31	1,3	0,30	1,2	0,28	1,1	0,27	1,1
4,2	0,29	1,2	0,28	1,2	0,27	1,1	0,26	1,0
4,4	0,28	1,1	0,27	1,1	0,26	1,0	0,25	1,0
4,6	0,27	1,1	0,26	1,0	0,25	1,0	0,24	0,9
4,8	0,25	1,0	0,25	1,0	0,24	1,0	0,23	0,9
5	0,24	1,0	0,24	0,9	0,23	0,9	0,22	0,9

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instrumentes limités par la diffraction sur cible de contraste 10%

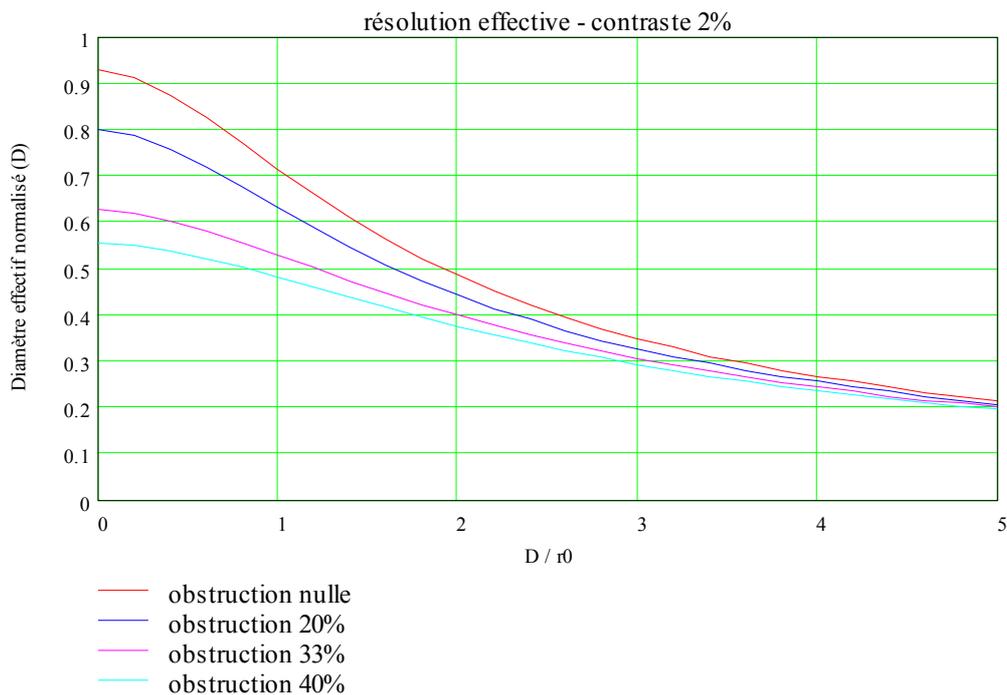


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	1,00	3,7	0,98	3,8	0,94	3,9	0,91	4,1
0,2	0,99	3,7	0,97	3,8	0,93	4,0	0,90	4,1
0,4	0,97	3,7	0,95	3,8	0,91	3,9	0,88	4,0
0,6	0,94	3,7	0,92	3,7	0,88	3,9	0,85	4,0
0,8	0,90	3,6	0,88	3,7	0,84	3,8	0,81	4,0
1	0,86	3,5	0,84	3,6	0,80	3,8	0,77	3,9
1,2	0,82	3,5	0,79	3,5	0,76	3,6	0,73	3,8
1,4	0,77	3,3	0,75	3,5	0,71	3,5	0,68	3,7
1,6	0,72	3,2	0,70	3,3	0,66	3,4	0,63	3,7
1,8	0,67	3,1	0,65	3,1	0,61	3,4	0,57	3,5
2	0,63	2,9	0,60	3,0	0,55	3,1	0,51	3,1
2,2	0,58	2,7	0,55	2,8	0,50	2,7	0,46	2,5
2,4	0,54	2,5	0,51	2,5	0,46	2,3	0,42	2,1
2,6	0,50	2,3	0,47	2,2	0,43	2,1	0,40	1,9
2,8	0,47	2,2	0,44	2,1	0,40	1,9	0,38	1,7
3	0,44	2,0	0,42	1,9	0,38	1,7	0,36	1,6
3,2	0,41	1,9	0,39	1,8	0,36	1,6	0,34	1,5
3,4	0,39	1,7	0,37	1,7	0,34	1,5	0,33	1,4
3,6	0,36	1,6	0,35	1,6	0,33	1,4	0,31	1,4
3,8	0,34	1,5	0,33	1,5	0,31	1,4	0,30	1,3
4	0,33	1,4	0,31	1,4	0,30	1,3	0,28	1,2
4,2	0,31	1,4	0,30	1,3	0,28	1,3	0,27	1,2
4,4	0,29	1,3	0,28	1,2	0,27	1,2	0,26	1,1
4,6	0,28	1,2	0,27	1,2	0,26	1,1	0,25	1,1
4,8	0,27	1,2	0,26	1,1	0,25	1,1	0,24	1,1
5	0,26	1,1	0,25	1,1	0,24	1,0	0,23	1,0

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe professionnelle sur cible de contraste 2%

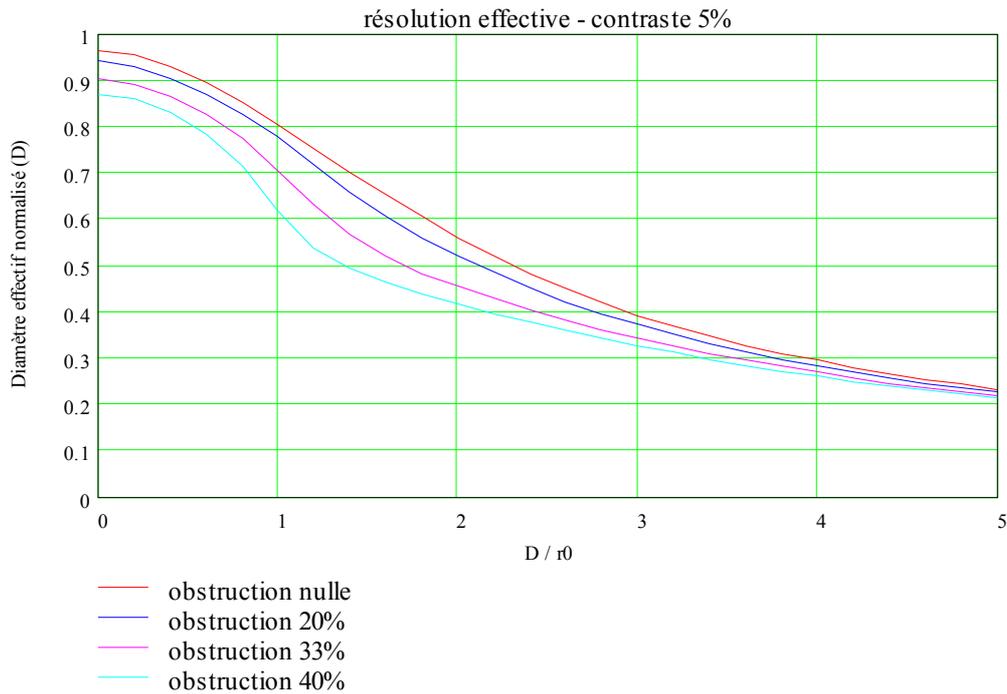


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,93	2,5	0,80	2,2	0,63	1,7	0,56	1,5
0,2	0,91	2,5	0,79	2,2	0,62	1,7	0,55	1,5
0,4	0,87	2,4	0,76	2,1	0,61	1,6	0,54	1,5
0,6	0,83	2,3	0,72	2,0	0,58	1,6	0,52	1,4
0,8	0,77	2,1	0,68	1,9	0,56	1,5	0,50	1,4
1	0,72	1,9	0,63	1,8	0,53	1,4	0,48	1,3
1,2	0,66	1,8	0,59	1,6	0,50	1,4	0,46	1,3
1,4	0,61	1,7	0,55	1,5	0,48	1,3	0,44	1,2
1,6	0,57	1,6	0,51	1,4	0,45	1,2	0,42	1,1
1,8	0,52	1,4	0,47	1,3	0,42	1,2	0,40	1,1
2	0,49	1,3	0,44	1,2	0,40	1,1	0,38	1,0
2,2	0,45	1,2	0,42	1,1	0,38	1,0	0,36	1,0
2,4	0,42	1,1	0,39	1,1	0,36	1,0	0,34	0,9
2,6	0,40	1,1	0,37	1,0	0,34	0,9	0,32	0,9
2,8	0,37	1,0	0,35	0,9	0,32	0,9	0,31	0,8
3	0,35	0,9	0,33	0,9	0,31	0,8	0,29	0,8
3,2	0,33	0,9	0,31	0,8	0,29	0,8	0,28	0,8
3,4	0,31	0,8	0,30	0,8	0,28	0,8	0,27	0,7
3,6	0,30	0,8	0,28	0,8	0,27	0,7	0,26	0,7
3,8	0,28	0,8	0,27	0,7	0,26	0,7	0,25	0,7
4	0,27	0,7	0,26	0,7	0,24	0,7	0,24	0,6
4,2	0,26	0,7	0,24	0,7	0,23	0,6	0,23	0,6
4,4	0,24	0,7	0,24	0,6	0,23	0,6	0,22	0,6
4,6	0,23	0,6	0,23	0,6	0,22	0,6	0,21	0,6
4,8	0,23	0,6	0,22	0,6	0,21	0,6	0,20	0,6
5	0,22	0,6	0,21	0,6	0,20	0,5	0,20	0,5

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe professionnelle sur cible de contraste 5%

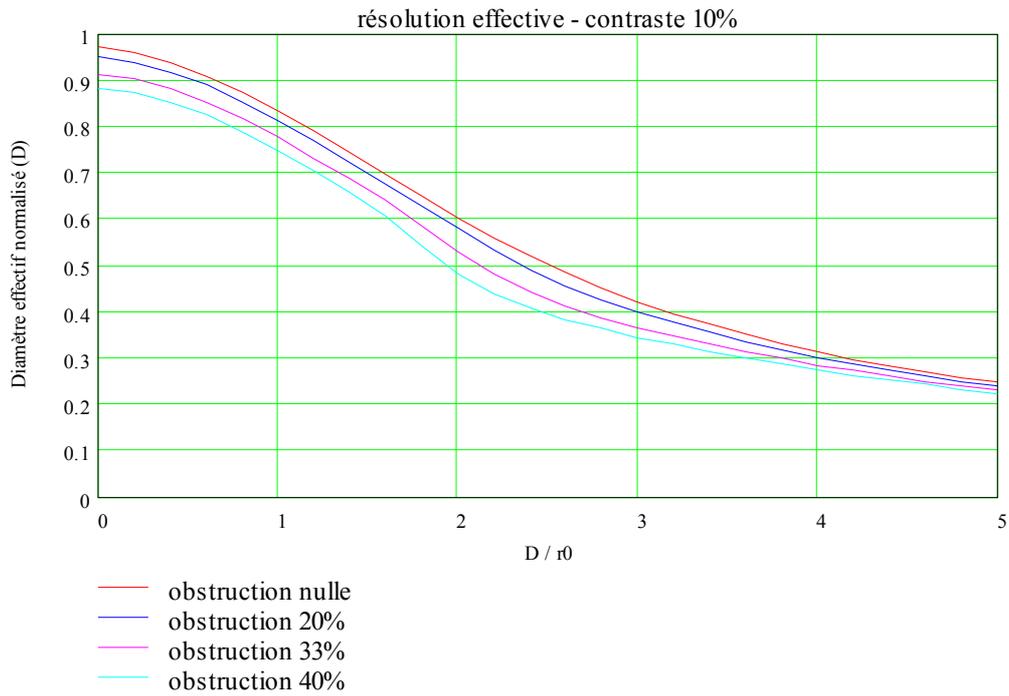


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,97	3,6	0,94	3,7	0,90	3,9	0,87	4,0
0,2	0,96	3,6	0,93	3,7	0,89	3,9	0,86	4,0
0,4	0,93	3,6	0,91	3,7	0,87	3,9	0,83	4,1
0,6	0,90	3,5	0,87	3,6	0,83	3,9	0,79	4,2
0,8	0,85	3,4	0,83	3,5	0,78	3,9	0,72	4,1
1	0,81	3,3	0,78	3,5	0,71	3,7	0,62	3,6
1,2	0,76	3,1	0,72	3,4	0,63	3,3	0,54	2,8
1,4	0,70	3,0	0,66	3,0	0,57	2,8	0,50	2,3
1,6	0,65	2,8	0,61	2,7	0,52	2,4	0,47	2,0
1,8	0,61	2,6	0,56	2,4	0,48	2,1	0,44	1,9
2	0,56	2,4	0,52	2,2	0,45	1,9	0,42	1,7
2,2	0,52	2,2	0,49	2,1	0,43	1,8	0,40	1,6
2,4	0,48	2,1	0,45	1,9	0,41	1,7	0,38	1,6
2,6	0,45	1,9	0,42	1,8	0,38	1,6	0,36	1,5
2,8	0,42	1,8	0,40	1,7	0,36	1,5	0,34	1,4
3	0,39	1,7	0,37	1,6	0,34	1,4	0,33	1,4
3,2	0,37	1,5	0,35	1,5	0,33	1,3	0,31	1,3
3,4	0,35	1,5	0,33	1,4	0,31	1,3	0,30	1,2
3,6	0,33	1,4	0,31	1,3	0,30	1,2	0,28	1,2
3,8	0,31	1,3	0,30	1,3	0,28	1,2	0,27	1,1
4	0,30	1,2	0,28	1,2	0,27	1,1	0,26	1,1
4,2	0,28	1,1	0,27	1,1	0,26	1,1	0,25	1,0
4,4	0,27	1,1	0,26	1,1	0,25	1,0	0,24	1,0
4,6	0,26	1,1	0,25	1,0	0,24	1,0	0,23	0,9
4,8	0,24	1,0	0,24	1,0	0,23	0,9	0,22	0,9
5	0,23	1,0	0,23	0,9	0,22	0,9	0,21	0,9

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instrument de classe professionnelle sur cible de contraste 10%

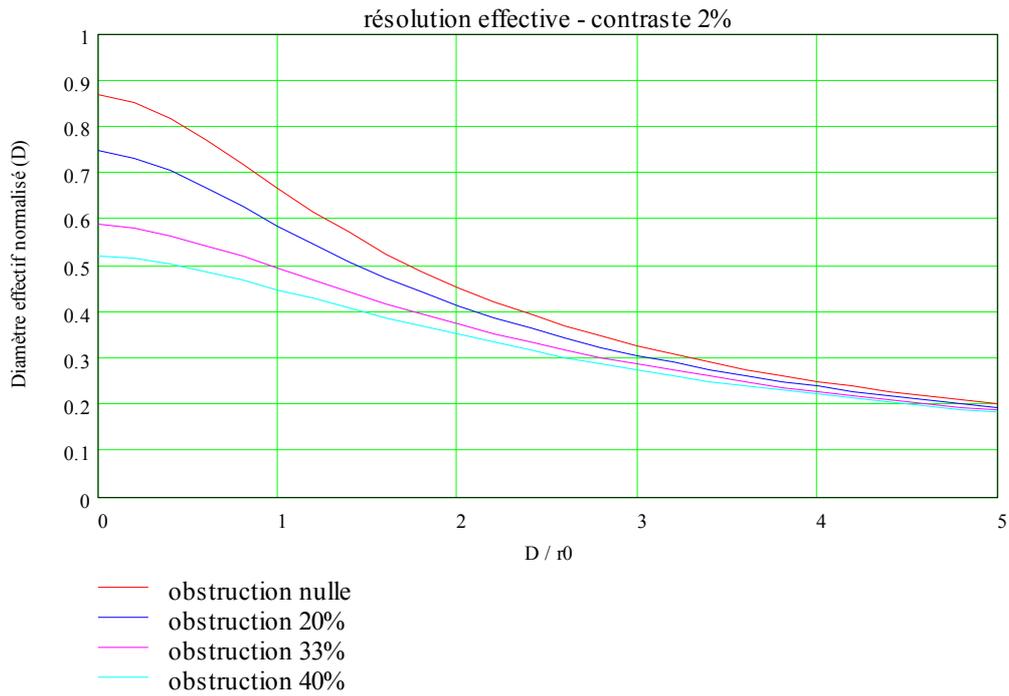


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,97	3,7	0,95	3,8	0,91	4,0	0,89	4,1
0,2	0,96	3,7	0,94	3,9	0,90	3,9	0,88	4,1
0,4	0,94	3,7	0,92	3,8	0,88	3,9	0,85	4,0
0,6	0,91	3,6	0,89	3,7	0,85	3,9	0,83	4,0
0,8	0,88	3,6	0,86	3,7	0,82	3,8	0,79	3,9
1	0,84	3,5	0,81	3,6	0,78	3,8	0,75	3,9
1,2	0,79	3,4	0,77	3,5	0,73	3,7	0,71	3,8
1,4	0,75	3,3	0,72	3,4	0,69	3,5	0,66	3,6
1,6	0,70	3,2	0,68	3,3	0,64	3,5	0,61	3,8
1,8	0,65	3,0	0,63	3,1	0,59	3,4	0,54	3,5
2	0,61	2,8	0,58	3,0	0,53	3,0	0,48	2,9
2,2	0,56	2,7	0,53	2,7	0,48	2,6	0,44	2,4
2,4	0,52	2,5	0,49	2,5	0,44	2,3	0,41	2,1
2,6	0,49	2,3	0,46	2,2	0,41	2,0	0,39	1,8
2,8	0,45	2,1	0,43	2,0	0,39	1,8	0,36	1,7
3	0,42	2,0	0,40	1,9	0,37	1,7	0,35	1,6
3,2	0,40	1,9	0,38	1,8	0,35	1,6	0,33	1,5
3,4	0,37	1,7	0,36	1,7	0,33	1,5	0,32	1,4
3,6	0,35	1,6	0,34	1,6	0,32	1,4	0,30	1,3
3,8	0,33	1,5	0,32	1,5	0,30	1,4	0,29	1,3
4	0,31	1,4	0,30	1,4	0,29	1,3	0,28	1,2
4,2	0,30	1,4	0,29	1,3	0,27	1,2	0,26	1,2
4,4	0,28	1,3	0,27	1,3	0,26	1,2	0,25	1,1
4,6	0,27	1,2	0,26	1,2	0,25	1,1	0,24	1,1
4,8	0,26	1,2	0,25	1,1	0,24	1,1	0,23	1,0
5	0,25	1,1	0,24	1,1	0,23	1,0	0,23	1,0

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe haute résolution sur cible de contraste 2%

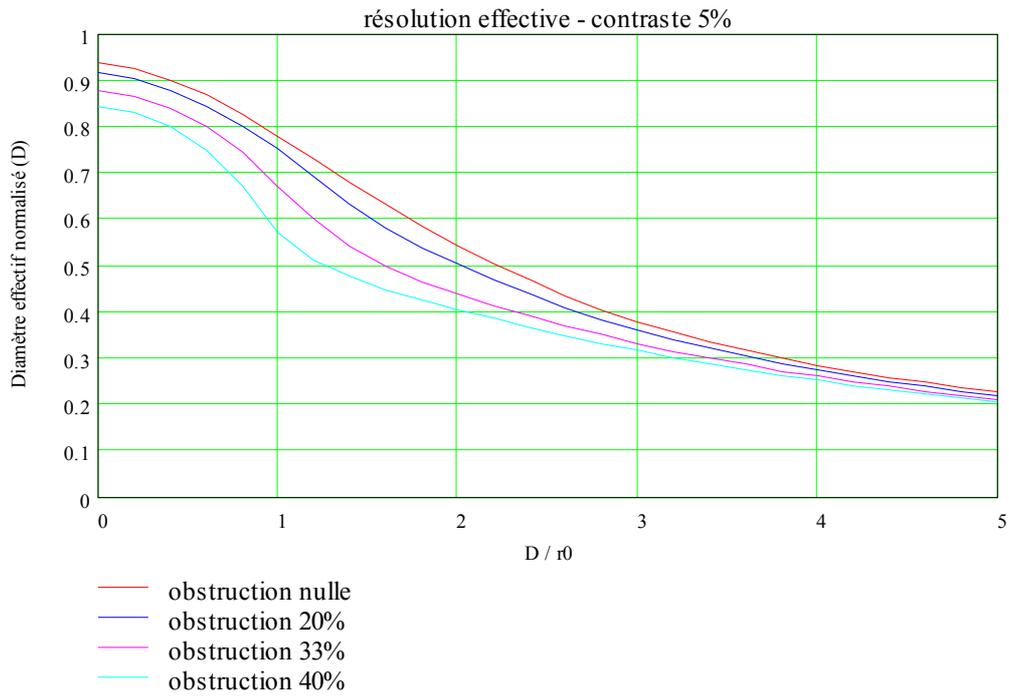


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,87	2,4	0,75	2,1	0,59	1,6	0,52	1,4
0,2	0,85	2,4	0,73	2,1	0,58	1,6	0,52	1,4
0,4	0,82	2,3	0,71	2,0	0,57	1,6	0,50	1,4
0,6	0,77	2,1	0,67	1,9	0,55	1,5	0,49	1,4
0,8	0,72	2,0	0,63	1,8	0,52	1,5	0,47	1,3
1	0,67	1,9	0,59	1,7	0,50	1,4	0,45	1,2
1,2	0,62	1,7	0,55	1,5	0,47	1,3	0,43	1,2
1,4	0,57	1,6	0,51	1,4	0,44	1,2	0,41	1,1
1,6	0,53	1,5	0,47	1,3	0,42	1,2	0,39	1,1
1,8	0,49	1,4	0,44	1,2	0,40	1,1	0,37	1,0
2	0,45	1,3	0,41	1,2	0,37	1,0	0,35	1,0
2,2	0,42	1,2	0,39	1,1	0,35	1,0	0,33	0,9
2,4	0,39	1,1	0,36	1,0	0,34	0,9	0,32	0,9
2,6	0,37	1,0	0,34	1,0	0,32	0,9	0,30	0,8
2,8	0,35	1,0	0,32	0,9	0,30	0,8	0,29	0,8
3	0,33	0,9	0,31	0,8	0,29	0,8	0,27	0,8
3,2	0,31	0,9	0,29	0,8	0,27	0,7	0,26	0,7
3,4	0,29	0,8	0,28	0,8	0,26	0,7	0,25	0,7
3,6	0,28	0,8	0,26	0,7	0,25	0,7	0,24	0,7
3,8	0,26	0,7	0,25	0,7	0,24	0,7	0,23	0,6
4	0,25	0,7	0,24	0,7	0,23	0,6	0,22	0,6
4,2	0,24	0,7	0,23	0,6	0,22	0,6	0,21	0,6
4,4	0,23	0,6	0,22	0,6	0,21	0,6	0,21	0,6
4,6	0,22	0,6	0,21	0,6	0,20	0,6	0,20	0,5
4,8	0,21	0,6	0,20	0,6	0,20	0,5	0,19	0,5
5	0,20	0,6	0,20	0,5	0,19	0,5	0,18	0,5

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe haute résolution sur cible de contraste 5%

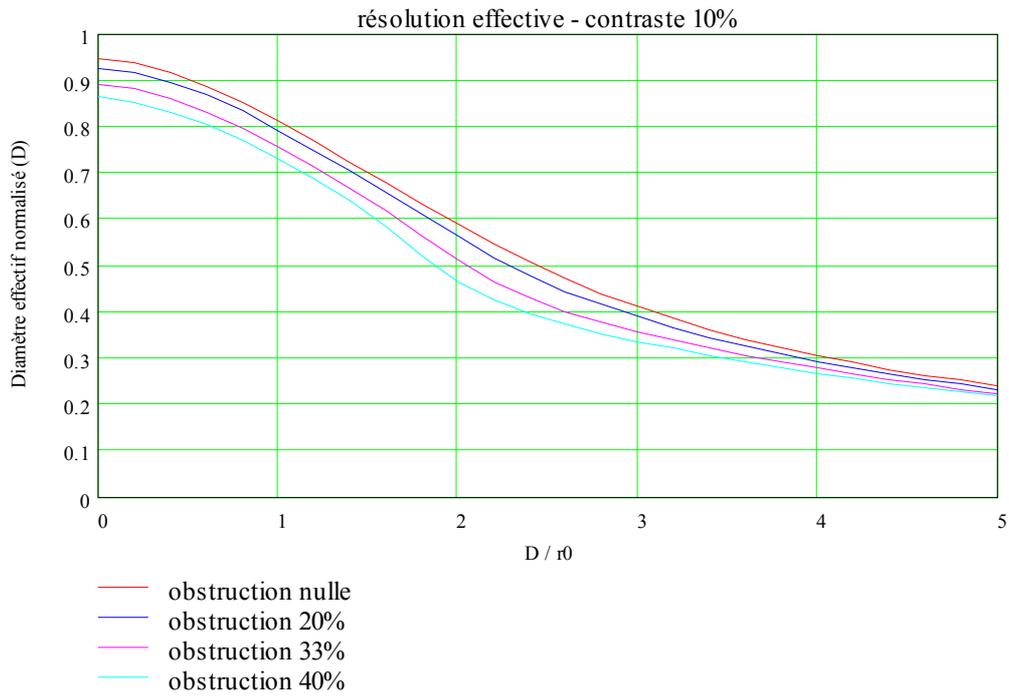


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,94	3,7	0,92	3,7	0,88	3,9	0,85	4,0
0,2	0,93	3,6	0,91	3,7	0,87	3,9	0,83	4,1
0,4	0,90	3,6	0,88	3,7	0,84	3,9	0,80	4,2
0,6	0,87	3,5	0,85	3,6	0,80	3,9	0,75	4,2
0,8	0,83	3,4	0,80	3,5	0,74	3,9	0,67	4,0
1	0,78	3,2	0,75	3,4	0,67	3,6	0,57	3,2
1,2	0,73	3,1	0,69	3,3	0,60	3,1	0,51	2,5
1,4	0,68	2,9	0,64	2,9	0,54	2,6	0,48	2,2
1,6	0,63	2,7	0,58	2,6	0,50	2,3	0,45	2,0
1,8	0,59	2,5	0,54	2,4	0,47	2,1	0,43	1,8
2	0,54	2,4	0,50	2,2	0,44	1,9	0,41	1,7
2,2	0,50	2,2	0,47	2,0	0,42	1,8	0,39	1,6
2,4	0,47	2,0	0,44	1,9	0,39	1,7	0,37	1,5
2,6	0,44	1,9	0,41	1,8	0,37	1,6	0,35	1,5
2,8	0,41	1,7	0,38	1,7	0,35	1,5	0,33	1,4
3	0,38	1,6	0,36	1,6	0,33	1,4	0,32	1,3
3,2	0,36	1,5	0,34	1,5	0,32	1,3	0,30	1,3
3,4	0,34	1,4	0,32	1,4	0,30	1,3	0,29	1,2
3,6	0,32	1,3	0,30	1,3	0,29	1,2	0,28	1,2
3,8	0,30	1,3	0,29	1,2	0,27	1,2	0,26	1,1
4	0,29	1,2	0,27	1,2	0,26	1,1	0,25	1,1
4,2	0,27	1,2	0,26	1,1	0,25	1,0	0,24	1,0
4,4	0,26	1,1	0,25	1,0	0,24	1,0	0,23	1,0
4,6	0,25	1,0	0,24	1,0	0,23	1,0	0,22	1,0
4,8	0,24	1,0	0,23	1,0	0,22	0,9	0,22	0,9
5	0,23	0,9	0,22	0,9	0,21	0,9	0,21	0,9

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe haute résolution sur cible de contraste 10%

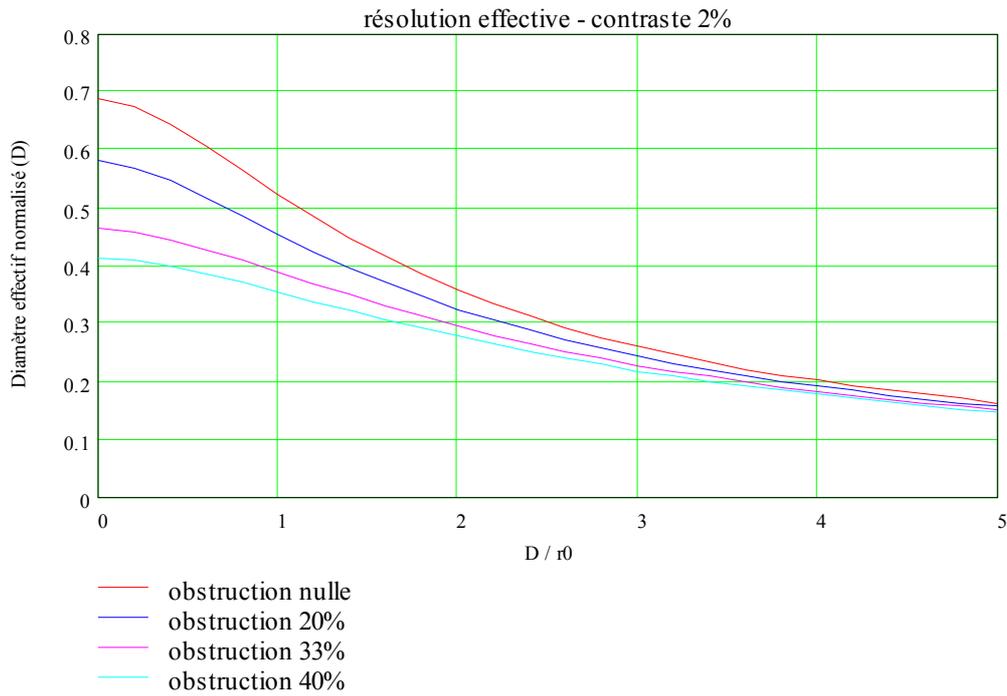


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,95	3,7	0,93	3,8	0,89	4,0	0,86	4,1
0,2	0,94	3,7	0,92	3,8	0,88	4,0	0,85	4,1
0,4	0,92	3,7	0,90	3,8	0,86	3,9	0,83	4,0
0,6	0,89	3,6	0,87	3,7	0,83	3,9	0,81	4,0
0,8	0,85	3,6	0,83	3,7	0,80	3,9	0,77	3,9
1	0,81	3,5	0,79	3,6	0,76	3,7	0,73	3,9
1,2	0,77	3,4	0,75	3,5	0,72	3,6	0,69	3,8
1,4	0,73	3,2	0,71	3,4	0,67	3,5	0,64	3,7
1,6	0,68	3,2	0,66	3,2	0,62	3,6	0,59	3,8
1,8	0,63	3,0	0,61	3,1	0,57	3,4	0,52	3,4
2	0,59	2,8	0,56	3,0	0,51	3,0	0,47	2,8
2,2	0,55	2,6	0,52	2,7	0,47	2,6	0,43	2,3
2,4	0,51	2,5	0,48	2,4	0,43	2,2	0,40	2,0
2,6	0,47	2,3	0,45	2,2	0,40	2,0	0,37	1,8
2,8	0,44	2,1	0,42	2,0	0,38	1,8	0,35	1,7
3	0,41	2,0	0,39	1,9	0,36	1,7	0,34	1,6
3,2	0,39	1,8	0,37	1,8	0,34	1,6	0,32	1,5
3,4	0,36	1,7	0,35	1,6	0,32	1,5	0,31	1,4
3,6	0,34	1,6	0,33	1,6	0,31	1,4	0,29	1,3
3,8	0,32	1,5	0,31	1,5	0,29	1,3	0,28	1,3
4	0,31	1,4	0,29	1,4	0,28	1,3	0,27	1,2
4,2	0,29	1,3	0,28	1,3	0,27	1,2	0,26	1,2
4,4	0,28	1,3	0,27	1,2	0,26	1,2	0,25	1,1
4,6	0,26	1,2	0,26	1,2	0,24	1,1	0,24	1,1
4,8	0,25	1,2	0,24	1,1	0,23	1,1	0,23	1,0
5	0,24	1,1	0,23	1,1	0,23	1,1	0,22	1,0

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe astronomique sur cible de contraste 2%

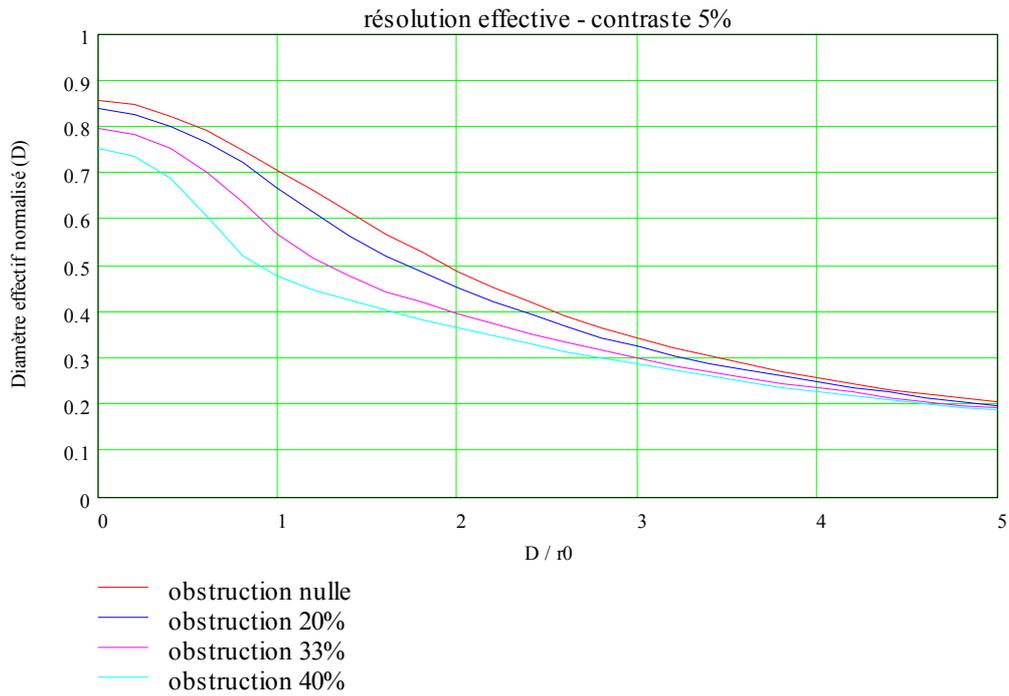


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,69	2,0	0,58	1,7	0,46	1,4	0,41	1,2
0,2	0,67	2,0	0,57	1,7	0,46	1,3	0,41	1,2
0,4	0,65	1,9	0,55	1,6	0,45	1,3	0,40	1,2
0,6	0,61	1,8	0,52	1,5	0,43	1,2	0,39	1,1
0,8	0,57	1,6	0,49	1,4	0,41	1,2	0,37	1,1
1	0,53	1,5	0,46	1,3	0,39	1,1	0,36	1,0
1,2	0,49	1,4	0,43	1,2	0,37	1,1	0,34	1,0
1,4	0,45	1,3	0,40	1,2	0,35	1,0	0,32	0,9
1,6	0,42	1,2	0,37	1,1	0,33	1,0	0,31	0,9
1,8	0,39	1,1	0,35	1,0	0,31	0,9	0,29	0,8
2	0,36	1,0	0,33	0,9	0,30	0,9	0,28	0,8
2,2	0,33	1,0	0,31	0,9	0,28	0,8	0,26	0,8
2,4	0,31	0,9	0,29	0,8	0,27	0,8	0,25	0,7
2,6	0,29	0,9	0,27	0,8	0,25	0,7	0,24	0,7
2,8	0,28	0,8	0,26	0,7	0,24	0,7	0,23	0,7
3	0,26	0,7	0,24	0,7	0,23	0,7	0,22	0,6
3,2	0,25	0,7	0,23	0,7	0,22	0,6	0,21	0,6
3,4	0,23	0,7	0,22	0,6	0,21	0,6	0,20	0,6
3,6	0,22	0,6	0,21	0,6	0,20	0,6	0,19	0,6
3,8	0,21	0,6	0,20	0,6	0,19	0,6	0,18	0,5
4	0,20	0,6	0,19	0,6	0,18	0,5	0,18	0,5
4,2	0,19	0,6	0,18	0,5	0,18	0,5	0,17	0,5
4,4	0,19	0,5	0,18	0,5	0,17	0,5	0,16	0,5
4,6	0,18	0,5	0,17	0,5	0,16	0,5	0,16	0,5
4,8	0,17	0,5	0,16	0,5	0,16	0,5	0,15	0,4
5	0,16	0,5	0,16	0,5	0,15	0,4	0,15	0,4

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe astronomique sur cible de contraste 5%

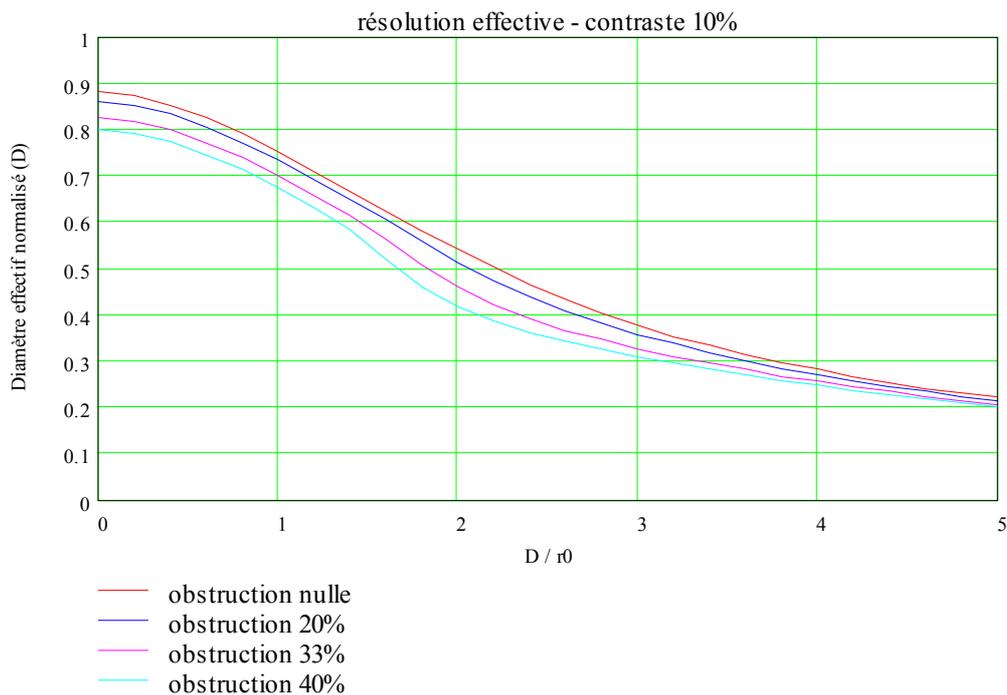


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,86	3,6	0,84	3,7	0,80	4,0	0,75	4,2
0,2	0,85	3,5	0,83	3,6	0,78	4,0	0,74	4,2
0,4	0,82	3,5	0,80	3,6	0,75	4,1	0,69	4,2
0,6	0,79	3,4	0,77	3,5	0,70	3,9	0,61	3,8
0,8	0,75	3,3	0,72	3,5	0,64	3,6	0,52	3,0
1	0,71	3,1	0,67	3,3	0,57	3,2	0,48	2,4
1,2	0,66	3,0	0,61	3,0	0,52	2,6	0,45	2,1
1,4	0,62	2,8	0,56	2,7	0,48	2,3	0,43	2,0
1,6	0,57	2,6	0,52	2,4	0,45	2,1	0,40	1,8
1,8	0,53	2,4	0,49	2,3	0,42	1,9	0,39	1,7
2	0,49	2,2	0,45	2,1	0,40	1,8	0,37	1,6
2,2	0,45	2,0	0,42	1,9	0,38	1,7	0,35	1,5
2,4	0,42	1,9	0,39	1,8	0,35	1,6	0,33	1,5
2,6	0,39	1,8	0,37	1,7	0,34	1,5	0,32	1,4
2,8	0,37	1,7	0,35	1,6	0,32	1,4	0,30	1,3
3	0,34	1,6	0,33	1,5	0,30	1,3	0,29	1,3
3,2	0,32	1,4	0,31	1,4	0,29	1,3	0,27	1,2
3,4	0,30	1,4	0,29	1,3	0,27	1,2	0,26	1,2
3,6	0,29	1,3	0,27	1,2	0,26	1,2	0,25	1,1
3,8	0,27	1,2	0,26	1,2	0,25	1,1	0,24	1,1
4	0,26	1,1	0,25	1,1	0,24	1,1	0,23	1,0
4,2	0,25	1,1	0,24	1,0	0,23	1,0	0,22	1,0
4,4	0,23	1,0	0,23	1,0	0,22	1,0	0,21	0,9
4,6	0,22	1,0	0,22	1,0	0,21	0,9	0,20	0,9
4,8	0,21	0,9	0,21	0,9	0,20	0,9	0,19	0,9
5	0,21	0,9	0,20	0,9	0,19	0,8	0,19	0,8

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instrument de classe astronomique sur cible de contraste 10%

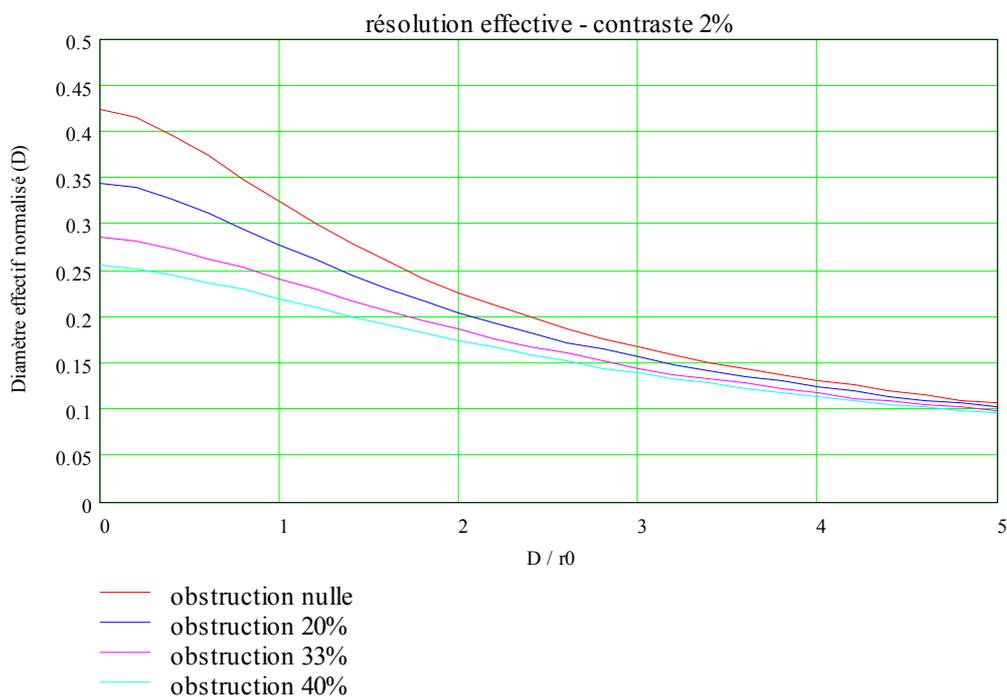


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,88	3,7	0,86	3,8	0,83	4,0	0,80	4,1
0,2	0,87	3,7	0,85	3,8	0,82	4,0	0,79	4,1
0,4	0,85	3,6	0,83	3,8	0,80	3,9	0,77	4,0
0,6	0,83	3,7	0,81	3,7	0,77	3,9	0,75	4,0
0,8	0,79	3,6	0,77	3,7	0,74	3,8	0,71	3,9
1	0,75	3,5	0,74	3,6	0,70	3,7	0,68	3,8
1,2	0,71	3,3	0,69	3,5	0,66	3,7	0,63	3,8
1,4	0,67	3,3	0,65	3,3	0,62	3,6	0,59	3,9
1,6	0,63	3,1	0,61	3,2	0,56	3,6	0,52	3,6
1,8	0,58	2,9	0,56	3,1	0,51	3,2	0,46	3,0
2	0,54	2,8	0,51	2,9	0,46	2,7	0,42	2,5
2,2	0,50	2,6	0,47	2,6	0,42	2,4	0,39	2,1
2,4	0,47	2,4	0,44	2,3	0,39	2,1	0,36	1,9
2,6	0,43	2,2	0,41	2,1	0,37	1,9	0,34	1,7
2,8	0,41	2,1	0,38	2,0	0,35	1,7	0,33	1,6
3	0,38	1,9	0,36	1,8	0,33	1,6	0,31	1,5
3,2	0,36	1,8	0,34	1,7	0,31	1,5	0,30	1,4
3,4	0,33	1,7	0,32	1,6	0,30	1,5	0,28	1,4
3,6	0,32	1,6	0,30	1,5	0,28	1,4	0,27	1,3
3,8	0,30	1,5	0,29	1,5	0,27	1,3	0,26	1,3
4	0,28	1,4	0,27	1,3	0,26	1,3	0,25	1,2
4,2	0,27	1,3	0,26	1,3	0,25	1,2	0,24	1,1
4,4	0,26	1,2	0,25	1,2	0,24	1,1	0,23	1,1
4,6	0,24	1,2	0,24	1,1	0,23	1,1	0,22	1,1
4,8	0,23	1,1	0,23	1,1	0,22	1,1	0,21	1,0
5	0,22	1,1	0,22	1,0	0,21	1,0	0,20	1,0

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe standard sur cible de contraste 2%

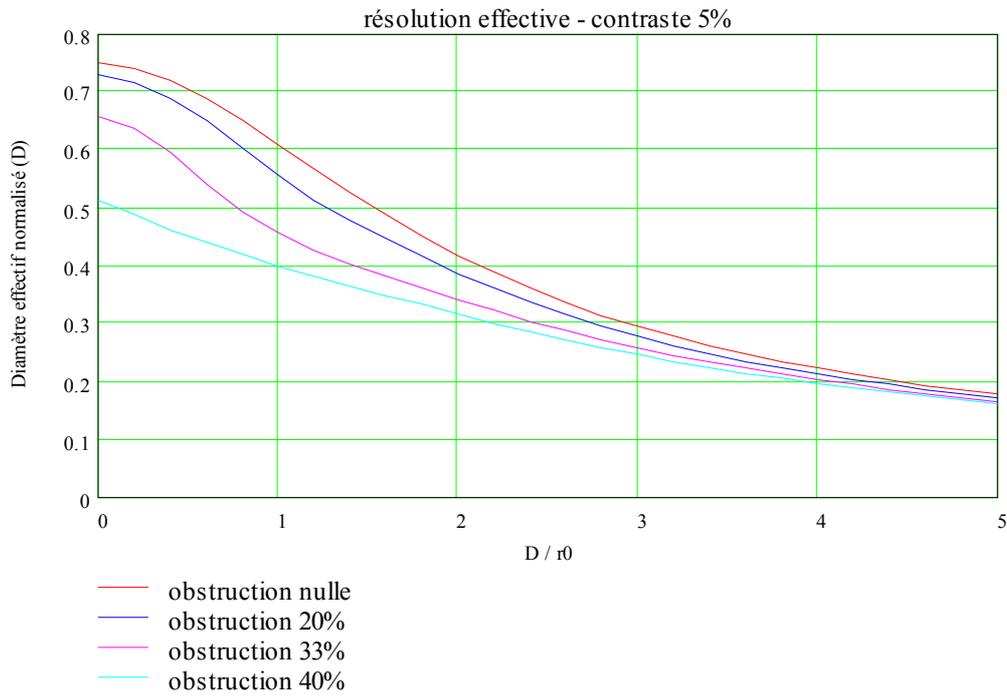


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,43	1,3	0,35	1,1	0,29	0,9	0,26	0,8
0,2	0,42	1,3	0,34	1,1	0,28	0,9	0,25	0,8
0,4	0,40	1,2	0,33	1,0	0,27	0,9	0,25	0,8
0,6	0,37	1,2	0,31	1,0	0,26	0,8	0,24	0,7
0,8	0,35	1,1	0,30	0,9	0,25	0,8	0,23	0,7
1	0,33	1,0	0,28	0,9	0,24	0,8	0,22	0,7
1,2	0,30	0,9	0,26	0,8	0,23	0,7	0,21	0,7
1,4	0,28	0,9	0,25	0,8	0,22	0,7	0,20	0,6
1,6	0,26	0,8	0,23	0,7	0,21	0,6	0,19	0,6
1,8	0,24	0,8	0,22	0,7	0,20	0,6	0,18	0,6
2	0,23	0,7	0,20	0,6	0,19	0,6	0,17	0,5
2,2	0,21	0,7	0,19	0,6	0,18	0,6	0,17	0,5
2,4	0,20	0,6	0,18	0,6	0,17	0,5	0,16	0,5
2,6	0,19	0,6	0,17	0,5	0,16	0,5	0,15	0,5
2,8	0,18	0,5	0,17	0,5	0,15	0,5	0,14	0,5
3	0,17	0,5	0,16	0,5	0,15	0,5	0,14	0,4
3,2	0,16	0,5	0,15	0,5	0,14	0,4	0,13	0,4
3,4	0,15	0,5	0,14	0,4	0,13	0,4	0,13	0,4
3,6	0,14	0,4	0,14	0,4	0,13	0,4	0,12	0,4
3,8	0,14	0,4	0,13	0,4	0,12	0,4	0,12	0,4
4	0,13	0,4	0,13	0,4	0,12	0,4	0,11	0,4
4,2	0,13	0,4	0,12	0,4	0,11	0,4	0,11	0,3
4,4	0,12	0,4	0,11	0,4	0,11	0,3	0,11	0,3
4,6	0,12	0,4	0,11	0,3	0,11	0,3	0,10	0,3
4,8	0,11	0,3	0,11	0,3	0,10	0,3	0,10	0,3
5	0,11	0,3	0,10	0,3	0,10	0,3	0,10	0,3

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe standard sur cible de contraste 5%

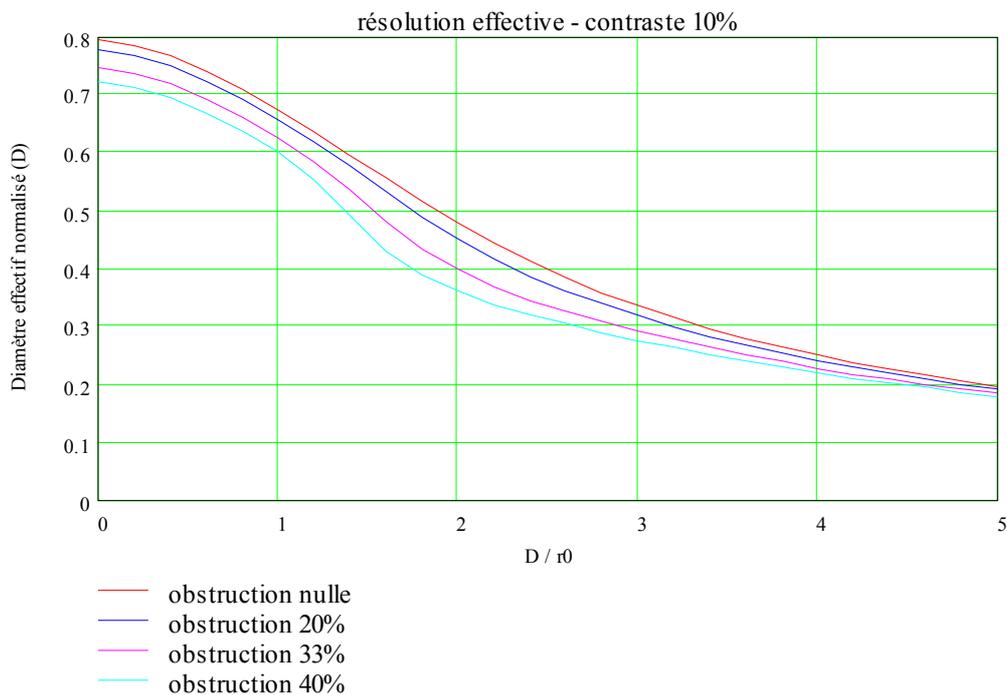


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,75	3,4	0,73	3,6	0,66	3,9	0,51	3,3
0,2	0,74	3,4	0,72	3,6	0,64	3,8	0,49	3,0
0,4	0,72	3,4	0,69	3,6	0,60	3,6	0,46	2,6
0,6	0,69	3,2	0,65	3,4	0,54	3,2	0,44	2,3
0,8	0,65	3,1	0,60	3,2	0,49	2,7	0,42	2,1
1	0,61	2,9	0,56	2,9	0,46	2,4	0,40	2,0
1,2	0,57	2,8	0,52	2,6	0,43	2,1	0,38	1,8
1,4	0,53	2,6	0,48	2,4	0,40	2,0	0,37	1,7
1,6	0,49	2,4	0,45	2,2	0,38	1,9	0,35	1,7
1,8	0,45	2,2	0,42	2,0	0,36	1,8	0,33	1,6
2	0,42	2,1	0,39	1,9	0,34	1,7	0,32	1,5
2,2	0,39	1,9	0,36	1,8	0,32	1,6	0,30	1,5
2,4	0,36	1,8	0,34	1,7	0,31	1,5	0,29	1,4
2,6	0,34	1,7	0,32	1,6	0,29	1,4	0,27	1,3
2,8	0,31	1,6	0,30	1,4	0,27	1,3	0,26	1,2
3	0,30	1,4	0,28	1,3	0,26	1,3	0,25	1,2
3,2	0,28	1,3	0,26	1,3	0,25	1,2	0,24	1,1
3,4	0,26	1,3	0,25	1,2	0,23	1,2	0,23	1,1
3,6	0,25	1,2	0,24	1,2	0,22	1,1	0,22	1,0
3,8	0,23	1,1	0,22	1,1	0,21	1,0	0,21	1,0
4	0,22	1,1	0,21	1,0	0,20	1,0	0,20	0,9
4,2	0,21	1,1	0,20	1,0	0,20	0,9	0,19	0,9
4,4	0,20	1,0	0,20	0,9	0,19	0,9	0,18	0,9
4,6	0,19	0,9	0,19	0,9	0,18	0,9	0,17	0,8
4,8	0,19	0,9	0,18	0,9	0,17	0,8	0,17	0,8
5	0,18	0,8	0,17	0,8	0,17	0,8	0,16	0,8

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe standard sur cible de contraste 10%



Diamètre effectif apparent

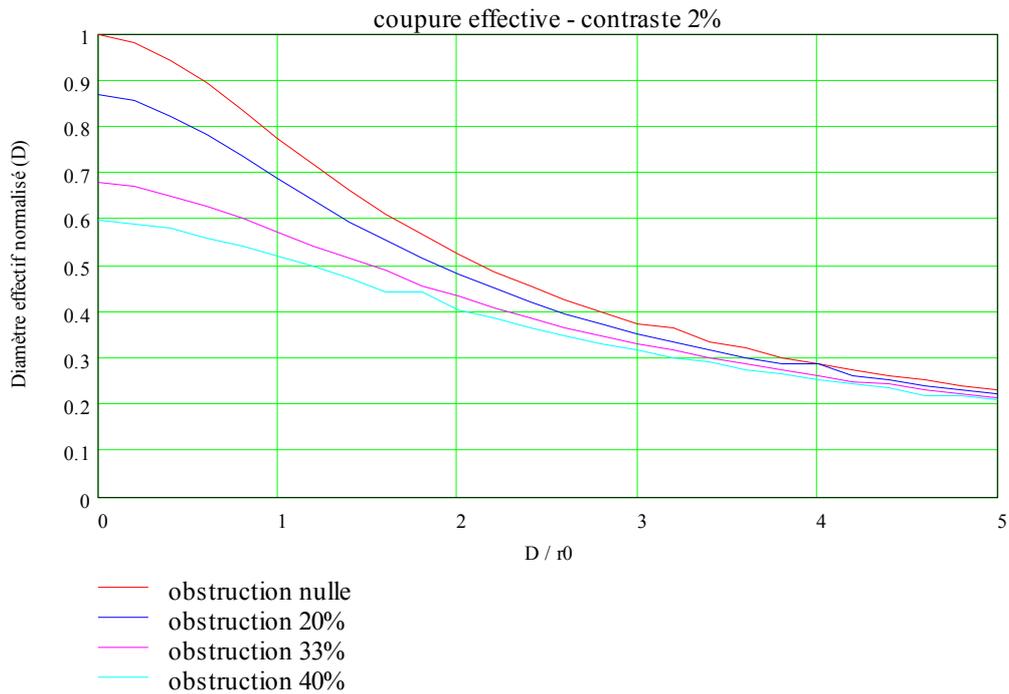
Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,80	3,6	0,78	3,8	0,75	4,0	0,72	4,0
0,2	0,79	3,7	0,77	3,8	0,74	4,0	0,71	4,0
0,4	0,77	3,7	0,75	3,8	0,72	3,9	0,70	4,0
0,6	0,74	3,6	0,73	3,7	0,69	3,9	0,67	4,0
0,8	0,71	3,6	0,69	3,6	0,66	3,8	0,64	3,9
1	0,68	3,4	0,66	3,6	0,63	3,7	0,60	3,9
1,2	0,64	3,3	0,62	3,4	0,59	3,8	0,56	3,9
1,4	0,60	3,2	0,58	3,3	0,54	3,6	0,49	3,7
1,6	0,56	3,0	0,54	3,2	0,48	3,3	0,43	3,1
1,8	0,52	2,8	0,49	2,9	0,44	2,8	0,39	2,5
2	0,48	2,7	0,45	2,6	0,40	2,4	0,36	2,1
2,2	0,45	2,5	0,42	2,4	0,37	2,1	0,34	1,9
2,4	0,41	2,3	0,39	2,1	0,35	1,9	0,32	1,7
2,6	0,39	2,1	0,36	2,0	0,33	1,8	0,31	1,6
2,8	0,36	2,0	0,34	1,9	0,31	1,7	0,29	1,5
3	0,34	1,8	0,32	1,8	0,29	1,6	0,28	1,5
3,2	0,32	1,7	0,30	1,6	0,28	1,5	0,26	1,4
3,4	0,30	1,6	0,28	1,5	0,26	1,4	0,25	1,3
3,6	0,28	1,5	0,27	1,5	0,25	1,3	0,24	1,3
3,8	0,26	1,4	0,25	1,4	0,24	1,3	0,23	1,2
4	0,25	1,3	0,24	1,3	0,23	1,2	0,22	1,2
4,2	0,24	1,3	0,23	1,2	0,22	1,2	0,21	1,1
4,4	0,23	1,2	0,22	1,1	0,21	1,1	0,20	1,1
4,6	0,22	1,1	0,21	1,1	0,20	1,0	0,20	1,0
4,8	0,21	1,1	0,20	1,1	0,19	1,0	0,19	0,9
5	0,20	1,0	0,19	1,0	0,19	1,0	0,18	1,0

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Annexe D

**Turbulence en poses courtes – paramètre alpha égal à 0,9
Diamètre effectif et grossissement optimal normalisés
calculés par application du critère de fréquence de coupure effective**

Instruments limités par la diffraction sur cible de contraste 2%

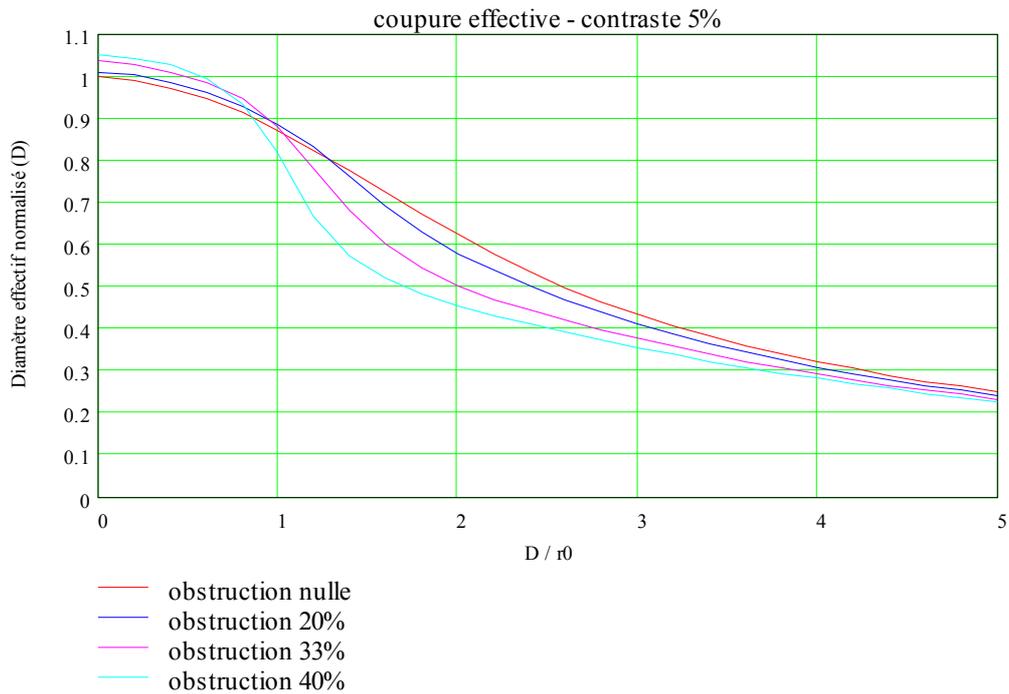


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	1,00	2,5	0,87	2,1	0,68	1,6	0,60	1,5
0,2	0,98	2,5	0,86	2,1	0,67	1,6	0,59	1,5
0,4	0,94	2,3	0,82	2,1	0,65	1,6	0,58	1,4
0,6	0,90	2,1	0,79	2,0	0,63	1,6	0,56	1,4
0,8	0,84	2,1	0,74	1,8	0,60	1,5	0,54	1,3
1	0,78	2,0	0,69	1,7	0,57	1,4	0,52	1,3
1,2	0,72	1,8	0,64	1,7	0,54	1,3	0,50	1,2
1,4	0,66	1,6	0,60	1,4	0,52	1,3	0,47	1,2
1,6	0,61	1,5	0,56	1,3	0,49	1,0	0,44	0,9
1,8	0,57	1,4	0,52	1,3	0,46	1,1	0,42	1,0
2	0,53	1,3	0,48	1,2	0,43	1,1	0,41	1,0
2,2	0,49	1,2	0,45	1,1	0,41	1,0	0,39	1,0
2,4	0,46	1,2	0,42	1,0	0,39	0,9	0,37	0,9
2,6	0,43	1,1	0,40	1,0	0,37	0,8	0,35	0,8
2,8	0,40	1,0	0,37	0,9	0,35	0,9	0,33	0,7
3	0,38	0,9	0,35	0,9	0,33	0,8	0,32	0,8
3,2	0,37	0,9	0,34	0,8	0,32	0,8	0,30	0,7
3,4	0,34	0,8	0,32	0,8	0,30	0,7	0,29	0,7
3,6	0,32	0,8	0,30	0,7	0,29	0,7	0,28	0,7
3,8	0,30	0,8	0,29	0,7	0,28	0,7	0,27	0,6
4	0,29	0,7	0,28	0,6	0,26	0,7	0,26	0,6
4,2	0,28	0,7	0,26	0,6	0,25	0,7	0,25	0,6
4,4	0,26	0,6	0,25	0,7	0,24	0,7	0,24	0,6
4,6	0,25	0,7	0,24	0,6	0,23	0,6	0,22	0,7
4,8	0,24	0,6	0,23	0,6	0,22	0,6	0,22	0,5
5	0,23	0,6	0,22	0,6	0,21	0,5	0,21	0,5

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments limités par la diffraction sur cible de contraste 5%

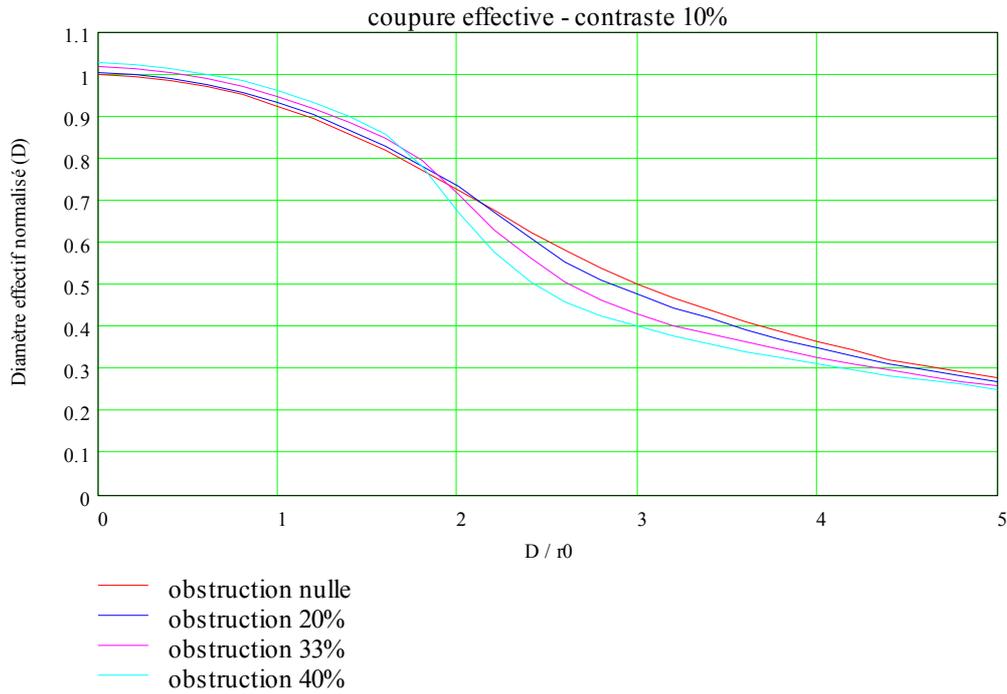


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	1,00	4,5	1,01	4,9	1,04	4,5	1,05	4,4
0,2	0,99	4,5	1,00	4,4	1,03	4,5	1,04	4,2
0,4	0,97	4,2	0,99	4,3	1,01	4,5	1,03	4,2
0,6	0,95	4,3	0,96	4,3	0,99	4,5	1,00	4,4
0,8	0,91	4,1	0,93	4,4	0,95	4,4	0,94	4,6
1	0,87	3,8	0,89	4,2	0,88	4,4	0,82	4,3
1,2	0,83	3,8	0,83	4,0	0,78	4,1	0,67	3,5
1,4	0,78	3,8	0,76	3,7	0,68	3,4	0,57	2,9
1,6	0,72	3,8	0,69	3,3	0,60	3,0	0,52	2,5
1,8	0,67	3,1	0,63	3,2	0,54	2,9	0,48	2,3
2	0,62	3,1	0,58	2,7	0,50	2,4	0,46	2,2
2,2	0,58	2,8	0,54	2,6	0,47	2,2	0,43	2,1
2,4	0,54	2,7	0,50	2,4	0,44	2,1	0,41	2,0
2,6	0,50	2,5	0,47	2,4	0,42	2,0	0,39	1,9
2,8	0,46	2,2	0,44	2,1	0,40	1,7	0,37	1,6
3	0,43	2,0	0,41	2,0	0,38	1,7	0,36	1,8
3,2	0,41	1,9	0,39	1,8	0,36	1,7	0,34	1,6
3,4	0,38	1,9	0,37	1,6	0,34	1,6	0,32	1,5
3,6	0,36	1,8	0,35	1,6	0,32	1,5	0,31	1,5
3,8	0,34	1,5	0,33	1,5	0,31	1,4	0,30	1,5
4	0,32	1,5	0,31	1,5	0,29	1,5	0,28	1,4
4,2	0,31	1,5	0,29	1,6	0,28	1,4	0,27	1,5
4,4	0,29	1,5	0,28	1,4	0,27	1,4	0,26	1,4
4,6	0,28	1,3	0,27	1,4	0,26	1,4	0,25	1,2
4,8	0,26	1,3	0,26	1,3	0,24	1,2	0,24	1,3
5	0,25	1,2	0,24	1,3	0,23	1,2	0,23	1,2

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments limités par la diffraction sur cible de contraste 10%

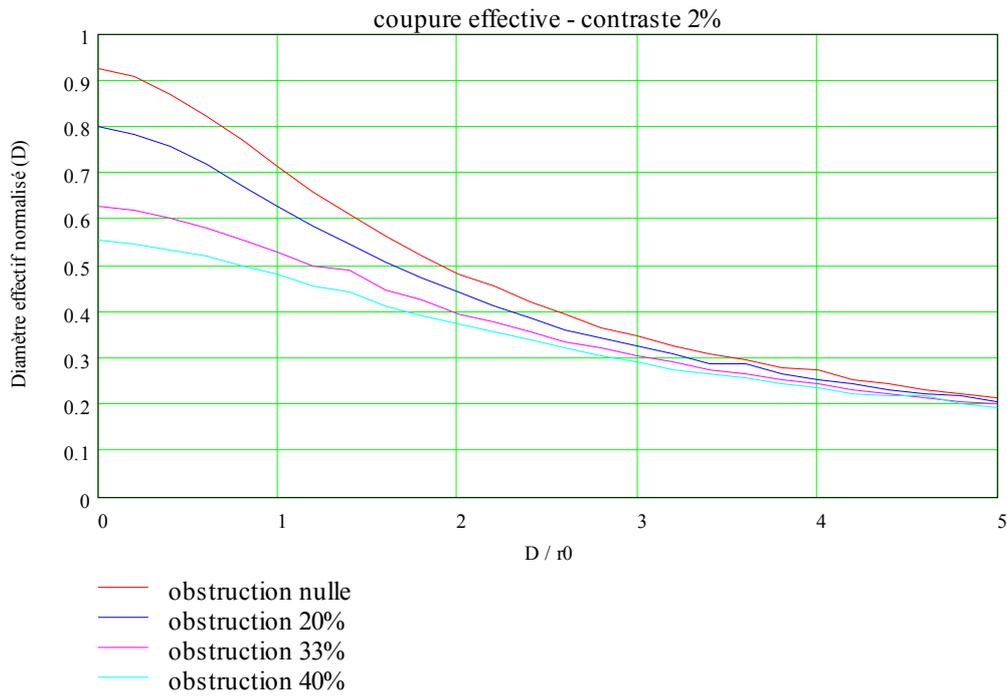


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	1,00	5,4	1,01	5,4	1,02	5,5	1,03	5,6
0,2	1,00	5,4	1,00	5,3	1,01	5,8	1,02	5,3
0,4	0,99	5,4	0,99	5,5	1,01	5,8	1,01	5,3
0,6	0,97	5,2	0,98	5,2	0,99	5,5	1,00	5,3
0,8	0,95	5,0	0,96	5,3	0,97	5,5	0,98	5,5
1	0,93	5,3	0,93	5,3	0,95	5,7	0,96	5,5
1,2	0,90	5,1	0,90	5,3	0,92	5,1	0,93	5,3
1,4	0,86	4,9	0,87	5,0	0,89	5,1	0,90	4,9
1,6	0,82	4,8	0,83	4,7	0,85	5,1	0,86	4,9
1,8	0,77	4,6	0,78	4,5	0,80	5,0	0,78	4,9
2	0,72	4,2	0,73	4,1	0,72	4,3	0,67	4,2
2,2	0,68	3,9	0,67	4,1	0,63	3,8	0,58	3,6
2,4	0,63	3,8	0,61	3,8	0,56	3,5	0,51	3,1
2,6	0,58	3,6	0,56	3,2	0,51	3,1	0,46	3,1
2,8	0,54	3,4	0,51	3,2	0,46	3,1	0,43	2,6
3	0,50	3,1	0,48	3,1	0,43	2,7	0,40	2,5
3,2	0,47	3,1	0,45	3,1	0,40	2,3	0,38	2,3
3,4	0,44	2,7	0,42	2,6	0,38	2,4	0,36	2,2
3,6	0,41	2,6	0,39	2,4	0,36	2,2	0,34	1,8
3,8	0,39	2,5	0,37	2,3	0,34	2,1	0,33	1,9
4	0,36	2,1	0,35	1,9	0,33	1,8	0,31	1,9
4,2	0,34	2,1	0,33	2,0	0,31	1,9	0,30	1,7
4,4	0,32	1,8	0,31	1,9	0,30	1,9	0,29	1,6
4,6	0,31	2,0	0,30	1,9	0,28	1,8	0,28	1,6
4,8	0,29	1,8	0,29	1,7	0,27	1,7	0,26	1,5
5	0,28	1,7	0,27	1,5	0,26	1,5	0,25	1,6

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe professionnelle sur cible de contraste 2%

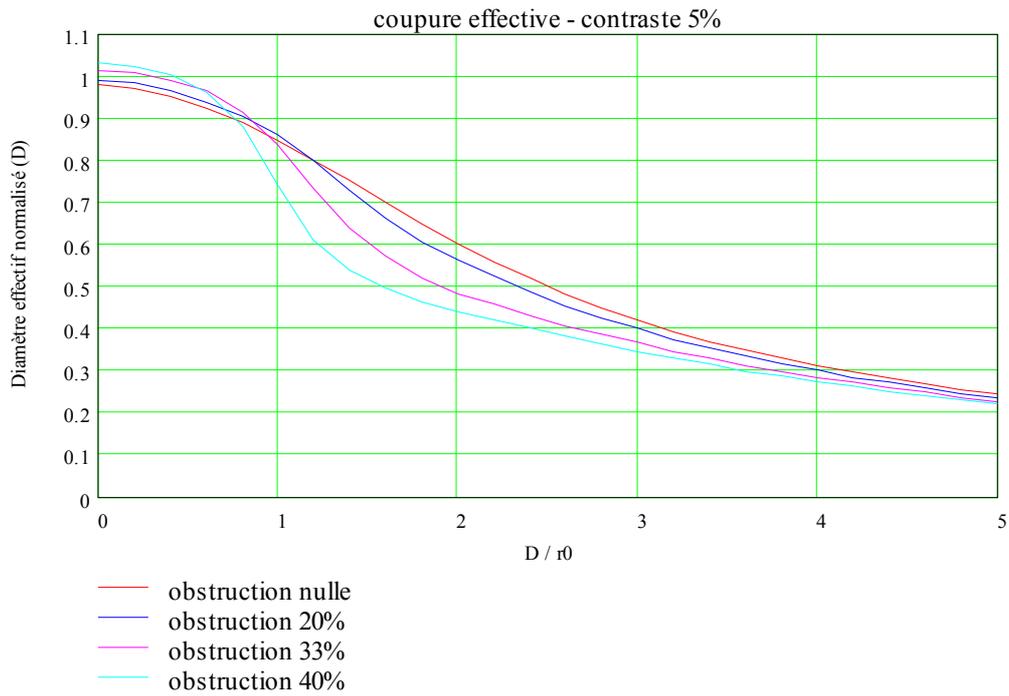


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,93	2,3	0,80	2,1	0,63	1,6	0,55	1,5
0,2	0,91	2,1	0,79	2,0	0,62	1,5	0,55	1,4
0,4	0,87	2,2	0,76	1,9	0,60	1,5	0,54	1,3
0,6	0,82	2,0	0,72	1,7	0,58	1,5	0,52	1,3
0,8	0,77	1,9	0,67	1,7	0,56	1,4	0,50	1,1
1	0,72	1,9	0,63	1,7	0,53	1,3	0,48	1,2
1,2	0,66	1,7	0,59	1,4	0,50	1,3	0,46	1,2
1,4	0,61	1,5	0,55	1,4	0,49	1,0	0,44	0,9
1,6	0,56	1,4	0,51	1,2	0,45	1,1	0,42	1,0
1,8	0,52	1,3	0,47	1,2	0,43	1,1	0,39	1,0
2	0,48	1,2	0,44	1,1	0,40	0,9	0,37	0,9
2,2	0,46	1,1	0,41	1,1	0,38	0,9	0,36	0,9
2,4	0,42	1,0	0,39	1,0	0,36	0,9	0,34	0,9
2,6	0,39	1,0	0,36	0,8	0,34	0,8	0,32	0,8
2,8	0,37	0,8	0,35	0,8	0,32	0,8	0,31	0,8
3	0,35	0,9	0,33	0,8	0,31	0,7	0,29	0,7
3,2	0,33	0,8	0,31	0,8	0,29	0,7	0,28	0,7
3,4	0,31	0,8	0,29	0,7	0,28	0,7	0,27	0,6
3,6	0,30	0,7	0,28	0,7	0,27	0,7	0,26	0,6
3,8	0,28	0,7	0,27	0,6	0,25	0,6	0,24	0,6
4	0,28	0,6	0,25	0,7	0,24	0,5	0,24	0,6
4,2	0,25	0,6	0,25	0,6	0,23	0,6	0,23	0,5
4,4	0,24	0,6	0,23	0,6	0,22	0,6	0,22	0,5
4,6	0,23	0,6	0,22	0,6	0,21	0,5	0,21	0,5
4,8	0,23	0,6	0,22	0,5	0,21	0,5	0,20	0,5
5	0,22	0,5	0,21	0,5	0,20	0,5	0,20	0,5

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe professionnelle sur cible de contraste 5%

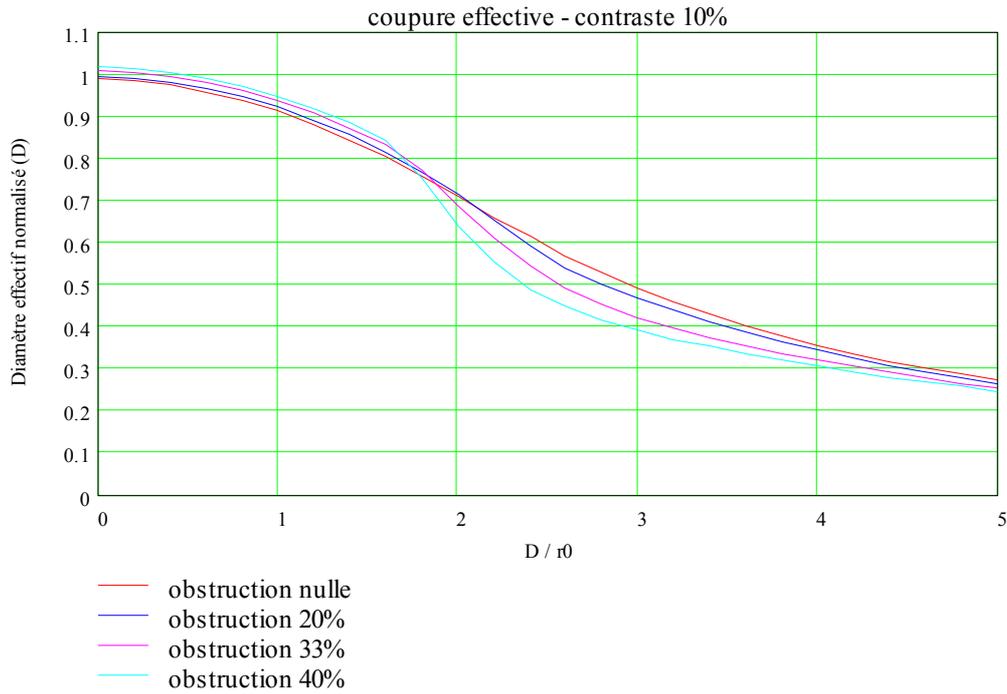


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,98	4,2	0,99	4,6	1,02	4,2	1,03	4,5
0,2	0,97	4,4	0,98	4,6	1,01	4,2	1,02	4,4
0,4	0,95	4,5	0,97	4,1	0,99	4,2	1,00	4,4
0,6	0,93	4,3	0,94	4,1	0,97	4,2	0,96	4,8
0,8	0,89	4,2	0,91	4,4	0,92	4,5	0,88	4,5
1	0,85	4,1	0,86	3,9	0,84	4,1	0,75	3,9
1,2	0,80	4,0	0,80	4,0	0,73	3,8	0,61	3,1
1,4	0,75	3,5	0,73	3,7	0,64	3,2	0,54	2,8
1,6	0,70	3,5	0,66	3,3	0,58	2,8	0,50	2,5
1,8	0,65	3,3	0,61	2,9	0,52	2,5	0,47	2,2
2	0,60	2,9	0,56	2,6	0,49	2,3	0,44	2,0
2,2	0,56	2,7	0,52	2,6	0,46	2,0	0,42	2,0
2,4	0,52	2,5	0,49	2,4	0,43	2,0	0,40	1,9
2,6	0,48	2,4	0,46	2,3	0,41	1,9	0,38	1,8
2,8	0,45	2,1	0,43	2,2	0,39	1,8	0,36	1,8
3	0,42	1,9	0,40	1,9	0,37	1,6	0,35	1,5
3,2	0,39	1,8	0,38	1,7	0,35	1,7	0,33	1,6
3,4	0,37	1,8	0,36	1,6	0,33	1,6	0,32	1,5
3,6	0,35	1,7	0,34	1,5	0,31	1,5	0,30	1,4
3,8	0,33	1,6	0,32	1,5	0,30	1,5	0,29	1,4
4	0,31	1,5	0,30	1,5	0,29	1,4	0,28	1,4
4,2	0,30	1,6	0,29	1,4	0,27	1,3	0,26	1,2
4,4	0,28	1,4	0,27	1,5	0,26	1,4	0,25	1,2
4,6	0,27	1,4	0,26	1,4	0,25	1,3	0,24	1,2
4,8	0,26	1,4	0,25	1,3	0,24	1,2	0,23	1,3
5	0,25	1,4	0,24	1,2	0,23	1,2	0,22	1,2

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe professionnelle sur cible de contraste 10%

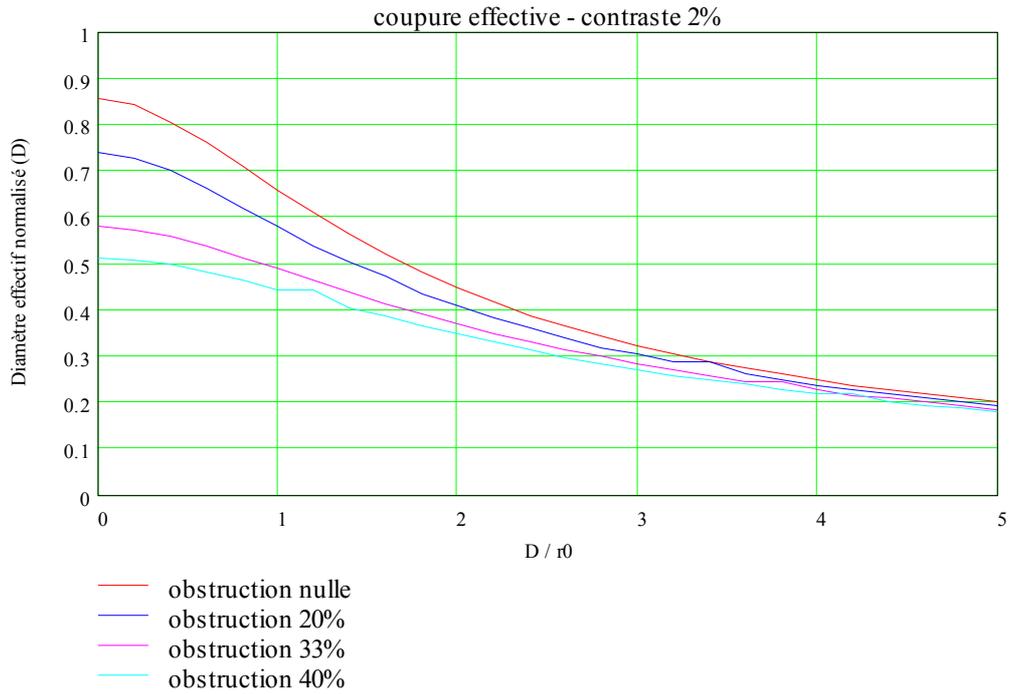


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,99	4,9	1,00	5,6	1,01	4,8	1,02	5,4
0,2	0,99	5,4	0,99	5,3	1,01	5,5	1,01	5,3
0,4	0,97	5,5	0,98	5,5	0,99	5,1	1,00	5,3
0,6	0,96	5,2	0,97	5,5	0,98	5,2	0,99	5,3
0,8	0,94	5,3	0,95	5,1	0,96	5,2	0,97	5,2
1	0,91	5,2	0,92	5,1	0,94	5,2	0,95	5,1
1,2	0,88	5,2	0,89	5,3	0,91	5,1	0,92	5,2
1,4	0,85	4,8	0,86	5,0	0,87	5,2	0,89	5,5
1,6	0,80	4,8	0,81	4,9	0,83	4,7	0,84	5,1
1,8	0,76	4,1	0,77	4,5	0,77	4,5	0,75	4,6
2	0,71	4,2	0,72	4,2	0,69	4,2	0,64	3,9
2,2	0,66	3,7	0,65	3,9	0,61	3,7	0,55	3,4
2,4	0,62	3,6	0,59	3,7	0,54	3,2	0,49	3,1
2,6	0,57	3,6	0,54	3,1	0,49	3,1	0,45	2,7
2,8	0,53	3,3	0,50	3,1	0,45	2,9	0,42	2,7
3	0,49	3,1	0,47	3,1	0,42	2,7	0,39	2,4
3,2	0,46	2,8	0,44	2,7	0,40	2,4	0,37	2,3
3,4	0,43	2,6	0,41	2,5	0,38	2,3	0,35	2,2
3,6	0,40	2,5	0,39	2,3	0,36	2,2	0,34	2,0
3,8	0,38	2,4	0,36	2,2	0,34	2,2	0,32	1,8
4	0,36	2,2	0,34	2,0	0,32	1,9	0,31	1,9
4,2	0,34	2,1	0,33	2,0	0,31	1,9	0,29	1,8
4,4	0,32	1,9	0,31	1,9	0,29	1,7	0,28	1,7
4,6	0,30	1,8	0,29	1,8	0,28	1,7	0,27	1,6
4,8	0,29	1,8	0,28	1,7	0,27	1,6	0,26	1,6
5	0,28	1,7	0,27	1,6	0,26	1,6	0,25	1,5

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe haute résolution sur cible de contraste 2%

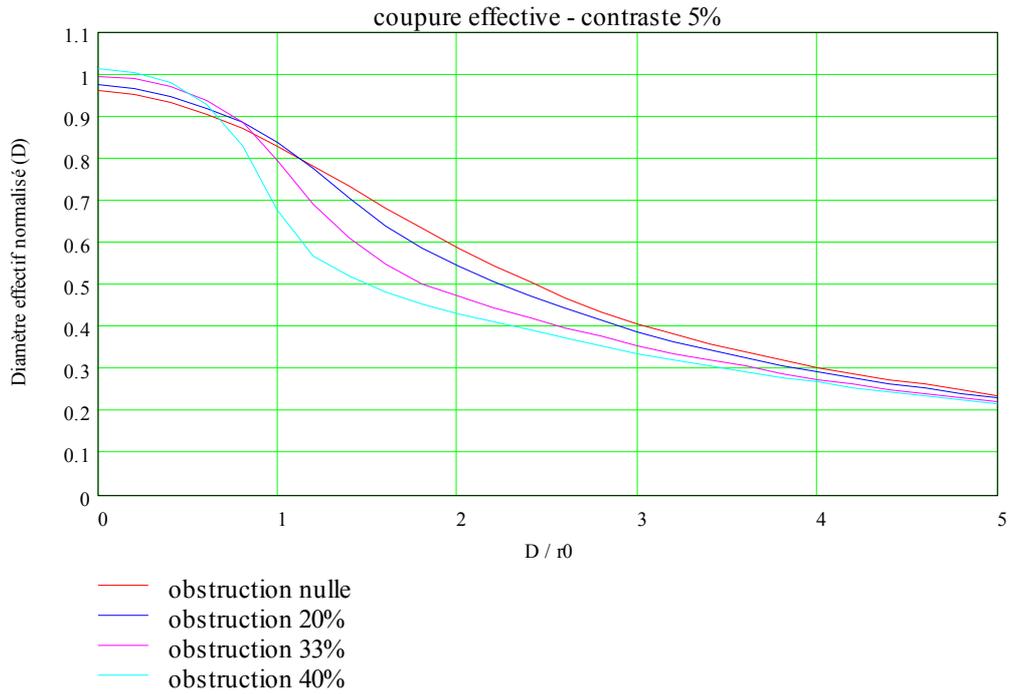


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,86	2,2	0,74	1,9	0,58	1,5	0,51	1,3
0,2	0,84	2,2	0,73	1,8	0,57	1,5	0,51	1,3
0,4	0,81	2,0	0,70	1,8	0,56	1,4	0,50	1,2
0,6	0,76	1,9	0,67	1,8	0,54	1,4	0,48	1,2
0,8	0,71	1,8	0,62	1,6	0,51	1,2	0,46	1,1
1	0,66	1,6	0,58	1,5	0,49	1,5	0,44	0,9
1,2	0,61	1,5	0,54	1,5	0,46	1,2	0,42	0,9
1,4	0,57	1,4	0,50	1,3	0,44	1,1	0,41	1,0
1,6	0,52	1,3	0,47	1,2	0,41	1,0	0,39	1,0
1,8	0,48	1,1	0,44	1,1	0,39	1,0	0,37	0,9
2	0,45	1,1	0,41	1,0	0,37	1,0	0,35	0,9
2,2	0,42	1,1	0,38	1,0	0,35	0,8	0,33	0,8
2,4	0,39	0,9	0,36	0,8	0,33	0,8	0,32	0,8
2,6	0,37	0,8	0,34	0,9	0,32	0,8	0,30	0,7
2,8	0,34	0,9	0,32	0,8	0,30	0,7	0,29	0,7
3	0,32	0,8	0,30	0,8	0,29	0,7	0,27	0,7
3,2	0,31	0,8	0,29	0,7	0,27	0,7	0,26	0,7
3,4	0,29	0,7	0,28	0,7	0,26	0,7	0,25	0,6
3,6	0,28	0,7	0,26	0,7	0,24	0,7	0,24	0,6
3,8	0,26	0,7	0,25	0,6	0,24	0,5	0,23	0,6
4	0,25	0,6	0,24	0,6	0,23	0,6	0,22	0,7
4,2	0,24	0,6	0,23	0,6	0,22	0,6	0,21	0,6
4,4	0,23	0,5	0,22	0,5	0,21	0,5	0,20	0,5
4,6	0,22	0,5	0,21	0,5	0,20	0,5	0,20	0,5
4,8	0,21	0,5	0,20	0,5	0,19	0,5	0,19	0,5
5	0,20	0,5	0,20	0,5	0,18	0,4	0,18	0,5

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe haute résolution sur cible de contraste 5%

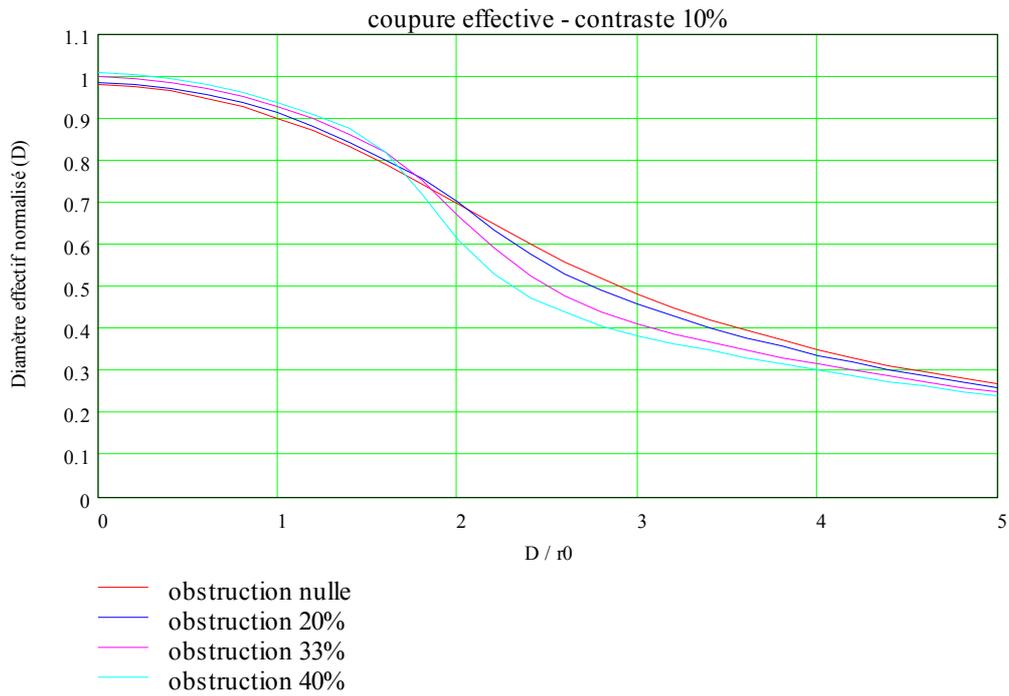


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,96	4,4	0,98	4,3	1,00	4,3	1,02	4,5
0,2	0,95	4,2	0,97	4,3	0,99	4,6	1,01	4,7
0,4	0,94	4,2	0,95	4,3	0,97	4,3	0,98	4,7
0,6	0,91	4,2	0,92	4,3	0,94	4,3	0,93	4,3
0,8	0,87	4,1	0,89	4,3	0,88	4,3	0,83	4,3
1	0,83	3,9	0,84	4,3	0,80	3,9	0,68	3,6
1,2	0,78	3,8	0,78	3,7	0,69	3,6	0,57	2,9
1,4	0,73	3,3	0,70	3,5	0,61	3,0	0,52	2,5
1,6	0,68	3,3	0,64	2,9	0,55	2,9	0,48	2,5
1,8	0,63	2,9	0,59	2,9	0,50	2,5	0,45	2,0
2	0,59	2,8	0,55	2,7	0,47	2,2	0,43	1,9
2,2	0,54	2,6	0,51	2,5	0,45	2,0	0,41	2,0
2,4	0,51	2,3	0,48	2,2	0,42	2,1	0,39	1,8
2,6	0,47	2,3	0,44	2,1	0,40	1,6	0,37	1,8
2,8	0,44	2,2	0,42	2,0	0,38	1,8	0,36	1,6
3	0,41	2,0	0,39	2,0	0,36	1,6	0,34	1,5
3,2	0,38	1,8	0,37	1,9	0,34	1,5	0,32	1,5
3,4	0,36	1,8	0,35	1,6	0,32	1,5	0,31	1,5
3,6	0,34	1,6	0,33	1,6	0,31	1,5	0,29	1,4
3,8	0,32	1,5	0,31	1,3	0,29	1,4	0,28	1,4
4	0,30	1,4	0,29	1,4	0,28	1,5	0,27	1,3
4,2	0,29	1,4	0,28	1,3	0,27	1,3	0,26	1,3
4,4	0,28	1,5	0,27	1,3	0,25	1,2	0,25	1,3
4,6	0,26	1,3	0,25	1,3	0,24	1,3	0,24	1,3
4,8	0,25	1,2	0,24	1,3	0,23	1,2	0,23	1,2
5	0,24	1,2	0,23	1,2	0,22	1,2	0,22	1,2

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe haute résolution sur cible de contraste 10%

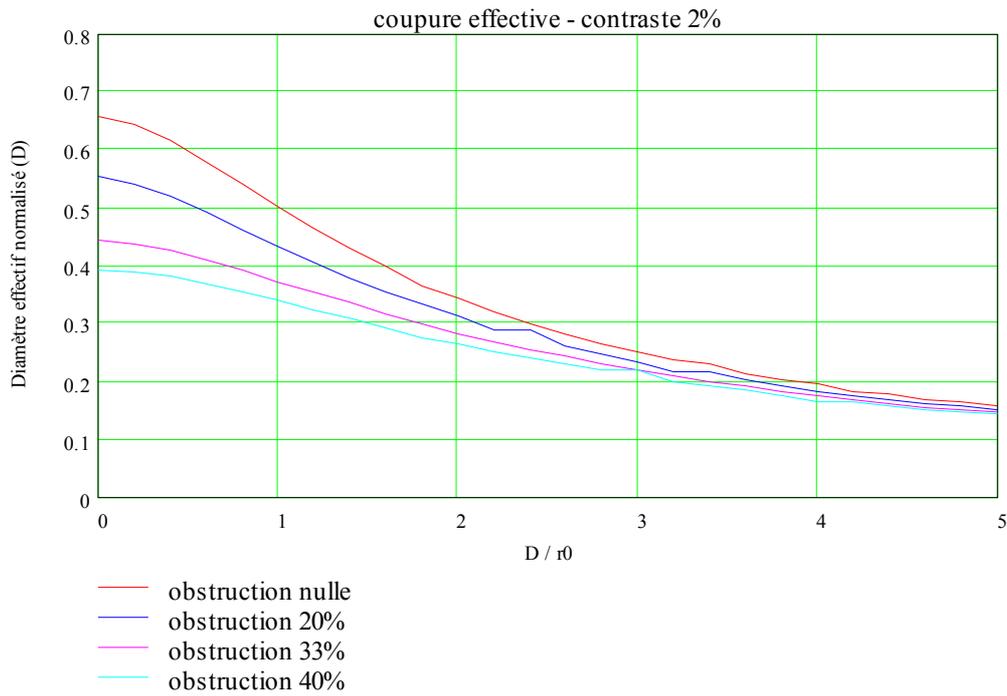


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,98	5,6	0,99	5,3	1,00	5,5	1,01	5,6
0,2	0,98	5,7	0,98	5,6	1,00	5,7	1,01	5,6
0,4	0,97	5,3	0,97	5,2	0,99	5,4	1,00	5,1
0,6	0,95	5,1	0,96	5,6	0,97	5,4	0,98	5,2
0,8	0,93	5,1	0,94	5,5	0,95	5,0	0,96	5,5
1	0,90	5,2	0,91	5,2	0,93	4,9	0,94	5,5
1,2	0,87	5,0	0,88	5,0	0,90	5,3	0,91	4,9
1,4	0,83	4,6	0,84	5,2	0,86	4,7	0,88	5,3
1,6	0,79	4,6	0,80	4,7	0,82	5,1	0,82	4,9
1,8	0,75	4,2	0,76	4,6	0,75	4,5	0,72	4,3
2	0,70	4,1	0,70	4,2	0,67	4,1	0,61	3,5
2,2	0,65	3,7	0,64	4,0	0,59	3,6	0,53	3,3
2,4	0,60	3,5	0,58	3,4	0,53	3,1	0,48	3,1
2,6	0,56	3,1	0,53	3,2	0,48	3,1	0,44	2,8
2,8	0,52	3,1	0,49	3,1	0,44	2,7	0,41	2,6
3	0,48	3,1	0,46	2,9	0,41	2,5	0,39	2,4
3,2	0,45	3,1	0,43	2,6	0,39	2,4	0,37	2,3
3,4	0,42	2,4	0,40	2,5	0,37	2,3	0,35	2,2
3,6	0,40	2,5	0,38	2,3	0,35	2,1	0,33	1,9
3,8	0,37	2,2	0,36	2,2	0,33	2,1	0,32	1,9
4	0,35	2,2	0,34	2,2	0,32	1,8	0,30	1,8
4,2	0,33	2,0	0,32	1,9	0,30	1,8	0,29	1,8
4,4	0,31	1,9	0,30	1,9	0,29	1,8	0,28	1,7
4,6	0,30	1,9	0,29	1,7	0,27	1,7	0,27	1,7
4,8	0,28	1,6	0,28	1,7	0,26	1,7	0,25	1,5
5	0,27	1,7	0,26	1,7	0,25	1,6	0,24	1,5

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe astronomique sur cible de contraste 2%

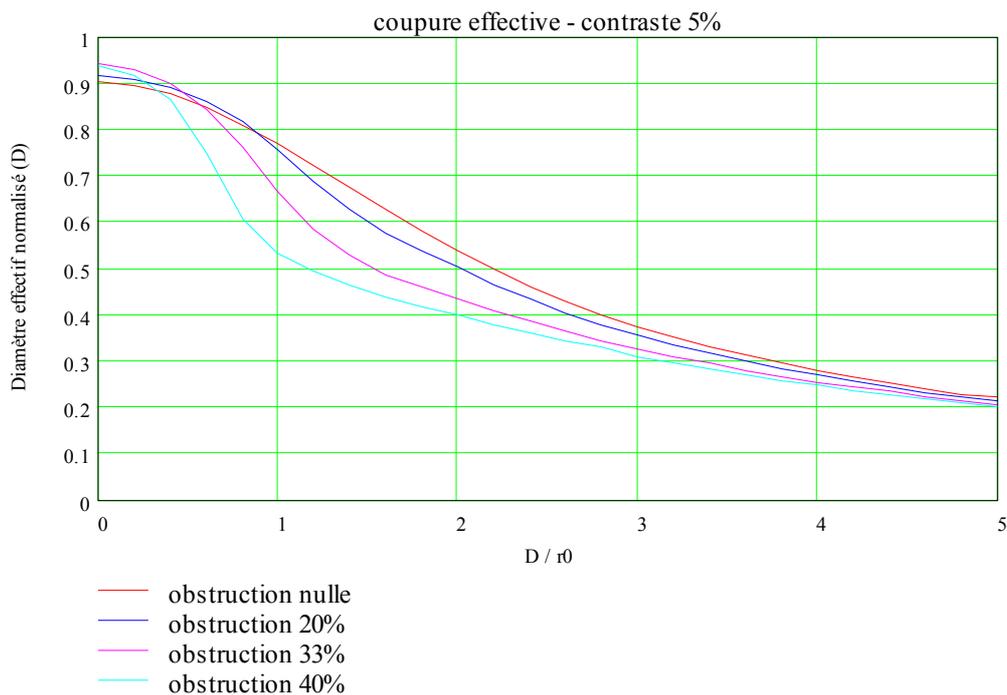


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,66	1,7	0,55	1,5	0,44	1,2	0,39	1,1
0,2	0,64	1,6	0,54	1,5	0,44	1,2	0,39	1,0
0,4	0,62	1,6	0,52	1,4	0,43	1,1	0,38	1,0
0,6	0,58	1,6	0,49	1,4	0,41	1,1	0,37	1,0
0,8	0,54	1,5	0,46	1,2	0,39	1,0	0,35	0,9
1	0,50	1,3	0,44	1,2	0,37	1,0	0,34	0,9
1,2	0,46	1,2	0,41	1,1	0,35	0,9	0,32	0,8
1,4	0,43	1,2	0,38	1,0	0,34	0,9	0,31	0,8
1,6	0,40	1,1	0,36	0,9	0,32	0,8	0,29	0,8
1,8	0,37	0,8	0,33	0,9	0,30	0,8	0,28	0,8
2	0,34	0,9	0,31	0,8	0,28	0,7	0,27	0,7
2,2	0,32	0,8	0,29	0,7	0,27	0,7	0,25	0,7
2,4	0,30	0,8	0,28	0,7	0,25	0,7	0,24	0,7
2,6	0,28	0,8	0,26	0,7	0,24	0,7	0,23	0,6
2,8	0,27	0,7	0,25	0,7	0,23	0,6	0,22	0,5
3	0,25	0,7	0,23	0,6	0,22	0,6	0,21	0,5
3,2	0,24	0,6	0,22	0,5	0,21	0,6	0,20	0,5
3,4	0,23	0,6	0,22	0,5	0,20	0,5	0,19	0,5
3,6	0,21	0,6	0,20	0,5	0,19	0,5	0,19	0,5
3,8	0,20	0,5	0,19	0,5	0,18	0,4	0,18	0,5
4	0,20	0,5	0,18	0,4	0,18	0,5	0,17	0,4
4,2	0,18	0,4	0,18	0,5	0,17	0,4	0,17	0,4
4,4	0,18	0,5	0,17	0,4	0,16	0,4	0,16	0,4
4,6	0,17	0,4	0,16	0,4	0,16	0,4	0,15	0,4
4,8	0,16	0,4	0,16	0,4	0,15	0,4	0,15	0,4
5	0,16	0,4	0,15	0,4	0,15	0,4	0,14	0,4

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe astronomique sur cible de contraste 5%

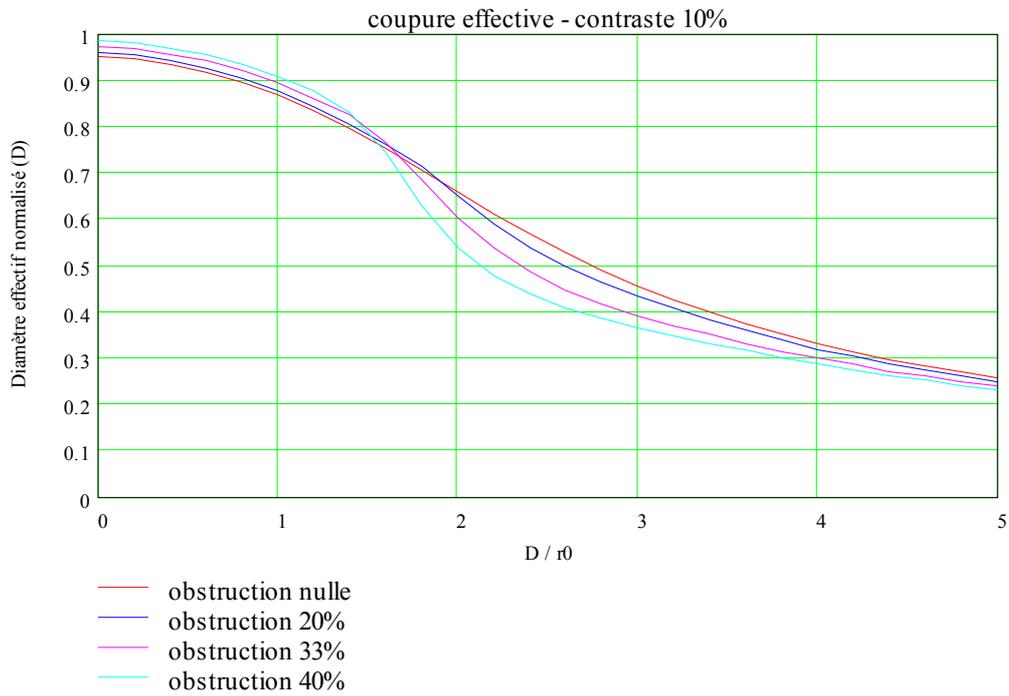


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,91	4,1	0,92	4,0	0,94	4,3	0,94	4,6
0,2	0,90	4,1	0,91	4,0	0,93	4,4	0,92	4,6
0,4	0,88	3,9	0,89	4,0	0,90	4,5	0,87	4,6
0,6	0,85	3,9	0,86	3,8	0,85	4,1	0,75	4,0
0,8	0,81	3,8	0,82	4,0	0,76	4,1	0,61	3,1
1	0,77	3,5	0,76	3,6	0,67	3,3	0,53	2,6
1,2	0,72	3,4	0,69	3,3	0,58	3,0	0,49	2,5
1,4	0,68	3,1	0,63	3,1	0,53	2,8	0,46	2,3
1,6	0,63	2,8	0,58	2,7	0,49	2,5	0,44	2,1
1,8	0,58	2,8	0,54	2,7	0,46	2,0	0,42	2,0
2	0,54	2,8	0,50	2,3	0,43	2,0	0,40	1,8
2,2	0,50	2,4	0,47	2,1	0,41	1,9	0,38	1,8
2,4	0,46	2,2	0,44	2,1	0,39	1,8	0,36	1,5
2,6	0,43	2,1	0,41	2,0	0,37	1,5	0,34	1,6
2,8	0,40	1,9	0,38	1,8	0,35	1,6	0,33	1,5
3	0,38	1,8	0,36	1,7	0,33	1,6	0,31	1,6
3,2	0,35	1,6	0,34	1,6	0,31	1,4	0,30	1,5
3,4	0,33	1,6	0,32	1,5	0,30	1,4	0,28	1,3
3,6	0,31	1,5	0,30	1,5	0,28	1,3	0,27	1,3
3,8	0,30	1,4	0,28	1,3	0,27	1,3	0,26	1,2
4	0,28	1,3	0,27	1,3	0,25	1,0	0,25	1,3
4,2	0,27	1,2	0,26	1,3	0,25	1,5	0,24	1,1
4,4	0,25	1,2	0,25	1,2	0,24	1,1	0,23	1,0
4,6	0,24	1,1	0,23	1,1	0,23	1,1	0,22	1,1
4,8	0,23	1,0	0,22	1,1	0,22	1,0	0,21	1,1
5	0,22	1,1	0,21	1,1	0,21	1,1	0,20	1,1

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe astronomique sur cible de contraste 10%

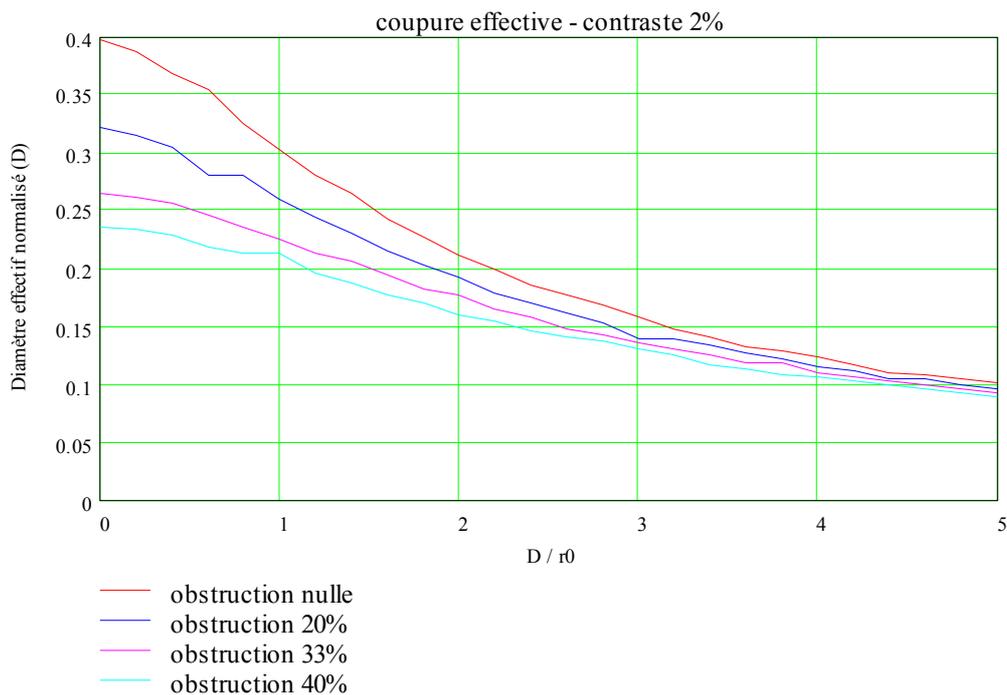


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,95	5,4	0,96	5,4	0,97	5,4	0,98	5,3
0,2	0,95	5,4	0,96	5,1	0,97	5,6	0,98	4,9
0,4	0,94	4,9	0,94	5,3	0,96	5,6	0,97	5,1
0,6	0,92	4,9	0,93	5,2	0,94	5,2	0,95	5,3
0,8	0,90	4,8	0,91	5,3	0,92	5,2	0,93	5,0
1	0,87	4,7	0,88	5,1	0,90	4,9	0,91	5,1
1,2	0,84	4,9	0,85	5,0	0,86	4,7	0,88	5,0
1,4	0,80	4,7	0,81	4,4	0,83	4,7	0,83	4,9
1,6	0,75	4,2	0,76	4,5	0,77	4,3	0,75	4,4
1,8	0,71	4,2	0,71	4,3	0,69	4,1	0,63	3,9
2	0,66	3,8	0,65	4,0	0,60	3,5	0,54	3,1
2,2	0,61	3,7	0,59	3,7	0,54	3,3	0,48	2,8
2,4	0,57	3,1	0,54	3,1	0,49	3,0	0,44	2,6
2,6	0,53	3,2	0,50	3,1	0,45	2,8	0,41	2,6
2,8	0,49	2,9	0,47	2,7	0,42	2,6	0,39	2,4
3	0,46	2,7	0,44	2,8	0,39	2,2	0,37	2,3
3,2	0,43	2,6	0,41	2,4	0,37	2,3	0,35	2,1
3,4	0,40	2,5	0,38	2,4	0,35	2,1	0,33	1,9
3,6	0,38	2,4	0,36	2,2	0,33	2,0	0,32	1,9
3,8	0,35	2,0	0,34	2,1	0,32	1,8	0,30	1,8
4	0,33	1,9	0,32	1,8	0,30	1,9	0,29	1,8
4,2	0,31	1,8	0,30	1,9	0,29	1,8	0,28	1,7
4,4	0,30	1,8	0,29	1,7	0,27	1,7	0,26	1,5
4,6	0,28	1,7	0,27	1,7	0,26	1,5	0,25	1,6
4,8	0,27	1,7	0,26	1,6	0,25	1,6	0,24	1,5
5	0,26	1,5	0,25	1,5	0,24	1,5	0,23	1,5

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe standard sur cible de contraste 2%

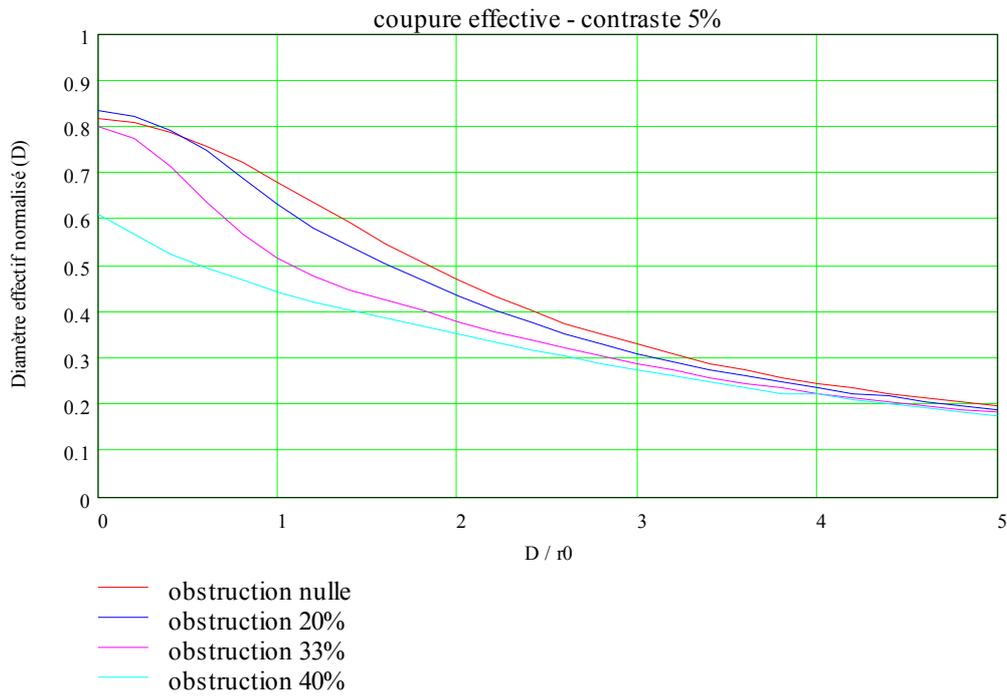


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,40	1,2	0,32	1,0	0,27	0,8	0,24	0,7
0,2	0,39	1,2	0,32	1,0	0,26	0,8	0,23	0,7
0,4	0,37	1,1	0,30	0,9	0,26	0,8	0,23	0,7
0,6	0,35	0,9	0,28	0,7	0,25	0,8	0,22	0,6
0,8	0,33	1,0	0,27	0,8	0,24	0,7	0,21	0,7
1	0,30	0,9	0,26	0,8	0,23	0,7	0,21	0,6
1,2	0,28	0,9	0,25	0,7	0,21	0,7	0,20	0,6
1,4	0,27	0,8	0,23	0,7	0,21	0,6	0,19	0,5
1,6	0,24	0,7	0,21	0,6	0,19	0,6	0,18	0,5
1,8	0,23	0,7	0,20	0,6	0,18	0,6	0,17	0,5
2	0,21	0,6	0,19	0,6	0,18	0,6	0,16	0,5
2,2	0,20	0,6	0,18	0,5	0,17	0,5	0,16	0,5
2,4	0,19	0,6	0,17	0,5	0,16	0,5	0,15	0,5
2,6	0,18	0,6	0,16	0,5	0,15	0,4	0,14	0,4
2,8	0,17	0,5	0,15	0,5	0,14	0,4	0,14	0,4
3	0,16	0,5	0,14	0,4	0,14	0,4	0,13	0,4
3,2	0,15	0,5	0,14	0,4	0,13	0,4	0,13	0,4
3,4	0,14	0,4	0,13	0,4	0,13	0,4	0,12	0,4
3,6	0,13	0,5	0,13	0,4	0,12	0,3	0,11	0,3
3,8	0,13	0,4	0,12	0,4	0,11	0,3	0,11	0,4
4	0,12	0,4	0,12	0,3	0,11	0,3	0,11	0,3
4,2	0,12	0,4	0,11	0,3	0,11	0,3	0,10	0,3
4,4	0,11	0,4	0,11	0,3	0,10	0,3	0,10	0,3
4,6	0,11	0,3	0,10	0,3	0,10	0,3	0,10	0,3
4,8	0,11	0,3	0,10	0,3	0,10	0,3	0,09	0,3
5	0,10	0,3	0,10	0,3	0,09	0,3	0,09	0,3

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe standard sur cible de contraste 5%

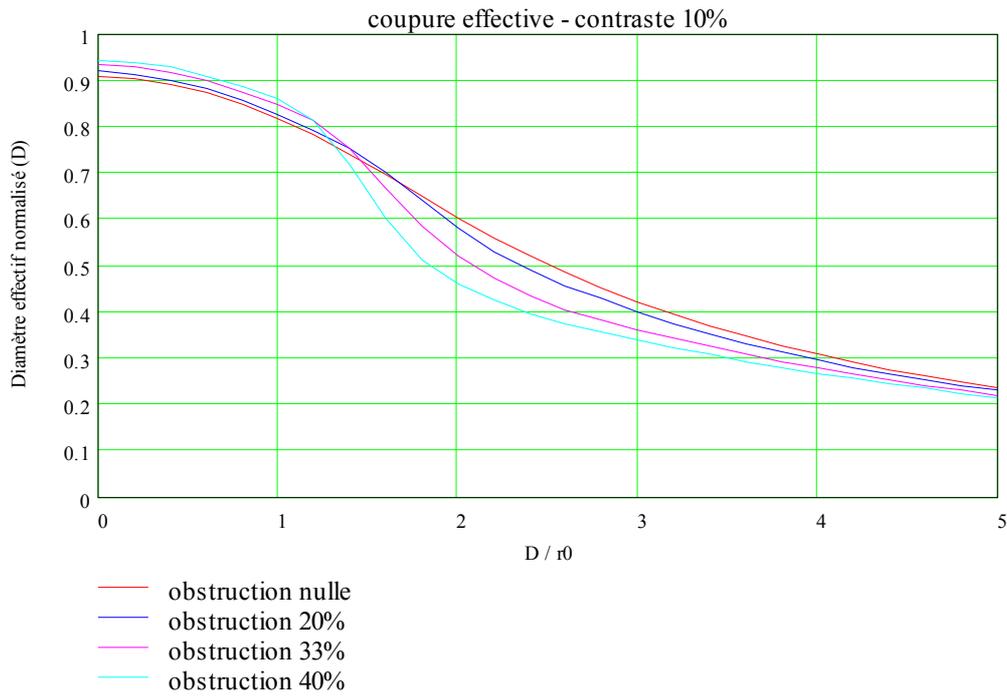


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,82	3,7	0,83	4,0	0,80	4,0	0,61	3,4
0,2	0,81	3,9	0,82	3,7	0,77	4,2	0,57	3,2
0,4	0,79	3,6	0,79	3,7	0,71	3,7	0,53	2,7
0,6	0,76	3,5	0,75	3,7	0,64	3,3	0,50	2,4
0,8	0,72	3,4	0,69	3,3	0,57	2,9	0,47	2,4
1	0,68	3,1	0,63	3,2	0,52	2,6	0,44	2,1
1,2	0,64	2,9	0,58	2,8	0,48	2,4	0,42	2,0
1,4	0,59	2,9	0,54	2,7	0,45	2,1	0,41	1,9
1,6	0,55	2,7	0,50	2,4	0,43	2,0	0,39	1,7
1,8	0,51	2,2	0,47	2,2	0,40	1,9	0,37	1,8
2	0,47	2,2	0,44	1,9	0,38	1,8	0,35	1,7
2,2	0,43	2,0	0,41	1,9	0,36	1,7	0,33	1,5
2,4	0,40	1,9	0,38	1,9	0,34	1,6	0,32	1,6
2,6	0,38	1,7	0,35	1,6	0,32	1,5	0,31	1,5
2,8	0,35	1,7	0,33	1,6	0,31	1,6	0,29	1,4
3	0,33	1,6	0,31	1,5	0,29	1,4	0,28	1,2
3,2	0,31	1,5	0,29	1,3	0,28	1,2	0,26	1,2
3,4	0,29	1,3	0,28	1,3	0,26	1,1	0,25	1,2
3,6	0,28	1,1	0,26	1,2	0,25	1,5	0,24	1,1
3,8	0,26	1,2	0,25	1,2	0,24	1,1	0,22	1,5
4	0,25	1,2	0,24	1,2	0,23	1,1	0,22	1,1
4,2	0,24	1,1	0,23	1,1	0,22	1,0	0,21	1,0
4,4	0,22	1,0	0,22	1,0	0,21	0,9	0,20	0,9
4,6	0,21	1,1	0,21	0,9	0,20	0,9	0,19	0,9
4,8	0,20	1,0	0,20	0,9	0,19	0,9	0,19	0,9
5	0,20	0,9	0,19	0,9	0,18	0,9	0,18	0,9

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe standard sur cible de contraste 10%



Diamètre effectif apparent

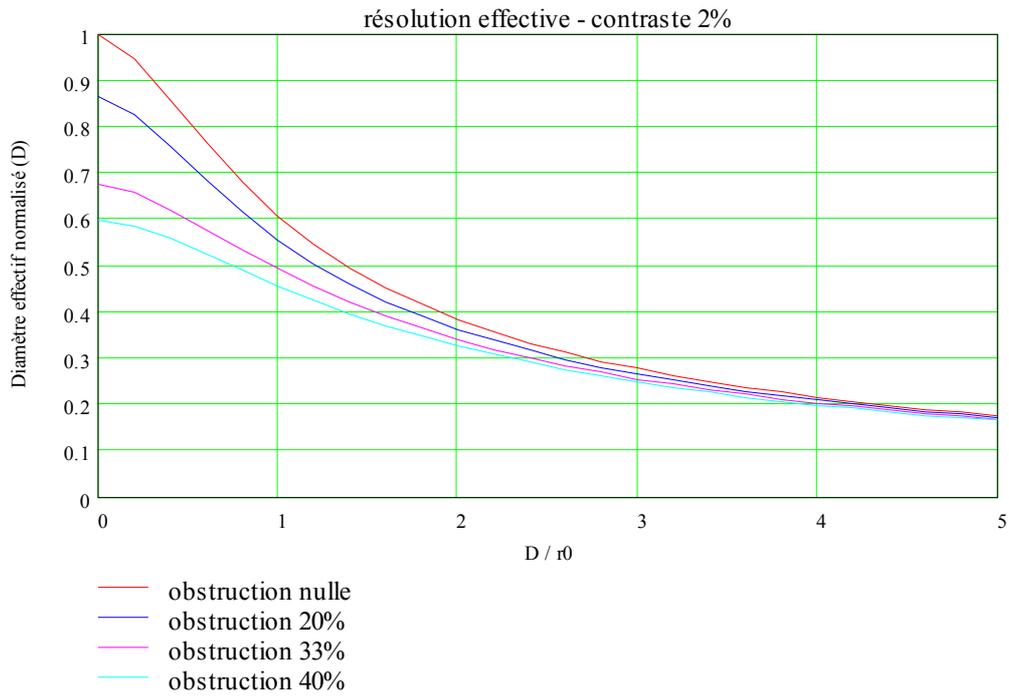
Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,91	4,8	0,92	4,9	0,93	5,2	0,95	5,1
0,2	0,91	5,3	0,91	4,8	0,93	5,2	0,94	4,7
0,4	0,89	4,8	0,90	4,9	0,92	5,0	0,93	4,5
0,6	0,87	4,9	0,88	4,9	0,90	5,0	0,91	5,1
0,8	0,85	4,6	0,86	4,8	0,88	5,3	0,89	4,7
1	0,82	4,7	0,83	4,9	0,85	4,6	0,86	4,6
1,2	0,78	4,6	0,79	4,6	0,81	4,7	0,81	4,9
1,4	0,74	4,4	0,75	4,5	0,75	4,4	0,72	4,2
1,6	0,70	4,1	0,70	4,2	0,67	3,9	0,60	3,5
1,8	0,65	3,9	0,64	3,7	0,59	3,3	0,51	3,3
2	0,61	3,5	0,58	3,5	0,52	3,0	0,46	2,6
2,2	0,56	3,3	0,53	3,2	0,47	2,8	0,43	2,5
2,4	0,52	3,1	0,49	2,9	0,44	2,4	0,40	2,4
2,6	0,49	2,7	0,46	2,7	0,41	2,4	0,38	2,3
2,8	0,45	2,6	0,43	2,4	0,38	2,2	0,36	2,1
3	0,42	2,5	0,40	2,4	0,36	2,2	0,34	2,1
3,2	0,39	2,3	0,38	2,4	0,34	2,2	0,32	2,1
3,4	0,37	2,3	0,35	2,2	0,33	2,0	0,31	1,8
3,6	0,35	2,1	0,33	2,1	0,31	1,9	0,29	1,8
3,8	0,33	2,0	0,31	2,0	0,29	1,9	0,28	1,7
4	0,31	1,9	0,30	1,8	0,28	1,6	0,27	1,7
4,2	0,29	1,8	0,28	1,7	0,27	1,7	0,26	1,6
4,4	0,28	1,7	0,27	1,7	0,25	1,5	0,25	1,6
4,6	0,26	1,6	0,25	1,6	0,24	1,6	0,24	1,5
4,8	0,25	1,6	0,24	1,5	0,23	1,5	0,23	1,5
5	0,24	1,5	0,23	1,5	0,22	1,5	0,22	1,5

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Annexe E

**Turbulence en poses longues – paramètre α égal à 0
Diamètre effectif et grossissement optimal normalisés
calculés par application du critère de résolution effective**

Instruments limités par la diffraction sur cible de contraste 2%

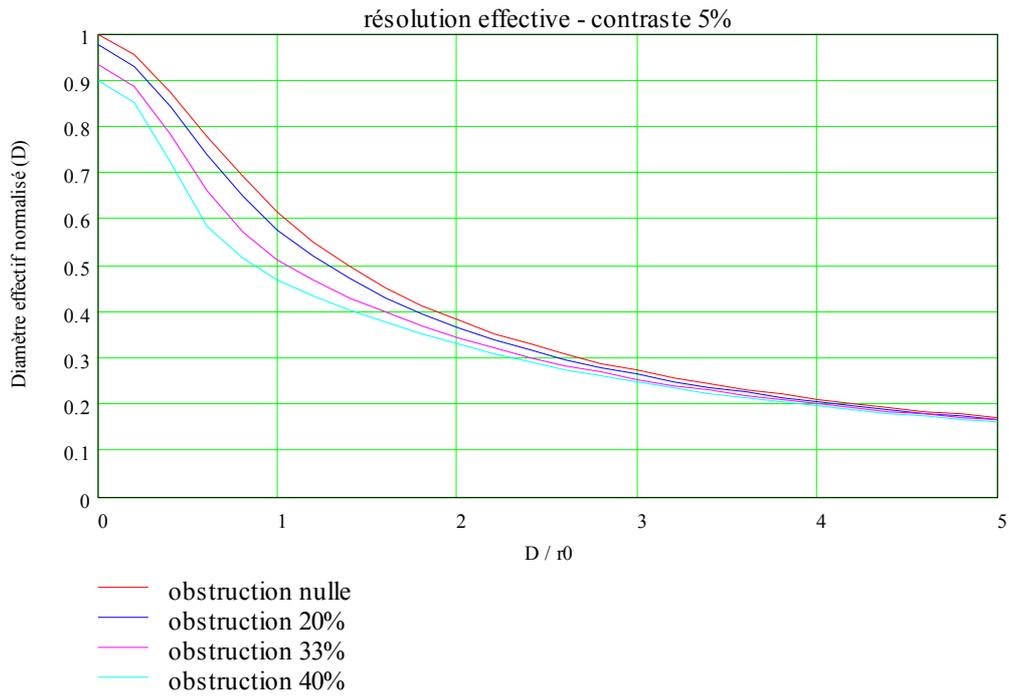


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	1,00	2,6	0,87	2,3	0,68	1,8	0,60	1,6
0,2	0,95	2,5	0,83	2,2	0,66	1,8	0,59	1,5
0,4	0,86	2,3	0,76	2,0	0,62	1,7	0,56	1,5
0,6	0,77	2,0	0,69	1,8	0,58	1,5	0,53	1,4
0,8	0,68	1,8	0,62	1,6	0,54	1,4	0,49	1,3
1	0,61	1,6	0,56	1,5	0,49	1,3	0,46	1,2
1,2	0,55	1,4	0,50	1,3	0,46	1,2	0,43	1,1
1,4	0,50	1,3	0,46	1,2	0,42	1,1	0,40	1,0
1,6	0,45	1,2	0,42	1,1	0,39	1,0	0,37	1,0
1,8	0,42	1,1	0,39	1,0	0,37	1,0	0,35	0,9
2	0,38	1,0	0,36	0,9	0,34	0,9	0,33	0,9
2,2	0,36	0,9	0,34	0,9	0,32	0,8	0,31	0,8
2,4	0,33	0,9	0,32	0,8	0,30	0,8	0,29	0,8
2,6	0,31	0,8	0,30	0,8	0,29	0,7	0,28	0,7
2,8	0,29	0,8	0,28	0,7	0,27	0,7	0,26	0,7
3	0,28	0,7	0,27	0,7	0,26	0,7	0,25	0,6
3,2	0,26	0,7	0,25	0,7	0,24	0,6	0,24	0,6
3,4	0,25	0,6	0,24	0,6	0,23	0,6	0,23	0,6
3,6	0,24	0,6	0,23	0,6	0,22	0,6	0,22	0,6
3,8	0,23	0,6	0,22	0,6	0,21	0,5	0,21	0,5
4	0,22	0,6	0,21	0,5	0,20	0,5	0,20	0,5
4,2	0,21	0,5	0,20	0,5	0,20	0,5	0,19	0,5
4,4	0,20	0,5	0,19	0,5	0,19	0,5	0,19	0,5
4,6	0,19	0,5	0,19	0,5	0,18	0,5	0,18	0,5
4,8	0,18	0,5	0,18	0,5	0,18	0,4	0,17	0,4
5	0,18	0,4	0,17	0,4	0,17	0,4	0,17	0,4

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments limités par la diffraction sur cible de contraste 5%

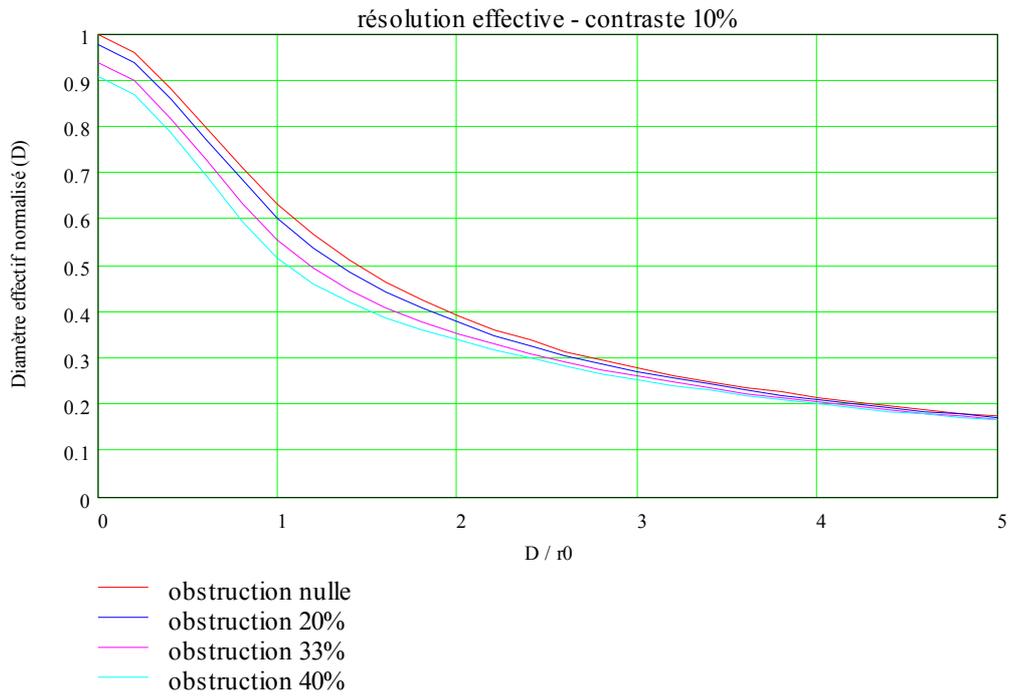


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	1,00	3,7	0,98	3,8	0,94	3,9	0,90	4,0
0,2	0,96	3,5	0,93	3,6	0,89	3,8	0,85	4,1
0,4	0,87	3,3	0,85	3,3	0,79	3,7	0,72	3,8
0,6	0,78	2,9	0,74	3,1	0,66	3,0	0,59	2,8
0,8	0,69	2,6	0,65	2,6	0,57	2,5	0,52	2,2
1	0,62	2,4	0,58	2,2	0,51	2,1	0,47	1,9
1,2	0,55	2,1	0,52	2,0	0,47	1,8	0,44	1,7
1,4	0,50	1,9	0,47	1,8	0,43	1,7	0,41	1,5
1,6	0,45	1,7	0,43	1,7	0,40	1,5	0,38	1,4
1,8	0,42	1,5	0,40	1,5	0,37	1,4	0,35	1,4
2	0,38	1,5	0,37	1,4	0,35	1,3	0,33	1,3
2,2	0,36	1,3	0,34	1,3	0,32	1,2	0,31	1,2
2,4	0,33	1,2	0,32	1,2	0,30	1,1	0,29	1,1
2,6	0,31	1,2	0,30	1,1	0,29	1,1	0,28	1,1
2,8	0,29	1,1	0,28	1,1	0,27	1,0	0,26	1,0
3	0,27	1,0	0,27	1,0	0,26	1,0	0,25	0,9
3,2	0,26	1,0	0,25	0,9	0,24	0,9	0,24	0,9
3,4	0,25	0,9	0,24	0,9	0,23	0,9	0,23	0,9
3,6	0,23	0,9	0,23	0,8	0,22	0,8	0,22	0,8
3,8	0,22	0,8	0,22	0,8	0,21	0,8	0,21	0,8
4	0,21	0,8	0,21	0,8	0,20	0,8	0,20	0,7
4,2	0,20	0,8	0,20	0,7	0,19	0,7	0,19	0,7
4,4	0,19	0,7	0,19	0,7	0,19	0,7	0,18	0,7
4,6	0,19	0,7	0,18	0,7	0,18	0,7	0,18	0,7
4,8	0,18	0,7	0,18	0,7	0,17	0,7	0,17	0,6
5	0,17	0,6	0,17	0,6	0,17	0,6	0,16	0,6

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments limités par la diffraction sur cible de contraste 10%

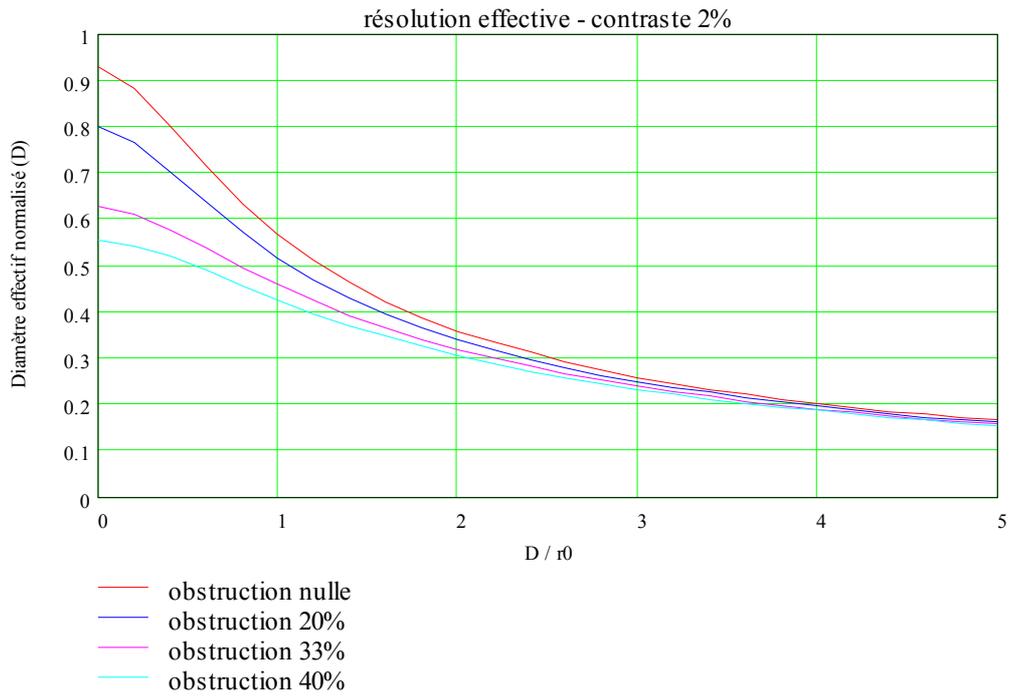


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	1,00	3,7	0,98	3,8	0,94	3,9	0,91	4,1
0,2	0,96	3,6	0,94	3,7	0,90	3,9	0,87	4,0
0,4	0,88	3,4	0,86	3,5	0,82	3,6	0,79	3,7
0,6	0,80	3,1	0,77	3,2	0,73	3,3	0,69	3,5
0,8	0,71	2,8	0,68	2,9	0,63	3,0	0,59	3,1
1	0,63	2,5	0,60	2,6	0,55	2,6	0,52	2,5
1,2	0,57	2,3	0,54	2,3	0,49	2,2	0,46	2,1
1,4	0,51	2,0	0,49	2,0	0,45	1,9	0,42	1,7
1,6	0,47	1,9	0,44	1,8	0,41	1,7	0,39	1,6
1,8	0,43	1,7	0,41	1,7	0,38	1,6	0,36	1,5
2	0,39	1,6	0,38	1,5	0,36	1,4	0,34	1,4
2,2	0,36	1,4	0,35	1,4	0,33	1,3	0,32	1,3
2,4	0,34	1,3	0,33	1,3	0,31	1,3	0,30	1,2
2,6	0,32	1,3	0,31	1,2	0,29	1,2	0,28	1,1
2,8	0,30	1,1	0,29	1,1	0,28	1,1	0,27	1,1
3	0,28	1,1	0,27	1,1	0,26	1,1	0,26	1,0
3,2	0,26	1,0	0,26	1,0	0,25	1,0	0,24	1,0
3,4	0,25	1,0	0,24	1,0	0,24	0,9	0,23	0,9
3,6	0,24	0,9	0,23	0,9	0,23	0,9	0,22	0,9
3,8	0,23	0,9	0,22	0,9	0,22	0,9	0,21	0,8
4	0,22	0,8	0,21	0,8	0,21	0,8	0,20	0,8
4,2	0,21	0,8	0,20	0,8	0,20	0,8	0,19	0,8
4,4	0,20	0,8	0,19	0,8	0,19	0,8	0,19	0,7
4,6	0,19	0,8	0,19	0,7	0,18	0,7	0,18	0,7
4,8	0,18	0,7	0,18	0,7	0,18	0,7	0,17	0,7
5	0,18	0,7	0,17	0,7	0,17	0,7	0,17	0,7

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe professionnelle sur cible de contraste 2%

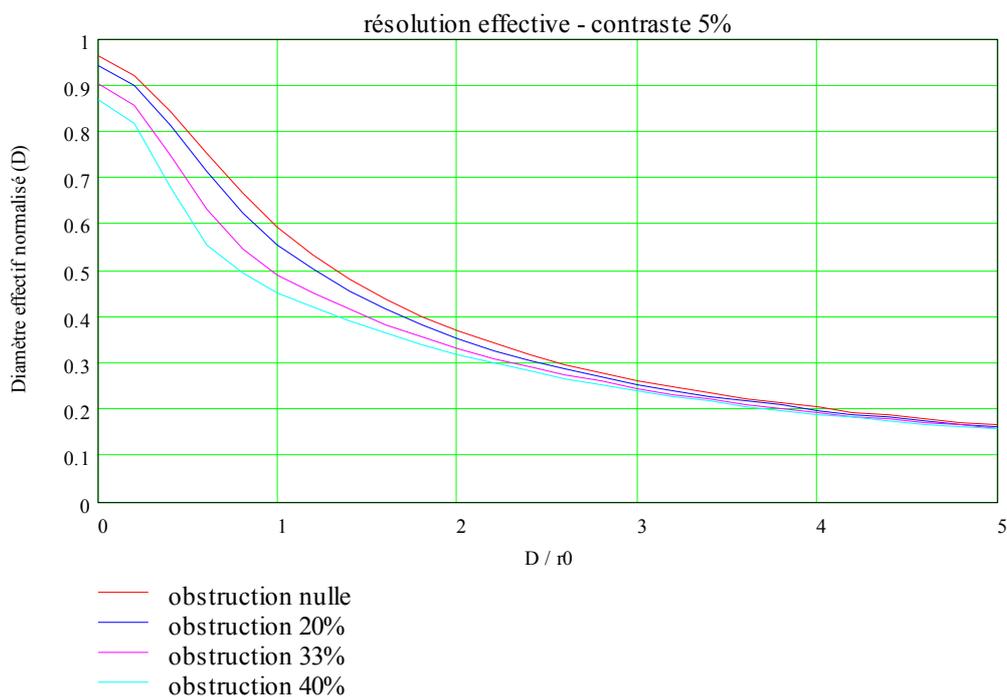


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,93	2,5	0,80	2,2	0,63	1,7	0,56	1,5
0,2	0,88	2,4	0,77	2,1	0,61	1,7	0,54	1,5
0,4	0,80	2,1	0,70	1,9	0,58	1,6	0,52	1,4
0,6	0,71	1,9	0,64	1,7	0,54	1,5	0,49	1,3
0,8	0,63	1,7	0,57	1,6	0,50	1,3	0,46	1,2
1	0,57	1,5	0,52	1,4	0,46	1,2	0,43	1,2
1,2	0,51	1,4	0,47	1,3	0,43	1,1	0,40	1,1
1,4	0,46	1,2	0,43	1,2	0,39	1,1	0,37	1,0
1,6	0,42	1,1	0,39	1,1	0,37	1,0	0,35	0,9
1,8	0,39	1,0	0,37	1,0	0,34	0,9	0,33	0,9
2	0,36	1,0	0,34	0,9	0,32	0,9	0,31	0,8
2,2	0,33	0,9	0,32	0,8	0,30	0,8	0,29	0,8
2,4	0,31	0,8	0,30	0,8	0,28	0,7	0,27	0,7
2,6	0,29	0,8	0,28	0,7	0,27	0,7	0,26	0,7
2,8	0,28	0,7	0,26	0,7	0,25	0,7	0,25	0,7
3	0,26	0,7	0,25	0,7	0,24	0,6	0,23	0,6
3,2	0,25	0,6	0,24	0,6	0,23	0,6	0,22	0,6
3,4	0,23	0,6	0,23	0,6	0,22	0,6	0,21	0,6
3,6	0,22	0,6	0,22	0,6	0,21	0,5	0,20	0,5
3,8	0,21	0,6	0,21	0,5	0,20	0,5	0,20	0,5
4	0,20	0,5	0,20	0,5	0,19	0,5	0,19	0,5
4,2	0,19	0,5	0,19	0,5	0,18	0,5	0,18	0,5
4,4	0,19	0,5	0,18	0,5	0,18	0,5	0,17	0,5
4,6	0,18	0,5	0,17	0,5	0,17	0,5	0,17	0,4
4,8	0,17	0,5	0,17	0,4	0,16	0,4	0,16	0,4
5	0,17	0,4	0,16	0,4	0,16	0,4	0,16	0,4

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe professionnelle sur cible de contraste 5%

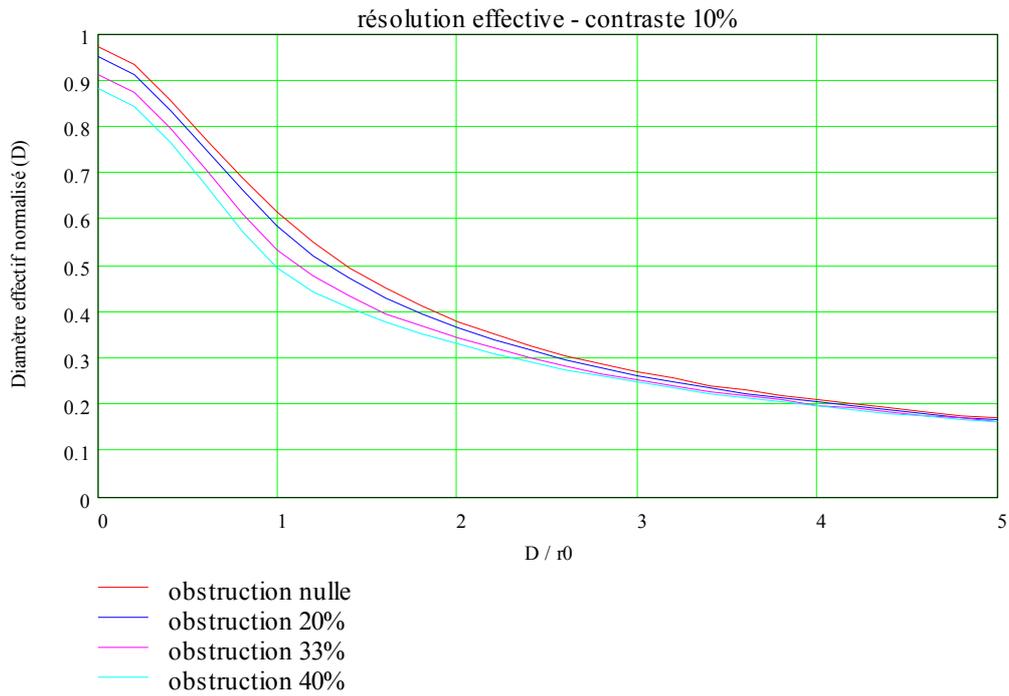


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,97	3,6	0,94	3,7	0,90	3,9	0,87	4,0
0,2	0,92	3,5	0,90	3,6	0,86	3,8	0,82	4,1
0,4	0,84	3,2	0,82	3,4	0,75	3,7	0,68	3,7
0,6	0,75	2,9	0,71	3,1	0,63	3,0	0,56	2,7
0,8	0,67	2,6	0,62	2,6	0,55	2,4	0,49	2,1
1	0,60	2,3	0,56	2,2	0,49	2,0	0,45	1,8
1,2	0,53	2,1	0,50	2,0	0,45	1,7	0,42	1,6
1,4	0,48	1,9	0,46	1,8	0,42	1,6	0,39	1,5
1,6	0,44	1,7	0,42	1,7	0,38	1,5	0,37	1,4
1,8	0,40	1,6	0,38	1,5	0,36	1,4	0,34	1,3
2	0,37	1,5	0,35	1,4	0,33	1,3	0,32	1,3
2,2	0,34	1,3	0,33	1,3	0,31	1,2	0,30	1,2
2,4	0,32	1,2	0,31	1,2	0,29	1,1	0,28	1,1
2,6	0,30	1,1	0,29	1,1	0,28	1,1	0,27	1,0
2,8	0,28	1,1	0,27	1,1	0,26	1,0	0,25	1,0
3	0,26	1,0	0,26	1,0	0,25	1,0	0,24	0,9
3,2	0,25	1,0	0,24	0,9	0,23	0,9	0,23	0,9
3,4	0,24	0,9	0,23	0,9	0,22	0,9	0,22	0,8
3,6	0,23	0,9	0,22	0,8	0,21	0,8	0,21	0,8
3,8	0,21	0,8	0,21	0,8	0,20	0,8	0,20	0,8
4	0,20	0,8	0,20	0,8	0,19	0,8	0,19	0,7
4,2	0,20	0,7	0,19	0,7	0,19	0,7	0,18	0,7
4,4	0,19	0,7	0,18	0,7	0,18	0,7	0,18	0,7
4,6	0,18	0,7	0,18	0,7	0,17	0,7	0,17	0,7
4,8	0,17	0,6	0,17	0,7	0,17	0,6	0,16	0,6
5	0,17	0,6	0,16	0,6	0,16	0,6	0,16	0,6

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instrument de classe professionnelle sur cible de contraste 10%

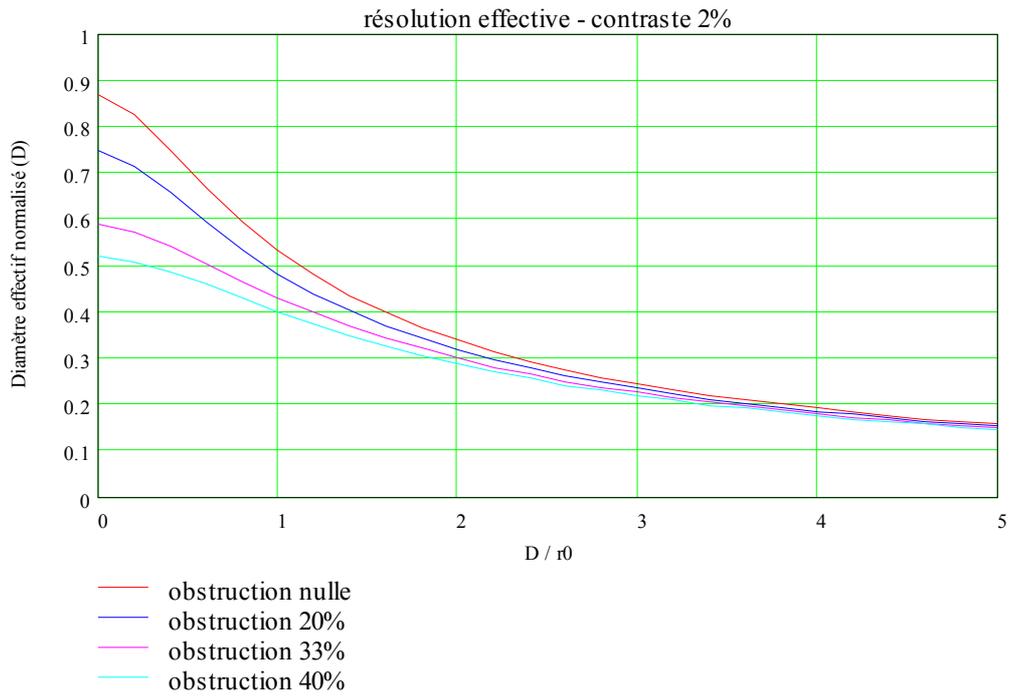


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,97	3,7	0,95	3,8	0,91	4,0	0,89	4,1
0,2	0,93	3,6	0,91	3,7	0,87	3,9	0,84	4,0
0,4	0,86	3,4	0,84	3,5	0,80	3,7	0,77	3,7
0,6	0,77	3,1	0,75	3,2	0,71	3,3	0,67	3,6
0,8	0,69	2,8	0,66	2,9	0,61	3,0	0,57	3,0
1	0,61	2,5	0,59	2,6	0,54	2,5	0,50	2,4
1,2	0,55	2,3	0,52	2,2	0,48	2,1	0,44	2,0
1,4	0,50	2,0	0,47	2,0	0,43	1,9	0,41	1,8
1,6	0,45	1,9	0,43	1,8	0,40	1,7	0,38	1,6
1,8	0,41	1,7	0,40	1,7	0,37	1,5	0,35	1,5
2	0,38	1,5	0,37	1,5	0,34	1,5	0,33	1,4
2,2	0,35	1,4	0,34	1,4	0,32	1,3	0,31	1,3
2,4	0,33	1,3	0,32	1,3	0,30	1,3	0,29	1,2
2,6	0,31	1,3	0,30	1,2	0,28	1,2	0,28	1,1
2,8	0,29	1,2	0,28	1,1	0,27	1,1	0,26	1,1
3	0,27	1,1	0,26	1,1	0,25	1,0	0,25	1,0
3,2	0,26	1,0	0,25	1,0	0,24	1,0	0,24	1,0
3,4	0,24	1,0	0,24	1,0	0,23	0,9	0,22	0,9
3,6	0,23	0,9	0,23	0,9	0,22	0,9	0,21	0,9
3,8	0,22	0,9	0,22	0,9	0,21	0,9	0,21	0,8
4	0,21	0,9	0,21	0,8	0,20	0,8	0,20	0,8
4,2	0,20	0,8	0,20	0,8	0,19	0,8	0,19	0,8
4,4	0,19	0,8	0,19	0,8	0,18	0,8	0,18	0,7
4,6	0,18	0,7	0,18	0,7	0,18	0,7	0,17	0,7
4,8	0,18	0,7	0,17	0,7	0,17	0,7	0,17	0,7
5	0,17	0,7	0,17	0,7	0,16	0,7	0,16	0,6

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe haute résolution sur cible de contraste 2%

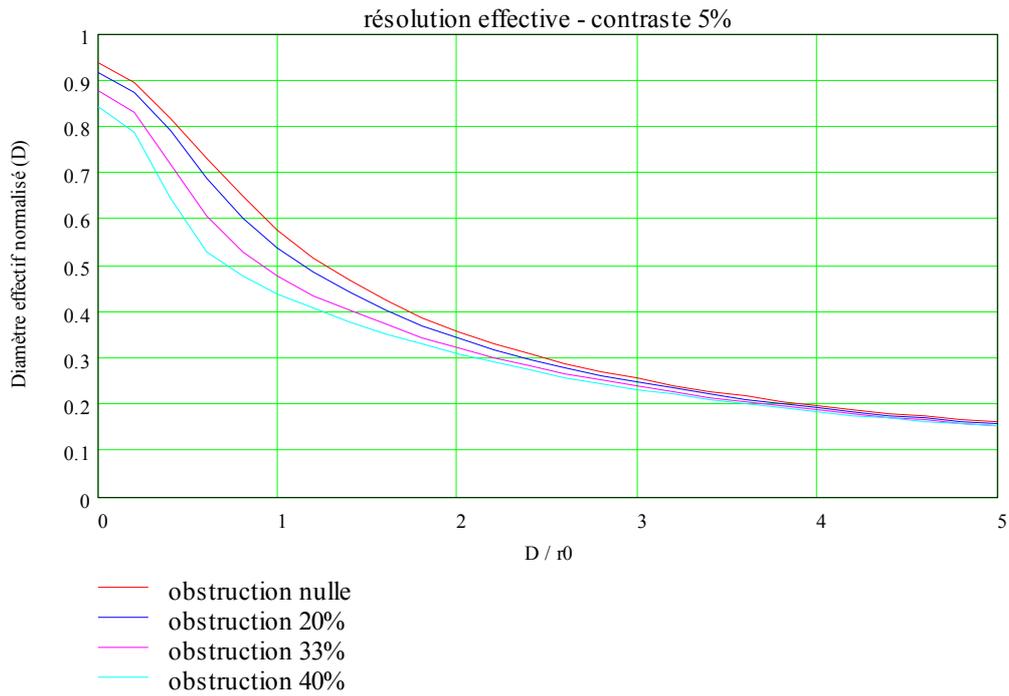


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,87	2,4	0,75	2,1	0,59	1,6	0,52	1,4
0,2	0,83	2,3	0,72	2,0	0,57	1,6	0,51	1,4
0,4	0,75	2,1	0,66	1,8	0,54	1,5	0,49	1,3
0,6	0,67	1,8	0,59	1,6	0,50	1,4	0,46	1,3
0,8	0,60	1,6	0,54	1,5	0,47	1,3	0,43	1,2
1	0,53	1,4	0,48	1,3	0,43	1,2	0,40	1,1
1,2	0,48	1,3	0,44	1,2	0,40	1,1	0,37	1,0
1,4	0,44	1,2	0,40	1,1	0,37	1,0	0,35	1,0
1,6	0,40	1,1	0,37	1,0	0,34	0,9	0,33	0,9
1,8	0,37	1,0	0,34	0,9	0,32	0,9	0,31	0,8
2	0,34	0,9	0,32	0,9	0,30	0,8	0,29	0,8
2,2	0,32	0,8	0,30	0,8	0,28	0,8	0,27	0,7
2,4	0,29	0,8	0,28	0,8	0,27	0,7	0,26	0,7
2,6	0,28	0,7	0,26	0,7	0,25	0,7	0,24	0,7
2,8	0,26	0,7	0,25	0,7	0,24	0,6	0,23	0,6
3	0,25	0,7	0,24	0,6	0,23	0,6	0,22	0,6
3,2	0,23	0,6	0,22	0,6	0,22	0,6	0,21	0,6
3,4	0,22	0,6	0,21	0,6	0,21	0,6	0,20	0,5
3,6	0,21	0,6	0,20	0,5	0,20	0,5	0,19	0,5
3,8	0,20	0,5	0,19	0,5	0,19	0,5	0,18	0,5
4	0,19	0,5	0,19	0,5	0,18	0,5	0,18	0,5
4,2	0,18	0,5	0,18	0,5	0,17	0,5	0,17	0,5
4,4	0,18	0,5	0,17	0,5	0,17	0,4	0,16	0,4
4,6	0,17	0,5	0,16	0,4	0,16	0,4	0,16	0,4
4,8	0,16	0,4	0,16	0,4	0,16	0,4	0,15	0,4
5	0,16	0,4	0,15	0,4	0,15	0,4	0,15	0,4

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe haute résolution sur cible de contraste 5%

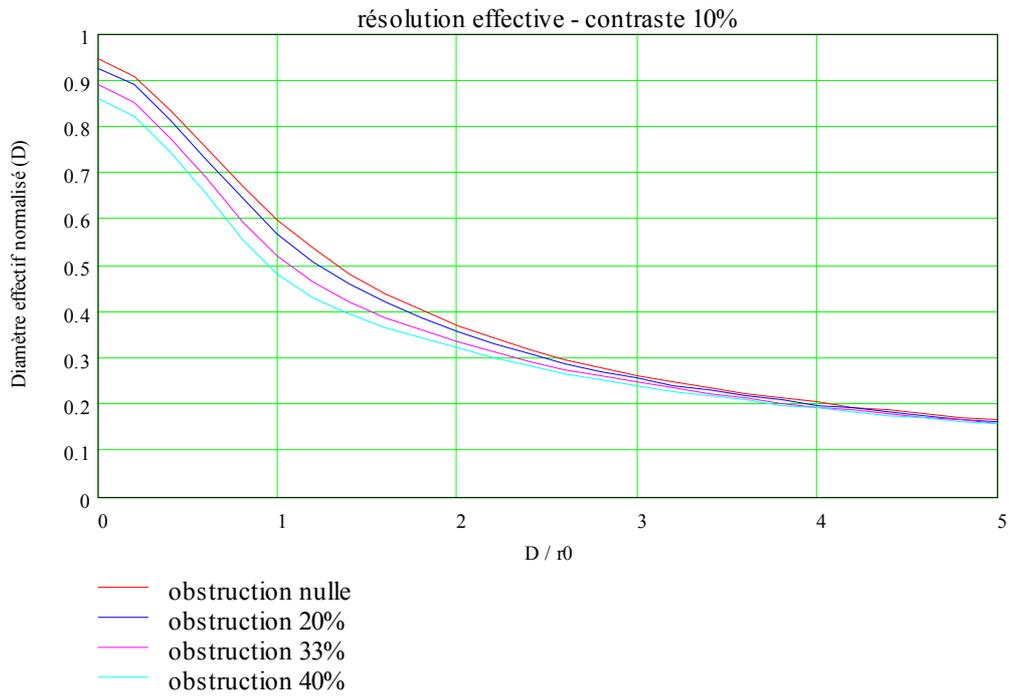


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,94	3,7	0,92	3,7	0,88	3,9	0,85	4,1
0,2	0,90	3,5	0,87	3,6	0,83	3,9	0,79	4,1
0,4	0,82	3,3	0,79	3,4	0,72	3,5	0,64	3,6
0,6	0,73	2,9	0,69	3,0	0,61	2,9	0,53	2,5
0,8	0,65	2,6	0,60	2,5	0,53	2,3	0,48	2,1
1	0,58	2,3	0,54	2,2	0,48	2,0	0,44	1,8
1,2	0,52	2,1	0,49	2,0	0,44	1,8	0,41	1,6
1,4	0,47	1,9	0,44	1,8	0,40	1,6	0,38	1,5
1,6	0,43	1,7	0,40	1,6	0,37	1,5	0,35	1,4
1,8	0,39	1,5	0,37	1,5	0,35	1,4	0,33	1,3
2	0,36	1,4	0,34	1,4	0,32	1,3	0,31	1,2
2,2	0,33	1,3	0,32	1,3	0,30	1,2	0,29	1,2
2,4	0,31	1,2	0,30	1,2	0,28	1,1	0,28	1,1
2,6	0,29	1,1	0,28	1,1	0,27	1,1	0,26	1,0
2,8	0,27	1,1	0,26	1,1	0,25	1,0	0,25	1,0
3	0,26	1,0	0,25	1,0	0,24	0,9	0,23	0,9
3,2	0,24	0,9	0,24	0,9	0,23	0,9	0,22	0,9
3,4	0,23	0,9	0,22	0,9	0,22	0,8	0,21	0,8
3,6	0,22	0,8	0,21	0,9	0,21	0,8	0,20	0,8
3,8	0,21	0,8	0,20	0,8	0,20	0,8	0,19	0,8
4	0,20	0,8	0,19	0,8	0,19	0,7	0,19	0,7
4,2	0,19	0,7	0,19	0,7	0,18	0,7	0,18	0,7
4,4	0,18	0,7	0,18	0,7	0,17	0,7	0,17	0,7
4,6	0,18	0,7	0,17	0,7	0,17	0,7	0,17	0,6
4,8	0,17	0,7	0,16	0,6	0,16	0,6	0,16	0,6
5	0,16	0,6	0,16	0,6	0,16	0,6	0,15	0,6

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe haute résolution sur cible de contraste 10%

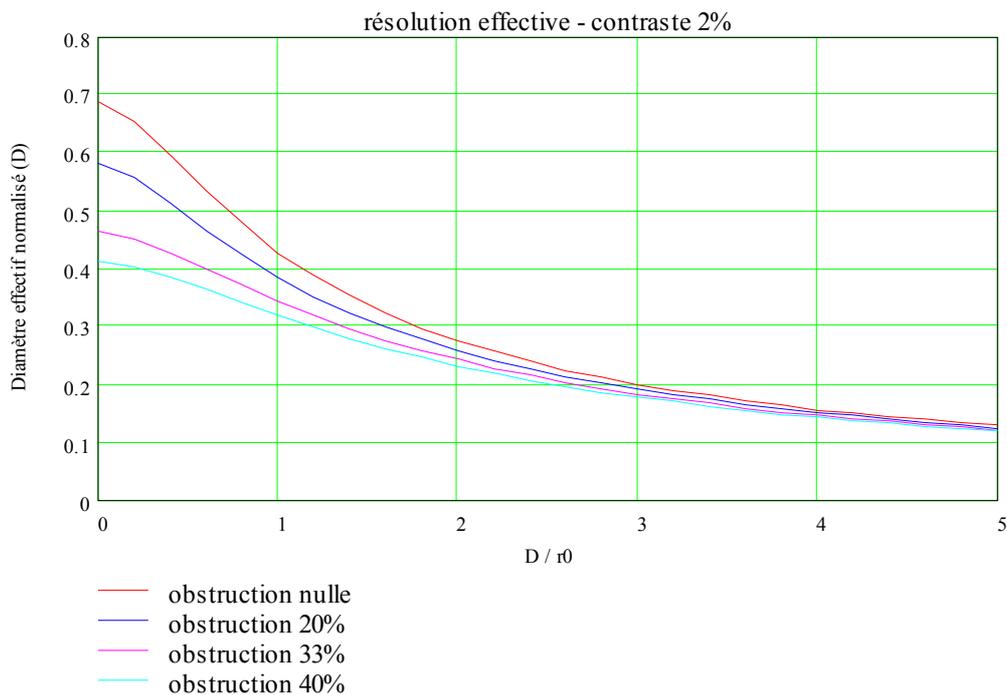


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,95	3,7	0,93	3,8	0,89	4,0	0,86	4,1
0,2	0,91	3,6	0,89	3,7	0,85	3,9	0,82	4,0
0,4	0,84	3,4	0,82	3,5	0,78	3,6	0,75	3,7
0,6	0,75	3,2	0,73	3,2	0,69	3,4	0,65	3,5
0,8	0,67	2,8	0,65	2,9	0,60	3,0	0,56	3,0
1	0,60	2,6	0,57	2,5	0,52	2,5	0,48	2,4
1,2	0,54	2,3	0,51	2,2	0,47	2,1	0,43	2,0
1,4	0,48	2,1	0,46	2,0	0,42	1,9	0,40	1,8
1,6	0,44	1,9	0,42	1,8	0,39	1,7	0,37	1,6
1,8	0,40	1,7	0,39	1,7	0,36	1,5	0,34	1,5
2	0,37	1,6	0,36	1,5	0,34	1,4	0,32	1,4
2,2	0,34	1,4	0,33	1,4	0,31	1,3	0,30	1,3
2,4	0,32	1,3	0,31	1,3	0,29	1,2	0,28	1,2
2,6	0,30	1,2	0,29	1,2	0,28	1,2	0,27	1,1
2,8	0,28	1,2	0,27	1,1	0,26	1,1	0,25	1,1
3	0,26	1,1	0,26	1,1	0,25	1,0	0,24	1,0
3,2	0,25	1,0	0,24	1,0	0,24	1,0	0,23	1,0
3,4	0,24	1,0	0,23	1,0	0,22	0,9	0,22	0,9
3,6	0,23	0,9	0,22	0,9	0,21	0,9	0,21	0,9
3,8	0,21	0,9	0,21	0,9	0,20	0,8	0,20	0,8
4	0,20	0,8	0,20	0,8	0,20	0,8	0,19	0,8
4,2	0,20	0,8	0,19	0,8	0,19	0,8	0,18	0,8
4,4	0,19	0,8	0,18	0,8	0,18	0,8	0,18	0,7
4,6	0,18	0,7	0,18	0,7	0,17	0,7	0,17	0,7
4,8	0,17	0,7	0,17	0,7	0,17	0,7	0,16	0,7
5	0,17	0,7	0,16	0,7	0,16	0,7	0,16	0,7

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe astronomique sur cible de contraste 2%

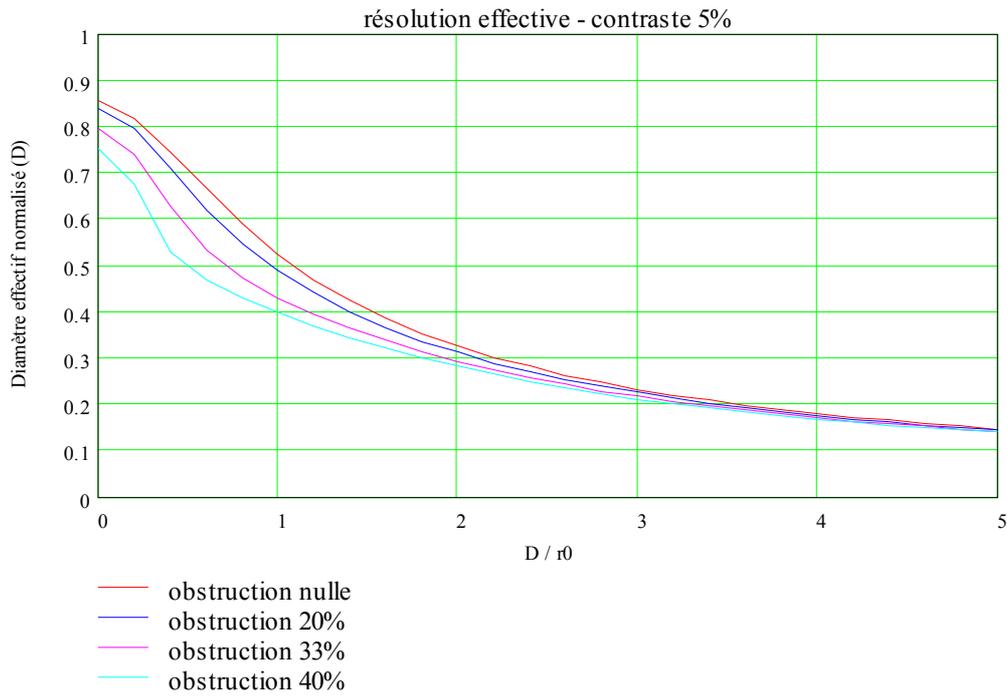


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,69	2,0	0,58	1,7	0,46	1,4	0,41	1,2
0,2	0,66	1,9	0,56	1,6	0,45	1,3	0,40	1,2
0,4	0,60	1,7	0,51	1,5	0,43	1,2	0,39	1,1
0,6	0,53	1,5	0,47	1,4	0,40	1,2	0,36	1,1
0,8	0,48	1,4	0,42	1,2	0,37	1,1	0,34	1,0
1	0,43	1,2	0,39	1,1	0,35	1,0	0,32	0,9
1,2	0,39	1,1	0,35	1,0	0,32	0,9	0,30	0,9
1,4	0,35	1,0	0,32	0,9	0,30	0,9	0,28	0,8
1,6	0,32	0,9	0,30	0,9	0,28	0,8	0,26	0,8
1,8	0,30	0,8	0,28	0,8	0,26	0,7	0,25	0,7
2	0,28	0,8	0,26	0,7	0,24	0,7	0,23	0,7
2,2	0,26	0,7	0,24	0,7	0,23	0,7	0,22	0,6
2,4	0,24	0,7	0,23	0,6	0,22	0,6	0,21	0,6
2,6	0,23	0,6	0,22	0,6	0,20	0,6	0,20	0,6
2,8	0,21	0,6	0,20	0,6	0,19	0,6	0,19	0,5
3	0,20	0,6	0,19	0,5	0,18	0,5	0,18	0,5
3,2	0,19	0,5	0,18	0,5	0,18	0,5	0,17	0,5
3,4	0,18	0,5	0,17	0,5	0,17	0,5	0,16	0,5
3,6	0,17	0,5	0,17	0,5	0,16	0,5	0,16	0,4
3,8	0,16	0,5	0,16	0,5	0,15	0,4	0,15	0,4
4	0,16	0,4	0,15	0,4	0,15	0,4	0,14	0,4
4,2	0,15	0,4	0,15	0,4	0,14	0,4	0,14	0,4
4,4	0,15	0,4	0,14	0,4	0,14	0,4	0,13	0,4
4,6	0,14	0,4	0,14	0,4	0,13	0,4	0,13	0,4
4,8	0,13	0,4	0,13	0,4	0,13	0,4	0,12	0,4
5	0,13	0,4	0,13	0,4	0,12	0,3	0,12	0,3

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe astronomique sur cible de contraste 5%

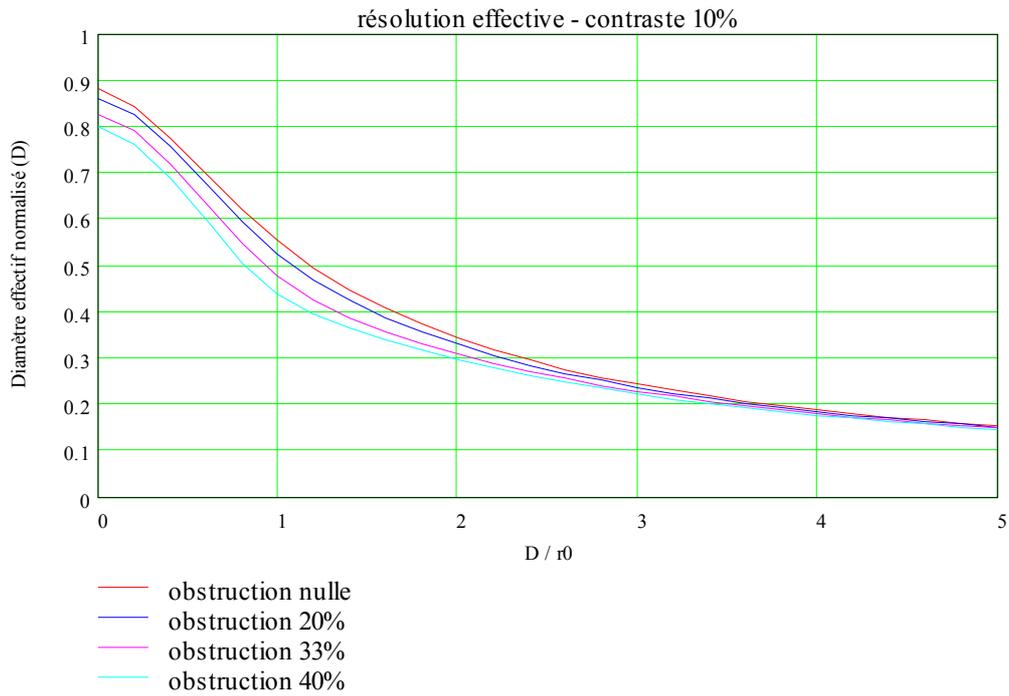


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,86	3,6	0,84	3,7	0,80	4,0	0,75	4,2
0,2	0,82	3,5	0,80	3,5	0,74	3,9	0,67	4,0
0,4	0,75	3,2	0,71	3,3	0,63	3,3	0,53	2,9
0,6	0,67	2,8	0,62	2,8	0,53	2,6	0,47	2,2
0,8	0,59	2,5	0,55	2,4	0,47	2,1	0,43	1,9
1	0,53	2,2	0,49	2,1	0,43	1,9	0,40	1,7
1,2	0,47	2,0	0,44	1,9	0,40	1,7	0,37	1,6
1,4	0,43	1,8	0,40	1,7	0,37	1,6	0,35	1,5
1,6	0,39	1,6	0,37	1,6	0,34	1,4	0,32	1,4
1,8	0,36	1,5	0,34	1,4	0,32	1,3	0,30	1,3
2	0,33	1,4	0,31	1,3	0,29	1,2	0,28	1,2
2,2	0,30	1,3	0,29	1,2	0,28	1,2	0,27	1,1
2,4	0,28	1,2	0,27	1,1	0,26	1,1	0,25	1,1
2,6	0,26	1,1	0,25	1,1	0,24	1,0	0,24	1,0
2,8	0,25	1,0	0,24	1,0	0,23	1,0	0,22	0,9
3	0,23	1,0	0,23	0,9	0,22	0,9	0,21	0,9
3,2	0,22	0,9	0,21	0,9	0,21	0,9	0,20	0,9
3,4	0,21	0,9	0,20	0,8	0,20	0,8	0,19	0,8
3,6	0,20	0,8	0,19	0,8	0,19	0,8	0,18	0,8
3,8	0,19	0,8	0,19	0,8	0,18	0,8	0,18	0,7
4	0,18	0,8	0,18	0,7	0,17	0,7	0,17	0,7
4,2	0,17	0,7	0,17	0,7	0,17	0,7	0,16	0,7
4,4	0,17	0,7	0,16	0,7	0,16	0,7	0,16	0,7
4,6	0,16	0,7	0,16	0,7	0,15	0,6	0,15	0,6
4,8	0,15	0,6	0,15	0,6	0,15	0,6	0,15	0,6
5	0,15	0,6	0,15	0,6	0,14	0,6	0,14	0,6

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe astronomique sur cible de contraste 10%

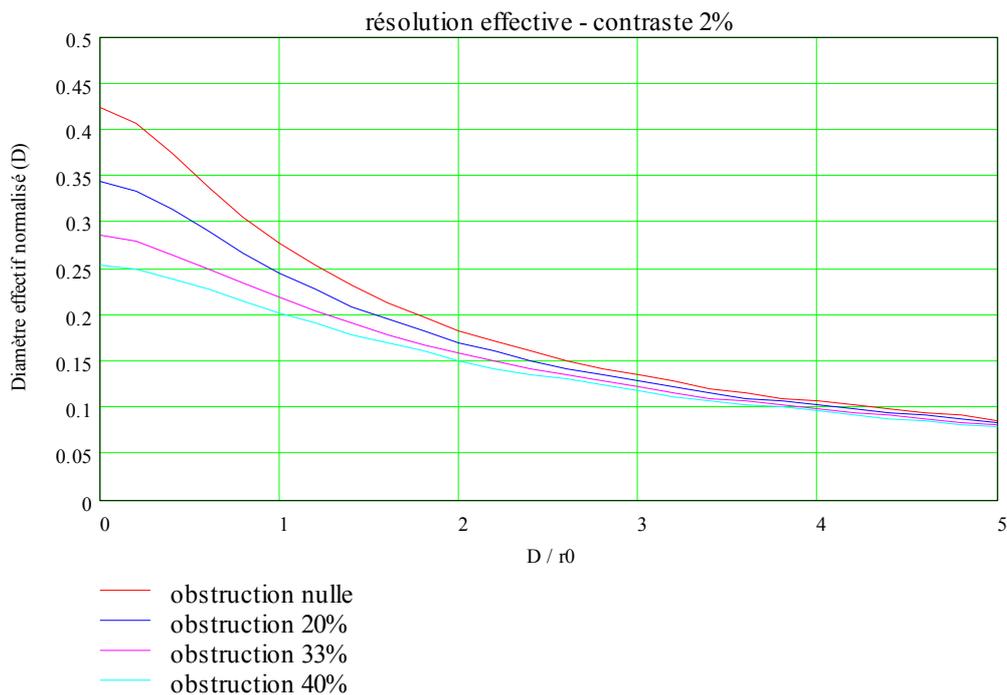


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,88	3,7	0,86	3,8	0,83	4,0	0,80	4,1
0,2	0,85	3,6	0,83	3,7	0,79	3,9	0,76	4,0
0,4	0,78	3,4	0,76	3,5	0,72	3,6	0,69	3,7
0,6	0,70	3,1	0,68	3,2	0,63	3,4	0,60	3,6
0,8	0,62	2,8	0,60	2,9	0,55	2,9	0,51	2,9
1	0,55	2,5	0,53	2,5	0,48	2,4	0,44	2,3
1,2	0,50	2,2	0,47	2,2	0,43	2,1	0,40	1,9
1,4	0,45	2,0	0,43	1,9	0,39	1,8	0,37	1,7
1,6	0,41	1,8	0,39	1,8	0,36	1,6	0,34	1,5
1,8	0,37	1,7	0,36	1,6	0,33	1,5	0,32	1,4
2	0,34	1,5	0,33	1,5	0,31	1,4	0,30	1,3
2,2	0,32	1,4	0,31	1,4	0,29	1,3	0,28	1,3
2,4	0,30	1,3	0,29	1,3	0,27	1,2	0,26	1,2
2,6	0,28	1,2	0,27	1,2	0,26	1,2	0,25	1,1
2,8	0,26	1,2	0,25	1,1	0,24	1,1	0,24	1,1
3	0,25	1,1	0,24	1,1	0,23	1,0	0,22	1,0
3,2	0,23	1,0	0,23	1,0	0,22	1,0	0,21	0,9
3,4	0,22	1,0	0,21	0,9	0,21	0,9	0,20	0,9
3,6	0,21	0,9	0,20	0,9	0,20	0,9	0,19	0,9
3,8	0,20	0,9	0,19	0,9	0,19	0,8	0,19	0,8
4	0,19	0,8	0,19	0,8	0,18	0,8	0,18	0,8
4,2	0,18	0,8	0,18	0,8	0,17	0,8	0,17	0,8
4,4	0,17	0,7	0,17	0,8	0,17	0,7	0,16	0,7
4,6	0,17	0,7	0,16	0,7	0,16	0,7	0,16	0,7
4,8	0,16	0,7	0,16	0,7	0,15	0,7	0,15	0,7
5	0,15	0,7	0,15	0,7	0,15	0,7	0,15	0,7

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe standard sur cible de contraste 2%

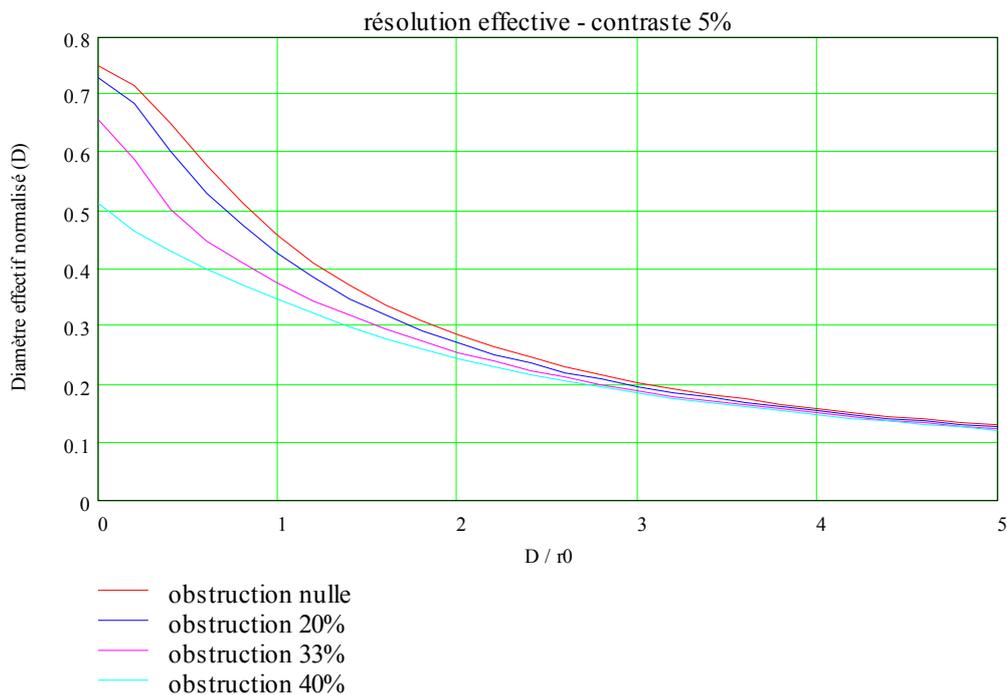


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,43	1,3	0,35	1,1	0,29	0,9	0,26	0,8
0,2	0,41	1,3	0,33	1,1	0,28	0,9	0,25	0,8
0,4	0,37	1,2	0,31	1,0	0,27	0,8	0,24	0,8
0,6	0,34	1,1	0,29	0,9	0,25	0,8	0,23	0,7
0,8	0,31	1,0	0,27	0,8	0,23	0,7	0,22	0,7
1	0,28	0,9	0,25	0,8	0,22	0,7	0,20	0,6
1,2	0,25	0,8	0,23	0,7	0,20	0,6	0,19	0,6
1,4	0,23	0,7	0,21	0,7	0,19	0,6	0,18	0,6
1,6	0,21	0,7	0,20	0,6	0,18	0,6	0,17	0,5
1,8	0,20	0,6	0,18	0,6	0,17	0,5	0,16	0,5
2	0,18	0,6	0,17	0,5	0,16	0,5	0,15	0,5
2,2	0,17	0,5	0,16	0,5	0,15	0,5	0,14	0,4
2,4	0,16	0,5	0,15	0,5	0,14	0,4	0,14	0,4
2,6	0,15	0,5	0,14	0,4	0,14	0,4	0,13	0,4
2,8	0,14	0,4	0,14	0,4	0,13	0,4	0,12	0,4
3	0,14	0,4	0,13	0,4	0,12	0,4	0,12	0,4
3,2	0,13	0,4	0,12	0,4	0,12	0,4	0,11	0,3
3,4	0,12	0,4	0,12	0,4	0,11	0,3	0,11	0,3
3,6	0,12	0,4	0,11	0,3	0,11	0,3	0,10	0,3
3,8	0,11	0,3	0,11	0,3	0,10	0,3	0,10	0,3
4	0,11	0,3	0,10	0,3	0,10	0,3	0,10	0,3
4,2	0,10	0,3	0,10	0,3	0,10	0,3	0,09	0,3
4,4	0,10	0,3	0,10	0,3	0,09	0,3	0,09	0,3
4,6	0,10	0,3	0,09	0,3	0,09	0,3	0,09	0,3
4,8	0,09	0,3	0,09	0,3	0,08	0,3	0,08	0,3
5	0,09	0,3	0,08	0,3	0,08	0,3	0,08	0,2

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe standard sur cible de contraste 5%

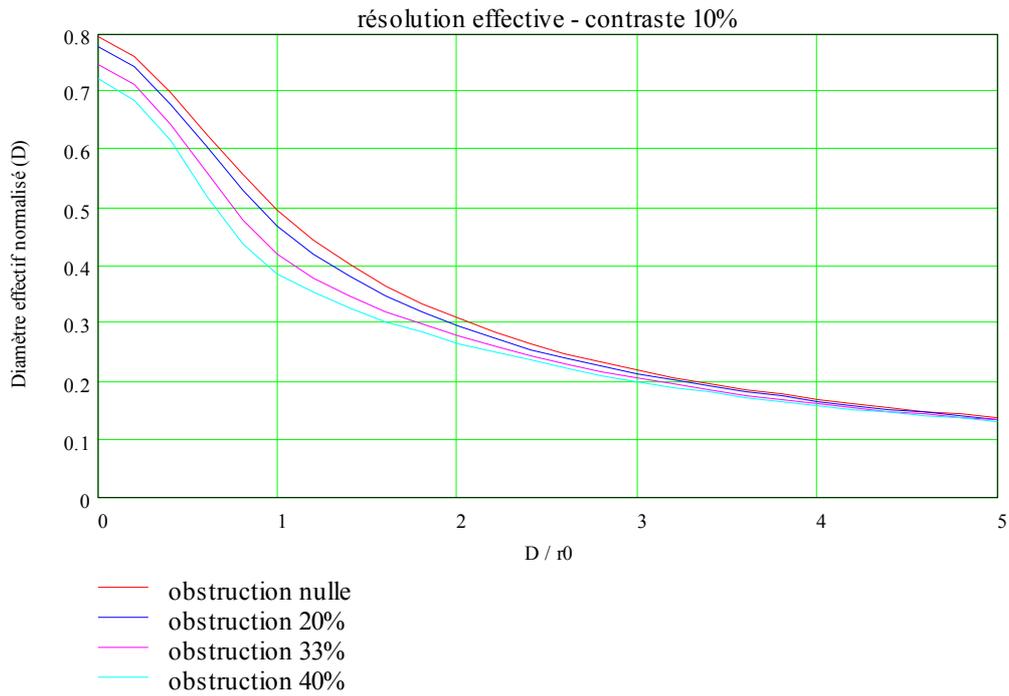


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,75	3,4	0,73	3,6	0,66	3,9	0,51	3,3
0,2	0,72	3,3	0,69	3,5	0,59	3,5	0,47	2,5
0,4	0,65	3,0	0,60	3,0	0,50	2,7	0,43	2,1
0,6	0,58	2,7	0,53	2,6	0,45	2,2	0,40	1,9
0,8	0,51	2,4	0,47	2,2	0,41	1,9	0,37	1,7
1	0,46	2,1	0,43	2,0	0,38	1,8	0,35	1,6
1,2	0,41	1,9	0,38	1,8	0,35	1,6	0,32	1,5
1,4	0,37	1,7	0,35	1,6	0,32	1,5	0,30	1,4
1,6	0,34	1,5	0,32	1,5	0,30	1,4	0,28	1,3
1,8	0,31	1,4	0,29	1,3	0,27	1,3	0,26	1,2
2	0,29	1,3	0,27	1,3	0,26	1,2	0,25	1,1
2,2	0,26	1,2	0,25	1,2	0,24	1,1	0,23	1,1
2,4	0,25	1,1	0,24	1,1	0,23	1,0	0,22	1,0
2,6	0,23	1,0	0,22	1,0	0,21	1,0	0,21	0,9
2,8	0,22	1,0	0,21	0,9	0,20	1,0	0,20	0,9
3	0,20	0,9	0,20	0,9	0,19	0,9	0,19	0,8
3,2	0,19	0,9	0,19	0,9	0,18	0,8	0,18	0,8
3,4	0,18	0,8	0,18	0,8	0,17	0,8	0,17	0,8
3,6	0,17	0,8	0,17	0,8	0,16	0,8	0,16	0,7
3,8	0,17	0,8	0,16	0,7	0,16	0,7	0,15	0,7
4	0,16	0,7	0,15	0,7	0,15	0,7	0,15	0,7
4,2	0,15	0,7	0,15	0,7	0,14	0,6	0,14	0,7
4,4	0,15	0,7	0,14	0,7	0,14	0,6	0,14	0,6
4,6	0,14	0,7	0,14	0,6	0,13	0,6	0,13	0,6
4,8	0,13	0,6	0,13	0,6	0,13	0,6	0,13	0,6
5	0,13	0,6	0,13	0,6	0,12	0,6	0,12	0,6

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe standard sur cible de contraste 10%



Diamètre effectif apparent

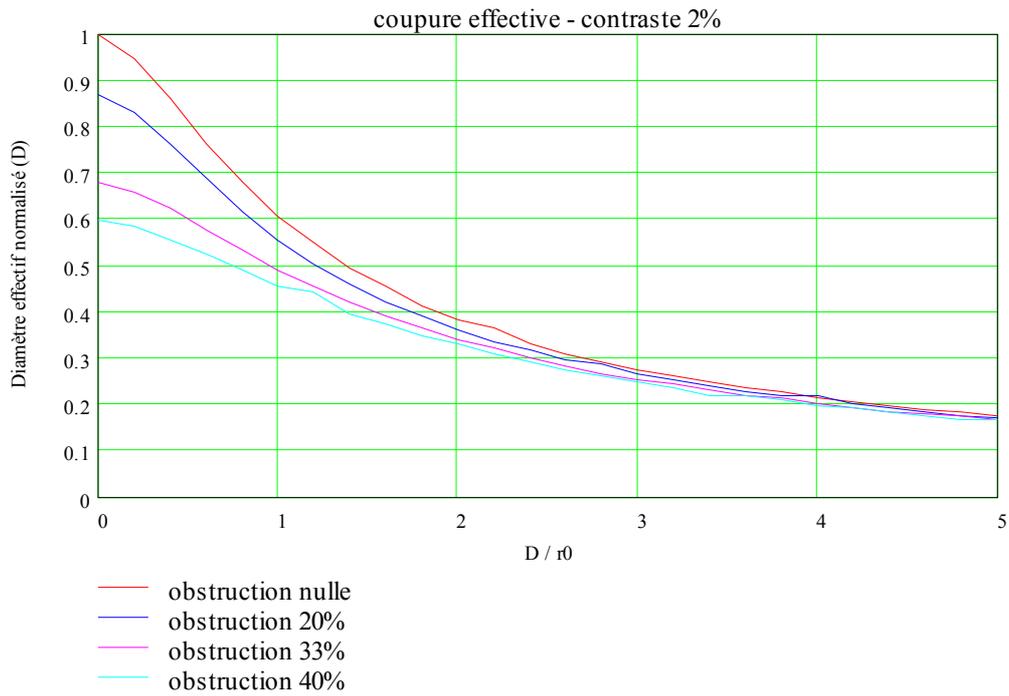
Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,80	3,6	0,78	3,8	0,75	4,0	0,72	4,0
0,2	0,76	3,6	0,74	3,7	0,71	3,9	0,69	4,0
0,4	0,70	3,4	0,68	3,4	0,65	3,6	0,62	3,8
0,6	0,63	3,1	0,61	3,1	0,56	3,4	0,52	3,4
0,8	0,56	2,8	0,53	2,8	0,48	2,8	0,44	2,7
1	0,50	2,5	0,47	2,4	0,42	2,3	0,39	2,1
1,2	0,45	2,2	0,42	2,1	0,38	2,0	0,35	1,8
1,4	0,40	2,0	0,38	1,9	0,35	1,7	0,33	1,6
1,6	0,37	1,8	0,35	1,7	0,32	1,6	0,30	1,5
1,8	0,33	1,6	0,32	1,6	0,30	1,5	0,29	1,4
2	0,31	1,5	0,30	1,5	0,28	1,4	0,27	1,3
2,2	0,29	1,4	0,28	1,4	0,26	1,3	0,25	1,2
2,4	0,27	1,3	0,26	1,3	0,24	1,2	0,24	1,2
2,6	0,25	1,2	0,24	1,2	0,23	1,1	0,22	1,1
2,8	0,23	1,1	0,23	1,1	0,22	1,1	0,21	1,1
3	0,22	1,1	0,21	1,0	0,21	1,0	0,20	1,0
3,2	0,21	1,0	0,20	1,0	0,20	1,0	0,19	1,0
3,4	0,20	0,9	0,19	0,9	0,19	0,9	0,18	0,9
3,6	0,19	0,9	0,18	0,9	0,18	0,9	0,17	0,9
3,8	0,18	0,9	0,17	0,9	0,17	0,8	0,17	0,8
4	0,17	0,8	0,17	0,8	0,16	0,8	0,16	0,8
4,2	0,16	0,8	0,16	0,8	0,16	0,8	0,15	0,8
4,4	0,16	0,7	0,15	0,7	0,15	0,7	0,15	0,8
4,6	0,15	0,7	0,15	0,7	0,14	0,7	0,14	0,7
4,8	0,14	0,7	0,14	0,7	0,14	0,7	0,14	0,7
5	0,14	0,7	0,14	0,7	0,13	0,6	0,13	0,7

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Annexe F

**Turbulence en poses longues - paramètre α égal à 0
Diamètre effectif et grossissement optimal normalisés
calculés par application du critère de fréquence de coupure effective**

Instruments limités par la diffraction sur cible de contraste 2%

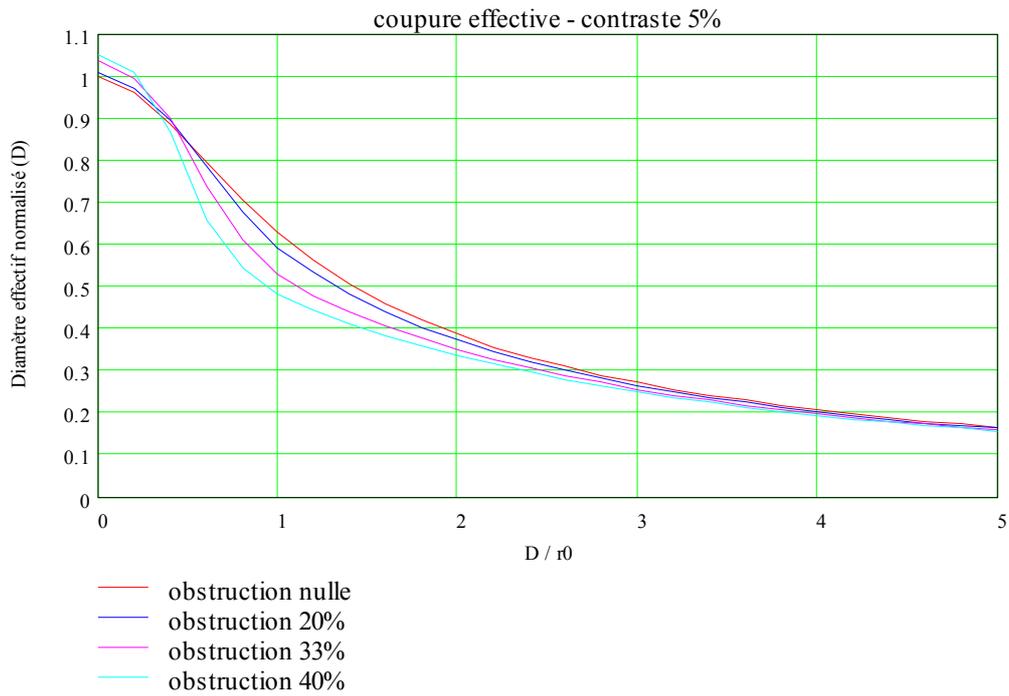


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	1,00	2,5	0,87	2,1	0,68	1,6	0,60	1,5
0,2	0,95	2,3	0,83	2,0	0,66	1,7	0,59	1,5
0,4	0,86	2,1	0,76	1,8	0,62	1,5	0,56	1,5
0,6	0,76	1,9	0,69	1,8	0,58	1,4	0,53	1,4
0,8	0,68	1,6	0,62	1,5	0,54	1,3	0,49	1,2
1	0,61	1,5	0,56	1,3	0,49	1,0	0,46	1,0
1,2	0,55	1,5	0,50	1,2	0,46	1,1	0,44	1,0
1,4	0,50	1,2	0,46	1,1	0,42	1,0	0,40	1,0
1,6	0,46	1,1	0,42	1,0	0,39	1,0	0,37	0,9
1,8	0,41	1,1	0,39	1,0	0,37	0,9	0,35	0,9
2	0,38	0,9	0,36	0,8	0,34	0,8	0,33	0,8
2,2	0,37	0,9	0,34	0,8	0,32	0,8	0,31	0,7
2,4	0,33	0,8	0,32	0,8	0,30	0,8	0,29	0,7
2,6	0,31	0,7	0,30	0,8	0,29	0,7	0,28	0,7
2,8	0,29	0,7	0,29	0,8	0,27	0,7	0,26	0,6
3	0,28	0,7	0,27	0,6	0,25	0,7	0,25	0,6
3,2	0,26	0,6	0,25	0,6	0,24	0,7	0,24	0,6
3,4	0,25	0,6	0,24	0,6	0,23	0,5	0,22	0,7
3,6	0,24	0,6	0,23	0,6	0,22	0,5	0,22	0,5
3,8	0,23	0,6	0,22	0,5	0,21	0,5	0,21	0,5
4	0,22	0,5	0,22	0,5	0,20	0,5	0,20	0,5
4,2	0,21	0,5	0,20	0,5	0,20	0,5	0,19	0,5
4,4	0,20	0,5	0,19	0,5	0,18	0,4	0,18	0,4
4,6	0,19	0,5	0,18	0,5	0,18	0,5	0,18	0,4
4,8	0,18	0,5	0,18	0,5	0,18	0,4	0,17	0,4
5	0,18	0,4	0,17	0,4	0,17	0,4	0,17	0,4

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments limités par la diffraction sur cible de contraste 5%

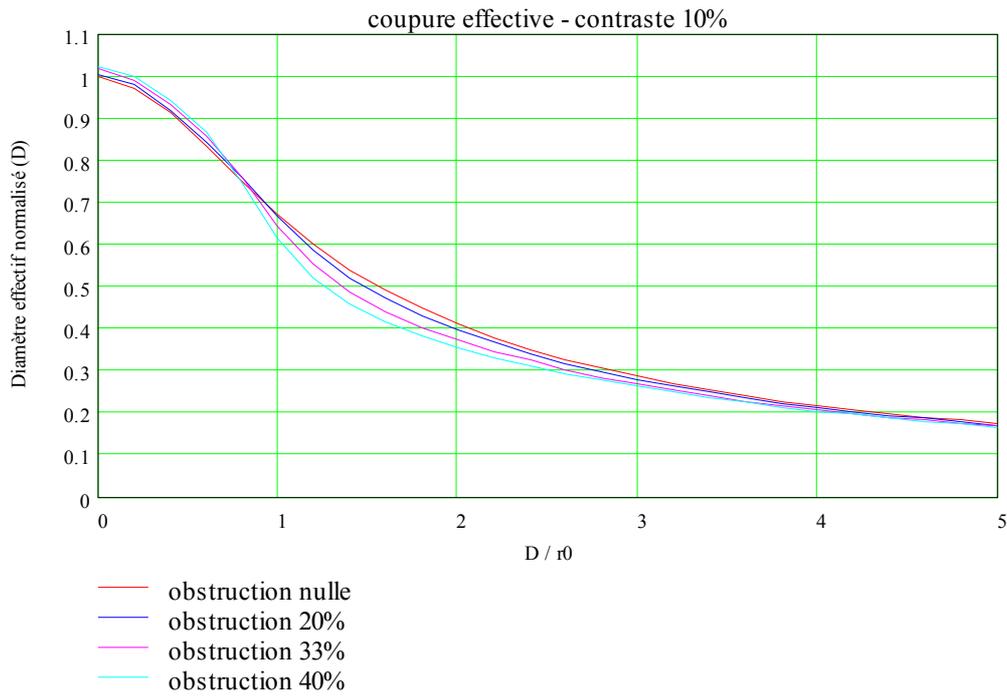


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	1,00	4,5	1,01	4,9	1,04	4,5	1,05	4,4
0,2	0,96	4,2	0,97	4,5	1,00	4,5	1,01	4,2
0,4	0,88	3,8	0,90	3,8	0,90	4,5	0,87	4,2
0,6	0,79	3,8	0,79	3,7	0,74	3,6	0,66	3,4
0,8	0,71	3,2	0,68	3,3	0,61	3,0	0,54	2,7
1	0,63	3,0	0,59	2,8	0,53	2,6	0,48	2,3
1,2	0,56	2,6	0,54	2,4	0,48	2,2	0,44	2,0
1,4	0,51	2,4	0,49	2,3	0,44	2,1	0,41	1,9
1,6	0,46	2,3	0,44	2,1	0,41	1,9	0,39	1,7
1,8	0,42	2,0	0,40	2,0	0,38	1,9	0,36	1,6
2	0,39	1,7	0,37	1,7	0,35	1,6	0,34	1,4
2,2	0,36	1,6	0,35	1,5	0,33	1,5	0,32	1,5
2,4	0,33	1,6	0,32	1,6	0,31	1,4	0,30	1,5
2,6	0,31	1,5	0,30	1,5	0,29	1,5	0,28	1,4
2,8	0,29	1,5	0,28	1,5	0,27	1,4	0,26	1,3
3	0,27	1,4	0,27	1,4	0,26	1,3	0,25	1,3
3,2	0,26	1,3	0,25	1,3	0,24	1,3	0,24	1,1
3,4	0,24	1,3	0,24	1,2	0,23	1,2	0,23	1,2
3,6	0,23	1,1	0,23	1,2	0,22	1,2	0,21	1,2
3,8	0,22	1,1	0,21	1,1	0,21	1,1	0,20	1,1
4	0,21	1,0	0,20	1,1	0,20	0,9	0,20	1,0
4,2	0,20	1,1	0,19	1,1	0,19	1,0	0,19	1,0
4,4	0,19	1,0	0,19	1,0	0,18	1,0	0,18	1,0
4,6	0,18	1,0	0,18	0,9	0,17	0,9	0,17	1,0
4,8	0,17	1,0	0,17	0,9	0,17	0,9	0,16	0,9
5	0,17	0,9	0,16	0,9	0,16	0,8	0,16	0,8

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments limités par la diffraction sur cible de contraste 10%

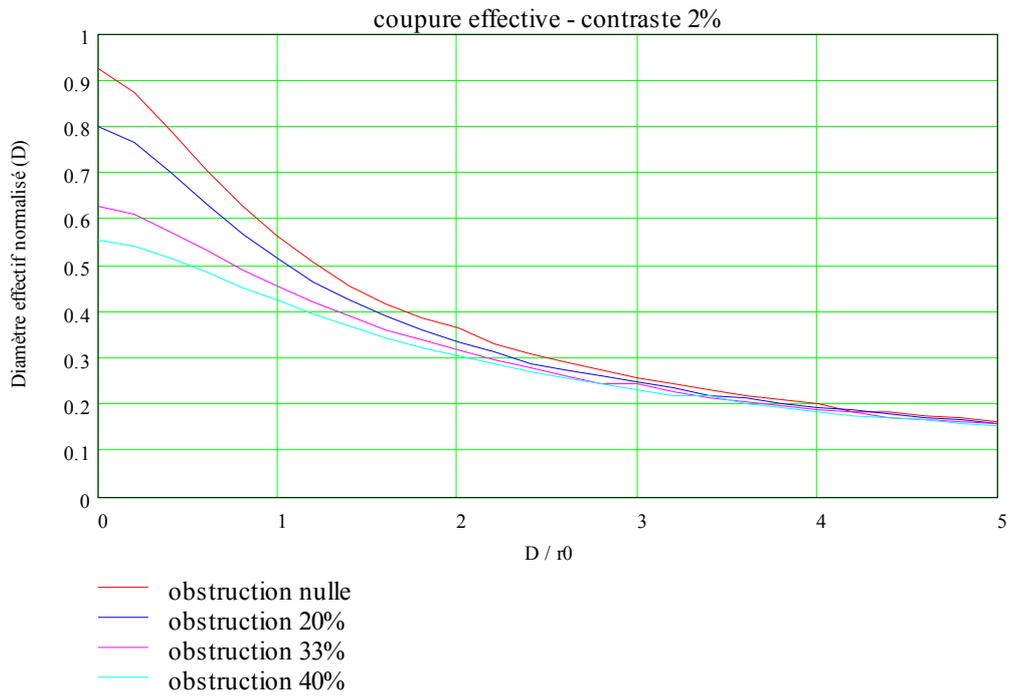


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	1,00	5,4	1,01	5,4	1,02	5,5	1,03	5,7
0,2	0,97	5,1	0,98	5,3	0,99	5,5	1,00	5,3
0,4	0,91	5,1	0,92	5,2	0,93	5,1	0,94	5,3
0,6	0,84	4,8	0,84	4,9	0,86	4,8	0,87	5,1
0,8	0,75	4,2	0,76	4,4	0,76	4,6	0,74	4,0
1	0,67	3,9	0,67	4,0	0,65	4,0	0,62	3,7
1,2	0,60	3,2	0,59	3,4	0,56	3,3	0,52	3,2
1,4	0,54	3,3	0,52	3,1	0,49	3,1	0,46	2,8
1,6	0,49	3,1	0,47	3,1	0,44	3,1	0,42	2,5
1,8	0,45	2,8	0,43	2,7	0,40	2,4	0,38	2,2
2	0,41	2,5	0,40	3,1	0,37	2,2	0,36	2,1
2,2	0,38	2,2	0,37	2,0	0,35	2,1	0,33	1,8
2,4	0,35	2,3	0,34	2,0	0,33	2,0	0,31	1,9
2,6	0,33	2,0	0,32	1,7	0,30	1,7	0,30	1,8
2,8	0,31	1,9	0,30	1,8	0,29	1,7	0,28	1,7
3	0,29	1,8	0,28	1,6	0,27	1,7	0,26	1,5
3,2	0,27	1,6	0,26	1,6	0,26	1,6	0,25	1,5
3,4	0,26	1,5	0,25	1,5	0,24	1,6	0,24	1,6
3,6	0,24	1,5	0,24	1,5	0,23	1,5	0,23	1,5
3,8	0,23	1,5	0,23	1,5	0,22	1,5	0,22	1,5
4	0,22	1,5	0,21	1,5	0,21	1,5	0,21	1,5
4,2	0,21	1,5	0,20	1,5	0,20	1,2	0,20	1,3
4,4	0,20	1,5	0,20	1,2	0,19	1,3	0,19	1,2
4,6	0,19	1,5	0,19	1,1	0,18	1,2	0,18	1,1
4,8	0,18	1,2	0,18	1,5	0,18	1,5	0,17	1,1
5	0,18	1,1	0,17	1,0	0,17	1,1	0,17	1,1

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe professionnelle sur cible de contraste 2%

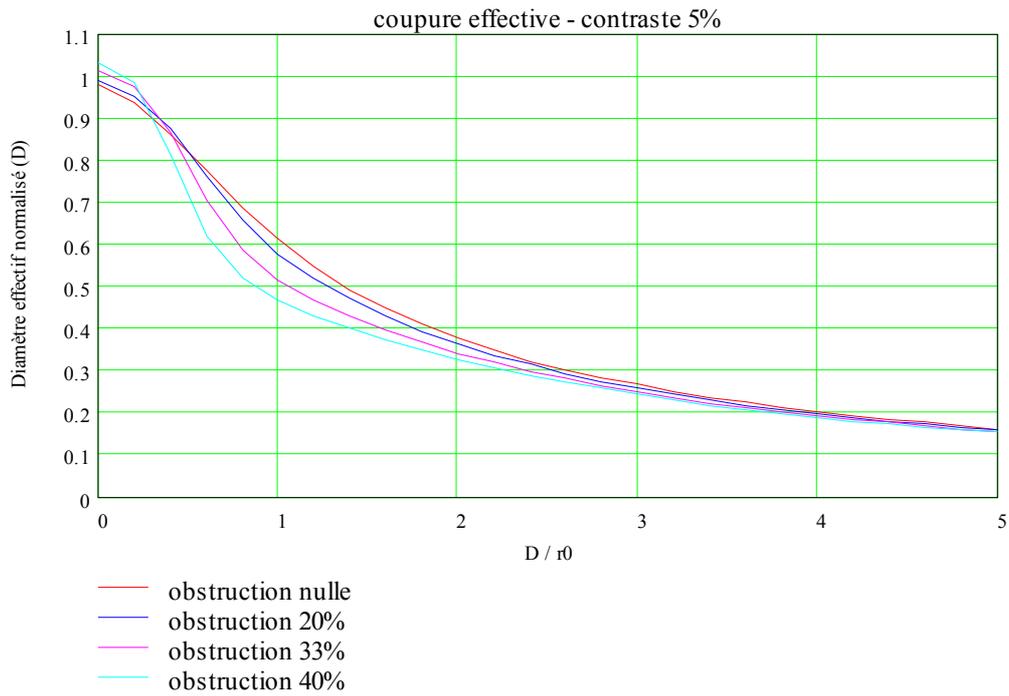


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,93	2,3	0,80	2,1	0,63	1,6	0,55	1,5
0,2	0,88	2,3	0,77	1,9	0,61	1,5	0,54	1,3
0,4	0,80	2,0	0,70	1,9	0,57	1,4	0,52	1,3
0,6	0,71	1,8	0,63	1,7	0,54	1,3	0,49	1,2
0,8	0,63	1,6	0,57	1,4	0,49	1,5	0,45	1,2
1	0,56	1,4	0,52	1,3	0,46	1,1	0,43	1,0
1,2	0,51	1,2	0,47	1,2	0,42	1,0	0,40	1,0
1,4	0,46	0,9	0,43	1,0	0,39	1,0	0,37	0,9
1,6	0,42	1,0	0,39	1,0	0,36	0,9	0,35	0,9
1,8	0,39	1,0	0,36	0,9	0,34	0,9	0,32	0,8
2	0,37	0,8	0,34	0,8	0,32	0,8	0,30	0,7
2,2	0,33	0,8	0,32	0,8	0,30	0,7	0,29	0,7
2,4	0,31	0,8	0,29	0,7	0,28	0,7	0,27	0,6
2,6	0,29	0,7	0,28	0,7	0,26	0,6	0,26	0,6
2,8	0,28	0,7	0,26	0,7	0,24	0,7	0,24	0,6
3	0,26	0,6	0,25	0,6	0,24	0,5	0,23	0,6
3,2	0,24	0,6	0,24	0,5	0,23	0,6	0,22	0,5
3,4	0,23	0,6	0,22	0,7	0,21	0,5	0,21	0,5
3,6	0,22	0,5	0,21	0,5	0,21	0,5	0,20	0,5
3,8	0,21	0,5	0,20	0,5	0,20	0,5	0,19	0,4
4	0,20	0,5	0,20	0,5	0,19	0,5	0,19	0,5
4,2	0,19	0,6	0,19	0,5	0,18	0,4	0,18	0,5
4,4	0,18	0,4	0,18	0,4	0,17	0,4	0,17	0,4
4,6	0,18	0,4	0,17	0,4	0,17	0,4	0,17	0,4
4,8	0,17	0,4	0,17	0,4	0,16	0,4	0,16	0,4
5	0,17	0,4	0,16	0,4	0,16	0,4	0,16	0,4

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe professionnelle sur cible de contraste 5%

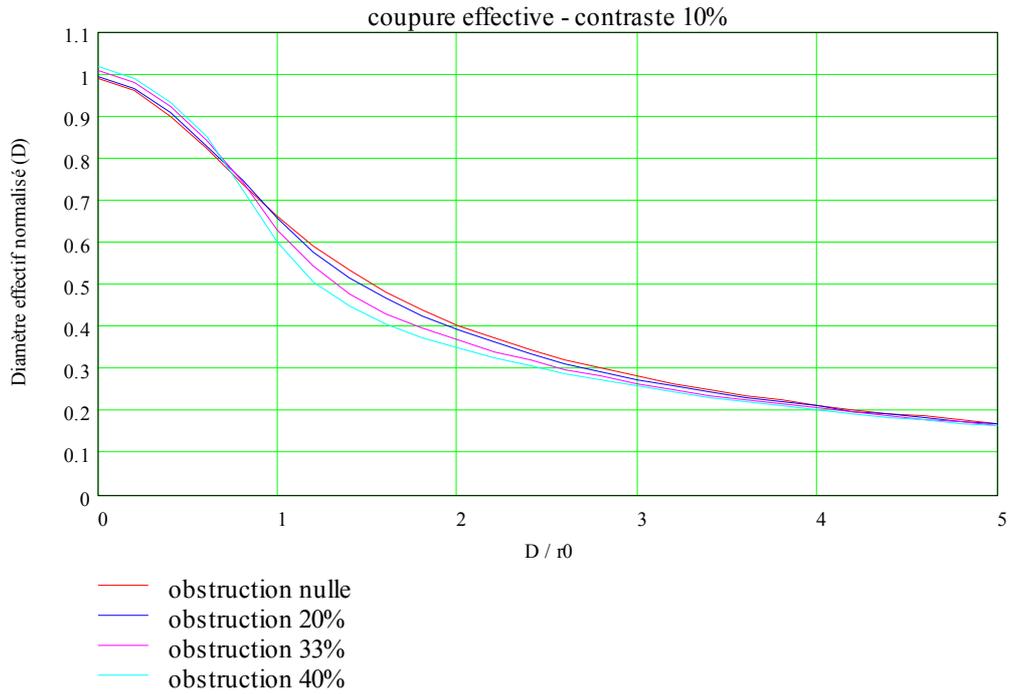


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,98	4,2	0,99	4,6	1,02	4,2	1,03	4,5
0,2	0,94	4,2	0,95	4,4	0,98	4,2	0,99	4,6
0,4	0,86	3,9	0,88	4,2	0,87	4,2	0,82	4,4
0,6	0,78	3,6	0,76	3,5	0,71	3,6	0,62	3,1
0,8	0,69	3,3	0,66	3,1	0,59	2,9	0,52	2,7
1	0,61	2,7	0,58	2,9	0,52	2,4	0,47	2,3
1,2	0,55	2,5	0,52	2,5	0,47	2,1	0,43	2,0
1,4	0,49	2,4	0,47	2,1	0,43	2,0	0,40	1,8
1,6	0,45	2,2	0,43	2,0	0,40	1,7	0,38	1,8
1,8	0,41	2,0	0,40	1,8	0,37	1,5	0,35	1,6
2	0,38	1,8	0,36	1,7	0,34	1,6	0,33	1,4
2,2	0,35	1,5	0,34	1,5	0,32	1,5	0,31	1,5
2,4	0,32	1,6	0,32	1,5	0,30	1,4	0,29	1,5
2,6	0,30	1,5	0,29	1,5	0,28	1,4	0,27	1,4
2,8	0,28	1,3	0,28	1,4	0,27	1,4	0,26	1,3
3	0,27	1,4	0,26	1,3	0,25	1,3	0,24	1,3
3,2	0,25	1,4	0,25	1,3	0,24	1,3	0,23	1,2
3,4	0,24	1,3	0,23	1,2	0,23	1,2	0,22	1,1
3,6	0,23	1,2	0,22	1,0	0,21	0,9	0,21	1,0
3,8	0,21	1,2	0,21	1,1	0,20	1,1	0,20	1,1
4	0,20	1,1	0,20	0,9	0,19	1,0	0,19	1,0
4,2	0,19	1,0	0,19	1,0	0,18	0,9	0,18	1,0
4,4	0,19	1,0	0,18	0,8	0,18	0,9	0,18	0,9
4,6	0,18	1,0	0,17	1,0	0,17	0,8	0,17	0,8
4,8	0,17	0,9	0,17	0,9	0,16	0,9	0,16	0,8
5	0,16	0,7	0,16	0,8	0,16	0,9	0,15	0,8

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe professionnelle sur cible de contraste 10%

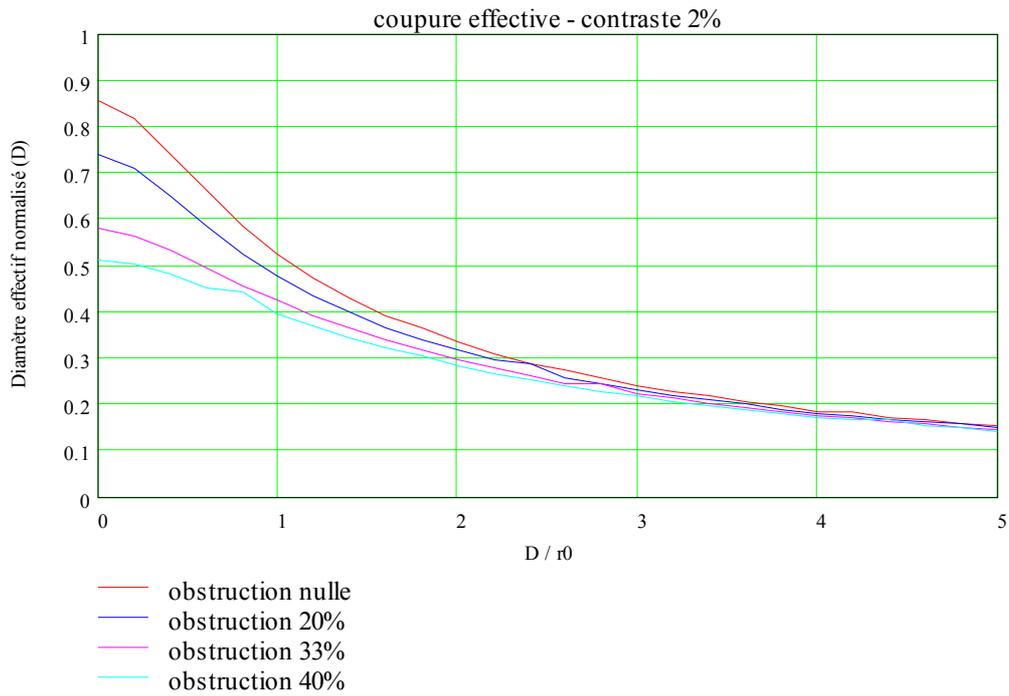


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,99	4,9	1,00	5,6	1,01	4,8	1,02	5,4
0,2	0,96	5,6	0,97	5,5	0,98	5,0	0,99	5,3
0,4	0,90	4,8	0,91	5,1	0,92	5,1	0,93	5,8
0,6	0,82	4,6	0,83	4,6	0,85	4,7	0,86	4,9
0,8	0,74	4,5	0,75	4,5	0,74	4,3	0,72	4,2
1	0,66	3,7	0,66	3,8	0,63	3,7	0,60	3,6
1,2	0,59	3,6	0,58	3,5	0,54	3,1	0,51	3,2
1,4	0,54	3,4	0,51	3,1	0,48	3,1	0,45	2,7
1,6	0,48	3,1	0,47	3,1	0,43	2,5	0,41	2,6
1,8	0,44	3,1	0,43	2,7	0,40	2,5	0,38	2,2
2	0,40	3,1	0,39	2,2	0,37	2,1	0,35	2,1
2,2	0,37	2,2	0,36	2,2	0,34	2,0	0,33	2,0
2,4	0,35	2,2	0,34	1,8	0,32	2,0	0,31	1,8
2,6	0,32	1,8	0,31	1,9	0,30	1,8	0,29	1,8
2,8	0,30	1,9	0,29	1,8	0,28	1,7	0,28	1,6
3	0,28	1,7	0,28	1,7	0,27	1,6	0,26	1,6
3,2	0,27	1,5	0,26	1,6	0,25	1,5	0,25	1,5
3,4	0,25	1,6	0,25	1,5	0,24	1,5	0,23	1,5
3,6	0,24	1,5	0,23	1,5	0,23	1,5	0,22	1,5
3,8	0,23	1,5	0,22	1,5	0,22	1,5	0,21	1,5
4	0,22	1,5	0,21	1,5	0,21	1,3	0,20	1,3
4,2	0,21	1,3	0,20	1,5	0,20	1,3	0,19	1,2
4,4	0,20	1,3	0,19	1,2	0,19	1,2	0,19	1,2
4,6	0,19	1,2	0,18	1,1	0,18	1,2	0,18	1,1
4,8	0,18	1,0	0,18	1,1	0,17	1,1	0,17	1,0
5	0,17	1,5	0,17	1,0	0,17	1,0	0,16	1,0

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe haute résolution sur cible de contraste 2%

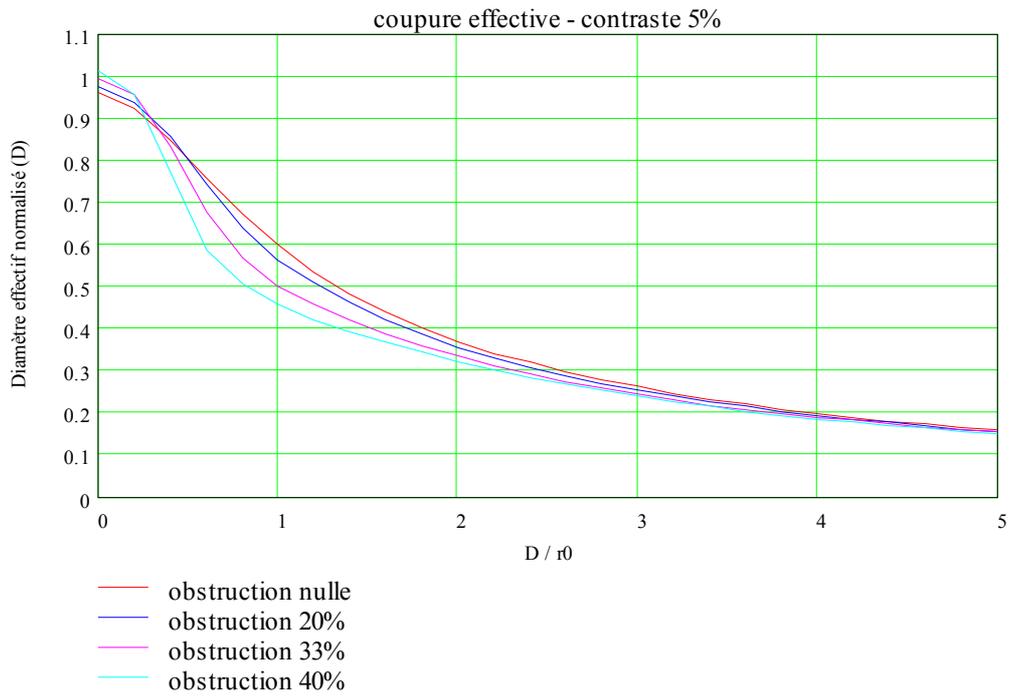


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,86	2,2	0,74	1,9	0,58	1,5	0,51	1,3
0,2	0,82	2,0	0,71	1,8	0,57	1,4	0,50	1,3
0,4	0,74	1,9	0,65	1,7	0,54	1,3	0,48	1,2
0,6	0,66	1,6	0,59	1,5	0,50	1,2	0,45	1,1
0,8	0,59	1,5	0,53	1,5	0,46	1,1	0,44	0,9
1	0,53	1,3	0,48	1,2	0,43	1,1	0,40	1,0
1,2	0,48	1,1	0,44	1,0	0,39	1,0	0,37	0,9
1,4	0,43	1,0	0,40	1,0	0,37	0,8	0,34	0,8
1,6	0,39	1,0	0,37	0,9	0,34	0,8	0,32	0,8
1,8	0,37	0,8	0,34	0,8	0,32	0,8	0,30	0,7
2	0,34	0,8	0,32	0,8	0,30	0,7	0,29	0,7
2,2	0,31	0,8	0,30	0,7	0,28	0,7	0,27	0,7
2,4	0,29	0,7	0,28	0,7	0,26	0,6	0,25	0,6
2,6	0,28	0,7	0,26	0,6	0,24	0,7	0,24	0,6
2,8	0,26	0,6	0,25	0,6	0,23	0,5	0,23	0,6
3	0,24	0,6	0,23	0,6	0,22	0,6	0,22	0,6
3,2	0,23	0,5	0,22	0,6	0,21	0,5	0,21	0,5
3,4	0,22	0,5	0,21	0,5	0,20	0,5	0,20	0,5
3,6	0,21	0,6	0,20	0,5	0,19	0,5	0,19	0,5
3,8	0,20	0,5	0,19	0,5	0,18	0,4	0,18	0,5
4	0,18	0,4	0,18	0,4	0,18	0,4	0,17	0,4
4,2	0,18	0,4	0,18	0,4	0,17	0,4	0,17	0,4
4,4	0,17	0,4	0,17	0,4	0,16	0,4	0,17	0,4
4,6	0,17	0,4	0,16	0,4	0,16	0,4	0,16	0,4
4,8	0,16	0,4	0,16	0,4	0,15	0,4	0,15	0,4
5	0,16	0,4	0,15	0,4	0,15	0,4	0,14	0,4

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe haute résolution sur cible de contraste 5%

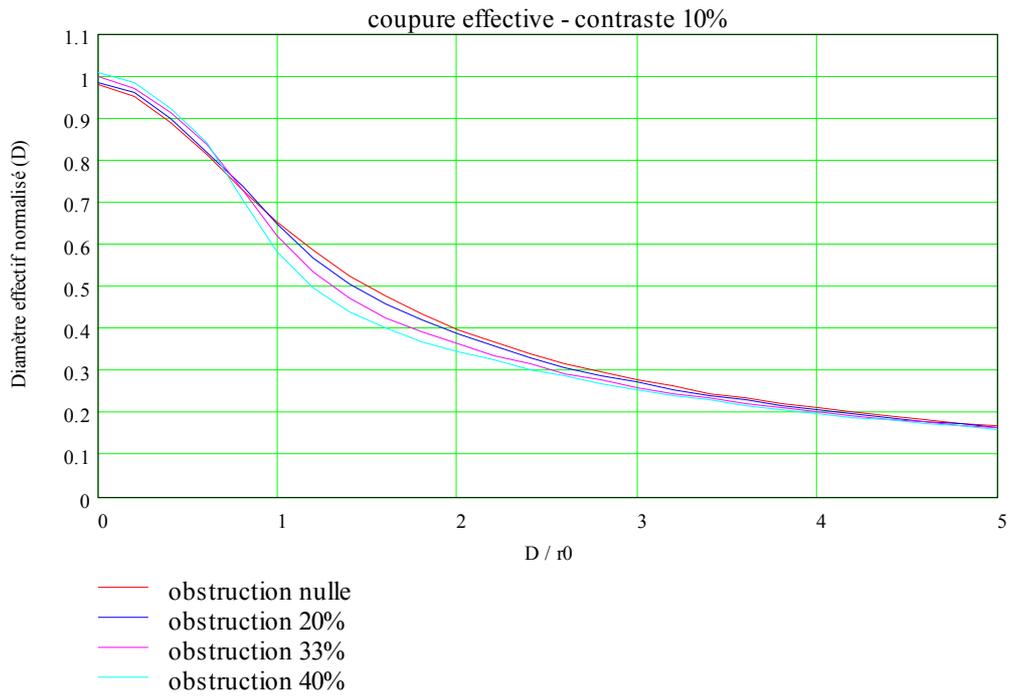


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,96	4,4	0,98	4,3	1,00	4,3	1,02	4,5
0,2	0,92	4,2	0,94	4,3	0,96	4,4	0,96	4,6
0,4	0,85	3,9	0,86	4,3	0,84	3,9	0,77	3,7
0,6	0,76	3,4	0,74	3,7	0,68	3,3	0,59	3,0
0,8	0,68	3,4	0,64	2,9	0,57	3,0	0,51	2,5
1	0,60	2,8	0,57	2,7	0,50	2,3	0,46	2,2
1,2	0,54	2,5	0,51	2,4	0,46	2,2	0,42	1,9
1,4	0,48	2,3	0,46	2,1	0,42	1,8	0,40	1,9
1,6	0,44	2,2	0,42	2,1	0,39	1,7	0,37	1,6
1,8	0,40	1,9	0,39	1,8	0,36	1,6	0,34	1,6
2	0,37	1,7	0,36	1,8	0,34	1,5	0,32	1,5
2,2	0,34	1,7	0,33	1,6	0,31	1,5	0,30	1,5
2,4	0,32	1,6	0,31	1,4	0,29	1,4	0,28	1,3
2,6	0,30	1,5	0,29	1,3	0,28	1,5	0,27	1,3
2,8	0,28	1,2	0,27	1,3	0,26	1,3	0,25	1,3
3	0,26	1,3	0,25	1,5	0,25	1,2	0,24	1,3
3,2	0,25	1,3	0,24	1,3	0,23	1,2	0,23	1,2
3,4	0,23	1,2	0,23	1,2	0,22	1,1	0,22	1,2
3,6	0,22	1,2	0,22	1,2	0,21	1,1	0,21	1,1
3,8	0,21	1,1	0,21	1,1	0,20	1,0	0,20	0,9
4	0,20	1,0	0,20	1,0	0,19	1,1	0,19	1,0
4,2	0,19	1,0	0,19	1,0	0,18	1,0	0,18	1,0
4,4	0,18	1,0	0,18	0,9	0,17	1,0	0,17	0,9
4,6	0,17	1,0	0,17	0,9	0,17	0,9	0,16	0,9
4,8	0,17	0,9	0,16	0,7	0,16	0,8	0,16	0,8
5	0,16	0,7	0,16	0,9	0,15	0,8	0,15	0,8

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe haute résolution sur cible de contraste 10%

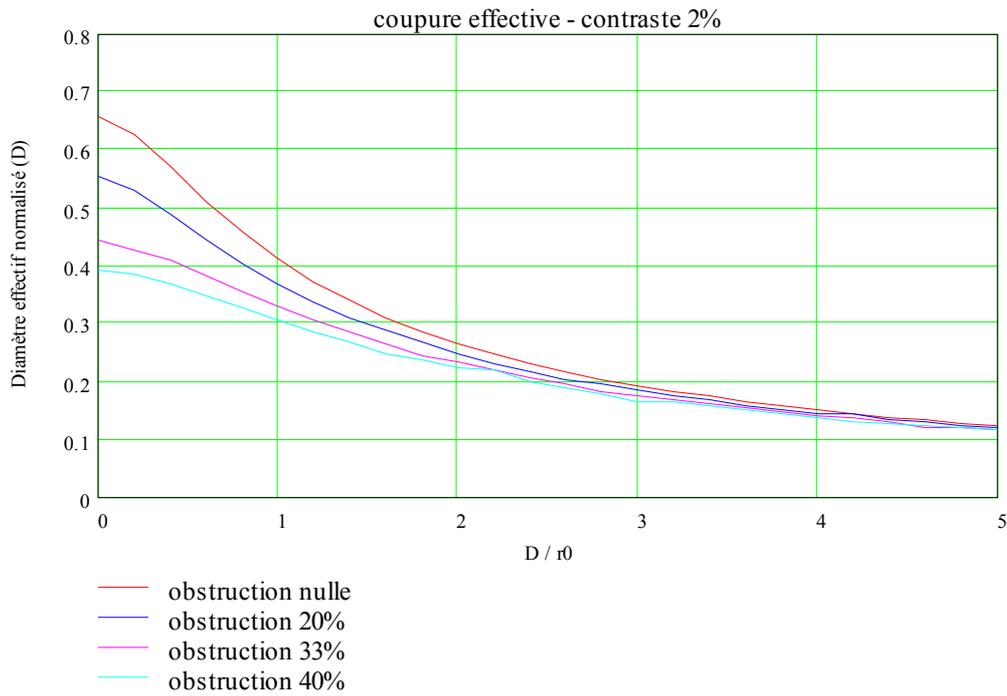


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,98	5,8	0,99	5,2	1,00	5,4	1,01	5,5
0,2	0,95	5,7	0,96	5,4	0,97	5,3	0,98	5,5
0,4	0,89	5,1	0,90	4,9	0,92	5,0	0,93	5,0
0,6	0,81	4,8	0,82	4,6	0,84	5,0	0,85	5,0
0,8	0,73	4,2	0,74	4,1	0,73	4,5	0,71	4,2
1	0,66	3,6	0,65	3,6	0,62	3,6	0,59	3,6
1,2	0,59	3,4	0,57	3,6	0,54	3,3	0,50	3,1
1,4	0,53	3,1	0,51	3,1	0,47	3,1	0,44	3,1
1,6	0,48	3,1	0,46	3,1	0,43	2,7	0,40	2,5
1,8	0,44	2,6	0,42	2,5	0,39	2,2	0,37	2,3
2	0,40	3,1	0,39	2,4	0,36	2,3	0,35	2,1
2,2	0,37	2,3	0,36	2,2	0,34	2,1	0,33	1,9
2,4	0,34	2,0	0,33	1,9	0,32	1,7	0,31	2,0
2,6	0,32	2,0	0,31	1,8	0,30	1,7	0,29	1,7
2,8	0,30	1,8	0,29	1,8	0,28	1,5	0,27	1,7
3	0,28	1,7	0,27	1,6	0,26	1,6	0,26	1,5
3,2	0,26	1,7	0,26	1,5	0,25	1,5	0,24	1,5
3,4	0,25	1,5	0,24	1,5	0,24	1,5	0,23	1,5
3,6	0,24	1,5	0,23	1,5	0,23	1,5	0,22	1,5
3,8	0,22	1,5	0,22	1,5	0,21	1,5	0,21	1,5
4	0,21	1,5	0,21	1,5	0,20	1,3	0,20	1,5
4,2	0,20	1,5	0,20	1,3	0,20	1,2	0,19	1,3
4,4	0,19	1,2	0,19	1,2	0,19	1,2	0,18	1,5
4,6	0,19	1,2	0,18	1,2	0,18	1,5	0,18	1,0
4,8	0,18	1,2	0,18	1,2	0,17	1,0	0,17	1,1
5	0,17	1,0	0,17	1,1	0,16	0,9	0,16	1,1

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe astronomique sur cible de contraste 2%

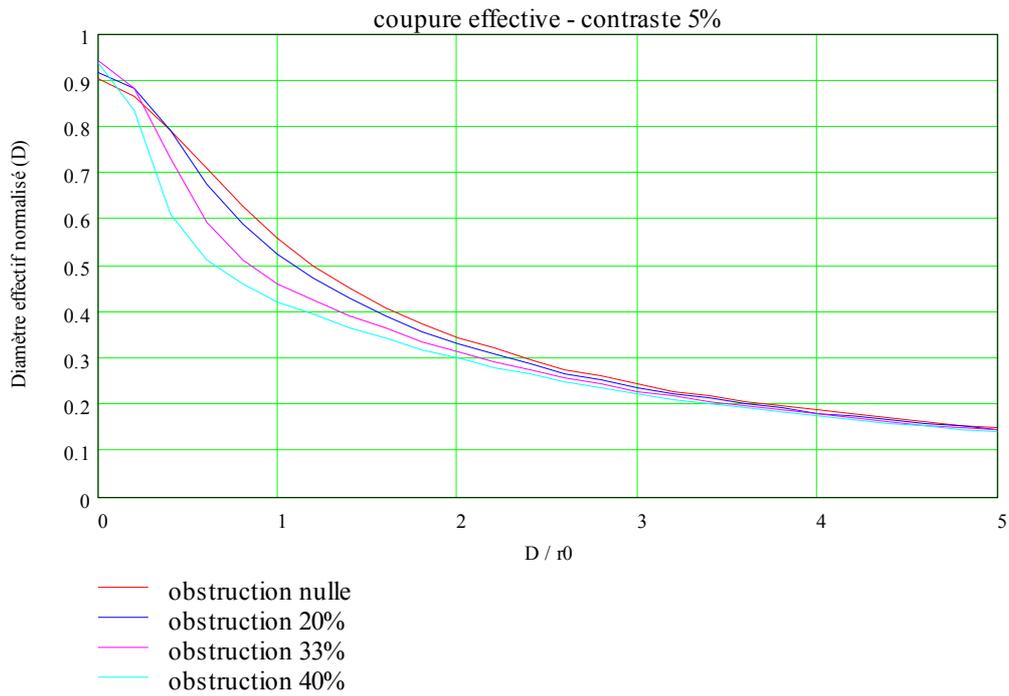


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,66	1,7	0,55	1,5	0,44	1,2	0,39	1,1
0,2	0,63	1,6	0,53	1,5	0,43	1,0	0,39	1,0
0,4	0,57	1,5	0,49	1,3	0,41	1,1	0,37	1,0
0,6	0,51	1,3	0,45	1,2	0,38	1,0	0,35	0,9
0,8	0,46	1,1	0,40	1,1	0,36	1,0	0,33	0,8
1	0,41	1,0	0,37	1,0	0,33	0,9	0,31	0,8
1,2	0,37	1,0	0,34	0,9	0,31	0,8	0,29	0,8
1,4	0,34	0,9	0,31	0,8	0,28	0,7	0,27	0,7
1,6	0,31	0,8	0,29	0,7	0,27	0,7	0,25	0,7
1,8	0,29	0,8	0,27	0,7	0,24	0,7	0,24	0,6
2	0,27	0,7	0,25	0,6	0,23	0,6	0,22	0,6
2,2	0,25	0,6	0,23	0,6	0,22	0,6	0,22	0,5
2,4	0,23	0,6	0,22	0,7	0,21	0,5	0,20	0,5
2,6	0,22	0,6	0,21	0,5	0,20	0,5	0,19	0,5
2,8	0,20	0,5	0,20	0,5	0,18	0,4	0,18	0,4
3	0,19	0,5	0,18	0,5	0,18	0,5	0,17	0,4
3,2	0,18	0,5	0,17	0,4	0,17	0,5	0,17	0,4
3,4	0,17	0,5	0,17	0,4	0,16	0,4	0,16	0,4
3,6	0,17	0,4	0,16	0,4	0,15	0,4	0,15	0,4
3,8	0,16	0,4	0,15	0,4	0,15	0,4	0,14	0,4
4	0,15	0,4	0,15	0,3	0,14	0,4	0,14	0,3
4,2	0,15	0,4	0,14	0,4	0,14	0,4	0,13	0,3
4,4	0,14	0,3	0,13	0,3	0,13	0,3	0,13	0,3
4,6	0,13	0,3	0,13	0,3	0,12	0,3	0,12	0,3
4,8	0,13	0,3	0,13	0,3	0,12	0,3	0,12	0,3
5	0,12	0,3	0,12	0,3	0,12	0,3	0,12	0,3

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe astronomique sur cible de contraste 5%

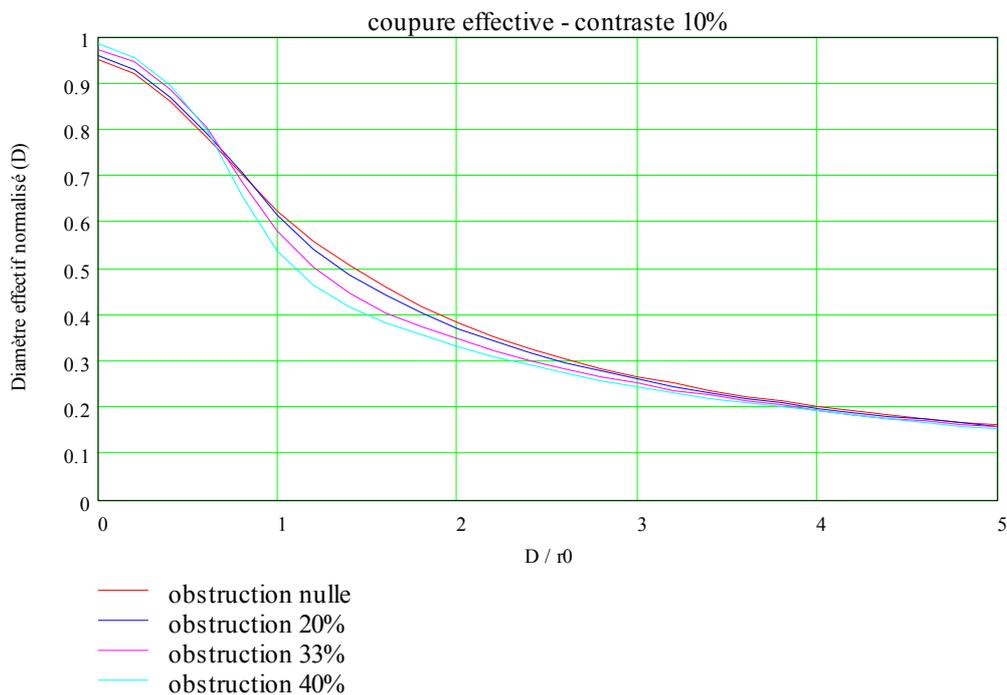


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,91	4,1	0,92	4,0	0,94	4,3	0,94	4,6
0,2	0,87	3,9	0,88	4,0	0,88	4,2	0,84	4,4
0,4	0,79	3,7	0,79	3,9	0,73	3,8	0,61	3,1
0,6	0,71	3,1	0,68	3,3	0,60	3,1	0,51	2,5
0,8	0,63	2,8	0,59	2,9	0,51	2,3	0,46	2,1
1	0,56	2,8	0,53	2,4	0,46	2,1	0,42	1,9
1,2	0,50	2,3	0,47	2,3	0,42	1,9	0,40	1,9
1,4	0,45	2,1	0,43	1,9	0,39	1,8	0,37	1,6
1,6	0,41	1,9	0,39	1,9	0,37	1,6	0,34	1,6
1,8	0,38	1,7	0,36	1,6	0,34	1,5	0,32	1,4
2	0,34	1,5	0,33	1,5	0,31	1,5	0,30	1,4
2,2	0,32	1,4	0,31	1,4	0,29	1,3	0,28	1,3
2,4	0,30	1,4	0,29	1,3	0,28	1,3	0,27	1,2
2,6	0,28	1,4	0,27	1,3	0,26	1,3	0,25	1,1
2,8	0,26	1,2	0,25	1,3	0,25	1,2	0,24	1,1
3	0,25	1,2	0,24	1,1	0,23	1,1	0,22	1,0
3,2	0,23	1,0	0,22	1,1	0,22	1,1	0,21	1,1
3,4	0,22	1,1	0,21	1,1	0,21	1,0	0,20	1,1
3,6	0,21	1,0	0,20	1,1	0,20	1,1	0,19	0,9
3,8	0,20	1,1	0,19	1,0	0,19	1,0	0,18	1,0
4	0,19	1,0	0,18	0,9	0,18	1,0	0,18	1,0
4,2	0,18	1,0	0,18	0,9	0,17	0,9	0,17	0,8
4,4	0,17	0,9	0,17	0,9	0,16	0,9	0,16	0,8
4,6	0,16	0,9	0,16	0,9	0,15	0,7	0,15	0,9
4,8	0,16	0,9	0,15	0,8	0,15	0,7	0,15	0,8
5	0,15	0,7	0,15	0,7	0,15	0,8	0,14	0,8

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe astronomique sur cible de contraste 10%

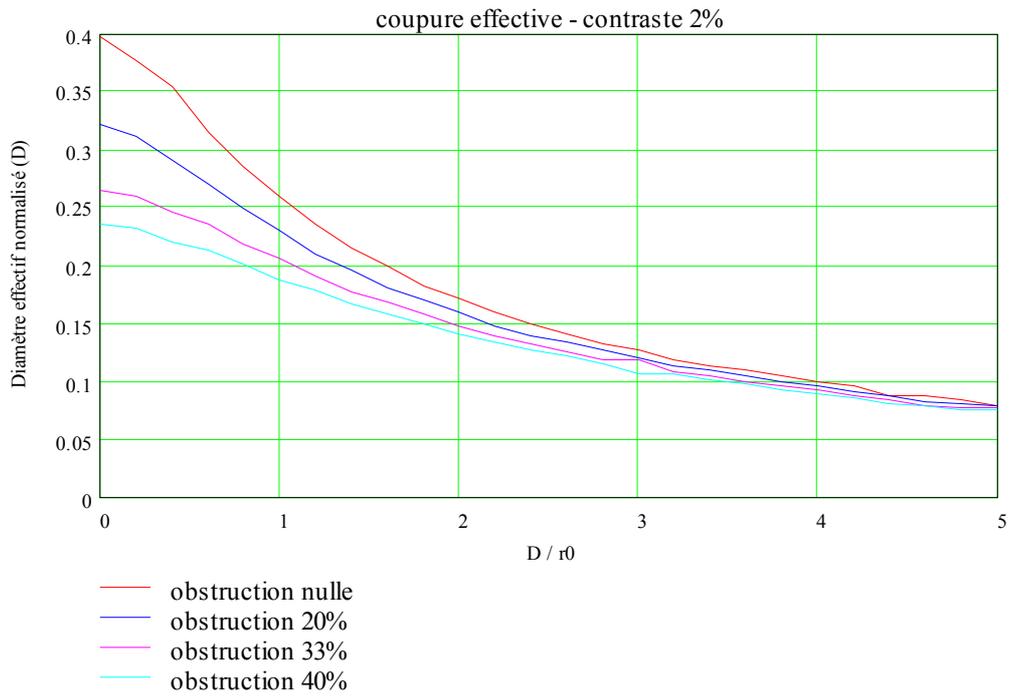


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,95	5,4	0,96	5,4	0,97	5,4	0,98	5,3
0,2	0,92	5,4	0,93	5,1	0,95	5,5	0,96	5,3
0,4	0,86	4,9	0,87	5,0	0,89	4,9	0,90	5,1
0,6	0,78	4,4	0,79	4,4	0,81	4,9	0,80	4,6
0,8	0,70	4,3	0,71	4,1	0,69	4,0	0,66	3,8
1	0,63	3,6	0,62	3,7	0,58	3,6	0,54	3,3
1,2	0,56	3,3	0,54	3,1	0,50	3,1	0,47	3,0
1,4	0,51	2,9	0,49	3,1	0,45	2,8	0,42	2,5
1,6	0,46	2,7	0,44	2,7	0,41	2,6	0,38	2,3
1,8	0,42	2,6	0,41	2,5	0,38	2,3	0,36	2,0
2	0,38	2,4	0,37	2,3	0,35	2,1	0,33	2,0
2,2	0,35	2,0	0,34	2,0	0,32	2,0	0,31	1,9
2,4	0,33	2,1	0,32	1,7	0,30	1,7	0,29	1,7
2,6	0,31	1,9	0,30	1,9	0,28	1,7	0,28	1,6
2,8	0,29	1,6	0,28	1,6	0,27	1,6	0,26	1,7
3	0,27	1,7	0,26	1,6	0,25	1,5	0,25	1,5
3,2	0,25	1,6	0,25	1,5	0,24	1,5	0,23	1,5
3,4	0,24	1,5	0,23	1,5	0,23	1,5	0,22	1,5
3,6	0,23	1,5	0,22	1,5	0,22	1,4	0,21	1,3
3,8	0,21	1,5	0,21	1,5	0,20	1,5	0,20	1,2
4	0,20	1,3	0,20	1,3	0,20	1,3	0,19	1,2
4,2	0,19	1,2	0,19	1,2	0,19	1,2	0,18	1,2
4,4	0,19	1,1	0,18	1,1	0,18	1,5	0,18	1,2
4,6	0,18	1,2	0,17	1,1	0,17	1,0	0,17	1,1
4,8	0,17	1,5	0,17	1,1	0,17	1,1	0,16	0,9
5	0,16	1,1	0,16	1,1	0,16	0,9	0,16	0,9

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe standard sur cible de contraste 2%

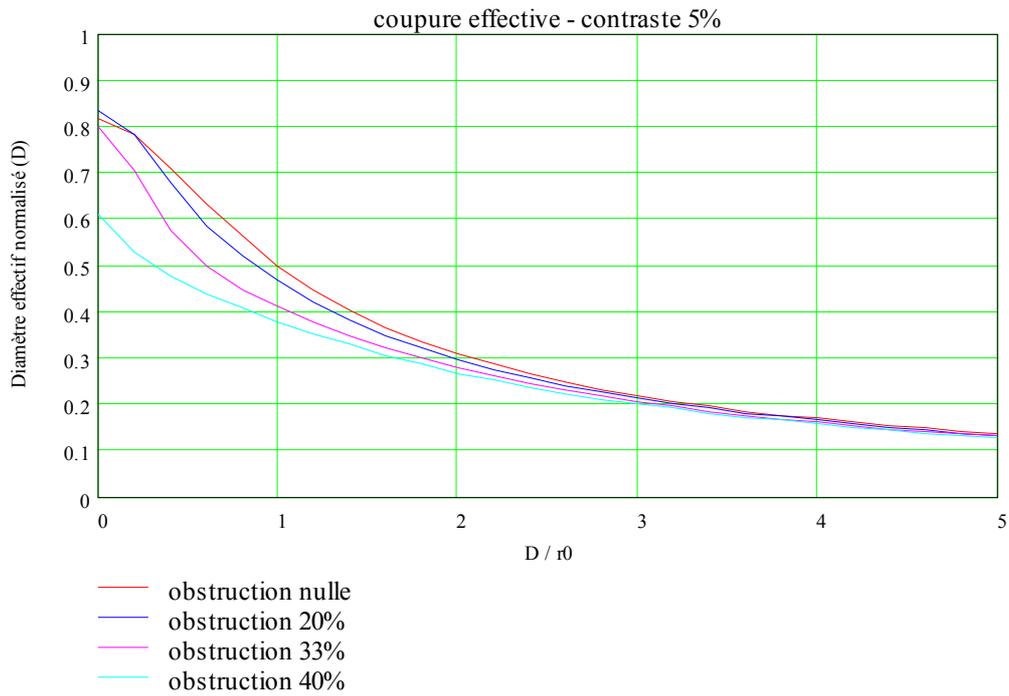


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,40	1,2	0,32	1,0	0,27	0,8	0,24	0,7
0,2	0,38	1,1	0,31	1,0	0,26	0,8	0,23	0,7
0,4	0,35	0,9	0,29	0,9	0,25	0,8	0,22	0,6
0,6	0,32	0,9	0,27	0,8	0,24	0,7	0,21	0,6
0,8	0,29	0,8	0,25	0,8	0,22	0,7	0,20	0,6
1	0,26	0,8	0,23	0,7	0,21	0,6	0,19	0,5
1,2	0,24	0,7	0,21	0,6	0,19	0,6	0,18	0,5
1,4	0,22	0,6	0,20	0,6	0,18	0,6	0,17	0,5
1,6	0,20	0,6	0,18	0,5	0,17	0,5	0,16	0,4
1,8	0,18	0,5	0,17	0,5	0,16	0,5	0,15	0,5
2	0,17	0,5	0,16	0,5	0,15	0,4	0,14	0,4
2,2	0,16	0,5	0,15	0,5	0,14	0,4	0,13	0,4
2,4	0,15	0,4	0,14	0,4	0,13	0,4	0,13	0,4
2,6	0,14	0,4	0,13	0,4	0,13	0,4	0,12	0,4
2,8	0,13	0,4	0,13	0,4	0,12	0,3	0,11	0,3
3	0,13	0,4	0,12	0,4	0,11	0,3	0,11	0,3
3,2	0,12	0,4	0,11	0,3	0,11	0,3	0,10	0,3
3,4	0,11	0,3	0,11	0,3	0,10	0,3	0,10	0,3
3,6	0,11	0,3	0,11	0,3	0,10	0,3	0,10	0,3
3,8	0,11	0,3	0,10	0,3	0,10	0,3	0,09	0,3
4	0,10	0,3	0,10	0,3	0,09	0,3	0,09	0,3
4,2	0,10	0,3	0,09	0,3	0,09	0,3	0,09	0,3
4,4	0,09	0,3	0,09	0,3	0,08	0,3	0,08	0,2
4,6	0,09	0,3	0,08	0,3	0,08	0,3	0,08	0,2
4,8	0,08	0,3	0,08	0,3	0,08	0,2	0,08	0,2
5	0,08	0,3	0,08	0,2	0,08	0,2	0,08	0,2

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe standard sur cible de contraste 5%

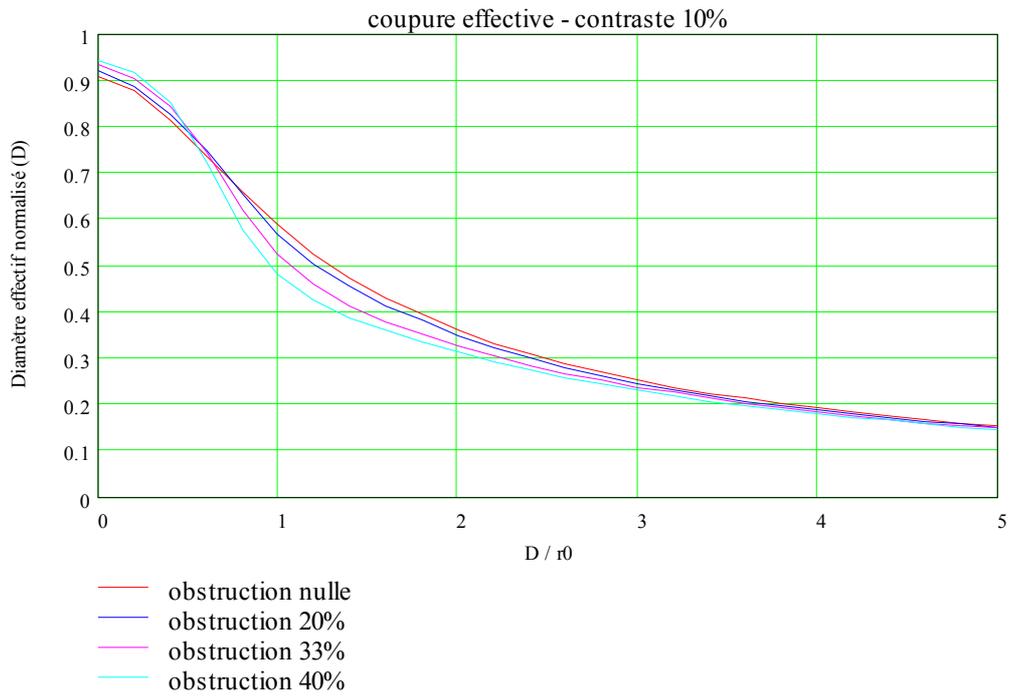


Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r_0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,82	3,7	0,83	4,0	0,80	4,0	0,61	3,4
0,2	0,78	3,5	0,78	3,7	0,70	3,6	0,53	2,8
0,4	0,71	3,4	0,68	3,4	0,58	3,0	0,48	2,4
0,6	0,64	2,9	0,59	2,8	0,50	2,4	0,44	2,1
0,8	0,56	2,5	0,52	2,4	0,45	2,1	0,41	1,8
1	0,50	2,2	0,47	2,2	0,41	1,9	0,38	1,8
1,2	0,45	2,2	0,42	1,9	0,38	1,7	0,35	1,6
1,4	0,40	1,8	0,38	1,9	0,35	1,6	0,33	1,5
1,6	0,37	1,7	0,35	1,6	0,32	1,6	0,31	1,5
1,8	0,34	1,4	0,32	1,5	0,30	1,5	0,29	1,4
2	0,31	1,4	0,30	1,4	0,28	1,2	0,27	1,3
2,2	0,29	1,3	0,28	1,3	0,26	1,2	0,25	1,1
2,4	0,27	1,2	0,26	1,3	0,25	1,5	0,24	1,1
2,6	0,25	1,2	0,24	1,1	0,23	1,1	0,22	1,5
2,8	0,23	1,1	0,23	1,1	0,22	1,0	0,21	1,0
3	0,22	1,0	0,21	1,0	0,21	0,9	0,20	0,9
3,2	0,21	1,0	0,20	1,0	0,20	0,9	0,19	0,9
3,4	0,20	0,9	0,19	0,9	0,19	0,9	0,18	0,9
3,6	0,19	0,8	0,18	0,8	0,18	0,9	0,17	0,9
3,8	0,18	0,9	0,17	0,8	0,17	0,9	0,17	0,9
4	0,17	0,9	0,17	0,9	0,16	0,8	0,16	0,8
4,2	0,16	0,8	0,16	0,8	0,15	0,7	0,15	0,7
4,4	0,16	0,8	0,15	0,8	0,15	0,8	0,15	0,8
4,6	0,15	0,7	0,15	0,8	0,14	0,8	0,14	0,7
4,8	0,14	0,7	0,14	0,8	0,14	0,7	0,13	0,8
5	0,14	0,7	0,13	0,8	0,13	0,7	0,13	0,7

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

Instruments de classe standard sur cible de contraste 10%



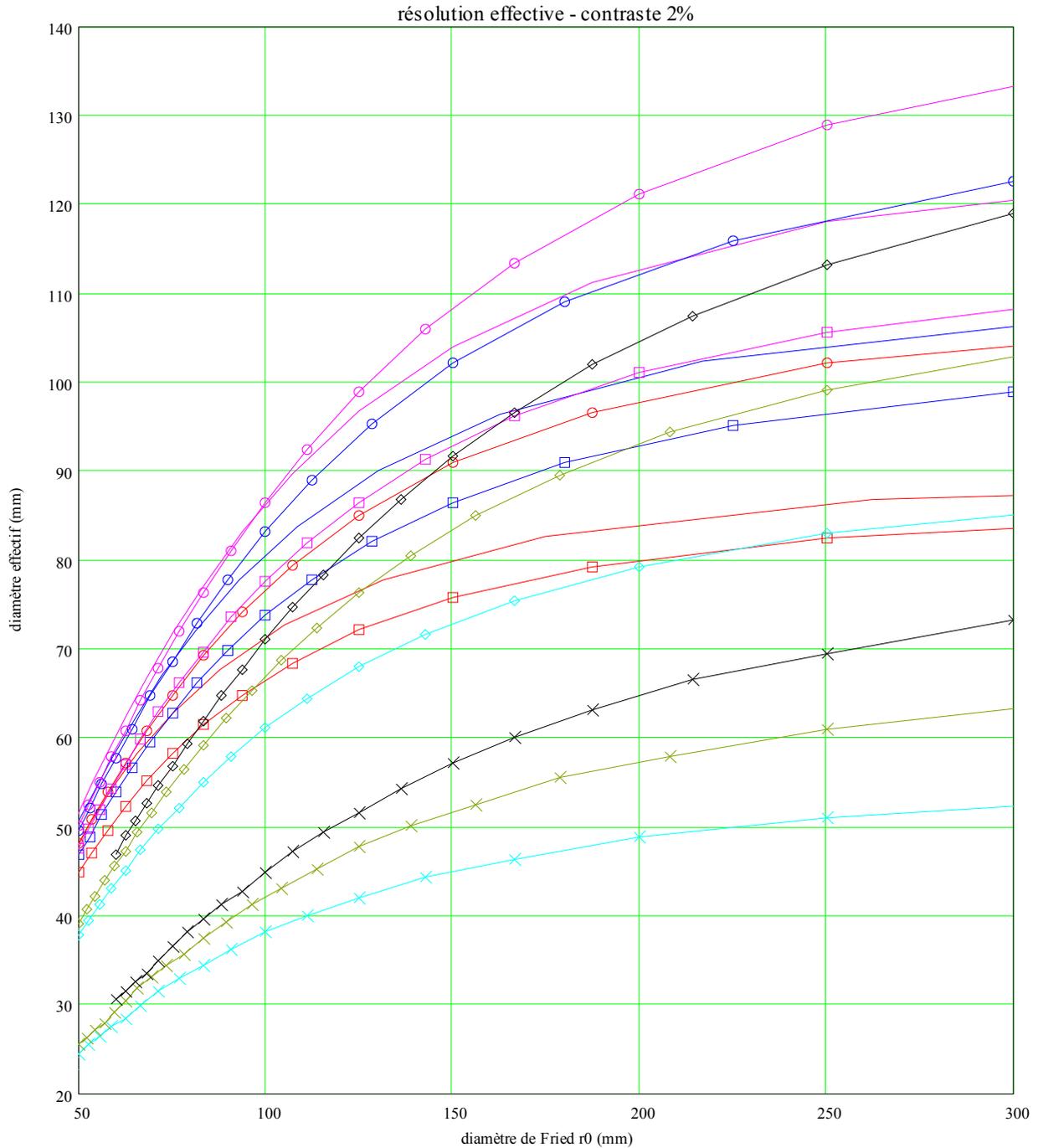
Diamètre effectif apparent

Paramètre D/r0	Obstruction nulle		Obstruction 20%		Obstruction 33%		Obstruction 40%	
	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro	Dea	Gro
0	0,91	4,8	0,92	4,9	0,93	5,2	0,95	5,0
0,2	0,88	4,7	0,89	4,7	0,91	4,9	0,92	4,7
0,4	0,82	4,6	0,83	4,6	0,84	4,2	0,85	5,0
0,6	0,74	3,9	0,75	4,6	0,75	4,4	0,72	4,2
0,8	0,66	3,8	0,65	3,7	0,62	3,9	0,58	3,6
1	0,59	3,4	0,57	3,4	0,53	3,0	0,48	2,9
1,2	0,53	3,0	0,50	3,1	0,46	2,5	0,43	2,5
1,4	0,48	2,7	0,46	2,4	0,42	2,4	0,39	2,3
1,6	0,43	2,3	0,41	2,5	0,38	2,0	0,36	2,1
1,8	0,39	2,3	0,38	2,3	0,35	2,2	0,34	2,0
2	0,36	2,0	0,35	2,0	0,33	1,7	0,31	2,0
2,2	0,33	2,0	0,32	2,0	0,31	1,8	0,29	1,8
2,4	0,31	1,9	0,30	1,8	0,29	1,8	0,28	1,6
2,6	0,29	1,8	0,28	1,7	0,27	1,7	0,26	1,7
2,8	0,27	1,6	0,26	1,6	0,25	1,5	0,25	1,5
3	0,25	1,6	0,25	1,5	0,24	1,5	0,23	1,5
3,2	0,24	1,5	0,23	1,5	0,23	1,5	0,22	1,5
3,4	0,23	1,5	0,22	1,5	0,21	1,4	0,21	1,5
3,6	0,21	1,5	0,21	1,5	0,20	1,3	0,20	1,2
3,8	0,20	1,3	0,20	1,2	0,19	1,2	0,19	1,3
4	0,19	1,3	0,19	1,1	0,18	1,1	0,18	1,2
4,2	0,18	1,1	0,18	1,5	0,18	1,5	0,17	1,0
4,4	0,18	1,1	0,17	1,1	0,17	1,1	0,17	1,1
4,6	0,17	1,1	0,16	0,9	0,16	1,0	0,16	0,9
4,8	0,16	1,0	0,16	1,0	0,16	1,0	0,15	1,0
5	0,15	1,0	0,15	0,8	0,15	1,0	0,15	0,9

Diamètre effectif apparent Dea et Grossissement optimal Gro normalisés

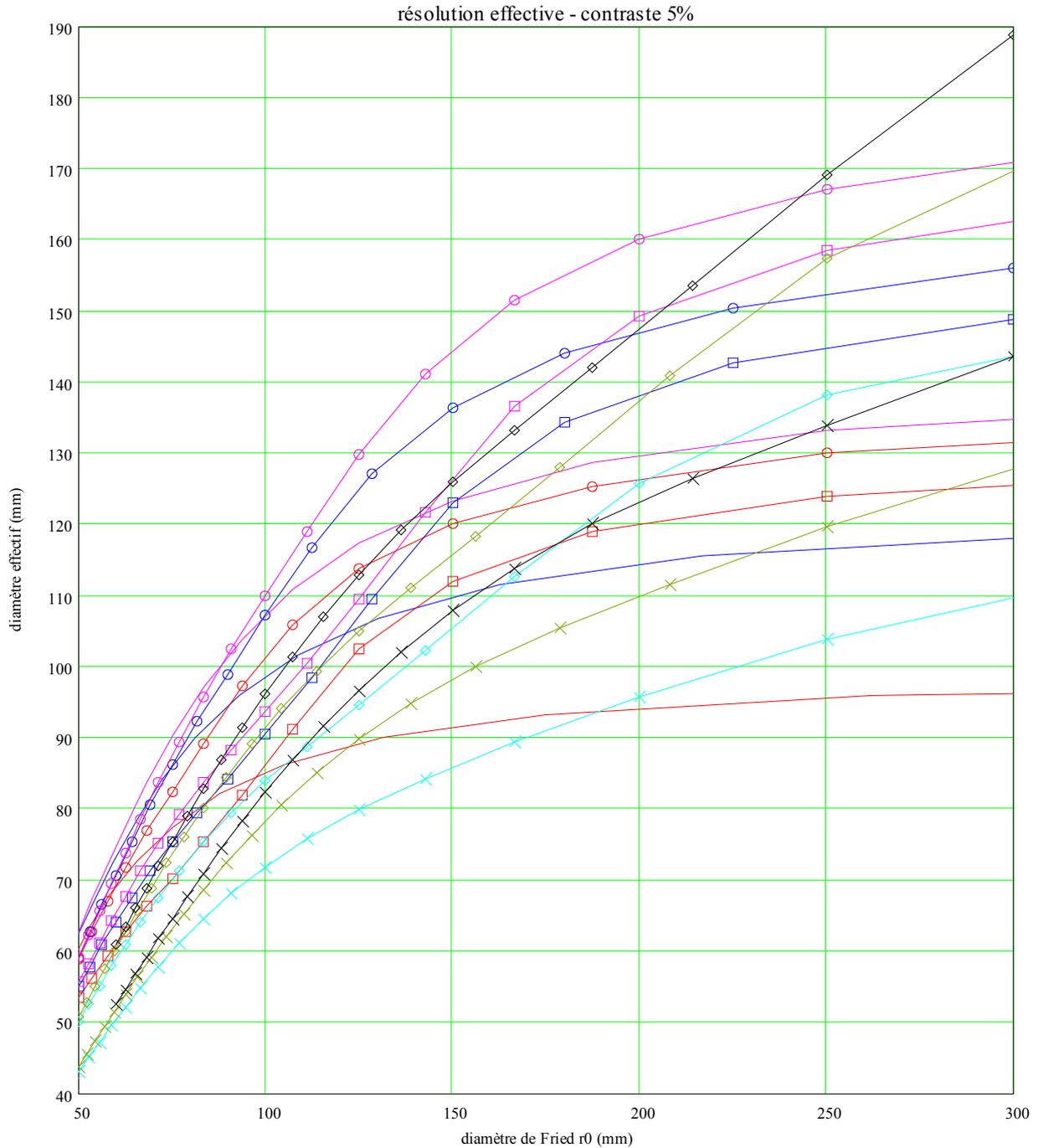
Annexe G

Comparaison d'instruments Turbulence en poses courtes – paramètre α égal à 1



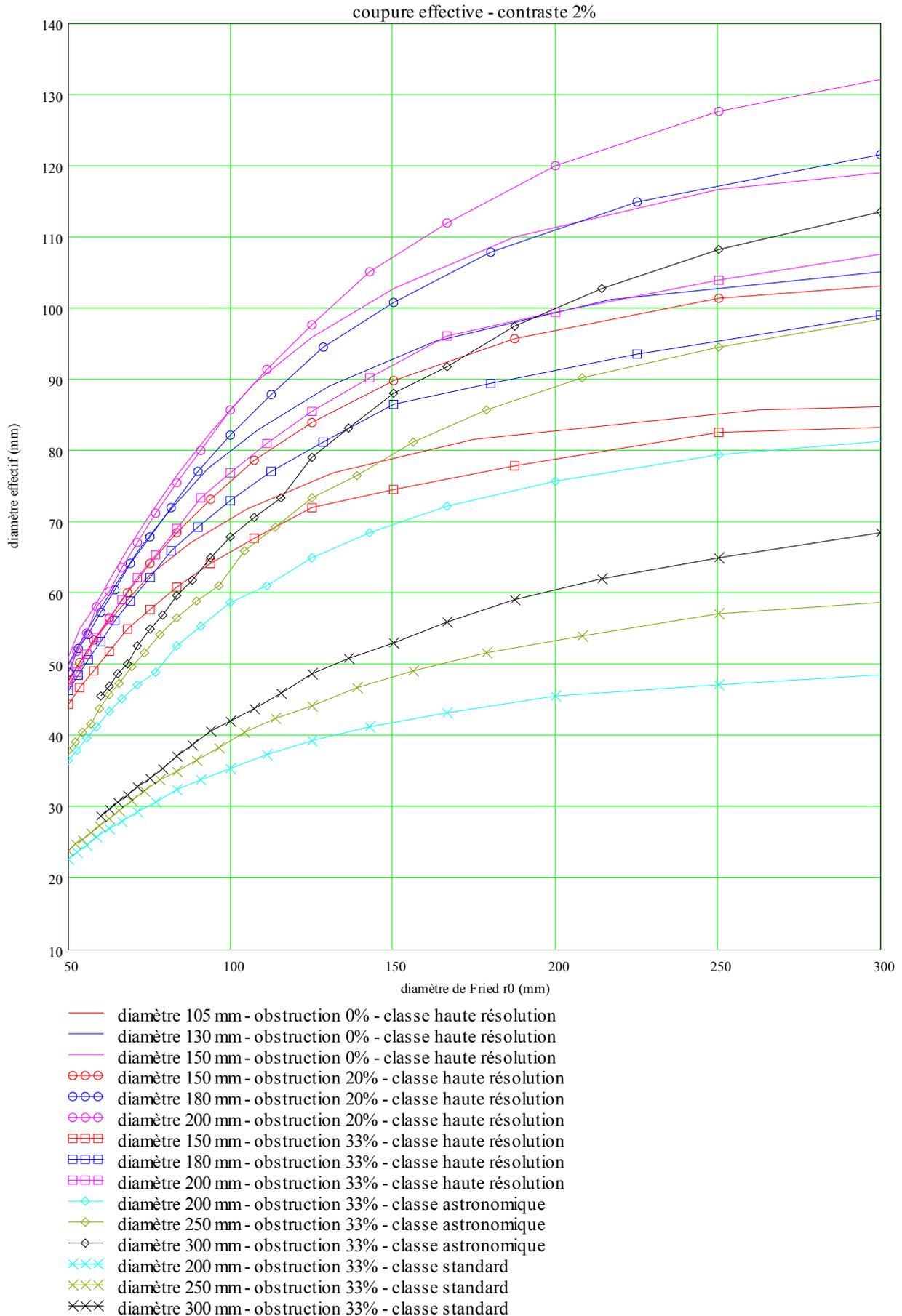
- diamètre 105 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- diamètre 130 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- diamètre 150 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- ⊙⊙⊙ diamètre 150 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊙⊙⊙ diamètre 180 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊙⊙⊙ diamètre 200 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊠⊠⊠ diamètre 150 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ⊠⊠⊠ diamètre 180 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ⊠⊠⊠ diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ◇ diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ◇ diamètre 250 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ◇ diamètre 300 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ××× diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe standard
- ××× diamètre 250 mm - obstruction 33% - classe standard
- ××× diamètre 300 mm - obstruction 33% - classe standard

Comparaison sur mire de contraste 2% selon le critère de résolution effective

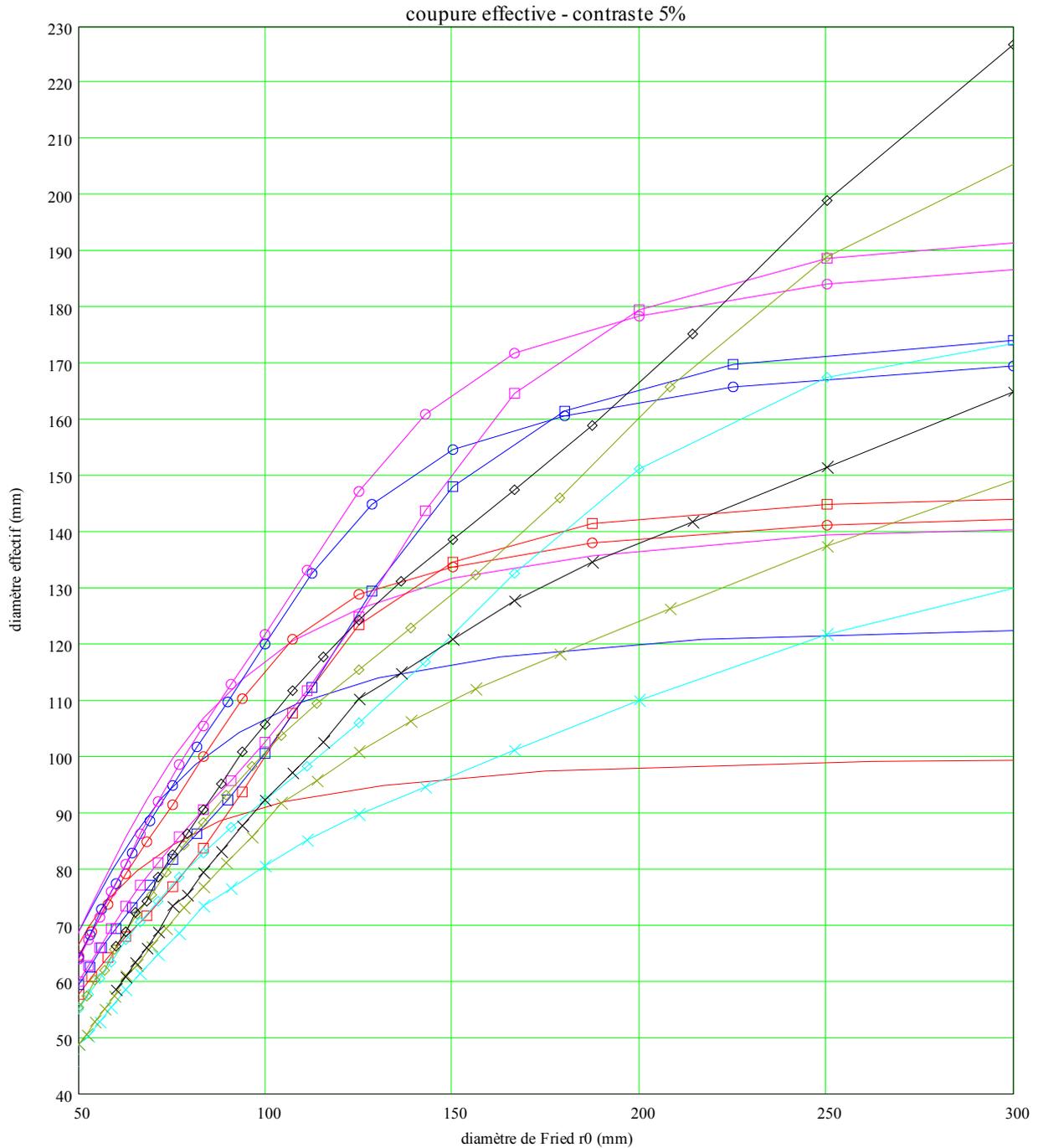


- diamètre 105 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- diamètre 130 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- diamètre 150 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- ⊙⊙⊙ diamètre 150 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊖⊖⊖ diamètre 180 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊗⊗⊗ diamètre 200 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊠⊠⊠ diamètre 150 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ⊡⊡⊡ diamètre 180 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ⊣⊣⊣ diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ◇ diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ◇ diamètre 250 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ◇ diamètre 300 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ××× diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe standard
- ××× diamètre 250 mm - obstruction 33% - classe standard
- ××× diamètre 300 mm - obstruction 33% - classe standard

Comparaison sur mire de contraste 5% selon le critère de résolution effective



Comparaison sur mire de contraste 2% selon le critère de fréquence de coupure effective

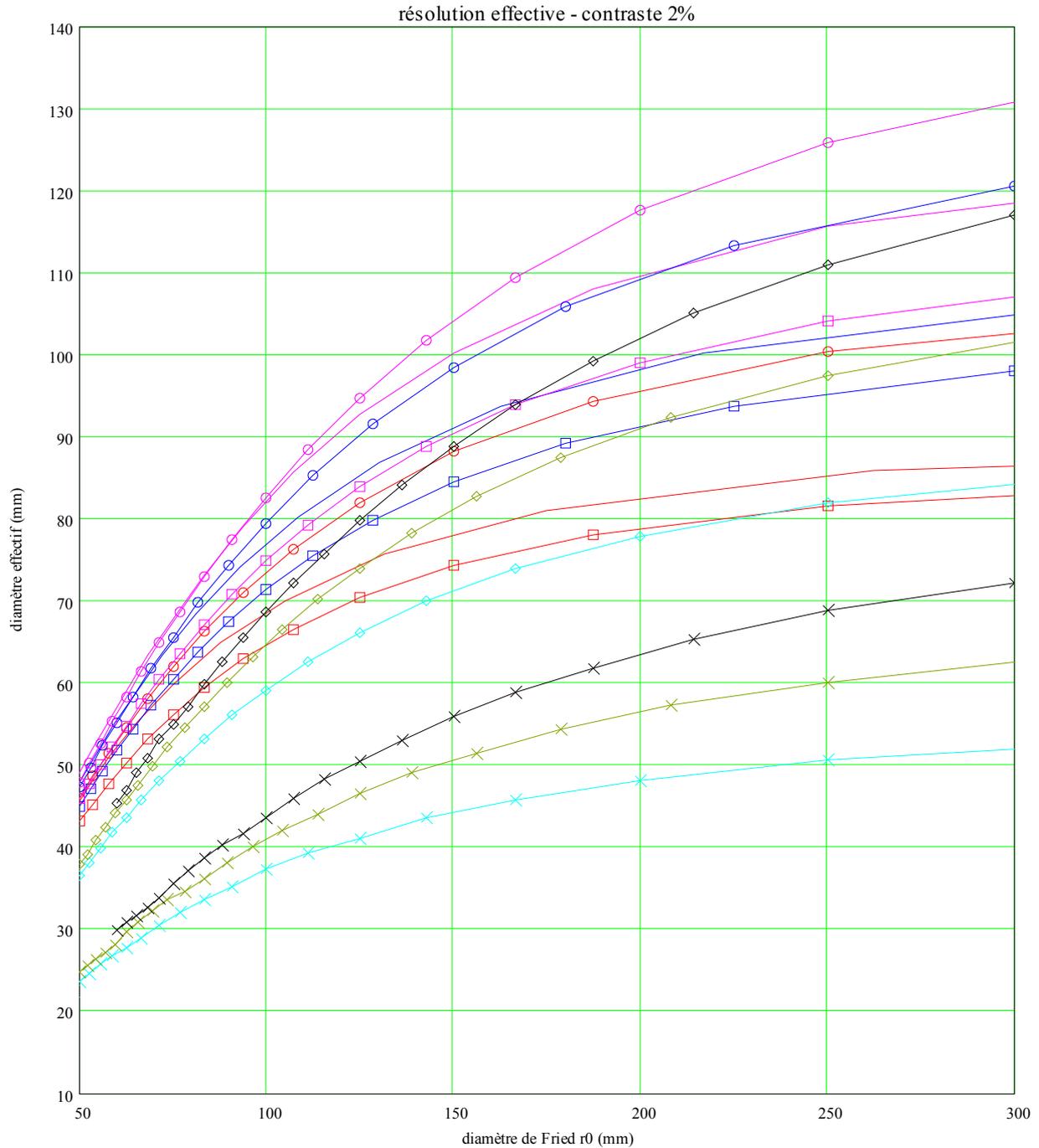


- diamètre 105 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- diamètre 130 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- diamètre 150 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- ⊙⊙⊙ diamètre 150 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊖⊖⊖ diamètre 180 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊗⊗⊗ diamètre 200 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊠⊠⊠ diamètre 150 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ⊡⊡⊡ diamètre 180 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ⊣⊣⊣ diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ◇ diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ◇ diamètre 250 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ◇ diamètre 300 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ××× diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe standard
- ××× diamètre 250 mm - obstruction 33% - classe standard
- ××× diamètre 300 mm - obstruction 33% - classe standard

Comparaison sur mire de contraste 5% selon le critère de fréquence de coupure effective

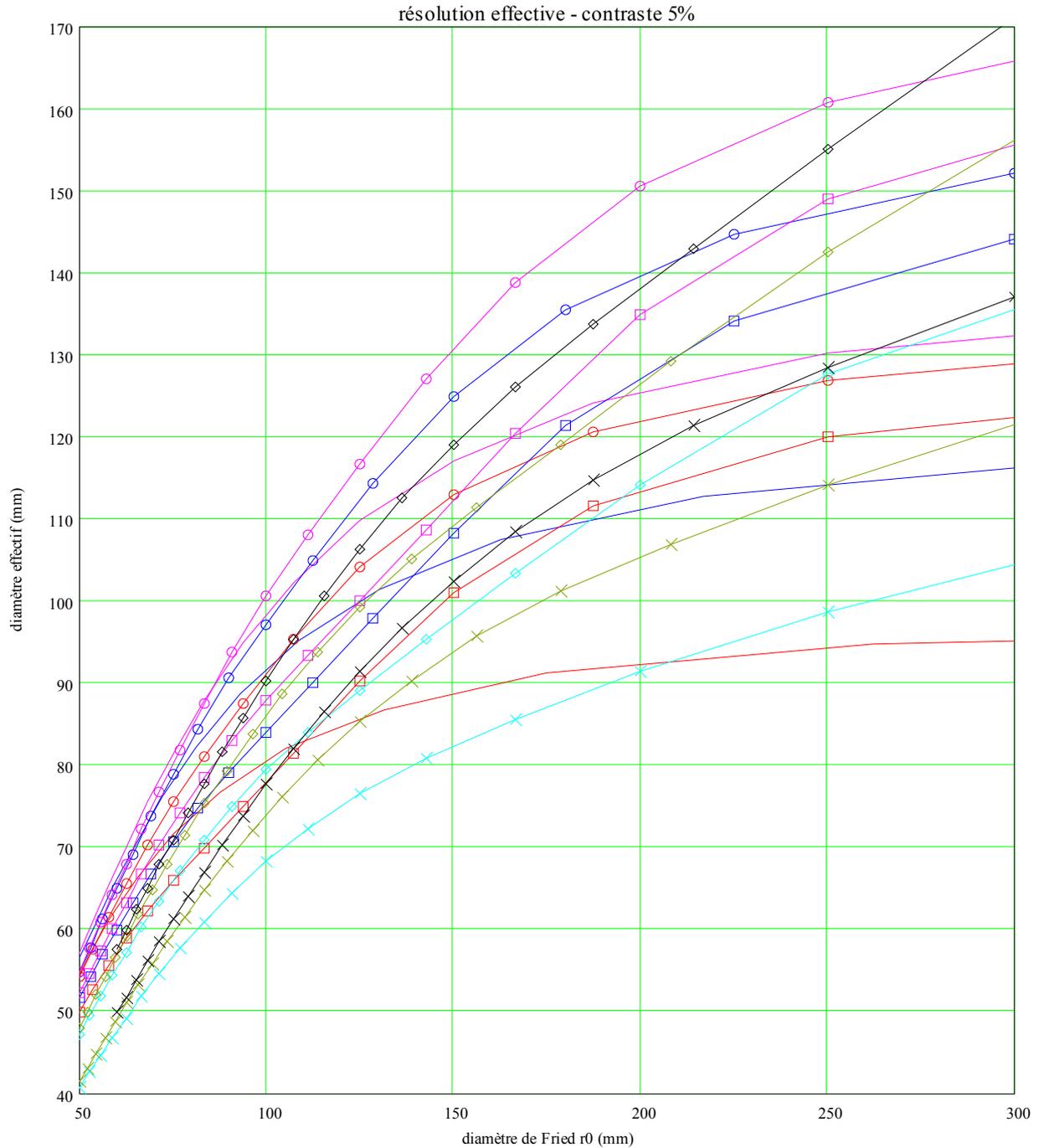
Annexe H

Comparaison d'instruments Turbulence en poses courtes – paramètre α égal à 0,9



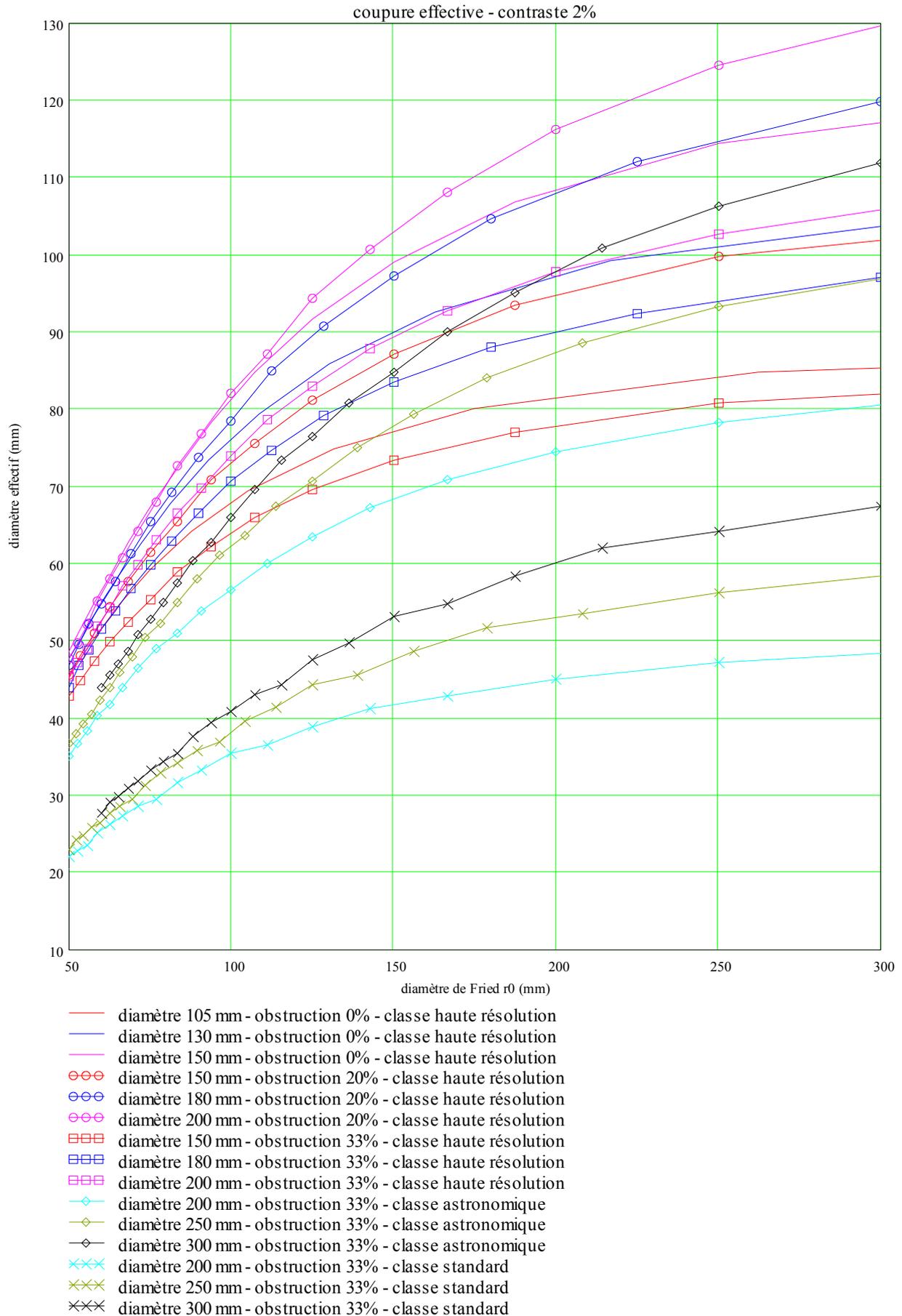
- diamètre 105 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- diamètre 130 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- diamètre 150 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- ⊙⊙⊙ diamètre 150 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊙⊙⊙ diamètre 180 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊙⊙⊙ diamètre 200 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊠⊠⊠ diamètre 150 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ⊠⊠⊠ diamètre 180 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ⊠⊠⊠ diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ◇ diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ◇ diamètre 250 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ◇ diamètre 300 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ××× diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe standard
- ××× diamètre 250 mm - obstruction 33% - classe standard
- ××× diamètre 300 mm - obstruction 33% - classe standard

Comparaison sur mire de contraste 2% selon le critère de résolution effective

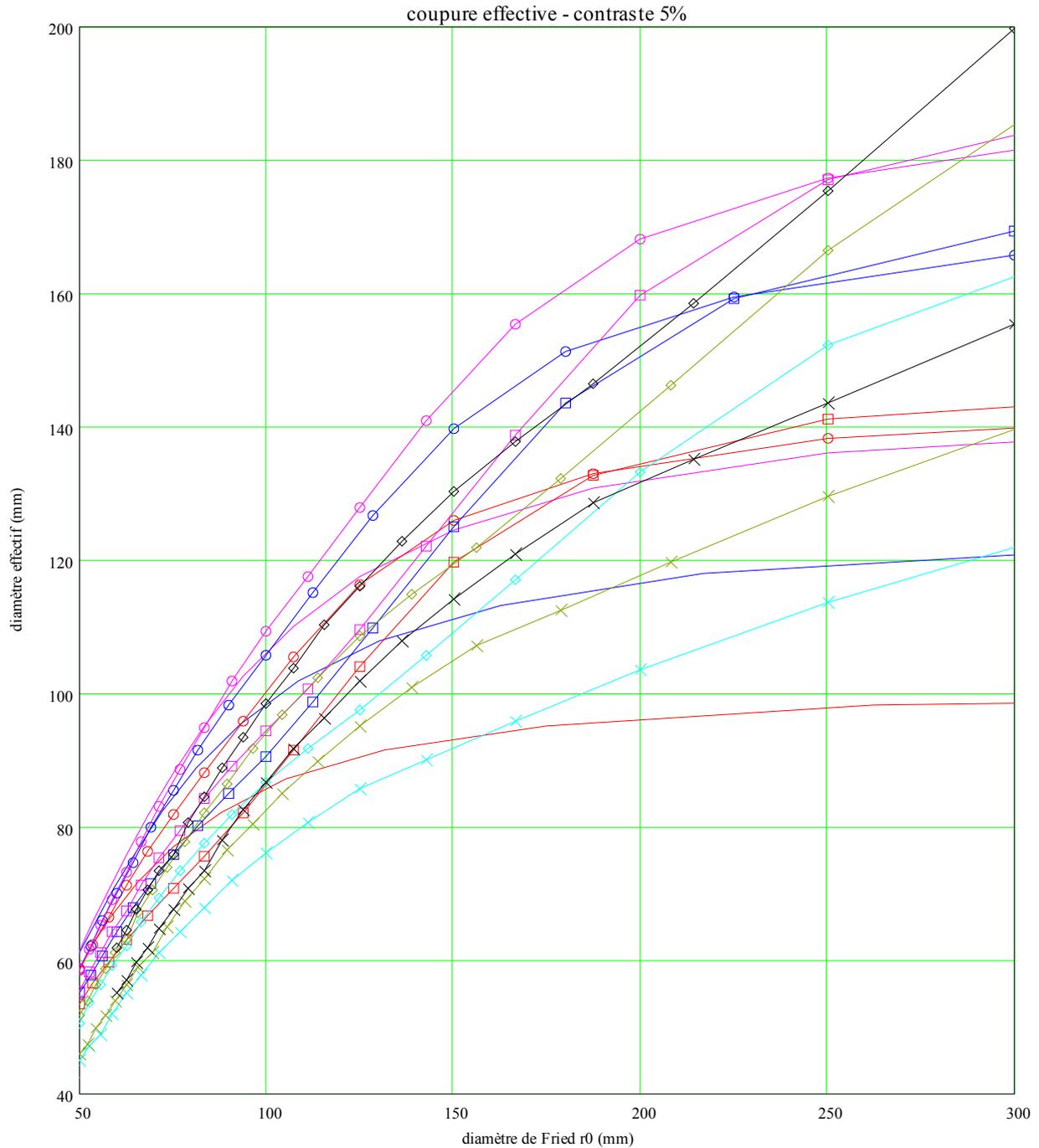


- diamètre 105 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- diamètre 130 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- diamètre 150 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- ⊙⊙⊙ diamètre 150 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊖⊖⊖ diamètre 180 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊗⊗⊗ diamètre 200 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊠⊠⊠ diamètre 150 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ⊡⊡⊡ diamètre 180 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ⊣⊣⊣ diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ◇ diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ◇ diamètre 250 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ◇ diamètre 300 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ××× diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe standard
- ××× diamètre 250 mm - obstruction 33% - classe standard
- ××× diamètre 300 mm - obstruction 33% - classe standard

Comparaison sur mire de contraste 5% selon le critère de résolution effective



Comparaison sur mire de contraste 2% selon le critère de fréquence de coupure effective

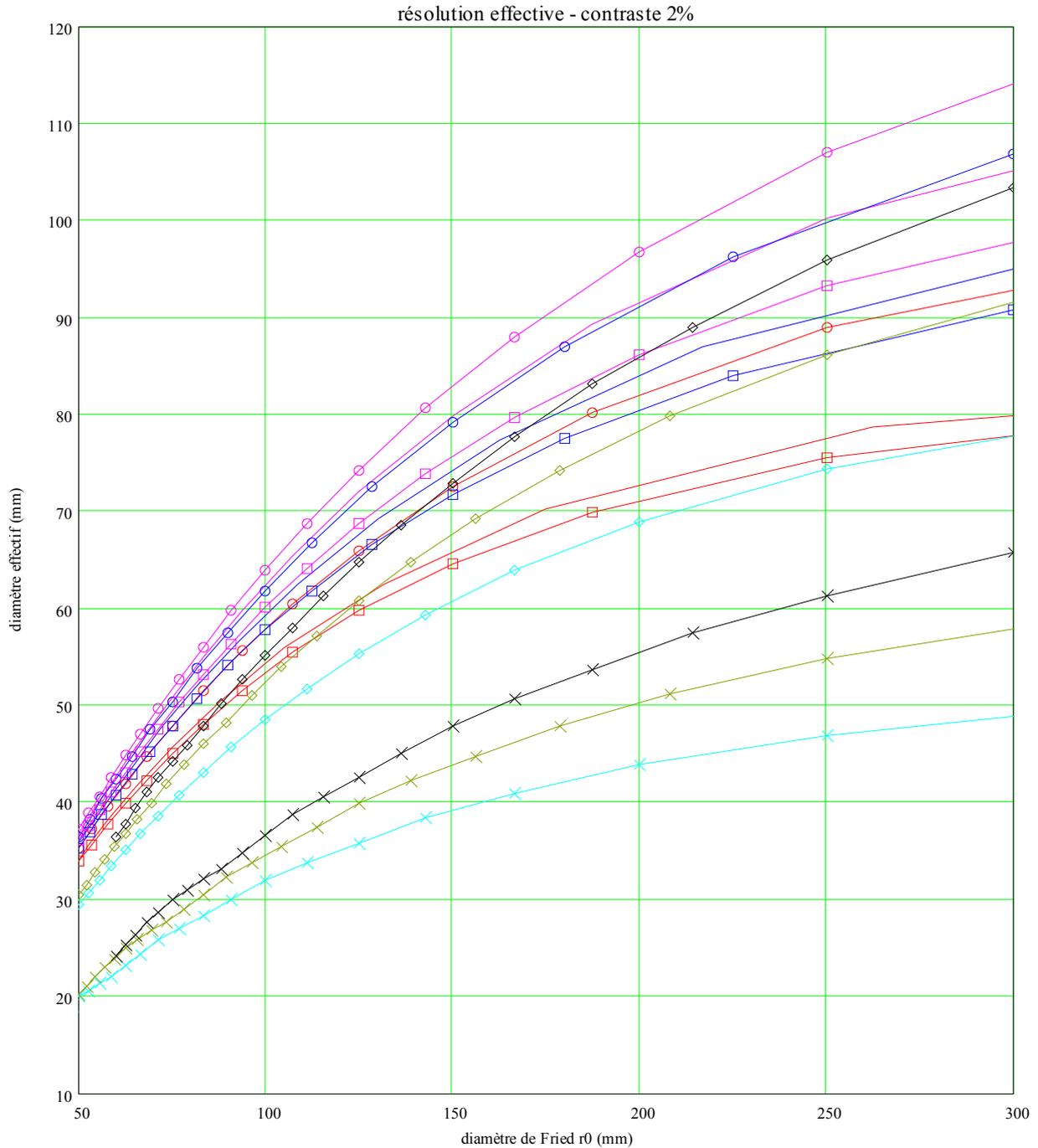


- diamètre 105 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- diamètre 130 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- diamètre 150 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- ⊙⊙⊙ diamètre 150 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊙⊙⊙ diamètre 180 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊙⊙⊙ diamètre 200 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊠⊠⊠ diamètre 150 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ⊠⊠⊠ diamètre 180 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ⊠⊠⊠ diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ◇ diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ◇ diamètre 250 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ◇ diamètre 300 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ××× diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe standard
- ××× diamètre 250 mm - obstruction 33% - classe standard
- ××× diamètre 300 mm - obstruction 33% - classe standard

Comparaison sur mire de contraste 5% selon le critère de fréquence de coupure effective

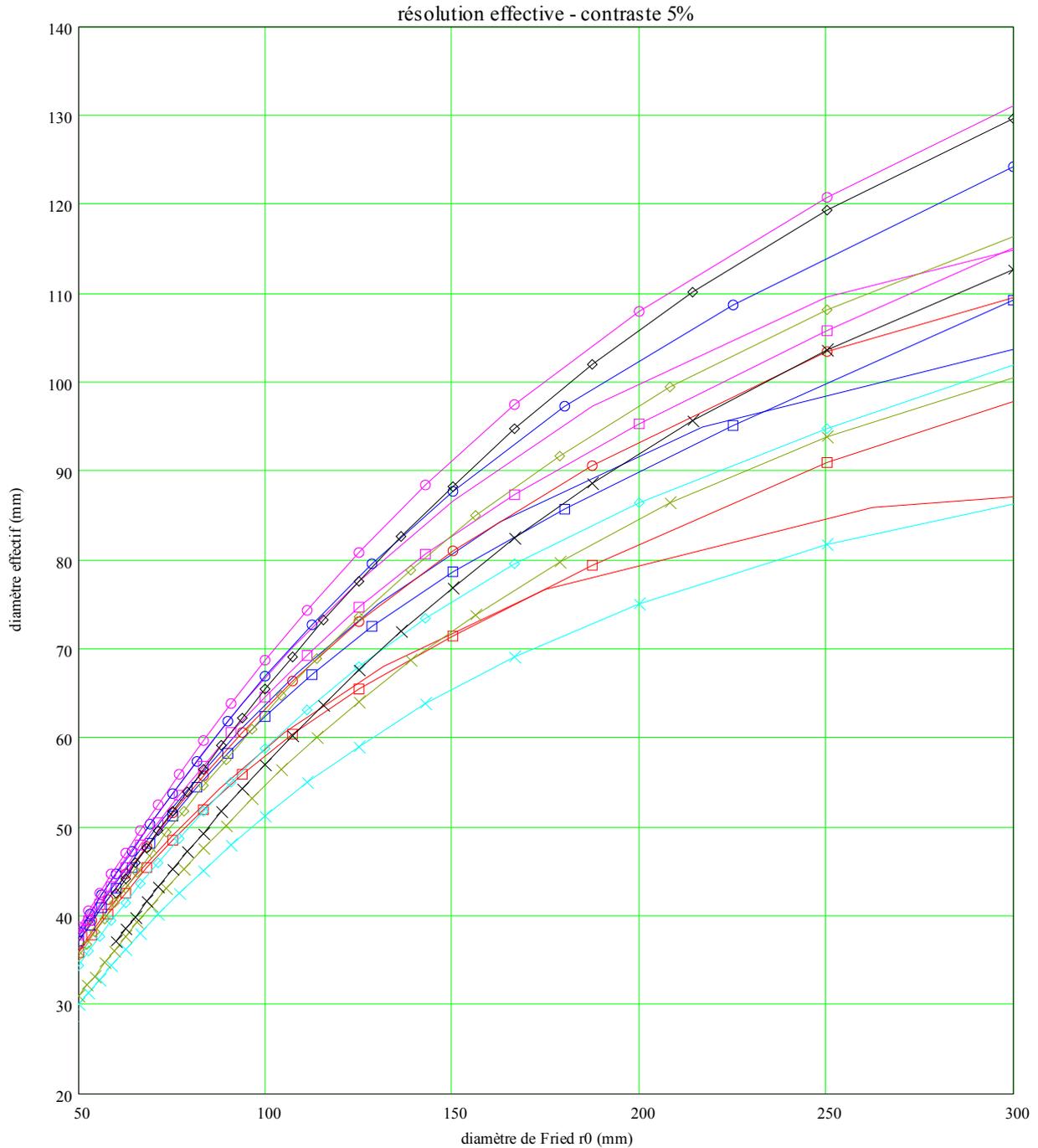
Annexe I

Comparaison d'instruments Turbulence en poses longues – paramètre α égal à 0



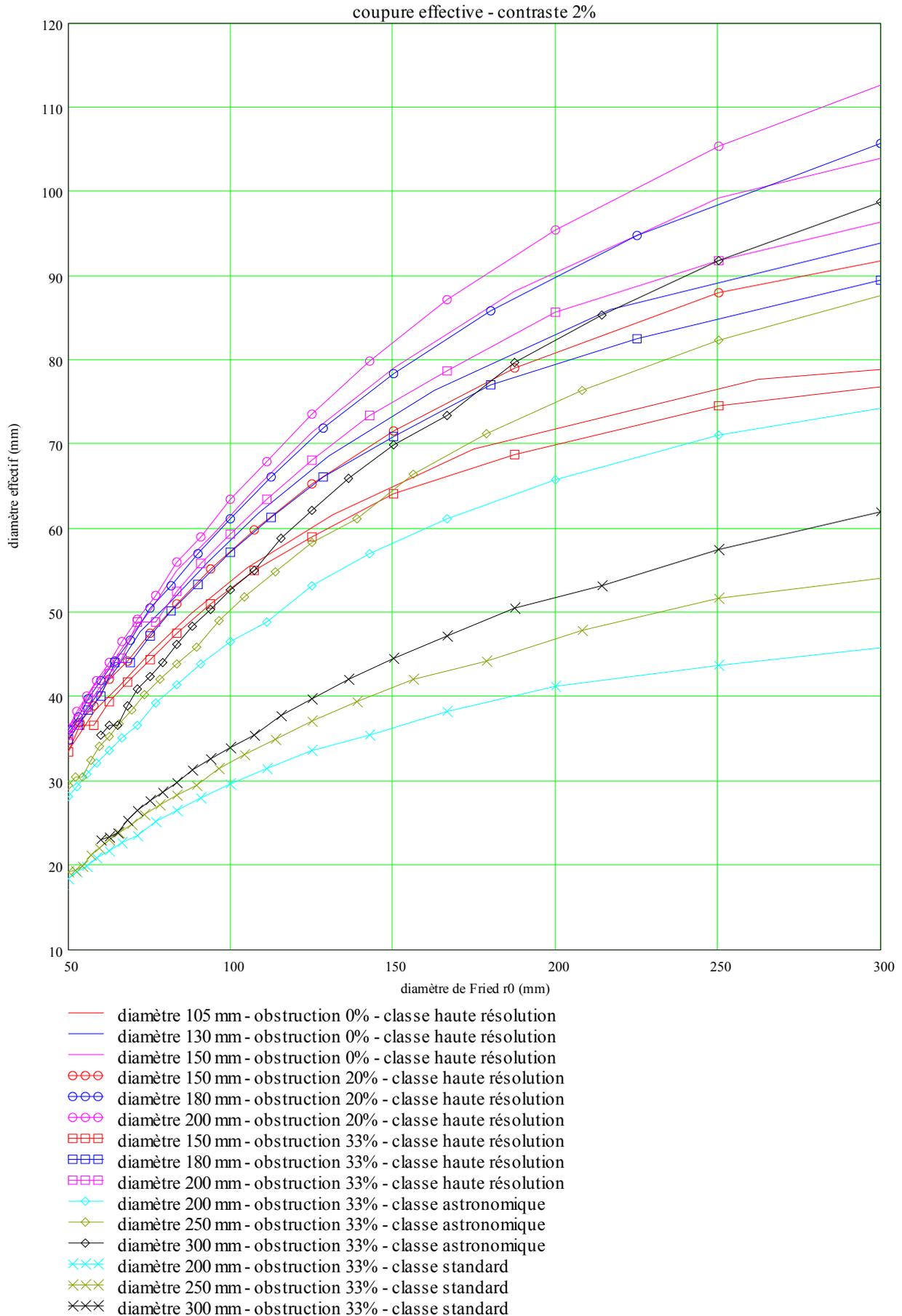
- diamètre 105 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- diamètre 130 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- diamètre 150 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- ⊙⊙⊙ diamètre 150 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊙⊙⊙ diamètre 180 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊙⊙⊙ diamètre 200 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊠⊠⊠ diamètre 150 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ⊠⊠⊠ diamètre 180 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ⊠⊠⊠ diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ◇◇◇ diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ◇◇◇ diamètre 250 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ◇◇◇ diamètre 300 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ××× diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe standard
- ××× diamètre 250 mm - obstruction 33% - classe standard
- ××× diamètre 300 mm - obstruction 33% - classe standard

Comparaison sur mire de contraste 2% selon le critère de résolution effective

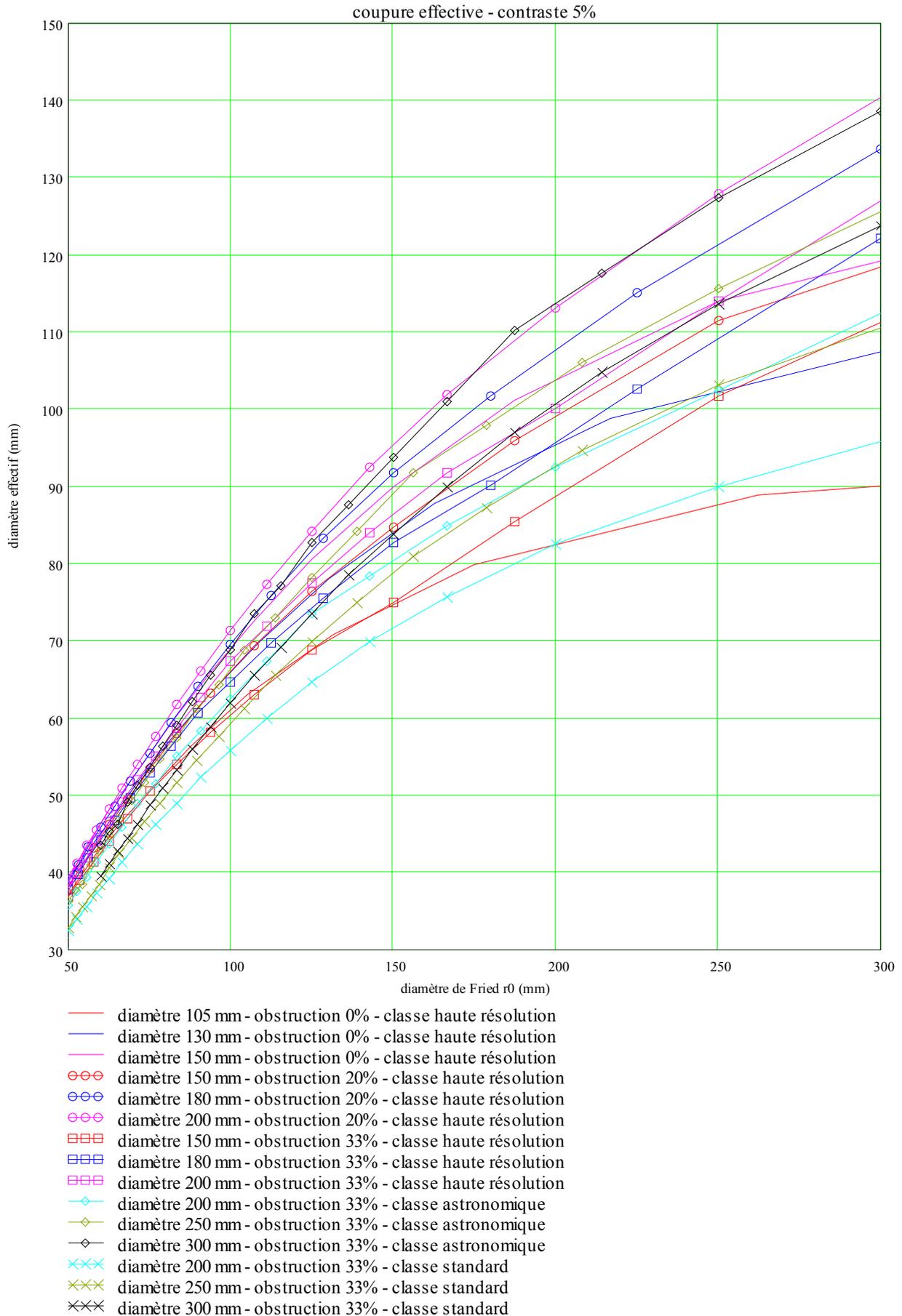


- diamètre 105 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- diamètre 130 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- diamètre 150 mm - obstruction 0% - classe haute résolution
- ⊙⊙⊙ diamètre 150 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊙⊙⊙ diamètre 180 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊙⊙⊙ diamètre 200 mm - obstruction 20% - classe haute résolution
- ⊠⊠⊠ diamètre 150 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ⊠⊠⊠ diamètre 180 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ⊠⊠⊠ diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe haute résolution
- ◇ diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ◇ diamètre 250 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ◇ diamètre 300 mm - obstruction 33% - classe astronomique
- ××× diamètre 200 mm - obstruction 33% - classe standard
- ××× diamètre 250 mm - obstruction 33% - classe standard
- ××× diamètre 300 mm - obstruction 33% - classe standard

Comparaison sur mire de contraste 5% selon le critère de résolution effective



Comparaison sur mire de contraste 2% selon le critère de fréquence de coupure effective



Comparaison sur mire de contraste 5% selon le critère de fréquence de coupure effective