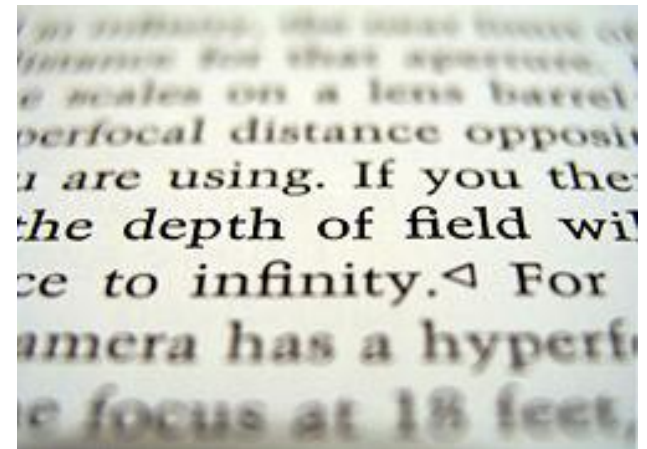




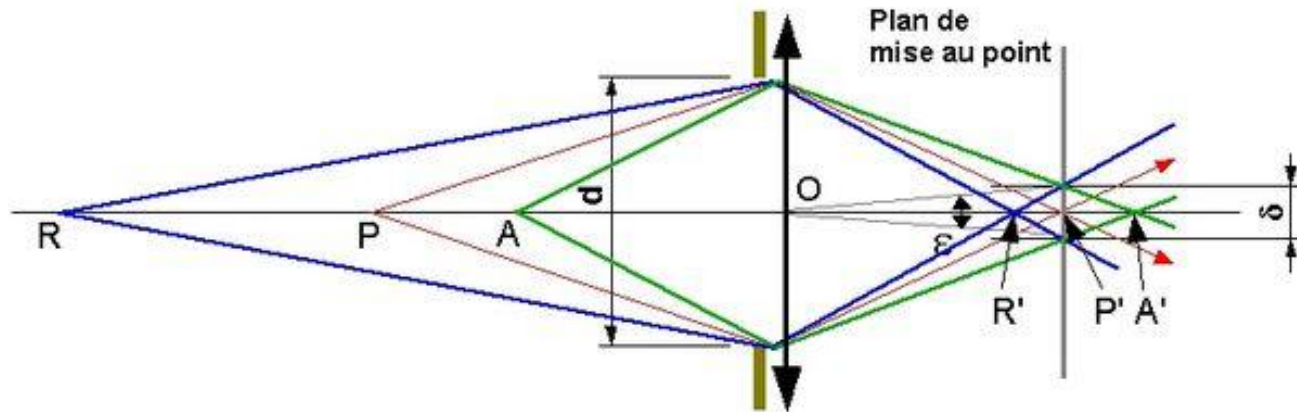
Profondeur de champ

Profondeur de champ

- En optique et notamment en photographie, pour un réglage et une utilisation donnés d'un appareil photo, la **profondeur de champ** correspond à la zone de l'espace dans laquelle doit se trouver le sujet à photographier pour que l'on puisse en obtenir une image que l'œil (ou un autre système optique) acceptera comme nette.
- L'étendue de cette zone dépend de nombreux paramètres qui interviennent au moment de la prise de vue (notamment la distance de mise au point, l'ouverture du diaphragme et le format de la surface sensible).
- En photographie la maîtrise de la profondeur de champ est absolument indispensable pour la réussite des prises de vues.



Profondeur de champ (*depth of field - DOF*)

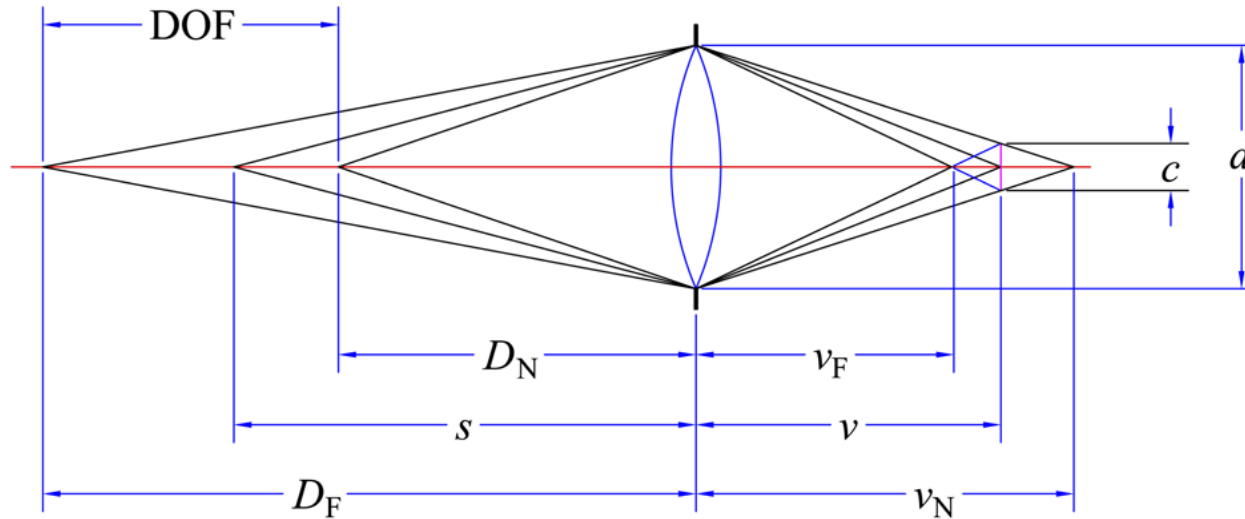


- Les rayons issus d'un point extrême R, qui correspond à la limite éloignée de profondeur de champ, convergent en R' et poursuivent leur course jusqu'à la surface sensible où ils forment une tache de diamètre δ .
- Les rayons issus d'un point extrême A, qui correspond à la limite proche de profondeur de champ, convergeraient en A' s'ils n'étaient pas interceptés par la surface sensible, sur laquelle ils forment eux aussi une tache de diamètre δ .
- La portion de l'espace comprise entre les deux plans perpendiculaires à l'axe optique qui passent par A et R sera susceptible de fournir une image nette.
- L'espace qui sépare ces deux plans correspond à la profondeur de champ. Cette profondeur varie énormément avec le diaphragme, elle peut être quasi nulle si l'objectif est lumineux et grand ouvert et considérable s'il est fermé au maximum.

Résolution des capteurs d'image

- L'œil: au mieux, le pouvoir séparateur angulaire de l'œil permet de distinguer des détails de 0,33 mm à 1 m, ou de 3,3 mm à 10 m, etc., ce qui correspond à un angle d'environ $3/10'000$ radian.
Pour les applications courantes, on adopte souvent prudemment $1/1500$ radian.
Avec la focale standard de 23 mm cela donne une résolution de dans le plan focal de 7, respectivement 15 μm .
- La taille du grain des pellicules photographiques est de l'ordre de 30 μm .
- La résolution des CCD est de l'ordre de 5-20 μm , tendance ↓ .
- Ne pas confondre la résolution avec l'effet d'un manque de contraste qui peut donner l'impression trompeuse d'un manque de netteté.

Calcul de la profondeur de champ (*depth of field - DOF*)



A partir de la similarité des triangles on a:

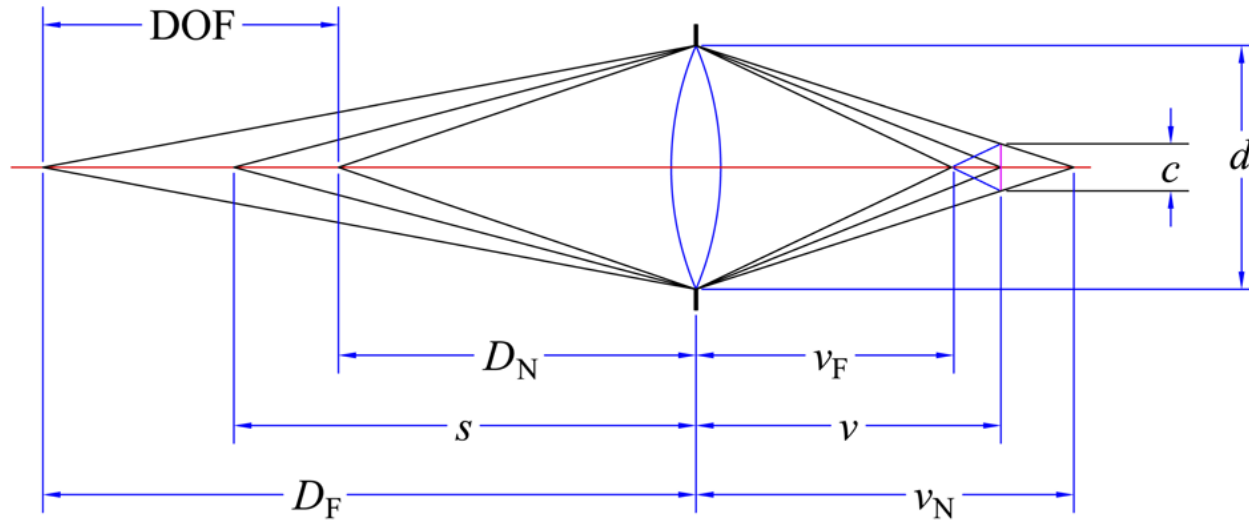
$$\frac{v_N - v}{v_N} = \frac{c}{d} \qquad \frac{v_N - v}{v_N} = \frac{c}{d}$$

avec l'introduction du nombre-f N : $N = \frac{f}{d}$;

on obtient donc:

$$v_N = \frac{fv}{f - Nc} \qquad v_F = \frac{fv}{f + Nc}$$





Sur la base de:

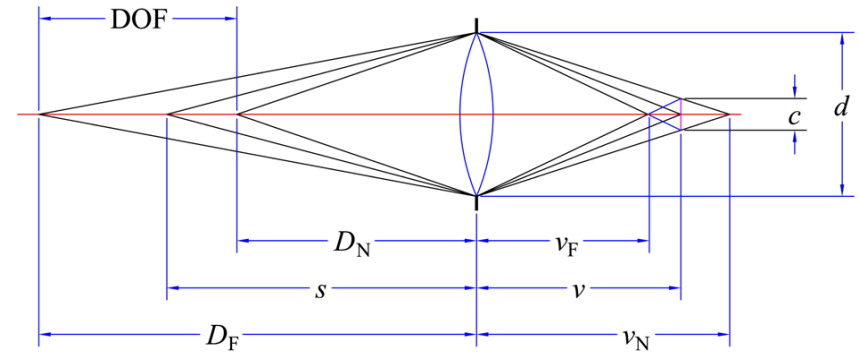
$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f};$$

on obtient finalement les limites de la profondeur de champ::

$$D_N = \frac{sf^2}{f^2 + Nc(s - f)}$$

$$D_F = \frac{sf^2}{f^2 - Nc(s - f)}$$

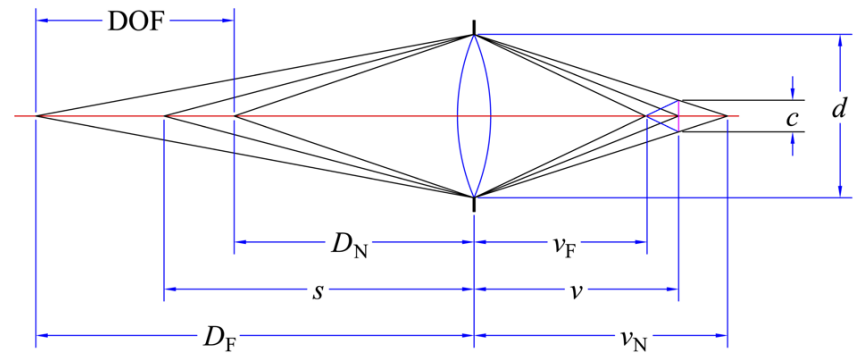
Distance hyperfocale



- La profondeur de champ s'étend normalement entre une limite proche et une limite lointaine.
- Lorsque l'on met au point sur l'infini, la netteté commence à la distance appelée hyperfocale.

$$H = \frac{f^2}{Nc} + f$$

Exercice



On photographie une personne située à 2 mètres de moi avec un objectif de focale 50 mm à $f/1.8$. La CCD de la caméra a des pixels de 10μ .
Calculer la profondeur de champ:

- Distance minimale de la profondeur de champ
- Distance maximale de la profondeur de champ
- Total de la profondeur de champ

Calculer ensuite le cas d'un objet à l'infini (distance hyperfocale).



Un calculateur de profondeur de champs

- <http://www.dofmaster.com/dofjs.html>

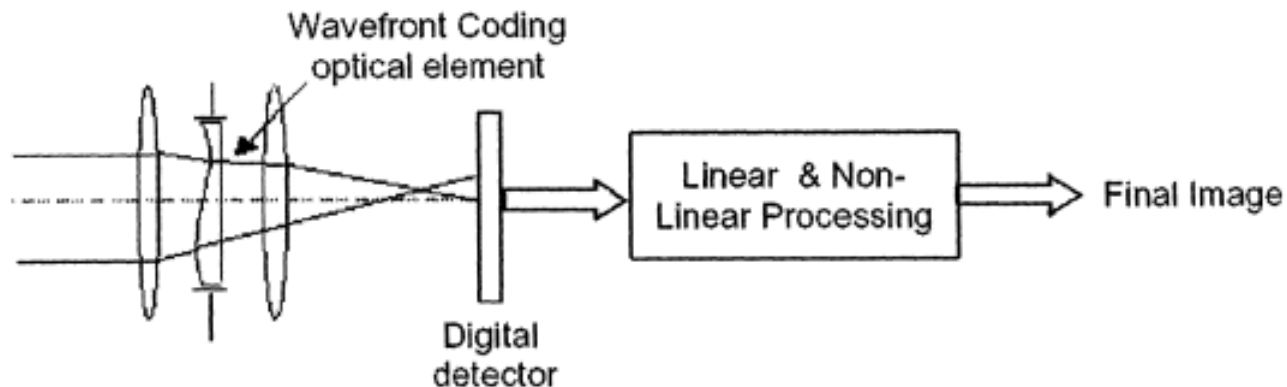




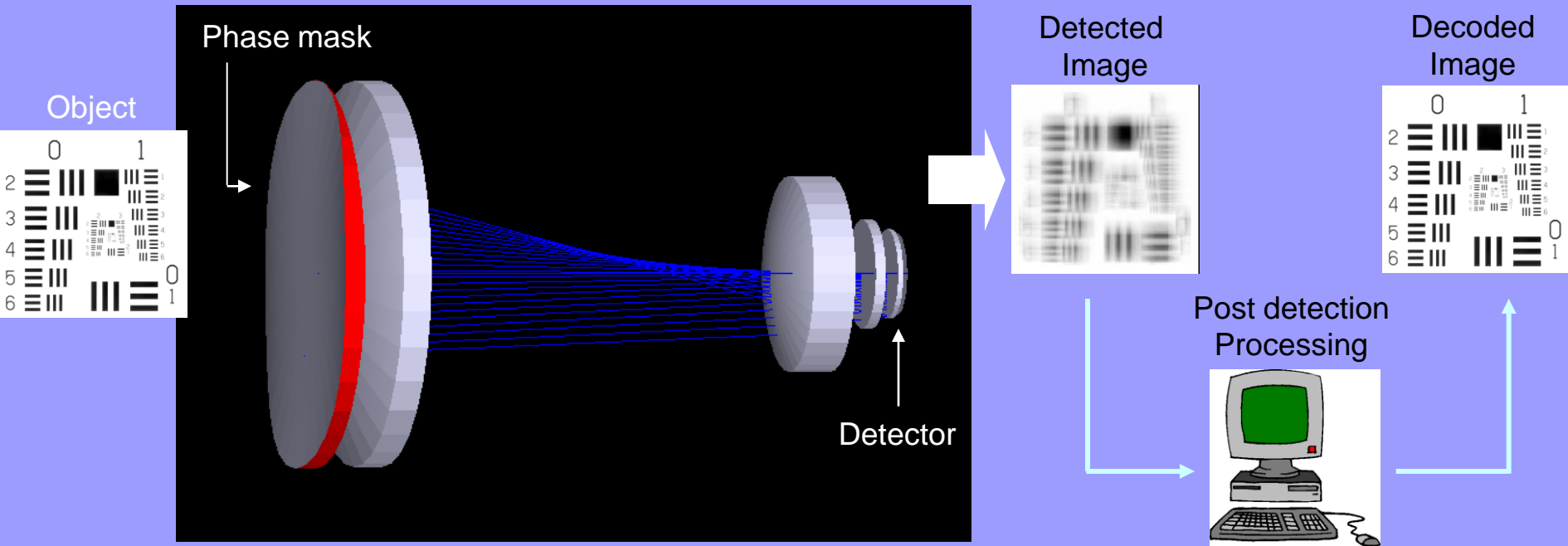


Wavefront coding

- Dans une optique classique, l'objet est imagé par la lentille sur un plan image. Si par exemple l'écran ou la cellule CCD sont légèrement décalés par rapport à ce plan, l'objet est flou.
- L'idée du **wavefront coding** est d'obtenir, au moyen d'une lentille particulière, une image dont le "flou", est ainsi contrôlé et constant pour une certaine gamme de profondeurs de champ.
- Pour obtenir l'image non floue il suffit de déconvoluer l'image par une certaine réponse impulsionnelle.



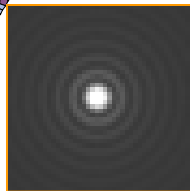
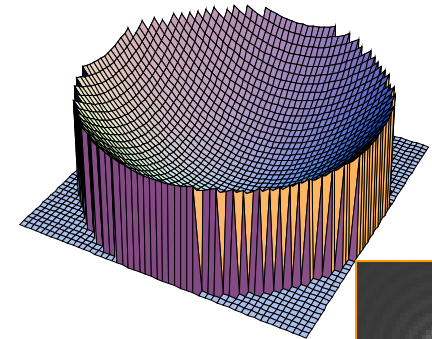
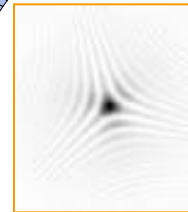
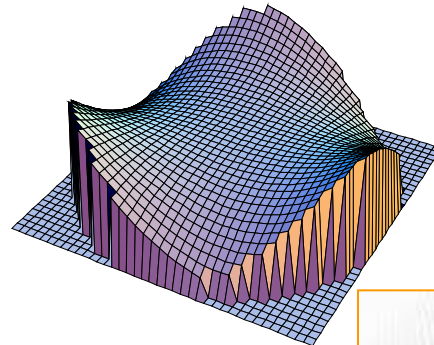
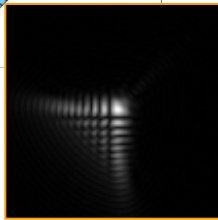
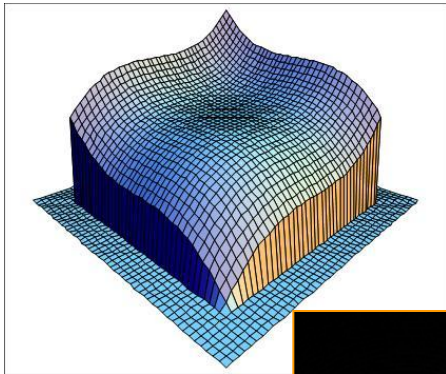
Wavefront coding



- Cette technique commence à être utilisée dans les appareils photo des téléphones portables.

Masques de phase

- Phase masks are synthesised by making a metric
 - MTF, PSF defined by an analytic expressioninvariant with respect to defocus (or other aberration)
- The most important masks are:

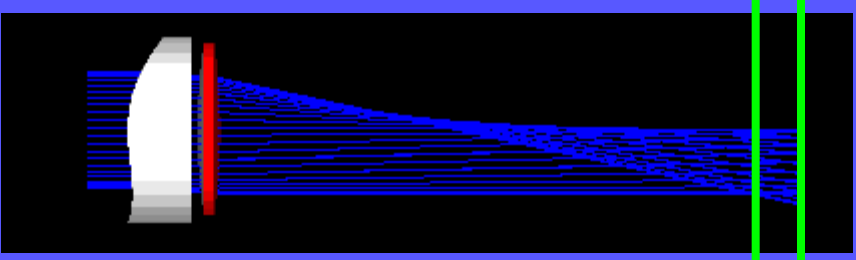


Rectangular cubic

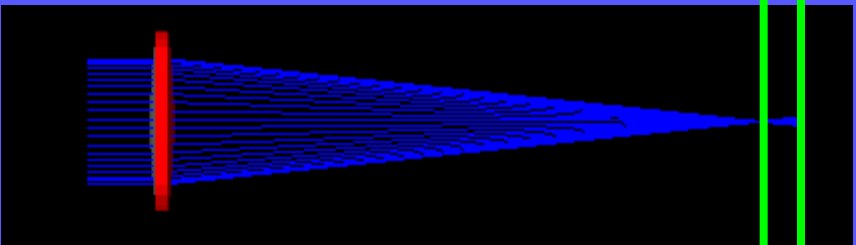
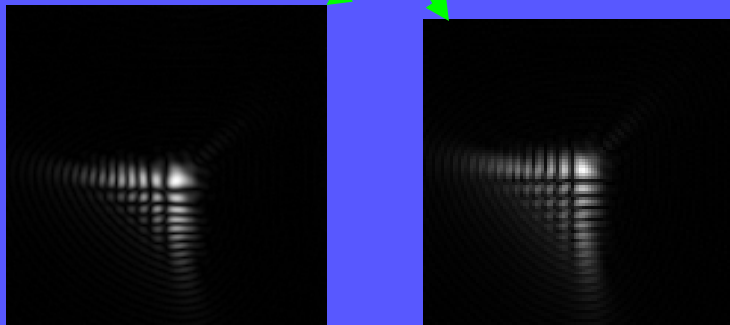
Generalised

Radial quartic & log*

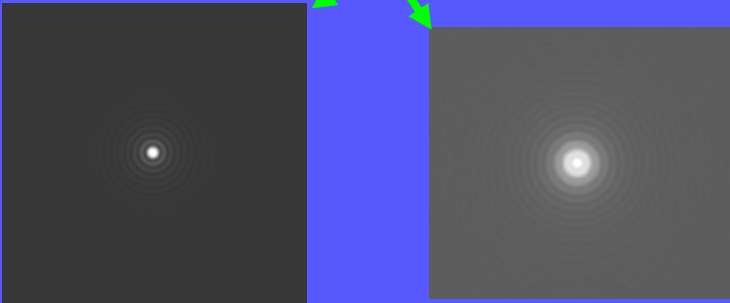
Comparison between the PSF with and without phase mask



Point Spread Function (PSF)
insensitive to the defocus



Point Spread Function vary with
the defocus



Variation of PSF with aberrations

DIFF.
LIMITED

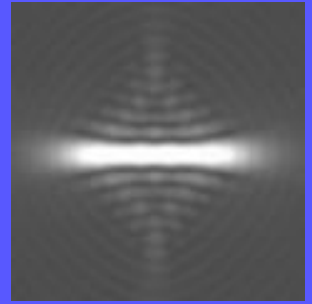
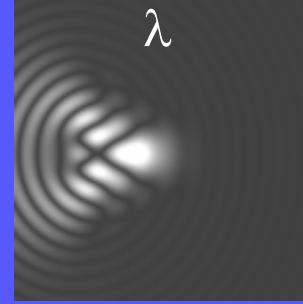
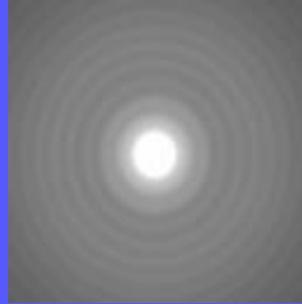
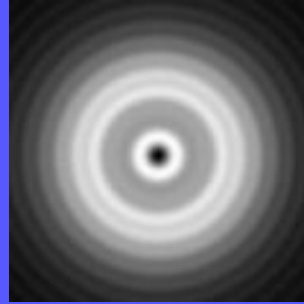
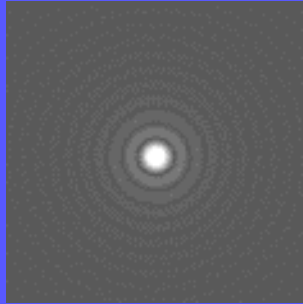
DEFOCU
 $SW_{20} = 2\lambda$

SPHERICAL
 $W_{40} = 2\lambda$

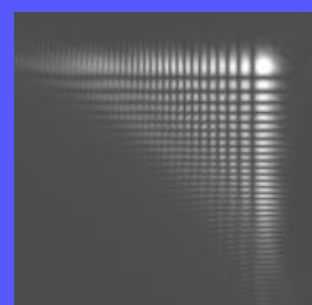
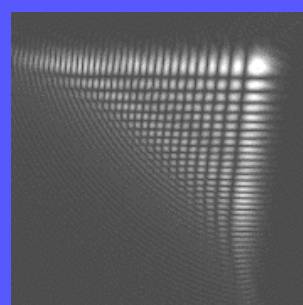
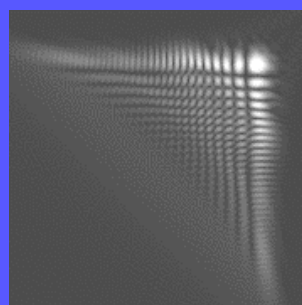
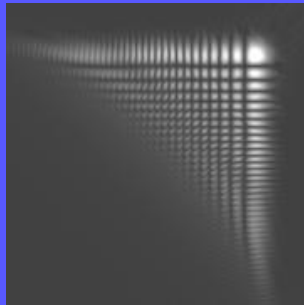
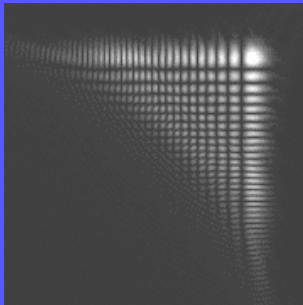
COMA
 $W_{31} = 2\lambda$

ASTIGMATISM
 $W_{22} = 2\lambda$

Clear
Aperture



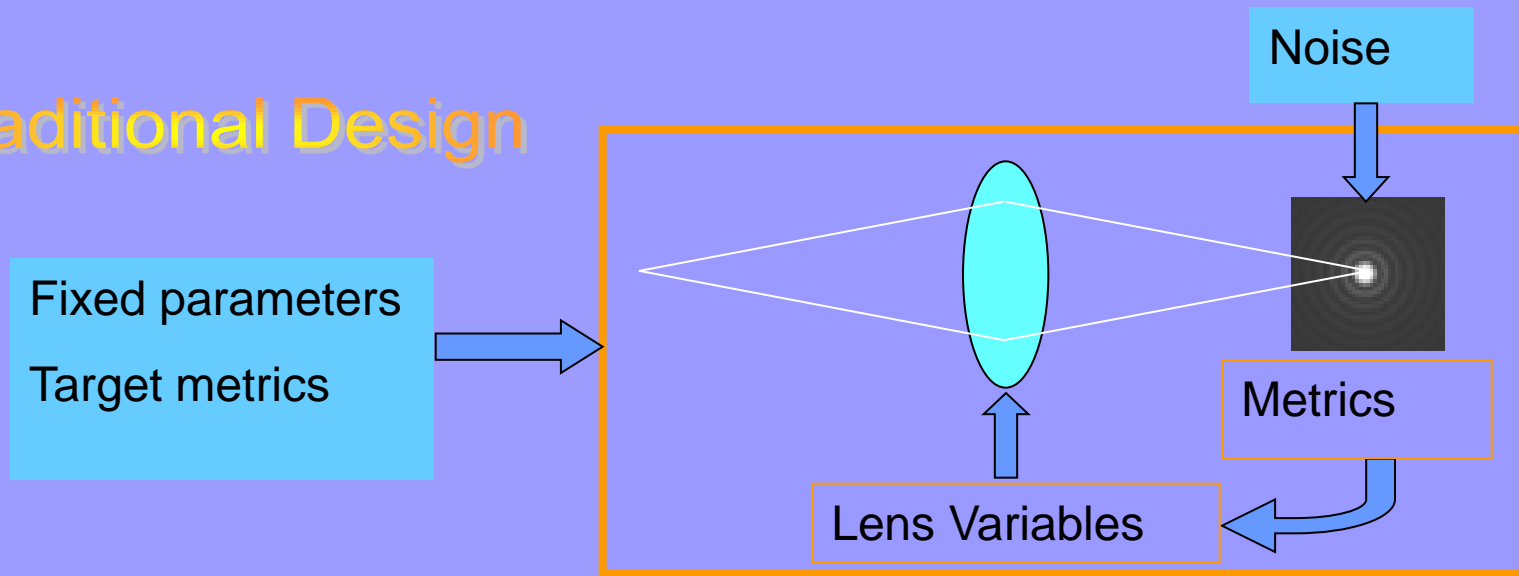
Cubic
Phase
Mask



PSF remains practically unaffected

Wavefront coding

Traditional Design



WC Design

